

Vinnova d.nr. 2016-04306

Sammanfattande SLUTRAPPORT

Industriell Symbios för akvakultur i cirkulära flöden

SAMMANFATTANDE SLUTRAPPORT

Industriell symbios för akvakultur i cirkulära flöden

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Bakgrund	2
Recirkulation av näring.....	3
Akvaponik.....	4
Jämförelse Bioflock – RAS	4
Vattenkvalitet	5
Näringsflöde – kväve - kretslopp.....	5
Växtnäring till försäljning – ”fiskblomstra”	6
Tillgång till restvärme och organiskt avfall.....	7
Recirkulering av samhällets avfall	8
Regelverk.....	9
Konkret case inför genomförandeprojekt.....	10
Modeller liten skala	12
2 ton fisk/år	12
20 ton/år.....	13
Modell stor skala 100 och 2 000 ton/år	14
Kravlista storskalig produktion:.....	14
Anläggningsförslag	14
Kostnadskalkyl 100 ton.....	16
Kostnadskalkyl 2 000 ton.....	16
Fisk- och skaldjursarter.....	17
Clarias	17
Tilapia	17
Jätteräka	17
Djuretik och fiskarnas livsrum	18
Slutprodukt.....	19
Betalningsvilja.....	19
Slutsats	20

Sammanfattning

Livsmedelsstrategin trycker på vattenbruk, vilket har startat vissa initiativ och ökat intresset för landbaserat vattenbruk. Detta projekt har bidragit till att lyfta ämnet och kommer att ge ringar på vattnet.

Inom projektet har flera kandidater till ett genomförandeprojekt identifierats bland intresserade företag och industrier, och flera sådana från hela södra halvan av Sverige har hört av sig angående projektet och de möjligheter det kan innebära. En industri i Växjö är särskilt intressant, med mycket restvärme som idag inte används alls och dessutom organiskt avfall som är ett bra substrat för bioflockodling. Dialogen med denna kandidat fortsätter efter projektets slut, och ett landbaserat, hållbart vattenbruksföretag kommer med största sannolikhet att etableras i/nära Växjö inom något år. Det lokala intresset och lokala samhällsaktörer och kommunala grupper som har engagemang i frågan, mycket tack vare arbetet i detta projekt, är en nyckel till detta. Vi fortsätter dialogen även med övriga intresserade företag på andra orter för eventuella framtida möjligheter.

Projektet har också bidragit till värdefull kunskap och produktutveckling vad gäller bassänger anpassade för fisk- och skaldjursproduktion tillverkade av delvis återbrukad betong. C3C Engineering ser en affärspotential i att fortsätta utveckla detta koncept, och har genom projektet tillskansat sig viktig kunskap om landbaserad fiskodling som kan vara en viktig pusselbit till exportmöjligheter då den landbaserade fiskodlingen förutspås öka. Likaså har två nya former av organiska avfall, från ovanstående kandidat, testats för bioflockodling. Dialog har inom projektet förts med avfallssidan kring möjligheter att länka av samhällets organiska avfall för fiskodling. Projektet visar också på de stora möjligheter som finns att uppföra småskalig landbaserad fiskproduktion i flerfamiljshus eller lantbruksbyggnader till rimliga investeringar och med goda intäkter och många fördelar vad gäller social hållbarhet.

En tydlig slutsats som projektet bidragit till är att regelverket kring vattenbruk måste ses över och anpassas till landbaserat vattenbruk, något som behöver drivas gentemot regeringen. Projekt-deltagarna har en dialog med regeringsföreträdare och hoppas kunna driva dessa frågor mer framöver.

Bakgrund

Vattenbruk är världens snabbast växande livsmedelssektor och har så varit sedan 1974. Flera FN-organ, Världsbanken och långa rader av internationella bedömare samlas bakom analysen att vattenbruk växer och förväntas växa kolossalt snabbt över hela världen. Den enkla förklaringen är att efterfrågan på fisk fortsätter att öka samtidigt som flertalet marina försörjningssystem successivt tappas bärkraft till följd av överfiske och annan bristfällig förvaltning av haven som gemensam resursbas.

Redan idag är mer än 50 % av den fisk som konsumeras i världen odlad och andelen odlade fisk och andra akvatiska produkter växer snabbt. Ytterligare en pådrivande kraft bakom utvecklingen är att det är en allmän uppfattning att fisk är nyttigt för människor. Essentiella fettsyror som Omega 3 är en viktig ingrediens men flera andra nyttigheter finns i fisken. Ett annat klokt argument att satsa på fiskodling är att fisk är en vinnare i tävlingen att förvandla foder till filé. Fisken blir härmed en vinnare klimatmässigt.

När 100 kilo foder ges till fisk, kyckling respektive gris produceras djurkroppsvikt enligt nedanstående. Notera att fisken levererar mycket ätbart kött i relation till landdjuren. Kyckling och gris är enligt Jordbruksverket de klimatsmartaste landdjuren.

100 kilo foder ger	85-100 kilo fisk
100 kilo foder ger	35-60 kilo kyckling
100 kilo foder ger	20-30 kilo gris

I denna förstudie har vi utrett möjligheter och lösningar för att kunna realisera industriell symbios där produkten är fisk eller räkor och råvaror som recirkuleras är näring, återvunnet bassängmaterial och energi. Vi har i projektet kunnat visa på lösningar, med ritningar och kostnadsberäkningar, för att i olika storleksskalor kunna bedriva odling av fisk eller räkor där värme, organiskt avfall och betong recirkuleras. Vi har tagit fram ritningar och kostnadsberäkningar för 2, 20, 100 och 2 000 ton skördad fisk/år, samt översiktliga beskrivningar av några möjliga affärsmodeller.

Projektet har resulterat i dialoger på flera håll, bland annat med entreprenörer, investerare, avfallshanterare, flera industrier och intresseorganisationer samt näringslivsansvariga på kommuner. Dessa dialoger fortsätter efter projektets slut. Projektet har också bidragit till att en ny cirkulär Tilapiaodling baserad på industriell symbios med största sannolikhet kommer att uppföras.

Recirkulation av näring

I en fiskodling matas fisken med foder av något slag, vilket tillför näring till systemet och blir till fiskens tillväxt samt avföring. Överskottsningen från avföring och foderrester behöver i en landbaserad sluten odling aktivt föras ut ur systemet, något som kan lösas på olika sätt. Inom RAS (Recirculated Aquaculture System) löses det med hjälp av att pumpa vattnet genom filter och sedan återföra det renade vattnet. Inom Bioflock-odling används näringen av mikroorganismer i vattnet som blir till ett slags biologiskt filter direkt i bassängen. De samlas till bioflockar som vissa arter av fisk och skaldjur dessutom kan använda som en del av sitt foderintag. Inom akvaponik pumpas det näringsrika vattnet genom växtbäddar, där växterna tar upp näringen och sediment silas genom grusbädden. Vattnet förs sedan tillbaka till bassängerna.

Nedan förklaras akvaponik, RAS och Bioflockodling mer ingående.

Akvaponik

Akvaponik innebär att fiskar (eller andra vattenlevande organismer) samexisterar med växter och bakterier som omvandlar avfall från fiskarna till näring för växterna. Vattnet pumpas då oftast genom en växtbädd av grus som befinner sig ovanpå eller nära bassängerna, och det av växterna filtrerade vattnet återförs sedan till bassängerna. En tumregel är att ett ton fisk ger fisknäring till 10 ton grönsaker. I praktiken innebär detta att den som vill få ekvationen att gå ihop så att ingen näring lämnar och hamnar i avloppet eller annan recipient måste upplåta stora utrymmen och ljusmängder för odlingen. Akvaponik är möjligt både i storskaliga och småskaliga system.

