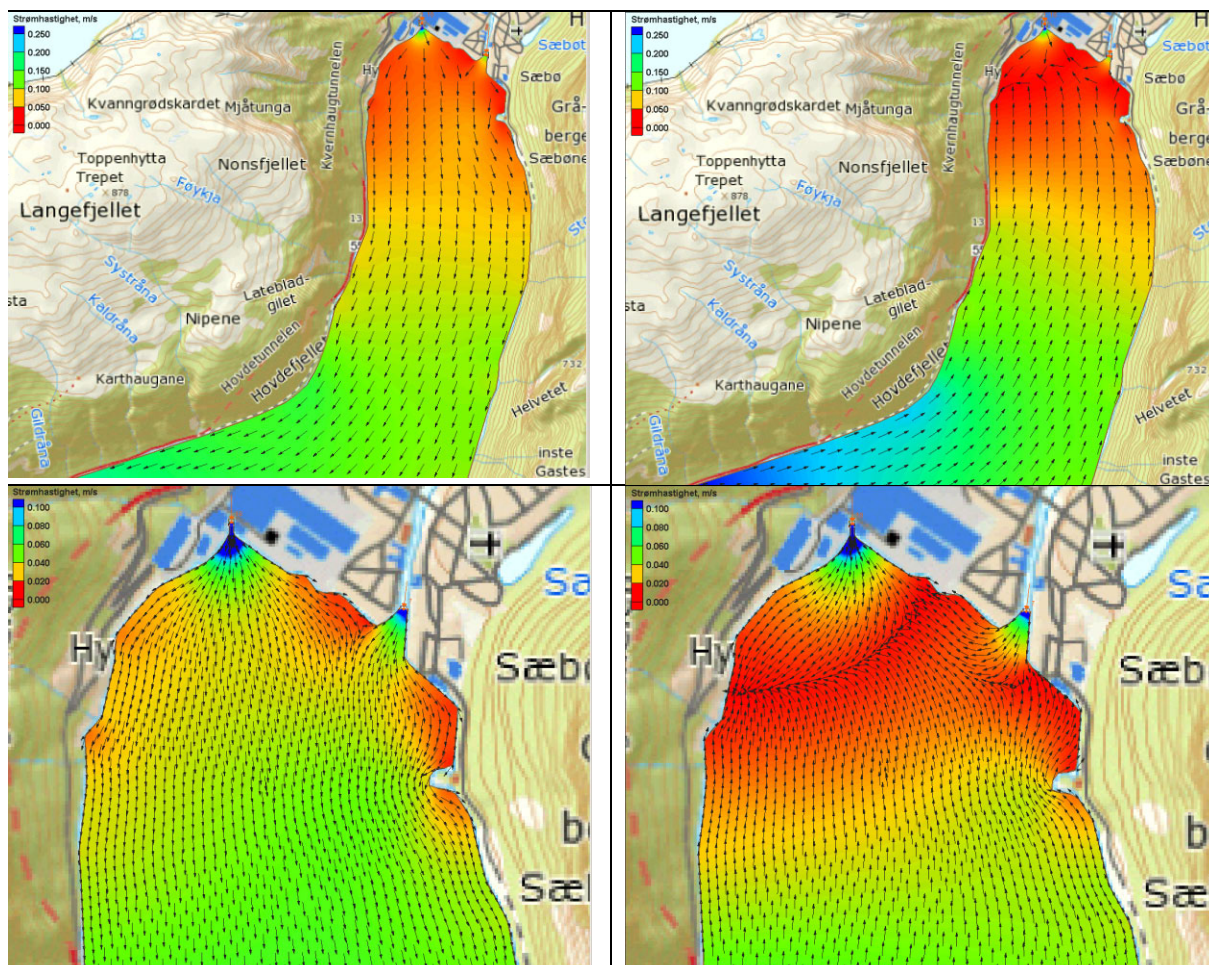


Hydrofysiske forhold i Høyangsfjordens overflatelag



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Hydrofysiske forhold i Høyangsfjordens overflatelag	Løpenr. (for bestilling) 6431-2012	Dato 1/11-2012
	Prosjektnr. 10199	Sider 21
Forfatter(e) Jarle Molvær og Kristoffer Næs	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hydro Aluminium a.s. Høyanger og ERAS Metall a.s.	Oppdragsreferanse Einar Rysjedal/Gry Haukereid
---	---

Sammendrag

Ferskvannstilførselen fra Dalaelva og fra kraftverket i Høyanger danner et overflatelag som raskt strømmer ut i fjorden. Laget har en typisk tykkelse på 2- 4 m og saltholdighet 15-30 psu. Modellsystemet SMS er brukt for å simulere sirkulasjonen i overflatelaget ved tre kombinasjoner av ferskvannstilførsel. Resultatene viste at vann fra kraftstasjon og havneområdet fordeler seg i alt vesentlig på fjordens vestre og midtre deler. Vann fra Dalaelva fordeler seg over hele fjorden, men særlig på fjordens midtre og østre del. Gjennomsnittlig oppholdstid for overflatelaget er beregnet til 1 døgn, men vil variere og kan sannsynligvis komme opp mot 3-4 døgn. Vannutskiftningen i sjøvannslaget er god, med ca. 1 uke som gjennomsnittlig oppholdstid for vannmassen ned til 160 m og sannsynligvis 2-4 uker for vannmassen videre ned til ca. 400 m dyp.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Høyangsfjorden 2. Vannmasser 3. Vannutskiftning 4. Strømforhold 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Høyangsfjord 2. Water masses 3. Water exchange 4. Currents
--	---



Kristoffer Næs
Prosjektleder



Morten Schaanning
Forskningsleder
ISBN 978-82-577-6166-0



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

Hydrofysiske forhold i Høyangsfjordens overflatelag

Forord

Den foreliggende beskrivelsen av topografi, vannmasser og strømforhold i Høyangsfjordens indre del er utarbeidet for Hydro Aluminium a.s. Høyanger og ERAS Metall a.s. Kontaktpersoner har vært henholdsvis Einar Rysjedal og Gry Helene Haukereid.

Statkraft Region Midt-Norge v/ Vidar Fossøy takkes for å ha utarbeidet tall for tilførsler av ferskvann til Høyangsfjorden.

Bakgrunnen for utredningen er ønske fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) om at denne type informasjon ble gitt i forbindelse med miljøovervåkingen av Høyangsfjorden som NIVA gjennomfører.

Oslo, 1. november 2012

Kristoffer Næs

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål	6
2. Topografi og ferskvannstilførsel	7
2.1 Topografi	7
2.2 Ferskvannstilførsel	8
3. Beskrivelse av vannmasser	10
4. Strømforhold og vannutskiftning	12
4.1 Overflatelaget	12
4.1.1 Generell beskrivelse	12
4.1.2 Metodikk og data	12
4.1.3 Resultater	15
4.2 Mellomlag og bunnvann	19
5. Oppsummering og konklusjoner	20
6. Litteratur	21

Sammendrag

Foreliggende rapport er utarbeidet for Hydro Aluminium a.s. Høyanger og ERAS Metall a.s. for å gi en beskrivelse av vannmasser og strømforhold i den indre delen av Høyangsfjorden.

Vannmassen i Høyangsfjorden kan inndeles i tre lag. Tilførselen av ferskvann fører til at det dannes et Overflatelag (brakkvannslag) som i havneområdet er typisk 2-4 m tykt med saltholdighet varierende i intervallet 15-30 psu¹. Under flom kan saltholdigheten trolig være langt under 10 psu og overflatelaget 8-10 m tykt.

