
RAPPORT

NORDIC TROUT SWEDEN AB
UPPDRAGSNUMMER 13003139-100

EFFEKTER AV NORDIC TROUTS FISKODLING PÅ KVALITETSAKTORN NÄRINGSÄMNER OCH BOTTENSUBSTRAT I ÖVRE FRYKEN – PÅVERKANANALYS AV BEFINTLIG OCH UTÖKAD ODLING SAMT ALTERNATIV LOKALISERING



SLUTVERSION

2018-12-18

SWECO ENVIRONMENT AB

Uppdragsledning: Hannah Styf, Wenche Hansen
Rapport: Veronika Rensfeldt, Johanna Schmidt
Hydrodynamisk modellering: Johanna Schmidt, Charlotta Lövestedt
Kvalitetsgranskning: Per Holmlund, Hanna Carlberg

Sammanfattning

Nordic Trout Sweden AB bedriver fiskodling i sjön Övre Fryken i Sunne kommun, Värmlandslän. Föreliggande utredning är en del av bolagets ansökan om tillstånd till utökad fiskproduktion vid verksamheten i Stöpafors.

Sweco har fått i uppdrag av bolaget att ta fram ett underlag för bedömning av fiskodlingsverksamhetens påverkan på Övre Frykens vattenmiljö, avseende utsläpp av näringsämnen och partikulärt material från verksamheten. Utredningen görs för fyra scenarier: för fiskodlingsverksamheten givet (1) befintligt tillstånd och befintlig lokalisering, (2) ansökt tillstånd och befintlig lokalisering, (3) ansökt tillstånd och alternativ lokalisering och (4) nollalternativet.

Utredningen beskriver hur lösta näringsämnen och partikulärt material som släpps från fiskodlingen (via foderrester, fekalier och urin) påverkar status för kvalitetsfaktorerna näringsämnen och morfologiskt tillstånd i vattenförekomsten Övre Fryken. Påverkansanalysen görs genom upprättande av en hydrodynamisk spridningsmodell över Övre Fryken, som kopplas samman med recipientdata från sjön. Samtliga analyser utförs för ett sommarscenario, då den huvudsakliga fiskproduktionen i sjön äger rum.

Resultaten visar att:

- Bolagets påverkan på ekologisk status bedöms vara försumbar oaktat undersökta tillstånd och lokaliseringar. Detta gäller både för utsläpp av näringsämnen och partikulär material.
- Övre Fryken visar hög näringsämnesstatus, och bidrag från fiskodlingen, oaktat scenario, påverkar inte näringsämnesstatusen för sjön. 0,00 % av sjöns totala ytvattenvolym beräknas ha lägre än *god* status (miljökvalitetsnormen), till följd av de undersökta fosforutsläppen vid fiskodlingsverksamheten i de fyra scenarierna. Vattenvolymer som beräknas ha lägre än *hög* status tidvis inuti, och i närmast anslutning till, fiskodlingskassarna beräknas utgöra 0,01 % av sjöns totala ytvattenvolym givet scenarierna (1) och (2), och utgöra 0,00 % givet scenarierna (3) och (4). Anspråken bedöms obetydliga för sjöns helhetsstatus.
- Utbredningen av fiskodlingsrelaterade sediment på sjöbotten under fiskodlingskassarna, bedöms uppgå till en area på cirka 15 800 m², baserat på fältundersökning med sonar.
- Utsläppet av partikulärt material från fiskodlingarna bedöms inte försämra rådande status för morfologiskt tillstånd i Övre Fryken, vid något av de undersökta scenarierna. Ytor av bottenssubstrat under fiskodlingskassarna i Övre Fryken, som har tillväxthastigheter på 1 mm, 1 cm och 10 cm per år utgör sammanlagt 0,06 % av sjöns ytarea i scenarierna (1), (2) och (3). För scenario (4) utgör ytor av bottenssubstrat under fiskodlingskassarna 0,05 % av sjöns totala ytarea.
- Den foderförbrukning som skulle kunna leda till en statusförsämring av kvalitetsfaktorn näringsämnen i hälften av Övre Frykens översta 10 meter beräknas till

59 600 ton/år för fiskodlingen vid Stöpafors, vilket är cirka 60 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det ansökta tillståndet, och cirka 71 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det befintliga tillståndet.

- En alternativ fiskodlingslokalisering med höga strömhastigheter, och därmed spridnings- och spädningsförhållanden har identifierats på sjöns östra strand, i närheten av Vålvik.

Innehållsförteckning

1	Inledning och syfte	6
2	Bakgrund	7
2.1	Ramdirektivet för vatten och svensk vattenförvaltning	7
2.2	Näringsämnesutsläpp och sedimentation från fiskodlingar	8
2.3	Befintligt och ansökt tillstånd samt nollalternativ	9
2.3.1	Befintligt tillstånd	9
2.3.2	Ansökt tillstånd	11
2.3.3	Nollalternativ	11
2.4	Övre Fryken, kvalitetskrav och nuvarande recipientkontroll	11
2.5	Hydrodynamisk modellering	13
3	Metodik	14
3.1	Klassificering av rådande näringsämnesstatus i Övre Fryken	14
3.2	Klassificering av klorofyll a, syrgasförhållanden och siktdjup i Övre Fryken	15
3.3	Beräkning av utsläpp från öppen kassodling	15
3.4	Hydrodynamisk modellering av Övre Fryken	16
3.4.1	Val av alternativ fiskodlingslokal	16
3.4.2	Spridning av lösta ämnen	16
3.4.3	Sedimentation av partikulärt material	17
3.5	Påverkansanalys av bolagets utsläpp till Övre Fryken	17
3.5.1	Påverkan på kvalitetsfaktorn näringsämnen	17
3.5.2	Påverkan på kvalitetsfaktorn morfologiskt tillstånd	18
4	Resultat och diskussion	19
4.1	Näringsämnesstatus i Övre Fryken	19
4.2	Status för klorofyll a, syrgasförhållanden och siktdjup i Övre Fryken	20
4.3	Utsläpp från odling med befintligt och ansökt tillstånd, liksom nollalternativ	22
4.4	Hydrodynamik och generella strömningsmönster i Övre Fryken	24
4.4.1	Lokalisering av alternativ fiskodling	27
4.4.2	Strömningsmönster vid befintlig och alternativ fiskodling	27
4.5	Verksamhetens påverkan på näringsämnesstatus i Övre Fryken	29
4.5.1	Verksamhetens bidrag av totalfosfor till Övre Fryken	29
4.5.2	Totalfosforkoncentrationer och näringsämnesstatus i Övre Fryken vid undersökta scenarier	33
4.5.3	Anspråk på näringsämnesstatus och kritisk fodermängd	37
4.6	Verksamhetens påverkan på bottenstrukturer i Övre Fryken	40
5	Slutsatser	44

6	Referenser	46
	Bilaga 1 – Hydrodynamisk modellering av Övre Fryken	48
	Bilaga 2 – Fältundersökningar i Övre Fryken med anledning av tillståndsansökan för Stöpafors fiskodling - sonarundersökning av sjöbotten	55

1 Inledning och syfte

Fiskodling har bedrivits i sjön Övre Fryken (vattenförekomst SE 664198-135102) i Sunne kommun i Värmland sedan 1990-talet. Nordic Trout Sweden AB (bolaget) övertog verksamheten år 2001. Gällande miljötillstånd medger en årsproduktion av fisk motsvarande maximalt 840 ton foder per år, där 480 ton inte är tidsbegränsat medan övriga 360 ton är tidsbegränsat till utgången av år 2020. Bolaget avser ansöka om tillstånd till utökad fiskproduktion motsvarande en total foderförbrukning på 1 000 ton per år.

Denna utredning är en del av bolagets ansökan om tillstånd till utökad produktion av regnbåge vid verksamheten vid Stöpafors i Övre Fryken. Utredningen avser att utgöra underlag för bedömning av verksamhetens påverkan på Övre Frykens vattenmiljö.

Nollalternativet, som innefattar att den ansökta produktionsökningen inte tillstyrks, innebär att verksamheten från och med 2021-01-01 bedrivs med en produktionsvolym om 480 ton foder per år enligt gällande miljötillstånd.

Utredningen beskriver vattenförekomstens status idag i förhållande till nollalternativet, befintligt tillstånd och ansökt utökat tillstånd, på befintlig och en alternativ lokalisering. Närmare bestämt beskrivs hur och om de lösta näringsämnen och det partikulära material som släpps ut från fiskodlingen (via foderrester, fekalier och urin) påverkar status för kvalitetsfaktorerna näringsämnen och morfologiskt tillstånd. Analysen görs genom att en hydrodynamisk spridningsmodell över Övre Fryken upprättas och kopplas samman med recipientdata från sjön för respektive kvalitetsfaktor. Bedömningar av andra biologiska och fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorer relateras också till i analysresultaten.

Den alternativa lokaliseringen identifieras med hjälp av den hydrodynamiska modellen.

Påverkansanalysen utförs sammanfattningsvis för fyra scenarion:

- 1) Belastning på sjön från befintlig lokal och befintligt tillstånd på 840 ton foder/år.
- 2) Belastning på sjön från befintlig lokal och ansökt tillstånd på 1 000 ton foder/år.
- 3) Belastning på sjön från alternativ lokal och ansökt tillstånd på 1 000 ton foder/år.
- 4) Belastning på sjön från befintlig lokal och nollalternativet 480 ton foder/år.

Samtliga analyser utförs för ett sommarscenario, då den huvudsakliga fiskproduktionen i sjön äger rum.

Utredningen ämnar besvara följande frågeställningar:

- Hur påverkar fiskodling med befintligt tillstånd (840 ton foder/år) klassningen av ekologisk status för kvalitetsfaktorn näringsämnen eller morfologiskt tillstånd (botenssubstrat) i Övre Fryken?
- Vilken status bedöms andra biologiska och fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorer i sjön ha, givet befintlig fiskodling i sjön?

- Hur påverkar fiskodlingen med ansökt utökat tillstånd (1 000 ton foder/år) klassningen av ekologisk status för kvalitetsfaktorn näringsämnen och morfologiskt tillstånd (bottensubstrat) i Övre Fryken, vid den nuvarande odlingslokalen Stöpafor?
- Hur påverkar fiskodlingen med ansökt utökat tillstånd (1 000 ton foder/år) klassningen av ekologisk status för kvalitetsfaktorn näringsämnen och morfologiskt tillstånd (bottensubstrat) i Övre Fryken, om hela produktionen förläggs vid en alternativ odlingslokal, där spridning och spädning av suspenderat material och näringsämnen är större i jämförelse med befintlig lokalisering?
- Hur påverkar fiskodlingen vid nollalternativet (480 ton foder/år) klassningen av ekologisk status för kvalitetsfaktorn näringsämnen och morfologiskt tillstånd (bottensubstrat) i Övre Fryken?
- Hur stort anspråk på näringsämnesstatus (vattenvolym med sämre än god status) och bottensubstrat (översedimenterad area) i Övre Fryken tar verksamheten i angivna produktionsscenarioer?
- Vid vilken foderförbrukning (mängd foder/år) skulle fiskodlingens anspråk innebära en statusförsämring av kvalitetsfaktorn näringsämnen i hälften av vattenförekomsten i Övre Fryken?

2 Bakgrund

2.1 Ramdirektivet för vatten och svensk vattenförvaltning

EU:s ramdirektiv för vatten (eller vattendirektivet) (2000/60/EG) och dotterdirektivet om miljökvalitetsnormer (2008/105/EG), definierar de svenska (och europeiska) målen för förvaltning av alla former av vatten, däribland ytvatten¹. Målen har införlivats i svensk lagstiftning genom femte kapitlet i miljöbalken, förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön liksom förordningen (2017:868) med länsstyrelseinstruktion.

Sveriges ytvatten är idag indelade i geografiska delområden som kallas vattenförekomster och i myndigheternas databas VISS (VattenInformationSystem Sverige) finns bedömningar av den aktuella miljöstatusen i vattenförekomsterna. Metodiken bakom statusklassningarna beskrivs i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19) om klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013).

Målen för miljöstatusen i en vattenförekomst bestäms av myndigheterna genom så kallade miljökvalitetsnormer (MKN). MKN är bestämmelser om kraven på vattenkvaliteten, och de beskrivs utifrån kvalitetsfaktorer som i sin tur delas in i olika parametrar. Generellt gäller att god status ska uppnås innan nuvarande förvaltningscykel är slut, år 2021. Om det är tekniskt omöjligt, orimligt dyrt eller om det finns naturliga skäl som gör det omöjligt för en

¹ Definition ytvatten i ramdirektivet för vatten: allt inlandsvatten utom grundvatten, vatten i övergångszon och kustvatten. Inlandsvatten definieras som allt stillastående eller strömmande vatten på markytan.

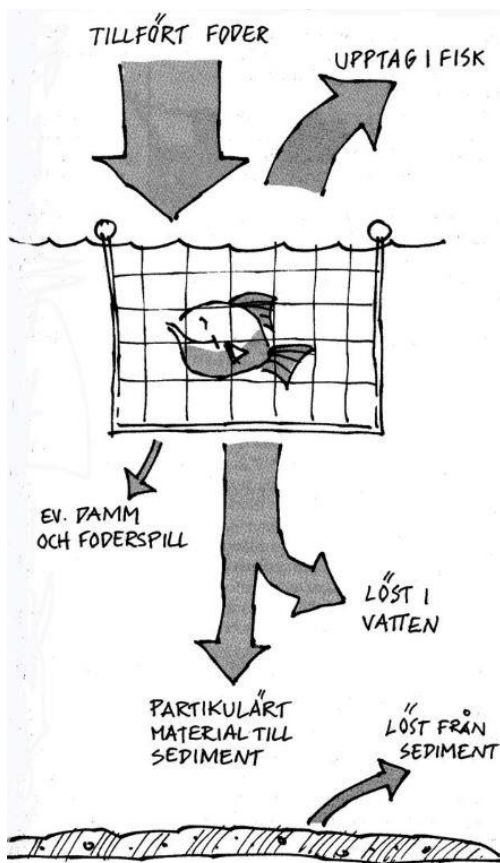
vattenförekomst att nå grundkravet, så finns vissa möjligheter att göra undantag från grundkravet.

Miljötilståndet i en vattenförekomst beskrivs genom ekologisk och kemisk status, och klassificeras utifrån en bedömning av ovan nämnda kvalitetsfaktorer och parametrar. En vattenförekomsts samlade status motsvarar en sammanvägning av kvalitetsfaktorerna där de biologiska faktorerna är styrande.

2.2 Näringsämnesutsläpp och sedimentation från fiskodlingar

Odling av fisk i öppna kassar påverkar bland annat vattenmiljön genom utsläpp av näringsämnen (fosfor och kväve) till omgivande vatten, men också genom det partikulära material som släpps från odlingarna och sedimenterar på botten under dem.

Ungefär 3% av utfodrad mängd foder äts inte upp av fisken utan kommer att utgöra avfall från odlingen som sprids i vattenmassan och antingen äts upp av vild fisk eller sedimenterar (Bureau, Gunther, & Cho, 2003; Cromey, Nickell, & Black, 2002; Reid et al., 2009).



Figur 1. Flöden av näringsämnen från en kassodling. Illustration av Kjell Ström, Naturvårdsverket (1993).

Även fekalier från fisken sprids från en kassodling ut i vattenmassan. Ungefär 15–27% av mängden foder som utfodras till fisken beräknas lämna kassen i form av fekalier som antingen sedimenterar eller sprids i vattenmassan (Cho & Bureau, 2001; Reid et al., 2009; Wong & Piedrahita, 2000). Påverkan på omgivande vattenmiljö med avseende på näringsämnen utgörs av näringsämnen som tillförs vattenmiljön direkt i form av exempelvis urin, fekalier och foderrester, liksom näringsämnen som återförs vattenmassan från sedimenten.

Påverkan på vattenmiljön med avseende på bottensubstrat utgörs av partikulärt material från överskottsodret och fekalier från fiskarna som sedimenterar under fiskodlingen.

Fiskfodrets näringsämnesinnehåll, smältbarhet och sjunkhastighet (densitet), liksom utfodringsteknik påverkar foderspill och belastning av näringsämnen. En effektiv utfodring och fodertyper med lägre näringsämnesinnehåll, högre smältbarhet och lägre sjunkhastigheter resulterar i lägre miljöpåverkan per mängd producerad fisk (Naturvårdsverket, 1993).

Hur utsläpp från fiskodlingar sprids och till hur stort område beror främst på strömförhållandet kring utsläppskällan, liksom på fodrets och foderresternas materialegenskaper (exempelvis form och densitet) som påverkar deras sjunkhastighet (Naturvårdsverket, 1993). En fiskodlings lokalisering, exempelvis strömningsförhållandena, omsättningstiden och vattenvolymen vid lokalen, har stor betydelse för odlingens miljöpåverkan.

2.3 Befintligt och ansökt tillstånd samt nollalternativ

2.3.1 Befintligt tillstånd

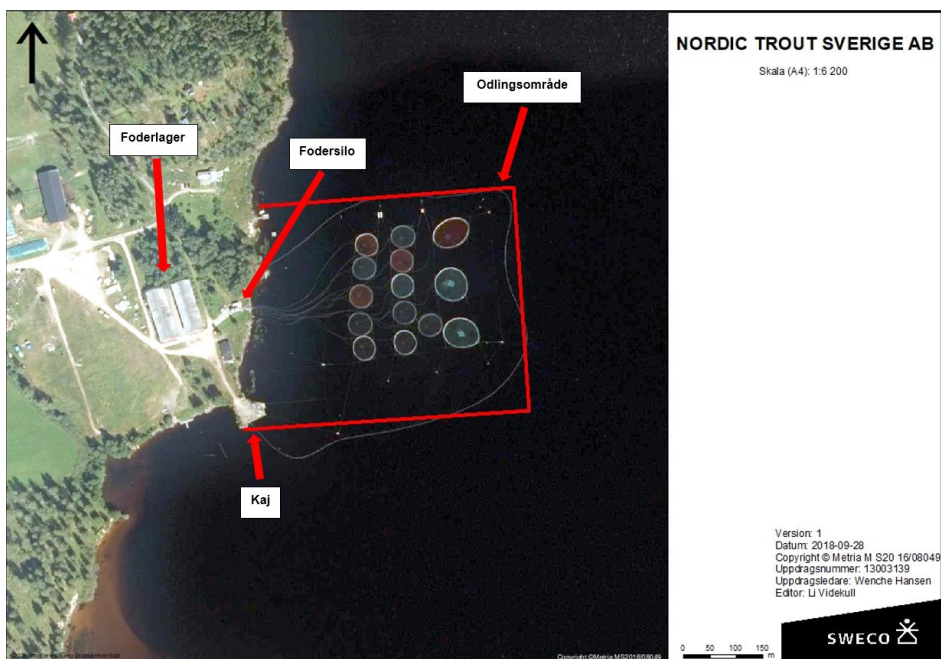


Figur 2. Karta över Övre Fryken och befintlig fiskodling samt provpunkterna ÖF4, ÖF5, ÖFC, ÖFB och ÖFN, vilka ingår i Norsälvens intressenters samordnade recipientkontroll.

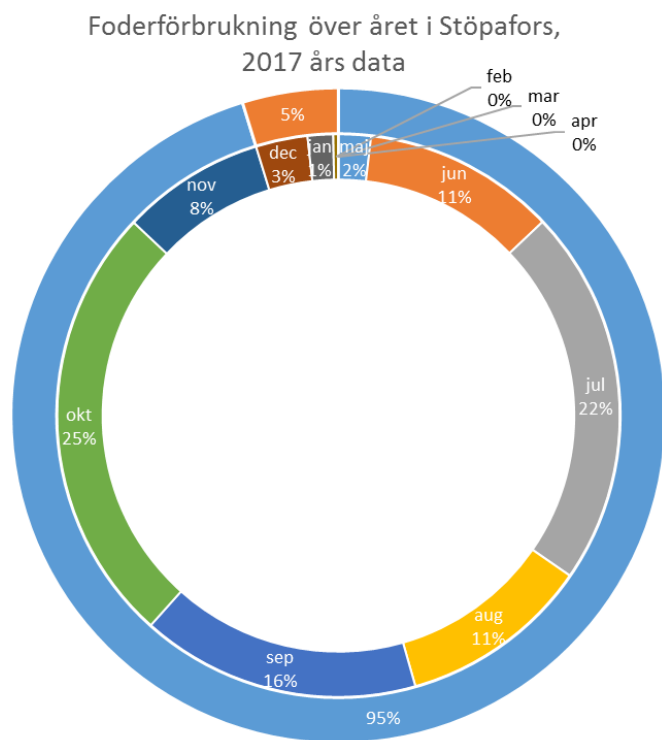
I bolagets fiskodling vid Stöpafors i Övre Fryken (Figur 2) odlas regnbågslox (*Oncorhynchus mykiss*) i öppna kassar, som är förankrade i sjöbotten. Kassarna är cirkulära nät-kassar; cylindriskt formade upptill och med koniskt formade nederdelar.

Fiskodlingen är lokaliserad nära land (Figur 3) och har under de senaste åren bestått av totalt 14 kassar placerade i 2–3 kortare rader. 11 odlingskassar har en diameter på 70 meter och 3 kassar har en diameter på 100 meter. Kassarna är cirka 5 meter djupa.

Foderförbrukningen är ojämnt fördelad över året. Störst utfodring sker mellan maj och november och denna period benämns härefter som odlingssäsong. Fiskens aptit och tillväxt minskar under årets kallare månader. Figur 4 visar 2017 års foderförbrukning på bolagets fiskodling vid Stöpafors. Den yttre ringen visar foderfördelningen mellan odlingssäsongen maj – november och övervintringen december – april, medan den inre ringen visar fördelningen per månad. 95% av den totala mängden foder som användes vid bolagets fiskodling år 2017 användes under odlingssäsongen medan 5% användes under övervintringen.



Figur 3. Översikt över verksamhetsområdet, fiskodling Stöpafors, ortofoto.



Figur 4. Foderförbrukning fördelad över året på bolagets fiskodling i Stöpafors, Övre Fryken, år 2017. Den inre ringen visar fördelningen per månad, den yttre visar fördelningen mellan odlingssäsong (maj-november) och årets kallare månader. Baserat på data från bolaget.

