



## Innehåll

Bilageförteckning.....	2
Inledning.....	3
Organisation .....	5
Bakgrund till teknikutvecklingen .....	6
Resultat.....	6
Teknik som använts under projektet.....	6
Prototyp 1 (2018–2019) .....	6
Prototyp 2 (2019–2021) .....	7
Avvattningsanläggning .....	8
Prototyp 3 (2022) .....	8
Jämförelser mellan miljökassen och referenskassen .....	9
Redogörelse för mål 1 & 2.....	10
Avvattning av uppsamlade partiklar.....	10
Massbalans över avvattningsanläggningen.....	11
Utförande .....	11
Slutsats avvattningsanläggning och massbalans.....	11
Rening av rejektivattenströmmar .....	12
Partikeldrift.....	12
Redogörelse för mål 3 .....	13
Redogörelse för mål 4 .....	14
Redogörelse för mål 5 .....	15
Redogörelse för mål 6 .....	15
Fosfors väg genom odlingssystemet .....	15
Sediment – allmän karaktärisering.....	17
Slutsats/Rekommendation mål 6 .....	18
Redogörelse för mål 7 .....	19
Juridiska aspekter för användning och behandling av fiskslam .....	19
Tekniska aspekter för användning och behandling av fiskslam .....	20
<i>Fosforfraktioner i slammet</i> .....	20
Biologiska aspekter för användning och behandling av fiskslam .....	21
Slutsats och rekommendation mål 7.....	23
Redogörelse för mål 8 .....	23
Hur förhåller sig den undersökta tekniken utifrån dagens praxis för BMT? .....	24
Hur kan applicering av tekniken påverka myndigheternas bedömning för nuvarande lagstiftning? .....	24

Hur kan applicering av tekniken påverka myndigheternas bedömning för kommande lagstiftning?.....	25
Rekommendation .....	25
Redogörelse för mål 9 och 10.....	25
Kommunikation och resultatspridning.....	25
Diskussion och slutsatser .....	26
Framtiden .....	28
Referenser .....	29

## Bilageförteckning

- Bilaga 1. Avvattning av uppsamlat partikulärt foderspill
- Bilaga 2. Partikulärt avfall och fosfor från odling av fisk
- Bilaga 3. Resultatrapport Högeffektiv rening vattenbruk 2021
- Bilaga 4. Hydrodynamiska modeller för utvärdering av semi-slutna fiskodlingskassar
- Bilaga 5. Ekonomisk utvärdering av Miljökassen
- Bilaga 6. Erhållande av tillstånd
- Bilaga 8. Förändringar av fosforfraktioner i ett fiskodlingssystem
- Bilaga 9. Karakterisering sediment från fiskodling
- Bilaga 10. Juridiska förutsättningar och tekniska lösningar för omhändertagande av slam från fiskodling
- Bilaga 11. Biogas från fiskslam
- Bilaga 12. Svenskt fiskavfalls effektivitet som växtgödning
- Bilaga 13. Fluglarver uppfödda på fiskodlingsslam - Påverkan på processeffektivitet och larvbiomassasammansättningen
- Bilaga 14. Miljökassen i förhållande till BMT/BAT
- Bilaga 15. Spridning av resultat

## Inledning

Denna slutrapport handlar om det arbete, de erfarenheter och resultat som kommit ur projektet "Partikel- och slamhantering i semislutna kassar". Projektet har ägts av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för Husdjurens utfodring och vård som beviljades projektstöd för projektet inom Havs- och fiskeriprogrammet 2014–2020 (jnr. 2016-3362). Projektet beviljades stöd 2017-05-15 och planerades då att avslutas 2020-07-21 men har med anledning av externa orsaker förlängts vid tre tillfällen och projektet avslutas 5 april 2023.

Syftet med projektet har varit att genom försök med ny teknik för uppsamling av partiklar från odling av fisk i öppen kasse finna en tekniskt funktionell, kostnadseffektiv metod att från både miljömässig och ekonomisk synvinkel hantera utsläpp från denna typ av fiskodling.

Projektets övergripande mål har varit att stödja utvecklingen och expansionen av det kassodlingsbaserade vattenbruket i Sverige.

Projektet har baserats på den tekniska utvecklingen och applikationen av den så kallade miljökassen. Kring denna utveckling har flertalet aspekter utretts, undersökts och testats inom ramarna för projektet. Utifrån ansökan formulerades tidigt tio mål i projektet på vilka arbetet vilat, se Tabell 1. Denna slutrapport avser att redogöra för aktiviteter och resultat som uppnåtts inom ramarna för dessa mål.

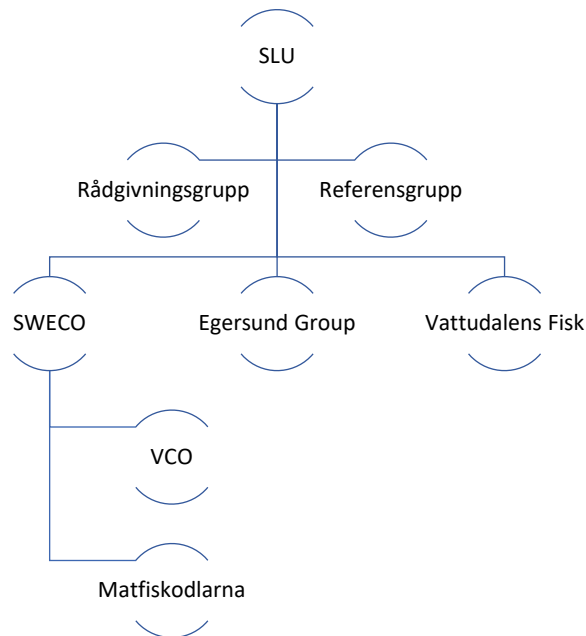
Tabell 1. Projekt mål för Partikel- och slamhantering i semislutna kassar

1	Kvantifiera teknik och dess effektivitet rent mekaniskt av återtag av partiklar från öppen kasse i kraftverksdamm under kommersiella förhållanden.
2	Kvantifiera horisontell partikeldrift från en öppen kasse i kraftverksdamm under kommersiella förhållanden.
3	Tagit fram en företagsekonomisk kostnadskalkyl för tekniken med partikulärt återtag från öppen kasse utifrån olika återtagsnivåer.
4	Formulera en plan för ett fortsatt arbete runt en hydrodynamiks modell för utvärdering av effektivitet i olika strömmande vatten samt genomför enklare pilotmodell.
5	Erhållit, innan start av kommersiella delen, nödvändiga tillstånd för arbetet i kraftverksdamm under kommersiella förhållanden.
6	En formulerad rekommendation, baserad på här skapade och redan existerande data, hur tekniken med partikelåtertag kan påverka närsaltsutsläpp till recipienten, produktionsenhetens storlek, foder typ samt andra relevanta variabler.
7	Formulera en analys och rekommendation för hantering, processering, samt användning av slamrester utvunna genom partikel återtaget. Detta gäller såväl biologiskt, tekniskt som juridiskt.
8	En formulerad rekommendation, baserad på mål 7, hur applicering av tekniken kan påverka myndigheternas bedömning, utifrån nuvarande och kommande lagstiftning för; nuvarande, förnyade, nya odlingstillstånd i olika typer av vatten för svenska kassodlare. I denna rekommendation inkluderas även en rekommendation hur denna teknik ska ses i förhållande till dagens BAT/BMT koncept.
9	Resultaten från ovanstående mål ska både formuleras för vetenskaplig publicering i tillämpliga tidskrifter samt vara lämplig för såväl myndighetssverige som näringen och allmänheten. Detta kan kräva att resultatet formuleras i flera riktade rapporter. Publicering i vetenskapliga tidskrifter ska ske i samarbete med SLU.
10	Resultaten ska utöver vetenskaplig springning genom publicering i vetenskapliga tidskrifter och presentationer vid vetenskapliga möten också vara väl känt i näringen och hos relevanta myndigheter som ett resultat av projektets informationsarbete.

Utöver måluppfyllelsen har projektet resulterat i ett framgångsrikt och intressant samarbete som fört akademien närmare branschen och ökat kontaktytorna mot såväl myndigheter som teknisk expertis. Projektet har även givit upphov till ett antal så kallade "spinn-off-projekt", vetenskapliga eller tekniska utvecklingsprojekt i nära anslutning till huvudprojektet. Projektet har även resulterat i internationell dialog mellan olika forskargrupper och organisationer.

## Organisation

Projektet har bedrivits genom ett nära samarbete mellan Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Sweco, Vattudalens fisk, Egersund Group, Matfiskodlarna och Vattenbrukscentrum Ost (VCO). Utöver dessa aktörer har det funnits en rådgivnings- och en referensgrupp, se Figur 1.



Figur 1. Organisationsschema över projektdeltagare.

SLU – Institutionen för husdjurens utfordring och vård (HUV) vid Sveriges lantbruksuniversitet har varit projektägare. Vid institutionen finns en fakultetsprofessur i vattenbruk samt en grupp med aktiva forskare och doktorander som arbetar med akvakultur. I detta projekt har arbete dels utförts på HUV men även institutionen för vatten och miljö har haft en stor del i projektet rörande vatten, sediment och näringsämnen med fokus på fosfor från fiskodling.

Vid uppstarten av projektet bildades två olika grupper för att bistå och utveckla projektet. Den ena var en rådgivningsgrupp som skulle kunna bistå med expertkunskaper och till viss del vara operativa inom projektet. Den andra var en referensgrupp var övergripande syfte var att tillföra kunskap men också hjälpa till att utveckla projektet samt sprida information extern om projektets resultat. Personerna som har varit med i rådgivnings- och referensgrupperna har förändrats över projektets gång allt eftersom personer bytt arbetsplats eller arbetsuppgifter. Rådgivningsgruppen har bestått av representanter från olika vattenbrukscentra, jurister, sakkunniga inom fiskodlingsbranschen samt representanter från branschorganisationer. I referensgruppen har sakkunniga forskare varit representerade samt myndighetspersoner från kommun, länsstyrelse, Jordbruksverket, Naturvårdsverket och HaV samt sakkunniga från vattenbrukscentra och näringen.

Egersund Group är ett norskt bolag som arbetar inom fiske- och vattenbrukssektorn. I projektet har Egersund Group tagit fram de prototyper som har testats, varit med vid rådgivnings- och referensgruppsmöten samt hjälpt till att föra arbetet framåt. Egersund Group äger företaget Vattudalens Fisk där tekniken har testats. Vattudalens Fisk är Sveriges största företag inom fiskodling med en årsproduktion om ca 3500 ton matfisk varav ca 1300 ton i Postviken. Vattudalens Fisk har, förutom att bistå med den fysiska platsen för att testa tekniken, arbetat och deltagit aktivt i projektet med personal för att driva anläggningen, hjälpt till med teknikutveckling och varit en ovärderlig aktör för att få arbetet med projektet att fungera och gå framåt.

Sweco är ett konsultbolag med bred kompetens inom många områden och har i projektet bidragit med expertkunskap inom flera områden så som hydrodynamisk modellering, processteknik, juridiska utredningar och agerat som extern samordnare för projektet. Sweco har även anlitat underkonsulter där det funnits behov. Vattenbruks Centrum Ost har anlåtats för att göra de ekonomiska redovisningarna för tekniken och branchorganisationen Matfiskodlarna för att titta på hur tekniken förhåller sig i jämförelse med Bäst Möjliga Teknik/Bästa Tillgängliga Teknik.

## Bakgrund till teknikutvecklingen

Odling av fisk i öppna kassar är klimatsmart och resulterar i ett nyttigt livsmedel. Merparten av produktionen i Sverige idag sker i stora djupa sjöar som ingår i vattensystem reglerade för vattenkraft. Denna typ av vatten kallas ofta regleringsmagasin och är dels naturligt mycket näringsfattiga men uppvisar som ett resultat av regleringen idag än mer näringsfattiga förhållanden.

