



Nr B 2303
Maj 2018

Integrerad akvakultur med cellulosaindustri

Magnus Karlsson, Åsa Sivard & Åsa Strand



I samarbete med ÅF

Författare: Magnus Karlsson och Åsa Strand, IVL Svenska Miljöinstitutet; Åsa Sivard ÅF

Medel från: Ångpanneföreningens forskningsstiftelse och Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning

Rapportnummer B 2303

ISBN 978-91-88787-42-2

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2018

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Projektet "Integrerad akvakultur med cellulosaindustri" startade hösten 2016. Föreliggande rapport utgör dess slutrapport. Projektet har varit en förstudie syftande till att undersöka möjligheterna att samlokalisera vattenbruk med produktion av livsmedel med cellulosaindustri.

En stor del av arbetet har utförts i form av ett examensarbete vid Kungliga Tekniska Högskolan, skolan för arkitektur och samhällsbyggnad av Chong Chung Heng (Chung Heng, 2017). Projektgruppen i övrigt har bestått av Magnus Karlsson (projektledare) och Åsa Strand vid IVL Svenska Miljöinstitutet samt Åsa Sivard och Tomas Ericsson, ÅF.

Projektet har finansierats av Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse och Stiftelsen Institutet för Vatten och Luftvårdsforskning.

De östgötska skogsindustrierna i anslutning till Motala ström, Skärblacka bruk, Fiskeby board och Bravikens pappersbruk har välvilligt tillhandahållit data från respektive anläggning.

Det finns ett växande intresse för vattenbruk i Sverige. Krympande tillgång på fisk och andra livsmedel från sjöar och hav tvingar oss att se oss om efter alternativa proteinkällor. Det är vår förhoppning att vi med denna studie kommer att se ett ökat samhälleligt intresse för att kombinera olika näringsverksamheter i syfte att öka utnyttjandet av våra naturresurser, sluta kretslopp och bidra till en cirkulär ekonomi.

Stockholm, maj 2018

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
Summary	8
Inledning	10
Bakgrund	10
Förutsättningar	15
Recirkulerande akvakultursystem (RAS)	15
Värmebehov	15
Fiskart	15
Foder	16
Vattenanvändning och rening vid massa- och pappersbruk.....	16
Utsläppsvillkor och BAT	16
Studieområde	17
Systembeskrivning	18
Synergieffekter	20
Numerisk modellering	20
Modellering av massa- och pappersbruket	20
Modellering av vattenbruk	21
Bestånd av bytesfisk och tillväxt i recipienten.....	22
Närsaltdosering.....	23
Uppvärmning av fiskodlingen	23
Modellering av exempelbruken.....	23
Kostnadsanalys	24
Kriterier.....	24
Resultat	25
Teoretiskt optimal storlek på fiskodling vid pappersbruk	25
Fiskfoder från recipienterna	25
Dosering av närsalter	25
Energibesparingar	26
Optimum för produktionen	26
Resultat av modellering för exempelbruken	28
Skärblacka bruk med integrerad fiskodling.....	29
Fiskeby board med integrerad fiskodling.....	29
Bravikens pappersbruk med integrerad fiskodling	30
Kostnadskalkyl	31
Investeringskostnad för integrerad fiskodling	31
Driftskostnader för integrerad fiskodling.....	33
Produktionskostnader för integrerad fiskodling	35
Diskussion	36
Förslag till pilotstudie.....	37
Kvarstående frågeställningar	38

Slutsatser.....	40
Referenser.....	41

Sammanfattning

Det finns både på global nivå och inom Sverige ett ökande intresse att använda sig av vattenbruk för produktion av livsmedel. I Sverige odlas i relativt liten skala främst fisk, kräftor och musslor. Traditionell odling i dammar, sjöar, vattendrag och kustområden är behäftat med en potentiell negativ miljöpåverkan i form av lokala övergödningseffekter och spridning av antibiotika och andra läkemedelsrester i miljön. Rymlingar från kassodlingar kan också påverka de naturliga bestånden negativt. Det är ett av skälen till att intresset för landbaserad fiskodling i mer slutna system ökat under senare år.

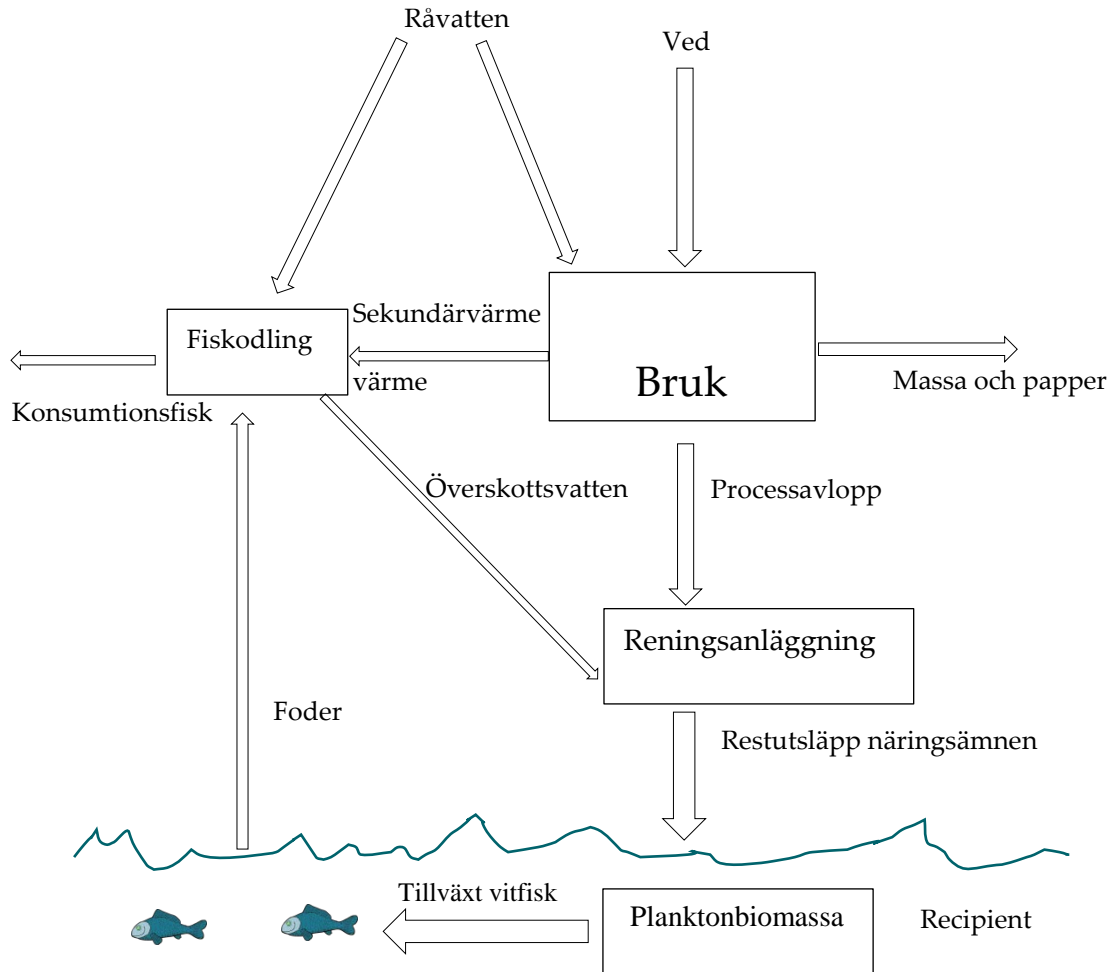
I processen att utvinna massa och papper från träråvara genereras ett överskott av lågvärdig värmeenergi och ett restutsläpp av näringsämnen och organiskt material som stimulerar produktionen av bland annat vitfisk i mottagande vattenrecipient. Detta är naturresurser som i dagsläget inte utnyttjas. I det följande redovisas en förstudie syftande till att översiktligt undersöka de tekniska förutsättningarna att lokalisera landbaserad fiskodling i anslutning till pappers- och massabruk och vilka marknads- och miljömässiga fördelar det skulle medföra genom att tillvarata överskottsresurser från vedråvaran. För vattenbruk skulle samlokalisering med skogsindustri potentiellt kunna medföra:

- Tillgång till processvatten av hög kvalitet
- Tillgång till värmeenergi för uppvärmning av odlingen
- Tillgång till ett slutsteg för rening av överskottsvatten
- Tillgång till anläggningsytor och infrastruktur för produktion
- Täckning av del av foderbehov genom lokalt utnyttjande av vitfisk från industrins primärrecipient

För en skogsindustri skulle en samlokalisering med ett vattenbruk potentiellt kunna medföra:

- Minskat behov av kylning av processavloppsvatten
- Minskat behov av att dosera närsalter till egen reningsanläggning
- Förbättrade miljöförhållanden i recipienten genom reduktion av vitfiskbestånd

I figuren på nästa sida ges en schematisk beskrivning av hur ett vattenbruk kan integreras med en skogsindustri och de potentiella synergier som därvid uppstår.



Schematisk beskrivning av vattenbruk integrerat vattenbruk med skogsindustri

I studien har teoretiska beräkningar av förutsättningarna att samlokalisera ett vattenbruk utförts med tre exempelfabriker representerande olika typer av produktion: 1) Skärblacka bruk, blekt sulfatmassa; 2) Fiskeby board, returpappersbruk; 3) Bravikens pappersbruk, termomekanisk massa. De individuella förutsättningarna vid de olika bruken var avgörande för om det föreslagna processkonceptet är applicerbart. Generellt torde dock anläggningar som producerar kemisk massa vara mest lämpade att integrera med vattenbruk

Ett teoretiskt maximum för optimalt utnyttjande av resurser i enlighet erhöles vid en produktionskapacitet i fiskodlingen på 0,4 % av produktionskapaciteten i skogsindustrin. Vid ett bruk som producerar 375 000 årston massa eller papper blir således den optimala fiskproduktionen 1 500 ton/år. Upp till storleksordningen 30 % av en skogsindustris behov av att dosera kväve skulle kunna ersättas med slam bestående av foderrester och fiskfekalier från vattenbruket, vilket innebär en besparing på upp till 100 000 kr/år.

Den årliga kostnaden för ett vattenbruk som producerar 500-750 årston fisk har beräknats till 30-40 MSEK, vilket ger ett kilopris för den producerade fisken inom intervallet 50-60 kr. Exempel på arter som skulle kunna bli aktuella i en framtida odling är tilapia, abborre, jätteräka och afrikansk mal. Gemensamt för dessa är att de är så kallade varmvattenarter som behöver tillgång till uppvärmt vatten under större delen av året.

Summary

There is a growing interest in aquaculture, both globally and in Sweden. In Sweden, on a relatively small scale, mainly fish, crayfish and mussels are grown. Traditional farming in ponds, lakes, rivers and coastal areas is affected by a potential negative environmental impact in the form of local eutrophication effects and the spread of antibiotics and other drug residues in the environment. There is also a risk that fish escaping the farm has a negative impact on native populations. This is one of the reasons that the interest in land-based fish farming in more closed systems has increased in recent years.

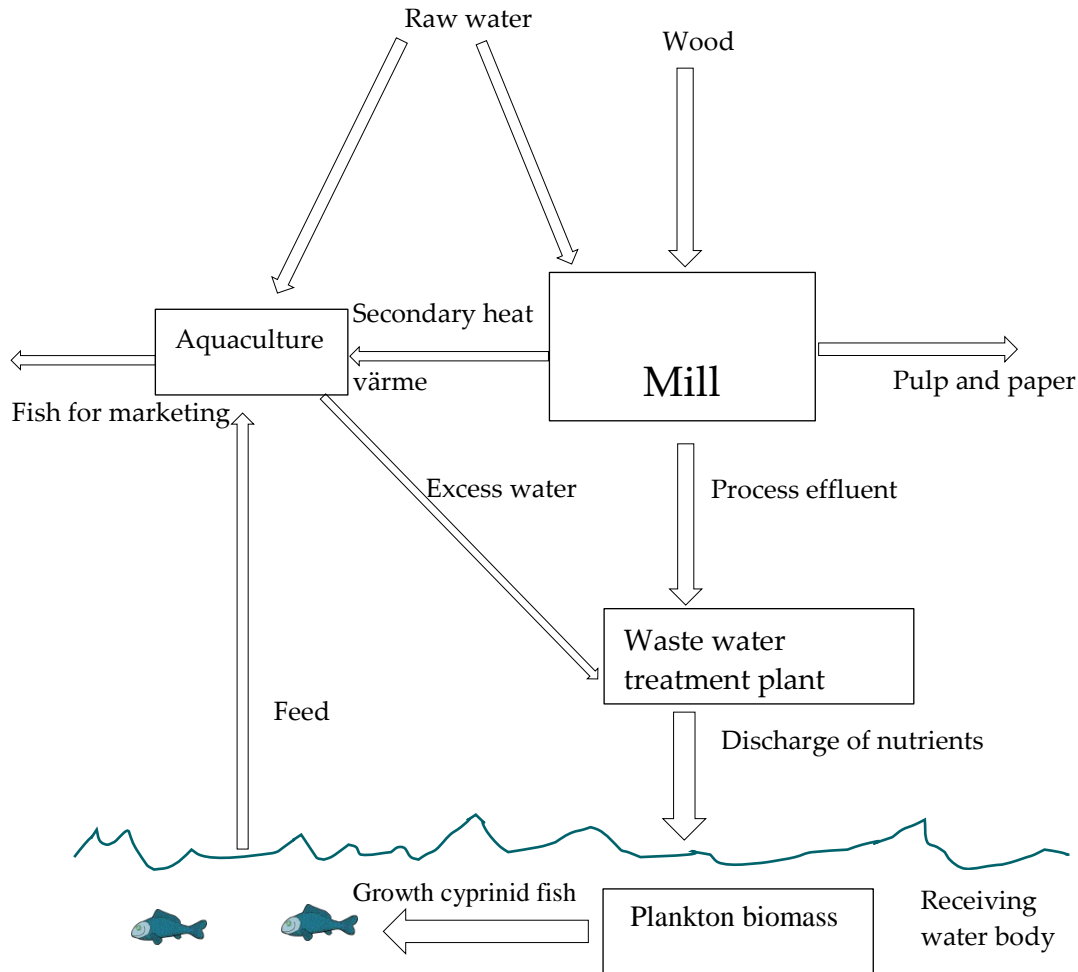
The process of extracting pulp and paper from wood raw materials generates an excess of low-value thermal energy and a residual effluent containing nutrient and organic matter that stimulates the primary production in receiving water areas. These are natural resources that are not currently utilized. In the following, a pilot study is presented to examine the technical conditions for locating a land-based fish farm in connection with paper and pulp industry and what market and environmental benefits could result from utilizing surplus resources from the raw material. For an aquaculture facility, co-location with a forest industry could potentially lead to:

- Access to high quality process water
- Access to heat energy for heating the farm
- Access to a final stage for purification of excess water
- Access to construction sites and infrastructure for production
- Covering part of feed needs through local utilization of cyprinid fish in the receiving areas of the mill discharges of waste water.

For a forest industry, co-location with an aquaculture facility could potentially lead to:

- Reduced need for cooling of process waste water
- Reduced need to dispense nutrients to own waste water treatment plant
- Improved environmental conditions in the recipient through reduction of cyprinid fish stocks

The figure on the next page gives a schematic description of how an aquaculture can be integrated with a forest industry and the potential synergies that arise.



Schematic description of aquaculture integrated with forest industry

In the study, theoretical calculations of the conditions for co-locating an aquaculture have been carried out with three example factories representing different types of production: 1) Skärblacka Mill, bleached kraft pulp; 2) Fiskeby Board, packaging board from recovered fibre; 3) Braviken Paper Mill, thermomechanical pulp. The individual prerequisites for the different uses were decisive for whether the proposed process concept is applicable. Generally, plants producing chemical pulp would be most suitable for integration with aquaculture.

A theoretical maximum for optimal utilization of resources was obtained at a production capacity in the fish farming of 0.4% of the production capacity in the forest industry. Thus, when producing 375,000 Adt/yr, the optimal fish production is 1 500 t /yr. Up to the order of 30% of a forest industry's need to dose nitrogen could be replaced by sludge consisting of feed residues and fish faeces from aquaculture, which means saving up to 100,000 SEK / yr.

The annual cost of an aquaculture producing 500-750 tons of fish has been estimated at 30-40 MSEK, which gives a kilo price for the fish produced within the range of 50-60 SEK. Examples of species that might be relevant in future cultivation are tilapia, perch, tiger prawn and catfish. Common to these is that they are so-called warm water species that need access to heated water for most of the year.

Inledning

De flesta kostexperter är överens om att det är önskvärt att generellt öka andelen fisk i kosten eftersom den är rik på spårämnen som vi ofta lider brist på till exempel jod, selen och vitamin D samt innehåller en hög andel av nyttiga fettsyror. Globalt sett råder det emellertid brist på fisk, flera fiskbestånd är kraftigt överfiskade och överdimensionerade fiskeflottor från västvärlden rör sig allt längre bort från sina hemmavatten. Detta ger effekter i form av ökade utsläpp av växthusgaser och tveksamt utnyttjande av fiskbestånd som istället borde komma lokala, men betydligt resurssvagare, fiskare från fattigare delar av världen till godo.

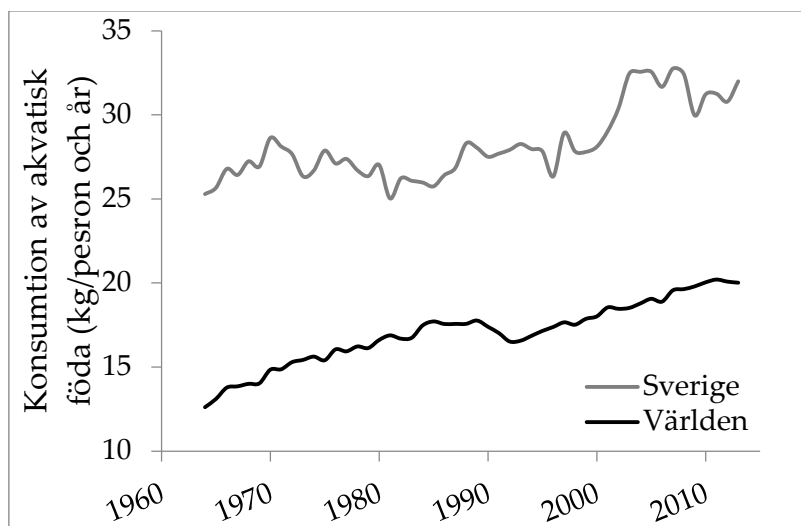
Vattenbruk, eller akvakultur, är odling av alla slags djur och växter i vatten. I Sverige odlas främst fisk, kräftor och musslor. Traditionell fiskodling i dammar, sjöar, vattendrag och kustområden är behäftat med en potentiell negativ miljöpåverkan i form av lokala gödningseffekter och spridning av antibiotika och andra läkemedelsrester i miljön. Det är ett av skälen till att intresset för landbaserad fiskodling i mer slutna system ökat under senare år (Schultz-Zehden & Matczak, 2012).

I processen att utvinna massa och papper från träråvara genereras ett överskott av lågvärdig värmeenergi och ett restutsläpp av näringsämnen och organiskt material som stimulerar produktionen av bland annat vitfisk i mottagande vattenrecipient. Detta är naturresurser som i dagsläget inte utnyttjas.

I det följande redovisas en förstudie syftande till att översiktligt undersöka de tekniska förutsättningarna att lokalisera en landbaserad fiskodling i anslutning till pappers- och massabruk och vilka marknads- och miljömässiga fördelar det skulle medföra genom att tillvarata överskottsresurser från vedråvaran.

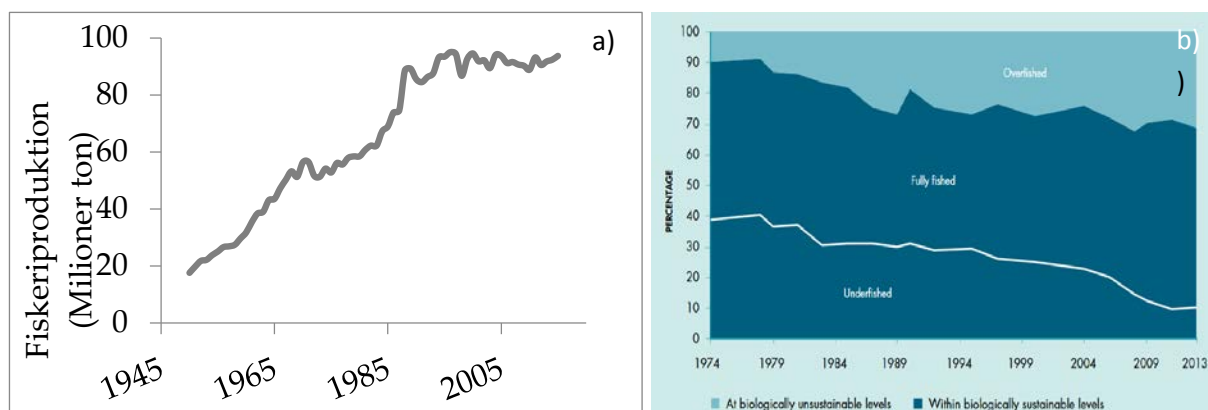
Bakgrund

Den snabbt ökande befolkningsutvecklingen på jorden ställer stora krav på ökad livsmedelsproduktion, framför allt av högvärdiga livsmedelsråvaror. Expansionsmöjligheterna för både jordbruk och lantbruk är dock begränsade och kommer inte kunna uppfylla det ökade födobebehovet. Akvatiska produkter är både rika på protein, hälsosamma fettsyror, vitaminer och spårämnen, och är ofta lättillgängliga både i kustområden och i områden med tillgång till sötvatten. Dessutom har akvatiska produkter positiva hälsoeffekter, t.ex. minskad risk för hjärt-kärl sjukdomar (Turunen, 2012) och depression (Timonen et al., 2004) samt är positiva för fosters utveckling under graviditeter (Bosaeus et al., 2015). Både tillgången och efterfrågan har resulterat i en stadig ökning i nyttjandet av akvatiska produkter (Tidwell & Allan, 2001; FAO^a, Fig. 1).



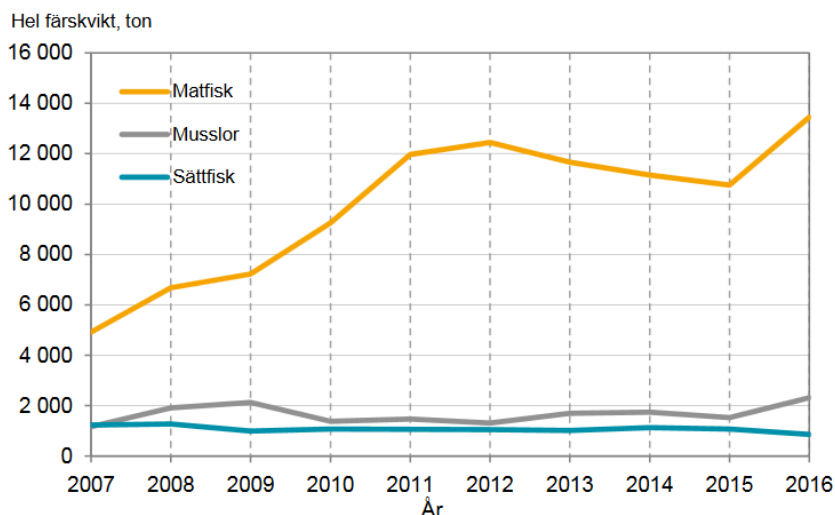
Figur 1. Utvecklingen av konsumtion av akvatisk föda i världen och i Sverige mellan 1964 och 2013. Data från FAO^a.

Det kommersiella fisket av vilda fiskbestånd är dock redan hårt utnyttjat och har under de senaste årtiondena stagnerat (FAO^b, **Fig. 2a**). Av 600 kommersiella fiskbestånd är 31 % överfiskade och 58 % är fullt exploaterade (FAO^c 2016, **Fig. 2b**). Den ökade konsumtionen av akvatisk föda har inneburit en expansion av vattenbrukssektorn, som under de senaste åren därför varit den snabbast växande matproduktionssektorn i världen (FAO^d 2009). År 2014 producerades för första gången mer fisk för konsumtion av vattenbruk än genom kommersiellt fiske av vilda populationer (FAO^c 2016).



Figur 2. Kommersiell global fiskeriproduktion 1950-2015 (a, data från FAO^b). Status för kommersiellt fiskade populationer mellan 1964-2013 (b, figur från FAO^c 2016).

Även i Sverige har vattenbruket ökat de senaste åren (Tegnerot, 2017, **Fig. 3**). Vattenbruket i Sverige baseras primärt på produktion av Regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) som utgör 86 % av matfiskproduktionen. Röding (*Salvelinus spp.*) är den näst mest producerade arten och utgör 13 % av matfiskproduktionen, och det finns också en mindre produktion av ål (*Anguilla anguilla*), tilapia (*Oreochromis Niloticus*) och abborre (*Perca fluviatilis*) (Tegnerot, 2017). För det marina vattenbruket är produktionen av blåmusslor (*Mytilus edulis*) dominerande.



Figur 3. Vattenbruksproduktion i Sverige mellan 2007 och 2016. Från Tegnerot, 2017.

I jämförelse med världens vattenbruksproduktion så låg Sverige, trots goda förutsättningar, på plats 71 av de vattenbruksproducerande nationerna i världen 2015 (FAO⁶) med dryga 12 000 ton total produktion. Detta kan jämföras med de top-10 producerande nationerna (däribland Norge) vars produktion nationellt sett översteg 1 miljon ton, och med de top-3 producerande nationerna (Indien, Indonesien och Kina) vars produktion låg på respektive 5, 15 och 61 miljoner ton per land.