Jämförelse Bioflock – RAS

Ett RAS-system bygger på externa filter och rening av odlingsvattnet. Externa filter inkluderar filter för uttag av avföring/partiklar och ett biofilter för hantering av kväve. Odlingsvattnet desinficeras och syresätts innan det pumpas tillbaka till odlingsbassängen.

I bioflocks-system främjas tillväxt av mikroorganismer i odlingsvattnet, dessa mikrober flockulerar och bildar större partiklar – bioflock. Bioflocken hanterar kretslopp av näringsämnen, biofilter och biosäkerhet samt konsumeras som ett komplement till foder. Syresättning av vattnet sker via luftning av vattnet i odlingsbassängen, denna luftning skapar även cirkulation och omrörning som håller bioflocken suspenderad. Ett bioflocks-system kräver ett system för att hantera mängden bioflock i odlingsvattnet men är annars fritt från extern apparatur.

	Bioflock	RAS
Generellt		
Slutet system	Ja	Ja
Fungerar inland/inomhus	Ja	Ja
Biosäkerhet	Hög	Hög
Hållbarhet, miljö	Hög	Hög med modifikation
Konstruktion		
Desinfektion odlingsvatten	Nej	Externt (UV/Ozon)
Biofilter	Internt (bioflock)	Externt (filtermedia)
Hantering/uttag av solids	Externt Sedimenteringstank / skimmer – hantering / uttag	Externt Trumfilter/skimmer – alltid ett uttag
Syresättning	Internt - luftning	Externt, ofta via syrgas
Biologi		
Biosäkerhet	Via mikroflora (bioflock)	Via desinfektion
Kretslopp, näringsämnen	Ja (lägre FCR)	Ej utan exempelvis akvaponik
Kvävehantering	Hetero -och autotroft	Autotroft
Vattenkvalitet	Kräver mer underhåll, beror	Stabil
Ackumulering kväve	Beror	Ja, beror
Tillsats av kolhydrat	Beror	Nej
Kräver pH-reglering	Ja	Beror
Ekonomi		
Initial investering	Lägre	Högre
Energiåtgång	Lägre	Högre
Personal		
Drift	Krävs hög kunskapsnivå för drift	

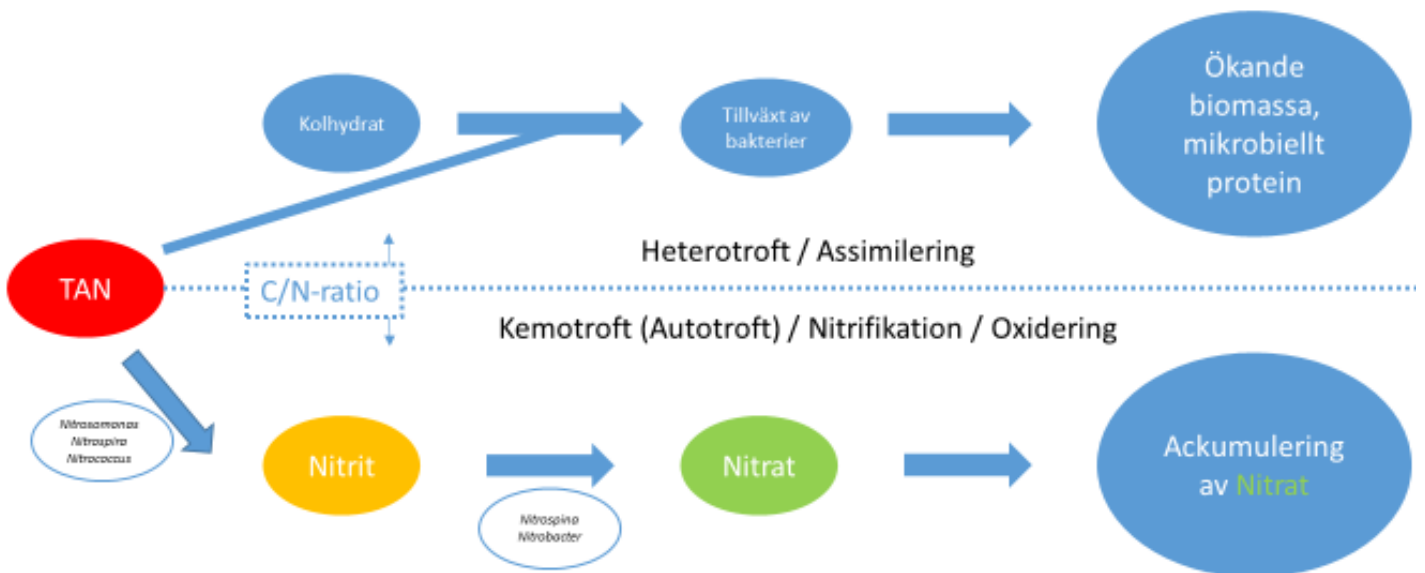
Vattenkvalitet

I ett RAS-system är vattenkvaliteten beroende av fungerande biofilter och kontinuerligt uttag av solida partiklar.

I ett bioflocksystem är vattenkvaliteten beroende av bioflocksvolym (vikt flockpartiklar per volym odlingsvatten). Vattenkvaliteten försämras både vid för låga och för höga nivåer. Att balansera bioflockvolym utgör en av de största utmaningarna med bioflocksystem. Ett bioflocksystem måste konstrueras på ett sådant sätt att man aldrig får ett sediment eller ansamling av slam i odlingsbassängen, partiklar måste hållas i lösning. Partiklar hålls i lösning via cirkulation av vattnet som ofta styrs av samma metod man använder för syresättning – luftning.

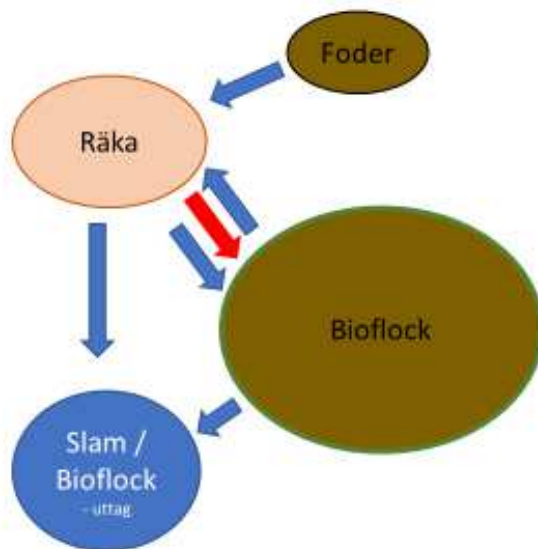
Näringsflöde – kväve - kretslopp

Kväve i dess olika former styr mycket av vattenkvaliteten i en odling, men är också det största näringsläckaget. Ungefär hälften av kvävet från proteinet i fodret utsöndras i form av TAN (ammoniak). I ett RAS-system kommer TAN att oxideras av bakterier i ett biofilter till nitrat, kvävet blir på detta sätt otillgängligt och måste på något sätt tas ur systemet. I ett system där man främjar tillväxt av bioflock kommer TAN tas upp av mikrober för att skapa nytt protein. Hur mycket av TAN som kan ombildas till nytt protein beror på hur mycket tillgänglig energi det finns för mikroberna per enhet TAN. Detta beskrivs som kvoten mellan tillgängligt kol (C) och kväve (N), C/N-ratio. C/N-ratio styrs via proteininnehållet i fodret eller via tillsats av kolhydrat som exempelvis melass, glycerol, socker eller stärkelse. I ett bioflocksystem kan kvävehanteringen styras att vara strikt åt ena eller andra hållet men kan också vara en mix av båda systemen av kvävehantering.



