



Blue Planet
Postboks 8034,
4068 Stavanger
goran.varmbo@blueplanet.no

Bergen den 6. oktober 2020

NOTAT

Brødrene Nordbø AS. Modellering, spredning og fortykning av planlagt utslipp fra planlagt landbasert RAS anlegg på Fiskå i Strand kommune.

Av: Bjarte Tveranger

Rådgivende Biologer AS mottok 3. september 2020 en henvendelse fra Blue Planet ved Gøran Varmbo med spørsmål om å utføre en modellering av et utslipp på Fiskå i forbindelse med planlagt etablering av et landbasert RAS anlegg for produksjon av laksefisk.

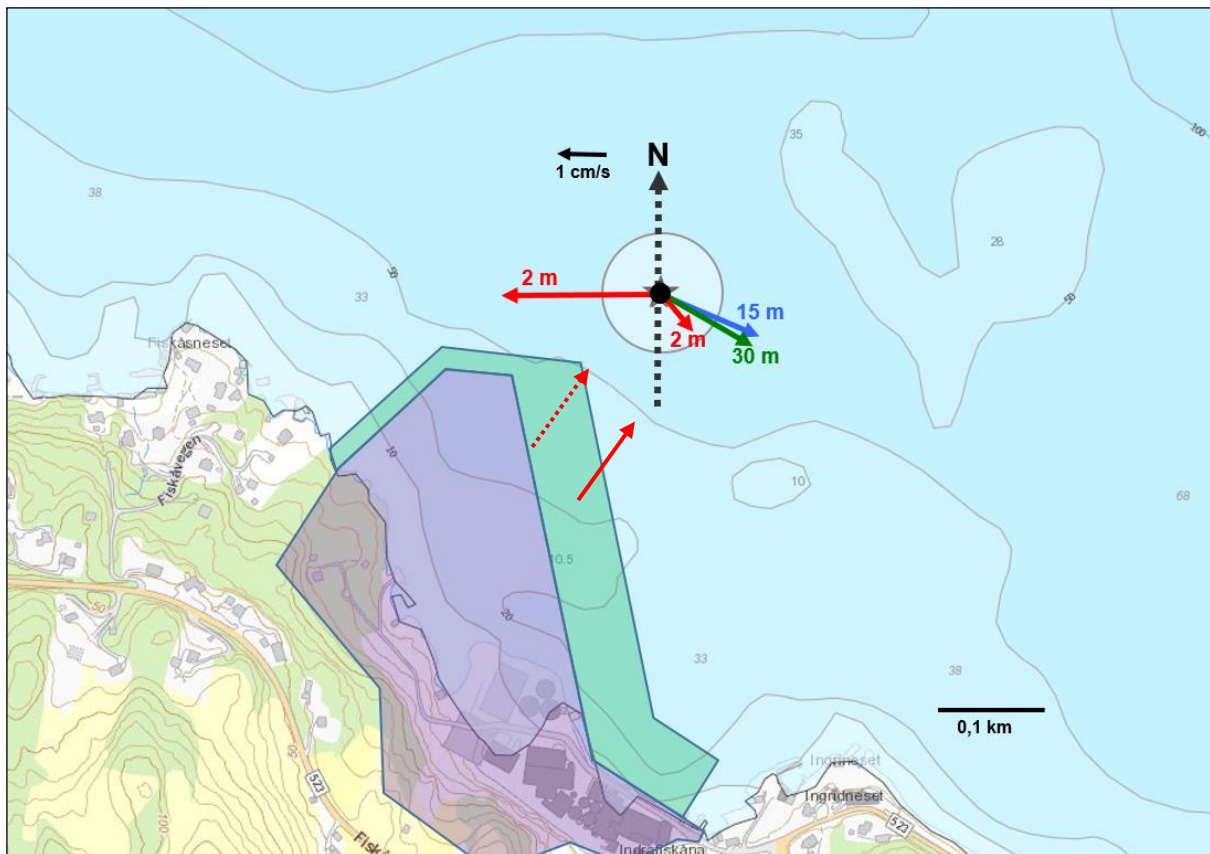
I forbindelse med modelleringen er det tidligere utført strømmålinger utenfor planlagt utslippssted (Brekke 2016), og inputdata fra utførte strømmålinger og hydrografiprofil er benyttet i spredningsberegningene.

Avløpet er planlagt renset, og det rensete avløpsvannet skal føres ut på 30 m dyp utenfor Fiskå i Ytre Årdalsfjorden. Utslippene vil etter rensing i RAS-anlegget hovedsakelig bestå av finpartikulært materiale og oppløste næringssalt.