Vid odling av fisk i öppna kassar sprids fekalier och eventuella foderrester ut i omgivande vatten och detta är önskvärt att begränsa av flera olika anledningar. Dels önskar man minska på näringspåverkan från fiskodling. Anledningen till detta är omtvistad då flertalet vetenskapliga studier pekar på att näringstillskottet kan ha positiv inverkan på omgivande ekosystem. Samtidigt kan näringsämnestillskott lokalt ha en negativ inverkan invid ett odlingsområde exempelvis genom sedimentationen som uppstår direkt under en odlingskasse. Andra argument för att samla upp utsläpp från fiskodling är att tillvarata på gödseln från fisken vilket är en intressant resurs. Vidare har inom ramarna för detta projekt även möjliga fördelar med uppsamling av partiklar utifrån ett smittskyddsperspektiv lyfts men denna fråga kvarstår ännu att utreda.

Det är framför allt fosfor som är det näringsämne som står i fokus ur ett näringsämnesperspektiv i denna typ av ekosystem vilka allt som oftast är fosforbegränsade. Vid projektets start saknades en hel del kunskap rörande just påverkan från fiskodling i denna typ av vattensystem. Projektet har framgångsrikt arbetat för att besvara en del av de kunskapsluckor som funnits.

## Resultat

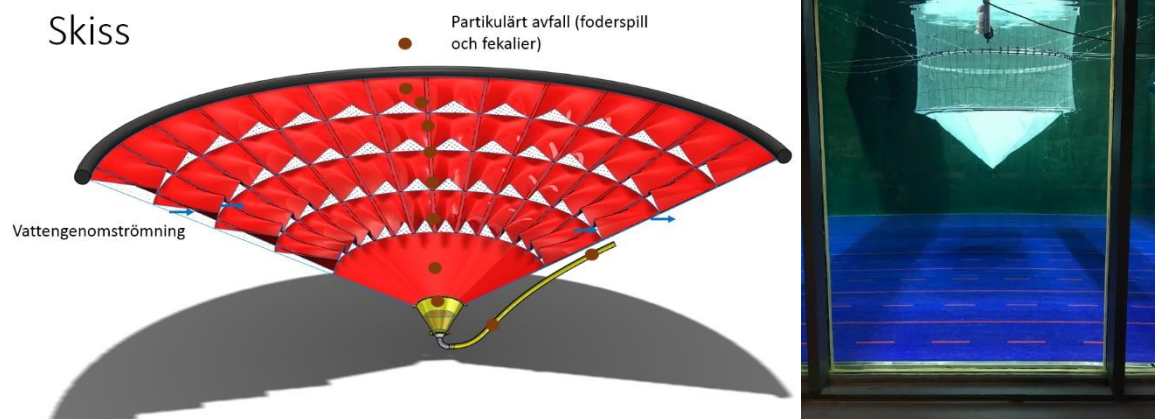
### Teknik som använts under projektet

Avsikten har varit att odla regnbågslax från ca 1 kg till ca 2,5 kg i Miljökassen. Parallellt har en lika stor odlingskasse med motsvarande mängd fisk använts för referensmätningar för att kunna detektera eventuella skillnader mellan de två odlingsteknikerna.

För att möjliggöra partikeluppsamling har hela tre olika prototyper med så kallad uppsamlingsenhet utvärderats inom ramarna för projektet.

### Prototyp 1 (2018–2019)

Den första prototypen, Figur 2, byggdes i Norge och testades i ett laboratorium och i två sjöar innan den flyttades till Ströms Vattudal i slutet på 2018. Eftersom denna prototyp endast var 30 meter i omkrets hade en större modell parallellt redan börjat projekteras. Den första prototypen funktionstestades under vår-vintern 2018–2019 simultant med att prototyp två byggdes på Egersund Markleens fabrik i Spanien. Denna prototyp utvecklades i samarbete mellan Egersund och det norska företaget Fjord solutions.

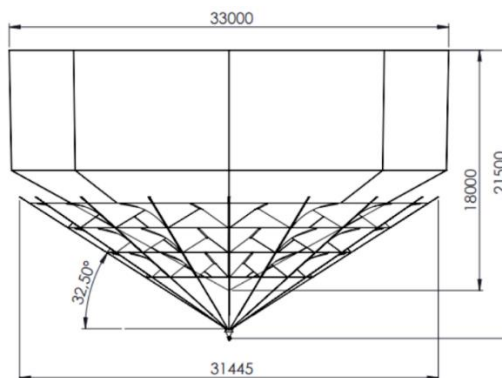
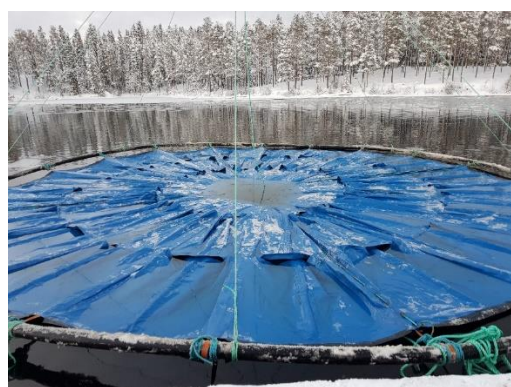


Figur 2. Skiss och foto från tester i laboratoriet av prototyp 1.

### Prototyp 2 (2019–2021)

Prototyp två, Figur 3, anlände till Ströms Vattudal under andra halvan av 2019 och installerades för att därefter utvärderas under två hela odlingsssäsonger (2020–2021). Denna prototyp var en fullstor uppsamlingsenhet med en omkrets av 100 meter. Den var konstruerad så att en extra barriär för foderspill och fekalier placerades utanför den ordinarie odlingskassen. Denna barriär hade paneler med hål så att vatten kunde strömma genom kassen men foderspill och fekalier transporterades nedåt längs sidorna ned till botten av uppsamlingsenheten. Det material som samlades upp kunde därefter pumpas upp till avvattningsanläggningen belägen vid landbasen (för ytterligare information om avvattningsanläggningen se rubrik nedan). Flertalet tekniska justeringar behövde genomföras för att förbättra funktionen i vattnet. Delar av dessa justeringar gjordes i samarbete med norska tekniker. Pandemin försvårade detta samarbete då resor över landsgränsen omöjliggjordes.

Anläggningen med prototyp 2 lyckades demonstrera att det var möjligt att både samla, pumpa och avvattna fekalier och foderrester till ett slam. Dock uppstod problem med pumpkapaciteten vilket gjorde att det inte gick att få upp tillräckligt med slam och det blev en ansamling av fekalier och foderrester i botten på uppsamlingsenheten. En ny pump beställdes men på grund av pandemin försenades leveransen av denna. Trots uppgradering av pump under sensommaren 2021 till en med större kapacitet lyckades inte uppsamlingsenheten fungera tillfredställande. Enheten var tung och otymplig att flytta på eftersom den var designad att sättas utanför en vanlig odlingskasse. Eftersom flytt av odlingskassar under produktion är vanligt i Sverige sågs detta som ett problem långsiktigt och en ny prototyp börjades ta fram.



Figur 3. Bild av prototyp två vid sjösättning vintern 2019.



Under odlingssäsongen 2021 fanns även en referenskasse med motsvarande mängd fisk vilken möjliggjorde jämförelser mellan de två odlingsteknikerna. På plats under sommaren arbetade en sommarpersonal vars huvudsakliga arbetsuppgifter var drifta, underhålla och arbeta med teknikutveckling på plats tillsammans med ordinarie personal hos Vattudalens fisk. Sommarpersonalen ansvarade även för flertalet provtagningar och genomförande av undersökningar för vidare utvärderingar.

### Avvattningsanläggning

Tillsammans med prototyp 2 kom avvattningsanläggningen i bruk. Denna kom sedan även att användas tillsammans med prototyp 3. Anläggningens design skapades i ett samarbete mellan Sweco och KICAB. Anläggningsdelarna valdes ut och sattes samman i en container, se Figur 4. Syftet med anläggningen var att möjliggöra avvattning av uppumpade partiklar till ett slam.



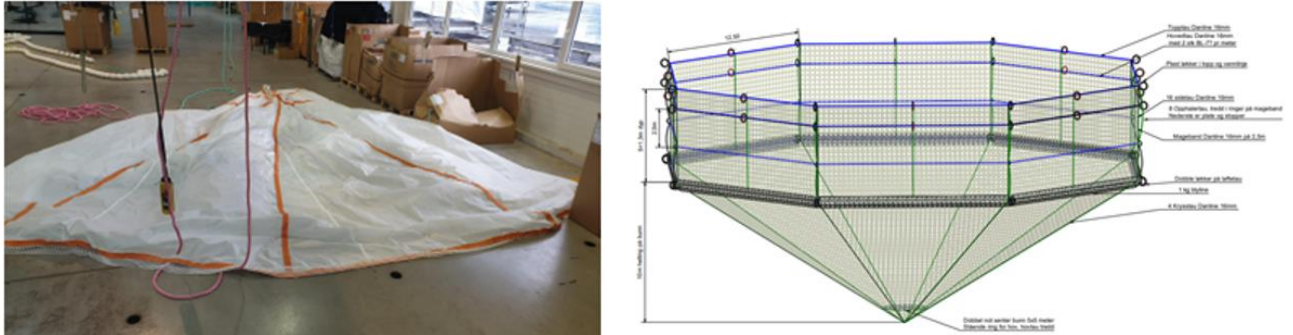
Figur 4. Avvattningsanläggningen på plats i Postviken.

Avvattningssekvensen består av två huvudsakliga steg. De uppumpade partiklarna leds först in i ett trumfilter vilket effektivt reducerar en stor mängd vatten. Därefter leds slamfraktionen vidare till förtjockningsdelen där polymer blandas in innan slammet effektivt avvattnas på en bandförtjockare. Torrhalten på det slam som fås ut är mellan 8–15%.

### Prototyp 3 (2022)

Prototyp 3 var inte en separat enhet som sattes utanför ordinarie odlingskasse utan uppsamlingsenheten och odlingskassen var monterade tillsammans, se Figur 5. Denna prototyp användes under odlingssäsongen 2022. Nu hade en annan typ av pumpsystem installerats som arbetar med tryckluft. Systemet har utvecklats av företaget Lift-up och har även en anordning för upptag av död fisk. Pumpningen av slam och upptaget av död fisk genom denna fungerade efter flertalet justeringar bra. Nu pumpades partiklar från kassen upp en gång vad 30:e minut. Anläggningen kompletterades med en mindre vattencistern som placerades på hög höjd innan intaget till avvattningsanläggningen. Denna lösning möjliggjorde ett jämnare flöde in till avvattningsanläggningen genom självfall. Prototyp 3 samlade inte upp lika mycket slam som tidigare prototyp vilket tros bero på att själva uppsamlingsenheten i botten av kassen var för liten i förhållande till odlingskassen och mängden fisk.

Drift av anläggningen var framgångsrik till viss del men svårigheter med flertalet tekniska lösningar resulterade i att ingen stabil drift under någon längre tidsperiod kunde uppnås. Arbetet med att drifta anläggningen visade sig arbetsintensivt och kantades av behov av flertalet skräddarsydda lösningar på plats, både i vatten och på land. Driften under odlingsssäsongen 2022 möjliggjorde dock flertalet utvärderingar av anläggningens tekniska egenskaper, slammet och utgående vattenflöden.



Figur 5. Bild innan montering samt ritning av prototyp tre.

Likt under odlingsssäsongen 2021 fanns under 2022 även en referenskasse med motsvarande mängd fisk vilken möjliggjorde jämförelser mellan de två odlingsteknikerna. På plats under sommaren arbetade en sommarpersonal med liknande ansvarsområden som under föregående sommar.

Under senhösten 2022 har utvärderingar av möjligheterna till drift av pumpsystemet under kallare temperaturer genomförts. Avvattningsanläggningen är ej brukbar vid minusgrader på grund av frysrisker men upptaget av död fisk samt partiklar har testats. Driftspersonalen menar att värme skulle behövas till dödfiskslangen, alternativt total tömning för att minska frysrisker.