Figur 1 Schematisk bild över hur TAN (Ammoniak) tar olika vägar beroende på tillgänglighet av kolhydrat. Kvävet vägs styrs av förhållandet mellan kol och kväve i fodergiva/input.

Bioflock och räka skapar ett kretslopp av protein/kväve genom att räkan kan konsumera bioflockspartiklar som ett komplement till foder. Konsumtion bioflockspartiklar gör att foderanvändning i ett bioflocksystem kan vara upp till 20 % lägre än i ett RAS-system. Beroende på hur man sköter ett bioflocksystem så kommer man behöva ta ut en del koncentrerad bioflock genom extern sedimentering. Bioflock fungerar som helfoder till andra arter, som Tilapia, eller så kan den gå till biogas.



Figur 2 Beskriver hur bioflock är ett komplement till foder

Sammanfattning RAS - Bioflock

RAS bygger på externa filter och apparatur. Kväve oxideras och ingår inte i något kretslopp. Ett RAS-system är dyrare att bygga, dyrare att ha i drift men stabilt och enkelt att sköta.

Ett bioflocksystem bygger på interna biofilter genom att främja tillväxt av mikrober. Kväve ingår i ett kretslopp vilket leder till lägre foderanvändning. Ett bioflocksystem är billigare att bygga och drifta men kräver mer underhåll för att fungera stabilt. Slam från bioflock kan användas som foder till andra arter och på så sätt ingå i ett annat kretslopp.

Växtnäring till försäljning – ”fiskblomstra”

Växtnäring i fiskodling kan recirkuleras inom odlingen antingen genom akvaponik eller bioflockodling. I detta projekt har vi också undersökt möjligheten att utvinna näringen i ett RAS-system.

De småskaliga modellerna kan drivas genom RAS eller akvaponik (bioflockodling kräver större vattenvolymer). Vid akvaponik krävs dock stora ytor av grönsaksodling om all näring ska kunna göras åt (varje ton fisk ger näring till tio ton grönsaker). Att odla upp all växtnäring kan därmed vara svårt och därför vill vi utveckla en modell där överskottsnäring som tas ur systemet samlas i en form som gör att näringen kan lagras, transporteras och hanteras utan problem. Finns inte tillräckligt mycket

grönsaker, eller inga, kan växtnäringen tas omhand från filter och användas till kommersiell försäljning av växtnäring på flaska. Företaget Again i Göteborg tillverkar växtnäring för en kommersiell marknad från humanurin. Metoden bygger på att växtnäring binds i mineralen zeolit som sedan kan användas för att släppa näringen till växter. Samtal om samverkan har kommit igång med Again och SV Horto har deltagit för att hjälpa till med analyser av fiskvatten och det vatten som går till växterna efter att ha passerat ett trumfilter som skiljer av partikulärt material. Ett problem med RAS-system är ofta att makronäringen är löst i vattnet och går vidare till växtsystemet men mikronäringen hamnar i slammet som skiljts ut i trumfiltret. Projektets försök inkluderar tester av hur vi kan mineralisera slammet för att tillverka ett slags "fiskblomstra" att sälja i handeln som alternativ till vanlig växtnäring som är dyrt och inte särskilt hållbart.

Tillgång till restvärme och organiskt avfall

Genom att odla tropiska fisk- och skaldjursarter fås bättre lönsamhet på samma mängd foder, eftersom dessa arter kan växa betydligt snabbare än arter från norra halvklotet tack vare det varma vattnet. Lättodlade fiskarter som Tilapia och Clarias är dessutom anpassade till föda som till stor del, eller helt och hållet, består av vegetabilier. Detta är en stor miljöfördel eftersom fiskmjölet i konventionellt fiskfoder leder till utfiskning av haven med mera. För att kunna odla dessa tropiska arter krävs dock energi för att värma upp vattnet. Att använda restvärme från industrier är en naturlig lösning för att undvika onödig energianvändning och kostnader för fiskodlaren. Många industrier avger också organiskt avfall – allt från livsmedelsindustrier till trä- och pappersindustrier – något som kan användas direkt eller indirekt som foder till fisken/skaldjuren.

Flera industrier har i detta projekt visat sitt intresse av att använda sin restvärme och i förekommande fall organiskt avfall till produktion av fisk. Utvärderingen visar att den springande punkten ofta är kontinuiteten för restvärmen, och tillgången till byggnader eller byggbar mark på fastigheter planlagda för industri eller livsmedelsproduktion. Organiskt avfall går enklare att införa utifrån, genom exempelvis samarbete med livsmedelsproducent eller lantbrukare i regionen.

I slutet av projektet framkom ytterligare en möjlighet till organisk restkälla att använda som foder. Region Kronoberg kommer på försök att använda en maskin som tar hand om matresterna i ett lasaretskök och maler och torkar dessa till ett pulver, där 100 kg matrester över en natt omformas till ca 10 kg pulver. Detta pulver kommer att utvärderas för användning i bioflockodling av Symbiom AB, och om detta faller väl ut fortsätter dialogen kring regelverk med mera för att eventuellt kunna använda detta avfall i den planerade fiskproduktionen i Växjö, se "Konkret case" nedan.

De flesta företag vill ha betalt för den restprodukt de erbjuder vattenbrukaren, vare sig det är värme eller organisk produkt. Företaget som erbjuder restvärme och avfall säljer därmed detta till överenskommet pris till vattenbrukaren. Ett annat alternativ är att företaget får en andel av vattenbrukarens förtjänst på skördad fisk/skaldjur, eller en viss mängd skördad fisk/skaldjur, om företaget deltagit i att göra etableringen möjlig genom att investera i byggnation av anläggningen.

Det förekommer också att företaget ger bort värme eller organisk restprodukt gratis för att öka sin gröna profilering. Det kan vara mycket effektivt. Bra publicitet i form av artiklar om hållbar fisk- eller skaldjursodling tack vare företagets restprodukter ger bättre marknadsföring och mer intäkter än ett helt års annonskampanjer. Detta enligt det företag som erbjudit sina organiska restprodukter till hållbar produktion av jätteräkor.

Recirkulering av samhällets avfall

Att kunna använda samhällets matavfall till djurfoder, och först i nästa steg förädla det till biogas, vore en stor miljöframgång samtidigt som det skulle ge ekonomiska fördelar. Det finns dock en rad utmaningar som väntar när vi tar itu med detta angelägna arbete, förutom att lagstiftningen idag inte tillåter det. Några vanliga frågor/trösklar:

- Ska vi verkligen ha animalieproduktion i tätorten, det övergav vi ju för snart 100 år sedan?
- Tillåter lagen att vi använder insekter som foder till fisk?
- Finns teknik och logistik för att skilja av, kvalitets säkra, transportera, lagra, processa avfall till foder?
- Tillåter entreprenören att någon tar biogaspotentialen från dem för att göra foder?
- Vad säger konsumenten om fiskfilé som kommer ur stadens avfall?