Verksamhetens befintliga tillstånd tillåter fiskproduktion motsvarande en foderförbrukning på 840 ton/år. De senaste 11 åren har den faktiska foderförbrukningen varierat mellan 428 ton/år (år 2009) och 860 ton/år (år 2016), med ett medelvärde på 688 ton/år. Fiskproduktionen har varierat mellan 389 ton (år 2009) och 766 ton (år 2017), med ett medelvärde på 615 ton/år. Foderkoefficienten (FK), som är ett mått på en fiskodlings fodereffektivitet, har under samma period varierat mellan 0,9 (år 2017) och 1,2 (år 2011–2013, 2015), med ett medelvärde på 1,1. Fosforhalten i använt foder har under samma period varierat mellan 0,7 % och 0,8%, med ett medelvärde på 0,8% (Tabell 1).

Tabell 1. Befintlig fiskodlingsverksamhet vid Stöpafors, Övre Fryken, i siffror: foderförbrukning, fiskproduktion, foderkoefficienter och andel fosfor i foder från det befintliga tillståndet och den faktiska verksamheten de senaste elva åren (data från bolaget).

	Befintligt tillstånd	År 2007–2017		
		Min	Medel	Max
Foderförbrukning (ton/år)	840	428	688	860
Fiskproduktion (ton/år)	-	389	615	766
Foderkoefficient (-)	-	0,9	1,1	1,2
Andel fosfor i foder (%)	-	0,7	0,8	0,8

2.3.2 Ansökt tillstånd

Den sökta utökade verksamheten innebär fiskproduktion motsvarande en total foderförbrukning på 1 000 ton/år (inkl. nollalternativet).

2.3.3 Nollalternativ

Vid nollalternativet, som innebär att tillstånd till utökad produktion inte beviljas, bedrivs fiskodling i Stöpafors i omfattning som motsvarar en foderförbrukning på 480 ton/år enligt gällande miljötillstånd.

2.4 Övre Fryken, kvalitetskrav och nuvarande recipientkontroll

Övre Fryken är en djup och långsmal sjö med en relativt kort omsättningstid på 1,31 år (SMHI & Havs och Vattenmyndigheten, n.d.). Sjön avvattnas via Mellan-Fryken, Nedre Fryken och Norsälven till Väneren. Övre Fryken ligger 62 meter över havet och har en area på 41,91 km². Sjöns största djup är 110 meter, och medeldjupet är 34,8 meter (SMHI & Havs och Vattenmyndigheten, n.d.).

Övre Fryken är påverkad av reglering för vattenkraft. En dammanläggning är belägen vid Torsby i sjöns norra ände. Högsta dämningens gräns anges vara 28,5 meter med en regleringsamplitud om 2 meter (SMHI & Havs och Vattenmyndigheten, n.d.).

Den senast beslutade miljö kvalitetsnormen för Övre Fryken är *god* status med mållåret 2027 (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, & Havs och Vattenmyndigheten, n.d.). Enligt senaste bedömning i VISS är nuvarande ekologisk status i Övre Fryken *otillfredsställande* (Tabell 2) och det är bedömningen av de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna som drar

ner den samlade bedömningen av sjöns ekologiska status. De biologiska kvalitetsfaktorerna växtplankton och bottenfauna har bedömts ha *hög* status. De fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorerna näringsämnen och syrgasförhållande har bedömts ha *hög* status, och ljusförhållanden och särskilda förorenande ämnen har bedömts ha *god* status. Den hydro-morfologiska kvalitetsfaktorn hydrologisk regim i sjöar klassas med *otillfredsställande* status och det morfologiska tillståndet i sjön med *måttlig* status. Parametern bottensubstrat i sjöar har inte klassificerats för Övre Fryken (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, et al., n.d.)

Tabell 2. *Ekologisk och kemisk status enligt VISS (2018) för vattenförekomsten Övre Fryken.*

Vattenförekomst	Vattenförekomst ID	Typ	Ekologisk status	Kemisk status*
Övre Fryken	SE 664198-135102	Sjö	Otillfredsställande	Uppnår ej god

* Avser kemisk status exklusive ämnen som överskrider gränsvärden överallt (Hg, PBDE).

Enligt förordningen om verksamhetsutövers egenkontroll (1998:901) skall en verksamhetsutövare kunna visa vilken påverkan den egna verksamheten har på omgivande miljö. Bolaget ingår i Norsälvens intressenters samordnade recipientkontroll (SRK) (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelsen, & Havs och Vattenmyndigheten, n.d.). Fem provpunkter från kontrollprogrammet i Övre Fryken (ÖF4, ÖF5, ÖFB, ÖFN, ÖFC) har för denna utredning relevant mätdata från minst tre år (Figur 2).

I samtliga provpunkter provtas vattenkemi två gånger per år i ytvatten (på 0,5 meters djup). De parametrar som analyseras är: syrgasförhållanden, ljusförhållanden, näringsämnen (totalkväve, totalfosfor, ammonium, totalt organiskt kol (TOC) och nitrat + nitrit), temperatur, pH, alkalinitet, konduktivitet, absorbans och fenoler (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, et al., n.d.).

Utöver vattenkemi undersöks växtplankton, påväxt av kiselalger, sediment och bottenfauna i Övre Fryken. Undersökning av växtplankton (med provtagning av bland annat klorofyll a) sker en gång per år i alla provpunkter utom ÖFN. Påväxt av kiselalger analyseras inom bolagets egenkontroll en gång per år sedan 2012 i provpunkterna ÖF5 och ÖFB. Sediment provtas i alla provpunkter utom ÖFN en gång vart tionde år och analyseras med avseende på torrsubstans, glödförlust, TOC, totalfosfor, arsenik, zink, bly, koppar, kadmium, krom, nickel, kobolt och kvicksilver. Undersökningar av sjöns bottenfauna görs årligen i alla provpunkter utom ÖFN (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, et al., n.d.).

Resultat för uppmätta totalfosforkoncentrationer i Övre Frykens ytvatten från sommarmånaderna 2013–2016 redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Uppmätt totalfosfor ($\mu\text{g/l}$) i Övre Fryken under juli och augusti månad åren 2013–2016. Proverna är tagna på 0,5 m djup.

	Tot-P ($\mu\text{g/l}$)*								Medel
	2013		2014	2015		2016			
Provpunkt/Datum	1/7	29/8	29/8	23/7	2/7	10/8	20/7	18/8	
ÖF4	-	10	-	-	-	7	-	6	8
ÖF5	-	11	6	-	-	-	-	6	8
ÖFB	-	6	-	-	-	7	-	9	7
ÖFC	-	6	-	-	-	8	-	5	6
ÖFN	15	9	-	13	14	12	11	10	12

* mätosäkerhet 20–55%

Information om bedömd status för fosfor, siktdjup, klorofyll, kiselalger, växtplankton och syrgasförhållanden i Övre Fryken från Norsälvens SRK:s senaste rapport (för treårsperioden 2015 – 2017) (Synlab AB, 2017) visas i Tabell 4.

Tabell 4. Status för fosfor, siktdjup, klorofyll, kiselalger, växtplankton och syrgasförhållanden i Övre Fryken (för treårsperioden 2015 – 2017), baserat på data från Norsälvens SRK rapport från år 2017 (Synlab AB, 2017).

Provtagningspunkt	Fosfor ¹	Siktdjup ¹	Klorofyll ¹	Kiselalger ²	Växtplankton ³	Syrgasförhållanden ⁴
ÖF4	Hög	Hög	Hög		God	Hög
ÖF5	Hög	Hög	Hög	Hög	Hög	Hög
ÖFB	Hög	Hög	Hög	Hög	Hög	Hög
ÖFC	Hög	Hög	Hög		God	Hög
ÖFN	God	God				Hög

¹ Bilaga 5, ² Bilaga 11, ³ Tabell 1, ⁴ Baserat på data tabeller s.60 – 68.

2.5 Hydrodynamisk modellering

Hydrodynamiska modeller² kan användas som verktyg för att studera verksamhetens miljöpåverkan. Genom att modellera hydrodynamiken i en vattenförekomst kan spridning och spädning av till exempel fiskodlingsrelaterat avfall (vattenlösliga näringsämnen och partikulärt material) beräknas. För lösta näringsämnen och sedimentterande partiklar kan sedan fiskodlingens bidrag, beroende på utsläppets storlek och lokalisering, sättas i relation till uppmätta data i recipienten. En fördel med att använda en hydrodynamisk modell är möjligheten att få en översikt över strömningsförhållandena i ett större område, vilket kan vara svårt att uppnå endast genom mätningar i fält. Denna överskådliga information kan under-

² En modell som beräknar ytvattnets rörelser kallas hydrodynamisk modell.

lätta processen att finna lämpliga alternativa lokaliseringar. En annan fördel med att använda en hydrodynamisk modell är att även påverkan från utsläpp där mätdata saknas kan analyseras, till exempel kan effekten av utökade utsläpp undersökas.

En hydrodynamisk modell beräknar hur vattnet rör sig baserat på ett flertal drivande faktorer. I sjöar är vinden en viktig faktor för strömförhållandet, då den genererar en ytström som kan uppnå ca 1–2 % av vindens hastighet (Bengtsson, 1997; Sverdrup & Armbrust, 2009). Djupare ner i vattenmassan genereras en motriktad returström som generellt har en lägre hastighet än ytströmmen, denna är ofta starkt påverkad av bottenpografien och följer därför djupare rännor om sådana finns. Strömningsmönstren styrs även av tillrinning och temperaturskiktning och varierar därmed med väder och årstid.

3 Metodik

3.1 Klassificering av rådande näringsämnesstatus i Övre Fryken

Status i en provpunkt avgörs av en ekologisk kvot (EK-värde), som översätts till en av fem statusklasser (Tabell 5). EK-värdet är ett mått på sjöns näringsämneskoncentration i förhållande till en beräknad referenskoncentration:

$$EK = \frac{\text{Referensvärde}}{\text{Observerad koncentration}}$$

Referensvärdet beror på sjöns medeldjup, höjd över havet och uppmätt absorptions (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013). EK-värden räknades ut för befintliga provtagningspunkter i Övre Fryken, och rådande näringsämnesstatus i sjön bedömdes därmed.

Enligt bedömningsgrunderna i HVMF 2013:19 ska statusklassning göras på data från minst tre år. Klassificeringen för Övre Fryken gjordes på data för juli och augusti för åren 2013–2016 (Tabell 3). Data från 2013 användes för att data från 2014 saknades för de flesta mätpunkter.

Tabell 5. Klassgränser för EK-värden för totalfosfor i sjöar (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013).

Status	Klassgränser (EK-värde)
Hög	$EK \geq 0,7$
God	$0,5 \leq EK < 0,7$
Måttlig	$0,3 \leq EK < 0,5$
Otillfredsställande	$0,2 \leq EK < 0,3$
Dålig	$< 0,2$

Senaste av myndigheterna bedömda näringsämnesstatus i Övre Fryken baseras på data från år 2007 till år 2011. Rådande miljöförhållanden i Övre Fryken med avseende på näringsämnesinnehåll bedömdes baserat på nyare (2013 – 2016) mätdata från recipientkontrollen i sjön (se provtagningspunkter Figur 2 och data Tabell 3). Parametern totalfosfor

(tot-P) beräknades och uttrycktes som en EK, som översattes till en av fem statusklasser (Tabell 5) i enlighet med Havs- och vattenmyndighetens bedömningsgrunder HVMFS 2013:19 (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013).

3.2 Klassificering av klorofyll a, syrgasförhållanden och siktdjup i Övre Fryken

Senaste av myndigheterna bedömda status i Övre Fryken med avseende på klorofyll a, syrgasförhållanden och ljusförhållanden baseras på data från år 2006 till år 2011. Rådande miljöförhållanden i Övre Fryken med avseende på näringsämnesinnehåll bedömdes baserat på nyare (2012 – 2016) mätdata från recipientkontrollen i sjön (se provtagningspunkter Figur 2), i enlighet med Havs- och vattenmyndighetens bedömningsgrunder HVMFS 2013:19 (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013).

3.3 Beräkning av utsläpp från öppen kassodling

Utsläppsmängder av fosfor vid nuvarande och utökad produktion beräknades i enlighet med metodik från Alanära 2012, beskriven nedan samt underlag från bolaget (Tabell 6). För fördelningen av använd fodermängd över året, användes 2017-års procentuella månadsfördelning (Figur 4).

Fosforförlusten (L) beräknades enligt:

$$L = P \times (FK \times C_1 - C_r) \times 10 \quad (1)$$

där

L = fosforförlust (kg)

P = fiskproduktion (netto, ton)

FK = foderkoefficient (massa förbrukat foder per massa producerad fisk)

C₁ = koncentration av fosfor i foder (%)

C_r = koncentration av fosfor i fisk (%)

Fiskproduktionen (P) beräknades enligt:

$$P = \frac{F}{FK} \quad (2)$$

där

F = fodermängd (ton)

För den beräknade mängden fosfor som inte tas upp av fiskarna (dvs. fosforförlusten, L) antogs ca 20 % vara vattenlöslig fosfor i enlighet med Carlsson (2012). Resterande del fosfor är svåröslig och ofta partikulärt bunden och har således inte samma påverkan på kvalitetsfaktorn näringsämnen i vattenmiljön.

I analyserna som görs i föreliggande utredning antas fodret som används vid verksamheten ha ett fosforinnehåll på 0,7 %, vilket är fosforinnehållet i fodret som används vid verksamheten idag. Foderkoefficienten antas konservativt vara 1,15, ett värde som ligger mellan medelvärdet och det största värdet odlingen redovisat de senaste 11 åren (Tabell 1). Koncentrationen fosfor i fisk antas vara 0,4 %, i enlighet med Naturvårdsverket (1993).

Tabell 6. Indata för beräkningar av utsläpp från fiskodlingen vid befintligt och ansökt tillstånd, respektive nollalternativet för verksamhet av fiskodling vid Stöpafors, Övre Fryken. Koncentration fosfor i fisk kommer från Naturvårdsverket (1993).

Indataparametrar	Scenario befintligt tillstånd	Scenario ansökt tillstånd	Nollalternativ
Fodermängd (F) (ton)	840	1 000	480
Foderkoefficient (FK) (-)	1,15	1,15	1,15
Konc. P i foder (C _f) (%)	0,7	0,7	0,7
Konc. P i fisk (C _R) (%)	0,4	0,4	0,4

3.4 Hydrodynamisk modellering av Övre Fryken

För att beskriva utsläppen och spridningen av vattenlösliga ämnen (fiskurin och upplöst material från foder och fekalier) och partikulärt material (foderpellets och fiskfekalier) från fiskodlingen i Stöpafors utvecklades en tredimensionell hydrodynamisk modell. Modellen beräknar hur (i vilken riktning och med vilken hastighet) vattnet rör sig i sjön beroende på vind, tillrinning från vattendrag och sjöbottens form.

Den hydrodynamiska modellen användes för att beräkna spridning och spädning av vattenlösliga ämnen samt sedimentation av partikulärt material. Resultaten från modellen användes också för att peka ut en alternativ lokalisering för fiskodling i Övre Fryken.

För en mer detaljerad beskrivning av den hydrodynamiska modellen hänvisas till Bilaga 1 – Hydrodynamisk modellering av Övre Fryken.

3.4.1 Val av alternativ fiskodlingslokal

En alternativ odlingslokal valdes med hjälp av den hydrodynamiska modellen utifrån följande kriterier: höga strömhastigheter och ett bottendjup liknande det vid den befintliga odlingen, det vill säga ett djup på 15–55 m. Höga strömhastigheter innebär att vattenlösliga ämnen späds och sprids snabbt och därmed förekommer i lägre koncentrationer.

3.4.2 Spridning av lösta ämnen

Spridning av löst fosfor från fiskodlingarna modellerades genom att ett spårämne släpptes i en punkt på 3 meters djup i mitten av varje modellerad fiskodlingskasse i sjön (totalt 15 stycken). Den hydrodynamiska modellen beskriver hur vattnet rör sig, och därmed även hur de ämnen som är lösta i vattnet rör sig. Genom att koppla det fiktiva utsläppet med den hydrodynamiska modellen, beräknades spridning och spädning av spårämnet i sjön. Specifikt beräknades hur mycket spårämnet späds från att det släpps ut i fiskodlingen till att det når provtagningspunkterna i sjön (totalt 5 punkter, Figur 2).

3.4.3 Sedimentation av partikulärt material

Tillväxthastighet och utbredning av partikulärt material på botten av Övre Fryken, som ett resultat av utsläpp från fiskodlingarna, beräknades för befintligt och ansökt tillstånd, liksom nollalternativet (Tabell 6). Beräkningarna gjordes genom koppling av (1) sjunkande massa partikulärt material och (2) partiklarnas sjunkhastighet och densitet, med (3) strömriktning och strömhastighet i sjön.

I modellen sker utsläppet av partiklar från en punkt som är placerad på 3 meters djup i mitten av var fiskodlingskasse (totalt 15 stycken). Foderspill och fiskfekalier antogs uppgå till 30 % av mängden förbrukat foder på fiskodlingen³. Partiklarnas sjunkhastighet sattes till 8 cm/s⁴, och densiteten bestämdes efter kalibreringar mot sedimentundersökningar (se Bilaga 1 – Hydrodynamisk modellering av Övre Fryken för mer detaljer).

3.5 Påverkansanalys av bolagets utsläpp till Övre Fryken

3.5.1 Påverkan på kvalitetsfaktorn näringsämnen

För att analysera verksamhetens påverkan på kvalitetsfaktorn näringsämnen, beräknades verksamhetens bidrag av totalfosfor till Övre Fryken. Med andra ord beräknades hur mycket totalfosfor som fiskodlingen bidrar med i de provtagningspunkter som finns i sjön. Beräkningarna gjordes för verksamheten givet (1) befintligt tillstånd och befintlig lokalisering, (2) ansökt tillstånd och befintlig lokalisering, (3) ansökt tillstånd och alternativ lokalisering och (4) nollalternativet (Tabell 6).

Bidraget beräknades genom att beräknade fosforutsläpp från fiskodlingarna under sommaren sattes i relation till den spridning och spädning som beräknats för sjön (avsnitt 3.4.2), specifikt för provpunkterna i sjön. För respektive scenario användes ett medelvärde av utsläppen för juli och augusti månad för att beräkna bidraget under sommaren.

Uppmätta totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken (Tabell 3) antogs innehålla bidrag från fiskodling med befintligt tillstånd. Genom att subtrahera bidraget från fiskodlingen från uppmätta koncentrationer, erhöles totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken utan bidrag från fiskodling med befintligt tillstånd. Genom att ersätta bidragen från fiskodlingarna med befintligt tillstånd, med bidragen från odlingen med ansökt tillstånd respektive nollalternativet, erhöles totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken givet det ansökta tillståndet respektive nollalternativet.

Näringsämnesstatus i Övre Fryken utan bidrag från fiskodling med befintligt tillstånd beräknades. Näringsämnesstatus i Övre Fryken inkluderat fosforutsläpp från odling med ansökt tillstånd respektive nollalternativ, beräknades också.

³ Foderspillet ligger på cirka 3 % från liknande odlingar, och fekalier från fiskar uppgår till 15–27% av mängden utfodrat foder (se avsnitt 2.2).

⁴ Fodrets sjunkhastighet (8 cm/s) har baserats på produktspecifikationer från fiskfoderleverantörer inom tidigare uppdrag, och fekaliernas sjunkhastighet (8 cm/s) är i enlighet med (Gustafsson, 2003).

Närmast ett utsläpp finns alltid en viss vattenvolym som har sämre än god status, förutsatt att utsläppet i sig motsvarar koncentrationer med lägre än god status. Man kan säga att utsläppet tar ett visst anspråk på sjöns näringsämnesstatus i och med den här vattenvoly-men. Anspråket som fiskodlingsverksamheten tar vid de undersökta produktionsscena-rierna beräknades med hjälp av spridningsberäkningarna från den hydrodynamiska mo-dellen. Anspråket definierades som den volym och procentuella andel av sjöns vatten-massa ovanför språngskiktet (sjöns översta tio meter) vars status med avseende på nä-ringsämnen försämras till följd av det beräknade bidraget från verksamheten.

Spridningsberäkningarna användes även för att beräkna vid vilken kritisk fodermängd som hälften av sjöns ytvatten har en koncentration som motsvarar sämre än god status.

Fiskodlingens påverkan på Övre Frykens näringsämnesstatus och miljö kvalitetsnorm givet de tre produktionsscenierna bedömdes slutligen.

3.5.2 Påverkan på kvalitetsfaktorn morfologiskt tillstånd

Analysen av verksamhetens påverkan på kvalitetsfaktorn morfologiskt tillstånd, och para-metern bottensubstrat i sjöar, baseras på fältundersökningar och beräkningar i den hydro-dynamiska modellen.

Fältundersökningarna som genomförts inom projektet involverade bland annat sonarun-dersökning⁵ av sjöbotten kring fiskodlingen vid Stöpafors (Bilaga 2). Resultaten från sonar-undersökningen användes för att få en uppfattning om den nuvarande utbredningen av fiskodlingsrelaterade sediment som har ackumulerats under hela den tid som fiskodlings-verksamhet har bedrivits vid Stöpafors.

Med hjälp av den hydrodynamiska modellen beräknades sedimenttillväxten i sjön, som ett resultat från sedimenterande partiklar från fiskodlingen (avsnitt 3.4.3). Resulterande beräk-ningar används för att kvantifiera och jämföra skillnader i sedimenttillväxt mellan de analy-serade scenarierna.

Parametern bottensubstrat delas in i statusklasser efter hur stora areor med bottensubstrat, som väsentligt avviker från sjöns referensförhållande. Det avvikande bottensubstratet ut-trycks som en andel av hela ytvattenförekomstens bottenyta (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013). Klassgränserna visas i Tabell 7.

⁵ Sonar (engelska "sound navigation and ranging") är en mätteknik som samlar informat-ion om förekomst och avstånd till objekt i omgivningen genom ljudets fortplantning, ett sorts avancerat ekolod.

Tabell 7. Klassgränser för bottensubstrat i sjöar (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013).