#### Jämförelser mellan miljökassen och referenskassen

Under projektets gång har produktion pågått i miljökassen och den referenskasse som funnits tillgänglig. Vattenkemiska parametrar har mätts och vattenprov analyserats för att få en bättre förståelse kring om det funnits märkbara skillnader mellan kassarna. Även produktionen i de två kassarna har jämförts med avseende på foderförbrukning, foderkonvertering, tillväxt och dödlighet.

Generellt visar analysdata och mätningar i vattnet inga skillnader mellan de två kassarna. Syreförhållanden, grumlighet, näringsämnen mm går ej att särskilja mellan de två kassarna. Vid ett tillfälle erhöles avvikande värden för miljökassen men vi bedömer dataunderlaget för litet för att slutsatser ska kunna dras. Vid en vidare utveckling av uppsamlingsenheten är det dock av vikt att fortsatt hålla koll på förhållandena i kassen. En framtida större uppsamlingsenhet måste undersökas för att säkerställa att inte partiklar virvlar runt som ett resultat av teknikens utformning.

Ett förbryllande resultat från odlingsssäsongen 2022 är att fisken i miljökassen uppvisat sämre aptit än referenskassen. Eftersom fisken i kassarna ej har slaktats ut i skrivande stund har slutvikterna ej erhållits men de teoretiska vikterna från utfodringsprogrammet indikerar på skillnader mellan kassarna, ett resultat som grundar sig i den försämrade aptiten och därigenom minskad utfodring under sommarmånaderna.

Med anledning av Lift-ups systemet kunde död fisk från botten tömmas kontinuerligt från miljökassen medan det i referenskassen görs vid utslaktning. Håvning av död fisk på ytan har genomförts likvärdigt i båda kassarna. Det finns därmed ännu inga pålitliga siffror på total dödlighet i de två kassarna som kan jämföras.

För en vidare utvärdering av detta system vore det intressant och nödvändigt att studera vad som händer när lift-up systemet avger luftbubblor från botten av kassen, både med avseende på eventuell uppvirvling av partiklar samt hur och om fiskarna reagerar.

## Redogörelse för mål 1 & 2

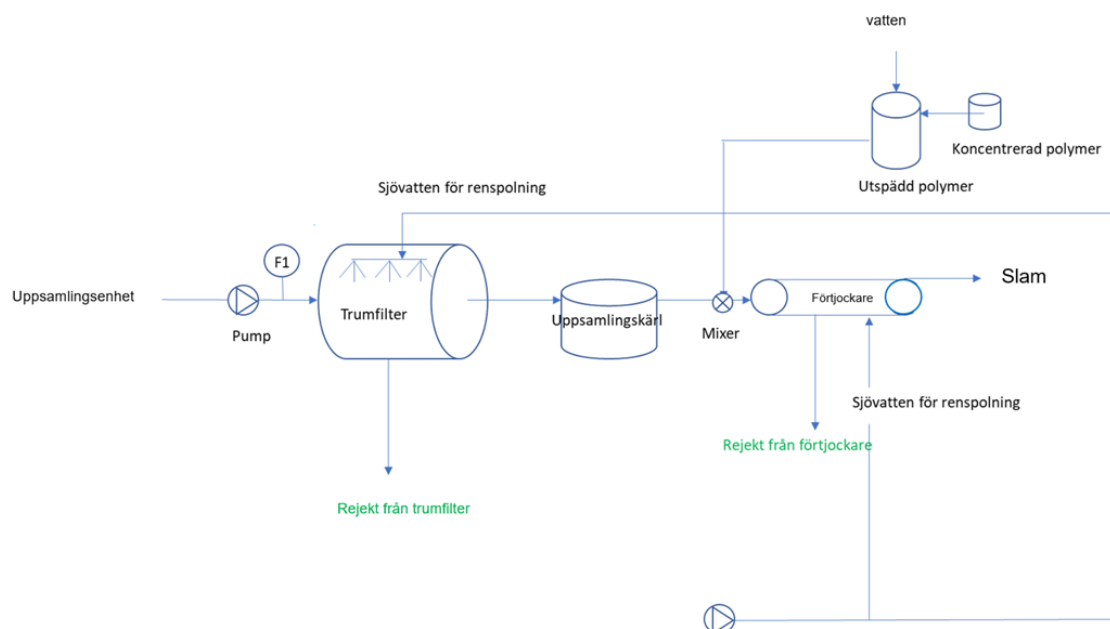
*Mål 1 - Kvantifiera teknik och dess effektivitet rent mekaniskt av återtag av partiklar från öppen kasse i kraftverksdamm under kommersiella förhållanden.*

*Mål 2 - Kvantifiera horisontell partikeldrift från en öppen kasse i kraftverksdamm under kommersiella förhållanden.*

## Avvattning av uppsamlade partiklar

Vattnet med partiklar från uppsamlingsenheten har en torrhalt på ungefär 0,02%. För att effektivt kunna använda slammet till andra ändamål krävs att vattenhalten minskar. Utmaningen för projektet var att hitta en, för projektet anpassad, och för ändamålet effektiv och ekonomisk hållbar teknik för avvattning. Ytterligare utmaning var att rymma all teknik i en container för att kunna skydda utrustningen från yttre påverkan.

En effektiv avvattningsmetod är trumfilter. Ett trumfilter är ett mekaniskt filter som effektivt avskiljer partiklar från vätskor. Filtret spolas kontinuerligt vilket förhindrar att det sätter igen och bidrar till att det klarar av hög belastning. De avskilda partiklarna samlas, i Miljökassens fall, upp i en behållare inför nästa steg i avvattningsprocessen. Slamvattnet som bildas innehåller fortfarande mycket vatten och en förtjockning krävs för att kostnadseffektivt kunna nyttja slammet. En bandförtjockare nyttjas för detta ändamål och med samtidig tillsats och inblandning av polymer utförs en snabb och effektiv avvattning. Slammet samlas ihop i slutet av bandförtjockaren, se Figur 6.



Figur 6. Schematisk bild över avvattningsanläggningen.

Generellt har avvattningsanläggningen fungerat tillfredsställande avseende att minska vattenhalten i slammet och en torrhalt på 8 - 15% har uppnåtts. Vissa tekniska problem med polymertillredning och dosering har förekommit. Svårigheter med att pumpa upp slammet från uppsamlingsenheten till avvattningsanläggningen har dock varit den största utmaningen förknippat med avvattning av slammet.

## Massbalans över avvattningsanläggningen

Två försök till massbalans har utförts på avvattningsanläggningen med syfte att utreda dess effektivitet gällande mekaniskt återtag av partiklar. Det har även varit intressant att utvärdera dess effektivitet i att reducera näringsämnesåterförslin till recipient.

Massbalans 1 utfördes då prototyp 2 var monterad på försökskassen. På grund av problem med pumpning från uppsamlingsenheten varierade partikelhalten i inkommande vatten kraftigt. Drift av avvattningsanläggningen påverkades då ingen kontinuerlig drift kunde uppnås. Analysresultaten på samtliga vattenströmmar spretade och var förknippade med den kraftiga variationen i partikelhalt i inkommande vatten. En massbalans gick svårligen att sammanställa utifrån förutsättningarna.

Massbalans 2 utfördes under odlingsäsongen 2022 med prototyp 3. Prototyp 3 innebar en förändrad metod vad gäller pumpning av material från uppsamlingsenheten till avvattningsanläggningen och förutsättningarna var förbättrade gällande massbalans. Avvattningsanläggningen delades upp i två delsteg med möjlighet att fastställa volymen på inkommande respektive utgående ström och med förhoppningen att få svar på hur partikelfördelning sker och hur näringsämnena fördelar sig i de olika vattenströmmar som passerar genom avvattningsanläggningen.

## Utförande

Varje pumpning från uppsamlingsenheten genererade en vattenvolym till avvattningsanläggningen och mellan varje pumpsekvens startades trumfiltret i avvattningsanläggningen. Det separerade slammet samlades upp i en behållare vilket gav möjlighet till provtagning och volymsberäkning. Rejektvattnet från trumfiltret analyserades och volymsberäknades.

Volymen i behållaren efter trumfiltret pumpades därefter upp på bandförtjockaren efter inblandning av polymer. Slammängden och rejektvattnet volymbäknades. En balans över in och utflöden över avvattningsanläggningen kunde därefter beräknas.

## Slutsats avvattningsanläggning och massbalans

Avvattningsanläggningen förtjockar det partikelhaltiga vattnet från uppsamlingsenheten till en torrhalt på 8 - 15%. Reduktionen av vatten är störst över trumfiltret. Försöken som genomfördes påvisade att ungefär 70% av inkommande mängd suspenderat material avskiljs i trumfiltret och samlas upp som slamvatten och förtjockas ytterligare över bandförtjockaren. Motsvarande procenttal totalfosfor följer med rejektvattnet ut från avvattningsanläggningen. Detta resulterar i att ca 30% av totalfosfor återfinns i slammet. Analysresultaten från provtagningarna varierar varför presenterade siffror innehåller en del osäkerheter. Bland annat förekommer ett flertal felkällor som till exempel variation i inkommande partikelhaltigt vatten, provtagningsmetodik samt avvikelser i volymmätningar. Då avvattningsanläggningen inte har designats med huvudsyftet att reducera fosforhalten i vattenfasen krävs andra kompletterande åtgärder för att uppnå ökad avskiljning. En möjlighet är att använda sig av fällningskemikalier där fosfor binder in till exempelvis aluminium och skapar ett svårslösligt komplex som inte påverkar recipienten i samma utsträckning som löst fosfor. Möjligheten att mer fosfor följer med slamfraktionen ökar samtidigt då större agglomerat inte filtreras bort i samma utsträckning över trumfiltret. En filterduk i trumfiltret med mindre porstorlek är också något som bör studeras närmare. En annan lösning är att låta rejektvattnet passera genom en spänningssatt behållare likt Axolot Solutions elektrokoaguleringsmetod.

## Rening av rejektvattenströmmar

I avvattningsanläggningen separeras slammet och dess näring ut men en anseelig mängd näring och partiklar blir kvar i vattnet som separeras ut vid både trumfiltret och bandfiltret. För att försöka rena detta vatten ytterligare genomfördes experiment tillsammans med företaget Axolot Solutions. I försöken användes deras reningsteknik AxoPur® på plats i Postviken i september 2021. AxoPur® är en patenterad elektrokoaguleringsmetod där processvattnet delas upp i ett renat vatten och ett flockulerat slam. Flockuleringen kan göras med både järn och aluminium, båda testades på rejektvattnet från avvattningsanläggningen. I experimenten undersöktes reduktionen av COD, BOD<sub>7</sub>, totalfosfor och totalkväve. Tekniken visade mycket lovande resultat för båda processvattentyperna men var mest framstående med flockulering tillsammans med järn. I vattnet från trumfiltret kunde så mycket som 88% av COD respektive BOD<sub>7</sub> avskiljas, 71% av kvävet och nästan all fosfor. För vattnet från avvattningsbandet var siffrorna lägre men fortsatt kunde en ytterligare mängd renas bort, 98% av fosfor och 19% av kvävet. I försöken med vattnet från avvattningsbandet uppkom komplikationer vid mätningen av reduktion av COD och BOD<sub>7</sub> varför dessa provsvar inte ansågs representativa.

Utöver vatten från avvattningsanläggningen testades en liknande teknik, dock i labbskala hos Axolots laboratorium på blodvatten från Vattudalens fisks slakteri. Även dessa tester visade positiva resultat med avseende på näringsreduktion men det gick inte att få bort den röda färgen på vattnet med den metod som användes.