Det svenska vattenbruket är med andra ord underutvecklat, men det finns både en stor potential för ökad produktion, och en stark önskan både från politiskt och privat håll att utöka vattenbruket i Sverige. Denna vilja återspeglas i flera initiativ, t.ex. Jordbruksverkets handlingsplan för vattenbruk 2012-2020¹, flera stora utlysningar från forskningsråd och andra finansiärer rörande strategiska satsningar på vattenbruk^{2,3,4}, centrumbildningar^{5,6,7}, samt privata initiativ^{8,9,10,11,12}.

Fiskodling i Sverige begränsas idag av en gammalmodig lagstiftning som reglerar odlingstillstånd baserat på användning av mängd fiskfoder och inte baserat på faktiska näringsutsläpp, samt strikta restriktioner vad gäller näringsutsläpp för vattenverksamhet, vilket framför allt försvårar etablering av havsbaserad (inkl. Östersjön) kassodling av fisk. Arbetet pågår för att utveckla nya, hållbara, odlingstekniker, t.ex. halvslutna kassar där partikulärt material från fiskodlingen samlas upp, samt IMTA (Integrated MultiTrophic Aquaculture), en teknik där fiskodling i kasse kombineras med t.ex. musselodling och algodling för att minska och kompensera för de utsläpp som orsakas av fiskodlingen. Miljömässiga skäl, och den omoderna lagstiftningen, är därmed två av de faktorer

¹http://www.jordbruksverket.se/download/18.68b583e414c2ed8431768fa3/1426758525685/Handlingsplan+fo%CC%88r+svenskt+vattenbruk_w.pdf

²<http://www.mistra.org/forskning/pagaende-forskning/aquaagri.html>

³

⁴<http://www.stratresearch.se/sv/ssf/Forskning/?IFrameUrl=http://web.ssf.3ddata.se/page.asp?goto=Ansokan.&eid=OHU9MiBGb25kSUQ9MjQ4IEFuc0IEPTY3MTg=>

⁵<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/stodihavsochfiskeriprogrammet.4.465e4964142dbfe44705c92.html>

⁶ www.vbcv.science.gu.se/

⁷ www.nkfv.se/

⁸ www.maritimaklustret.se

⁹ www.scanfjord.se/index.html

¹⁰ www.renahav.se/

¹¹ www.orustshellfish.se

¹² www.bohushavsbruk.se

¹³ www.catxalot.se

som begränsar expansionen av vattenbrukssektorn i Sverige idag. En annan faktor som begränsar vattenbrukets utveckling är konflikter mellan olika aktörer med intressen i den maritima miljön (Klinger & Naylor 2012). Det finns t.ex. ofta ett stort motstånd både från naturvårdsorganisationer, från säsonsboende, samt från turister och turismbaserade företag mot etablering av havsbaserat vattenbruk då anläggningarna betraktas som "visuell förorening". Då näringsverksamheten i många av kustkommunerna i Sverige baseras på inkomster från detaljhandel och turism, väger ofta dessa protester mot etablering av vattenbruk tungt.

En teknik som ofta förs fram som en möjlig lösning på dessa problem är landbaserade system, så kallade RAS (Recirculating Aquaculture Systems). Systemet bygger på att merparten av det vatten som används i anläggningen renas och återanvänds, vilket minskar odlingens miljöpåverkan både vad gäller näringsbelastning på omgivande vattendrag, samt vad gäller rymningar av odlad fisk. Denna typ av system är därför det enda system som är godkänt för odling av icke-inhemska arter i Sverige idag, och för närvarande finns tre system i Sverige för odling av varmvattenarten *tilapia*^{13,14,15} samt ett företag som odlar jätteräkor¹⁶ RAS systemen har med andra ord flera fördelar, framför allt ur miljösynpunkt, men är också dyra att konstruera, tekniskt komplicerade att driva med ett resulterande behov av högt kvalificerad personal, samt är utrymmeskrävande. Vid odling av varmvattensarter behöver dessutom energi tillföras för att värma upp vattnet i anläggningen.

På massabruk finns idag en outnyttjad energiresurs i form av strömmar med för låg temperatur för att effektivt kunna användas i brukens processer. Energibesparingsåtgärder som initierats av bruken och som stötts av exempelvis Energimyndigheten har lett till att värmen i strömmar med höga temperaturer i regel utnyttjas mycket effektivt, men det finns fortfarande stor potential i strömmar med lägre temperaturer – exempelvis utgående avlopp till reningsanläggningar, som ofta håller en temperatur av 35-40 °C. Vattenanvändningen vid svenska bruk är i genomsnitt hög jämfört med de nivåer som anges som bästa möjliga teknik (Forsslund et al, 2014). Vissa av dessa strömmar skulle kunna användas som värmekälla för uppvärmning i en fiskodling vid fabriken.

I vissa recipienter leder restutsläppet av organiskt material och närsalter från produktionen i massabruken till en stimulerad algproduktion, vilket i sin tur innebär en ökad tillväxt av planktonätande vitfisk bland annat mört och braxen. Detta överskott av vitfisk skulle eventuellt kunna användas för produktion av foder till en landbaserad fiskodling. Många recipienter klassificeras inom vattenförvaltningen idag som övergödda, varför ett uttag av vitfisk är en potentiellt positiv åtgärd för att på sikt uppnå god ekologisk status. Då utsläppen av miljöfarliga ämnen från skogsindustrin minskat kraftigt under senare decennier (Norrström & Karlsson, 2015) och recipienterna allmänt tillfrisknat (Sandström et al., 2016) samt att planktonätande vitfisk generellt i liten grad tar upp föroreningar föreligger inte någon påtaglig risk att fodret skulle bli kontaminerat av potentiellt hälsostörande ämnen. Detta behöver dock givetvis kontrolleras liksom de tekniska och ekonomiska förutsättningarna att lokalt producera foder.

Avlopp från ett vattenbruk skulle sannolikt kunna omhändertas i befintlig reningsanläggning för processavlopp, då vattnet i huvudsak kommer att innehålla lättnedbrytbart organiskt material (BOD) och närsalter. I nuläget krävs ofta närsaltsdosering i den biologiska reningen vid massa- och pappersindustrier då kvoten C:N:P (kol/kväve/fosfor) är betydligt högre i mikroorganismerna som växer i biologisk rening än i det tillförda råmaterialet (träursprung). Tillförsel av närsalter behövs oftast och skulle kunna komma från fiskodlingsvattnet.

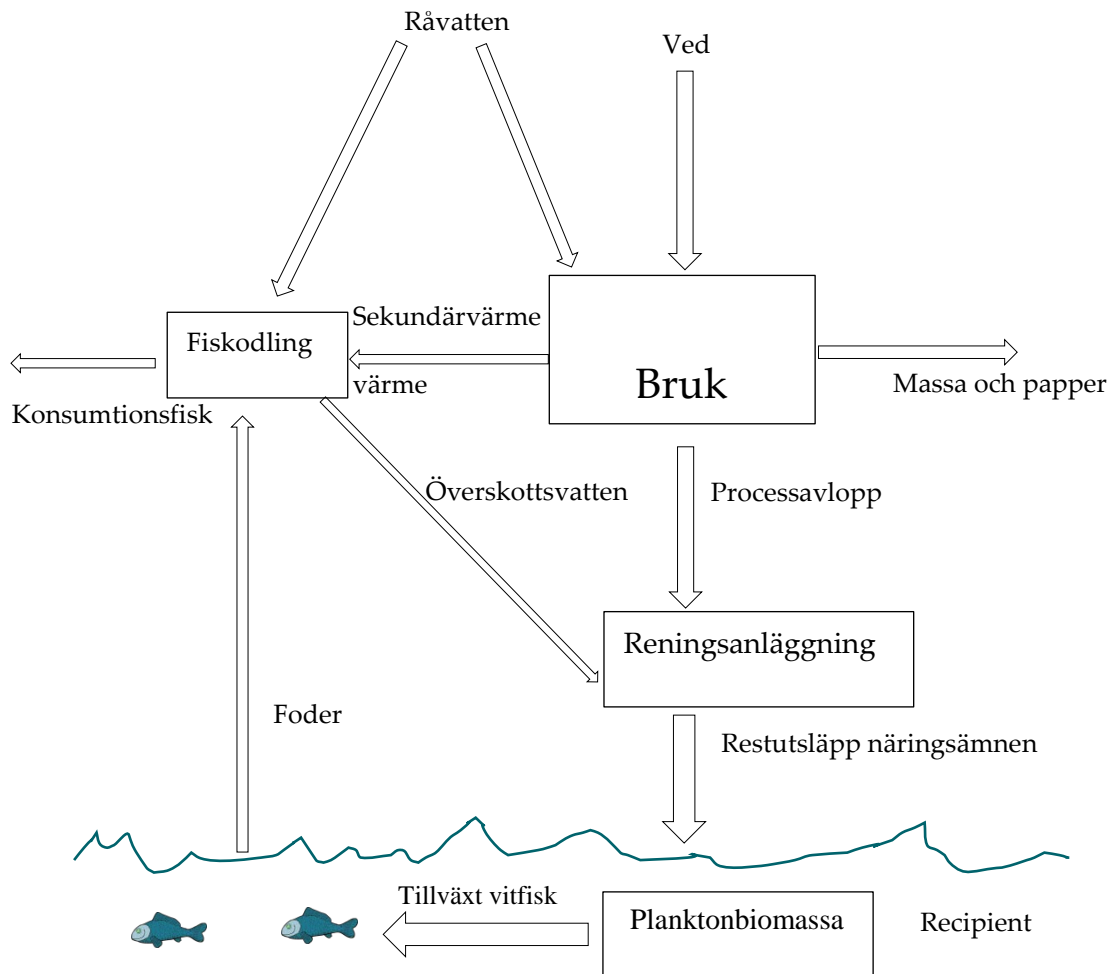
¹³ www.gardsfisk.se

¹⁴ www.ekofisk.se

¹⁵ www.stadsjord.se

¹⁶ www.vegafish.com

I **Figur 4** ges en schematisk beskrivning av principen för det föreslagna processteget och i **Tabell 1** sammanfattas några potentiellt positiva effekter av att lokalisera landbaserad fiskodling i anslutning till cellulosaindusti.



Figur 4. Schematisk beskrivning av principiella resursflöden vid landbaserad fiskodling integrerad med skogsindustri.

Tabell 1. Potentiella fördelar med landbaserad fiskodling intill cellulosaindusti.

Tillgång till råvatten under fiskens tillväxtcykel
Tillgång till sekundärvärme för uppvärmning
Tillgång till vitfisk som foder – återtag av restutsläpp till vattenrecipient
Tillgång till reningsanläggning för behandling av överskottsvatten från odlingen
Tillgång till näringsämnen från fiskodlingen, som helt eller delvis kan ersätta dosering av kväve och fosfor till brukets reningsanläggning

Förutsättningar

Recirkulerande akvakultursystem (RAS)

RAS, recirkulerande akvakultursystem, är en landbaserad akvakultur där odlingsvattnet renas i en reningsanläggning och återanvänds. Om recirkulationen är 90 % eller mer (mindre än 10 % daglig påfyllning av nytt vatten) anses anläggningen vara fullt recirkulerande (Ungfors et al., 2015). Vattenminskningen i anläggningen beror dels på avdrag av överskottsvatten och slam, dels på avdunstning.

Överskottsvattnet innehåller fiskarnas utsöndringsprodukter samt foderrester. Organiskt material och kväve är viktigt att behandla i reningen. För höga halter ammoniak är toxiskt för fiskarna, så kvävet måste omvandlas till annan form.

Reningssystemet i fiskodlingen består vanligen av mekaniska och biologiska steg med kväverening, avgasning och ibland desinfektion och pH-justering. Utformningen varierar från anläggning till anläggning (Ungfors, 2015; Ngo et al, 2017).

Det finns även andra typer av landbaserade vattenbruk, exempelvis akvaponik eller kretsloppsodling, där fiskodling kombineras med växtodling i samma slutna system samt Biofloc, som är odling i dammar med olika arter och mikroorganismer i ett kretsloppssystem.

Värmebehov

Vid allt vattenbruk påverkas fisktillväxten av temperaturen i vattnet, och olika fiskarter har olika temperaturoptimum. För vissa arter, s.k. varmvattensarter, kan behov av uppvärmning finnas om odling ska ske i Sverige. Att värma upp vatten i en odlingsanläggning är kostsamt, varför det är en fördel om det finns spillvärme från en närliggande anläggning som kan utnyttjas. Med en hög recirkulationsgrad i ett RAS-system behålls en större mängd värme i systemet och behovet av uppvärmning minskar.

Fiskart

Det finns ett antal fiskarter, som är lämpliga för vattenbruk. I denna studie gjordes dimensionering och beräkningar grundat på tilapia, en grupp av fiskar i familjen ciklider med ursprung i Afrika. Niltilapia *Oreochromis niloticus* är en vanlig och lämplig fisk i vattenbruk, som växer snabbt och har hög tålighet för tuffa och varierande förhållanden.