Efter en serie möten med intressenter kring Göteborgs och i vissa fall regionens avfallshantering är vi förvissade om att detta arbete måste intensifieras och struktureras. Detta projekt har visat att behov och intresse för vårt arbete och andras med liknande inriktning är mycket stort men att ansatserna är trevande och bara i en startfas. Vi har i detta projekt kunnat bjuda in till dialog kring möjligheten att länka av lättnedbrytbart organiskt avfall från det stora avfallsflödet för att producera fiskfoder och annat animaliefoder. Claes Roxbergh är ordförande i Renova AB, Göteborgsregionens stora avfallsentreprenör. Claes var tidigare så kallat kretsloppskommunalråd i Göteborg och därmed huvudansvarig för avfallet i Göteborg i mer än tio år. Att utveckla trappsteget fiskfoder från kommunalt avfall är mycket och kan vara ett viktigt sätt att eliminera ett systemfel menar han.

Bland annat följande intressenter har suttit med i samtal om tätortsavfall som foder till fisk och andra akvatiska organismer:

- Renova. Ordförande, VD, samt flera representanter för bolagets utvecklingsavdelning.
- Ordföranden i Göteborgs stads Miljö- och klimatnämnd.
- Ansvarig för utveckling av Göteborgs stads livsmedelsstrategi.
- Miljödepartementet, politisk Sakkunnig samt Miljöminister.
- Bostadsministern samt stadssekreterare.
- SLU Alnarp
- GöteborgsRegionen
- Länsstyrelsen Göteborg och Bohuslän
- Hushållningssällskapet Väst.
- Fler avdelningar på Chalmers
- Göteborgs Universitet.
- KTH Professor Björn Frostell Industriell Ekologi.

Organiskt avfall (främst grönsaksrester) kan användas direkt som foder till Clarias, och avläskat organiskt avfall kan användas för att odla insekter som i sin tur blir en proteinkälla i fiskodret. Projektets delmoment att jämföra vanligt fiskfoder med foder från matavfall har startat förtjänstfullt i samarbete med Chalmers och Göteborgs Universitet. En mastersstudent på Chalmers Nutrition, Gabriella Wåssen, har med sin handledare Ingrid Undeland, lagt upp en studie i Slakthuset. Meningen var att jämföra vanligt fiskfoder med foder tillverkat av kvarterets restflöden. *Tenobrio Molitor* (s.k. mjölmask eller maggots) fodrades med drav, det vill säga mältat korn från bryggeriet intill. Studiens uppställning är klar efter samverkan mellan Chalmers och Göteborgs Universitet men Gabriellas tidsram gick inte att kombinera med de inköpta clarias-yngel som skulle hinna utvecklas till ungfisk kring 3-4 hekto. Vi kommer att fortsätta med studien så fort vi har resurser. Frågeställningen är mycket intressant och en av utmaningarna är att hitta lokala substitut till proteinrik soja. Projektets förslag till lösning är andra baljväxter producerade i närområdet samt protein från *Tenobrio molitor*.

Regelverk

För att uppföra en fiskodling krävs naturligtvis många tillstånd, men vad som krävs skiljer sig åt mellan olika län. Exempelvis i Skåne måste en stallanmälan göras när man bygger nytt, men inte i Uppsala och Göteborg. En stallanmälan är anpassad för köttuppfödning och annan mer konventionell livsmedelsproduktion, och stämmer dåligt in för fiskproduktion. Exempelvis nämns vattennipplar och fönster och andra traditionella utrustningar för nöt, gris, fjäderfä m.m. Enligt Jordbruksverket är det Länsstyrelsens ansvar att besluta om huruvida stallanmälan ska krävas eller ej. I referensgruppen till detta projekt finns Länsstyrelsen med, och har på detta vis fått insyn i problematiken kring nya landbaserade fiskodlingar.

Ytterligare en regel som försvårar för vattenbruksföretag med storskaliga ambitioner är 40-tonsuregeln, där vattenbruk som använder mer än 40 ton foder per år måste ha tillstånd för miljöfarlig verksamhet. För en sådan odling krävs även en miljökonsekvensbeskrivning. Det är naturligtvis viktigt att vattenbruksföretag som ger en betydande miljöpåverkan genom storskalig odling i kassar i sjöar och hav gör en miljökonsekvensbeskrivning och är klassade som miljöfarlig verksamhet. Slutna landbaserade odlingar är dock inte jämförbara med kassodlingar, och de små mängder avfall som kommer ut från vattenfilter m.m. i dessa cirkulära anläggningar kan inte rimligtvis jämföras med det avfall som flyter fritt ut från en kassodling. 40-tonsuregeln som den ser ut idag främjar inte ett hållbart vattenbruk.

En tydlig slutsats som projektet bidragit till är att regelverket kring vattenbruk måste ses över och anpassas till landbaserat vattenbruk, och detta behöver drivas gentemot regeringen.

Konkret case inför genomförandeprojekt

Inom projektet har en intressant kandidat till ett genomförandeprojekt identifierats bland flera intresserade företag och industrier. Det finns en yta på ca 0,5 hektar på företagets egna område i anslutning till spillvärmekällan. Delar av den ytan är idag en lagerlokal som används sparsamt. Området är planlagt som industriområde. Det finns också en fastighet i närheten som är möjlig att hyra. Dialogen med kandidaten fortsätter efter projektets slut.

Restvärme från slutkandidatens tillverkning:

350 m³/dygn av 30-45-gradigt vatten

Uppehåll en dag per vecka (med visst flöde kvar) och en vecka på sommaren.

Organiskt avfall från slutkandidatens tillverkning:

90 % sockerarter samt hög fosforhalt. Salthalt på 0,4-0,5% pga jonbytesteknik

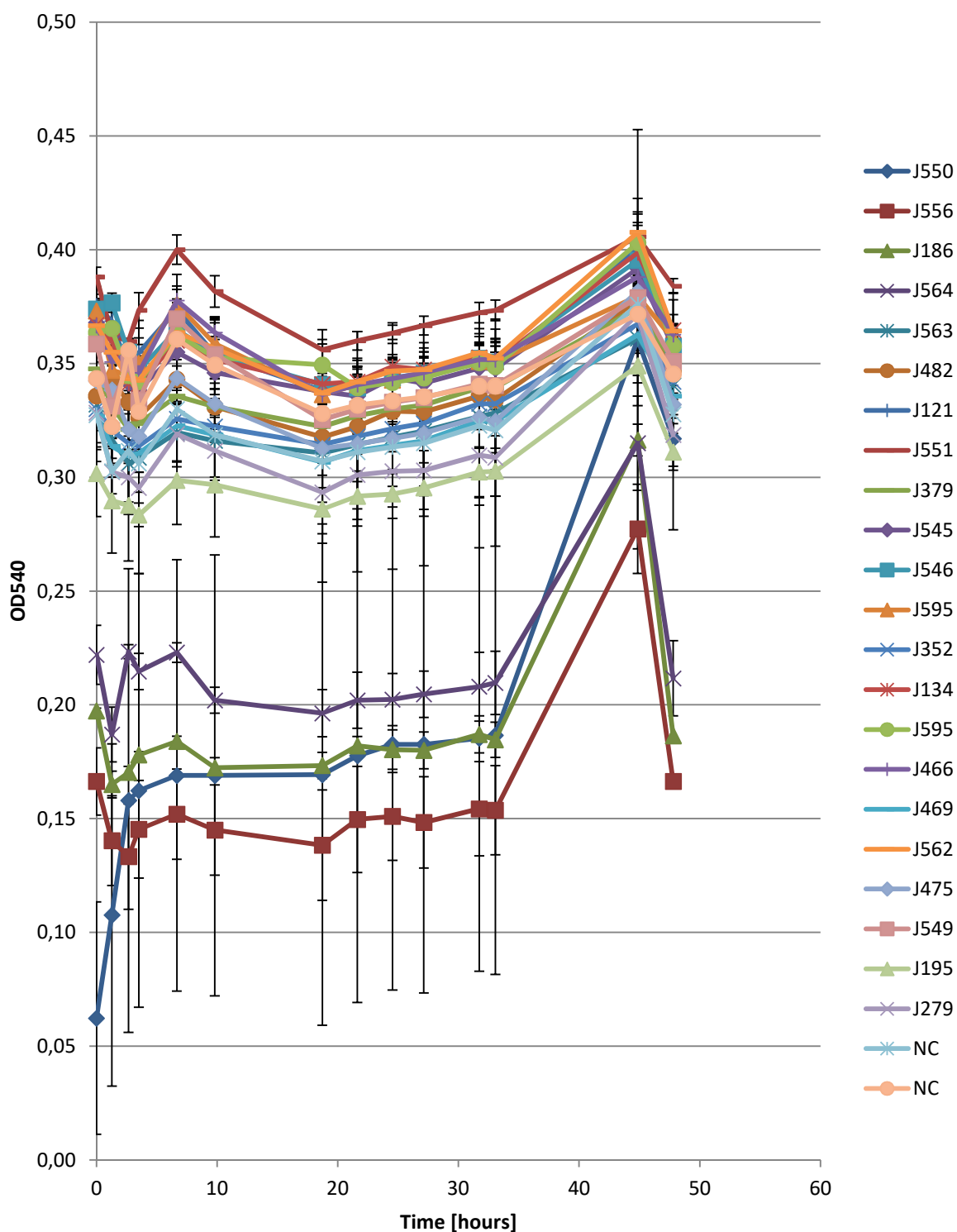
Processvattnet blandas dock med övrigt gråvatten, vilket kräver att en avledning görs så att enbart vatten från livsmedelsprocessen används till fiskproduktionen. Även det träspån som används för att filtrera en av slutprodukterna har testats för bioflockodling, men visade sig inte fungera.