Eftersom en anseelig mängd av uppsamlade näringsämnen går tillbaka till vattensystemet via rejektvattnet från avvattningsanläggningen med den reningsteknik som använts i projektet är användningen av ytterligare rening av rejektvattnet mycket intressant. Vad restprodukten, slammet, från Axolots reningsteknik kan användas till har inte undersökts ytterligare men skulle också kunna vara en resurs i samma utsträckning som slam från avvattningsanläggningen, se Redogörelse för mål 7.

Projektet med Axolot har finansierats av medel från livsmedelsstrategin men möjliggjorts genom den teknik, kompetens och infrastruktur som miljökassenprojektet byggt upp.

För att läsa mer om experimenten med rening av sidoströmmar från avvattningsanläggningen se bilaga 3.

## Partikeldrift

Den horisontella partikeldriften (mål 2) från öppen kasse utgörs av fiskens fekalier samt foderspill. Ett tydliggörande av mål två är att partikeldriften från öppen kasse primärt sker vertikalt men beroende på partiklarnas storlek, vattenströmmar och batymetrien så sprids partiklarna olika långt och en stor andel sedimenterar. Både den vetenskapliga litteraturen och samlade erfarenheter pekar på att den mest märkbara sedimentationen från en öppen fiskodling sker i nära anslutning till kassarna (ca 50–200 meter). För vissa odlingslokaler kan sedimentationsmönster se annorlunda ut om botten lutar kraftigt eller strömmar transporterar partiklarna vidare längre sträckor. Generellt när det gäller sedimentation brukar botten i en sjö eller i havet kunna klassificeras som transport-, erosions eller ackumulationsbotten där lokala förhållanden gör att sedimentation antingen ackumuleras eller transporteras vidare. Partiklarnas storlek varierar och är även beroende av vilket foder som används i odlingen.

Partikelavfall från fiskodling har minskat över tid (Schumann och Brinker, 2020), detta i takt med foderutveckling samt förbättrad utfodringsteknik. Beräkningar med det foder som använts under detta projekt visar att vi kan förvänta oss att ca 15% (TS) av utfodrad mängd (beräknat utifrån metod i Reid et al., 2009) ej tas upp av fisken utan blir partikulärt avfall. Detta avfall innehåller också vatten

och påverkas direkt av sin omgivande miljö. Mängden direkt foderspill har skattats till 3% baserat på vetenskapliga referenser (se Cromey m fl 2002, Bureau och Hua, 2010, Reid m fl 2009). För mer information om detta se bilaga 2.

Kvantifiering av partikeldrift kan betraktas på olika vis. Dels kan totalen utifrån det foder projektet använt beräknas till att ca 15 % TS av utfodrad mängd samt ytterligare ca 3% av utfodrad mängd lämnar kassen och utgör partikulärt avfall. Verktuget hydrodynamisk modellering kan vidare kvantifiera partikeldrift från en kassodling baserat på produktionens storlek, antal kassar och ingående data från den vetenskapliga litteraturen rörande partikelstorlek och sedimentationshastighet. Under åren som projektet har pågått har verktuget hydrodynamisk modellering för att åskådliggöra miljöpåverkan från öppen kassodling vidare utveckling förbättrats och förfinats. Kalibreringar mot reella sedimentationsdjup har även genomförts. Mer information om detta, se mål 4 samt bilaga 4.

När det gäller miljökassen så utgör partikeldriften från kassen den mängd partiklar som inte samlas upp. För vidare och fördjupad information rörande partiklar från öppen kasse se bilaga 2 samt redogörelse i mål 6 rörande näringsämnen.

### Redogörelse för mål 3

*Tagit fram en företagsekonomisk kostnadskalkyl för tekniken med partikulärt återtag från öppen kasse.*

Vid uppstarten av projektet var målet att ta fram en företagsekonomisk kostnadskalkyl och kunna beräkna kostnader för att återcirkulera näringsämnen. Då tekniken har utvecklats successivt med projektet och ingen stabil drift under en längre tidsperiod uppnåtts har dessa mål inte till fullo kunnat uppnås.

Utifrån de kostnader som sammanställts från projektet har en bedömning gjorts att använd teknik, inklusive kostnader för drift, installation och teknikutveckling kostat ca 3,3 miljoner. Utöver detta tillkommer kostnader för avvattningsanläggningen, vilken har hyrts av ett företag för 300 000 SEK/år. Kostnader som inte kunnat inkluderas i analysen är sådant som till exempel drivmedel- och elförbrukning eftersom det inte kunnat bokföras separat från ordinarie verksamhet vid odlingen. Eftersom kostnaderna i projektet varit betydligt högre än vad som kan anses rimligt för ett färdigutvecklat kommersiellt system har en bedömning gjorts för vad ett färdigt system torde kosta. Detta är dock endast en grov skattning eftersom systemet inte är färdigutvecklat. Det är därför viktigt att inte dra för stora slutsatser från dessa siffror då det kan ge en missvisande bild av potentialen av tekniken inför framtiden.

För att få en uppskattning av arbetstid för att drifva en semi-sluten anläggning har personalen på plats fått anteckna ned arbetstid som kan anses vara av sådan karaktär att det skulle utföras under "normala driftsförhållanden". Denna tid inkluderar alltså inte sådant som teknikutveckling, förbättringar och justeringar, provtagning för forsknings- och utvecklingssyften eller liknande. Då kontinuerlig drift inte uppnåtts under någon längre period utgår dessa data från en tvåveckorsperiod då driften fungerade som bäst. För att ytterligare förbättra dessa data har ansvarig drifttekniker på plats intervjuats om hans åsikt om potentiell drifttid för ett framtida fungerande system. Bedömningen har gjorts att när systemet fungerar borde det ta ungefär en timme per dag att drifva det.

Utöver att beräkna kostnaderna för det existerande systemet samt ett potentiellt framtida system har en bedömning av ett större system gjorts. Detta system bygger på 10 uppsamlingsenheter, vilket motsvarar ca 1500 ton foder, vilket är i paritet med den totala odlingen i Postviken. Bedömningen är

att avvattningsanläggningen som har använts i projektet skulle ha kapacitet att ta hand om slam från ytterligare nio enheter. Det anses inte troligt att det tar tio gånger så lång tid att drifva ett system med tio enheter jämfört med en, bedömningen har gjorts att det torde ta ungefär tre timmar per dag.

En investerings- och driftkalkyl har tagits fram för en potentiell framtida 1500 tons odling. Den har en avskrivningstid på investeringarna om 10 år med en ränta om 6%. Den totala initiala investeringen beräknas uppgå till 6 miljoner och driftkostnader till ca 620 000 kronor per år. Detta innebär en kostnad om ca 1,3–1 miljoner per år för företag de första fem åren. Det bör poängteras att detta är kostnaderna för själva partikelavskiljningen, utöver detta tillkommer kostnader för all annan utrustning som krävs för en kommersiell fiskodling.

I starten av projektet var tanken att slammet skulle kunna ge en viss avsättning om det kunde säljas vidare som till exempel gödsel. Projektet har visat att detta är en reell möjlighet, se Redogörelse för mål 7. Då systemet inte har kunnat uppnå kontinuerlig drift under tillräckligt lång tid har det dock inte varit möjligt att beräkna hur stor inkomst detta skulle kunna inbringa men det bör poängteras att det fortsatt är en framtida möjlighet om systemet utvecklas vidare.

För att trots projektets utfall få en uppskattning om vad som skulle krävas för att göra systemet lönsamt har vi räknat ut att om företaget fick lov att utöka sitt tillstånd med så lite som 5%, motsvarande 80 ton foder per år, skulle bruttoförsäljningen av fisk täcka kostnaderna för systemet. Detta är dock inte en möjlighet så som lagstiftningen är utformad idag där tillstånden begränsas av fodermängden och inte utsläpp av närsalter men det visar ändå på att en relativt liten ökning av tillstånden skulle kunna göra investeringen ekonomiskt lönsam. Det är dock mycket viktigt att ha i åtanke, när vi tittar på den ekonomiska redogörelsen, att vissa kostnader endast är uppskattningar och att en del information saknas. Driftkostnaderna skulle till exempel kunna bli betydligt högre om drivmedels- och elkostnader inkluderades. Även förbrukningsmaterial är förmodligen underskattade eftersom dessa kostnader baseras på vad som använts i projektet när tekniken endast används under vissa perioder.

För en fullständig redogörelse av de kostnader som har analyserats i projektet se Bilaga 5.

#### Redogörelse för mål 4

*Formulera en plan för ett fortsatt arbete runt en hydrodynamisk modell för utvärdering av effektivitet samt genomför enklare pilotmodell.*

En hydrodynamisk modell är ett verktyg som används för att beräkna hur vatten rör sig baserat på ett flertal drivande faktorer. Exempelvis tas hänsyn till vind, inflöden och batymetri så att strömmarna återges på korrekt sätt. Hydrodynamiska modeller kan även användas som verktyg för att studera verksamhetens miljöpåverkan. Genom att modellera hydrodynamiken i en vattenförekomst kan spridning och spädning av till exempel fiskodlingsrelaterat avfall (vattenlösliga näringsämnen och partikulärt material) beräknas.

Inom projektet har data i form av bland annat vindobservationer, strömmätningar och sjömätning (batymetri) samlats in. Trots att kvaliteten på vindobservationerna inte varit tillräcklig för att använda direkt som indata till modellen har de kunnat användas för att utvärdera andra vindstationer genom enklare korrelationsanalyser. På så vis har denna vinddata på ett betydelsefullt sätt förhöjt kvaliteten på modellens drivdata. Det kan således konstateras att denna data varit värdefull för projektet och det rekommenderas att liknande mätningar sker i områden där hydrodynamisk modellering kan vara av intresse.

Insamlad batymetri har, tillsammans med äldre sjökort, använts för att beskriva sjöns bottenstruktur. Detta är en viktig förutsättning för att korrekt återge hydrodynamiken. Vidare har även insamlade djupdata kunnat nyttjas vid lokalisering och planering av pilotanläggningen samt referenskassen. Det kan alltså konstateras att denna datainsamling bör företas inför framtida projekt.

Det har genom diskussioner under projektets gång, och genom en workshop som genomfördes i december 2022 blivit klarlagt att det finns god potential att utveckla och förbättra de antaganden som till stor del ligger till grund för hydrodynamisk modellering av partiklar och näringsämnen från fiskodling. De främsta osäkerheterna, som dessutom spiller över på resultat av påverkansbedömning då resultaten kopplas mot de så kallade miljökvalitetsnormerna, utgörs av de vedertagna schabloner som beskriver hur stor andel fosfor som är ekologiskt tillgänglig. Förståelsen för de naturliga processer som över tid frigör fosfor från sediment från konventionell kassodling är av stor vikt, och framtida forskningsresultat som projektet bidragit till att ta fram kan således förhöja kvaliteten av modellstudier i framtiden.

Utöver dokumentationen i bilaga 4 har ett mindre antal rapporter över lokalisering och rejektivattenhantering tagits fram inom ramarna för projektet. Informationsspridning om modelleringens betydelse för vattenbruk har även skett genom digitalt seminarie i regi av Landsbygdsnätverket med deltagare från kommuner, regioner, myndigheter (Länsstyrelser, Jordbruksverket), intresseorganisationer (Vattenbrukscentrum, Matfiskodlarna), odlare och konsulter.

Arbetet med hydrodynamisk modellering har utvecklats mycket under projektiden och projektet har bidragit till denna utveckling genom sina olika aktiviteter. Det finns nu en bättre förståelse av miljöpåverkan från fiskodling, hur utsläppen kan modelleras på ett bättre sätt men även begränsningarna för hydrodynamisk modellering. Arbeta med utveckling av hydrodynamisk modellering kommer fortsätta så att framtidens modeller kan bli än mer kalibrerade mot verkliga förhållanden. För att ta del av en fullständig redogörelse för mål 4 se bilaga 4.