Status	Klass	Bottensubstrat i sjöar
Hög	5	i högst 5 % av sjöns bottenarea avviker bottensubstratet väsentligt från referensförhållandet.
God	4	i mer än 5 % men högst 15 % av sjöns bottenarea avviker bottensubstratet väsentligt från referensförhållandet.
Måttlig	3	i mer än 15 % men högst 35 % av sjöns bottenarea avviker bottensubstratet väsentligt från referensförhållandet.
Otillfredsställande	2	i mer än 35 % men högst 75 % av sjöns bottenarea avviker bottensubstratet väsentligt från referensförhållandet.
Dålig	1	i mer än 75 % av sjöns bottenarea avviker botten-substratet väsentligt från referensförhållandet.

Hur en "väsentlig avvikelse" ska bedömas preciseras inte närmare i föreskrifterna (Havs- och Vattenmyndigheten, 2013). I föreliggande rapport beräknades årlig sedimenttillväxt till följd av fiskodlingen i Övre Fryken, för scenarierna befintligt tillstånd, ansökt tillstånd och nollalternativ. För att visa ett brett påverkansspann beräknades bottenareor för tre olika tillväxthastigheter: ytor där tillväxthastigheten är 1 mm, 1 cm, respektive 10 cm per år. De beräknade ytorna dividerades med Övre Frykens ytarea (41,9 km²), och klassificerades efter de föreskrivna klassgränserna (Tabell 7).

4 Resultat och diskussion

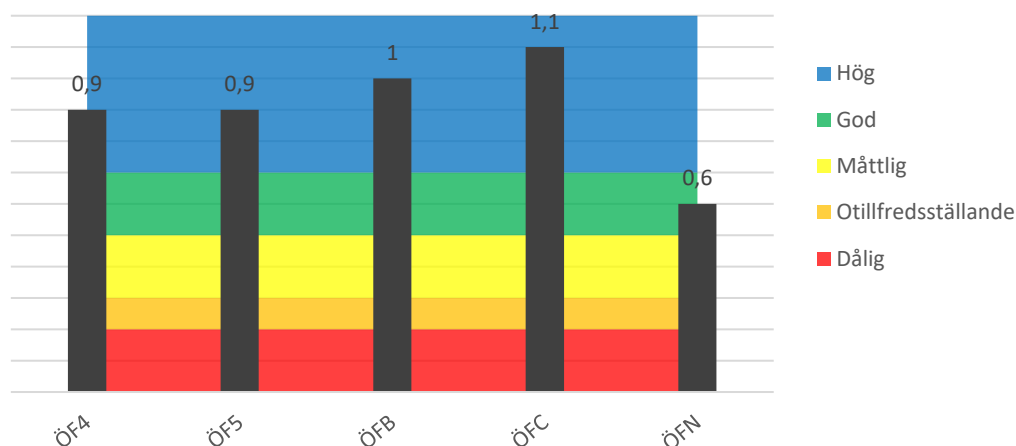
4.1 Näringsämnesstatus i Övre Fryken

De fyra provpunkterna närmast fiskodlingen (ÖF4, ÖF5, ÖFB och ÖFC) visar alla *god* status (EK 0,9–1,1). Provpunkten ÖFN, som ligger vid sjöns norra strand vid Torsby visar *god* status. Den sammanvägda näringsämnesstatusen i Övre Fryken (medelvärde av EK från tillgängliga provpunkter) är *hög* status (EK 0,9) baserat på befintliga recipientdata.

Beräknad näringsämnesstatus stämmer väl överens med den som rapporterats i VISS: *hög* status (EK 1,04). Bedömningen i VISS baseras på äldre data (40 mätningar mellan år 2007 och 2011) (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, et al., n.d.).

Beräknade EK-värden för parametern totalfosfor (tot-P), och resulterande näringsämnesstatus, i befintliga provpunkter i Övre Fryken sommartid, redovisas i Figur 5.

Näringsämnesstatus (tot-P) i Övre Fryken: EK-värden och statusklasser



Figur 5. Beräknade EK-värden för parametern tot-P, och resulterande status, baserat på uppmätt data i provpunkterna ÖF4, ÖF5, ÖFB, ÖFC och ÖFN (se Tabell 3).

4.2 Status för klorofyll a, syrgasförhållanden och siktdjup i Övre Fryken

Bedömningar av status för parametern klorofyll a, liksom kvalitetsfaktorerna syrgasförhållanden och siktdjup presenteras i Tabell 8, Tabell 9, respektive Tabell 10.

Baserat på mätdata mellan åren 2012 och 2016 i Övre Fryken, och provpunkterna ÖF4, ÖF5, ÖFB, ÖFC och ÖFN bedöms sjöns status för klorofyll a vara *god* (Tabell 8). Detta överensstämmer med den senaste bedömningen gjord av myndigheterna, baserad på äldre data, och är lägre än senaste data (år 2017) från den samordnade recipientkontrollen, där statusen för klorofyll i sjön har bedömts vara *hög* (avsnitt 2.4).

Tabell 8. Statusbedömning för klorofyll a i Övre Fryken, baserat på mätdata från åren 2012 – 2016.

Provpunkt	Referensvärde*	Observerad klorofyll-halt (medel)	EK	Status
ÖF4	2,0	4,56	0,44	God
ÖF5	2,0	5,13	0,39	God
ÖFB	2,0	4,34	0,46	God
ÖFC	2,0	5,04	0,40	God
ÖFN	2,0	Data saknas	Data saknas	Data saknas

* Norrland (norr om limes norrlandicus), klara sjöar

Statusen för syrgasförhållandena i sjön bedöms vara *god* (Tabell 9), grundat på att Övre Fryken är ett vatten där det finns salmonider. Statusen är lägre än den av myndigheterna

senast bedömda, men av syrgaskoncentrationen som refereras till i myndigheternas bedömning (8,57) (Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, et al., n.d.), kan slutsatsen dras att myndigheterna har gjort bedömningen för vatten där fiskfaunan består av varmvattensfiskar. Görs bedömningen av nedanstående data (Tabell 9) på motsvarande sätt, blir bedömningen *hög* status, vilket stämmer överens med myndigheternas senaste bedömning.

Status för syrgasförhållandena i Övre Fryken baserat på senaste data från den samordnade recipientkontrollen (avsnitt 2.4), är *hög*.

Tabell 9. Statusbedömning av syrgasförhållanden i Övre Fryken, baserat på mätdata från åren 2012 – 2016.

Provpunkt	Syrgaskoncentration, C (mg/l) minimumvärde	Temperatur vid mättillfälle (°C)	Status varmvattensfiskar	Status huvudsakligen salmonider
ÖF4	8,60	18,1	Hög	God
ÖF5	8,20	18,7	Hög	God
ÖFB	9,10	18,1	Hög	Hög
ÖFC	8,70	18,4	Hög	God
ÖFN	7,3	18,6	God	God

Statusen för siktdjupet i sjön bedöms vara *god* (Tabell 10), vilket också stämmer överens med senaste bedömning av myndigheterna, baserat på äldre data (avsnitt 2.4), och är lägre än bedömningen från senaste samordnade recipientkontrollrapporten (Tabell 4).

Tabell 10. Statusbedömning av siktdjup i Övre Fryken, baserat på mätdata från åren 2012 – 2016.

Provpunkt	Siktdjup (m)	Beräknat referensvärde	EK	Status
ÖF4	2,7	4,3	0,63	God
ÖF5	2,6	3,0	0,86	Hög
ÖFB	2,7	4,3	0,62	God
ÖFC	2,7	4,3	0,63	God
ÖFN	1,9	3,2	0,60	God

Klorofyllkoncentrationen i en sjö är ett grovt mått på sjöns innehåll av växtplankton, och en god klorofyllstatus återspeglar en balanserad näringsämnestillgång i en sjö. Vid tillförsel av näringsämnen (fosfor) reagerar sjöns vegetation snabbt på den ökade näringsämnestillgången med en tillväxt. En ökad vegetationstillväxt kan påverka ljusförhållandena (det vill säga siktdjupet) i sjön negativt. Syrgas i sin tur förbrukas när döda organismer ska brytas ner och i övergödda sjöar deponeras ofta död materia i så stora mängder att syrgasbrist uppstår. Den goda status som Övre Fryken visar med avseende på klorofyll a, syrgasförhållanden och siktdjup indikerar att det inte sker en betydande näringstillförsel till sjön.

4.3 Utsläpp från odling med befintligt och ansökt tillstånd, liksom nollalternativ

Beräknade utsläppsmängder av fosfor från fiskodling med befintligt tillstånd, ansökt tillstånd och nollalternativet, redovisas i Tabell 11, Tabell 12 och Tabell 13.

Det befintliga tillståndet tillåter en foderförbrukning på 840 ton/år, vilket resulterar i en fiskproduktion på 730 ton fisk (nettovikt). Den årliga fosforförlusten, det vill säga mängden fosfor som släpps ut från odlingarna, är 2 958 kilogram. Av detta antas 20 %, eller 592 kilogram, vara vattenlöst fosfor, som släpps till Övre Fryken och bidrar till de uppmätta värdena av totalfosfor i provpunkterna i sjön (Tabell 3).

Tabell 11. Utsläppsmängder av fosfor från fiskodlingen med befintligt tillstånd. Foderförbrukning och tillhörande fiskproduktion redovisas också.

Utsläppsmängder fosfor (fosforförlust, L), befintligt tillstånd				
	Foderförbrukning	Fiskproduktion	Fosforförlust	Vattenlöslig fosforförlust
	(F)	(P)	(L)	(L löst)
Månad	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)
Jan	12	11	43	9
Feb	2	2	9	2
Mar	0	0	0	0
Apr	0	0	0	0
Maj	16	14	55	11
Jun	93	81	327	65
Jul	182	159	642	128
Aug	92	80	324	65
Sep	135	117	475	95
Okt	213	186	751	150
Nov	69	60	243	49
Dec	25	22	88	18
Helår	840	730	2 958	592

Det ansökta tillståndet innebär en foderanvändning på 1 000 ton/år, vilket resulterar i en årlig fiskproduktion på ca 870 ton. Fosforförlusten och den vattenlösta fosforförlusten vid ansökt tillstånd är 3 522 kilogram respektive 704 kilogram. Beräknade utsläpp är oberoende av en fiskodlings lokalisering. Det beräknade utsläppet från fiskodling med ansökt tillstånd gäller därför både på befintlig och alternativ lokalisering.

Nollalternativet tillåter en foderanvändning på 480 ton/år. Tillståndet resulterar i en årlig fiskproduktion på ca 417 ton och en fosforförlust på 1 690 kg. Den vattenlösta fosforförlusten från fiskodlingen beräknas till 338 kg/år.

De beräknade fosforutsläppen under juli och augusti månad är: 128 respektive 65 kilogram (befintligt tillstånd, Tabell 11), 153 respektive 77 kilogram (ansökt tillstånd, Tabell 12), samt 73 respektive 37 kilogram (nollalternativ, Tabell 13).

Det enda som skiljer beräkningsscenarierna åt är foderförbrukningen, vilket betyder att beräknad fiskproduktion och utsläpp av fosfor från odlingen i de olika scenarierna är i direkt relation till foderförbrukningen: utsläppet från fiskodling vid nollalternativet är minst, följt av fiskodling vid befintligt tillstånd och ansökt tillstånd.

Redovisade mängder foderförbrukning, fiskproduktion och utsläppsmängder av fosfor (Tabell 11 – Tabell 13) är beräknade på det fulla befintliga respektive ansökta tillståndet och nollalternativet, vilket betyder att redovisade utsläppsmängder är de maximalt tillåtna från verksamheten (på årsbasis). Många år används inte tillståndets fulla utrymme i fiskodlingen i Övre Fryken.

Tabell 12. Utsläppsmängder av fosfor från fiskodlingen med ansökt tillstånd. Foderförbrukning och tillhörande fiskproduktion redovisas också.

Utsläppsmängder fosfor (fosforförlust, L), ansökt tillstånd				
	Foderförbrukning	Fiskproduktion	Fosforförlust	Vattenlöslig fosforförlust
	(F)	(P)	(L)	(L löst)
Månad	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)
Jan	15	13	52	10
Feb	3	3	10	2
Mar	0	0	0	0
Apr	0	0	0	0
Maj	19	16	66	13
Jun	111	96	390	78
Jul	217	189	764	153
Aug	110	95	386	77
Sep	160	140	565	113
Okt	254	221	895	179
Nov	82	72	290	58
Dec	30	26	105	21
Helår	1 000	870	3 522	704

23(58)

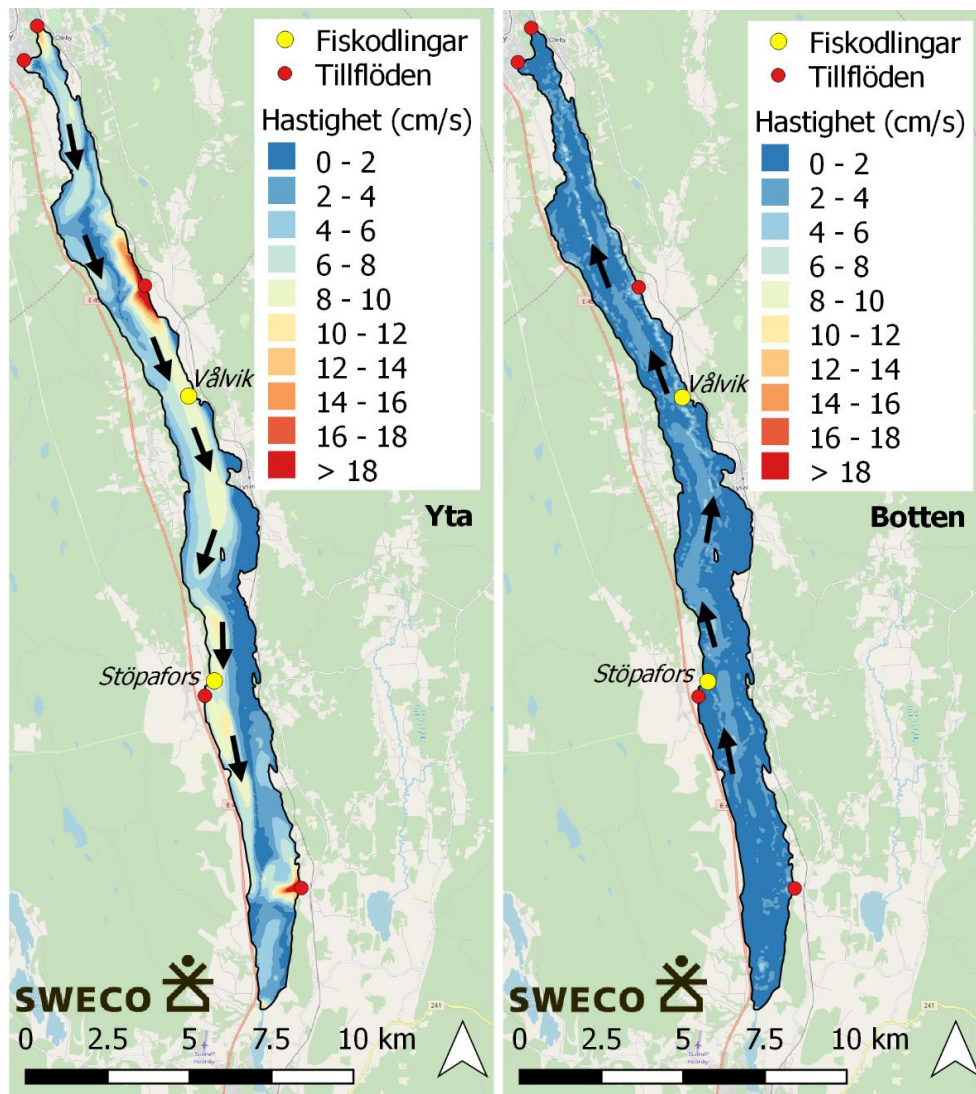
Tabell 13. Utsläppsmängder av fosfor från fiskodlingen vid nollalternativet. Foderförbrukning och tillhörande fiskproduktion redovisas också.

Utsläppsmängder fosfor (fosforförlust, L), nollalternativ				
	Foderförbrukning	Fiskproduktion	Fosforförlust	Vattenlöslig fosforförlust
	(F)	(P)	(L)	(L löst)
Månad	(ton)	(ton)	(kg)	(kg)
Jan	7	6	25	5
Feb	1	1	5	1
Mar	0	0	0	0
Apr	0	0	0	0
Maj	9	8	31	6
Jun	53	46	187	37
Jul	104	91	367	73
Aug	53	46	185	37
Sep	77	67	271	54
Okt	122	106	429	86
Nov	40	34	139	28
Dec	14	12	50	10
Helår	480	417	1 690	338

4.4 Hydrodynamik och generella strömningsmönster i Övre Fryken

Eftersom Övre Fryken är en djup och långsmal sjö, sker de huvudsakliga strömmarna i sjöns längdriktning, det vill säga i nordlig eller sydlig riktning beroende på rådande vindförhållanden. Detta beteende förstärks av de förhärskande vindriktningarna som även de är nordliga och sydliga. Under sommarmånaderna är sydliga vindar de vanligast förekommande. Strömningsmönstret i Övre Fryken påverkas också lokalt av de tillflöden som mynnar i sjön. I sjöns norra del mynnar två större vattendrag (Ljusnan och Röjdan), och det finns ytterligare tillflöden på sjöns västra och östra sida. Vattnet i Övre Fryken rinner vidare mot Mellan-Fryken genom dess utlopp vid Sunne i sjöns södra ände. Det totala flödet genom sjön går därmed söderut, även om strömningsmönstret i sjön uppvisar att det förekommer strömmar som rör sig norrut.

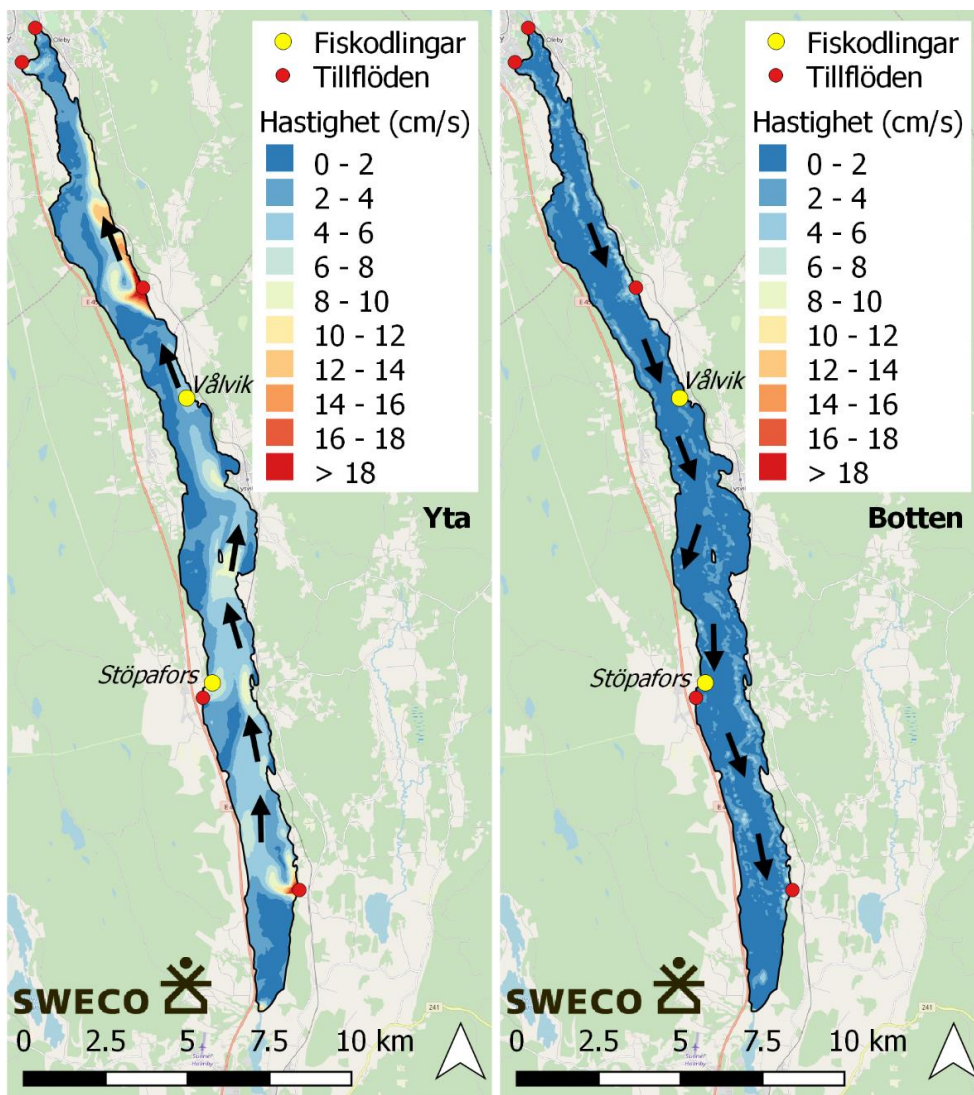
De högsta strömhastigheterna som bildas vid sjöns yta är uppemot 30 cm/s, och dessa uppstår vid vattendragens inlopp. Längre bort från vattendragens inlopp uppnås maximala strömhastigheter på cirka 11 cm/s i ytströmmen. Generellt är dock hastigheten lägre, och medelhastigheten under den simulerade perioden, som motsvarar en typisk sommarmånad, är cirka 4 cm/s i ytströmmen. Modellresultaten visar också att en svagare returström, motriktad ytströmmen, förekommer på ett djup större än 15–20 meter. Längs botten uppgår strömhastigheterna till ungefär en tredjedel av hastigheterna i ytan.



Figur 6. Strömhastigheter på ytan (t.v.) och på botten (t.h.) i Övre Fryken vid ett typtillfälle med 1 m/s nordlig vind.