Niltilapia kan nå en maximal längd av 60 cm, en vikt av 4 kg och en ålder av 9 år. Fisken kan odlas året om vid rätt förhållanden och kan då växa ca 1 kg på 36 veckor. De kan äta både animalisk och vegetabiliskt foder och foderkonverteringsgraden är ca 1,1–1,3 (kg fisk/kg tillfört foder – våt vikt) (Fall, 2016). Tilapia kan leva i både sött och bräckt vatten och trivs bäst vid en temperatur nära 28 °C.

Foder

Foder till fiskodlingar är vanligen torrfoder i form pellets. Beståndsdelen är till stor del fiskmjöl och fiskolja, men mer än hälften kan vara vegetabiliskt, t.ex. vete, rapsolja, soja, majs eller ärtor. Vegetabiliska proteinkällor är inte alltid positiva ut ett fiskhälsoperspektiv, speciellt för predatoriska fiskarter som t.ex. lax, och stora ansträngningar görs nu för att hitta hållbara alternativ till detta. Alternativ som utreds i dagens läge är t.ex. musselmjöl, restprodukter från processindustri, insekter, jäst och marina alger.

Fiskmjöl och fiskolja framställs huvudsakligen av vildfångad industrifisk, men 10–25 % kommer från avskär (rens och kött från filétering vid förädling av matfisk). Industrifisk är delvis vildfångade fiskarter som inte i någon större utsträckning används för människors konsumtion då de är små, beniga, inte smakar gott eller blir dåliga snabbt. En del av industrifisken är vanliga matfiskar såsom sill, skarpsill, ansjovis och sardin.

En tänkbar miljömässig fördel med att integrera akvakultur med en massa- och pappersindustri är att vitfisk i recipienten utanför massa- och pappersbruket skulle kunna användas som foder i fiskodlingen. Vitfisk, såsom mört, braxen, björkna och id, gynnas av näringsrika förhållanden och bestånden är ibland täta utanför bruken till följd av utsläppen av gödande ämnen. Uttag av vitfisk är en potentiell åtgärd för att förbättra status i övergödda vattenområden och skulle kunna användas som kompensationsåtgärd av bruken. Det vore då en ytterligare fördel om vitfisken kunde komma till användning. Fisken måste torkas och pelleteras före användning som foder i en RAS-anläggning.

Vattenanvändning och rening vid massa- och pappersbruk

Tillverkning av massa och papper kräver stora mängder vatten, som dock har minskats successivt genom åren med hjälp av olika vattenbesparande åtgärder. Bruken har oftast egna anläggningar både för rening av processvatten till fabriken och för rening av avloppsströmmar från processerna. Mekanisk och biologisk rening och ibland kemisk fällning används för avloppsreningen. Biologisk rening kräver tillräcklig mängd näringsämnen för optimal funktion och i skogsindustriella avloppsvatten är oftast halterna av tillgängligt kväve och fosfor så låga att dosering måste ske.

De vanligast förekommande biologiska reningsmetoderna fungerar bäst vid temperaturer kring ca 37 °C och temperaturen får inte överstiga 40 °C. Processavloppet har normalt högre temperatur och avloppet måste kylas före de biologiska reningsstegen.

Utsläppsvillkor och BAT

Massa- och pappersindustrins villkor och tillåtna utsläpp regleras av deras enskilda tillstånd och även av EU-direktiv samt BAT-villkor om bästa möjliga teknik. Vid samarbete med annan verksamhet, såsom ett vattenbruk, måste tillstånd för båda verksamheterna samordnas. Detta kan bli en utmaning att genomföra på ett sätt som tillfredsställer alla intressen.

Studieområde

I studien etablerades samarbete med tre bruk i Norrköpingstrakten, BillerudKorsnäs Skärblacka, Fiskeby Board och Holmen Paper Braviken (**Fig. 5**). Primärrecipienter för dessa tre är sjön Glan, Motala ström och Bråviken som angränsar till nordvästra Egentliga Östersjön.



Figur 5. Karta över Norrköpingsområdet med exempelbruken.

BillerudKorsnäs Skärblacka (i fortsättningen Skärblacka bruk) är ett integrerat bruk, som tillverkar oblekt säckpapper, blekt MG-papper, fluting samt blekt avsalumassa av sulfatmassa och neutralsulfitmassa som produceras vid bruket. Returfiber och fiberrejekt från sulfatprocesserna används vid tillverkning av fluting. Produktionstillståndet är 470 000 ton papper per år.

Råvatten till bruket tas från Motala ström och renas med mekanisk och till viss del med kemisk rening. Processavlopp renas i försedimentering (fiberförande avlopp), lågbelastad aktivslamanläggning med anoxisk och luftad zon samt mellansedimentering (LAS) och eftersedimentering. En liten närsaltdosering krävs, både fosfor och kväve. Ingående avloppsvatten till biologisk rening värmeväxlas med utgående renat avloppsvatten och kompletterande kylning sker i en kyldamm.

Utgående avlopp leds till sjön Glan. Glan är en näringsrik slättlandssjö som avbördas till Motala ström. Sjön är fiskrik och ett begränsat yrkesfiske sker efter framförallt gös. Glan anses övergödd på grund av förhöjd tillförsel av näringsämnen från punktkällor och uppströms liggande jordbruksmarker i avrinningsområdet. I den senaste bedömningen av den ekologiska statusen i sjön inom ramen för den svenska vattenförvaltningen har sjön erhållit otillfredställande status (www.viss.lansstyrelsen.se). Vidare konstateras att det finns en risk att ekologisk status inte nås till 2021 samt att vattenförekomsten är i behov av åtgärder för att nå miljö kvalitetsnormen "god ekologisk status".

Fiskeby Board är ett integrerat returfiberbruk med produktion av kartong. Returfibrerna samlas in både från hushåll och från industrier. Verksamheten har produktionstillstånd för 200 000 ton kartong per år.

Råvatten tas från Motala ström och renas med mekanisk rening på en sil och därefter tillsätts en bromförening för att förhindra tillväxt av bakterier och alger. Avloppsvatten från produktionen renas med grovfiltrering och biologisk rening i anaerob reaktor, därefter aerob rening i

biofilmreaktor följd av luftning och flockning med sedimentering och avslutande lamellflotation. Polymer och fällningskemikalier kan doseras till anläggningen. Ingen kylning görs av avloppsvattnet före reningsstegen, eftersom temperaturen inte är så hög att det behövs.

Utgående avlopp leds till Motala ström efter sjön Glans utlopp. Vattenkvaliteten i recipienten är i alltväsentligt densamma som i Glan. Motala ström mynnar efter en rinnsträcka på cirka en mil i Bråviken.

Holmen Paper Bråviken (i fortsättningen Bråvikens pappersbruk) tillverkar magasinpapper, bokpapper, katalogpapper, tidningspapper och färgat tidningspapper från egenproducerad TMP-massa. Produktionstillståndet är 1 075 000 ton papper/år och 1 050 000 ton mekanisk massa/år.

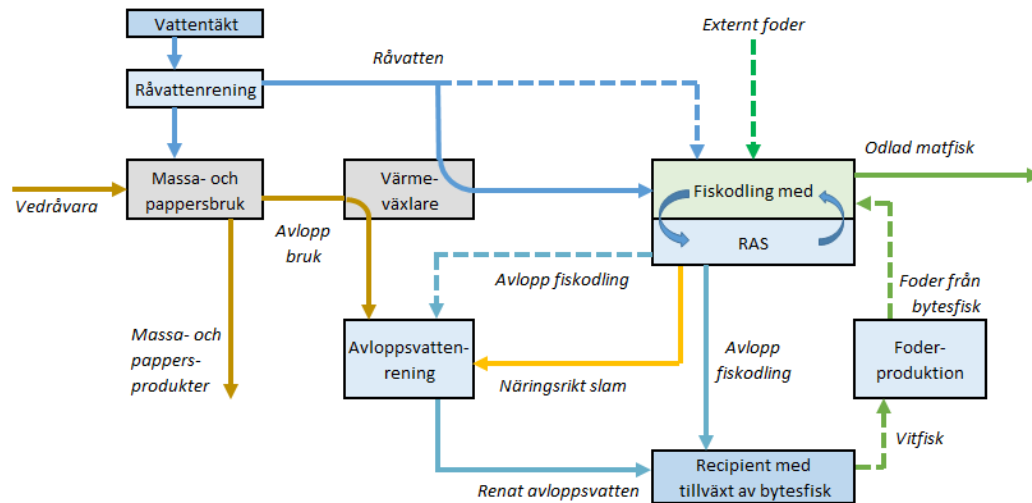
Färskvattenintaget är i Motala ström i en position placerad före det gamla bruket, som låg mitt inne i Norrköping. Vattnet renas med mekanisk och kemisk rening. Avloppsvatten går via ett grovgaller till försedimentering följt av utjämningsbassäng, aerob selektor och luftning i en ombyggd luftad damm. Biologiskt slam avskiljs i två sedimenteringsbassänger och avslutande polering sker i en flotationsanläggning med tillsats av AVR och polymer. En del AVR tillsätts också till ena mellansedimenteringsbassängen och återförs till biologiska reningen via returslammet. Man får då en simultanfällning – kemisk rening tillsammans med biologisk rening.

Renat avloppsvatten leds ut i inre delarna av Bråviken. Bråviken är en långsmal vik av nordvästra Egentliga Östersjön. Även i Bråviken anses den ekologiska statusen otillfredställande (www.viss.lansstyrelsen.se) främst på grund av för stor tillförsel av näringsämnen. Det bedöms föreligga risk att ekologisk status inte uppnås till år 2021. Vattenmyndigheten anser att för att kunna vända trenden och uppnå en god ekologisk status måste åtgärdsarbetet intensifieras.

Systembeskrivning

Underlag till studien har tagits fram med hjälp av litteraturstudier och data från de medverkande bruken.

En enkel modell har tagits fram för fiskodling (vattenbruk) kombinerat med industri för massa- och papperstillverkning och använts med data för de tre anläggningarna. Material- och energibalanser har gjorts för alla material- och vätskeflöden. Ett övergripande blockschema visas i **Figur 6**.



Figur 6. Blockschema för vattenbruk vid massa- och pappersbruk

Råvatten förutsätts att tas in till både bruket och fiskodlingen från ordinarie vattentäkt och renas i brukets råvattenbehandling.

Processen från ingående ved till utgående massa och papper påverkas inte av vattenbruket.

Ingående vatten till vattenbruket värms vid behov i värmeväxlare med hjälp av processavlopp till brukets avloppsrening. Beroende på behovet av uppvärmning kan viss del av råvatten ledas direkt till vattenbruket utan föregående värmewäxling.

I fiskodlingen/vattenbruket finns bassänger för tillväxt av fiskyngel till matfisk av lämplig storlek. Fiskodlingen har en intern reningsanläggning för att möjliggöra stor intern recirkulation av vatten och är en s.k. RAS-anläggning.

Utgående överskottsvatten från RAS-anläggningen kan om möjligt tillföras brukets avloppsvattenrening eller leds annars till recipienten. Näringsrikt slam från vattenbruket tillförs brukets reningsanläggning.

Avloppsvatten från bruket renas i avloppsvattenreningen. Om kapaciteten på reningsanläggningen tillåter kan även viss mängd överskottsvatten från fiskodlingen ledas till avloppsvattenreningen och då minskar kravet på intern rening av vattnet i vattenbruket. Näringsrikt slam från fiskodlingen ersätter helt eller delvis dosering av kväve och fosfor till avloppsvattenreningen. Renat avloppsvatten från avloppsvattenreningen leds till recipienten.

I recipienten gynnas tillväxt av vitfisk (bytesfisk) av utsläppen av närsalter i utgående avlopp från brukets rening. Vitfisk kan fiskas upp och förädlas till foder åt fiskarna i vattenbruket. Foder från bytesfisk kompletteras med externt konventionellt foder. Man kan också tänka sig att inkludera vegetabiliska rester från exempelvis restauranger/lantbruk i fodret.

Synergieffekter

Sammanfattningsvis kan huvudsakligen tre positiva synergier potentiellt skapas mellan verksamheterna:

- Utnyttjande av sekundärvärme från processvattnet för att värma fiskodlingens bassänger och minska kylbehovet före brukets befintliga reningsanläggning
- Reducering av övergödning hos brukets recipient genom upptag av övergödningsgynnad bytesfisk för produktion av foder till fiskodlingen
- Reduktion av doseringsbehov av närsalter till brukets befintliga reningsanläggning genom tillförsel av näringsrikt slam och eventuellt överskottsvatten från fiskodlingen.

Numerisk modellering

En numerisk modell i Microsoft Excel konstruerades för att studera systemet och inkluderar massa- och energibalanser för delflödena samt beräkningar för dimensionering av fisk- och massa-/pappersproduktion. Styrande variabler för systemet var produktionsmängden för respektive enhet. Modellen anpassades därefter för de tre exempelbruken.

Modellering av massa- och pappersbruket

Generella data för bruket med reningsanläggning togs huvudsakligen från en typfabrik, ett integrerat sulfatmassabruk med rening i lågbelastad aktivslamanläggning med selektor, använd i en annan generell studie (Ericsson et al, 2007). Huvuddata för bruket redovisas i **Tabell 2**.