## Redogörelse för mål 5

*Erhållit, innan start av kommersiella delen, nödvändiga tillstånd för arbetet i kraftverksdamm under kommersiella förhållanden.*

Samtliga tillstånd och anmälningar som kunde identifierat som nödvändiga för att bedriva verksamheten under projektets gång söktes och beviljades. Detta inkluderade ett antal ändringsanmälningar enligt miljöprövningsförordningen till tillsynsmyndigheten från Vattudalens fisk samt att Strömsunds kommun lämnade in en ändringsanmälan enligt miljöprövningsförordningen för att få avvattna slam från fiskodling vid sina slamlagunder i Hoting.

För en fullständig redogörelse samt relevanta beslut se Bilaga 6.

## Redogörelse för mål 6

*En formulerad rekommendation, baserad på här skapade och redan existerande data, hur tekniken med partikelåtertag kan påverka närslutsutsläpp till recipienten, produktionsenhetens storlek, foder typ samt andra relevanta variabler.*

### Fosfors väg genom odlingssystemet

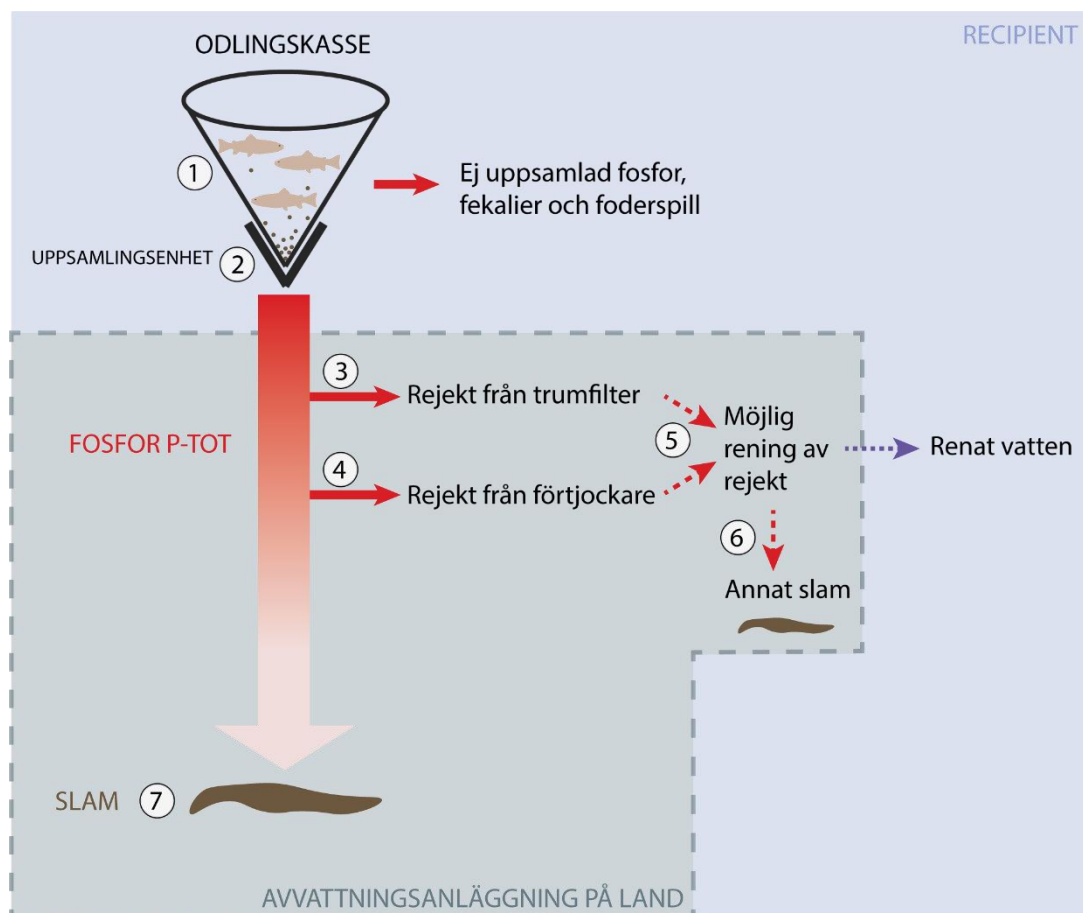
När fisk odlas tillsätts foder som fisken äter och omvandlar till biomassa. Fosforförluster från fiskodling i öppen kasse kommer från fekalier och foderspill samt även genom utsöndring från fisken. Odlingstekniken och fodren har förbättrats över tid vilket minskat näringsämnespåverkan från odling i öppen kasse. Att arbeta för att minimera foderspill samt sträva mot att använda fodersorter med



ett lågt fosforinnehåll är åtgärder som odlaren kan vidta för att minska på det partikulära avfallet från odlingen. För en djupare redogörelse rörande detta, se bilaga 2.

Med tekniken miljökassen minskar näringsämnesförlusterna till recipienten. Att i framtiden möjliggöra så stor uppsamlingsandel av fekalier och foderrester som möjligt utgör en viktig åtgärd för att minska näringsämnesläckaget. Tekniken kan däremot inte samla upp all löst fosfor, varken den som fisken utsöndrar eller den som släpper från fekalier och foderspill innan uppsamling och uppumpning sker. Våra undersökningar och mätningar visar vidare tydligt att det sedan efter uppsamling sker fosforförluster i avvattningsanläggningen vilka med relativt enkla medel kan hindras eller återtas, se redogörelse för mål 1.

För att få en bättre förståelse för uppsamlingsenhetens och anläggningens effektivitet har fosforflöden och fosforförluster studerats närmare. Fosforns väg genom odlingsystemet åskådliggörs i Figur 7 och redogörs för i närmare detalj i bilaga 1 och 2.



Figur 7. Schematisk bild över fosforns väg genom odlingsystemet. 1. Regnbåge odlas i odlingskassen, fosfor avges i löst och partikulär form från fisken, fekalier samt foderspill. 2. Uppsamlingsenheten samlar upp partiklar vilka förs vidare till avvattningsanläggningen. 3. Trumfilter reducerar merparten av inkommande vatten. Med vattenfasen följer stor del av fosfor i det partikelhaltiga vattnet. 4. Förtjockning sker för att öka torrhalten på det avvattnade slammet ytterligare. Förlust av fosfor sker även här. 5. Rejektvatten från respektive avvattningssteg kan behandlas separat eller ihop för att tillvara ta näringsämnen. 6. Flertalet tekniker kan tillämpas för att fälla ut näringsämnen till ett nytt slam. 7. Det förtjockade slammet innehåller kvarvarande mängd fosfor.

Resultaten från de massbalansförsök som genomförts visade att miljökassentechniken i prototypform 3 har potential att pumpa upp cirka 5% av den fosfor som kommer från odlingen av fisk. I avvattningsanläggningen följde ytterligare cirka 70% med rejektvattenströmmar ut medan 2% av

total mängd fosfor som avgår från fiskodlingen slutligt återfanns i slamfraktionen. Rening av rejektivattenströmmen från framför allt trumfiltret skulle därmed ha en betydande/icke försumbar effekt på den totala andelen uppsamlad fosfor och är därför att rekommendera.

Fosforfraktioner i foder och fekalier

Fiskfoder har genomgått utveckling över tid och dagens moderna foder har en lägre fosforhalt än tidigare. Vidare har utvecklingen gått mot bättre anpassningar av råvaror vilket innebär att en större andel av innehållet i fodren kan tillgängliggöras av fisken. Detta gäller även för fosfor.

Ett kontrollerat försök har genomförts för att möjliggöra att mäta andelen biologiskt tillgänglig fosfor i fekalier och foder från de foder som använts i projektet. Delar av försöket har finansierats genom livsmedelsstrategin.

Resultaten visar att från det fasta fosforavfallet från en odlingsprocess är 4–5% att betrakta som biologiskt tillgänglig fosfor, beroende på fodersort (konv resp RAS-foder). Resterande fosfor som är biologiskt tillgänglig utsöndras fisken direkt i löst form. Totalt visar en massbalans över odlingsprocessen att ett foder innehållande 7,6g P/kg tillsatt foder till systemet ger upphov till 3,0 respektive 3,2g P/kg avfall från odlingsystemet. Detta avfall består av 1,2g P/kg fosfor i urin (båda fodersorter) och 1,8 P/kg respektive 1,9 P/kg fast avfall för kontroll- och RAS-foder.

Totalt lämnar 43 respektive 42 % av fosforavfallet odlingsystemet i biotillgänglig form. Av dessa procentsatser uppgör 5 respektive 4 % biotillgängligt fosforavfall i fast form.

Anmärkningsvärt är att en så stor andel av fosfor i fast material såsom foderspill och avföring till stor del består av restfosfor som anses icke-tillgänglig för biologisk produktion. Förbättringar i foderutvecklingen har sannolikt bidragit till dessa låga siffror. Resultaten understryker vikten av en effektiv utfodring för att minimera fosforförluster från odling av fisk.

För ytterligare detaljer om fosforfraktioner i foder och fekalier, se bilaga 8.

#### Sediment – allmän karaktärisering

Inom ramarna för projektet har kassodlingens miljöpåverkan varit ett ämne i fokus. Kunskap har saknats rörande de sediment som uppkommer från odling genom partikelnedfall samt den fosfor som finns i sedimenten. Projektet har varit direkt bidragande till att möjliggöra en breddad kunskap om hur sedimenten ser ut, vad de innehåller och hur hårt fosfor är bunden till sedimenten. Inom ramarna för miljökassenprojektet har två sedimentundersökningar genomförts i Ströms Vattudal. Dels en mycket lokalt vid miljökassen och referenskassen, dels en undersökning där sedimentprov togs i ett större geografiskt område i sjösystemet.

, En större sammanställning av tillgängliga data från sediment invid fiskodlingar samt referenssjöar har satts samman inom ramarna för ett mindre projekt som finansierats via livsmedelsstrategin.

Sammantaget har dessa undersökningar av fiskodlingssediment, både i Ströms Vattudal men även på flertalet andra platser givit oss följande kunskap,

sediment invid fiskodlingar:

- Har ofta en hög vattenhalt.
- Innehåller mycket organiskt material.
- Kan men behöver inte nödvändigtvis uppvisa mycket höga fosforhalter (TotP), totalfosforhalten i sedimenten varierar mellan platser.

- Domineras av kalciumbunden fosfor. Denna form är att betrakta som hårt bunden under förutsättning att pH hålls över 6,5.
- Andelen fosfor som kan betraktas som möjlig att bli biologiskt tillgänglig över tid i ytliga fiskodlings sediment är ca en tredjedel av all fosfor i sedimenten. Denna skattning baseras på att det är järnbunden fosfor, porvatten samt organiskt bunden fosfor som bli biologiskt tillgängligt över tid.

Sediment invid fiskodlingar återhämtar sig över tid med avseende på fosforläckage. Det vill säga, den fosfor som kan bli biologiskt tillgänglig över tid från det aktiva sedimentlagret läcker ut och de näringsrika sedimenten slutar med tiden att bidra till internbelastning. Tid till återhämtning beror av många faktorer men kan variera mellan ca 5–15 år. En undersökt lokal har även uppvisat en snabbare återhämtningstid än så då den efter två år hade återhämtat sig. För mer information om påverkan på sediment, se bilaga 9.

### Slutsats/Rekommendation mål 6

Projektet har visat att uppsamling av fosfor och partiklar är möjligt med hjälp av denna teknik, en stor framgång som krävt mycket arbete. Andelen av utsläppen som samlas upp var ej kvantifierbara med prototyp 2 med anledning av svårigheter med pumpning upp till land. Prototyp 2 skattades dock samla relativt mycket avfall ute i vattnet. Med Lift-up systemet och prototyp 3 var driftspersonalen efter en del justeringar mycket positiva över hur anläggningen skulle kunna skötas enklare på daglig basis. Däremot var själva prototypen för liten och andelen partiklar och fosfor som samlades upp var relativt liten. En större uppsamlingsgrad kommer resultera i minskade fosforutsläpp från odlingen.