I Figur 6 visas strömhastigheter och strömningsmönster som uppstår i ytan och vid botten vid ett tillfälle med nordlig vind med en hastighet på omkring 1 m/s. Notera att ythastigheten är i vindens riktning och bottenhastigheten i motsatt riktning. Vid tillfällen med nordlig vind

följer ytströmmen generellt sjöns västra strand längst norrut i sjön, men övergår till att följa den östra stranden i höjd med Vålvik (vilket kan ses i Figur 6 där den högsta hastigheten vid ytan återfinns omväxlande utmed sjöns västra och östra strand). I sjöns södra halva följer ytströmmen den västra stranden. Returströmmen som sker på större djup, och som visualiseras av de högre hastigheterna vid botten, följer generellt sjöns djupaste delar. I figuren kan också vattendragens inverkan på strömhastigheter ses, liksom hastighetskillnaden mellan ytan och botten.



Figur 7. Strömhastigheter på ytan (t.v.) och på botten (t.h.) i Övre Fryken vid ett typtillfälle med 2 m/s sydlig vind.

I Figur 7 visas strömhastigheter och strömningsmönster som uppstår i ytan och vid botten vid ett tillfälle med sydlig vind med en hastighet på omkring 2 m/s. Ythastigheten är i vindens riktning, medan bottenhastigheten har motsatt riktning. Vid tillfällen med sydlig vind,

rör sig ytströmmen huvudsakligen utmed sjöns östra strand längs hela sjöns längd. Returströmmen följer sjöns djupare delar.

Notera att strömhastigheterna som visas är delvis ett resultat av den rådande vinden, men strömningsmönstren är generella.

4.4.1 Lokalisering av alternativ fiskodling

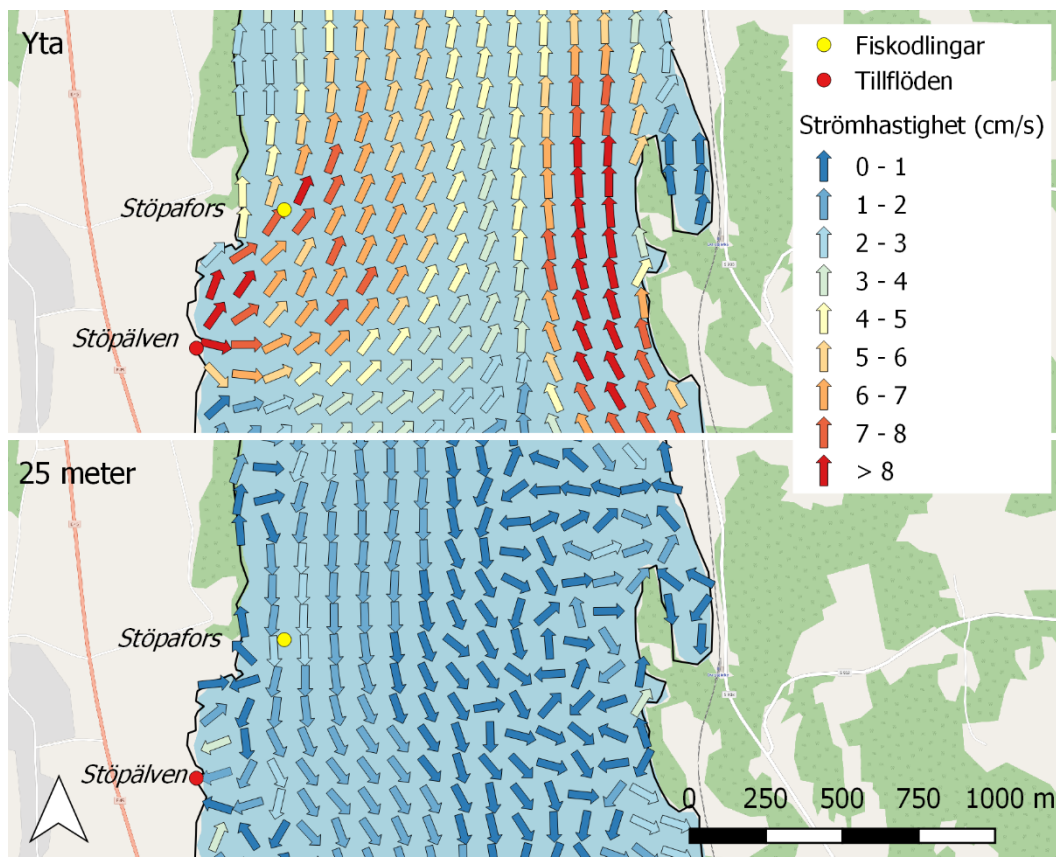
En alternativ lokalisering, med fördelaktiga strömförhållanden och djup, identifierades på sjöns östra strand, i närheten av Vålvik (Figur 6). Lokaliseringen har höga strömhastigheter, vilket är fördelaktigt ur ett spridnings- och spädningssperspektiv, och ett bottendjup liknande det vid den befintliga odlingen, det vill säga ett djup på 15–55 m.

4.4.2 Strömningsmönster vid befintlig och alternativ fiskodling

Vid den befintliga fiskodlingen i Stöpafor (se placering i Figur 6) rör sig strömmarna framförallt parallellt med strandlinjen, med omväxlande nordlig och sydlig riktning beroende på vindens riktning, liksom i resten av sjön. Stöpälven, vars mynning är belägen cirka 500 m söder om fiskodlingen, har en viss inverkan på strömningsmönstret och bidrar till en ökad spädning, framför allt då spridningen av vattenlösliga ämnen sker söderut från fiskodlingen.

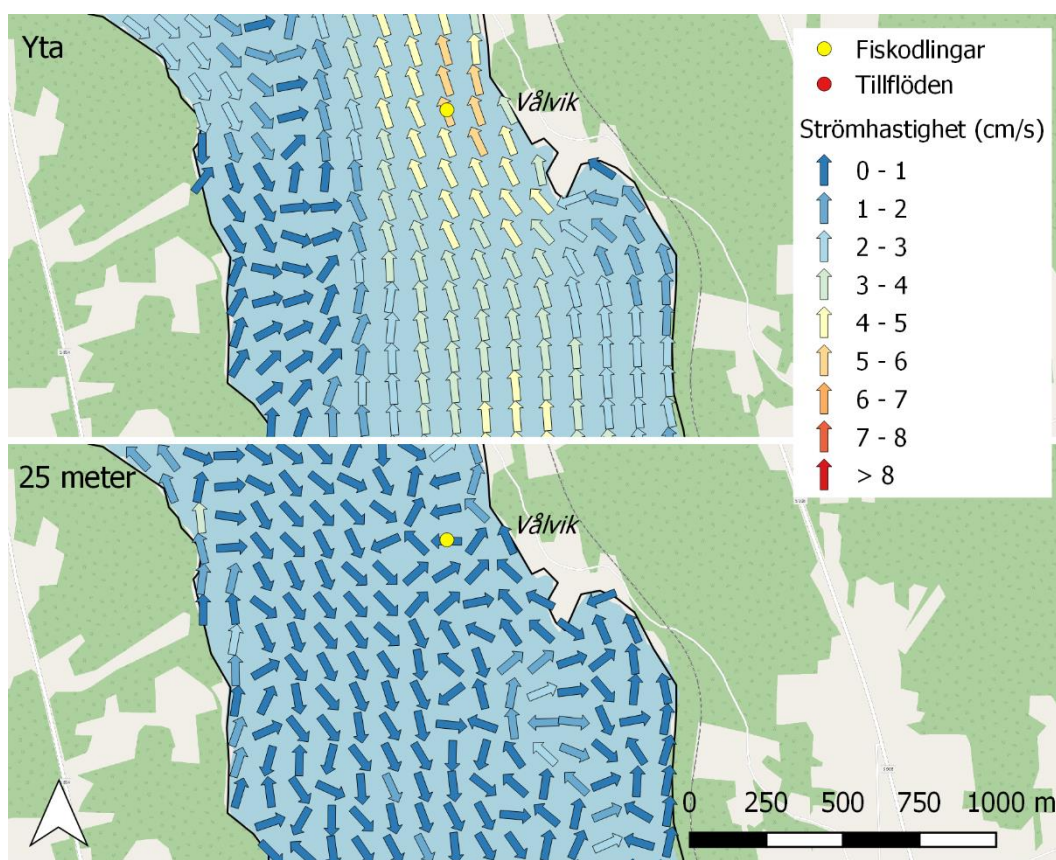
Vid tillfällen med nordlig vindriktning rör sig den huvudsakliga ytströmmen i sjön utmed den västra stranden i höjd med fiskodlingen i Stöpafor (se Figur 6).

Vid tillfällen med sydlig vind rör sig den huvudsakliga ytströmmen i sjön utmed den östra stranden i höjd med Stöpafor (se Figur 7), och de nordgående strömmarna vid fiskodlingen är då mer påverkade av Stöpälvens flöde. Detta ses även i Figur 8 som presenterar de lokala strömningsmönstren vid ett tillfälle med 2 m/s sydlig vind. På 25 m djup förekommer en svagare returström som har motsatt riktning jämfört med ytströmmen.



Figur 8. Strömhastigheter på ytan (överst) och på 25 m djup (nederst) vid den befintliga fiskodlings-lokalen i Stöpafors vid ett typtillfälle med 2 m/s sydlig vind.

Även vid den alternativa placeringen av fiskodlingen vid Vålvik (se placering i Figur 6) går strömmarna till stor del parallellt med strandlinjen i omväxlande nordlig och sydlig riktning. Oberoende av vindriktning så rör sig den huvudsakliga ytströmmen i sjön utmed den östra stranden i höjd med Vålvik (se Figur 6 och Figur 7), vilket bidrar till att det vid den alternativa lokaliseringen förekommer höga strömhastigheter. De lokala strömningsmönstren vid ett tillfälle med 2 m/s sydlig vind presenteras i Figur 9, och visar att ytströmmen rör sig utmed den östra stranden medan den svagare returströmmen återfinns längre västerut i den djupare delen av sjön. Högre strömhastigheter uppstår generellt vid södergående strömmar, vilket leder till större spädning av vattenlösliga ämnen i den riktningen.



Figur 9. Strömshastigheter på ytan (överst) och på 25 m djup (nederst) vid den alternativa fiskodlings-lokalen vid Vålvik vid ett typtillfälle med 2 m/s sydlig vind.

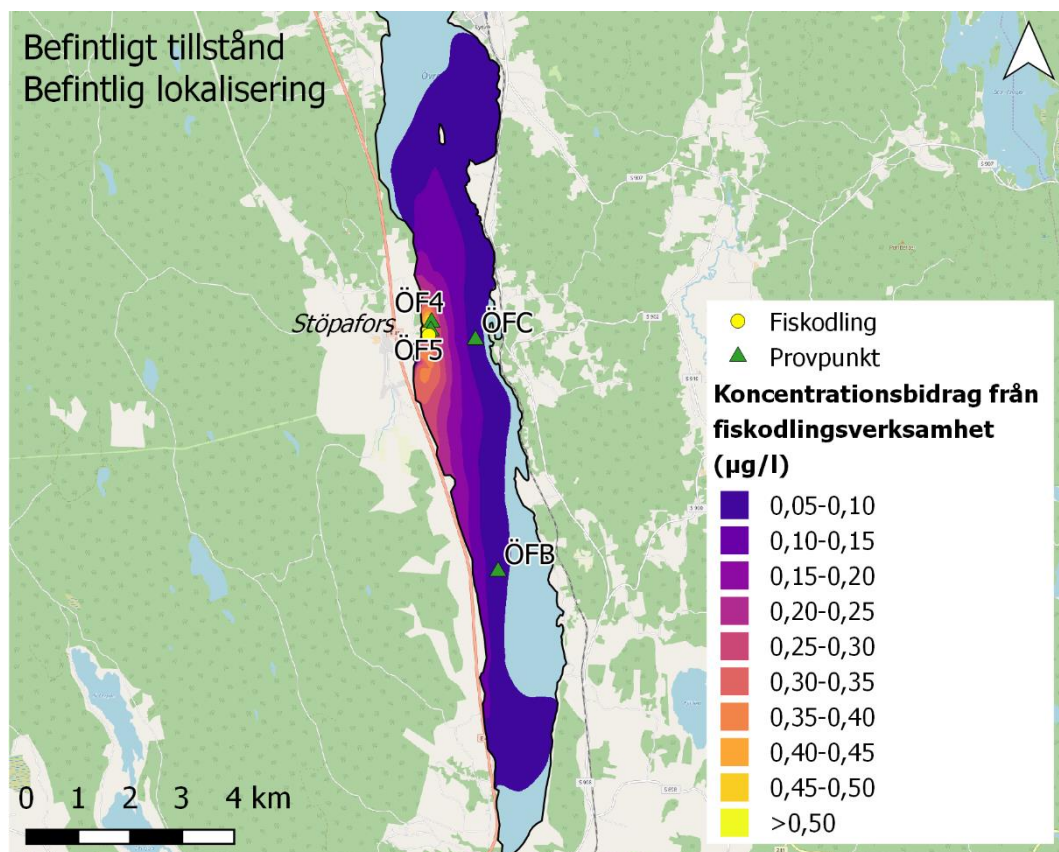
4.5 Verksamhetens påverkan på näringsämnesstatus i Övre Fryken

4.5.1 Verksamhetens bidrag av totalfosfor till Övre Fryken

Fiskodlingsverksamhetens beräknade bidrag av totalfosfor till Övre Fryken, för de fyra undersökta scenarierna, visas i Figur 10- Figur 13. Kartorna visar ett medelvärde för koncentrationsbidraget i sjöns yta på sommaren. Beräknad spridning av fosforutsläpp från fiskodlingen når inte provpunkt ÖFN i sjöns norra del (Figur 2) i något av de undersökta scenarierna, och därför visas inte den delen av sjön i kartorna.

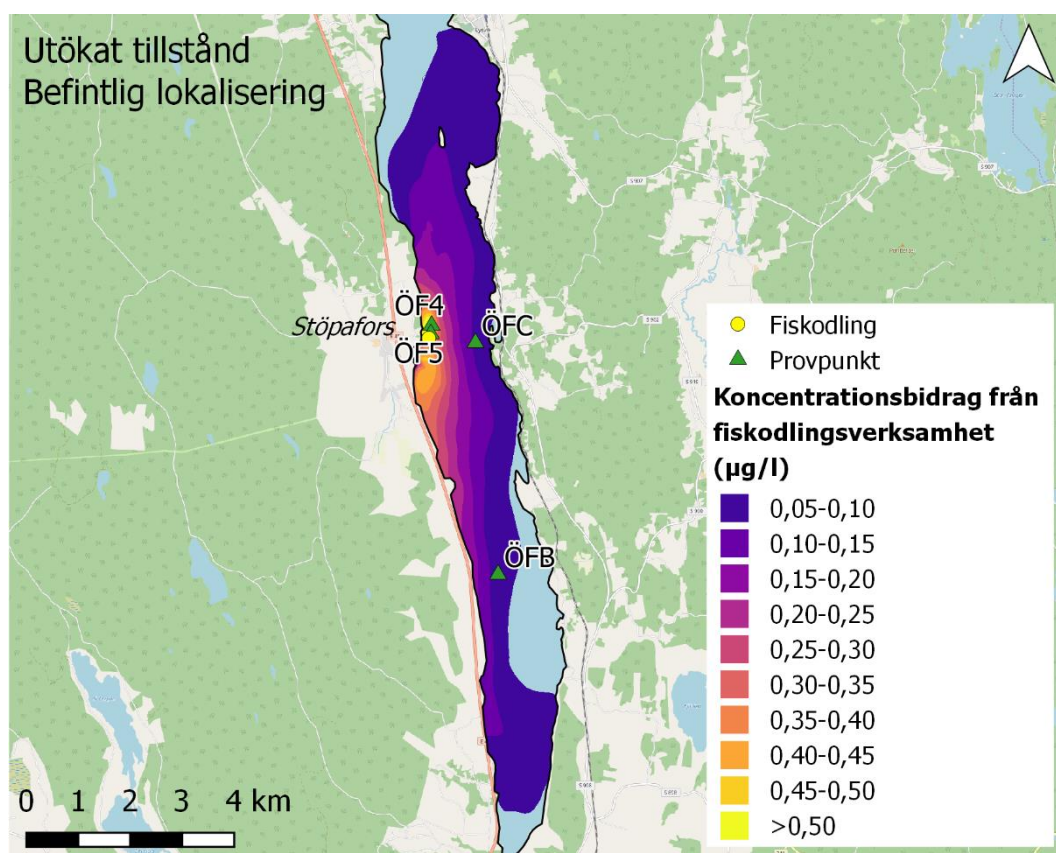
I scenariot befintligt tillstånd och befintlig lokalisering (Figur 10), sker fiskodling utanför Stöpafors, och därmed ett bidrag till sjön från den här lokaliteten. Koncentrationsbidragen från fiskodlingen följer dominerande strömningsriktningar. De är som störst närmast fiskodlingen, och sprids som mest i nord-sydlig riktning längs sjöns västra strand. Vid provpunkterna ÖF5 och ÖF4, som ligger närmast odlingen är bidraget större än i provpunkterna ÖFC och ÖFB, där utsläppet har hunnit spädas mer. Koncentrationsbidragen är låga, och beräknas vara i storleksordningen 0,05–0,1 µg/l i provpunkterna ÖFB och ÖFC, vilket är under noggrannhetsnivån för mätningarna i sjön (som görs för heltal i µg/l). I provpunkterna

ÖF4 och ÖF5 är de beräknade bidragen mellan 0,4 och dryga 0,5 µg/l, vilket också är mindre än noggrannheten för mätningarna som görs i sjön.



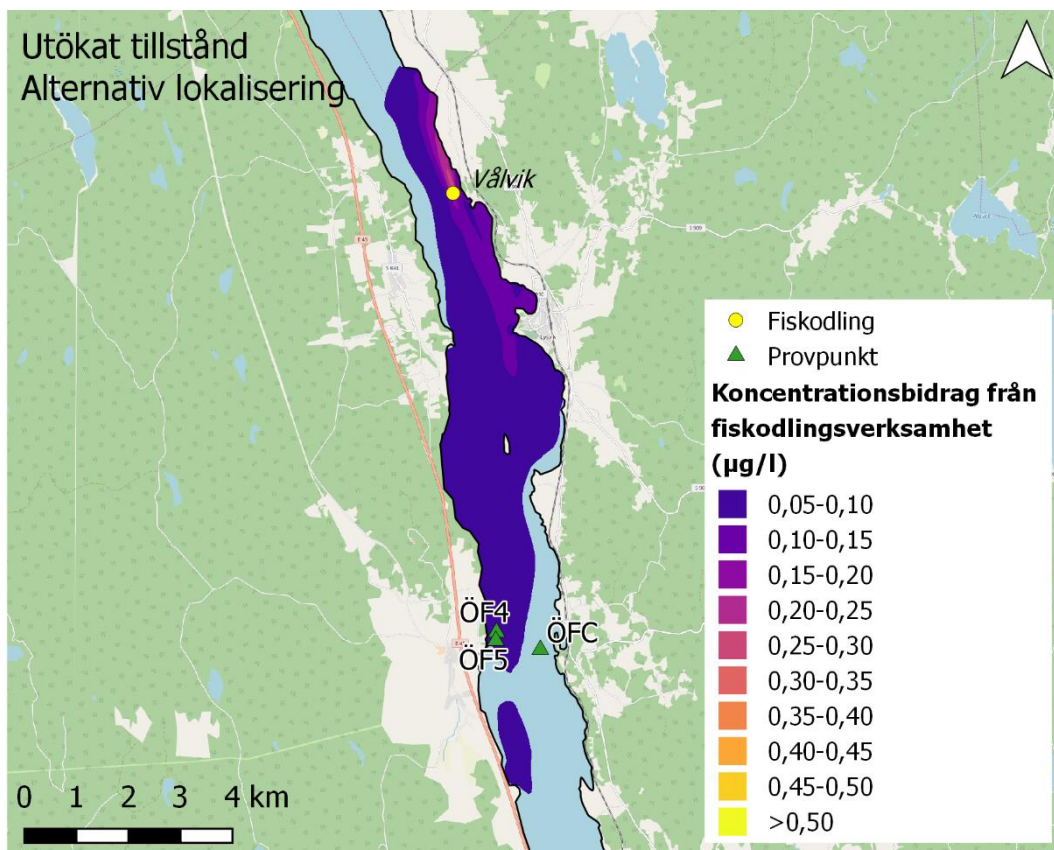
Figur 10. Medelkoncentrationsbidrag till Övre Fryken från fiskodling vid Stöpafors givet befintligt tillstånd. Bidraget är beräknat utifrån utsläppet av vattenlöst fosfor och den hydrodynamiska modellens resultat för spridning av lösta ämnen.

I scenariot ansökt utökat tillstånd och befintlig lokalisering sker spridning av fosfor från fiskodlingen, liksom i scenariot befintligt tillstånd och lokalisering, i sjöns längdriktning och utmed sjöns västra strand (Figur 11). Bidragsplymerna visar samma mönster som de i scenariot befintligt tillstånd och lokalisering (Figur 10), men har något större utbredning. Koncentrationsbidragen är cirka 0,1 µg/l högre i sjöns provpunkter jämfört med scenariot befintligt tillstånd och lokalisering, men fortfarande inom intervallet 0,05–0,1 µg/l i provpunkterna ÖFB och ÖFC. I provpunkterna ÖF4 och ÖF5 är de beräknade bidragen 0,65 respektive och 0,75 µg/l.