RESULTAT AV STRØMMÅLINGER OG MODELLERING AV UTSLIPP

Det ble målt strøm utenfor planlagt utslippspunkt i perioden 15. desember 2015 – 21. januar 2016 med rotormålere (Sensordata SD 6000) plassert i en strømrigg som stod plassert på ca 65 m dyp. Det ble målt overflatestrøm (2 m dyp), spredningsstrøm (15 m dyp), og «bunnstrøm» (30 m dyp). Middelstrømhastighet ble målt til 4,3 cm/s på 2 m dyp og 2,2 cm/s på henholdsvis 15 og 30 m dyp. Dette tilsier middels sterk gjennomsnittstrøm på de ulike dyp. Strømretningen var noe variabel på de ulike dyp.

Strømmen gikk hovedsakelig innover fjorden i dypere vannlag, men mer utover fjorden i øvre vannlag, noe som medfører at organisk materiale over tid vil bli spredt litt til begge sider rundt avløpet (jf. **figur 1**). Bunnstrømmen vil med ujevne mellomrom være så sterk at en kan få resuspensjon på lokaliteten, noe som er gunstig med tanke på rehabilitering og omsetning av organisk materiale ved avløpet og i området rundt (Brekke 2016).



Figur 1. Skisse over hovedstrømretning og strømstyrke på de ulike måledyp utenfor planlagt avløp til et landbasert oppdrettsanlegg ved Fiskå i perioden 15. desember 2015 – 21. januar 2016. Total lengde av pilene på hvert dyp representerer middel strømshastighet på dette dypet. Forslag til avløpsplassering er også vist. Hel linje er hovedalternativ, mens stiplet linje viser alternativ plassering (fra Brekke 2016).

BEREGNING AV INNLAGRINGSDYP

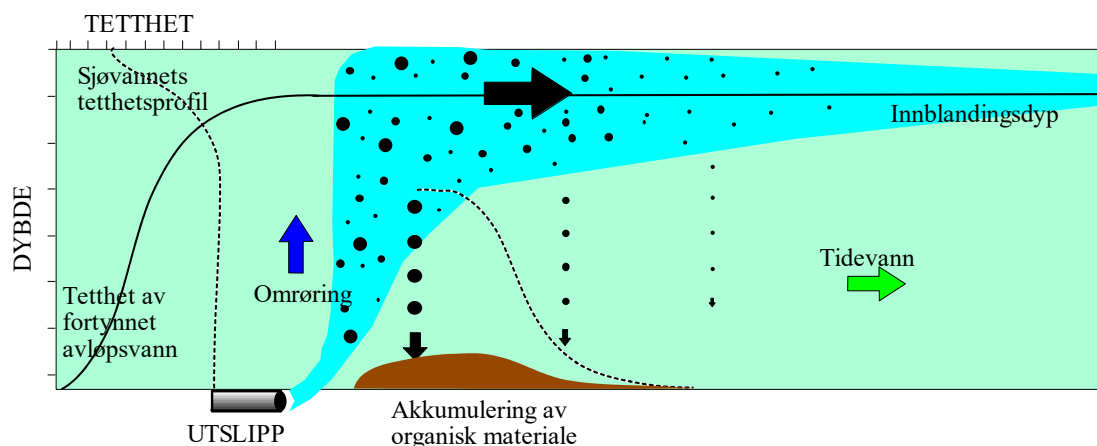
Avløpsvannet har i praksis samme egenvekt som ferskvann og er dermed lettere enn sjøvann. Når avløpsvannet slippes ut gjennom en ledning på dypt vann, vil det derfor begynne å stige opp mot overflaten samtidig som det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Hvis sjøvannet har en stabil sjikning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av avløpsvann og sjøvann øker samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avtar på vei oppover, og i et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring. Da har ikke lenger blandingsvannmassen noen «positiv oppdrift», men har fortsatt vertikal bevegelsesenergi og vil vanligvis stige noe forbi dette «likevektsdypet» for så å synke tilbake og innlagres (**figur 2**). Dersom slike tilførsler når overflatevannet, vil effektene kunne måles ved vannprøvetaking ved utslippet.

For beregning av innlagingsdypet og spredning med fortykning etter innlagring, bruker vi den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al. 2001). Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannmengde, utslippsdyp, diameter for utslippsrøret, vertikalprofiler for temperatur og saltholdighet - samt strømshastigheten i resipienten. Vi bruker vanligvis en typisk «vinterprofil» og en typisk «sommerprofil», men en bør være oppmerksom på at det sannsynligvis utelater store variasjoner innenfor hver periode.