Modellsystemet SMS ("Surface Water Modelling System") er brukt for å simulere sirkulasjonen i overflatelaget ved tre kombinasjoner av ferskvannstilførsel fra kraftstasjon og fra Dalaelva. Det finnes ikke data som gir mulighet for å kalibrere modellen. Man må derfor legge størst vekt på beskrivelsen av strømmens retning, bakevjer og fordeling av områder med svak/sterk strøm, og mindre vekt på den absolutte hastigheten.

Beregningene viser to hovedtrekk:

1. Vann fra kraftstasjon og havneområdet fordeler seg i alt vesentlig på fjordens vestre og midtre deler
2. Vann fra Dalaelva fordeler seg over hele fjorden, men særlig på fjordens midtre og østre deler.

Oppholdstiden overflatelaget vil i stor grad variere med ferskvannstilførselen, og 1 døgn er beregnet som et gjennomsnitt for hele fjorden. Omkring denne verdien vil der være variasjoner både i tid og i rom og oppholdstiden kan trolig komme opp til 3-4 døgn.

Under overflatelaget ligger sjøvannslaget der vannutskiftningen i stor grad bestemmes av varierende hydrografiske forhold i selve Sognefjorden. Siden Sognefjordens terskel på ca. 160 m dyp er viktig for vannutskiftningen i sjøvannslaget, kan det for Høyangsfjorden være hensiktsmessig å skjelve mellom et mellomlag ned til ca. 160 m dyp og dypvann videre ned til ca. 400 m dyp.

Mellomlaget har god vannutskiftning med en gjennomsnittlig oppholdstid på ca. 1 uke. Bunnvannets oppholdstid er vanskelig å bedømme, men 2-4 uker kan være en typisk størrelse.

¹ psu: practical salinity unit. Erstatte den tidligere brukte enheten «promille» (‰)

1. Bakgrunn og formål

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) har gitt pålegg til Hydro Aluminium Høyanger og ERAS om å gjennomføre et overvåkingsprogram for fjorden. Bedriftene har samarbeidet om dette og NIVA gjennomfører undersøkelsene med følgende formål:

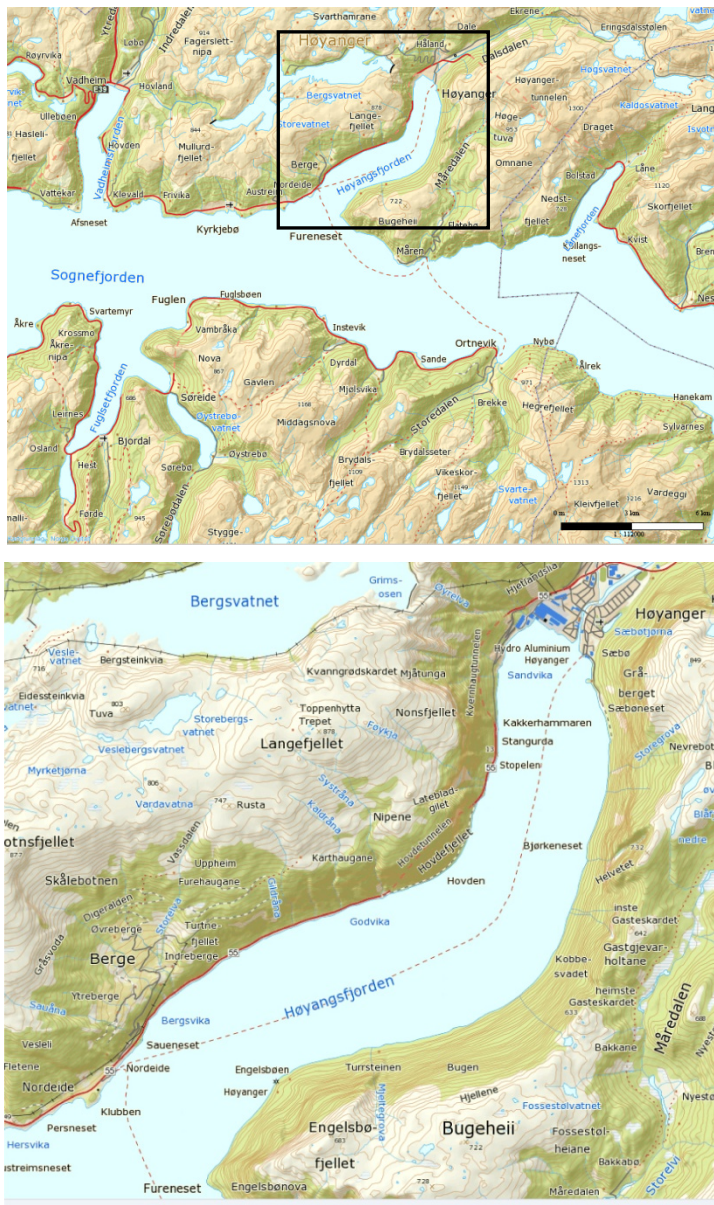
- Gi informasjon om den nåværende miljøsituasjonen i Høyangsfjorden
- Gi grunnlag for å påvise endringer i miljøstatus i Høyangsfjorden over tid
- Søke å avklare grunnene til metallforurensningen i Høyangsfjorden
- Gi grunnlagsdata for myndighetene til å revurdere kostholdsrådet knyttet til metaller i blåskjell i Høyangsfjorden

Videre ønsket Klif at strømningsmønsteret i Høyangsfjordens overflatelag skulle belyses, og dette er temaet for den foreliggende rapporten.

2. Topografi og ferskvannstilførsel

2.1 Topografi

Høyangsfjorden er ca. 6,5 km lang fra Høyanger havn og til Fureneset (Figur 1). Fjordens bredde er 1,2-1,5 km og overflatearealet er ca. 10,5 km². Utenfor kaiområdene øker dypet til ca. 50 m ved en avstand på 100-120 meter fra kaiene (Figur 2). Videre sørover øker bunndypet relativt raskt og er stort sett jevnt fallende utover mot fjordmunningen der dypet er mer enn 400 m. Fjorden har ingen terskel, men Sognefjorden har en terskel på 160 m som kan påvirke dypvannet også i Høyangsfjorden.



Figur 1. Øvre figur: oversiktskart der Høyangsfjorden er markert med firkant. Nedre figur: Høyangsfjorden.