En del av fosfor från odling av fisk frigörs direkt från fisken vilket innebär svårigheter i att samla upp ett sådant näringsämnestillskott med tekniken som utvärderats inom projektet. Från foder och fekalier frigörs även en viss andel fosfor i en biologiskt tillgänglig form men hos moderna foder är den andelen att betrakta som liten. För att minimera utsläppet av näringsämnen från avvattningsprocessen och därigenom öka andelen uppsamlad fosfor från hela odlingsprocessen bör fokus läggas på rejektvattnet från trumfiltret. Rening av denna vattenström skulle minska totalutsläppet av fosfor till recipienten. Den reningsteknik som utvärderats i samarbete med Axolot solutions är en möjlig väg att gå men ytterligare undersökningar av exempelvis det slam som uppstår i den processen behövs.

Likt för öppen kasse är en effektiv utfodring av största vikt. En ökad andel foderspill ökar avfallet samt fosforförlusterna från produktionen.

Utökad kunskap rörande fosforfraktioner i foder, fekalier och sediment belyser fosfors väg genom odlingssystemet. För att utöka kunskapen kring fosforläckage från sediment behövs mer kunskap rörande de hårt bundna fosforfraktionerna och om och hur biotillgängligheten hos dessa förändras över tid i den miljö avfallet hamnar. Uppsamling av fast avfall med hjälp av miljökassen hindrar fosforrika partiklar att deponeras på sjöbotten över tid.

Rekommendationen är att tekniken har stor potential men behöver ytterligare utvecklingsarbete för att nå driftfärdig form. Tekniken har potential att minska både mängden partiklar samt mängden näringsämnen från odling i öppna kasse om förbättringar i framtida prototyper samt gällande rening av rejektvatten görs.

## Redogörelse för mål 7

*Formulera en analys och rekommendation för hantering, processering, samt användning av slamrester utvinna genom partikel återtag. Detta gäller såväl biologiskt, tekniskt som juridiskt.*

Målet redovisas i sin helhet i fyra olika PM/rapporter (bilaga 10, 11, 12 och 13) och sammanfattas nedan.



*Figur 8. Fotografi av slam från Miljökassen efter att det har gått igenom avvattningsprocessen vid anläggningen i Postviken.*

### Juridiska aspekter för användning och behandling av fiskslam

Den juridiska undersökningen syftade till att:

- Öka kunskapen om lagstiftningen och eventuellt behovet för regelmodifieringar om man avser att återföra slammet till ett kretslopp samt om tekniken kan appliceras i kommersiella tillstånd.
- Utredda vilka lagar och regler som kan kopplas till denna verksamhet och huruvida det finns några hinder mot att använda avfallet (slammet) till exempelvis gödning.
- Klargöra vilka lagstiftningar och direktiv som är tillämpliga och därmed kunna visa på vilka tillstånd som krävs för nya odlingssystem som möjliggör slamuppsamling och näringsåterföring till land.
- Klargöra om befintlig lagstiftning behöver utvecklas i något avseende, till exempel vilka för användning av slammet som gödning.

För detta mål undersöktes potentialen att använda slammet som gödsel, biogas/biobränsle, jordförbättring samt skogsgödsling. För att möjliggöra användning inom dessa området undersöktes också ett antal tekniker; avvattning, torkning, biologisk behandling såsom rötning, samt hydrotermisk karbonisering (HTC).

Vad gäller lagstiftning för fiskslam har projektet kunnat konstatera att fiskslammet inte anses vara en animalisk biprodukt så länge den inte innehåller kroppsdelar eller dylikt från fisken. Det är därför viktigt att det finns rutiner för att avskilja till exempel död fisk från slammet. Fiskslam får idag inte klassas som gödsel enligt EU vilket innebär att det inte kan säljas som en CE-märkt produkt på en fri marknad. Däremot kan det användas som gödsel inom Sverige och säljas inom landet. Slammet får spridas så länge Jordbruksverket riktlinjer om kväve/fosfor halter på åkermark följs och att slammets innehåll av näringsämnen och tungmetaller analyseras på årlig basis med samma analyspaket som för

avloppsslam och att halterna då inte överskrider var de är tillåtligt att sprida. Det kan även användas som gödning i skogsmark så länge riktlinjer och anmälningar görs i förväg. Skogsmark gödglas dock ofta med en kväverik gödsel (150 kg/hektar) vilket kan göra fiskslammet mindre lämpligt för detta ändamål då det framför allt är rikt på fosfor.

Det finns inga juridiska hinder för att använda slammet i en biogasanläggning. För teknisk användning av slammet i biogasanläggningar se Tekniska aspekter för användning och behandling av fiskslam.

Fiskslammet kan hanteras inom Avfallsförordningen (2020:614) och utgör då ett icke-farligt avfall, dock upphör det att vara ett avfall om det finns en marknad eller efterfrågan av ämnet. Om slammet ska användas för något ändamål, till exempel gödning av åkermark, kan det i stället klassas som en biprodukt som *har uppkommit i en produktionsprocess där huvudsyftet inte är att producera ämnet eller föremålet* enligt 15 kap §1 miljöbalken.

### Tekniska aspekter för användning och behandling av fiskslam

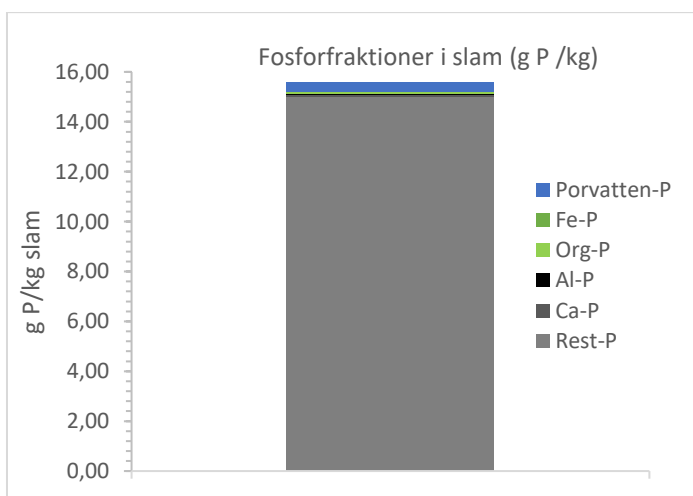
Ett flertal analyser har genomförts i syfte att karaktärisera och öka kunskapen om slammet från anläggningen. Slammet har en brunaktig färg och en torrsubstans om 8–15%. Slammet kan beskrivas som flyktigt, dess sammansättning redogörs för i Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Slammets sammansättning avseende torrsubstans och vanligt förekommande växtnärsämnen för åren 2020–2022.

År	TS (%)	Kväve (g/kg)	Fosfor (g/kg)	Kalcium (g/kg)	Kalium (g/kg)
2020	15,7	45,3	6,7	12	0,48
2021	16,0	57,0	7,54	-	-
2022	8,6	39,9	19	36	0,38

### Fosforfraktioner i slammet

Slam från anläggningen provtogs under tre åtföljande dagar under sommaren 2022 och proven (n=27) analyserades för fosforfraktionering. Resultaten visar att den fosfor som återstår i slammet efter avvattning till ca 96 % består av fraktionen rest-fosfor, vilken utifrån dagens kunskap är att betrakta som hårt bunden (Figur 9). Detta är resultat vilka projektgruppen vill utvärdera ytterligare, dels rörande rest- fosfors egenskaper och dels vad det i förlängningen innebär för slammets förmåga att utgöra ett bra gödselmedel.



Figur 9. Fosforfraktioner i slam från anläggningen vid Ströms Vattudal (n=27).

### Tekniska användningsområden för slam

Utifrån de provtagningar som gjorts på slam i projektet, samt litteraturundersökningar, har potentialen för slammet som biogassubstrat undersökts. De höga halterna av kväve och fosfor ses som positiva vid biogasproduktion, däremot är halterna av kalium låga vilket gör att rötning av endast fiskslam ofta inte skulle ge ett fullgott gödselmedel. De relativt höga halterna av kadmium och zink ses också som ett problem om endast fiskslam skulle rötas. Under röttningsprocessen koncentreras dessa halter och vid teoretiska beräkningar hamnar zinkhalten över gränsvärdet för spridning och kadmium är nära gränsvärdet, se Tabell 3.

Tabell 3. Fiskslammet från projektet. Första raden är provtagning från projektet, andra raden en teoretisk uträkning efter rötning och tredje raden gränsvärdet för spridning av biogödsel.

Källa	Bly (g/kg TS)	Kadmium (g/kg TS)	Koppar (g/kg TS)	Krom (g/kg TS)	Kvicksilver (g/kg TS)	Nickel (g/kg TS)	Zink (g/kg TS)
Fiskslam Miljökassen	3,4	0,36	85	3,2	0,026	4	690
Biogödsel efter rötning	7,4	0,8	185	7	0,1	8,7	1500
Gränsvärden	100	1	600	100	1	50	800

Metanpotentialen i slammet ses som hög och bör kunna ligga i spannet 250–400 Nm<sup>3</sup>/ton VS (Volitile Soilids) och inga direkta problem med att använda substratet i biogas har kunnat identifieras, flera typer av anläggningar kan användas för denna typ av substrat.

Det föreslås dock att fiskslammet bör samrötas med andra substrat, till exempel flytgödsel, för att få ett bra näringsinnehåll som biogödsel samt få ned halterna av zink och kadmium. Inga fysiska tester har gjorts på slammets användning som biogassubstrat varför labbskaleförsök med slam föreslås innan storskalig rötning av slam från denna typ av anläggning påbörjas.

Mer om slammets användning som biogassubstrat finns i Bilaga 11.

Förutom att göra biogas av slammet har projektet undersökt hydrotermisk karbonisering (HTC) vilket innebär att slammet behandlas under höga temperaturer och under tryck vilket ger ett biokolsliknande material. Projektet har inte hittat några juridiska hinder för detta men det är en relativt ny, kostsam teknik som i dagsläget inte finns att tillgå i Sverige varför det inte ses som en hög prioritet för fiskslam.

En möjlighet, som givits tillstånd i detta projekt, är att lagra slammet i slamlaguner. I Strömsund, där de tilltänkta slamlagunerna är belägna, sker idag frystorkning av slam som sedan blandas med träflis för kompostering. Precis som för användningen av slammet som gödsel behöver provtagning ske årligen i likhet med avloppsslam för att kunna användas i olika slutändamål.

### Biologiska aspekter för användning och behandling av fiskslam

Under projektets tid genomfördes ett antal undersökningar om slammets egenskaper för olika syften. Utöver ovannämnda teoretiska undersökningar för användning till bland annat biogas gjordes praktiska försök med att använda slammet som gödselmedel/odlingssubstrat och substrat för odling avfluglarver.

### Svenskt fiskavfalls effektivitet som växtgödning

SLU i Alnarp genomförde experiment där basilika odlades med olika gödselmedel. Dessa undersökningar har utgjort ett satellitprojekt till miljökassen och delvis finansierats genom medel

från livsmedelsstrategin. Ett av gödselmedlen som testades var slam från odlingen i Postviken. Slammet samlades upp från odlingen under 2021, frystes och användes senare i växthusexperiment.

Basilika odlades under ca fem veckor i Alnarps växthus. För att kunna använda slammet korrekt analyserades dess innehåll, utöver näringsinnehåll analyserades även vilka aktiva biostimulanter som fanns i slammet. Utifrån kvävehalten i slammet räknades de ut hur mycket slam det skulle tillföras varje basilikaplant för optimal, teoretisk tillväxt. I experimentet utgick man från mineralgödsel och omvandlade så att varje planta fick antingen 0, 25, 50, 75, 100 eller 125% rekommenderad kvävehalt i form av fiskslam. Den andel av kvävet som inte kom från fiskslam ersättes med mineralgödsel för att uppnå minst 100% av rekommenderad mängd kväve. De olika variationerna av fiskslam och mineralgödsel tillsattes plantor odlade i pimpsten, torv eller jord. För att kunna jämföra fanns kontrollplantor odlade endast i substraten (jord, pimpsten eller torv) med eller utan mineralgödsel, totalt odlades 84 basilikaplantor under experimenttiden. Experimentet följdes upp genom att regelbundet fotografera och jämföra plantorna odlade i de olika substraten samt utföra mätningar av plantornas klorofyllhalt och gasutbyte.