Odling organiskt avfall – konkret case:

Jäst har länge använts som foderkomponent på grund av sitt höga proteininnehåll och fördelaktiga aminosyraprofil. De har också flera andra fördelar som foder och för fiskens tillväxt. De kan också odlas på olika substrat som t.ex. restflöden från livsmedelsindustrin. Via vattenbruket kan resurser som inte är konsumerbara av människor transformeras via mikroorganismer till jästmjöl som sedan konverteras till en högvärdig livsmedelsprodukt, fisk.

En metod utvecklad av M. Olstorp vid Sveriges lantbruksuniversitet användes för att utvärdera olika jästers förmåga att växa på processvatten från slutkandidatens processer, se Fig. 1 nedan. Jästtillväxten hos olika arter observerades under 48 timmar. pH värdet var ca 9,5 i det testade substratet vilket hämmade på tillväxten på flertalet jästarter. Vissa arter uppvisade dock god tillväxt och skulle kunna utredas mer för ökad produktion. Arterna som testades valdes ut p.g.a. att de tidigare använts i fiskfoder eller innehar andra fördelaktiga egenskaper. Jäststammar som använts i screeningen var *Blastobotrys adenivorans* J562, *Blastobotrys adenivorans* J564, *Candida tropicalis* J279, *Cryptococcus cerealis* J595, *Holtermanniella takashimae* J596, *Issatchenkia orientalis* J550, *Kluyveromyces lactis* J469, *Kluyveromyces marxianus* J186, *Phaffia rhodozyma* J552, *Pichia angusta* J549, *Wickerhamomyces anomalus* J475, *Wickerhamomyces anomalus* J121, *Wickerhamomyces anomalus* J379, *Pichia jadinii* J556, *Pichia stipitis* J563, *Rhodotorula glutinis* J195, *Saccharomyces bayanus* J482, *Saccharomyces boulardii* J551, *Saccharomyces cerevisiae* J545, *Saccharomyces cerevisiae* J546, *Sporobolomyces roseus* J466, *Torulasporea delbrueckii* J352, och *Yarrowia lipolytica* J134.

Jästtillväxt på substrat från processvatten från industri X



Modeller liten skala

Vi har i dessa system valt att odla Clarias i systemet som vi tror ger högre intäkter och på vissa sätt ger fördelar vid drift. Clarias är mindre känslig för störningar och växer snabbare än Tilapia. Dessutom talar erfarenhet om att förädlad clarias ger väsentligt större intäkter än Tilapia som säljs till lågt pris i handeln redan idag.

De små modellerna på upp till 100 m³ är RAS-odlingar (recirculated aquaculture system), i vissa fall kopplade till Akvaponik. Bioflockodlingar fungerar inte för vattenvolymer under 100 m³.

2 ton fisk/år

50 m² yta ger möjlighet att odla 2-4 ton Clarias och 20-40 ton grönsaker per år i 1000-liters IBC-tankar. 2 ton förädlad (exempelvis rökt) Clarias innebär intäkter på 300 000 kronor. 2 ton fisk per år räcker för att täcka 100 personers behov av fisk och grönsaker. Denna storlek på odlingar finns i drift idag i HylaPonds lokaler i Göteborg.

Tankarna är loopade i ett system med trumfilter. Pris för att uppföra detta: cirka 700 000 kronor, se nedan.

Anläggningen kan rymmas i exempelvis en oanvänd tvättstuga eller ombyggd del av ladugård/lada. Anläggningen kan finansiera exempelvis en halvtidsanställd eller heltidsanställd med lönebidrag. Samma person kan sköta flera olika närliggande anläggningar på denna halv- eller heltid.

Avkastningen kan dubblas på samma yta om ett tvåvåningssystem byggs.

Elinstallation	25 000
Vatten	35 000
15 st IBC-tankar	10 000
Biomedia	8 000
Pumpar	10 000
Trumfilter	30 000
UV	5000
Rör + genomföringar	15 000
Temp + mät	10 000
Inköp fisk	10 000
<u>Växtavdelning</u>	
Virke, dammduk, övr. material	
till floatingraft 10 m	10 000
Belysning	6 000
Material totalt	174 000
Arbete	310 000
Kostnad totalt	484 000 kr

20 ton/år

Ett syfte med vårt projekt har varit att föra ett resonemang kring metod- och materialval vid uppskalning från dimensionen 1-2 ton fisk per år till en anläggning med tio gånger så stor kapacitet.

Systemet vi tänker oss är tätortsbaserat och kan inrymmas i en ny byggnad eller gammal. Eftersom systemet rymmer 120 000 liter vatten till en vikt av 120 ton är det förstås viktigt att avlopp och bärighet är anpassat till en våt och relativt tung verksamhet.

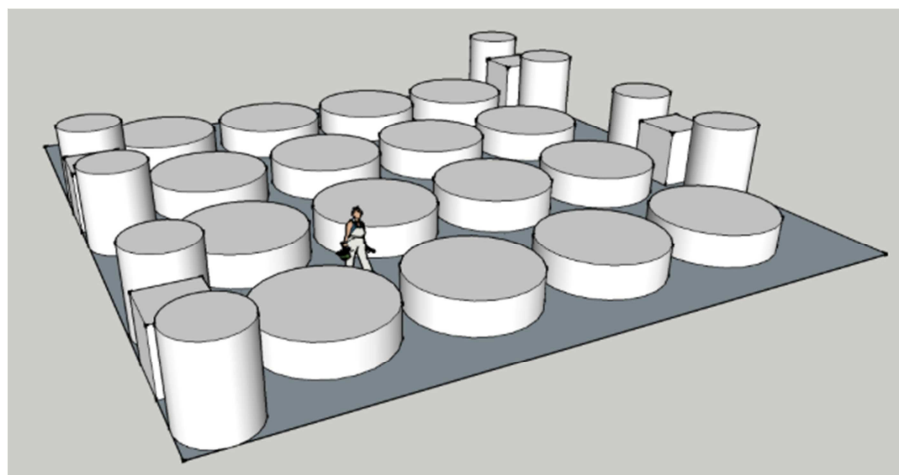
Vi utgår ifrån befintlig byggnad och har inte med några överväganden om genomgripande renovering, rekonstruktion. Vi väljer en industrilokal som i befintligt skick håller livsmedelsstandard vad gäller hygien och tvättbarhet. Helst kakel, rostfritt eller målad plåt som vägg och takmaterial. Helst klinker på golvet. Andra våtsäkra golvmaterial fungerar lika bra.