Tabell 2. Huvuddata för exempelbruk, integrerad sulfatmassaproduktion (ordlista i examensarbetet)

Pappersproduktion	t/d	1 500
Pappersproduktion	t/år	540 000
Processavlopp efter försedimentering		
Flöde	m ³ /d	50 000
COD (kemisk syreförbrukning)	t/d	60
TOC (totalt organiskt kol)	t/d	22
Suspenderade ämnen, SÄ GF/A	t/d	10
Totalkväve	kg/d	400
Totalfosfor	kg/d	60
Biologisk rening		
Luftad volym i rening	m ³	33 000
Dosering kväve	kg/d	525
Dosering fosfor	kg/d	27
TOC-reduktion	%	70
COD-reduktion	%	70
SÄ GF/A ut från sedimentering	t/d	1,5

Årsproduktionen av pappersprodukter var styrande variabel för bruket och dess reningsanläggning. Vattenförbrukning och generering av olika parametrar (TOC, COD, suspenderade ämnen), totalkväve och totalfosfor varierades i förhållande till produktionen. För ett verkligt bruk kan genereringen av organiskt material (TOC och COD) anses följa produktionen. För flöde och de parametrar som företrädesvis följer flödet, suspenderat material och närsalter, är ett proportionellt förhållande till produktionen en sämre approximation, men kan ändå anses vara tillräckligt bra för denna studie.

Modellering av vattenbruk

Fiskodlingen modellerades med hjälp av data från en förstudie om fiskodling vid Domsjö fabriker finansierad av Vinnova (Hylander och Svanholm, 2012) kombinerat med uppgifter från en FAO-guide om fiskodling (Bregnballe, 2015). Anläggningen i modellen drivs med en recirkulationsgrad av 98 % och hela mängden överskottsvatten och slam från RAS-systemet antogs kunna ledas till brukets reningsanläggning. I en fortsatt studie bör ingå värdering av vilken recirkulationsgrad, som är tekniskt och ekonomiskt mest lämplig. Fiskarna köps in till odlingen som yngel. Odlingen består av yngeltank/ar där yngel tillväxer i ca två veckor, förtankar för tillväxt i ca 23 veckor till ca 500 g vikt, sluttankar för tillväxt i ca 13 veckor till slutvikten 1 kg, svälttank och slakttank. Slaktning sker en gång per vecka. Foderkonverteringsgraden, d.v.s. den mängd foder i torrsvikt, som en fisk behöver konsumera för tillväxt av 1 kg massa i våtvtikt, sattes till 1,1. Fodret beräknas innehålla 41 % kol, 7 % kväve och 1 % fosfor baserat på näringsinnehållet i ett foder från RAISIOAgro. Foderspillet uppskattades till 5 %. Huvuddata för fiskodlingen redovisas i **Tabell 3**.

Tabell 3. Huvuddata för fiskodling, tilapia, i grundmodellering

Fiskproduktion	t/år	300
Foderkonverteringsgrad	kg foder _{torrt} /kg tillväxt _{vätt}	1,1
Foderspill	%	5
Färskvattenintag	m ³ /d	430
Recirkulationsgrad	%	97,7 ¹⁾
TOC-reduktion i recirkulerande akvakultursystem, biorening	%	75
Processavlopp från fiskodling		
Flöde	m ³ /d	430
Varav vattenfas	m ³ /d	338
Varav fiskslam	m ³ /d	92
TOC i slam (fast fas)	kg/d	169
TOC löst	kg/d	21
Totalkväve i slam (fast fas)	kg/d	8,7
Totalkväve, löst	kg/d	35
Totalfosfor i slam (fast fas)	kg/d	13
Totalfosfor, löst	kg/d	1,6
SÅ GF/A (inkl. foderrest och fiskslam)	kg/d	ca 100

- 1) I examensarbetet anges en något högre recirkulationsgrad – kompletterande beräkningar har visat att det då kan bli problem med för höga halter organiskt material i odlingsbassängerna

Bestånd av bytesfisk och tillväxt i recipienten

Enligt konceptet ska foderbehovet i fiskodlingen till del tillfredsställas av vitfisk (mört, braxen m.fl. karpfiskarter) från recipienten och i andra hand med konventionella foder. Mängd vitfisk som potentiellt kan användas som foder kan uppskattas från årlig tillväxt och bestånd av fisk. Ett grundläggande samband i akvatiska ekosystem är att ju näringsrikare, d.v.s. desto större tillförseln av näringsämnen är, desto större blir primärproduktion av växtplankton och andra alger och desto större blir fiskproduktionen. Det har genom åren tagits fram en rad statistiska regressioner där sjöars näringsstatus, i regel mätt som fosforkoncentration, korrelerats med fiskproduktionspotential och fiskbestånd. Med hjälp av följande ekvationer från Hanson & Legett, 1982 kombinerat med arealförhållanden har möjligheterna för fiskuttag i Glan och Bråviken till foderproduktion uppskattats:

$$\text{Fiskproduktion (mg våt biomassa/m}^2, \text{ år)} = 7.1 * \text{totalfosforkoncentration}^{10} \quad (1)$$

$$\text{Fiskbiomassa (mg våt biomassa/m}^2 = 590 * \text{totalfosforkoncentration}^{0.71} \quad (2)$$

Närsaltdosering

Doseringsbehovet av närsalter för brukets biologiska rening kan tas fram från ett önskvärt förhållande mellan organiskt material, kväve och fosfor. Doseringen i modellen bygger på en reningsanläggning med lågt närsaltbehov. Bland exempelbruken har Skärblacka mycket lågt närsaltbehov. Fiskeby och Braviken har lågt respektive genomsnittligt närsaltbehov för denna typ av anläggning.

Uppvärmning av fiskodlingen

Sekundärvärme från brukets varma strömmar kan utnyttjas för uppvärmning av fiskodlingen. I modelleringen är det ingående ström till biologisk rening som har utnyttjats. Denna ström behöver ändå normalt kylas för att säkerställa en god funktion i reningsanläggningen och då är det en fördel om en del av den värmeenergin kan utnyttjas.

Modellering av exempelbruken

Den framtagna modellen (se avsnitt "modellering av vattenbruk") anpassades till data från de tre exempelbruken (tabell 4) och på detta sätt undersöktes om det var möjligt och lämpligt att kombinera respektive bruk med en landbaserad fiskodling. För fiskodlingen behölls tidigare framtagna data, medan data för bruken hämtades från miljörapporter för 2016 (Johansson & Strömberg, 2017) (Fiskeby board, 2016) (Brodén & Dahlberg, 2017) och kompletterande uppgifter från bruken.

Tabell 4. Uppgifter om exempelbruken, Skärblacka, Fiskeby och Braviken

		Skärblacka	Fiskeby	Braviken
Årsproduktion	ton/år	442 000	162 000	520 000
Avloppsflöde	m ³ /d	60 050	4 200	26 300
TOC till rening	kg/d	15 500	Mäts ej	Mäts ej
COD till rening	kg/d	Mäts ej	9 500	65 200
SÄ GF/A till rening	kg/d	5 800	740	28 400
Dosering kväve	kg N/d	50	50	920
Dosering fosfor	kg P/d	8	7	80
Dosering AVR	t/d			ca 4
Temperatur avlopp	°C	44	35	46
Temperatur i rening	°C	40	30	43

För att utröna om det finns kapacitet vid exempelbruken för hantering av extra avlopp från en fiskodlingsanläggning jämfördes i ett första steg redovisad produktion och utsläpp med tillståndsgiven produktion och tillståndsgivna utsläppsvärden.

Därefter kompletterades med jämförelser med bedömd tillåten kapacitet för nuvarande reningsanläggning genom att studera ytbelastning hos sedimenteringsstegen och organisk belastning på den biologiska reningen.

Kostnadsanalys

En kostnadsanalys genomfördes för de tre bruken för att undersöka kostnader och potentiella vinster vid en integration av fiskodling enligt modellen.

Produktionskostnaden beräknades både för hel fisk och för filé.

Driftkostnader för fiskodlingen består av inköp av yngel, foder, vattenkostnad, UV-behandling, syrgas, kalklösning för pH-justering, el samt personalkostnader. I produktionskostnaden ingår också kapitalkostnad för investeringen baserat på 15 % annuitet.

Kostnaden för foder beror av vilket foder som används. I konceptet ingick att studera både foder av bytesfisk från recipient samt konventionellt foder av fiskmjöl och vegetabiliska alternativ.

Kriterier

För att utvärdera effekter och begränsningar av konceptet sattes ett antal kriterier upp som skulle uppfyllas så långt som möjligt.

- *Teknisk kapacitet*
Integrationen av fiskodlingen ska innebära att bruket med befintlig reningsanläggning ska kunna producera med befintlig dimensionerad kapacitet och innehålla sina villkorskrav.
- *Maximalt utnyttjande av bytesfisk*
Integrationen med fiskodlingen ska innebära maximalt utnyttjande av bytesfisk från recipienten för att maximera miljönyttan och sluta kretsloppet för närsalter.
- *Minimering av närsaltdosering*
Integrationen ska innebära en minimering av brukets närsaltdosering genom att närsalter i överskottsvatten och slam från fiskodlingen utnyttjas.
- *Maximalt utnyttjande av sekundärvärme*
Integrationen ska innebära maximalt utnyttjande av sekundärvärme från bruket för att värma fiskodlingen och därmed minska kylbehovet före brukets reningsanläggning.
- *Rimlig storlek på fiskodlingen*
För fiskodlingen görs en rimlighetsbedömning av storleken i varje enskilt fall.

Resultat

Teoretiskt optimal storlek på fiskodling vid pappersbruk

Med hjälp av den första modelleringen undersöktes systemets generella egenskaper och hur olika faktorer påverkade systemet. I beräkningarna varierades de två styrande variablerna, pappersproduktionen och fiskproduktionen och jämfördes med kriterierna. Genom att variera dessa variabler visades effekterna för belastning av föroreningar i systemen, doseringsbehov av kväve och fosfor i biologisk rening, fiskodlingarnas storlek, foderbehov samt energibesparing genom utnyttjande av sekundärvärme från bruket. Ett teoretiskt maximum för optimalt utnyttjande av resurser i enlighet med uppsatta kriterier erhöles vid en produktionskapacitet i fiskodlingen på 0,4 % av produktionskapaciteten i bruket. För två storlekar på bruk blir då den teoretiskt modellerade fiskproduktionen enligt Tabell 5. Modellering gjordes även för en mindre storlek på bruk, men detta fall understiger normal produktionskapacitet för pappersbruk och har därför inte tagits med.

Tabell 5. Teoretiskt optimal storlek på fiskodling för två tänkta pappersproduktioner

		Bruk 1	Bruk 2
Pappersproduktion	ton/år	375 000	75 000
Fiskproduktion, hel fisk	ton/år	1 500	300
Fiskproduktion, filé	ton/år	450	90

Fiskfoder från recipienterna

Den årliga produktionspotentialen för foder baserat på vitfisk från Glan och Bråviken har utifrån fosforkoncentrationer och arealförhållanden i recipienterna beräknats (ekv. 1) till knappt 5 ton torrt foder/år.

En utfiskningskampanj i syfte att avsevärt minska bestånden av vitfisk i Glan och Bråviken skulle teoretiskt ge 160 ton torrt foder (ekv. 2)

Det är således en begränsad del av det totala foderbehovet till en fiskodling (330 ton foder, till 300 tons odling) som skulle kunna tillgodoses genom lokalproducerat fiskfoder.

Dosering av närsalter

Skogsindustriella avlopp innehåller ofta för låga halter av närsalterna kväve och fosfor för att en biologisk rening ska fungera optimalt. Högbelastade anläggningar kräver normalt högre halter av närsalter än lågbelastade. Överskottsvatten och slam från fiskodlingen är näringsrika och kan potentiellt ersätta dosering av kväve och fosfor i brukets reningsanläggning. I den första

modelleringen bestämdes en optimal storlek på produktion i fiskodlingen jämfört med pappersproduktion till 0,4 %. Detta tal grundade sig på ett scenario när fosfordoseringen helt kunde ersättas med vatten och slam från fiskodlingen. En del kväve behöver då fortfarande doseras, även om en del av kvävebehovet också tillhandahålls med hjälp av fiskodlingen. För exempelbruken med mycket låg och låg kvävedosering beräknas ca 30 % av kvävedoseringen kunna ersättas med fiskslam. För bruket med genomsnittlig kvävedosering beräknas knappt 5 % av kvävedoseringen kunna ersättas.

Energibesparingar

Processvattnet från massa- och pappersbruken har oftast tillräckligt hög temperatur för att användas för uppvärmning av råvatten till fiskodlingen. Om förhållandet mellan fiskodlingens produktion och pappersproduktionen är 0,4 % och recirkulationsgraden är 98 % behövs endast ett delflöde av ca 5 % från processvattnet för att värma upp det råvatten som krävs till fiskodlingen. Temperaturen på avloppsvattnet kan variera, vilket inte har tagits hänsyn till i grundmodelleringen, där temperaturen har satts till 65 °C.