Ved stor diameter i avløpsledningen og liten vannmengde er det sannsynlig at avløpsvannet ikke alltid fyller opp rørledningen. Utstrømningen blir da konsentrert i øvre del av tverrsnittet, og det blir sjøvannsinntrengning i tverrsnittets nedre del. Det blir en viss medrivning og blanding mellom avløpsvann og



sjøvann i det siste stykket av ledningen, og den strålen som forlater ledningen vil derfor bestå av avløpsvann og en mindre andel sjøvann.



Figur 2. Prinsippkisse for et kloakkutslipp i sjø, med gjennomslag til overflaten og kun lokal sedimentering av organiske tilførsler i resipientens umiddelbare nærhet til utslippspunktet.

Dersom det ikke er noen vesentlig medrivning av sjøvann inne i røret, kan vannet i nedre del av tverrsnittet dynamisk sett betraktes som stillestående. Tverrsnittsarealet for utstrømming er da gitt av at det såkalte densimetriske Froude-tallet (F) har verdien 1. F er definert som:

$$F = \frac{U}{\sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho} H}}$$

Der: U = strømhastighet, g = gravitasjonskonstanten (9.81 m/s^2), $\Delta \rho / \rho$ = relativ tetthetsforskjell mellom ferskvann og omgivende sjøvann, og H = tykkelse av utstrømmende lag. Betingelsen $F = 1$ uttrykker at det er balanse mellom kinetisk energi og potensiell energi knyttet til trykket. Hvis $F \geq 1$ vil utstrømmingen fylle hele røret. Når $F < 1$ vil ikke det utstrømmende avløpsvannet kunne fylle hele røret og det blir sjøvannsinntrengning.

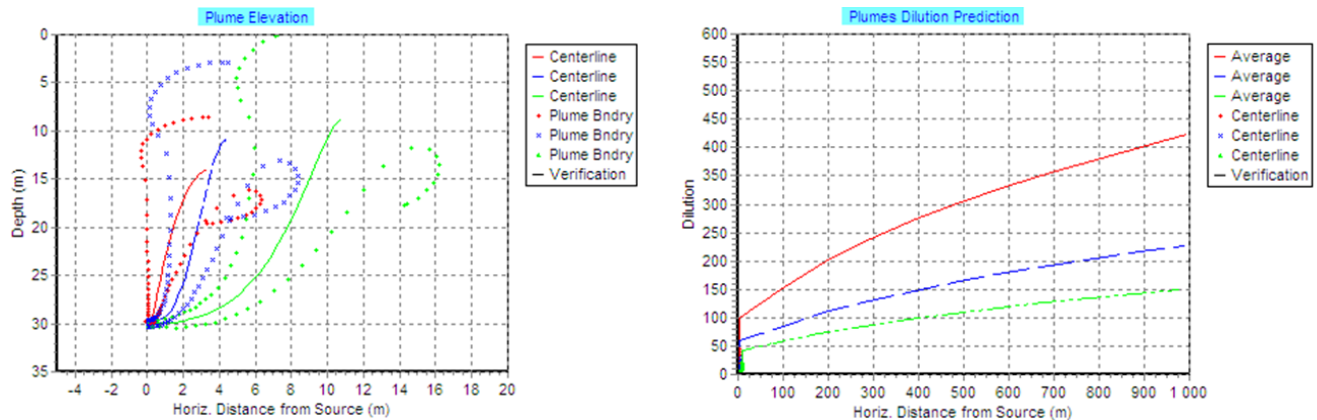
Innlagringsdyp og fortykning av det planlagte avløpet fra anlegget er beregnet ut fra middel strømhastighet i måleperioden, og temperatur og saltinnhold i vannsøylen ved avløpet 15. desember 2015. Det er modellert for en hovedsituasjon med 15 ‰ brakkvann i ledningen der utslippets tetthet er 1013 kg/m^3 , og en hovedsituasjon med 2 ‰ «ferskvann» i ledningen der utslippets tetthet er 1002 kg/m^3 . For hver av disse to hovedsituasjonene er det modellert med tre ulike vannmengder i avløpet, dvs 21 l/s (minimum), 81 l/s (middel) og 277 l/s (maksimum). Temperaturen i avløpsvatnet er lik $10 \text{ }^\circ\text{C}$ for minimum, middel og maks vannføring.