Produktionshallen för 20 ton fisk har takhöjd på minst 3 meter och mäter 300 kvadrat. Layout på systemet kan anpassas efter lokalens. I exemplet nedan finns fyra bassänger på cirka 5 kubik i varje rad. Varje rad har separat trumfilter och separat biofilter på 8 kubik och ett trumfilter. Enskilda linjer ger bland annat större trygghet vid haverier.

Med en takhöjd på fem meter kan vi dubbla volymen fisk på de stipulerade 300 kvadratmetrarna och alltså producera 40 ton fisk i den skissade hallen fast då i två nivåer.

Nedan en kostnadskalkyl på en anläggning för 20 ton skördad fisk per år:

Trumfilter	4 X 100 000	400 000
Blowers	4 X 10 000	40 000
Vattenpumpar	4 X 25 000	100 000
Tankar	16 X 5 000	80 000
Rör	4 X 20 000	80 000
Biomedia	16 X 7 000	96 000
Mät + Lab	4 X 50 000	200 000
Utrustning div	4 X 25 000	100 000
El		100 000
Karantän		200 000
Arbetskostnad byggnation		750 000
Totalt		1 946 000



Pumpar, filter och mycket annat kommer från Kina och andra länder som tillverkar enorma volymer maskiner till mycket låga priser men med varierande kvalitet. Att köpa en pump från Kina kan innebära att kostnaden ligger på en femtedel av priset för en europeisk pump specialutvecklad för vattenbruk. I ett långsiktigt resursperspektiv kan detta vägval möjligen ifrågasättas men i en startpunkt är det rimligt att välja billig och lättillgänglig, väl presterande teknik.

Modell stor skala 100 och 2 000 ton/år

När det gäller bassänger med storlek över 5 meter i diameter bedömer vi att betong bör användas framför plast. Den odlingsmetod vi valt för de storskaliga odlingarna och de system, ritningar m.m. som vi tagit fram är för Bioflockodling – se jämförelse med RAS-odling på s. 4.

C3C har i dialog med fisk/räkproducenterna Vegafish och Hylapond identifierat de krav som krävs vid framtagning av lämpliga bassänger för odling av fisk, samt övrig infrastruktur kopplat till odlingen. Faktorer som livsmedelskompatibilitet i materialen, hållfasthet, normenlighet enligt Eurocodes, möjlighet till utformning för att ge fiskar eller räkor större möjlighet till naturligt beteende och stimulerande miljöer, funktionalitet, lönsamhet m.m. har tagits i beräkning i detta arbete.

Kravlista storskalig produktion:

- Tillgång till infrastruktur – vägar, lastningsplatser, utrymme för kyl/frysrum m.m.
- Tillgång till befintlig byggnad eller byggbar plats på mark planlagd för industri eller livsmedelsindustri.
- Tillgång till restvärme kontinuerligt över dygnet och året, gärna med ackumulatortank eller närhet till fjärrvärmenätet för backup.
- Tillgång till organiskt avfall lämpligt för bioflockodling (eller i framtiden efter förändrad lagstiftning för direkt användning som fiskfoder eller odling av insekter)

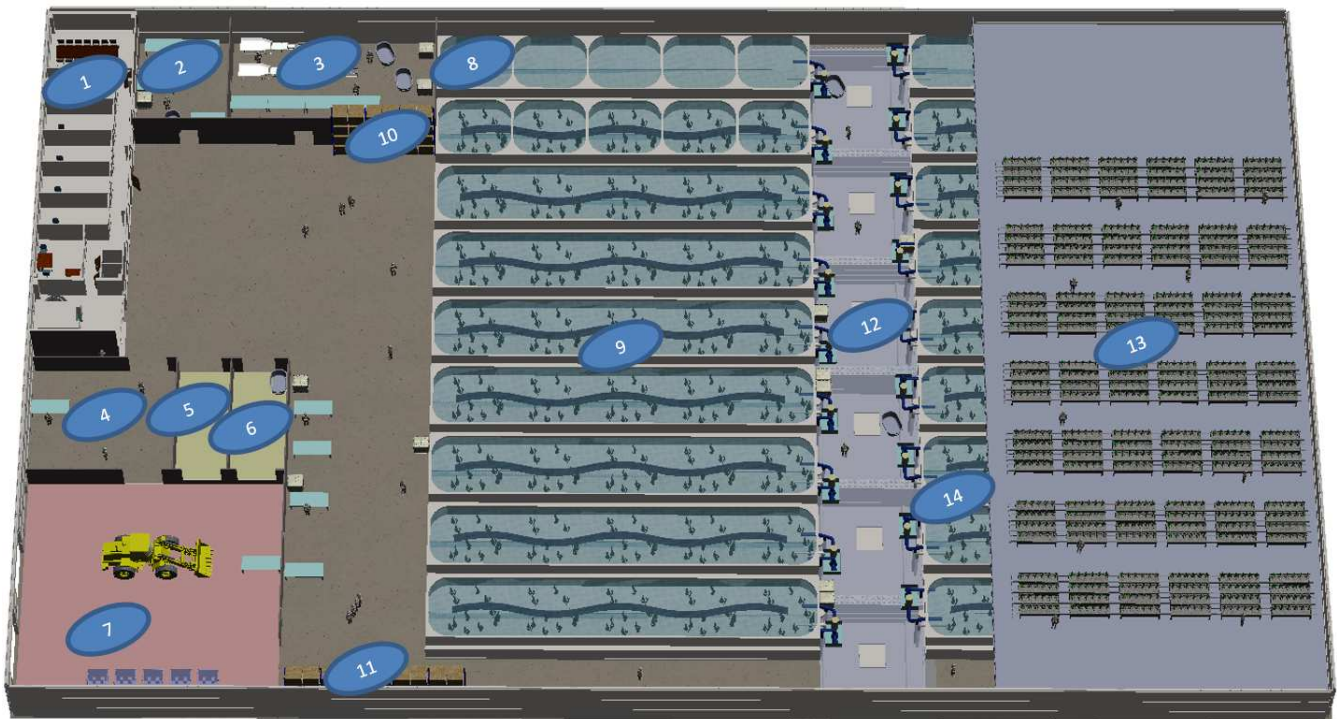
Baserat på de dialoger som förts med övriga projektparter samt referensgrupper så har en kravbild gällande bassängernas egenskaper identifierats, exempelvis vilka krav som måste uppfyllas för att fisk/räkor ska kunna leva i framtagna bassänger och vilka typer av material som inte får användas etc.

Anläggningsförslag

Projektet avser att bygga en anläggning bestående av restmaterial samt spillvärme. Anläggningen är ritad på så sätt att den kan byggas av ”byggstenar” från överbliven betong. C3C Engineering, en av projektparterna, har tagit fram ritningar och specifikationer för anläggningar på 100 respektive 2 000 ton skördad fisk per år.