2.2 Ferskvannstilførsel

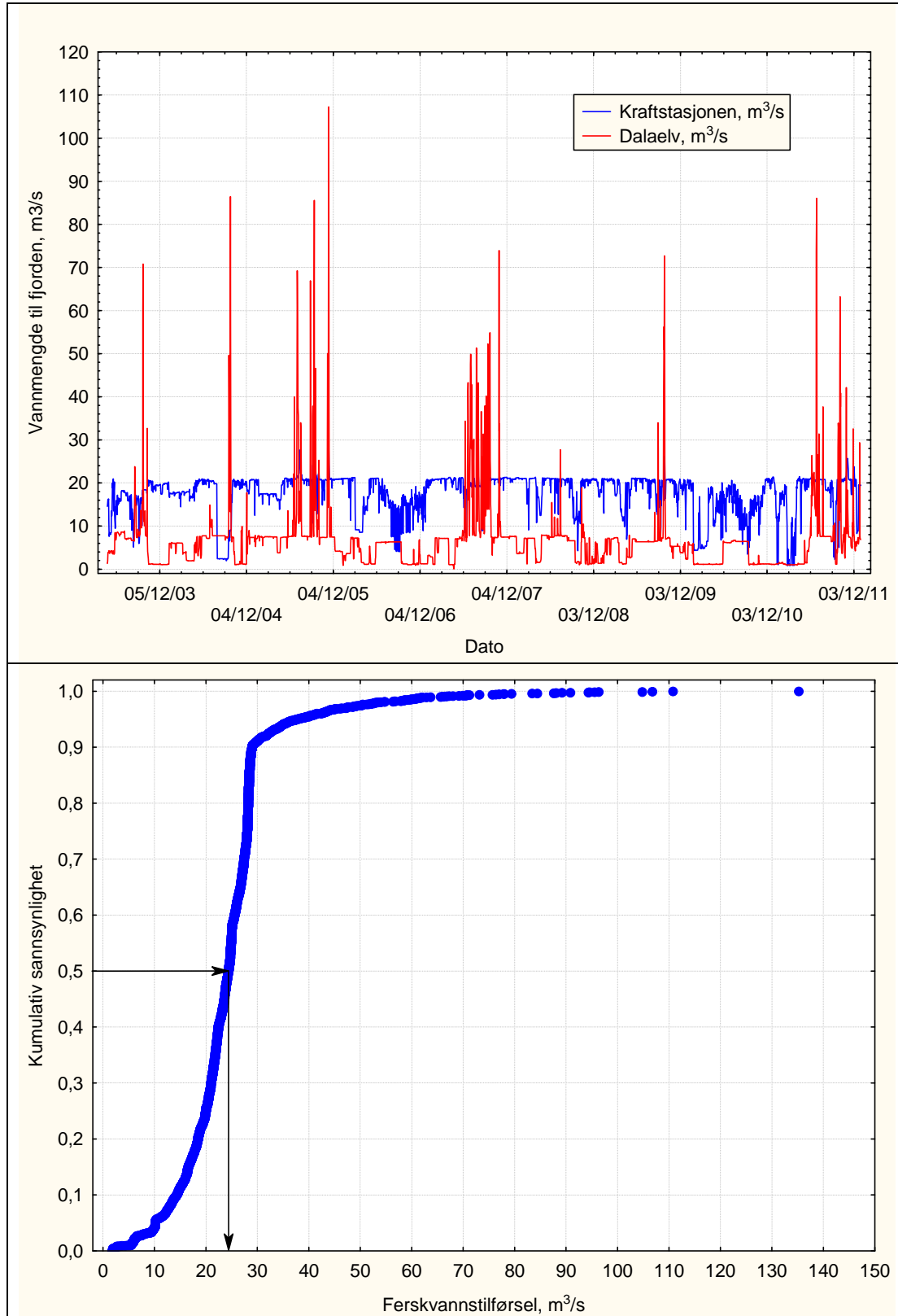
Ferskvannstilførselen domineres av Dalaelva og utslippet fra kraftverket (Figur 2) og Statkraft Region Midt-Norge har beregnet tilførselen. Tabell 1 sammenfatter data for tidsrommet 2003-2011 og de er vist i detalj i Figur 3. Utslipet fra kraftverket var jevnt over 3 ganger større enn tilførselen fra elva, men i korte flomperioder kan elva helt dominere. I ca. 80% av tiden var den samlede ferskvannstilførselen mindre enn 28 m³/s.

Tabell 1. Statistisk oppsummering av beregnet ferskvannstilførsel (m³/s) til Høyangsfjordens havneområde i tidsrommet 2003-2011.

Utslipp fra	Gjennomsnitt	Median	Minimum	Maksimum	Persentil 10	Persentil 90
Kraftstasjon	17,6	19,4	0,82	28,0	10,5	21,0
Dalaelva	6,8	6,4	0,05	107,7	1,1	9,2



Figur 2. Havneområdet med hovedtilførsler av ferskvann.



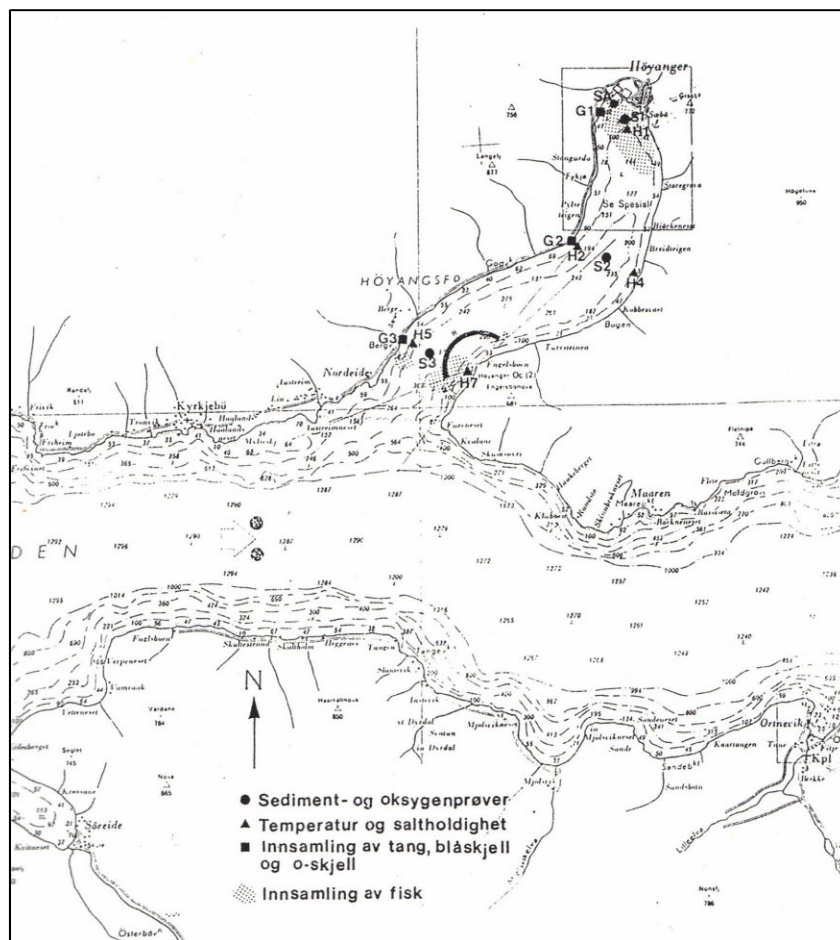
Figur 3. Vannmengder fra Dalaelva og kraftverket til Høyangsfjordens havneområde i tidsrommet 2003-2011. Øverst: Tilførsel som funksjon av tid. Nederst: Kumulativ fordeling for samlet tilførsel. Medianen (merket med pil) var 24,4 m³/s og maksimal tilførsel var ca. 135 m³/s.

3. Beskrivelse av vannmasser

Ved en tidligere undersøkelse i 1987-88 (Olsgard og Jensen, 1989) ble det målt vertikale profiler av temperatur og saltholdighet på 7 stasjoner (**Figur 4**). For den innerste stasjonen (H1) er resultatene i 0-50 m dyp vist i Figur 5. Det er hensiktsmessig å skjelne mellom et overflatelag (brakkvannslag) og et underliggende sjøvannslag.