Optimum för produktionen

Den optimala fiskproduktionen (ton/år) beräknades i grundmodellen till 0,4 % av pappersproduktionen (ton/år). Vid detta förhållande mellan produktionsnivåerna utnyttjas resurserna maximalt enligt de uppsatta kriterierna. Om fiskproduktionen är lägre i förhållande till pappersproduktionen utnyttjas inte resurserna från bruket till fiskodlingen och från fiskodlingen till bruket till fullo och om fiskproduktionen är högre så blir detta en belastning för bruket. Vid förhållandet 0,4 % ersätts behovet av dosering av fosfor helt med näring från fiskodlingen. I Tabell 6 visas modellerade data för två produktionsnivåer.

Tabell 6. Jämförelse av två produktionsnivåer i grundmodellen.

Produktion			
Pappersproduktion	ton/år	375 000	76 000
Fiskproduktion	ton/år	1 500	300
Fiskproduktion/Pappersproduktion	%	0,4	0,4
Foderbehov			
Foderbehov, totalt	ton/år	1 700	350
Andel foder tillgodosett av bytesfisk, utfisningskampanj ¹⁾	%	9	47
Andel foder tillgodosett av bytesfisk, uttag från tillväxt	%	0,3	1,1
Närsaltdosering			
Kvävedosering	kg/d	320	65
Reduktion av kvävedosering	%	12	12
Fosfordosering	kg/d	~0	~0
Reduktion av fosfordosering	%	100	100
Värmeväxling			
Färskvatten till fiskodling, flöde	m ³ /d	2200	440
Bruksavlopp för uppvärmning, flöde	m ³ /d	1800	360
Andel av totala bruksavloppet	%	5	5
Area, värmeväxlare	m ²	25	5

- 1) Detta är inte något uthålligt scenario, utan efter en utfisningskampanj måste bytesfisken från recipienterna ersättas av annat foder

Resultat av modellering för exempelbruken

För att ta reda på lämplig storlek av fiskproduktion och andra data för en etablering av en fiskodling vid de tre exempelbruken gjordes en anpassad modellering med aktuella data för respektive bruk. Resultaten sammanfattas i Tabell 7 och förklaringar till beräkningar för respektive bruk redovisas i efterföljande avsnitt. Fiskodlingens produktion var den styrande variabeln och varierades för beräkning av lämplig storlek på fiskodlingen. För Skärblacka och Fiskeby valdes den storlek på fiskodling där fosfortillskottet från denna beräkningsmässigt helt kunde ersätta fosfordosering till brukets rening. För Braviken konstaterades av olika skäl, framför allt att brukets reningsanläggning är begränsande för produktionskapaciteten, att etablering av en fiskodling enligt konceptet inte var lämplig. Data för en tänkt anläggning har ändå tagits fram och redovisas i tabellen. På grund av lägre recirkulationsgrad än i beräkningar i examensarbetet har råvattenflöden till fiskodling, avloppsflöden för uppvärmning och värmeväxlarytor ökat jämfört med uppgifter i bilagan.

Tabell 7. Optimal fiskproduktion i förhållande till pappersproduktion vid exempelbruken

		Skärblacka	Fiskeby	Braviken
Pappersproduktion	ton/år	442 000	162 000	520 000
Fiskproduktion	ton/år	750	600	500
Fiskprod./Pappersprod.	%	0,17	0,37	0,10
Råvatten till bruk	m ³ /d	87 000	5 800	42 700
Råvatten till fiskodling	m ³ /d	1 000	800	700
Processavlopp, bruk	m ³ /d	60 050	4 250	26 300
Avlopp, fiskodling	m ³ /d	200 ¹⁾	800	0
Villkor för utsläpp		Innehålls	Innehålls	Nära gräns
Teknisk kapacitet rening		Innehålls	Innehålls	Nära gräns
COD (från fiskodling)	kg/d	400	330	0
SS (från fiskodling)	kg/d	260	200	0
Tot-N (från fiskodling)	kg/d	22	18	0
Tot-P (från fiskodling)	kg/d	9,5	8	0
Dosering kväve	kg/d	33	35	880
Reduktion av kvävedosering	%	34	30	5
Dosering fosfor	kg/d	0	0	76
Reduktion av fosfordosering	%	100	100	5
Bruksavlopp t värmeväxling	m ³ /d	6 000	4 100 ²⁾	0
Andel av bruksavlopp	%	10	96 ²⁾	
Area värmeväxlare	m ²	17	16	
Foderbehov	ton/år	870	690	580
Möjlig andel från tillväxt bytesfisk ³⁾	%	0,5	0,7	0,8
Möjlig andel från totalt fiskbestånd ³⁾	%	18	23	28

1) Enbart slam, eftersom brukets hydrauliska kapacitet inte tillåter tillförsel av överskottsvatten. 2) Gäller när kylning av avloppsvattnet är i drift 3) Avser total mängd bytesfisk i både Glan och Braviken under en utfisningskampanj.

Skärblacka bruk med integrerad fiskodling

För att den integrerade fiskproduktionen ska optimeras bör den årliga produktionen vara 750 ton fisk. Brukets användning av fosfor och kväve kan då reduceras med 100 % respektive 34 %. Skärblackas ordinarie närsaltsbehov är lägre jämfört med de andra exempelbruken, vilket beror på att reningsanläggningen är en lågbelastad, långtidsluftad aktivslamanläggning (LAS), utformad för låg närsaltdosering.

Totala utsläppen av TOC och suspenderade ämnen kommer öka något på grund av den integrerade fiskodlingen, men eftersom dagens utsläpp från bruket ligger med marginal till gällande villkor bedöms tillståndet kunna innehållas. Utsläppsnivåerna av kväve och fosfor ändras inte i förhållande till idag, eftersom dosering av kväve och fosfor anpassas till tillförda mängder med fiskslammet.

Ytbelastningen på sedimentationsbassängerna och den luftade zonens uppehållstid och organiska belastning påverkas obetydligt av en integrerad fiskodling (ca 0,01 % ökad belastning). Fiskodlingens och brukets sammanlagda råvattenbehov är inom gränsen för brukets kapacitet. Däremot är flödet från huvudavloppet till LAS-anläggningen redan innan integration nära den maximala kapaciteten. Flödet av överskottsvatten och slam från fiskodlingen är ca 1000 m³/d och flödet av fiskslam ca 200 m³/d.

Skärblacka bruk anses lämpligt för implementering av ICAI, men överskottsvatten från fiskodlingen bör ej avledas till brukets reningsanläggning. Det är däremot möjligt att leda slam från fiskodlingen dit för att nyttja närsaltinnehållet i slammet.

För att värma upp den nödvändiga volymen råvatten till fiskodlingen (ca 1000 m³/d) krävs avledning av ca 10 % av brukets huvudavlopp och värmeväxlarens yta blir 17 m².

Foderbehovet för odlingen är 866 ton/år, av vilket 18,6 % kan tas av lokalt producerad bytesfisk om hela beståndet i Glan och Bråviken kan utnyttjas. Om foder enbart tas från den årliga tillväxten av bytesfisk i recipienterna tillgodoses 0,5 % av det totala foderbehovet.

Fiskeby board med integrerad fiskodling

Fiskeby board visade sig i modelleringen vara lämpligt för integration av fiskodling. Det finns god marginal för ökad belastning på brukets reningsanläggning (baserat på 2016 års belastningsnivå). Baserat på modelleringen av bruket är en årlig fiskodling på 600 ton tilapia optimal. Avlopp från fiskodlingen kan vid denna produktion helt tillgodoses fosforbehovet till reningen och kvävedoseringen kan reduceras med 30 %. Det totala råvattenbehovet är ca 6 600 m³/d, vilket med god marginal är inom tillstånd och kapacitet för bruket. Ytbelastningen i sedimentationssteget och den organiska belastningen på reningen håller sig med god marginal under den maximala kapaciteten.

Totala utsläppen av TOC och suspenderade ämnen kommer öka på grund av den integrerade fiskodlingen, men eftersom dagens utsläpp från bruket ligger med marginal till gällande villkor bedöms tillståndet kunna innehållas. Utsläppsnivåerna av kväve och fosfor ändras inte i förhållande till idag, eftersom dosering av kväve och fosfor anpassas till tillförda mängder med fiskslammet.

Foderbehovet för fiskodlingen blir 690 ton/år. Beståndet av bytesfisk i Glan och Bråviken kan tillgodose 23 % av detta. Om foder enbart tas från den årliga tillväxten av bytesfisk i recipienten kan 0,7 % av det totala foderbehovet tillgodoses.

Uppvärmning av fiskodlingen genom värmeväxling kan eventuellt inte ske under hela året. Temperaturen hos processavloppet från Fiskeby Board är relativt låg och bruket behöver enbart kyla sitt avloppsvatten under sommarperioden. Om värmen i avloppsvattnet ska utnyttjas behöver hela avloppsmängden värmeväxlas på grund av de små temperaturskillnaderna på varma sidan. I projektet har inte utretts om annan typ av överskottsenergi kan utnyttjas.

Bravikens pappersbruk med integrerad fiskodling

Bravikens pappersbruk ligger idag på utsläppsnivåer nära tillståndsgrensarna och planerar att i framtiden öka produktionen av blekta produkter, vilket kommer att öka utsläppen i processavloppen till rening. Brukets reningsanläggning är redan idag högt belastad och en ytterligare tillförsel av avloppsvatten på grund av integrerad fiskodling bedöms inte med nuvarande förutsättningar lämpligt.

För att testa olika förutsättningar gjordes ändå en modellering av en fiskodling vid bruket med en produktionskapacitet av 500 ton tilapia per år.

Doseringen av närsalter till brukets biorening är hög. Det skulle kunna finnas möjlighet att utnyttja slam från en fiskodling till detta, men det skulle endast kunna ersätta en liten del av närsaltbehovet.

I dagsläget har bruket inte behov av kylning av avloppsvattnet eftersom temperaturen är tillräckligt låg. Därefter sker en ytterligare sänkning av temperaturen i försedimenteringen och i de biologiska dammarna. Därför är möjligheten att tillvarata sekundärvärme från avloppsvattnet begränsad. Det har inte utretts om det finns andra varma flöden inom bruket som kan användas.

Utöver att belastningen på reningsanläggningen inte bör ökas med en ytterligare verksamhet är även möjligheterna till positiva synergieffekter, såsom minskad närsaltdosering och tillvaratagande av överskottsvärme små för en integrering med fiskodling. Däremot finns fortfarande en möjlighet att utnyttja bytesfisk från brukets recipient som fiskfoder. En sådan fiskodling är däremot mer likställd med en konventionell fiskodling eftersom inget utbyte av strömmar sker.

Kostnads kalkyl

Investeringskostnad för integrerad fiskodling

Investeringskostnaderna bygger till stor del på kostnader från förstudie om landbaserad fiskodling vid Domsjö Fabriker finansierad av Vinnova (Hylander & Svanholm, 2012). En del nyckeldata för anläggningarna har sammanfattats i **Tabell 8**. Kostnadsuppskattning för en tänkt fiskodling vid de tre bruken redovisas i **Tabell 9**.

Fiskodlingarna har dimensionerats med i huvudsak samma tankstorlekar som i Vinnova-rapporten. Anläggningen har tänkts inrymmas i en byggnad i två plan liknande beskrivningen i samma rapport. Bygg- och markkostnader har kompletterats med kostnad för en enkel industribyggnad, eftersom fiskodlingen i Domsjö förutsattes inrymmas i en befintlig industribyggnad.

Tabell 8. Data för integrerad fiskodling vid de tre exempelbruken

		Skärblacka	Fiskeby	Braviken
Fiskproduktion	t/år	750	600	500
Slutodlingstankar à 103 m ³	antal	15	12	10
Förtankar à 51,5 m ³	antal	30	24	20
Svälttankar à 51,5 m ³	antal	3	2	2
Slakttankar à 51,5 m ³	antal	3	2	2
Karantänstank för yngel	antal	1	1	1
Volym för karantänstank	m ³	5	4	3,3
Total odlingsvolym	m ³	3 400	2 700	2 300
Golvyta fisktankar med kringutrymme	m ²	1 800	1 400	1 200
Total yta fiskanläggning	m ²	2 600	2 100	1 800
Värmeväxlaryta	m ²	17	16	
Totalt installerad effekt	kW	570	460	380

Hänsyn har tagits till att specifika kostnaden för olika typer av utrustningar inte är proportionell mot storleken, men det blir ändå stora förenklingar när man utgår från kostnader framtagna för ett specifikt fall och omvandlar dem till ett annat. Beräkningarna ska därför ses som en grov bedömning.

Kostnaderna har räknats upp något i förhållande till Vinnova-rapporten, som färdigställdes för fem år sedan.

Maskinkostnaderna består av tankar, pumpar, värmeväxlare, fodergivningssystem, biofilter, avgasningsanläggning, syrekon, trumfilter och UV-behandling. UV-behandlingen är en stor del av maskinkostnaden och investeringskostnaden kan minskas om detta reningssteg inte behövs. Med så hög recirkulationsgrad som här använts är det dock troligt att UV-behandling behövs.