När resultaten av experimentet utvärderades kunde det konstateras att om 100% mineralgödsel och 25% fiskslam användes eller 25% mineralgödsel och 100% fiskslam fanns det ingen statistisk skillnad mellan plantorna och kontrollplantorna som odlats med 100% mineralgödsel.

Slammets innehåll och näringsvärden var adekvat för att kunna användas som gödsel för basilika och halterna av tungmetaller var låga. Dock fanns inte samtliga nödvändiga näringsämnen i slammet och en del av näringen var inte biotillgänglig varför det inte kan ses som ett komplett gödselmedel utan behöver kompletteras med andra näringskällor, tex mineralgödsel.

Analysen av fiskslammets biostimulanter visade att slammet innehöll fytohormonet cytokininer, auxiner och fytohormonet salicylsyra vilka stimulerar tillväxt och ökar sjukdomsresistensen.

Med viss bearbetning (tex mikrobiell behandling för att förbättra biotillgängligheten) har fiskslam från semi-slutna system potentialen att vara en hållbar näringskälla och en källa till användbara biostimulanter inom växtodling.

För att läsa mer om dessa experiment se Bilaga 12.

#### *Fluglarver uppfödda på fiskodlingsslam - Påverkan på processeffektivitet och larvbiomassasammansättning*

Fluglarvskompostering är en ny avfallshanteringsteknik som röner allt större intresse bland forskare, medier och allmänheten såväl som hos avfallsföretag. Fluglarver föds upp på olika avfallsströmmar och omvandlar på så vis avfallet till högvärdesprodukter i form av sin egen biomassa och en typ av kompost (frass). Larvbiomassan kan användas som protein, och/eller fettfraktion i djurfoder, och på så vis ersätta mindre hållbara alternativ som soja och fiskmjöl. Frass-komposten, det som blir kvar efter att larverna separerats ut, kan användas som organiskt gödselmedel, och har på senare år väckt alltmer intresse då det innehåller både växtnäringsämnen och så kallade växtbiostimulanter. Fluglarver kan födas upp på de flesta biologiskt nedbrytbara material, dock resulterar substrat med hög proteinhalt (såsom mat-, och slakteriavfall) generellt i en mer effektiv process. Ett sätt att hantera substrat som är mindre väl lämpade för fluglarvskompostering, såsom fruktskal, är att samkompostera med ett proteinrikt substrat, såsom exempelvis olika typer av avfall från fiskodlingar.

Syftet med denna studie var att utvärdera påverkan på processeffektivitet och larvbiomassans sammansättning vid tillsats av fiskodlingsslam i olika inklusionsgrad. För att utvärdera påverkan av fiskodlingsslam på processeffektivitet och larvbiomassasammansättningen utvärderades olika

inklusionsgrad, från 10% till 50% fiskslam. För att minska vattenhalten tillsattes lika mycket bröd i alla försök (40%), medan grönsaksavskärsgraden varierade från 10% till 50% beroende på hur mycket fiskslam som tillsattes. Experimentet höll på i 13 dagar och larverna matades under denna tid tre gånger. När experimentet avslutats analyserades larvernans vattenhalt, aska, råprotein, råfett, växttråd, NFE samt fettsyraprofil. Alla behandlingar gjordes i triplikat.

Larverna växte och överlevde väl i alla behandlingar. Dock visade trenden att omvandlingseffektiviteten och genomsnittslarvvikten minskade med ökad inkluderingsgrad av fiskslam. Ingen påverkan på materialreduktion eller larvbiomassasammansättning kunde ses. Trenden visade på en något ökad Omega-3 halt med ökad fiskodlings slam, även om skillnaden mellan behandlingarna var marginell. Flera detaljerade studier bör göras på fiskodlings slam som substrat för uppfödning av fluglarver, men denna studie visar att det finns god potential.

För att läsa mer om detta experiment se Bilaga 13.

### Slutsats och rekommendation mål 7

Projektet kan konstatera att förutsättningarna för att använda slam från fiskodling kan ses som mycket goda. Slammet har intressanta egenskaper för användning som såväl gödsel, biogassubstrat och substrat för odling av insekter. Juridiskt har inga stora hinder påträffats som skulle göra det svårt att få avsättning för slam som producerats av semi-slutna system.

Då projektet inte lyckats med att samla upp några större mängder slam och det fortsatt är okänt hur omfattande ett framtida eventuellt partikelåtertag kan vara är det svårt att dra fullständiga slutsatser kring vad de bästa och mest önskvärda möjligheterna är för avsättning, processering och användning av slam är. I ett framtidsscenario är exempelvis också geografisk plats och lokala förutsättningar en viktig aspekt gällande slamproduktion.

Användning av slam i framtiden kommer att bero på vilka kvantiteter av slam som kan samlas upp med också var uppsamlingen sker geografiskt. Olika geografiska områden har olika förutsättningar för avsättnings av slam beroende på den lokala infrastrukturen, till exempel närhet till åkermark eller biogasreaktorer. Rekommendationen är därför att förutsättningarna för avsättningen av slam ytterligare behöver undersökas lokalt på de platser där tekniken kan bli aktuell att använda i framtiden.

Vidare rekommenderar projektgruppen även viss vidare utvärdering av fosfors egenskaper i slammet baserat på resultaten från fosforfraktioneringen där den största andelen av fosfor utgjordes av fraktionen rest-fosfor. Kunskaperna rörande denna fraktion behöver ytterligare utökas.

### Redogörelse för mål 8

*En formulerad rekommendation, baserad på mål 7, hur applicering av tekniken kan påverka myndigheternas bedömning, utifrån nuvarande och kommande lagstiftning för; nuvarande, förnyade, nya odlingstillstånd i olika typer av vatten för svenska kassodlare. I denna rekommendation inkluderas även en rekommendation hur denna teknik ska ses i förhållande till dagens BAT/BMT koncept.*

Vad gäller miljökrav för teknik förekommer framför allt två begrepp i svensk miljölagstiftning som beskriver olika kravnivåer. Det ena är begreppet bästa möjliga teknik (BMT) och det andra är bästa tillgängliga teknik (BAT). Begreppen förekommer också internationellt. På engelska talar man om Best Possible Techniques och Best Available Techniques. Det sistnämnda begreppet har olika innebörd i olika konventioner och direktiv. Begreppet bästa tillgängliga teknik finns i exempelvis Industriutsläppsdirektivet (IED-direktivet) och utgör en minimireglering. Sverige har, jämfört med



IED-direktivet, en striktare tillämpning av vilken teknik som kan krävas och regeringen gör bedömningen att ambitionsnivån inte bör sänkas. Målet har avgränsats till att redogöra för BMT eftersom BAT anknyter starkt till IED, vilket inte är relevant för fiskodling i öppna kassar.

Mål 8 innehåller ett antal frågeställningar som ska besvaras vid uppföljning av målet.

- 1) Hur förhåller sig den undersökta tekniken utifrån dagens praxis för BMT?
- 2) Hur kan applicering av tekniken påverka myndigheternas bedömning för nuvarande lagstiftning?
- 3) Hur kan applicering av tekniken påverka myndigheternas bedömning för kommande lagstiftning?

Nedan sammanfattas bedömningarna avseende detta mål. För en mer detaljerad redogörelse se Bilaga 14.

### Hur förhåller sig den undersökta tekniken utifrån dagens praxis för BMT?

Bedömningen är att den undersökta tekniken, att samla upp fekalier och foderspill, och därefter avvattning till slam i en avvattningsanläggning som testats inom ramarna för projektet fortsatt är att se som en teknik som inte är industriellt möjlig eller en tillgänglig teknik. Tekniken befinner sig fortsatt på experimentstadiet och en vidare utveckling av tekniken behöver göras innan den kan anses industriellt tillgänglig. Tekniken kan därmed, i dagsläget, inte anses uppfylla kravet på bästa möjliga teknik enligt miljöbalken.

### Hur kan applicering av tekniken påverka myndigheternas bedömning för nuvarande lagstiftning?

Prövningsmyndigheternas bedömning av tillåtligheten av fiskodlingar i öppna kassar utifrån nuvarande lagstiftning och beaktat den tekniken som utvecklats och testats inom ramarna för projektet kan ha haft en viss betydelse i de senaste avgörandena från 2020 – 2022.

Domstolen har uttalat att verksamhetsutövarna har redovisat omfattande redovisningar och utredningar samt visat på att öppna kassar utgör bästa möjliga och tillgängliga teknik för de i målen ansökta verksamheterna och på valda lokaliseringar.

Den semisluta tekniken som utvecklats och testats inom ramarna för projektet har inte prövats av domstolarna i de senaste målen. Utan domstolarna har utifrån vetskapen om att projektet pågår föreskrivit utredningsvillkor för verksamhetsutövarna. I de nya avgörandena regleras att verksamhetsutövarna sammanfattningsvis, men med vissa skillnader i lydelse mellan avgörandena, under en provotid ska utreda möjligheterna att odla regnbåge respektive röding i ett odlingssystem som innebär en möjlighet att samla upp fekalier och foderrester. I utredningskraven ingår även att utvärdera det nya odlingssystemet avseende tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar samt att hänsyn även ska tas till fiskens behov av näring, hälsa och livsmiljö.

Det är svårt att uttala sig om prövningsmyndigheternas bedömning av tillåtligheten för fiskodlingar i öppna kassar i framtiden och utifrån nuvarande lagstiftning kan tänkas förändras.

Den semislutna tekniken som utvecklats och testats inom projektet kan i dagsläget, inte anses uppfylla kravet på bästa möjliga teknik enligt miljöbalken, även om det i sak inte har prövats. Om bedömningen av om tekniken uppfyller kraven på miljöbalkens bästa möjliga teknik förändras i framtiden beror bland annat av hur den fortsatta teknikutvecklingen fortskrider.

## Hur kan applicering av tekniken påverka myndigheternas bedömning för kommande lagstiftning?

Innan vi vet om tekniken att samla upp fekalier och foderspill i framtiden kan uppfylla lagkraven om bästa möjliga och tillgängliga teknik kan vi i dagsläget endast spekulera i hur myndigheternas bedömning för kommande lagstiftning kan komma att påverkas.

Myndigheternas bedömning för kommande lagstiftning kan komma att påverkas av bland annat:

- Hur vidareutveckling av tekniken faller ut, både avseende uppsamlingstekniken samt avvattningstekniken.
- Hur effektivt uppsamlingsystemet kan bli efter ytterligare teknikutveckling.

Hur appliceringen av tekniken kan påverka kommande lagstiftning kan även komma att bero av om det sker ändringar i den lagstiftning som odling av fisk omfattas av. Det pågår en statlig utredning, *En moderniserad fiskelag och förbättrade förutsättningar att bedriva vattenbruk* (direktiv 2022:92) som bland annat ska föreslå förenklade förutsättningar för att bedriva vattenbruk, och ta ställning till om det är ändamålsenligt att samla de bestämmelser som reglerar vattenbruket i en ny lag med tillhörande förordning.

Om dessa utredningar utmynnar i ny lagstiftning och beroende på dessas utformning kan det innebära att fiskodling i öppna kassar som är ett bra exempel på klimatsmart livsmedelproduktion, och att tekniken blir än mer klimatsmart, och om tekniken som testats inom projektet visar sig fungera på så sätt som planerat och blir ekonomiskt rimligt att tillämpa kan detta påverka myndigheternas bedömning.

## Rekommendation

Med utgångspunkten från frågeställningarna ovan är rekommendationen att det behöver göras ytterligare utveckling av tekniken och mer utredningar och undersökningar innan tekniken eventuellt kan bli en industriellt tillgänglig teknik för branschen. En rekommendation av hur applicering av tekniken kan påverka myndigheternas bedömning kan tidigast göras när vi har en ny teknik som är att ses som bästa möjliga teknik.