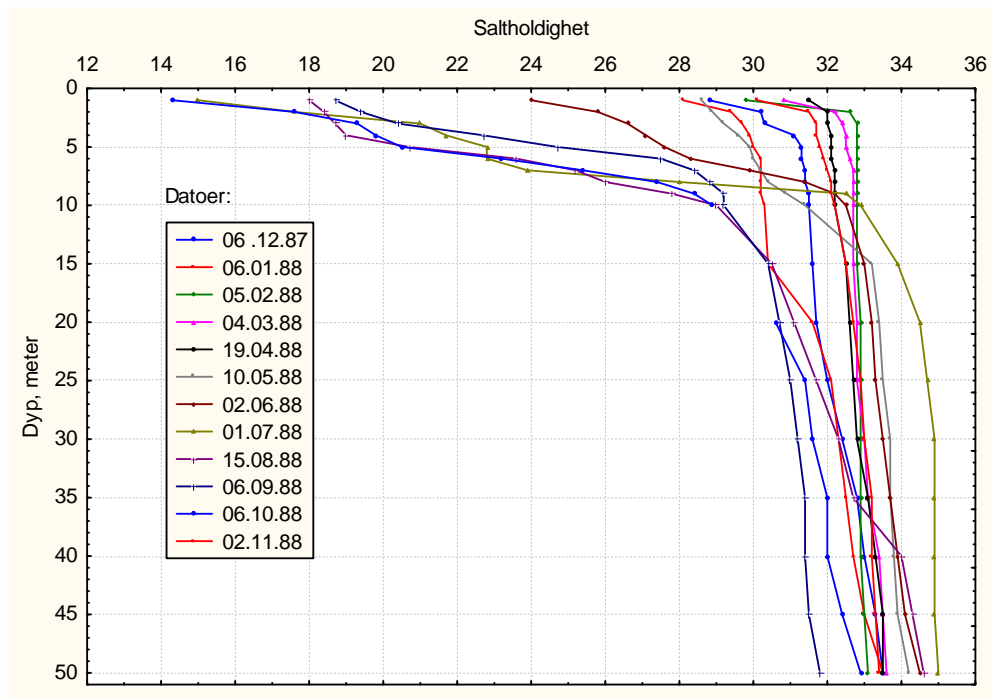
I havneområdet var overflatelaget typisk 2-4 m tykt med saltholdighet varierende i intervallet 15-30 psu. Under flom kan saltholdigheten trolig være langt under 10 psu² og overflatelaget 8-10 m tykt.

Variasjonen i saltholdighet og sjiktning er store i sjøvannslaget ned til 50 m dyp. Imidlertid, til forskjell fra overflatelaget skyldes variasjonene i sjøvannslaget en varierende vannutveksling mellom Høyangsfjordens vannmasser og vannmassene i Sognefjorden, dvs. at forholdene i dette vannlaget i stor grad bestemmes av tilstanden i selve Sognefjorden (**Figur 6**). Siden Sognefjordens terskel på ca. 160 m dyp er viktig for vannutskiftningen i sjøvannslaget kan det derfor være hensiktsmessig å skjelne mellom et mellomlag ned til ca. 160 m dyp og bunnvann under dette.

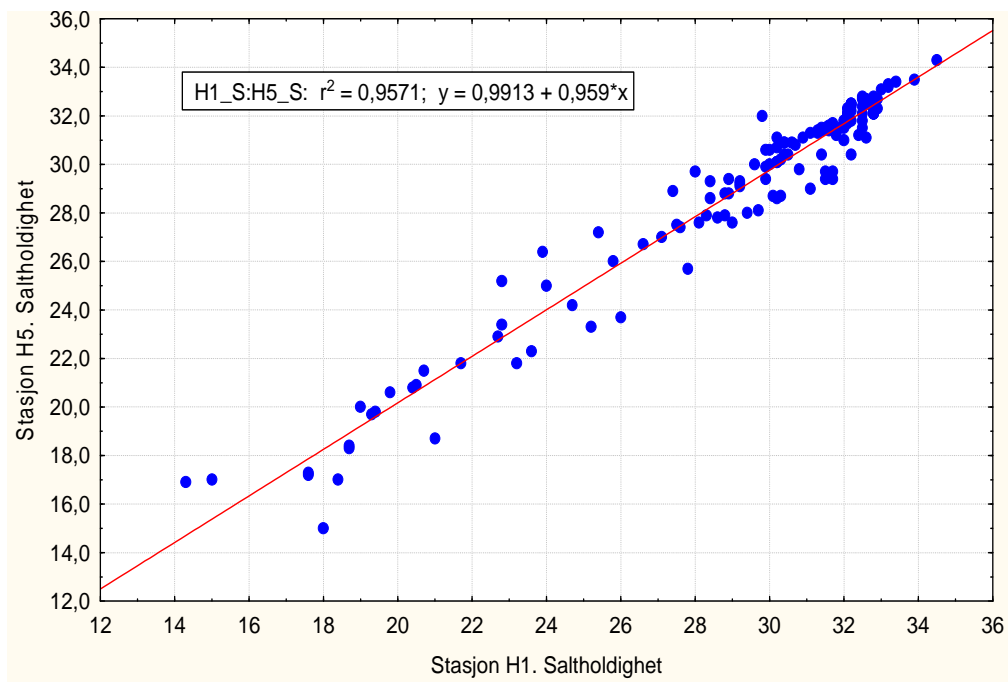


Figur 4. Prøvetakingsstasjoner ved undersøkelsen i 1987-88 (kopi fra Olsgard og Jensen, 1989)

² I 1987-88 ble det ikke gjort målinger i selve overflaten, hvor saltholdigheten kan være lavere enn i 1 m dyp.



Figur 5. Den vertikale sjiktningen i 0-50 m dyp utenfor munningen av Dalaelva (stasjon H1) beskrevet ved vannets saltholdighet (utarbeidet etter data i Olsgard og Jensen, 1989).



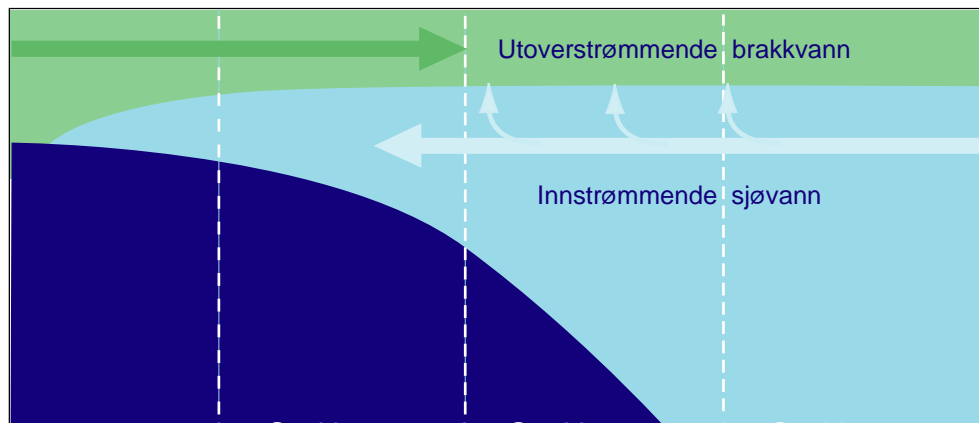
Figur 6. Saltholdighet i 0-20 m dyp på stasjon H1 i havneområdet plottet mot tilsvarende data fra stasjon H5 ytterst i fjorden. En korrelasjon på $r^2=0,957$ viser en nær sammenheng mellom variasjonene i saltholdighet (vannutskifting) i fjordmunningen og innerst i fjorden.

4. Strømforhold og vannutskiftning

4.1 Overflatelaget

4.1.1 Generell beskrivelse

Elvevannet og vannet fra kraftverket blander seg gradvis med det underliggende sjøvannet og danner et utoverstrømmende overflatelag (brakkvann). Sjøvannet som på denne måten transporteres ut av fjorden, blir erstattet ved en inngående strøm under overflatelaget. En prinsippskisse av dette strømsystemet er vist i **Figur 7**. Det understrekes at dette generelle systemet varierer mye med tiden pga. påvirkning fra tidevann, vind og varierende ferskvannstilførsel.



Figur 7. Prinsippskisse av strømsystemet som dannes når ferskvann tilføres en fjord.

4.1.2 Metodikk og data

For å simulere sirkulasjonen i overflatelaget fra Dalaelvas munning og sørover mot selve Sognefjorden har vi brukt modellen SMS/RMA2. Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System" som inneholder den numeriske modellen RMA2. SMS er laget ved Brigham Young University, U.S.A., i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station og U.S. Federal Highway Administration (ECGL, 1995). RMA2 er en dynamisk, todimensjonal, dybde-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen beregner løsninger ved hjelp av endelig-element metoden.