Anläggningen nedan är *100x60 meter*, totalt *6 000 m²* samt *6 meter* i takhöjd. Nedan beskrivs anläggningens layout:

1. Kontorsdel, 2. Laboratorium, 3. Slakteri, 4. Produktkylager, 5. Foder - torrlager, 6. Foder - kyllager, 7. In/utlastning (allt material förvaras i lådor), 8. Mindre bassänger, 9. och 14. Bassänger, 10. och 11. Lager, 12. Vattenmagasin, 13. Odling grönsaker.



Översikt anläggning.

Plattan gjuts efter placering av bassänger, vattenmagasin, väggelement samt pelare. Väggarna på byggnaden består av C3C prefabricerade väggelement med ingjuten isolering. Elementen som "glider" på plats i varandra spänns ihop vid montering med armering. Var sjätte meter finns en prefabricerad pelare 600x600 mm som sitter fastgjuten i plattan som håller elementen på plats i sina fack. I denna byggnad finns ca 300 element.

Kontorsdelen är i två våningar där golvbjälklaget i översta våningen består av prefabricerade C3C betongblock. Layouten inrymmer en nedervåning med många inredningsalternativ, i detta fall inryms ett antal kontor samt ett fikarum och personalutrymmen. Övervåningen inrymmer fler kontor, WC samt ett större konferensrum. Laboratoriet har ingång både från slakteri, kontor samt den öppna anläggningsytan. Slakteriet har ingång från anläggningsytan samt från laboratoriet. Väggar byggs av C3C prefabricerade väggelement.

Kyllagret har lastning från anläggningsytan och lossning mot utlastningsytan. Stomme byggs i prefabricerade betongelement med inbyggd isolering.

Lagerytor finns placerade på två olika ställen i anläggningen.

Vattenmagasin är placerade mellan de stora bassängerna och är uppbyggda med C3C standardblock. Magasinen kan ta emot vatten från alla bassänger.

Kostnads kalkyl 100 ton

POS	Byggnadsdel	Mängd	åpris(SEK)	Summa(SEK)
1.1	4st B:1.1 - B:1.4 Karantänbassäng vägg inkl lining HDPE	86,40	3 500	302 400
1.2	4st B:1.1 Karantänbassäng bottenplatta inkl lining HDPE	43,20	2 500	108 000
1.3	6st B:2.1 - B:2.6 Nurserybassäng vägg	460,80	2 800	1 290 240
1.4	6st B:2.1 - B:2.6 Nurserybassäng bottenplatta	115,20	1 950	224 640
1.5	8st B:3.1 - B:3.8 Grow-out bassäng vägg	1 064,96	2 750	2 928 640
1.6	8st B:3.1 - B:3.8 Grow-out bassäng vägg bottenplatta	614,40	1 850	1 136 640
1.7	4st B:4.1 - B:4.4 Bio-floc extra denitrifikation bassäng vägg	532,48	2 750	1 464 320
1.8	4st B:4.1 - B:4.4 Bio-floc extra denitrifikation bassäng bottenplatta	614,40	1 850	1 136 640
1.9	Överbyggnad limträstomme	4 992,00	2 500	12 480 000
				21 071 520

Kostnads kalkyl 2 000 ton

POS	Byggnadsdel	Mängd	åpris(SEK)	Summa(SEK)
1.1	14st B:1.1 - B:1.14 Karantänbassäng vägg inkl lining HDPE	537,60	3 500	1 881 600
1.2	14st B:1.1 - B:1.14 Karantänbassäng bottenplatta inkl lining HDPE	268,80	2 500	672 000
1.3	20st B:2.1 - B:2.20 Nurserybassäng vägg	3 072,00	2 800	8 601 600
1.4	20st B:2.1 - B:2.20 Nurserybassäng bottenplatta	2 048,00	1 750	3 584 000
1.5	30st B:3.1 - B:3.30 Grow-out bassäng vägg	8 140,80	2 650	21 573 120
1.6	30st B:3.1 - B:3.30 Grow-out bassäng vägg bottenplatta	11 404,80	1 650	18 817 920
1.7	5st B:4.1 - B:4.5 Bio-floc extra denitrifikation bassäng vägg	1 356,80	2 650	3 595 520
1.8	5st B:4.1 - B:4.5 Bio-floc extra denitrifikation bassäng bottenplatta	1 900,80	1 650	3 136 320
1.9	Överbyggnad limträstomme	30 998,48	2 300	71 296 504
				133 158 584

Fisk- och skaldjursarter

I detta projekt har vi utvärderat de tropiska arterna Clarias (ålmal), Tilapia (även kallad Rödstrimma eller Sankte Pers-fisk) och jätteräka/tigerräka. Att vi valt dessa arter beror på att tropiska arter växer fortare än nordiska, vilket ger ökad lönsamhet. De har också mycket goda egenskaper som matfisk/-skaldjur. Odling av Clarias och Tilapia kräver dessutom mindre proteinrikt foder, vilket minskar beroendet av fiskmjöl i fodret, och i synnerhet Tilapian kan leva på enbart vegetabilisk föda även om tillväxten då går långsammare.

Clarias

Clarias, eller ålmal, är en fet fisk med höga halter av Omega 3. Fisken blir mycket god rökt, stekt, panerad eller grillad. I Kina kallas den även Doktorsfisk, då den anses vara den nyttigaste fisken i världen. Liksom andra malar har de karaktäristiska antennliknande skäggtömmar runt munnen vilka är tätt besatta med smaklökar. Ålmalar är tropiska sötvattensfiskar och finns ofta i forsar och grottor. Den afrikanska och den asiatiska ålmalen är lokalt viktiga matfiskar. Ålmal kan förekomma i svenska butiker och är då vanligen importerad från Sydostasien, men finns nu i liten skala som kommersiellt tillgänglig från svensk landbaserad odling. Clarias är en utmärkt fisk att odla då den trivs i varma vatten och därmed växer fort. Den klarar stora förändringar i miljön och trivs bra även om det är trångt. Blir det ont om syre, eller för den del vatten, har denna fisk förmåga att andas luft genom specialutvecklade andningsorgan som sitter på gälarna. Den kan till och med förflytta sig något på land och söka föda om tillfälle bjuds. Köttet är fast och rödaktigt. När det tillagas blir det vitt och får en mjäll konsistens. Köttet liknar kummels eller svärdfiskens med en mild smak av makrill. Vissa konsumenter har även upplevt att köttet har en viss kycklingkaraktär. Den är med andra ord ganska köttlik i smaken. Clarias är en mellanfet fisk. Fetthalten ligger på 6 % varav ca 18 % är de nyttiga fleromättade omega-3-fettsyrorna. Det innebär att en portion Clarias väl täcker dagsbehovet av omega-3.

I detta projekt har också undersökts om även Clarias, liksom Tilapia och jätteräkor, kan odlas genom Bioflock, vilket visat sig gå bra. Clarias kan dock inte använda sig av bioflocken som del av sitt foderintag, vilket Tilapia gör.

Tilapia

Tilapia bedöms idag som världens tredje viktigaste odlade fisksläkte. Populariteten härrör från snabb tillväxt och mycket bra mat/vikt-förhållande, och de kan leva enbart på vegetabilier även om tillväxten gynnas av högre proteininnehåll. De är mycket robusta och tåliga och lever naturligt i varmt bräckt eller sött vatten, vanligen i flodmynningar i Afrika och Mellanöstern. Tilapior har odlats i Israel i över 2000 år och är en vit matfisk som kan användas som annan vit fisk.