Rörkostnaderna har beräknats till en schablonkostnad, lika vid de tre brukena och består av interna ledningar med DN40, färskvattenledning, avloppsledning DN50 samt slamledning DN100.

Tabell 9. *Investeringskostnad för landbaserad fiskodling vid tre bruk*

Alla kostnader i MSEK	Skärblackska	Fiskeby	Braviken
Byggkostnader och markberedning	13,1	10,5	8,7
Ventilation och belysning	2,2	1,7	1,5
Maskinkostnader			
Tankar	5,0	4,1	3,6
Installation	2,3	1,8	1,6
Pumpar	4,4	3,8	3,5
Pumpmontage	0,9	0,8	0,7
Värmeväxlare med ventiler o montage	0,05	0,05	
Fodergivningssystem	1,6	1,3	1,1
Biofilter	0,9	0,8	0,7
Installation av biofilter	0,8	0,7	0,6
Avgasning inklusive montage	1,9	1,6	1,4
Syrekon inklusive montage	0,7	0,5	0,5
Trumfilter inklusive montage	3,2	2,6	2,3
UV-utrustning inklusive montage	5,6	4,6	3,8
Övrig utrustning	1,1	1,0	0,9
Rörsystem	4,9	4,9	4,9
Elkostnader inkl. ställverk och nödkraft	8,3	6,7	5,5
Instrument och styrsystem	0,5	0,5	0,5
Summa, MSEK	57	48	42
Oförutsett, 25 %	14	12	10
Totalt inklusive oförutsett, MSEK	71	60	52

Driftskostnader för integrerad fiskodling

Underlag för driftskostnadsberäkning redovisas i **Tabell 10**. Kostnaderna bygger i huvudsak på förstudien om fiskodling vid Domsjö (Hylander & Svanholm, 2012). Av inköpta fiskyngel förväntas 16 % dö. Att använda bytesfisk som foder i en fiskodling utgör en hög kostnad. Att ta upp fisken från recipienten har uppskattats kosta ca 15 SEK/kg (mätt som färsk vikt). Antagande har vidare gjorts att hanteringen av fisken till färdig foderprodukt innebär ett påslag med 30 %, vilket innebär att kostnaden för foder från bytesfisk blir 98 SEK/kg. Konventionellt foder är mycket billigare. I tabellen redovisas också foderkostnader för respektive exempelbruk baserat på ett uttag till ett av bruken av all vitfisk i recipienterna Glan och Bråviken. Ett sådant uttag är inte långsiktigt möjligt eftersom recipienternas bestånd kommer att minska. Antalet anställda har beräknats till 6 personer för integrerad fiskodling i Skärblacka och 5 personer för anläggningarna i Fiskeby och Bråviken.

Tabell 10. Underlag för driftskostnader

<i>Angivelser per kg fisk avser odlad tilapia</i>		
Fiskyngel, inköpt	SEK/st.	0,72
Fiskyngel, inköpt	SEK/kg fisk	0,86
Foder från bytesfisk	SEK/kg (torrt)	98
Konventionellt foder	SEK/kg (torrt)	5,27
Konventionellt foder	SEK/kg fisk	6,85
Foderkostnad, max uttag bytesfisk, Skärblacka ¹⁾	SEK/kg foder	30
Foderkostnad, max uttag bytesfisk, Fiskeby ¹⁾	SEK/kg foder	37
Foderkostnad, max uttag bytesfisk, Bråviken ¹⁾	SEK/kg foder	53
UV-behandling	SEK/m ³	0,05
Syrgas	SEK/kg	0,45
Syrgas	SEK/kg fisk	0,36
Kalciumhydroxid (Ca(OH) ₂ för pH-justering	SEK/kg	9
Kalciumhydroxid (Ca(OH) ₂ för pH-justering	SEK/kg fisk	0,57
Elektricitet	SEK/kWh	0,77
Färskvatten	SEK/m ³	0,8
Avloppsvattenhantering (endast Fiskeby)	SEK/m ³	0,8
Löner och sociala avgifter	kSEK/anställd o år	360
Utbyte vid filetering	%	30
Frakt till fileteringsanläggning	SEK/kg fisk	1,8
Filetering	SEK/kg filé	10
Hantering fiskrensspill	SEK/kg	0,5

1) Avser fiskodling vid ett av bruken och maximalt uttag av bytesfisk från Glan och Bråviken

En sammanställning av driftskostnader för de tre exempelbruken görs i **Tabell 11**.

Tabell 11. *Driftskostnad för landbaserad fiskodling vid tre bruk*

		Skärblacka	Fiskeby	Braviken
Fiskyngel	kSEK/år	640	520	430
Foderkostnad vid blandat foder	kSEK/år	19 400	18 500	17 900
<i>Foderkostnad, konventionellt foder</i>	<i>kSEK/år</i>	<i>4 600</i>	<i>3 600</i>	<i>3 100</i>
UV-behandling	kSEK/år	20	15	10
Syrgas	kSEK/år	270	220	180
Kalciumhydroxid	kSEK/år	430	340	290
El	kSEK/år	3 800	3 100	2 600
Färskvatten	kSEK/år	290	230	200
Avloppskostnad	kSEK/år		230	
Personalkostnader	kSEK/år	2 200	1 800	1 800
Driftkostnad blandat foder	MSEK/år	27	25	23
Driftkostnad blandat foder	SEK/kg fisk	36	42	47
Driftkostnad konventionellt foder	MSEK/år	12	10	9
Driftkostnad konventionellt foder	SEK/kg fisk	16	17	17
Filetering	kSEK/år	2 300	1 800	1 500
Hantering fiskrensspill	kSEK/år	110	90	80
Driftkostnad m filetering blandfoder	MSEK/år	29	27	25
Driftkostnad m filetering blandfoder	SEK/kg filé	130	150	170
Driftkostnad filetering konv. foder	MSEK/år	27	22	19
Driftkostnad filetering konv. foder	SEK/kg filé	120	123	125

Produktionskostnader för integrerad fiskodling

Produktionskostnad hel fisk och fiskfilé av tilapia från integrerad fiskodling vid de tre bruken redovisas i Tabell 12. Någon investeringskostnad för fileteringsanläggningen ingår inte i kalkylen, utan det förväntas kunna köpas till en viss kostnad i en befintlig anläggning. Kapitalkostnaden baseras på 15 % annuitet.

Tabell 12. *Produktionskostnad för tilapia vid integrerat vattenbruk*

		Skärblacka		Fiskeby		Braviken	
		Hel fisk	Filé	Hel fisk	Filé	Hel fisk	Filé
Fiskproduktion	ton/år	750	225	600	180	500	150
Investering	MSEK	71	71	60	60	52	52
Kapitalkostnad ¹⁾	MSEK/år	10,8	10,8	9,0	9,0	7,8	7,8
<i>Driftkostnad</i>							
Blandat foder	MSEK/år	27,1	29,4	24,9	26,8	23,4	24,9
Konventionellt foder	MSEK/år	12,2	14,6	10,1	12,0	8,5	10,1
<i>Årskostnad</i>							
Blandat foder	MSEK/år	38	40	34	36	31	33
	SEK/kg	50	180	56	200	62	220
Konventionellt foder	MSEK/år	23	25	19	21	16	18
	SEK/kg	31	110	32	115	33	120

1) 15 % annuitet

Produktionskostnaden blir väsentligt högre om del av fodret tas av vitfisk från recipienten. Här har räknats med att hela uppskattade beståndet i recipientsystemet Glan och Bråviken skulle användas i en integrerad fiskodling på ett av bruken. Om mindre mängd bytesfisk används minskar kostnaden. Uttag av så stor mängd bytesfisk ur recipienterna är inte möjligt under en längre tid, utan andelen konventionellt foder måste successivt ökas för att hålla fiskproduktionen på en konstant nivå. Den positiva miljöeffekt som erhålls genom upptag av bytesfisken är inte värderad.

Diskussion

Möjligheten till besparingar på grund av minskad kylning har både i tidigare studier och i denna visat sig begränsad. I några fall är temperaturen på avloppsvattnet inte tillräckligt hög för att säkert tillgodose uppvärmning av fiskodlingen hela året. I andra fall är det bara en bråkdel av sekundärvärmets i brukets avloppsvatten, som behövs för uppvärmning av fiskodlingen och då krävs ändå en kylning av avloppsvattnet före brukets rening. Noggrannare studier av hur uppvärmning av vattnet till en fiskodling skulle kunna genomföras behövs för fabriker, där inte värmeöverskottet i avlopp till brukets reningsanläggning är så stort. Generellt finns oftast ett antal lågvärdiga energiströmmar, som borde kunna utnyttjas.

Vid integrering av fiskodling med massa- och pappersbruk har identifierats potential till besparingar för bruken på grund av minskat behov av kylning och minskad dosering av närsalter. Om tillförsel av näringsrikt avlopp och slam från fiskodlingen kan ersätta dosering av kväve och fosfor till brukets reningsanläggning beräknas det för två av exempelbruken kunna innebära en besparing av storleksordningen 90 000 SEK/år. Det är också viktigt att undersöka vilken effekt tillförsel av avlopp och slam från fiskodlingen har på brukets reningsanläggning. Frågeställningar är bland annat hur väl närsalterna från fiskodlingen kan upptas och utnyttjas, hur biologin i reningen fungerar samt hur torrhalt och avvattningsegenskaper hos slammet påverkas.

För fiskodlingen kan positiva samordningseffekter vara att det finns anläggningsytor och vägar, tillgång till el, vatten och andra media på nära håll. Eftersom massa- och pappersbruk är bemannade dygnet runt skulle man också kunna tänka sig att brukets personal kan utnyttjas för viss övervakning under kvällar, nätter och helger.

En integration av fiskodling vid ett massa- och pappersbruk enligt tänkt koncept ökar belastningen på brukets råvatten- och avloppsreningsanläggningar. Fiskodlingens storlek måste därför anpassas till kapacitet för dessa reningsanläggningar och produktionstillstånd och utsläppsvillkor för bruket. Hur detaljer i tillståndsfrågan för en kombinerad anläggning ska kunna utformas har inte berörts i denna studie.

Att använda sig av lokalt producerat fiskfoder är i förhållande till att köpa in konventionellt foder dyrt. Genom att göra det så återtar men emellertid en del av de näringsämnen som tillförts recipienten från olika källor. På så sätt är det en åtgärd som går hand i hand med miljömålen att minska näringsämnestillförseln, vilket gäller i majoriteten av Sveriges vattenförekomster. Det finns även sannolikt goda möjligheter att genom att fiska ned bestånden av vitfisk åstadkomma en samhällsförändring mot mer rovfisk i recipienterna, så kallad biomanipulation (Bernes et al., 2015), vilket i sig är positivt för de lokala miljöförhållandena. Då åtgärder för att ytterligare reducera närsaltsutsläpp ofta är kostnads- och resurskrävande skulle biomanipulation kunna vara en alternativ väg att närma sig miljö kvalitetsnormer för god ekologisk status. Sett ur ett större perspektiv skulle det vara intressant att närmare utreda potentialen i att kombinera ett kommersiellt intresse som fiskodling med miljövårdsåtgärder av detta slag i ett större antal vattenförekomster utöver själva primärrecipienten.

Förslag till pilotstudie

Baserat på resultaten av denna förstudie föreslår vi att en testbädd uppförs i anslutning till ett bruk där konceptet testas i en mindre skala.

Fiskodlingen bör lokaliseras till ett bruk med:

- kontinuerligt överskott av sekundärvärme
- en reningsanläggning som fordrar dosering av närsalter för maximal prestanda
- en reningsanläggning som har hydraulisk kapacitet att ta emot överskottsvatten från fiskodlingen
- en primärrecipient i ett relativt näringsrikt inlandsvatten eller ett inneslutet kustområde

I **Tabell 13** listas svenska fabriker som tillverkar sulfatmassa och hur de uppfyller ett par av ovanstående kriterier. Listan gör ej anspråk på att vara fullständig och baseras till del på antaganden från författarna vilka ej konfirmerats av berörda industrier.

Tabell 13. Svenska sulfatmassabruk och bedömning av deras potential att uppfylla vissa kriterier för fiskodling.