Avløpsvannet skal ledes ut via en rundt 100 m lang PEH avløpsledning utenfor Fiskå, og det er modellert for et utslippsdyp på 30 meter. Selve plasseringen vil bli bestemt etter en nærmere vurdering (jf. **figur 1**). Avløpet er planlagt med en ytre diameter på 630 mm og en indre diameter på 554 mm. Beregning av innlagringsdyp for et utslippsdyp på 30 m i en tidlig vintersituasjon er vist i **tabell 1** og **2** og **figur 3** og **4**.



Tabell 1. Beregnet innlagringsdyp for en tidlig vintersituasjon ved middel strømhastighet, 15 ‰ brakkvann i ledningen og minimum, middel og maksimal vannføring for et utslipp på 30 m dyp utenfor Fiskå.

Ved minimum vannføring, 21 l/s				Ved middel vannføring, 81 l/s				Ved maksimal vannføring, 277 l/s			
Topp av sky (m)	Inn-lagrings-dyp (m)	For-tykning ved inn-lagring	For-tykning 1000m	Topp av sky (m)	Inn-lagrings-dyp (m)	For-tykning ved inn-lagring	For-tykning 1000m	Topp av sky (m)	Inn-lagrings-dyp (m)	For-tykning ved inn-lagring	For-tykning 1000m
8	14	99x	423x	3	11	60x	228x	overfl.	9	42x	150x



Figur 3. Innlagringsdyp og fortykning av utslipp på 30 m dyp utenfor Fiskå i Strand kommune med 15 ‰ brakkvann i ledningen og en maksimal vannmengde på 277 l/s (grønn linje), middel vannmengde på 81 l/s (blå linje) og en minimum vannmengde på 21 l/s (rød linje) for en typisk tidlig vintersituasjon. Figuren viser "strålebanene" for de tre vannmengdene ved midlere strømhastighet.

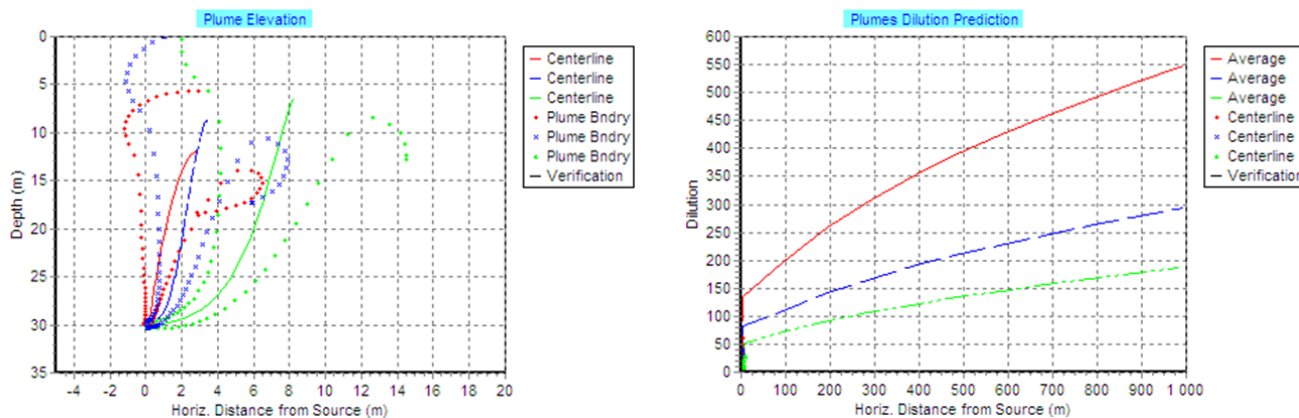
Spredningsberegninger i en tidlig vintersituasjon ved middel strømhastighet og med 15 ‰ brakkvann i ledningen viser at med utslipp av maksimal vannmengde (277 l/s) vil avløpsvannet (plumen) bli innlagret på 9 m dyp, mens toppen av "skyen" med avløpsvann vil ha gjennomslag til overflaten. Avløpsvannet vil være fortynnet 42 ganger ved innlagringsdypet på 9 m dyp (plumens senter), og en km fra utslippet vil avløpsvannet være fortynnet 150 ganger (**tabell 1** og **figur 3**). Med utslipp av middel vannmengde (81 l/s) vil avløpsvannet (plumen) bli innlagret på 11 m dyp, mens toppen av "skyen" vil nå opp til 3 m før innlagring. Avløpsvannet vil være fortynnet 60 ganger ved innlagringsdypet på 11 m dyp (plumens senter), og en km fra utslippet vil avløpsvannet være fortynnet 228 ganger. Med utslipp av minimum vannmengde (21 l/s) vil avløpsvannet (plumen) bli innlagret på 14 m dyp, mens toppen av "skyen" vil nå opp til 8 m før innlagring. Avløpsvannet vil være fortynnet 99 ganger ved innlagringsdypet på 14 m dyp (plumens senter), og en km fra utslippet vil avløpsvannet være fortynnet 423 ganger.