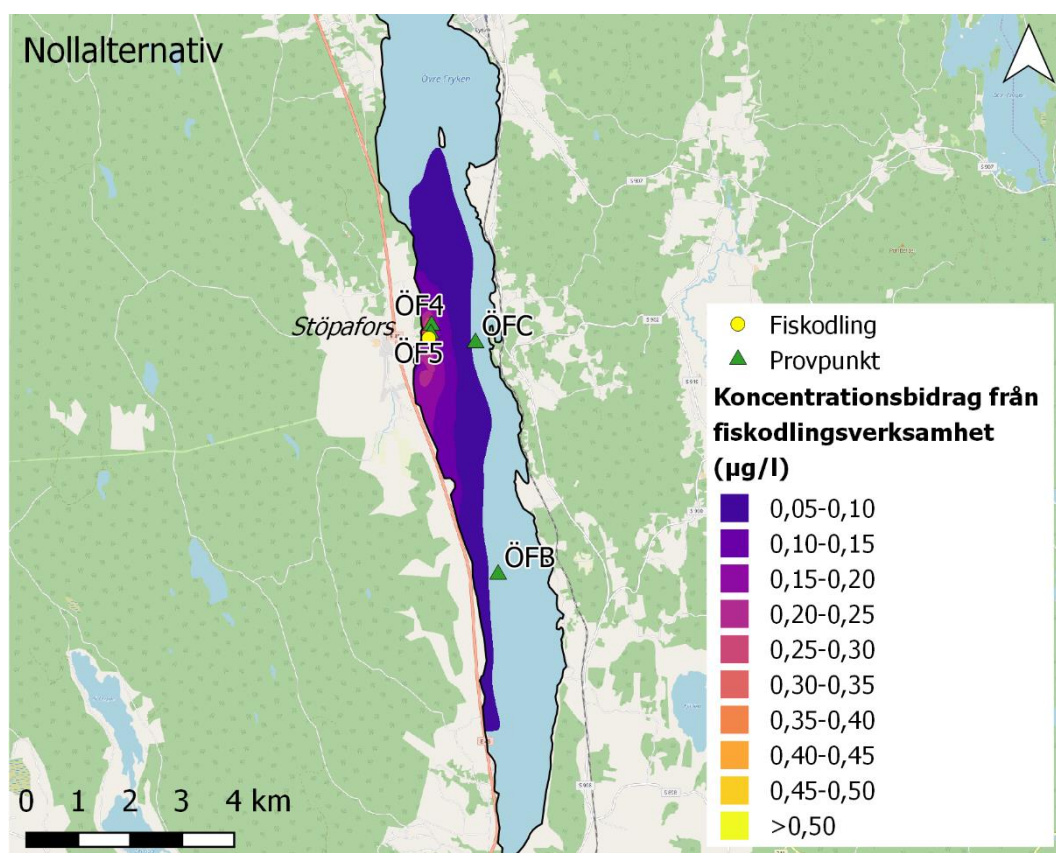
Figur 11. Medelkoncentrationsbidrag till Övre Fryken från fiskodling vid Stöpafor's givet ansökt utökat tillstånd. Bidraget är beräknat utifrån utsläppet av vattenlöst fosfor och den hydrodynamiska modellens resultat för spridning av lösta ämnen.

I scenariot ansökt utökat tillstånd och alternativ lokalisering (Figur 12) sker spridning av fosfor från en modellerad fiskodling utanför Vålvik, och därmed en spridning av fosfor från den lokaliteten. Spridningen sker i nord-sydlig riktning, mot sjöns östra strand närmast odlingen, men mot sjöns västra strand längre söderut, efter bukten söder om Lysvik. Koncentrationsbidragen är lägre än från befintligt och ansökt tillstånd vid Stöpafor's, vilket är ett resultat av den högre spädningen och spridningen vid lokaliseringen. Norrgående är spädningen lägre än i södergående riktning, vilket förklaras av de lokala strömmönstren (Figur 9). Norr om odlingen återfinns därför de för lokaliseringen högsta beräknade koncentrationsbidragen på cirka 0,25–0,3 µg/l. Befintliga provpunkter i sjön, ligger längre bort från Vålvik än från Stöpafor's. I provpunkterna ÖF4 och ÖF5 är beräknade bidrag mellan 0,05–0,1 µg/l. Det beräknade bidraget till punkt ÖFC är lägre än så och redovisas därför inte.



Figur 12. Medelkoncentrationsbidrag till Övre Fryken från fiskodling i scenariot ansökt utökat tillstånd och alternativ lokalisering (utanför Vålvik). Bidraget är beräknat utifrån utsläppet av vattenlöst fosfor och den hydrodynamiska modellens resultat för spridning av lösta ämnen.

Spridningen av fosfor från fiskodlingen i Stöpafors vid nollalternativet redovisas i Figur 13. Spridningsmönstret motsvarar det i Figur 10 och Figur 11, men de beräknade koncentrationsbidragen, det vill säga plymerna i Figur 13, är mindre än i ovanstående scenarier. Fosforutsläppen späds snabbt och sprids i en riktning som inte når provpunkterna ÖFC och ÖFB (det vill säga beräknade koncentrationsbidrag är under 0,05 µg/l i punkterna). I punkterna närmast odlingen (ÖF5 och ÖF4) är beräknade koncentrationsbidrag cirka 0,3 µg/l.



Figur 13. Medelkoncentrationsbidrag till Övre Fryken från fiskodling vid Stöpafors i nollalternativscenariot. Bidraget är beräknat utifrån utsläppet av vattenlöst fosfor och den hydrodynamiska modellens resultat för spridning av lösta ämnen.

Den hydrodynamiska modellen visar hur vattnet i Övre Fryken rör sig baserat på vinddata, flöde och sjöbottnens form. Den tar inte hänsyn till biologiska eller andra fysikaliska processer, som kan påverka ämneskoncentrationen i sjön. Avståndet mellan fiskodlingen och den recipientprovpunkt som påverkansberäkningarna utgår ifrån, påverkar därmed beräkningarnas tillförlitlighet. Med ökat avstånd, minskar tillförlitligheten, eftersom det teoretiskt hinner inträffa fler biokemiska processer under en längre sträcka.

4.5.2 Totalfosforkoncentrationer och näringsämnesstatus i Övre Fryken vid undersökta scenarier

Beräknade totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken under sommaren, exklusive bidragen från fiskodlingen med befintligt tillstånd, visas i Tabell 14. Koncentrationerna kan jämföras med uppmätta koncentrationer i sjön (Tabell 3). I provpunkt ÖF5 är koncentrationerna utan bidrag från befintlig fiskodling 1 µg/l lägre än uppmätta koncentrationer. Koncentrationerna i de andra provpunkterna motsvarar uppmätta koncentrationer. Med andra ord syns en svag påverkan från fiskodlingen i mätpunkten som ligger alldeles närmast verksamheten, medan vattnet i övriga provpunkter är opåverkat av utsläppen från fiskodlingen.

Beräknade totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken, givet det ansökta tillståndet vid den alternativa lokaliteten utanför Vålvik, liksom beräknade totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken givet nollalternativet, motsvarar beräknade koncentrationer i sjön exklusive bidragen från fiskodlingen med befintligt tillstånd (Tabell 14).

Tabell 14. Beräknad totalfosfor ($\mu\text{g/l}$) i Övre Frykens provpunkter under juli och augusti månad, exklusive utsläppen från fiskodling med befintligt tillstånd. De beräknade fosforhalterna är desamma givet utsläpp från fiskodling med ansökt tillstånd och alternativ lokalisering, liksom utsläpp från fiskodling vid nollalternativet.

Provpunkt/Datum	Tot-P ($\mu\text{g/l}$)								
	<ul style="list-style-type: none"> • exklusive utsläpp från fiskodling, befintligt tillstånd • med fiskodling ansökt tillstånd, alternativ lokalitet • med fiskodling vid nollalternativet 								
	2013		2014		2015		2016		Medel
	1/7	29/8	29/8	23/7	2/7	10/8	20/7	18/8	
ÖF4	-	10	-	-	-	7	-	6	8
ÖF5	-	10	5	-	-	-	-	5	7
ÖFB	-	6	-	-	-	7	-	9	7
ÖFC	-	6	-	-	-	8	-	5	6
ÖFN	15	9	-	13	14	12	11	10	12

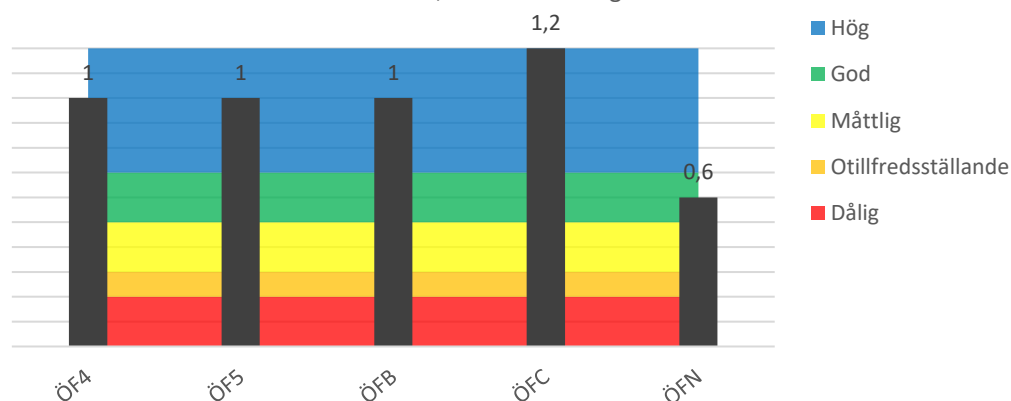
Presenterade koncentrationer redovisas som heltal i enheten $\mu\text{g/l}$, och beräknade skillnader på högre precisionsnivå än så redovisas inte. Skillnaden på $1 \mu\text{g/l}$, som nämns ovan, ligger inom mätningarnas och beräkningarnas osäkerhetsintervall. Den är med andra ord liten och osäker. Skillnaden är däremot konsekvent förekommande för alla mätningar i provpunkten ÖF5 och anses därför vara intressant.

Beräknade EK-värden för parametern totalfosfor (tot-P), och resulterande näringsämnesstatus, i befintliga provpunkter i Övre Fryken sommartid för de tre ovan nämnda scenarierna redovisas i Figur 14.

ÖF4, ÖF5, ÖFB och ÖFC visar *hög* status (Figur 14). ÖFN, som inte nås av bidrag från fiskodlingen i Stöpafor (avsnitt 4.5.1), visar oförändrat *god* status (EK-värde 0,6) jämfört med befintlig näringsämnesstatus i sjön (Figur 5). Den sammanvägda näringsämnesstatusen (medelvärde av EK från tillgängliga provpunkter) är *hög* status (EK-värde 1,0).

Näringsämnesstatus (tot-P) i Övre Fryken, EK-värden och statusklasser

• exklusive utsläpp från fiskodling med befintligt tillstånd, • med fiskodling ansökt tillstånd och alternativ lokalitet, • med fiskodling vid nollalternativet



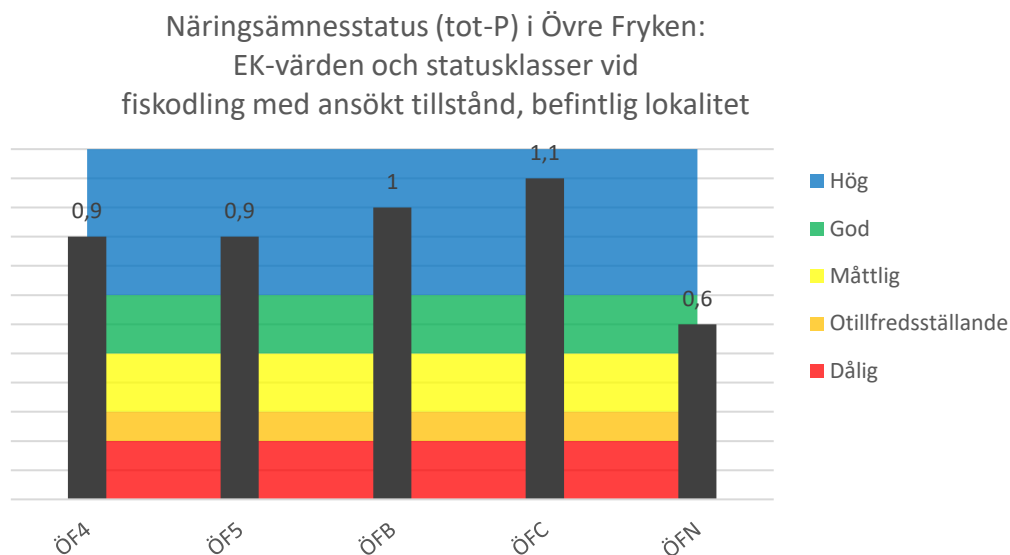
Figur 14. Beräknade EK-värden för parametern tot-P, och resulterande status, i provpunkterna ÖF4, ÖF5, ÖFB, ÖFC och ÖFN utan fiskodling med befintligt tillstånd i sjön. Beräknade EK-värden och resulterande näringsämnesstatus förblir desamma givet utsläpp från fiskodling med ansökt tillstånd och alternativ lokalisering, liksom utsläpp från fiskodling vid nollalternativet.

Beräknade totalfosforkoncentrationer i Övre Fryken, givet det ansökta tillståndet för verksamheten vid Stöpafor, visas i Tabell 15. Koncentrationerna är desamma som uppmätta totalfosforkoncentrationer i sjön (Tabell 3).

Tabell 15. Beräknad totalfosfor ($\mu\text{g/l}$) i Övre Fryken under juli och augusti månad åren 2013–2016, givet ett utsläpp enligt ansökt tillstånd från fiskodling i Stöpafor. De beräknade halterna är desamma som uppmätta värden i sjön, som antas innehålla bidrag från fiskodling med befintligt tillstånd Tabell 3.

Provpunkt/Datum	Tot-P ($\mu\text{g/l}$)								Medel
	• med fiskodling ansökt tillstånd, befintlig lokalitet								
	2013		2014		2015		2016		
	1/7	29/8	29/8	23/7	2/7	10/8	20/7	18/8	
ÖF4	-	10	-	-	-	7	-	6	8
ÖF5	-	11	6	-	-	-	-	6	8
ÖFB	-	6	-	-	-	7	-	9	7
ÖFC	-	6	-	-	-	8	-	5	6
ÖFN	15	9	-	13	14	12	11	10	12

Beräknade EK-värden för parametern totalfosfor (tot-P), och resulterande näringsämnesstatus, i befintliga provpunkter i Övre Fryken sommartid, givet ansökt tillstånd för verksamheten i Stöpafors, redovisas i Figur 15.



Figur 15. Beräknade EK-värden för parametern tot-P, och resulterande status, i provpunkterna ÖF4, ÖF5, ÖFB, ÖFC och ÖFN, givet utsläppsvärden från det ansökta tillståndet vid befintlig lokalitet. Värdena motsvarar nuvarande näringsämnesstatus i sjön (Figur 5).

ÖF4, ÖF5, ÖFB och ÖFC visar *hög* status (Figur 15). ÖFN, som inte nås av bidrag från fiskodlingen i Stöpafors (avsnitt 4.5.1), visar oförändrat *god* status (EK-värde 0,6) jämfört med befintlig näringsämnesstatus i sjön (Figur 5). Den sammanvägda näringsämnesstatusen i Övre Fryken vid ansökt tillstånd i Stöpafors (medelvärde av EK från tillgängliga provpunkter) är *hög* status (EK-värde 0,9), och motsvarar befintlig status i sjön.

Observera att av provpunkterna i sjön återfinns lägst näringsämnesstatus i ÖFN, som inte nås av bidragen från fiskodlingen i Stöpafors.

4.5.3 Anspråk på näringsämnesstatus och kritisk fodermängd



Figur 16. Utifrån ett medel av samtliga mätdata har Övre Fryken hög status med avseende på näringsämnen (tot-P). Fiskodlingsverksamheten ger upphov till förhöjda koncentrationer i närheten av odlingen, vilket leder till att en volym (0,01 %) av sjön tidvis får försämrad statusklass. Vattenvolymer är inte synliga på en karta över hela vattenförekomsten. Inzoomningar över verksamheten i de undersökta scenarierna visas i Figur 17 – Figur 20.

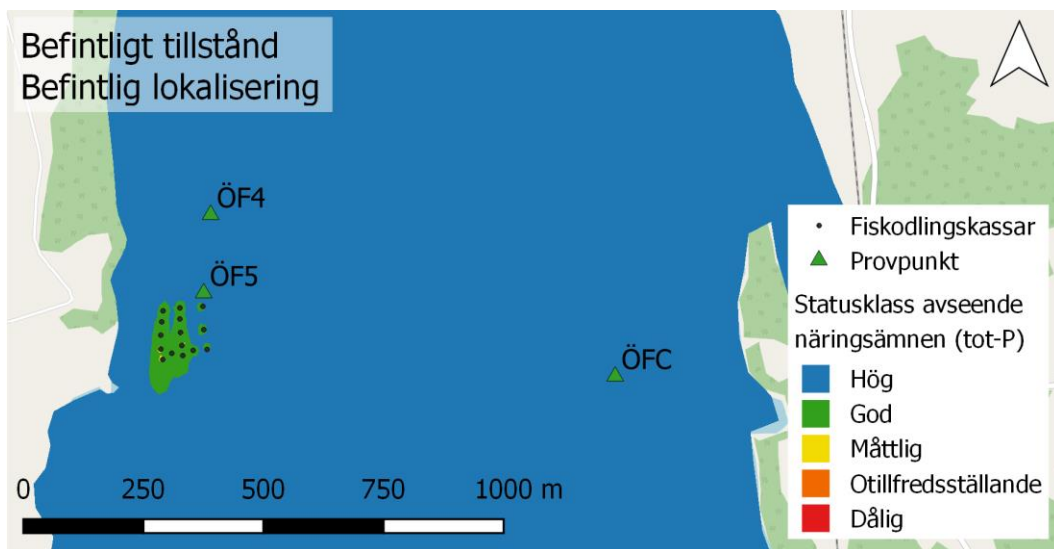
Den modellerade rumsliga variationen av näringsämnesstatus i sjön presenteras i Figur 16. Vattenvolymer som beräknas ha lägre än *god* status (miljökvalitetsnormen), till följd av de undersökta fosforutsläppen vid fiskodlingsverksamheten, utgör 0,00 % av sjöns totala ytvattenvolym (0–10 m)⁶.

Vattenvolymer som beräknas ha lägre än *hög* status tidvis inuti, och i närmast anslutning till, fiskodlingskassarna beräknas utgöra 0,01 % av sjöns totala ytvattenvolym givet scenarierna (1) befintligt tillstånd, befintlig lokalisering och (2) ansökt tillstånd, befintlig lokalisering. De beräknas utgöra 0,00 % vid (3) ansökt tillstånd, alternativ lokalisering och (4) nollalternativet.

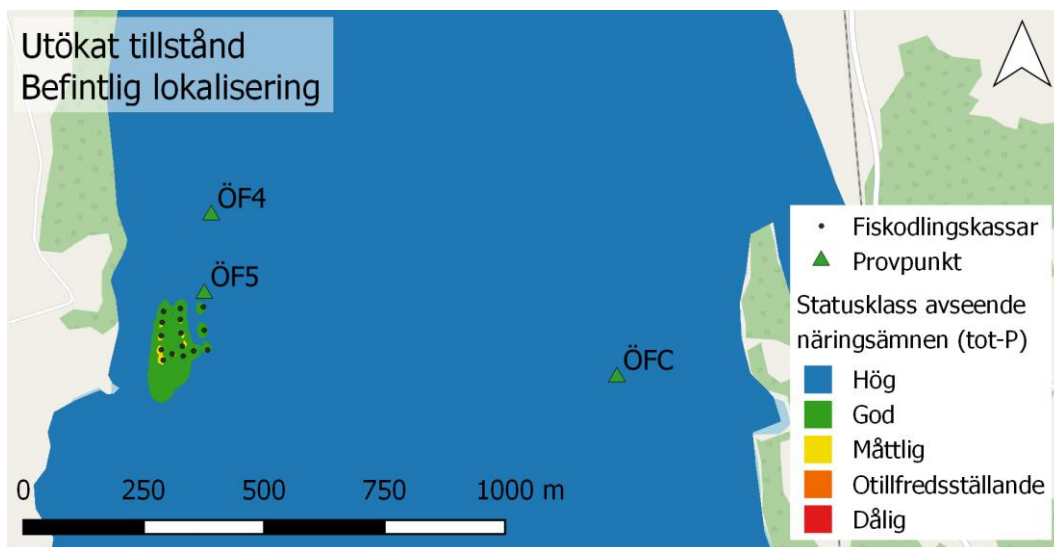
Den foderförbrukning som skulle kunna leda till en statusförsämring av kvalitetsfaktorn näringsämnen, det vill säga en statusklassförsämring från *hög* till sämre status, i hälften av Övre Frykens översta 10 meter har beräknats till 59 600 ton/år för fiskodlingen vid Stöpafors, vilket är cirka 60 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det ansökta tillståndet, och cirka 71 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det befintliga tillståndet.

Motsvarande foderförbrukning vid den alternativa lokaliseringen vid Vålvik har beräknats till 81 400 ton/år, vilket är cirka 81 gånger större än foderförbrukningen som innefattas av det ansökta tillståndet, och cirka 97 gånger större än foderförbrukningen som innefattas av det befintliga tillståndet.

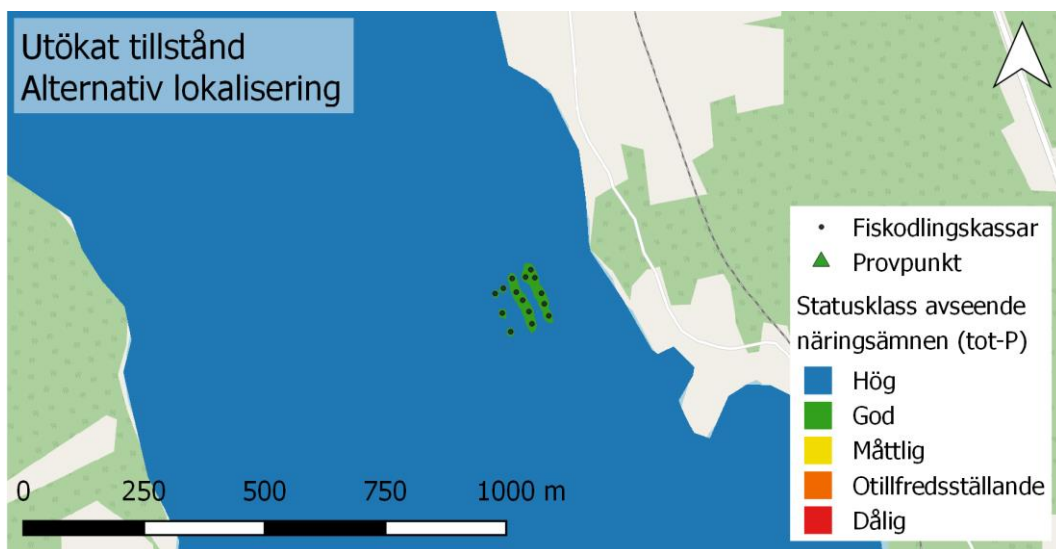
⁶ För scenarierna (1) befintligt tillstånd, befintlig lokalisering och (2) ansökt tillstånd, befintlig lokalisering beräknas en viss mängd vatten tidvis ha lägre än *god* status inuti, och i närmast anslutning till, odlingskassarna (gulfärgat i Figur 17 och Figur 18), men angivet med två decimaler utgör de inte mer än 0,00 % av sjöns totala ytvattenvolym).