Ligninger:

Grunnligningene i RMA2 er Navier-Stokes ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\epsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\epsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$x =$	Distanse i x-retning (positiv mot øst)
$y =$	Distanse i y-retning (positiv mot nord)
$u =$	Horisontal strømningshastighet i x-retning
$v =$	Horisontal strømningshastighet i y-retning
$t =$	Tid
$g =$	Tyngdens akselerasjon
$h =$	Vandyp
$\rho =$	Væskens tetthet
$\varepsilon_{xx} =$	Normal turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
$\varepsilon_{xy} =$	Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
$\varepsilon_{yx} =$	Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
$\varepsilon_{yy} =$	Normal turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
$C =$	Chezy ruhetskoeffisient (Beregnet ut fra Mannings n)
$F =$	Coriolis parameter

Oppsett av modellen begynner med konstruksjon av et nettverk (grid) med diskrete punkter (dvs. data over posisjon og dyp for punktene i et nettverk som siden interpoleres til et grid i SMS). **Figur 8** viser nettverket som ble benyttet for beregningene. Det består av 5002 elementer (trekanter). I fjordens sørlige del er trekantsidene 100 m lange for å avta til 50 m - og ned til 25 m i havnebassenget (**Figur 8**). På den måten kan beregningene gjøres effektivt og med fokus /størst detaljeringsgrad på den nordlige delen av fjorden.

Beregninger av vannhøyde, strømhastighet og strømretning gjøres i trekantens hjørner og i et punkt på hver side, i alt 6 punkt (noder) i hver trekant. Ved hjelp av de topografiske dataene, grenseflatebetingelsene og initialbetingelsene beregner RMA2 verdier for strømhastighet, retning og vannstand i hvert av de 10255 nodene i nettverket.

Man må tilegne nettverket en initialtilstand. Dette gjøres ved å legge en horisontal, plan overflate over hele nettverket. Modellen trenger så en del tid ("spin up") på å finne representative løsninger.

I dette prosjektet er modellen kjørt for å få et generelt inntrykk av sirkulasjonen i Høyangsfjordens overflatelag, og det er derfor gjort to forenklinger:

1. Modellen er satt opp for å beskrive sirkulasjonen i et overflatelag med tykkelse 2,5-3 m over en horisontal, flat bunn.
2. Sirkulasjonen drives av ferskvannstilførselen fra kraftverket og elva, samt det halvdaglige tidevannet. Vi kjenner ikke vindforholdene i fjorden og betydningen av vind er ikke tatt med.

Spesielt vil modellen da framheve områder med bakevjer og svak/sterk strøm, samt vannmassenes fordeling på øst- og vestsiden av fjorden. Derimot kan man ikke oppfatte strømhastighetene som helt riktige fordi dette ville forutsette en kalibrering av modellen mot bl.a. resultat fra strømmålinger i overflatelaget. Slike data finnes ikke.

Data:

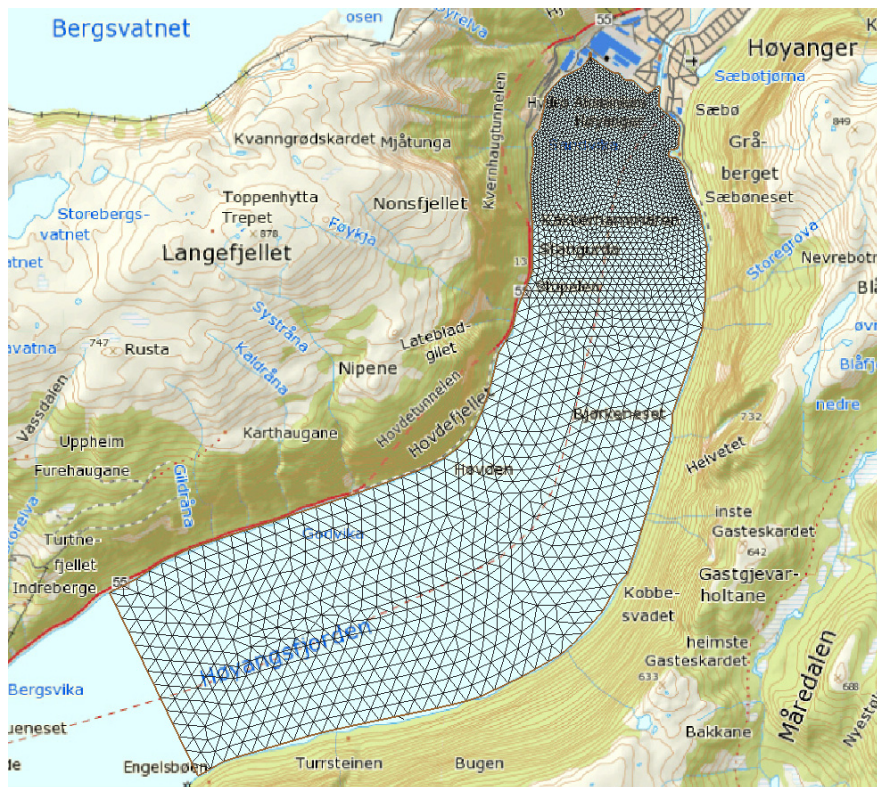
Modellen må gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjonskoeffisienten Manning's n . Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforholdene og er samtidig en egenskap ved selve bevegelsen. De er følgelig svært vanskelige å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser på koeffisientene varierer med flere størrelsesordener (ECGL, 1995) uten at beregningsresultatene endrer seg tilsvarende mye. I modellen er det brukt standardkoeffisienter. Bunnfriksjonen (Manning's n) er satt lik 0,02 (tilsvarer middels "friksjon" mot dypvannet og sider).

Tilførselen av ferskvann kan variere mye og raskt, og i **Tabell 2**. Vannmengdene (m^3/s) i de tre scenariene modellen kjøres for. **Tabell 2** er det definert tre scenarier som omfatter situasjoner for ca. 80% av tiden. Det er liten forskjell mellom vannmengden i scenario 1 og scenario 3. Modellen kjøres for disse tre scenariene.

Tabell 2. Vannmengdene (m^3/s) i de tre scenariene modellen kjøres for.

Scenario	Dalaelva	Kraftverket	Sum
1 (gjennomsnitt)	7	18	25
2 (lav tilførsel, 10-persentil)	1	11	12
3 (stor tilførsel, 90-persentil)	9	21	30

Modellen settes opp for å kjøre over drøyt 8 tidevannsperioder (102 timer). Inn- og utstrømming av det halvdaglige tidevannet (periode ca. 12,4 timer) foregår i hele vannsøylen, men er sannsynligvis sterkest i de øvre 50 m. Vi har ingen strømmålinger som kan gi grunnlag for å bedømme styrken av tidevannet i fjordens overflatelag, og dette er da gjort etter erfaring og skjønn. Dermed må det gjentas at absoluttstørrelsen av strømhastighetene som modellen gir, vil inneholde en betydelig usikkerhet, mens fordelingen av områder med sterk og svak strøm gjengis med langt større sikkerhet. Også strømmens retning (som fordeling på øst- eller vestsiden av fjorden, bakevjer) vil bli vist med god sikkerhet