Spredningsberegninger i en tidlig vintersituasjon ved middel strømhastighet og med 2 ‰ «ferskvann» i ledningen viser at med utslipp av maksimal vannmengde (277 l/s) vil avløpsvannet (plumen) bli innlagret på 6 m dyp, mens toppen av "skyen" med avløpsvann vil ha gjennomslag til overflaten. Avløpsvannet vil være fortynnet 53 ganger ved innlagringsdypet på 6 m dyp (plumens senter), og en km fra utslippet vil avløpsvannet være fortynnet 186 ganger (**tabell 2** og **figur 4**). Med utslipp av middel vannmengde (81 l/s) vil avløpsvannet (plumen) bli innlagret på 9 m dyp, mens toppen av "skyen" med avløpsvann vil ha gjennomslag til overflaten. Avløpsvannet vil være fortynnet 81 ganger ved innlagringsdypet på 9 m dyp (plumens senter), og en km fra utslippet vil avløpsvannet være fortynnet 293 ganger. Med utslipp av minimum vannmengde (21 l/s) vil avløpsvannet (plumen) bli innlagret på 12 m dyp, mens toppen av "skyen" vil nå opp til 5,5 m før innlagring. Avløpsvannet vil være fortynnet 134 ganger ved innlagringsdypet på 12 m dyp (plumens senter), og en km fra utslippet vil avløpsvannet være fortynnet 547 ganger.



Tabell 2. Beregnet innlagringsdyp for en tidlig vintersituasjon ved middel strømhastighet, 2 ‰ «ferskvann» i ledningen og minimum, middel og maksimal vannføring for et utslipp på 30 m dyp utenfor Fiskå.

Ved minimum vannføring, 21 l/s				Ved middel vannføring, 81 l/s				Ved maksimal vannføring, 277 l/s			
Topp av sky (m)	Inn-lagringsdyp (m)	For-tynning ved inn-lagring	For-tynning 1000m	Topp av sky (m)	Inn-lagringsdyp (m)	For-tynning ved inn-lagring	For-tynning 1000m	Topp av sky (m)	Inn-lagringsdyp (m)	For-tynning ved inn-lagring	For-tynning 1000m
5,5	12	134x	547x	overfl.	9	81x	293x	overfl.	6	53x	186x



Figur 4. Innlagringsdyp og fortykning av utslipp på 30 m dyp utenfor Fiskå i Strand kommune med 2 ‰ «ferskvann» i ledningen og en maksimal vannmengde på 277 l/s (grønn linje), middel vannmengde på 81 l/s (blå linje) og en minimum vannmengde på 21 l/s (rød linje) for en typisk tidlig vintersituasjon. Figuren viser "strålebanene" for de tre vannmengdene ved midlere strømhastighet.

Modelleringene viser at avløpsvannet vil være en god del fortennet allerede når det blir innlagret på sitt innlagringsdyp. Og i de tilfellene når plumen har gjennomslag til overflaten, vil toppen av skyen (plumens ytterkant) som når overflaten være ytterligere fortennet i forhold til plumens senter. Eventuelle svevepartiklar som følger med i strålebanen oppover i vannsøylen vil drive bort med vannstrømmen og blir spredt fra avløpet sitt nærområde og videre utover fra Fiskå til ytre Årdalsfjorden.

Vennlig helsing

Bjarte Tveranger
Cand. real.
Fagansvarlig oppdrett



REFERANSER:

Brekke, E. 2016. Straummåling ved planlagt avløp utanfor nytt settefiskanlegg ved Fiskå i Strand kommune. Rådgivende Biologer AS, rapport 2224, 34 sider.

FRICK, W.E., ROBERTS, P.J.W., DAVIS, L.R., KEYES, J, BAUMGARTNER, D.J. AND GEORGE, K.P., 2001.

Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes).

Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia.

Langfeldt, J. 2020a. Modellering av utslipp Fiskå, notat 19 sider.