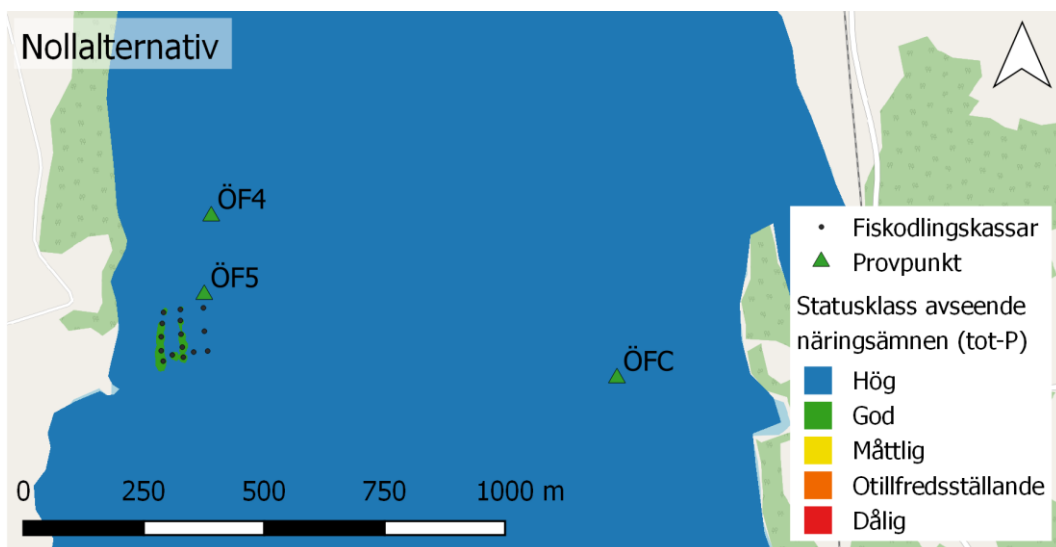
Figur 17. Utifrån ett medel av samtliga mätdata har Övre Fryken hög status med avseende på näringsämnen (tot-P). Fiskodlingsverksamheten ger upphov till förhöjda koncentrationer i närheten av odlingen, vilket leder till att en volym av sjön tidvis får försämrade statusklass. Resultat för scenario (1) befintligt tillstånd, befintlig lokalisering.



Figur 18. Utifrån ett medel av samtliga mätdata har Övre Fryken hög status med avseende på näringsämnen (tot-P). Fiskodlingsverksamheten ger upphov till förhöjda koncentrationer i närheten av odlingen, vilket leder till att en volym av sjön tidvis får försämrade statusklass. Resultat för scenario (2) ansökt (utökat) tillstånd, befintlig lokalisering.



Figur 19. Utifrån ett medel av samtliga mätdata har Övre Fryken hög status med avseende på näringsämnen (tot-P). Fiskodlingsverksamheten ger upphov till förhöjda koncentrationer i närheten av odlingen, vilket leder till att en volym av sjön tidvis får försämrade statusklass. Resultat för scenario (3) ansökt (utökat) tillstånd, alternativ lokalisering.



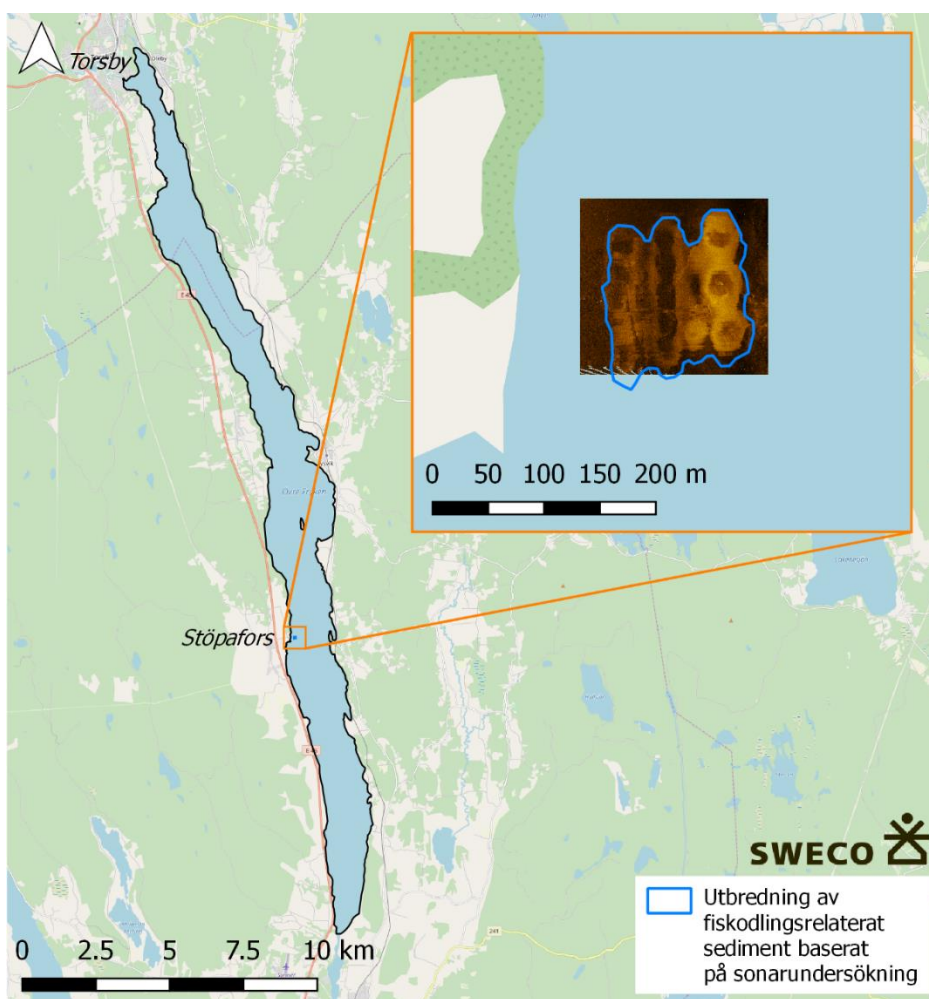
Figur 20. Utifrån ett medel av samtliga mätdata har Övre Fryken hög status med avseende på näringsämnen (tot-P). Fiskodlingsverksamheten ger upphov till förhöjda koncentrationer i närheten av odlingen, vilket leder till att en volym av sjön tidvis får försämrade statusklass. Resultat för scenario (4), nollalternativet.

Beräkningarna av foderförbrukningen som skulle kunna leda till en statusförsämring av kvalitetsfaktorn näringsämnen i hälften av Övre Frykens översta 10 meter ska tolkas med försiktighet, för de tar endast hänsyn till fiskodlingsverksamhetens ändrade bidrag till sjön

och förutsätter att alla andra bidrag till sjön förblir oförändrade. I beräkningarna tar verksamheten med andra ord anspråk på allt fosforutrymme som finns i sjön under sommar-månaderna.

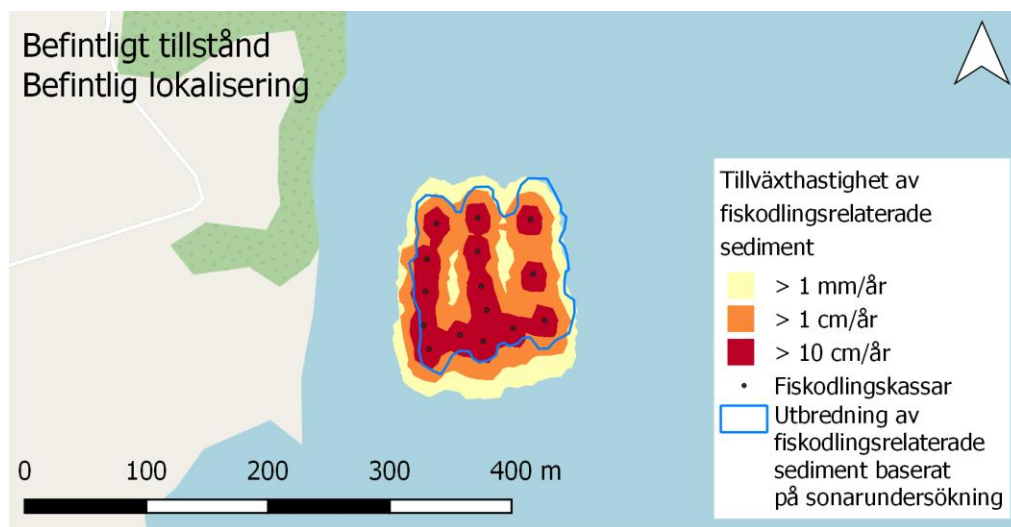
4.6 Verksamhetens påverkan på bottensubstrat i Övre Fryken

Analys av resultaten från sonarundersökning av sjöbotten (Bilaga 2) tyder på att utbredningen av sediment från fiskodlingen uppgår till en area på ca 15 800 m² (Figur 21). Arealen definieras av att sjöbotten inom området domineras av fiskodlingsrelaterat sediment. Det är möjligt att sediment återfinns i mindre utsträckning även utanför området, men utanför sedimentens utbredningsområde är det andra bottenmaterial som dominerar (det vill säga har störst inverkan på resultatet från sonarundersökningen).

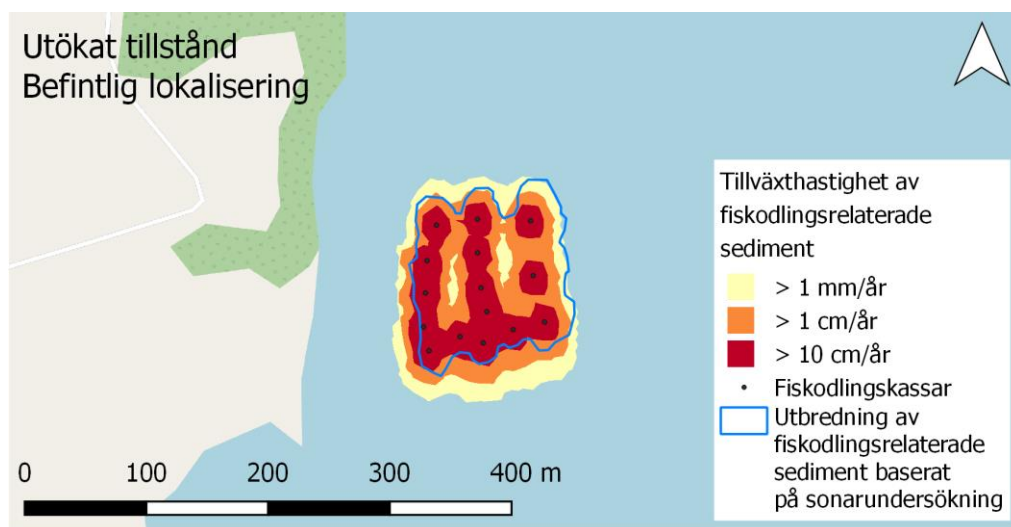


Figur 21. Uppskattat nuvarande utbredningsområde av fiskodlingsrelaterade sediment baserat på sonarundersökning. Detaljbild vid Stöpafors som visar en av resultatbilderna från sonarundersökningen som ligger till grund för uppskattningen av utbredningsområdet.

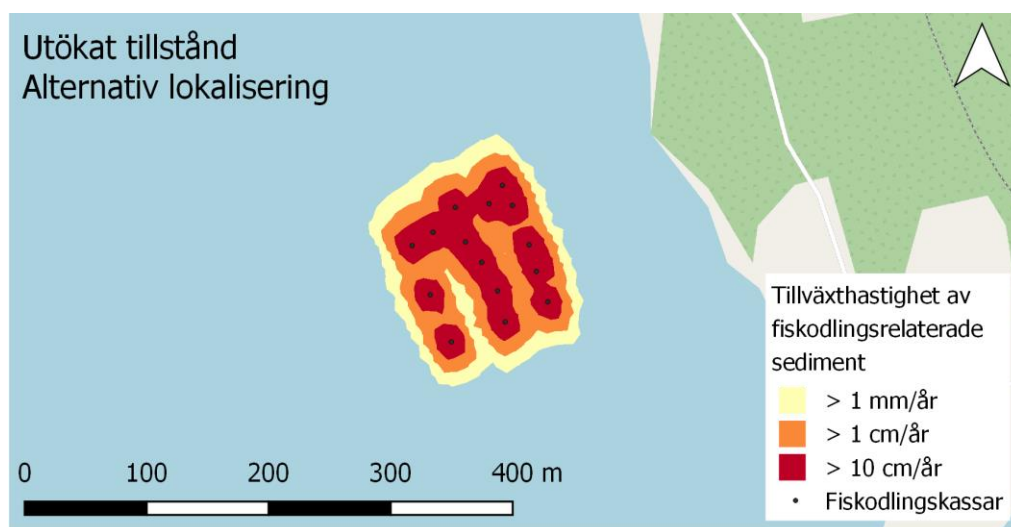
Beräknad spridning och ackumulation av partikulärt material från fiskodling vid de undersökta scenarierna presenteras i Figur 22 – Figur 25. De beräknade utbredningsområdena av fiskodlingsrelaterade sediment stämmer väl överens med utbredningsområdet identifierat vid utförd fältundersökning av sjöbotten (jämför blå linje med modellerade areor i Figur 22 – Figur 25). Ytorna för de högre tillväxthastigheterna 1 cm/år och 10 cm/år ökar med ökad foderförbrukning. De ökar med andra ord i utbredning från nollalternativet, befintligt tillstånd till ansökt utökat tillstånd.



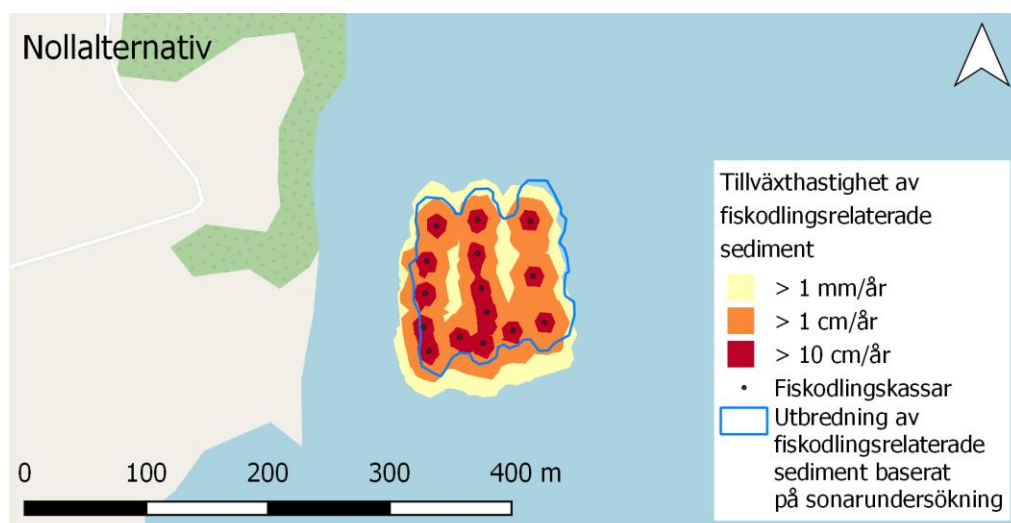
Figur 22. Spridning av partikulärt material från fiskodlingsverksamhet vid befintligt tillstånd och befintlig lokalisering, samt uppskattad nuvarande utbredning av fiskodlingsrelaterade sediment baserat på sonarundersökning. Bakgrundskarta: Open Street Map



Figur 23. Spridning av partikulärt material från fiskodlingsverksamhet vid utökat tillstånd och befintlig lokalisering, samt uppskattad nuvarande utbredning av fiskodlingsrelaterade sediment baserat på sonarundersökning. Bakgrundskarta: Open Street Map



Figur 24. Spridning av partikulärt material från fiskodlingsverksamhet vid utökat tillstånd och alternativ lokalisering. Bakgrundskarta: Open Street Map.



Figur 25. Spridning av partikulärt material från fiskodlingsverksamhet enligt nollalternativ samt uppskattad nuvarande utbredning av fiskodlingsrelaterade sediment baserat på sonarundersökning. Bakgrundskarta: Open Street Map

I Tabell 16 redovisas hur stor area det fiskodlingsrelaterade sedimentet upptar, samt hur stor del av sjöns area det motsvarar. I brist på information om Övre Frykens bottenarea (avsnitt 3.5.2), beräknades andelarna baserat på sjöns ytarea, vilket resulterar i en konservativ beräkning eftersom sjöns ytarea är mindre än dess bottenarea.

Tabell 16. Beräknat påverkansområde för olika tillväxthastigheter av det fiskodlingsrelaterade sedimentet och påverkansområdets motsvarande andel av Övre Frykens ytarea (41,9 km²).

Tillväxthastighet	Area påverkansområde (m ²)			Andel av Övre Frykens area (%)		
	1 mm/år	1 cm/år	10 cm/år	1 mm/år	1 cm/år	10 cm/år
Befintlig lokalisering, befintligt tillstånd	23 200	16 600	7 600	0,06	0,04	0,02
Befintlig lokalisering, utökat tillstånd	23 600	17 200	8 800	0,06	0,04	0,02
Alternativ lokalisering, utökat tillstånd	24 100	17 200	8 600	0,06	0,04	0,02
Nollalternativ	21 900	15 200	3 900	0,05	0,04	0,01

Sedimenttytor under fiskodlingen som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 mm per år enligt befintligt tillstånd i den befintliga lokaliseringen i Stöpaforas beräknas utgöra 0,06% av sjöns totala area. Ytorna som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 cm per år utgör 0,04% av sjöns totala ytarea och sedimentytorna som beräknas ha en tillväxthastighet på 10 cm per år motsvarar 0,02% av sjöns ytarea.

Vid utökat tillstånd i den befintliga lokaliseringen i Stöpaforas utgör sedimentytorna som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 mm per år 0,06% av sjöns totala ytarea. De sedimenttytor som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 cm per år utgör 0,04% av sjöns ytarea, och de som beräknas ha en tillväxthastighet på 10 cm per år utgör 0,02% av sjöns ytarea.

Vid utökat tillstånd i den alternativa lokaliseringen utgör sedimenttytor under fiskodlingen som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 mm per år 0,06% av sjöns totala ytarea. Ytorna som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 cm per år utgör 0,04% av sjöns totala ytarea och sedimentytorna som beräknas ha en tillväxthastighet på 10 cm per år motsvarar 0,02% av sjöns ytarea.

Vid nollalternativet utgör sedimenttytor under fiskodlingen som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 mm per år 0,05% av sjöns ytarea. De sedimenttytor som beräknas ha en tillväxthastighet på minst 1 cm per år utgör 0,04% av sjöns ytarea, och de som beräknas ha en tillväxthastighet på 10 cm per år utgör 0,01% av sjöns ytarea.

Status för morfologiskt tillstånd (bottensubstrat i sjöar) bedöms vara *hög* upp till en avvikelse på 5% och *god* vid en avvikelse mellan 5% och 15% (avsnitt 3.5.2). Sedimenttytor med tillväxthastigheter mellan 1 mm och 10 cm per år under fiskodling i Övre Fryken utgör som mest 0,05% av sjöns totala ytarea enligt nollalternativet, och 0,06% i resterande scenarier (dvs befintlig och utökad produktion vid befintlig lokalisering samt utökad produktion i alternativ lokalisering). Därmed bedöms inget av de presenterade scenarierna leda till en försämring av rådande status för morfologiskt tillstånd i Övre Fryken eller sjöns möjligheter att uppnå uppsatta miljö kvalitetsnormer.

För att fastställa vilken tillväxthastighet på det fiskodlingsrelaterade sedimentet som ger upphov till en tydlig inverkan på bottensubstratet kan de modellerade tillväxthastigheterna jämföras med den utbredningen av sediment som identifierades vid sonarundersökningen.

Den nuvarande utbredningen av fiskodlingsrelaterade sediment uppskattas vara omkring 15 800 m² baserat på undersökning med sonar. Denna utbredning stämmer bäst överens med sedimentytorna med en tillväxthastighet på minst 1 cm per år, vilka har areorna 15 200 m² och 16 600 m² för nollalternativet respektive befintligt tillstånd (se Tabell 16). Detta tyder på att en tillväxthastighet på 1 cm per år bäst beskriver utbredningen av det område där fiskodlingsrelaterade sediment är det dominerande bottenmaterialet. Enligt analysen av fältundersökningarna kan det förekomma sediment även utanför det framtagna utbredningsområdet, men i mindre utsträckning. Även modellresultaten visar att det sker en viss ackumulering av sediment i ett större område, men att sedimenten där lägger sig i ett betydligt tunnare lager.

Sedimentutbredningen baserat på sonardata befinner sig längre norrut och österut än modellerade utbredningar (Figur 22 – Figur 25). Detta kan bero på att placeringen av fiskodlingskassarna i modellen är baserade på ett satellitfoto, och spridningen av partikulärt material utgår från den plats där kassarna befann sig då satellitfotot togs. I verkligheten är kassarnas position inte konstant över tiden, vilket betyder att de vid andra tillfällen kan ha befunnit sig längre norrut och österut. Skillnaden i positionering av fiskodlingskassarna bedöms inte påverka sedimentytornas framtagna storlek, eftersom de hydrodynamiska förutsättningarna inom området där kassarna kan tänkas röra sig är likvärdiga.