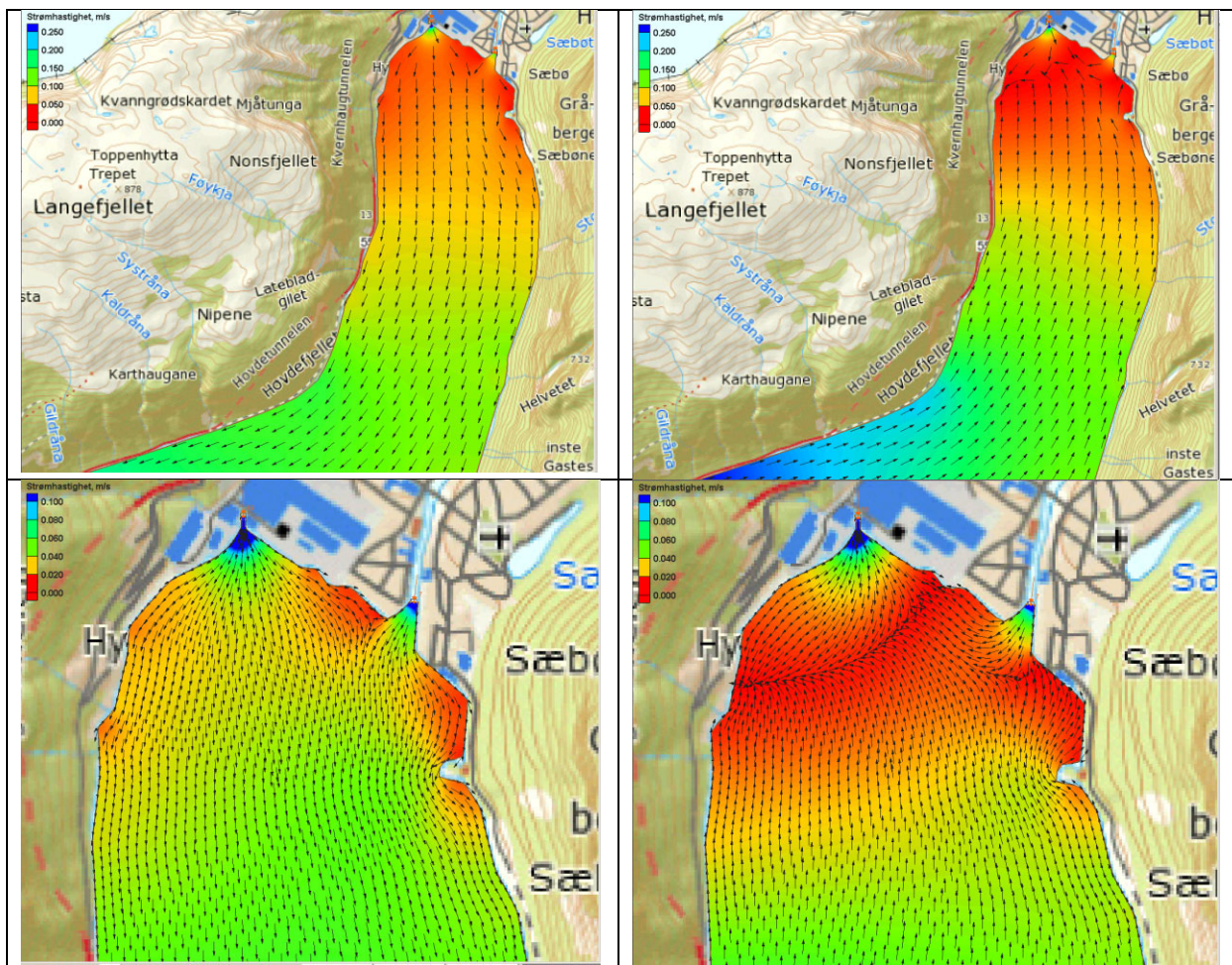
Figur 8. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for simulering av sirkulasjon består av 5002 trekanter. I ytre 2/3 av fjorden er sidelengden 100 m og i indre del er oppløsningen større med sidelengde først 50 m og fra Sæbøneset er den 25 m. I hvert hjørne og midt på hver side av trekantene beregnes høyden over referansedypet, strømrretningen og strømhastigheten – i alt 10255 punkter (noder).

4.1.3 Resultater

For hvert scenario (**Tabell 2**) simulerer modellen strømforholdene over 102 timer med konstant ferskvannstilførsel fra elva og kraftverket mens tidevannet varierer. Resultater er beregnet for hver 0,5 time og disse er lagret som en «film». I det etterfølgende vises 4 bilder fra hvert scenario, to med utstrømmende tidevann og to med innstrømmende tidevann. Bildene er fra samme tidspunkt i simuleringene og scenariene kan derfor sammenlignes.

Scenario 1 (gjennomsnittlig vannføring i både Dalaelva og utslippet fra kraftverket):

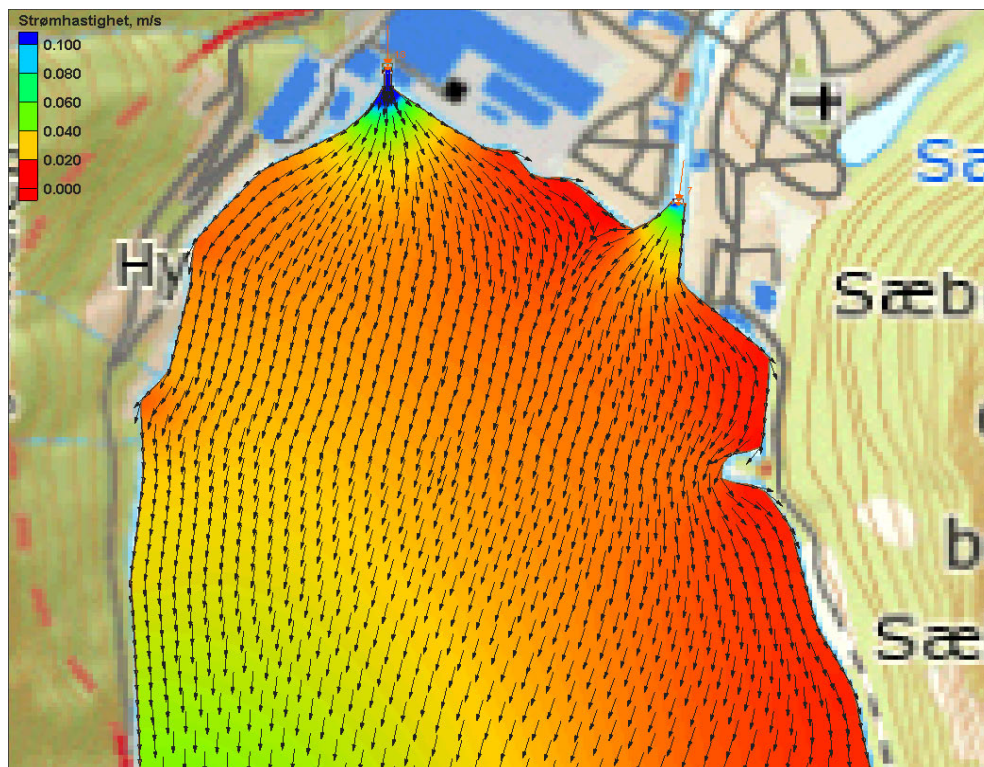
Figur 9 viser sirkulasjonen i et 3 m tykt overflatelag ved gjennomsnittlig tilførsel av ferskvann fra Dalaelva og kraftverket (sum $25 \text{ m}^3/\text{s}$). Ved utstrømmende tidevann vil elvevannet bidra til at vann fra kraftverket og fra havneområdet deler seg på fjordens midtre del og fjordens vestre side (jfr. også **Figur 10**). Under innstrømmende tidevann oppstår situasjoner der denne forskyvingen mot vest av kraftverksvann og vann fra midtre del av havneområdet er enda tydeligere. Vannet fra Dalaelva fordeler seg over hele fjorden, men er særlig merkbart på fjordens østre del.



Figur 9. Simulering av sirkulasjonen i overflatelaget (3 m tykt). Vannføring i Dalaelva er $7 \text{ m}^3/\text{s}$ og fra kraftverket $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Fargeskalaen viser strømhastighet og pilene viser strømmens retning.

Øverst: Oversiktsbilde av fjordens indre og midtre del. Venstre figur viser en situasjon med utstrømmende tidevann og høyre figur viser en situasjon med innstrømmende tidevann.