Om tekniken visar sig bli industriellt tillgänglig i framtiden kan den skapa ökade möjligheter för verksamhetsutövarna att bedriva fiskodling på fler lokaliseringar än idag och öka produktion vid befintliga anläggningar.

## Redogörelse för mål 9 och 10

*Mål 9 - Resultaten från uppsatta mål ska både formuleras för vetenskaplig publicering i tillämplade tidskrifter samt vara lämpligt för såväl myndighetssverige som näringen och allmänhet. Detta kan kräva att resultatet formuleras i flera riktade rapporter. Publicering i vetenskapliga tidskrifter ska ske i samarbete med SLU.*

*Mål 10 - Resultaten ska utöver vetenskaplig spridning genom publicering i vetenskapliga tidskrifter och presentationer vid vetenskapliga möten också vara väl känt i näringen och hos relevanta myndigheter som ett resultat av projektets informationsarbete.*

## Kommunikation och resultatspridning

Projektet har väckt mycket uppmärksamhet och information om projektet, tekniken samt progress och resultat har presenterats vid många tillfällen och för en bred palett av målgrupper, både i Sverige och i internationella samverkansgrupper. Projektgruppen har fått förfrågningar kring att presentera projektet och olika aspekter/vinklingar av det vid ett stort antal tillfällen. Detta har starkt bidragit till

att kunskap om projektet idag finns både hos fiskodlare, forskare, tjänstemän, politiker och allmänheten. Projektet har genom detta även spridit en positiv bild av det utvecklingsarbete som pågår vilket projektgruppen upplever har kommit näringen till godo.

Vidare har teknikutvecklingen och arbetet på plats inspirerat och givit upphov till ytterligare frågeställningar och även samarbeten där vissa har resulterat i ytterligare bidragsgivna projekt och studier. Vissa av dessa projekt har genererat resultat som även nämns i denna rapport och har vidare relevans för utvecklingen av tekniken.

För en fullständig redogörelse av presentationer, utskick, publikationer, workshops mm som hållits under projekttiden se bilaga 15.

## Diskussion och slutsatser

Utvecklingen av en semisluten odlingsteknik med uppsamling av fekalier och foderrester har gått starkt framåt under projektets gång. Stora framsteg har gjorts genom vidareutvecklingen av flera prototyper samt relaterade tekniska lösningar. Projektet har demonstrerat att det är möjligt att pumpa upp och avvattna slam från fiskodling i öppen kasse vilket resulterar i ett semi-slutet odlingsystem.

Däremot har vägen varit kantad med många utmaningar, tekniska svårigheter och otillfredsställande resultat. Tydligt är att teknikutveckling tar tid och kostar pengar. Den utprovade tekniken är vid projektets slut inte färdigutvecklad för att kunna användas i kommersiella syften. De erfarenheter som testerna med de olika prototyperna samt avvattningsanläggningen givit bidrar till en ökad kunskap och förståelse för vidare arbete och utveckling av denna teknik i framtiden.

Vidare har projektet givit möjligheter till utökad kunskap gällande bland annat slam och fosfor från fiskodling. Dessa resultat är viktiga pusselbitar både för det kassodlingsbaserade vattenbruket i Sverige samt för framtida arbete med slam från denna typ av anläggningar.

Slammets egenskaper, användningsområden och framtid har varit prioriterade frågor under projekttiden. Möjligheten att nyttogöra stora mängder slam och därigenom cirkulera fosfor åter från vattenbruket har väckt många intresse. Applikationen att använda slammet som gödselmedel anses attraktivt, inte minst från de lokala lantbrukare i Strömsund som visat intresse för projektets slam och visat intresse för att få använda detta i sin verksamhet. Det finns inga direkta juridiska hinder i Sverige för att använda slammet som gödselmedel förutsatt att aktuell kommuns regelverk uppfylls.

Att låta slammet gå till biogas har också visat sig vara en reell möjlighet, dock kan inblandning av andra substrat behövas. Slammet uppvisar även andra intressanta egenskaper genom dess innehåll av biostimulanter. Det har visat sig vara ett bra gödselmedel vid odlingsförsök i växthus. Dock är det inte ett komplett gödselmedel utan behöver kompletteras med vissa näringsämnen från andra källor. Vissa frågetecken kvarstår även baserat på fosfors låga biotillgänglighet i slammet i dess obehandlade avvattnade form och vad det eventuellt innebär för vidare nyttjande av denna resurs. Slammet har även visat lovande resultat som substrat för fluglarvsuppfödning där larverna växte och överlevde bra men omvandlingseffektiviteten sjönk ju högre andel fiskslam som inkluderades i substratet. Intressant är dock att högre andel fiskslam antydde högre Omega-3 halter i fluglarverna. Slam från fiskodling är ett substrat som väcker uppmärksamhet även på andra platser och projektet har samarbetat med nordiska projekt genom kunskapsutbyte och givande diskussioner.

Projektet har möjliggjort en fördjupad kunskap rörande fosforflöden från fiskodling. De undersökningar som genomförts bidrar med ny kunskap både rörande foder, fekalier, slam och sediment. Detta har bidragit till en ökad förståelse vilken kan stödja teknikutvecklingen samt bättre

lägga fokus kring var och hur fosforreducerande åtgärder är viktiga att sätta in. Projektet har även bidragit till utveckling av hydrodynamisk modellering genom workshops och erfarenhetsutbyte mellan forskare, modellerare och myndigheter för att få en ökad förståelse om viktiga parametrar och hur dessa bäst bör modelleras och åskådliggöras. Hydrodynamisk modellering har även varit ett relevant verktyg för att bestämma placering av odlingskassar samt utsläppspunkten för rejektvattnet i Ströms Vattudal.

Eftersom den teknik som utvärderats i projektet varken uppvisar en hög uppsamlingsgrad eller stabil effektiv drift över tid har det inte varit möjligt att räkna på kostnader som speglar en framtida och mer storskalig användning av tekniken. Den ekonomiska utvärderingen visar att investeringarna för ett kommersiellt system om ca 1500 ton foder/år beräknas kosta ca 6 miljoner i investeringar. Utöver detta tillkommer kostnader för ordinarie kommersiella kassodlingssystem samt markförberedelser och liknande för avvattningsystemet och slamhantering. Det har varit svårare att räkna på driftskostnaderna, dels för att systemet inte fungerat kontinuerligt under en längre period vilket gjort det svårt att beräkna arbetstiden. Det har inte heller varit möjligt att räkna ut drivmedels- och elkostnader separat för tekniken och hur dessa skulle kunna se ut för en större odling, även andra driftskostnader så som förbrukningsmaterial har varit svåra att uppskatta utan kontinuerlig drift under projektiden.

Tekniken är alltså i sin utvecklingsfas på prototypstadiet och är därför inte att betrakta som bästa möjliga eller tillgängliga teknik. Domstolarna har dock visat intresse för tekniken och ett flertal miljötillstånd för fiskodling från de senaste åren inkluderar uppföljning av möjligheterna att använda semi-slutna system i utredningsvillkoren. Huruvida tekniken kan komma att påverka framtida lagstiftning går dock inte att säga något om i dagsläget utan mer teknikutveckling behövs.

De erfarenheter som personalen på fiskodlingen i Postviken samlat på sig under de år som projektet pågått har varit mycket värdefulla. Sammantaget har personalen från Vattudalens fisk utvärderat arbetet med miljökassen som intressant men mycket tidskrävande. Arbetet med anläggningen har krävt ett stort antal platsbyggda lösningar och justeringar. Personalen ser positivt på vidare arbete med utveckling av denna nya teknik.

De utvärderingar som gjorts med avseende på vattenkemi i miljökassen kontra referenskassen har givit information om rådande förhållanden men är svåra att dra robusta slutsatser från med avseende på teknikutvecklingen. Jämförelse av syrehalter och suspenderat material i, respektive utanför, odlingskassarna visar inga tydliga skillnader. Vattenprovtagning i kassarna har däremot givit indikationer på att behov finns av ytterligare utvärderingar med fokus på partiklar, syre mm i framtiden. Detta med anledning dels av avvikande resultat vid en provtagning dels med anledning av att en vidare utveckling av nya prototypformningar kommer ge upphov till annorlunda förhållanden för fisken än vid de förhållanden som rådde i kassarna med prototyperna under projektets gång.

Under odlingssäsongen 2022 har fisken i miljökassen uppvisat en sämre aptit. Vid skrivande av denna rapport har ännu inte slutvikter eller samtlig död fisk rapporterats in från miljö- respektive referenskassen eftersom produktion fortsatt pågår i kassarna. Driftspersonalen har framfört att placeringen av kassarna skulle kunna vara en bidragande orsak till de aptitskillnader som kan skönjas. Detta tros vara på grund av att vattengenomströmningen inte varit tillräcklig eftersom kassen ligger relativt nära land.

Ytterligare en anledning till de skillnader i aptit som syns mellan de två odlingskassarna som diskuterats är huruvida Lift-up-systemet ger upphov till luftbubblor vid kassens botten vilka skulle kunna störa fisken och eller grumla upp partiklar. Vidare har även pumpintervallen diskuterats ur ett

välfärdsperspektiv då upprepade pumptillfällen skulle kunna vara en stressfaktor för fisken. Denna typ av frågeställningar har dock ej utvärderats systematiskt inom ramarna för projektet.

Projektet har och kommer även efter projekttidens slut att bidra positivt till det svenska kassodlingsbaserade vattenbruket. Detta genom ny kunskap och en bredare acceptans kring kassodlingens miljöpåverkan. Projektets innehåll och resultat har spridits till en bred målgrupp inom området samt i nischade nätverk. Genom detta har projektet bidragit till det övergripande projektmålet att stödja utvecklingen och expansionen av det kassodlingsbaserade vattenbruket i Sverige.

## Framtiden

Arbetet inom projektet öppnar upp för ytterligare teknisk utveckling. Ideerna är många och arbetet kommer att fortgå trots projektets avslut. Vattudalens fisk kommer tillsammans med Egersund group att arbeta vidare med prototyper och avvattningsanläggning på plats i Postviken. För att möjliggöra mer avancerad teknisk och biologisk utvärdering i framtiden skulle dock vidare projektmedel krävas.

Direkt teknisk utveckling som planeras är att ta fram en vidare utveckling av prototyp 3 för att öka uppsamlingseffektiviteten genom en större yta i vattnet. Aktuell sammanställning pekar på att rening av utgående vatten från trumfiltret även skulle ge en större uppsamling av fosfor. Framtida justeringar för att ytterligare öka effektiviteten av avvattningsanläggningen rekommenderas.

Diskussioner i projektgruppen samt med driftspersonalen har givit ideér om framtida lösningar för mer storskalig drift. Dessa innefattar möjligheter till partikeluppsamling från flertalet kassar ute i vattnet genom att exempelvis använda sig av en båt som tömmer flertalet uppsamlingsenheter och därefter kan docka in till avvattningsanläggningen på land för avvattning till slam.

Det finns ett större antal frågeställningar som projektgruppen skulle vilja utvärdera ytterligare och vidare. Dessa innefattar bland annat mijökassen och dess tekniska detaljer, fiskodlingens miljöpåverkan, nedbrytning av fosfor i sediment, slammets egenskaper samt fiskens välfärd i denna typ av anläggning.

## Referenser

- Bureau DP, Hua K., 2010, Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research* 41: 777–792.
- Cromey C.J., Nickell T.D. & Black K.D. (2002) DEPOMOD modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214, 211^239.
- Reid, G. K., Liutkus, M., Robinson, S. M. C., Chopin, T. R., Blair, T., Lander, T., & Moccia, R. D. (2009). A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture research*, 40(3), 257-273.
- Schumann, M., & Brinker, A. (2020). Understanding and managing suspended solids in intensive salmonid aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2109-2139.