En modell är en förenkling av verkligheten och modellresultaten speglar inte verkligheten helt. I modellen sker utsläppet av partiklar från en punkt i mitten av fiskodlingskassen, medan partiklarna i verkligheten kan sjunka från alla delar av kassen. Som ett resultat av detta är sedimentens modellerade tillväxthastighet som högst rakt under utsläppspunkten, vilket resulterar i att sedimenten bildar konformade strukturer. I verkligheten är det inte troligt att sedimenten får denna form, och detta motverkas även av att skred kan inträffa då lutningen på de ackumulerade sedimenten blir för hög. Att detta inte beskrivs i modellen bedöms inte ha någon inverkan på storleksordningen av arean av de sedimentytor som beskrivits ovan, och därmed inte heller bedömningen av påverkan på sjöns status gällande bottensubstrat.

Modellresultaten visar att det rakt under fiskodlingskassarna är en tillväxthastighet som överstiger 10 cm/år, men det bör noteras att denna siffra är beräknad utifrån ett scenario som representerar en av årets mer foderintensiva tidsperioder. Utfodringen är väsentligt mindre under andra delar av året, och en sedimenttillväxt på 10 cm/år under kassarna är därmed konservativt beräknad.

5 Slutsatser

Föreliggande utredning redogör för hur fiskodling i Övre Fryken, givet fyra scenarier, påverkar klassningen av ekologisk status för kvalitetsfaktorn näringsämnen liksom klassningen av morfologiskt tillstånd (bottensubstrat) i sjön. Scenarierna är: (1) befintligt till-

stånd och befintlig lokalisering, (2) ansökt tillstånd och befintlig lokalisering, (3) ansökt tillstånd och alternativ lokalisering och (4) nollalternativet. Nedan följer en sammanfattning av utredningens viktigaste resultat:

Näringsämnesstatusen i Övre Fryken är *hög* för samtliga undersökta scenarier. En svag påverkan från fiskodlingen (1 µg/l), som ligger inom mätningarnas och beräkningarnas osäkerhetsintervall, syns i mätpunkten som ligger precis i utkanten av den modellerade fiskodlingen (se exempelvis Figur 17) i scenario (1) och (2), medan vattnet i övriga provpunkter är opåverkat av utsläppen från fiskodlingen.

Vid den identifierade alternativa lokaliseringen vid Vålvik är strömhastigheterna höga, vilket resulterar i god spädning och spridning av utsläpp från lokaliseringen (avsnitt 4.4.2 och 4.5.1).

0 % av sjöns totala ytvattenvolym (0 – 10 m) beräknas ha lägre än *god* status (miljö kvalitetsnormen), till följd av de undersökta fosforutsläppen vid fiskodlingsverksamheten i de fyra undersökta scenarierna.

Vattenvolymerna som beräknas ha lägre än *hög* status tidvis inuti, och i närmast anslutning till, fiskodlingskassarna beräknas utgöra 0,01 % av sjöns totala ytvattenvolym givet scenarierna (1) befintligt tillstånd, befintlig lokalisering och (2) ansökt tillstånd, befintlig lokalisering. De beräknas utgöra 0,00 % vid (3) ansökt tillstånd, alternativ lokalisering och (4) nollalternativet.

Den foderförbrukning som skulle kunna leda till en statusförsämring av kvalitetsfaktorn näringsämnen, det vill säga en statusklassförsämring från *hög* till sämre status, i hälften av Övre Frykens översta 10 meter beräknas till 59 600 ton/år för fiskodlingen vid Stöpa-fors, vilket är cirka 60 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det ansökta tillståndet, och cirka 71 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det befintliga tillståndet. Motsvarande foderförbrukning vid den alternativa lokaliseringen vid Vålvik beräknas 81 400 ton/år, vilket är cirka 81 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det ansökta tillståndet, och cirka 97 gånger mer än foderförbrukningen som innefattas av det befintliga tillståndet.

Utbredningen av fiskodlingsrelaterade sediment på sjöbotten under fiskodlingskassarna, bedöms uppgå till en area på cirka 15 800 m², baserat på fältundersökning med sonar. Modellerade utbredningsområden stämmer väl överens med det vid fältundersökning identifierade området.

Ytor av bottenstrukt under fiskodlingskassarna i Övre Fryken, som har tillväxthastigheter på 1 mm, 1 cm och 10 cm per år utgör sammanlagt 0,06 % av sjöns ytarea i scenarierna (1) befintligt tillstånd, befintlig lokalisering, (2) ansökt tillstånd, befintlig lokalisering och (3) ansökt tillstånd, alternativ lokalisering. För scenario (4) nollalternativet utgör ytor av bottenstrukt under fiskodlingskassarna 0,05 % av sjöns totala ytarea.

Här beräknade och externa data för övriga kvalitetsfaktorer (avsnitt 2.4, 4.2) som beskriver vattenmiljön i Övre Fryken stämmer väl överens med slutsatserna i påverkansanalysen

med avseende på näringsämnen och bottensubstrat i föreliggande rapport. Näringsämnesstatusen i sjön är *hög* och påverkas inte av fiskodlingen i sjön, vilket återspeglas i status för kiselalger och växtplankton i sjön, liksom sjöns siktdjup.

Sammanfattningsvis bedöms bolagets fiskodling i Övre Fryken inte påverka klassningen av ekologisk status för kvalitetsfaktorn näringsämnen vid någon av de undersökta scenarierna. Utsläppet av partikulärt material från fiskodlingen bedöms vidare inte försämra rådande status för morfologiskt tillstånd i Övre Fryken, givet de undersökta scenarierna. Konsekvenserna av sökt verksamhet bedöms ha obetydlig påverkan på klassning av kvalitetsfaktorerna näringsämnesstatus och morfologiskt tillstånd i Övre Fryken. Verksamheten bedöms inte heller påverka möjligheterna att uppnå eller upprätthålla vattenförekomstens miljö kvalitetsnormer.

6 Referenser

- Alanärrä, A. (2012). Förslag till modeller för tillståndsbedömning av fiskodling , kontrollprogram och analys av miljöpåverkan. Retrieved from <http://pub.epsilon.slu.se/9350/>
- Bengtsson, L. (1997). *Hydrologi - teori och processer*. Lund: Svenska Hydrologiska Rådet, Lunds universitet.
- Bureau, D., Gunther, S., & Cho, C. (2003). Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, 65(1), 33–38. Retrieved from [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1577/1548-8454\(2003\)065%3C0033:CCAPTE%3E2.0.CO;2](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1577/1548-8454(2003)065%3C0033:CCAPTE%3E2.0.CO;2)
- Carlsson, S.-Å. (2012). Fosfor från fiskfoder och fekalier - Jämförelse mellan Naturvårdsverket (1980-talet) och motsvarande nutida studier av foder och fekalier.
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (2001). A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research*, 32, 349–360.
- Cromey, C., Nickell, T., & Black, K. (2002). DEPOMOD—modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214, 211–239. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484860200368X>
- Gustafsson, A. (2003). Fosfor i regnbågslaxens foder och fekalier. *Naturvatten i Roslagen AB*.
- Havs- och Vattenmyndigheten. (2013). *Havs- och vattenmyndighetens författningssamling. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvattenbeslutade den 4 juli 2013. Hvmfs 2013:19* (Vol. 19).
- Naturvårdsverket. (1993). Allmänna råd 93:10. Fiskodling - planering, tillstånd, tillsyn.
- Reid, G., Liutkus, M., Robinson, S., Chopin, TR, Lander, T., Mullen, J., Page, F., & Moccia, R. (2009). A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic

- aquaculture. *Aquaculture Research*, 40(3), 257–273. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x>
- SMHI, & Havs och Vattenmyndigheten. (n.d.). Vattenwebb, Modelldata per område. Delavrinningsområde “Utloppet av Övre Fryken”, subid: 9448, aroid: 664216-135107. Retrieved from <http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>
- Sverdrup, K., & Armburst, V. (2009). *The Surface Currents. In An Introduction to the World's Oceans*. McGraw-Hill.
- Synlab AB. (2017). Norsälven 2017. Norsälvens intressenter.
- Vattenmyndigheterna, Länsstyrelsen, & Havs och Vattenmyndigheten. (n.d.). VISS - VattenInformationsSystem för Sverige - SRK, Norsälven. Retrieved September 14, 2018, from <http://viss.lansstyrelsen.se/MonitoringPrograms.aspx?monitoringProgramID=158&tab=Surveys&&636725300770693359=tabSurveys&monitoringProgramSurveyID=316&timeStamp=1536926027921#tabSurveys>
- Vattenmyndigheterna, Länsstyrelserna, & Havs och Vattenmyndigheten. (n.d.). Övre Fryken - Sjö - VISS - VattenInformationsSystem för Sverige. Retrieved September 21, 2018, from <http://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA25265458>
- Wong, K. B., & Piedrahita, R. H. (2000). Settling velocity characterization of aquacultural solids. *Aquacultural Engineering*, 21(4), 233–246.

Bilaga 1 – Hydrodynamisk modellering av Övre Fryken

Denna bilaga beskriver den tredimensionella hydrodynamiska modell över Övre Fryken som tagits fram av Sweco. Bilagan innefattar en kort presentation av mjukvaran som använts samt en beskrivning av modellområde och batymetri. Den innehåller även en beskrivning av valet av simuleringsförhållanden samt översikt av använd drivdata till modellen. Dessutom innehåller bilagan en beskrivning av antaganden och metodik för spridningsmodelleringen, känslighetsanalys och kalibrering samt en kortfattad diskussion om metodiken. För mer generell information kring hydrodynamisk modellering samt presentation av resultat hänvisas till projektets huvudrapport.

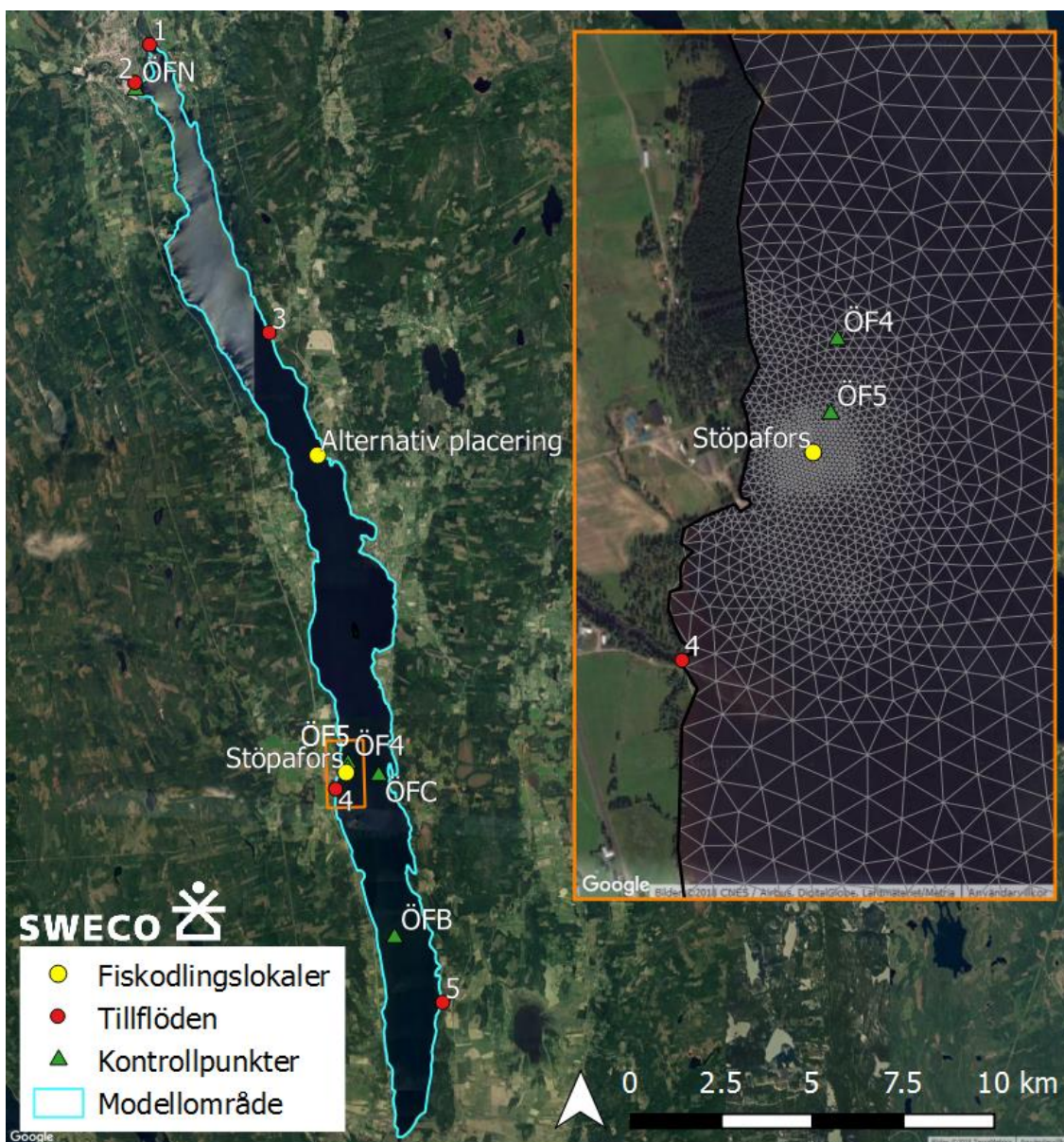
1 Mjukvara

För att beskriva strömning och spridning av vattenlösligt och partikulärt material har en tredimensionell hydrodynamisk modell upprättats för Övre Fryken. Beräkningarna har skett med mjukvaran TELEMAC 3D som bland annat beräknar strömmar, temperatur, sedimentation och koncentrationer grundat på Navier-Stokes ekvationer. Dessa beskriver vattenrörelser i tre dimensioner och utvecklades av C. L. M. H. Navier och Sir G. Stokes i slutet av 1800-talet. Ekvationerna beräknar vattnets rörelse som en funktion av gravitations-, friktions- och tryckkrafter (Finnemore & Franzini, 2001).

Mjukvaran TELEMAC-MASCARET har ursprungligen utvecklats på Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (Paris, Frankrike) men är numera ett så kallat open-source-system som kontinuerligt utvecklas från flera håll. Mjukvarusystemet används bland annat vid flera franska forskningsinstitut och statliga verk, vid HR Wallingford i Storbritannien och vid Finnish Environment Institute (SYKE) i Helsingfors och har använts i flera hundra vetenskapliga studier. Mer information finns på www.opentelemac.org.

2 Modellområdet

Modellen täcker hela sjön Övre Fryken, med en utbredning norrut till Torsby och söderut till den avsmalnande delen av sjön i höjd med Gunnarsby/Svineberg. Modellens upplösning horisontellt utgörs av ett så kallat beräkningsnät där beräkningar utförs i varje nod. Nätet består av trianglar som varierar i storlek så att intressanta områden får den upplösning som krävs för en analys av miljöpåverkan samtidigt som inte onödigt mycket beräkningskapacitet läggs i områden som inte är av direkt intresse för studien. Generellt har modellens horisontella upplösning satts till 75 m (längd av trianglarnas sidor) men vid kritiska platser, såsom runt fiskodlingarna har denna längd reducerats till 10 m för att säkerställa god noggrannhet. Modellens utbredning och beräkningsnätet kan ses i Figur 26.

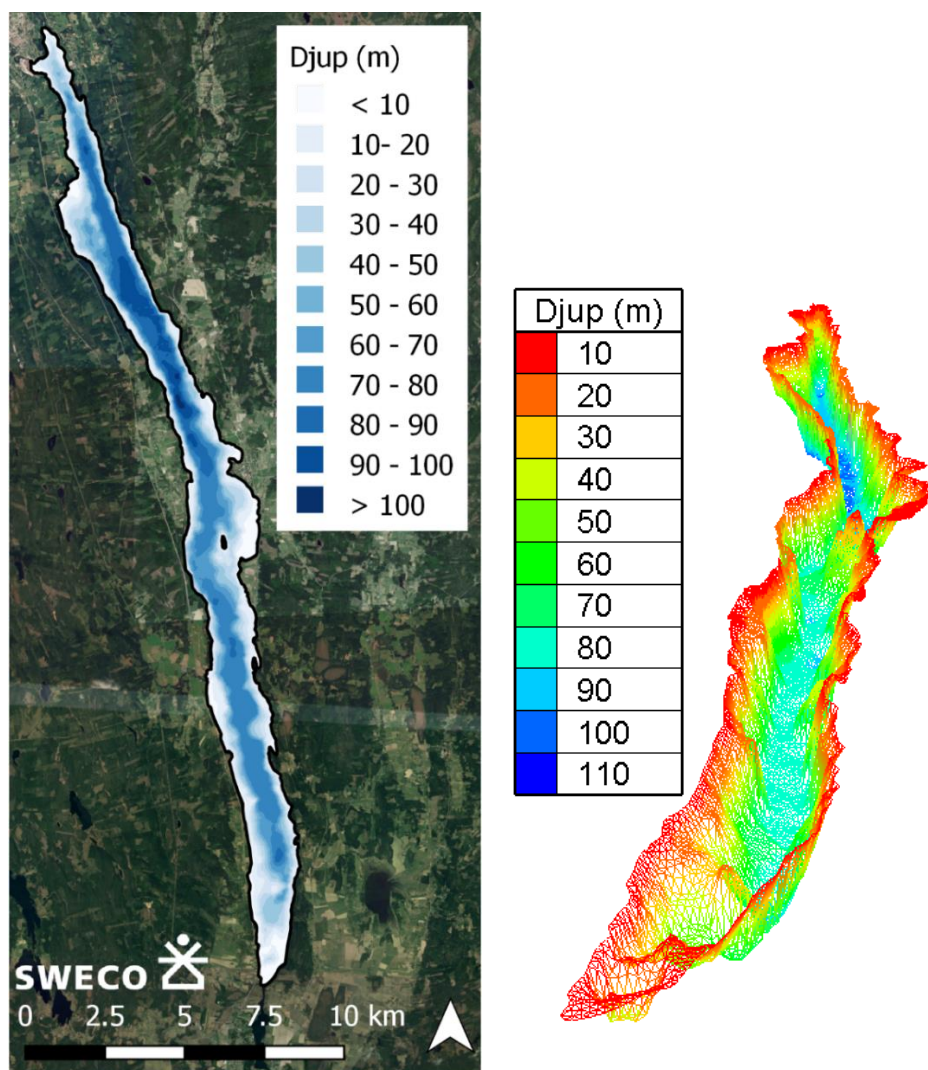


Figur 26. Modellområdet i Övre Fryken, samt översikt över placering av fiskodlingslokaler, inkludera tillflöden och kontrollpunkter. Den infällda rutan visar i detalj beräkningsnätet kring den befintliga fiskodlingen i Stöpafors (även markerad med orange ruta i kartan). Bakgrundskarta: Google Satellite.

I djupled är beräkningsnätet uppdelat i 13 lager där de flesta ligger på de övre 20 metrarna för att ge en god upplösning på de nivåer fiskodlingskassarna är belägna. Därunder är lagren fördelade för att återge sjöns djupare strömmar på ett korrekt sätt.

3 Batymetri

Vattnets strömningshastigheter och riktningar påverkas i stor grad av sjöbottens form. Djupdata (batymetri) har funnits tillgänglig i form av en djupkarta. Kartan har digitaliserats och bottendjupet mellan djuplinjerna har interpolerats för att generera en heltäckande batymetri i modellen. Modelldjupen i närheten av fiskodlingen i Stöpafors har därutöver jämförts med djupmätningar som utförts under april 2018 så att dessa överensstämmer. Djupen i modellen av Övre Frykens visas i Figur 27.



Figur 27. Modellens batymetri baserat på interpolerade djupdata från sjökort (t.v.) samt tredimensionell visualisering av beräkningsnätet längs botten (t.h.), södra änden är närmast i bild. Observera att längdskalan i djupled är överdriven relativt längdskalan horisontellt i den högra figuren. Bakgrundskarta: Google Satellite

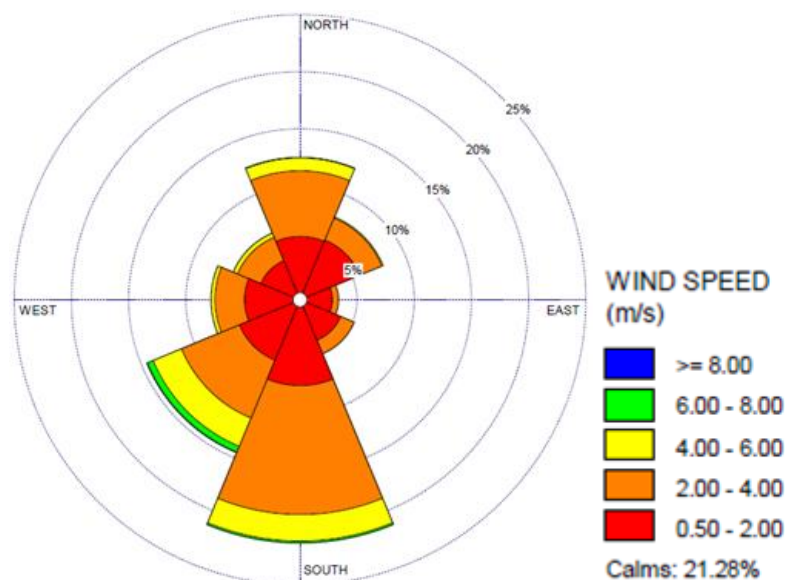
4 Simulerade förhållanden

Meteorologisk information avseende vind, flöden och temperatur samlades in, analyserades och indata valdes ut för att modellsimuleringarna ska ge en god återspeglning av de lokala förhållandena i Övre Fryken.