Nederst: Havneområdet. Tilsvarende to situasjoner, men merk at strømhastigheten her er vist for intervallet 0-0,1 m/s, dvs. med større oppløsning enn i den øverste figuren.



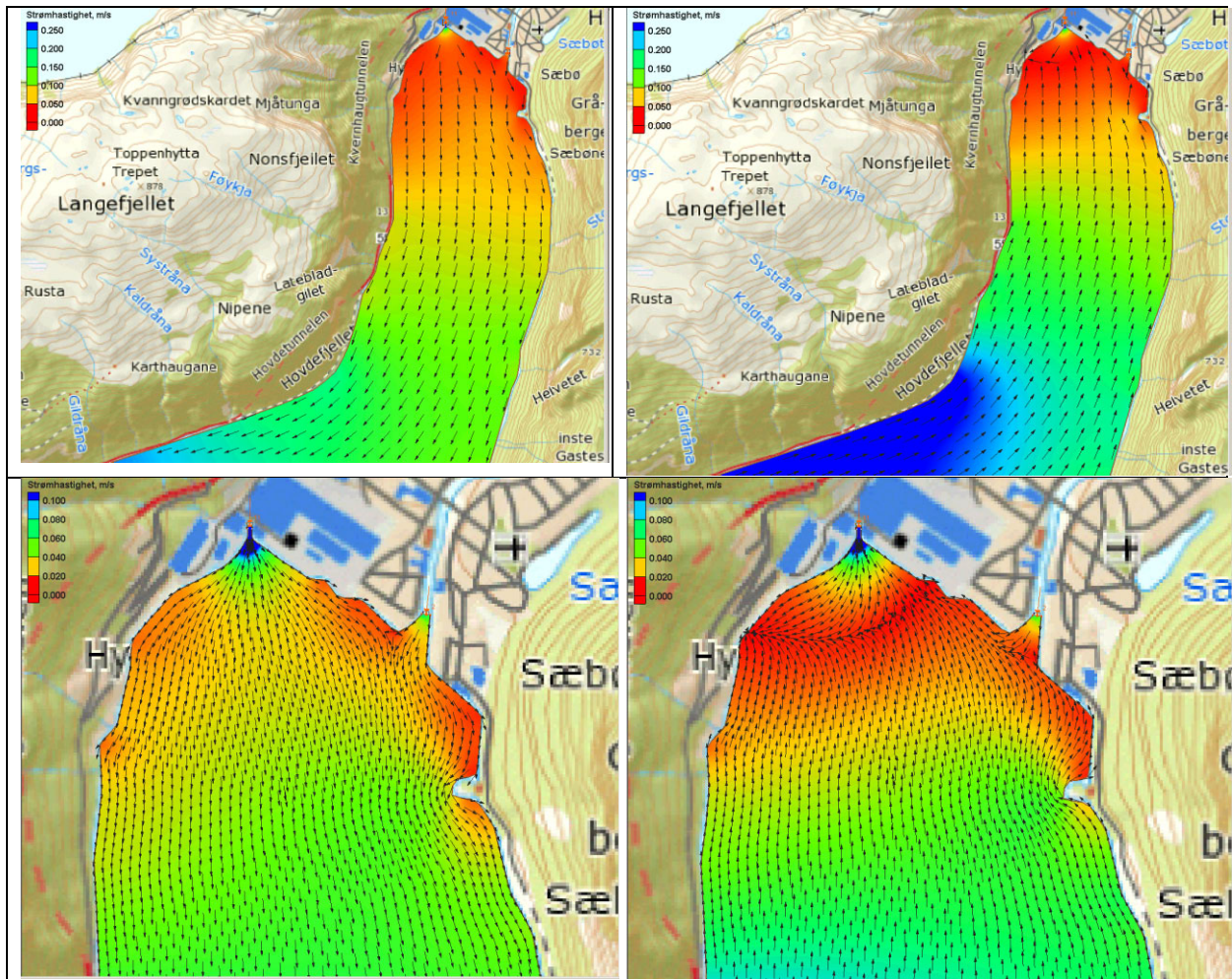
Figur 10. Eksempel på hvordan elvevann «skyver» vann fra kraftverket og havneområdet over mot fjordens vestre side.

SMS-modellen gir ikke tall for selve vannutskiftningen eller oppholdstiden for overflatelaget. Denne tiden vil variere med tilførselen av ferskvann og med lokale vindforhold. For å få et gjennomsnittlig tall for oppholdstiden har vi brukt modellen FjordEnvironment (Stigebrandt, 2001) som angir 1 døgn som en gjennomsnittlig oppholdstid.

Scenario 2 (liten vannføring i Dalaelva og lite utslipp fra kraftverket):

Figur 11 viser sirkulasjonen i et 2,5m tykt overflatelag³ ved liten tilførsel av ferskvann fra Daleelva og fra kraftverket (sum 12 m³/s). Tidevannet er som for scenario 1.

Vi ser i hovedsak samme strømforhold som under scenario 1, men litt lavere strømhastighet på grunn av mindre tilførsel av ferskvann. Vannet fra kraftverket og midtre del av havnebassenget vil i hovedsak strømme ut på fjordens vestre halvdel, mens elvevannet dominerer på fjordens østre del.



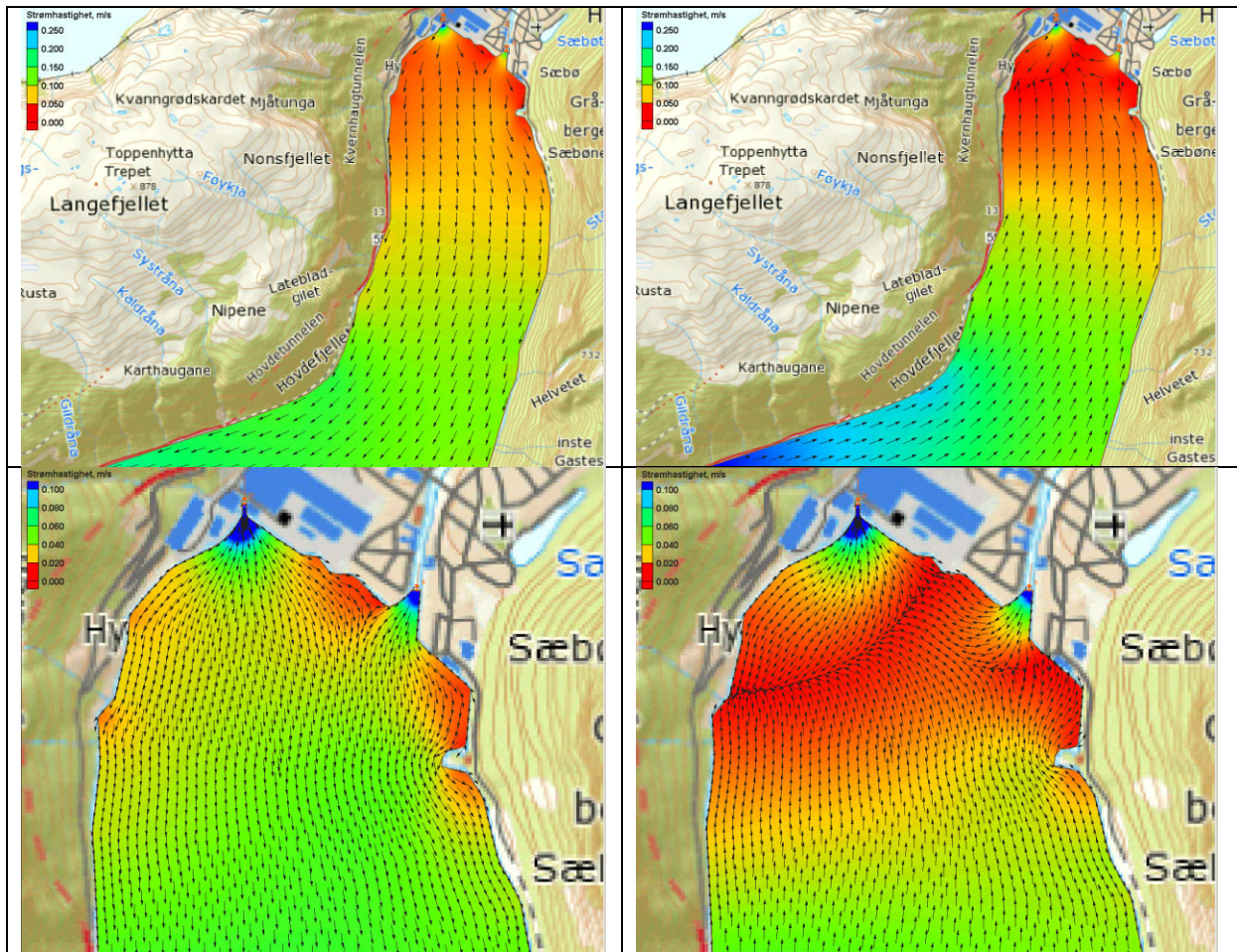
Figur 11. Simulering av sirkulasjonen i overflatelaget (2,5 m tykt). Vannføring i Dalaelva er 2 m³/s og fra kraftverket 11 m³/s. Fargeskalaen viser strømhastighet og pilene viser strømmens retning.
Øverst: Oversiktsbilde av fjordens indre og midtre del. Venstre figur viser en situasjon med utstrømmende tidevann og høyre figur viser en situasjon med innstrømmende tidevann.
Nederst: Havneområdet. Tilsvarende to situasjoner, men merk at strømhastigheten her er vist for intervallet 0-0,1 m/s, dvs. med større oppløsning enn i den øverste figuren.