Anläggning	Dosering av närsalter till reningsanläggning	Näringsrik primärrecipient
Frövifors bruk	Nej (eller mkt låg)	Ja
Gruvöns bruk	Ja	Nej
Karlsborgs bruk	Nej	Nej
Korsnäsverken	Ja, lite kväve	Ja
Skärblacka bruk	Ja, men låg	Ja
Iggesunds bruk	Nej	Ja
Husums fabrik	Ja	Nej
Dynäs	Nej (samrening kommun)	Nej
Aspa Bruk	Ev lite (mkt liten biorening)	Nej
Billingsfors bruk	Nej (ingen biorening)	Nej
Bäckhammars bruk	Ja	Ja
Nordic Paper Seffle	Ja	Nej
Rottneros Bruk	Ja	Nej
Vallviks bruk	Ja	Nej
SCA, Munksund	Ja	Nej
SCA, Obbola	Ja	Nej
Östrands massafabrik	Ja	Nej
Smurfit Kappa Piteå	Ja	Nej
Fors kartongbruk	Ja	Ja
Skoghallsverken	Låg, vintertid	Nej
Skutskärs bruk	Ja	Nej
Mönsterås bruk	Låg, bara fosfor	Intermediär
Mörrums bruk	Ja	Intermediär
Värö bruk	Ja	Intermediär
Waggeryd Cell	Ja	Nej

Ur **Tabell 13** framgår att Bäckhammars bruk och Fors kartongbruk uppfyller bägge kriterier samt i viss mån även Södra Cells anläggningar i Mönsterås, Mörrum och Värö.

En väsentlig del av konceptet är att utnyttja spillvärme som energikälla. Anläggningen bär därför inriktas mot produktion av varmvattensarter. Några tänkbara arter listas nedan:

- tilapia (*Oreochromis niloticus*)
- jätteräka (*Penaeus monodon*)
- abborre (*Perca fluviatilis*)
- afrikansk mal (*Clarias gariepinus*)

Kvarstående frågeställningar

Att utnyttja spillvärme från industrier för uppvärmning av matfiskproduktionsanläggningar är ett relativt nytt begrepp i Sverige. Även om utrymme finns i industriernas utsläppsrätter så är varken lagstiftningen eller kunskapsnivån hos tillståndsgivande myndigheter uppdaterad för att hantera denna typ av ärenden. En naturlig fortsättning på denna studie är därför att sammanställa existerande lagstiftning och lyfta de aspekter som behöver utredas vidare för att förenkla ansökningsprocesserna. Detta kan göras dels genom kontakt med handläggande myndigheter, dels genom kontakt med odlare som tidigare haft, eller har, verksamhet i anslutning till industrier. Tillväxt Bohuslän arbetar med att ta fram en webbaserad kurs i vattenbruk, delvis inriktad mot kommunala tjänstemän och tjänstemän på länsstyrelser, för att öka handläggarnas kompetensnivå och på så sätt förenkla ansöknings- och handlägningsprocesser. En genomlysning av regelverk och frågeställningar kopplade till vattenbruk kombinerat med industriverksamhet skulle med fördel kunna ingå som en av undervisningsmodulerna i denna utbildning.

Odling av varmvattensarter i landbaserade system kräver kontinuerlig tillgång till tillräckliga mängder varmt vatten. Tillgången till spillvärme är därmed en nyckelfaktor för etablering av varmvattensodling, varför kontinuiteten rörande denna aspekt bör utredas noggrant innan en pilotanläggning etableras. Alternativt kan förekomsten av ytterligare källor till spillvärme som kan utnyttjas för uppvärmning av en odlingsanläggning undersökas. Etablering av landbaserad odling kräver också ett långsiktigt engagemang, både på grund av höga investeringskostnader, men också eftersom systemen är komplexa att sköta och kräver personal med en hög teknisk och biologisk kompetens vilket skapar ett behov av en kontinuitet i verksamheten. För att identifiera lämpliga kandidatindustrier bör därför inte bara tekniska aspekter som tillgång till tillräckliga mängder processvatten av hög temperatur och kapacitet av reningsverk beaktas, utan också industriernas stabilitet i form av kontinuerlig produktion och deras framtidsplaner utredas. Det vore t.ex. förödande för ett nyetablerat vattenbruksföretag i anslutning till en industri om produktionen skulle minskas eller till och med flyttas, med förlust av uppvärmningsmöjligheter och/eller utsläppsrätter som konsekvens, eller om produktionen förväntas öka till en sådan nivå att inga extra näringstillskott kan rymmas inom existerande tillstånd.

Ett naturligt steg i samband med etablering av en pilotanläggning är också att göra en sammanställning av för- och nackdelar av olika kandidatarter för odling inom detta koncept. Faktorer som bör utredas är primärt biologiska odlingsförutsättningar som t.ex. optimal temperatur för odling, stresskänslighet, yngeltillgång, kunskap om tillväxthastigheter för produktionsplanering, förutsättningar för optimering av odlingsmiljön, nyttjande av olika fodertyper och möjlighet att välja en odlingsart och ett foder som optimerar möjligheterna till

nyttjande av vitfisk mm., men också marknadspotential för de olika kandidatarterna i Sverige bör utredas närmare.

Nyttjandet av vitfisk som substitut för fiskmjöl i fiskfoder är en intressant vinkling som bör utredas vidare. Aspekter som påverkar lämpligheten för denna proteinråvara i fiskfoder är förekomst av essentiella aminosyror och fettsyrasammansättning i det resulterande fiskmjölet, samt förekomst av spårämnen och en inte allt för hög askmängd. Eventuell förekomst av miljöfarliga ämnen i fisken bör också fastställas innan användning för matfiskproduktion kan rekommenderas.

Genom att välja en omnivor odlingsart så kan betydelsen av vitfisk som en proteinkälla potentiellt ökas eftersom denna typ av odlingsart också kan utnyttja vegetabiliska källor till protein i tillägg till protein från fiskmjöl. Detta skulle kunna öka den mängd foder som kan produceras av en begränsad mängd vitfisk då en del av den odlade organismens proteinbehov kan tillgodoses genom inkludering av växtbaserade proteinkällor. Foderutveckling skulle kunna ske i samarbete med det foderteknologiska laboratorium som nyligen etablerats vid SLU. Förutom näringsmässiga aspekter bör också den odlade organismens villighet att konsumera fodret och fodrets smältbarhet att undersökas för att säkerställa både god välfärd för den odlade fisken och god tillväxt för en ekonomisk hållbarhet för odlaren.

Slutsatser

- Det finns flera potentiella synergier av att samlokalisera ett vattenbruk med en cellulosaindustri enligt det koncept som föreslagits. För ett vattenbruk skulle en samlokalisering potentiellt kunna medföra:
 - o Tillgång till processvatten av hög kvalitet
 - o Tillgång till värmeenergi för uppvärmning av odlingen
 - o Tillgång till ett slutsteg för rening av överskottsvatten
 - o Tillgång till anläggningsytor och infrastruktur för produktion
 - o Täckning av del av foderbehov genom lokalt utnyttjande av vitfisk från industrins primärrecipient
- För en skogsindustri skulle en samlokalisering potentiellt kunna medföra:
 - o Minskat behov av kylning av processavloppsvatten
 - o Minskat behov av att dosera närsalter till egen reningsanläggning
 - o Förbättrade miljöförhållanden i recipienten genom reducering av vitfiskbestånd
- De individuella förutsättningarna vid befintliga skogsindustrier är givetvis varierande och helt avgörande för om det föreslagna processkonceptet är applicerbart. Generellt torde dock anläggningar som producerar kemisk massa vara mest lämpade att integrera med vattenbruk
- Ett teoretiskt maximum för optimalt utnyttjande av resurser i enlighet erhöles vid en produktionskapacitet i fiskodlingen på 0,4 % av produktionskapaciteten i bruket. Vid ett bruk som producerar 375 000 årston massa eller papper blir således den optimala fiskproduktionen 1 500 ton/år.
- Upp till storleksordningen 30 % av en skogsindustris behov av att dosera kväve skulle kunna ersättas med slam bestående av foderrester och fiskfekalier från vattenbruket, vilket innebär en besparing på upp till 100 000 kr/år.
- Den årliga kostnaden för ett vattenbruk som producerar 500 -750 årston fisk har beräknats till 30-40 MSEK, vilket ger ett kilopris för den producerade fisken inom intervallet 50-60 kr.
- Exempel på arter som skulle kunna bli aktuella i en framtida odling är tilapia, abborre, jätteräka och afrikansk mal. Gemensamt för dessa är att de är så kallade varmvattenarter som behöver tillgång till uppvärmt vatten under större delen av året.
- Att lokalt producera foder genom uttag av vitfisk, exempelvis mört och braxen, från recipienter är förhållandevis dyrt och kan bara täcka en del av foderbehovet men den innebär samtidigt en biomanipulation som är potentiellt gynnsam för miljöförhållandena i recipienten.
- Den förstudie som genomförts indikerar så pass stor potential för det föreslagna konceptet att det bör testas vidare i pilotskala.

Referenser

Bernes, C., et al., 2015. What is the influence of a reduction of planktivorous and benthivorous fish on water quality in temperate eutrophic lakes? A systematic review. *Environmental Evidence* 4: 7.

Bosaeus, M., Hussain, A., Karlsson, T., Andersson, L., Hulthén, L., Svelander, C., Sandberg, A., Larsson, I., Ellegård, L. & Holmång, A., 2015. A randomized longitudinal dietary intervention study during pregnancy: effects on fish intake, phospholipids, and body composition. *Nutrition Journal* 14:1.

Bregnballe, J., 2015. A Guide to Recirculation aquaculture, The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation.

Brodén, M. & Dahlberg, L., 2017. Miljörapport för Bravikens Pappersbruk 2016, u.o.: Holmen Paper AB.

Chung Heng, C., 2017. Integrerad akvakultur med cellulosaindustri (IACI) – för ökat resursutnyttjande och slutning av kretslopp. Examensarbete inom teknikområdet energi och miljö och huvudområdet miljöteknik, avancerad nivå 30 hp. Kungliga Tekniska Högskolan, skolan för arkitektur och samhällsbyggnad, Stockholm.

Ericsson, T., Larsson, B. & Sivard, Å., 2007. Strategy for nutrient control in modern effluent treatment plants, *Water Sci Technology*. 2007; 55(6): 157-63.

Fall, C. A., 2016. En ladugård full med fisk. *Sveriges Natur*, Volym nr 1.

FAO^a. FAOSTAT. Food Supply - Livestock and Fish Primary Equivalent. FAO.
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/CL>

FAO^b. Fishery Statistical Collections. Global Capture Production. FAO.
<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/en>

FAO^c, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.

FAO^d, 2009. The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. FAO Fisheries and Aquaculture department, Rome, Italy. 176 pp.

FAO^e. FAOSTAT Fishery Statistical Collections, Global Aquaculture Production.
<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en>

Fiskeby Board AB, 2016. Miljörapport 2015 Fiskeby Bruk, u.o.: Fiskeby Board AB.

Forslund, M., Bialik, M., Lindgren, K. och Samuelsson, Å., 2014. Improved secondary heat systems and reduced water consumption within the pulp and paper industry. *Värmeforsk rapport* 1251.

Hanson, J.M. & Leggett, W.C., 1982. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 257-263.

Hylander, B. & Svanholm, C., 2012. Förstudie - Fiskodling i recirkulerande vatten – värme- och vattenintegration med Domsjö Fabriker, ÅF.

Johansson, L. & Strömberg, E.-L., 2016. Miljörapport för verksamhetsåret 2015 - Skärblacka bruk, u.o.: BillerudKorsnäs Sweden AB.

Klinger D. & Naylor R., 2012. Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual Review of Environment and Resources*. 37: 247-276.

Ngo, H.H., Guo, W., Tram Vo, T.P., Nghiem, L.D. and Hai, F.I.: Aerobic Treatment of Effluents from the Aquaculture Industry, *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Biological Treatment of Industrial Effluents*, Edited by Lee, Hallenbeck, Ngo, Jegatheesan and Pandey, Elsevier, September 2015

Norrström, H. & Karlsson, M., 2015. Miljösituationen i skogsindustrirecipienten
Bakgrundsrapport - produktions- och miljöteknisk utveckling. IVL-rapport C123.

Sandström, O., Grahn, O., Larsson, Å., Malmaeus, M., Viktor T. & Karlsson M. (red.), 2016. Återhämtning och kvarvarande effekter i skogsindustrins recipienter – Utvärdering av 50 års miljöundersökningar. IVL-rapport B2272.

Schultz-Zehden, A. & Matczak, M. (redr), 2012. An assessment of innovative and sustainable uses of Baltic marine resources. ISBN 978-83-62438-14-3. Maritime Institute in Gdansk.

Tegnerot, H., 2017. Vattenbruk 2016. Statistiska Meddelanden JO 60 SM 1701, SCB. 19 pp.

Tidwell J.H. & Allan G.L., 2001. Fish as food: aquaculture's contribution: Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries. *EMBO Report* 2: 958-963.

Timonen, M., Horrobin, D., Jokelainen, J., Laitinen, J., Herva, A. & Räsänen, P., 2004. Fish consumption and depression: the Northern Finland 1966 birth cohort study, In *Journal of Affective Disorders*. 82: 447-452.

Turunen, A., 2012 Epidemiologiska studier om fiskkonsumtionen och hjärt- och kärlhälsan – Resultat från Fiskarundersökningen och undersökningen Hälsa 2000. Doktorsavhandling, Institutet för hälsa och Välfärd, Helsingfors, Finland. ISBN 978-952-245-635-9.

Ungfors, A. et al., 2015. Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar, Göteborg, Vattenbrukscentrum Väst rapport nr 4. Göteborgs universitet. ISBN: 978-91-982551-0-2, 98 sid.