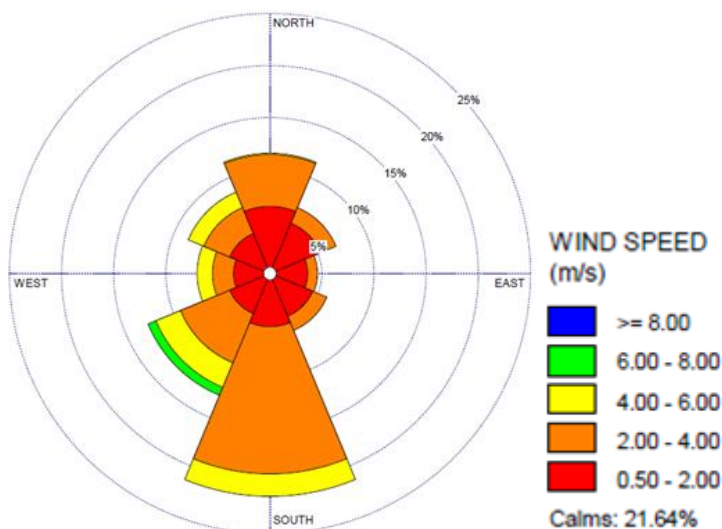
4.1 Vind

Vinddata har inhämtats från SMHI:s mätstation i Sunne, vilken är belägen vid Övre Frykens södra ände. Vinddata för perioden 1995–2017 har analyserats och det konstaterades att det under sommarmånaderna juni – augusti råder en tydlig förhärskande nordsydlig vindriktning, med inslag av starkare vindar från sydväst (se vindros i Figur 28). De vanligaste vindriktningarna är tydligt kopplade till topografin i området, vilket bland annat kan ses på att vindarna tenderar att röra sig längsmed den långsmala dalen där sjön är belägen. Vindens medelhastighet under sommarmånaderna juni – augusti har under den analyserade perioden varit 1,7 m/s. Den maximala observerade hastigheten under samma period var 10,7 m/s, men vanligtvis uppgår den maximala vindhastigheten under sommarmånaderna till 7–8 m/s.

Till den hydrodynamiska modellen har en representativ historisk månad valts ut som simuleringsperiod. Månaden juli 2017 valdes då denna karakteriseras av de typiska vindriktningarna för sommarmånaderna, vilka kan ses i vindrosen i Figur 29. Medelhastigheten under månaden var 1,8 m/s, och den maximala hastigheten som uppmättes var 7,4 m/s.



Figur 28. Vindros för månaderna juni, juli och augusti under åren 1995–2017.



Figur 29. Vindros för juli månad 2017.

4.2 Tillflöden till Övre Fryken

Ett flertal vattendrag mynnar ut i Övre Fryken, vilket påverkar strömningsmönstret i sjön framför allt lokalt. Information angående flödena i vattendrag har inhämtats från SMHI:s modell S-HYPE. Årsvariationen av flödena i vattendragen är stor, och för att få fram flöden för en representativ sommarperiod har därmed medelvattenföringen för månaderna juni, juli och augusti beräknats. De vattendrag som inkluderats i modellen visas i Figur 26 och presenteras i Tabell 17 tillsammans med de flöden som använts. För att förenkla modellen har flödena från vattendragen Badaälven och Lyseån slagits samman.

Tabell 17. Tillflöden till Övre Fryken. Medelvattenföringen för sommarmånaderna är beräknade från de stationskorrigerade värdena från SMHI:s modell S-HYPE.

Vattendrag	Beteckning	Medelflöde juni-augusti (m ³ /s)
Ljusnan	1	8
Röjdan	2	8
Badaälven + Lyseån	3	3
Stöpälven	4	1
Björka älv	5	2

5 Spridning av löst och partikulärt material

Den framtagna modellen är specifikt utvecklad för att simulera utsläpp av vattenlösliga näringsämnen (fiskurin och upplöst material från pellets) och partikulärt material (foderpellets)

och fiskfekalier). Utsläppen representeras i modellen av ett svagt tillflöde, innehållande löst och partikulärt material, fördelat på ett system av 15 fiskodlingskassar i Övre Fryken. Utsläppspunkten har placerats i mitten av fiskodlingskassarna på 3 meters djup.

Det vattenlösliga näringsämnet representeras i modellen av ett spårämne som är vattenlösligt och kemiskt inert. Detta innebär att modellen i beräkningarna inte tar hänsyn till biokemiska processer som kan påverka koncentrationen av det vattenlösliga ämnet. Då modellen är dynamisk varierar halterna av det vattenlösliga ämnet kontinuerligt efter rådande förhållanden. De halter som används i resultatanalyserna är medelhalter under hela den simulerade perioden, vilket motsvarar en typisk spädning under sommaren sett över en längre tid.

I utsläppspunkten släpps även en given massa partikulärt material. Det partikulära avfall som genereras i fiskodlingskassarna består av foderpellets som inte konsumerats av fisk och av fiskfekalier. Massflödet har beräknats utifrån en schablon på 30 % av fodermängden, vilket grundar sig på att foderspill i liknande områden uppgår till ca 3% (Bureau et al., 2003; Cromey et al., 2002; Reid et al., 2009) medan fiskfekalier uppgår till 15–27% av utfodringen (Cho & Bureau, 2001; Reid et al., 2009; Wong & Piedrahita, 2000). Då endast en typisk sommarmånad har simulerats har fodermängden i beräkningarna utgått från hur stor andel av den årliga fodermängden som förbrukas under dessa månader. Sedimentation av partikulärt material har modellerats med en konstant sjunkhastighet. Modellberäkningarna tar inte hänsyn till resuspension av sediment, d.v.s. att material som först sedimenterat sedan virvlar upp i suspenderad form igen. I sjöar orsakas resuspension främst av vågpåverkan (Borell Lövstedt, 2008). Då sedimentationen under fiskodlingskassarna sker på stort djup kommer vågor inte kunna påverka det sedimenterade materialet. Att inkludera resuspension i modellen bedöms därmed inte ha någon påverkan på resultaten.

6 Känslighetsanalys och kalibrering

När modellens tredimensionella struktur färdigstälts, och när meteorologiska indata analyserats har modellen anpassats till de specifika områdets förutsättningar. I föreliggande utredning saknas mätdata som beskriver hydrodynamiken i sjön, såsom information om strömningsmönster och hastigheter. Vindens påverkan på spridningen undersöktes med hjälp av en känslighetsanalys. Modellen kördes då med olika vindhastigheter för att se hur stor inverkan denna parameter har på resultaten, och det konstaterades att vinden är av stor betydelse för strömningen i sjön. Då ingen mätdata funnits att tillgå för hydrodynamiken, har modellen till största del kalibrerats efter teori kring hur strömning i sjöar fungerar (se delkapitel 1.5 i huvudrapporten) och erfarenhet från liknande områden.

Förutom hydrodynamiken så har det i föreliggande uppdrag också krävts en kalibrering av sedimentationen av partikulärt material från fiskodlingarna. Sjunkhastigheten i modellen är anpassad efter uppmätta värden från en provtagning gjord vid den befintliga fiskodlingen vid Stöpafor i Övre Fryken (Gustafsson, 2003). Även de sedimenterade partiklarnas densitet kalibrerades för att tjockleken på lagret av sedimenterat partikulärt material skulle stämma överens med verkligheten. Vid fältbesöket noterades att det sedimenterade materialet direkt under fiskodlingskassarna hade en mäktighet på ett flertal meter, men någon exakt mätning av tjockleken har inte gjorts. Dessa sediment har byggts upp under

tiden då fiskodlingsverksamhet har bedrivits på platsen, vilket har skett sedan 1990 (Vattenresurs, 2008). Vid kalibreringen antogs att ackumuleringen av fiskodlingsrelaterat sediment skulle motsvara cirka 20 cm/år direkt under kassarna. (motsvarar att ett sedimentlager på ca 5 m byggs upp under verksamhetsperioden).

7 Referenser

- Borell Lövstedt, C. (2008). *Hydrodynamics of very shallow lakes - A study in Lake Krankesjön*, Sweden. Lund University.
- Bureau, D., Gunther, S., & Cho, C. (2003). *Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario*. *North American Journal of Aquaculture*, 65(1), 33–38. Retrieved from [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1577/1548-8454\(2003\)065%3C0033:CCAPTE%3E2.0.CO;2](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1577/1548-8454(2003)065%3C0033:CCAPTE%3E2.0.CO;2)
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (2001). *A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture*. *Aquaculture Research*, 32, 349–360.
- Cromey, C., Nickell, T., & Black, K. (2002). *DEPOMOD—modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms*. *Aquaculture*, 214, 211–239. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484860200368X>
- Finnemore, J. E., & Franzini, J. B. (2001). *Fluid Mechanics with Engineering Applications* (10th ed.). McGraw-Hill Companies.
- Gustafsson, A. (2003). *Fosfor i regnbågslaxens foder och fekalier*. Naturvatten i Roslagen AB. Rapport 2003:19.
- Reid, G., Liutkus, M., Robinson, S., Chopin, TR, Lander, T., Mullen, J., Page, F., & Moccia, R. (2009). *A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture*. *Aquaculture Research*, 40(3), 257–273. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x>
- Vattenresurs (2008). *Miljökonsekvensbeskrivning för fiskodling i Stöpafors i sjön Övre Fryken i Sunne kommun*. Vattenresurs, Tjusta.
- Wong, K. B., & Piedrahita, R. H. (2000). *Settling velocity characterization of aquacultural solids*. *Aquacultural Engineering*, 21(4), 233–246.

Bilaga 2 – Fältundersökningar i Övre Fryken med anledning av tillståndsansökan för Stöpafors fiskodling - sonarundersökning av sjöbotten

Sonarundersökning av sjöbotten i Övre Fryken vid Stöpafors fiskodling genomfördes 2018-04-25. Mätinstrumenten Lowrance StructureScan 3D 455 kHz sonar och DeepVision DE340D 340 kHz sidescan sonar användes för att skanna sjöns botten både åt sidan och rakt neråt, och på så sätt ge en bild av sjöns undervattenterräng och bottenstruktur.

Sonar kommer från engelskans "sound navigation and ranging" och är en mätteknik som samlar information om förekomst och avstånd till objekt i omgivningen genom ljudets fortplantning. Aktiva sonarer skapar en ljudpuls och lyssnar efter pulsens reflektion (ett eko).

Lowrance StructureScan 3D 455 kHz sonar användes under fältundersökningarna i Övre Fryken framförallt för att få fram en bild av sjöns undervattenterräng (batymetri) och DeepVision DE340D 340 kHz sidescan sonar användes framför allt för att ge en bild av sjöns bottenstruktur, det vill säga materialsammansättningen i sedimenten under fiskodlingskassarna vid Stöpafors.

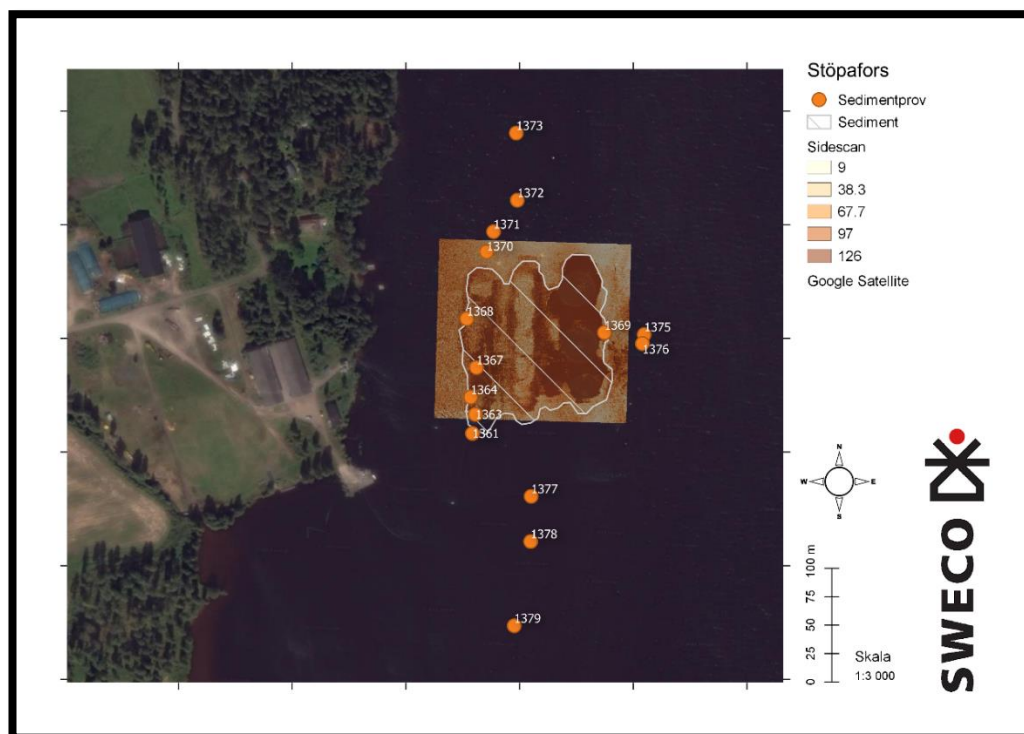
Nedan redovisas resultaten från fältundersökningarna kortfattat.

Resultat

Botten under Stöpafors fiskodling har en brant sluttning, men är förhållandevis slät. Där fiskodlingens kassar är placerade varierar djupet från ca 25 meter närmast stranden till ca 55 meter vid den djupaste punkten.

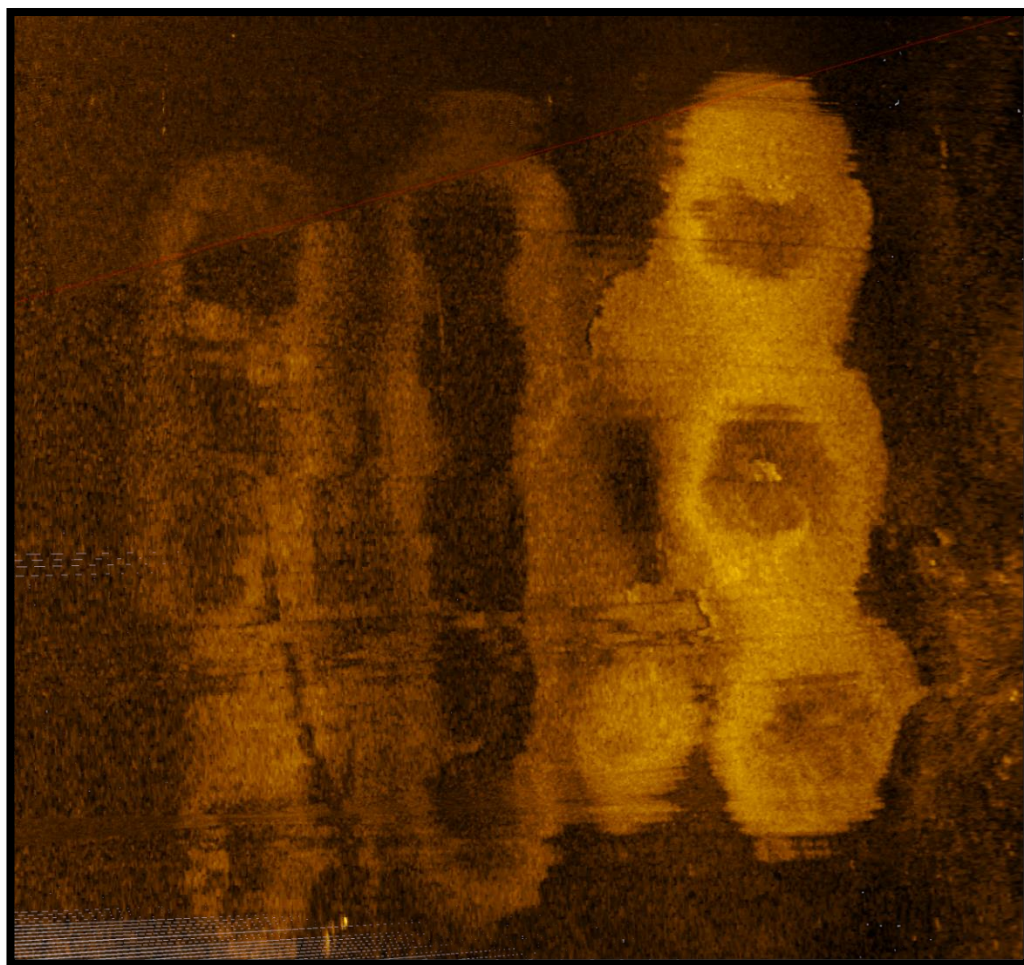
Sedimentens utbredning under fiskkassarna visas i Figur 30. Bottenens lutning har gjort att sedimentet förflyttar sig ut från stranden, med viss del sprickor där tjockare delar av sedimentet kalvat en bit i sjöbottens sluttning. Avståndet från fiskkassarnas nordligaste punkt till sedimentets nordligaste punkt är ca 16,5 meter. Avståndet från kassarnas sydligaste punkt till sedimentets sydligaste punkt är ca 4 meter. I västlig riktning sträcker sig sedimentet som mest ca 8 meter utanför kassarna och i östlig riktning som mest ca 5 meter utanför kassarna. Sedimenteringens totala utbredning (enligt sonar) är ca 138 meter i nord-sydlig riktning och ca 129 meter i öst-västlig riktning, med en total area om ca 15700 m². En närbild på sonarbilden över sedimenten under fiskkassarna visas i Figur 31, och Figur 32 visar en bild av sjöbottens lutning vid fiskkassarna.

Vid tolkning av sidescan-bilden är det viktigt att tänka på att det mörka området (Figur 30) är tjockt sediment som ger en tydlig påverkan på ekots amplitud, men det är inte alls otänkbart att sediment från fiskodlingen även återfinns i mindre utsträckning utanför det mörka området. Att amplituden förändras ska tolkas som att ett annat sedimentmaterial är dominerande, och att det påverkar ekot i högre grad. Eftersom gränsen mellan olika amplituder är så stark kan man tänka sig att tjockleken på sediment avtar mycket snabbt, men det behöver inte betyda att det helt saknas sediment utanför det uppenbart påverkade området.

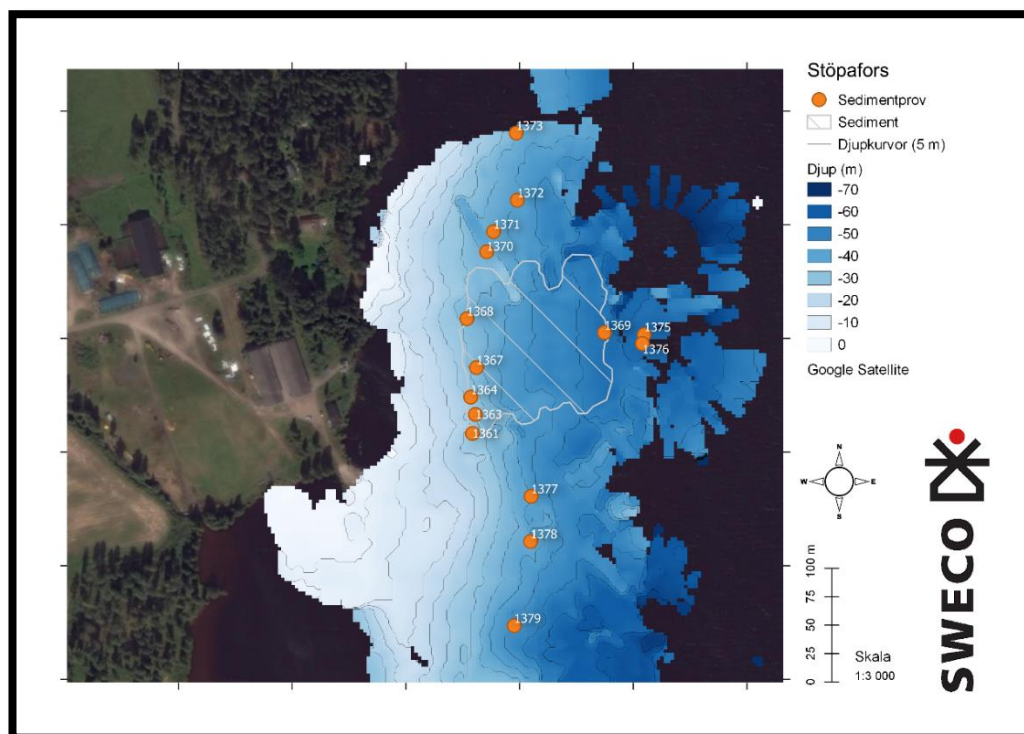


Figur 30. Sonarbild över botteneko (mörkare färg är starkare eko) under fiskodlingskassarna vid Stöpafors i Övre Fryken och markerad yta med tydlig påverkan enligt sonar (grårandig). Arealen av det påverkade området i markeringen är ca 15700 m². Vinkeln mot botten och vattnets absorption gör att sediment under innersta kassarna ser svagare ut, men bilden bör tolkas så att allt sediment har samma ekostyrka som det mörkaste området under yttersta kassarna. Mörka områden är sediment från fiskodling och ljusare områden är lera på sjöns botten.

Provpunkter för bottensediment i sjön visas också på kartan i fig. 30. Resultat från de analyser som utförts på sedimentet redovisas inte i denna rapport utan sammanställs i eget PM. Med anledning av att det inte finns bedömningsgrunder för fosforhalter i sediment har de inte inkluderats i denna påverkananalys.



Figur 31. Detaljbild av det påverkade området under fiskkassarna. De mörka cirklarna indikerar sediment med annan porositet och ljudhastighet i mitten av påverkansområdet. Ljusare områden kan även ha ett visst innehåll av gasbubblor från bakteriell nedbrytning, som inte har hunnit bildas vid påverkans center pga högre sedimentationshastighet. Störningar i form av linjer i bilden beror på vågor i vattenytan som påverkar sonarns rörelse. Mellan högra sedimentraden och mittersta sedimentraden syns två områden med sprickbildning, vilket indikerar kalvning av bottensedimentet p.g.a. bottens lutning.



Figur 32. Bottnens lutning vid fiskodlingen utanför Stöpafors i Övre Fryken. Lutningen är störst närmast stranden och något planare på djupare vatten. Djupkurvor redovisas var 5e meter, och färgskalan ändrar färg var 10e meter. Sedimentprovpunkter i området visas också.

Sonarscanning kunde endast göras parallellt med strandlinjen, eftersom fiskkassarnas infästning med rep hindrade framfart med båt och släpinstrument, vilket var en försvårande faktor vid fältundersökningarna. Sedimentens position är i allmänhet längre norrut och österut än fiskkassarna från satellitbild, vilket till viss del kan förklaras av att kassarnas position inte är konstant över tiden. Andra möjliga förklaringar till att sedimentet inte ligger rakt under fiskkassarna är att viss avdrift kan ske på grund av vattenströmmar, och att fel kan uppkomma när konvertering sker mellan projektion i GPS och karta.