Jätteräka

Jätteräkor (eller scampi, tigerräkor, gambas) odlade på ett hållbart sätt har en stor potential. Jätteräkor har blivit en alltmer efterfrågad delikatess i den rika världen, vilket har lett till att en stor industri med fiske eller odling av jätteräkor växt fram i flera tropiska länder. Denna industri har blivit hårt kritiserad både för miljöförstöring och för sina sociala effekter. Det finns en marknad i Sverige

för en miljövänligt odlad jätteräka, som inte kan kopplas till skövlade mangroveträsk, spridning av antibiotikaresistens eller övergödande utsläpp.

Jätteräkan kräver, precis som de tropiska fiskarterna ovan, uppvärmda bassånger. De behöver också 1,5 % salthalt i vattnet, och eftersom inköp av salt är en stor kostnad och dessutom innebär en miljöpåverkan bör odlingen ske med tillgång till havsvatten. Det finns dock en intressant, stor sötvattensräka, *Macrobrachium rosenbergii*, som odlas som maträka i många länder i världen och som kan odlas utan att vara beroende av saltvatten (utöver under yngelstadiet då den kräver brackvatten). Detta är en av de viktigaste arterna för vattenbruket i stora delar av Bangladesh, Indien, Indonesien och Filippinerna. I EU är denna räka dock enbart odlad för ornamentala ändamål, vilket betyder att den enbart odlas av akvarister för sitt utseendes skull. Det innebär att lagarna för arten gör att inga yngel får köpas in i större mängder och för livsmedelsändamål. Denna blåfärgade sötvattensräka är lättodlad, smaklig och kan bli 25-30 cm stor. Om regelverket kring denna art ändras är potentialen för den som en maträka mycket stor.

Djuretik och fiskarnas livsrum

De fiskar vi fokuserat på i projektet är arterna Clarias och Tilapia. Clarias är en tropisk omnivor från Afrika. Arten kallas vandringsmal eller ålmal på svenska. Clarias är känd bland annat för att fisken klarar sig i vatten utan löst syre. Fiskarna kan andas luft vilket innebär att de klarar påfrestningar vad gäller vattenkvalitet som få andra arter. Clarias kan leva i tankar med extremt hög fiskdensitet. Man kan hålla kanske fem gånger mer clarias i en tank än abborre eller regnbåge. Fiskarnas resiliens skall dock absolut inte utnyttjad för att minimera tillsyn eller investeringar. I HylaPonds småskaliga anläggningar hålls exempelvis maximalt 40 kilo clarias i en kubiktank – 1 000 liter.

Vår andra art är Tilapia, också den en tropisk fisk från Afrika och världens näst mest odlade art. Tilapian är inte lika resilient som Clarias men den är möjligen enklare att introducera på en nordisk marknad och arten äter mer vegetabilier än Clarias. Tilapian är nästintill herbivor och kan dessutom livnära sig bioflockar.

En fråga som detta projekt hjälpt oss att lyfta och börja bena ut är hur fisken mår i de traditionella rektangulära eller runda tankar av plast eller betong där de lever i en fiskodling. Som exempel har fiskodlingen i HylaPonds plasttankar analyserats.

Ingen medicinering. HylaPonds fiskar växer snabbt och har aldrig under 24 månaders drift medicinerats eller haft ett enda sjukdomsutbrott. Man skulle därav kunna dra slutsatsen att fiskhälsan är på topp och att vi klarar alla etiska utmaningar. I denna förstudie har vi dock haft ambitionen att komma vidare i samtalet om hur fisken mår. Vi har i våra samtal med etologer, biologer och djuretiker inte fått någon tydlig kritik för hur vi behandlar våra fiskar. Det har lagts fram lösa resonemang om hur man kanske ska förbättra fiskarna miljö men inga skarpa förslag.

Hyla Pond har ändå en plan att försöka gå bortom den kala tanken utan bottenstrat och med en matning som utgår ifrån att fisken skall äta samma mat i stort sett hela livet vid samma tidpunkter

med fyra timmars mellanrum. Vi tror att fisken mår bra av den dynamik och förändring som präglar livet i det vilda:

- **Mat.** Maten skall vara varierad sett till struktur, storlek och innehåll.
- **Dynamisk biotop.** Vi tror att fiskar av vår typ mår bra av att det finns variation i tanken i en rad dimensioner:
 - Vattenflödet kan variera i styrka och riktning.
 - Bottensubstrat som låter och känns mot kroppen skall utformas för att ge fisken "glädje" utan att äventyra tillväxt och andra ekonomiska värden.
- **Minimerad stress.** Ett av de främsta skälen att på sikt öka storlek på fisktankarna från de nuvarande 1 000 liter fem till tio gånger är att minska stress vid vattenbyte, rengöring, matning, ljud och synintryck.

Att minska stress i alla faser av fiskens liv handlar om etik men också om ekonomisk utdelning och därmed om miljö- och klimatvärden. Varje fisk som dör eller hamnar efter i tillväxt representerar en negativ avdrift från optimum.

Ponds anläggning har haft besökare från mer än 20 länder. Den överlägset vanligaste frågan handlar om hur fiskarna mår. Har de inte tråkigt? Blir de inte sjuka i så trånga tankar? Det finns en risk att småskaligt vattenbruk nära konsument uppfattas på fel sätt. Storskaligt vattenbruk är inte tillgängligt på samma sätt och är inriktat på konsumenternas favoriter såsom lax, piggvar och hälleflundra. Istället för att kritisera ett storskaligt vattenbruk baserat på kassodling havet väljer konsumenten att kritisera det enda vattenbruk man har nära och en direkt erfarenhet av, det vill säga kvartersodlingen av fisk. Allt talar för att stadsodlingens fiskar mår bättre. Men de små tankarna och den tråkiga miljön övertrumfar analysen. Att värva kunder som köper fisk från urbana landbaserade vattenbruk är viktigt för miljön varför frågan hur konsumenten uppfattar fiskens trivsel är mycket viktig.

Slutprodukt

Inom projektet har restaurangbranschen haft en representant i referensgruppen. Provsmakning av Clarias, Tilapia och jätteräkor har genomförts och samtliga uppger att smak och konsistens är mycket bra.

Betalningsvilja

Restaurang PM & Vänner anger att de är beredda att betala följande för en cirkulärt odlad fisk:

Lunchfilé-pris 120-130 kr/kg (de använder ca 50-60 kg i veckan)

A la carte filépris 180-280 kr/kg (de använder ca 10-30 kg i veckan)

Samtliga restauranger som projektet haft dialog med anger ungefär samma pris de är villiga att betala. Det viktigaste är inte vilken fiskart det gäller – exempelvis Tilapia eller Clarias - utan att den har god smak och kan märkas som ekologisk, närproducerad med mera.

Slutsats

Projektet har resulterat i dialoger på flera håll, bland annat med entreprenörer, investerare, avfallshanterare, flera industrier och intresseorganisationer samt näringslivsansvariga på kommuner. Dessa dialoger fortsätter efter projektets slut. Modeller, ritningar och kostnader för anläggningar i olika storlekar har tagits fram, och djurvälferden och miljöberikning har varit en av parametrarna som övervägts i detta arbete. Projektet har också bidragit till att en ny cirkulär Tilapiaodling baserad på industriell symbios med största sannolikhet kommer att uppföras. Vidare har projektet utrett hur återbrukad betong kan användas vid byggnation av fiskdammar, och de affärsmöjligheter detta innebär. Ett annat viktigt resultat är hur social hållbarhet kan främjas genom småskalig landbaserad fiskproduktion i flerfamiljshus eller lantbruksbyggnader.