³ Overflatelagets tykkelse er her mindre enn ved gjennomsnittlig ferskvannstilførsel

Scenario 3 (relativ stor vannføring i Dalaelva og stort utslipp fra kraftverket):

Figur 12 viser sirkulasjonen i et 3,5 m tykt overflatelag ved relativt stor tilførsel av ferskvann fra Dalaelva og kraftverket (sum $30 \text{ m}^3/\text{s}$, mot $25 \text{ m}^3/\text{s}$ i scenario 1). Tidevannet er som for scenario 1 og scenario 2.

Som forventet ser vi i hovedsak samme strømforhold som under scenario 1. Strømhastigheten er om lag den samme selv om tilførselen er noe større. Grunnen er at ferskvannet i dette scenarioet er fordelt på et litt tykkere overflatelag. Vannet fra kraftverket og midtre del av havnebassenget vil i hovedsak strømme ut på fjordens vestre halvdel, mens utstrømming av elvevannet dominerer på fjordens østre halvdel.



Figur 12. Simulering av sirkulasjonen i overflatelaget (3 m tykt). Vannføring i Dalaelva er $9 \text{ m}^3/\text{s}$ og fra kraftverket $21 \text{ m}^3/\text{s}$. Fargeskalaen viser strømhastighet og pilene viser strømmens retning.

Øverst: Oversiktsbilde av fjordens indre og midtre del. Venstre figur viser en situasjon med utstrømmende tidevann og høyre figur viser en situasjon med innstrømmende tidevann.

Nederst: Havneområdet. Tilsvarende to situasjoner, men merk at strømhastigheten her er vist for intervallet 0-0,1 m/s, dvs. med større oppløsning enn i den øvre figuren.

4.2 Mellomlag og bunnvann

Modellen som ble brukt for overflatelaget omfatter ikke fjordens mellomlag og bunnvann. Variasjonen i saltholdighet og sjiktning er store i hele sjøvannslaget ned til 50 m dyp (og utvilsomt videre ned til 150-160 m dyp). Til forskjell fra overflatelaget skyldes dette en varierende vannutveksling mellom Høyangsfjordens vannmasser og vannmassene i Sognefjorden, dvs. at den vertikale sjiktningen og vannutskiftning i Høyangsfjordens dypere vannlag i stor grad bestemmes av forholdene i selve Sognefjorden (**Figur 6**).

Ved bruk av modellen FjordEnvironment (Stigebrandt, 2001) finner vi at i Høyangsfjorden kan mellomlaget/sjøvannslaget ned til ca. 160 m dyp⁴ ha en typisk oppholdstid ca. 1 uke. Omkring denne gjennomsnittsverdien vil der være betydelige variasjoner, kanskje innen intervallet 0,5-3 uker. For fjordens nordre del vil en anta at oppholdstiden er noe lenger enn gjennomsnittsverdien for hele fjorden.

Ved munningen mot Sognefjorden er bunndypet mer enn 400 m, og storparten av fjorden har bunndyp større enn ca. 160 m. Denne vannmassen (160 m - ca. 400 m dyp) kan kalles Høyangsfjordens bunnvann. Vi har ikke grunnlag for å anslå oppholdstiden for denne vannmassen, en tid som øker med økende dyp. Imidlertid kan 2-4 uker kanskje være en realistisk størrelsesorden.

⁴ Sognefjordens terskel er ca. 160 m og under dette dypet vil vannutskiftningen raskt avta.

5. Oppsummering og konklusjoner

Vannmassen i Høyangsfjorden kan inndeles i tre lag. Tilførselen av ferskvann fører til at det dannes et overflatelag (brakkvannslag) som i havneområdet er typisk 2-4 m tykt med saltholdighet varierende i intervallet 15-30 psu. Under flom kan saltholdigheten trolig være under 10 psu og overflatelaget 8-10 m tykt.

Modellsystemet SMS er brukt for å simulere sirkulasjonen i overflatelaget ved tre kombinasjoner av ferskvannstilførsel fra kraftstasjon og Dalaelva. Det finnes ikke data som gir mulighet for å kalibrere modellen slik man må legge størst vekt på beskrivelsen av strømmens retning, bakevjer og fordeling av områder med svak/sterk strøm, og mindre vekt på den absolutte hastigheten.

Beregningene viser to hovedtrekk:

1. Vann fra kraftstasjon og havneområdet fordeler seg i alt vesentlig på fjordens vestre og midtre del
2. Vann fra Dalaelva fordeler seg over hele fjorden, men særlig på fjordens midtre og østre del.

Oppholdstiden for overflatelaget vil i stor grad variere med ferskvannstilførselen, og 1 døgn er beregnet som et gjennomsnitt for hele fjorden. Omkring denne verdien vil der være variasjoner både i tid og i rom og oppholdstiden kan trolig komme opp mot 3-4 døgn.

Under overflatelaget ligger sjøvannslaget der vannutskiftningen i stor grad bestemmes av varierende hydrografiske forhold i selve Sognefjorden. Siden Sognefjordens terskel på ca. 160 m dyp er viktig for vannutskiftningen i sjøvannslaget, kan det for Høyangsfjorden være hensiktsmessig å skjelve mellom et mellomlag ned til ca. 160 m dyp og bunnvann videre ned til ca. 400 m dyp.

Mellomlaget i Høyangsfjorden har god vannutskiftning med en gjennomsnittlig oppholdstid på ca. 1 uke. Bunnvannets oppholdstid er vanskelig å bedømme, men 2-4 uker kan være en typisk størrelse.

6. Litteratur

ECGL, 1995. Surface water modeling system. Reference manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah, USA. 170 sider.

Håvardstun, J. og Næs, K., 2009. Miljøundersøkelser i Høyangsfjorden 2009. Statusrapport II: Metaller i vannmasser, blåskjell og sedimenter. NIVA-rapport 5847-2009. 18 sider.

Næs, K. og Håvardstun, J., 2009. Miljøundersøkelser i Høyangsfjorden 2009. Statusrapport om metaller i vannmasser og blåskjell. NIVA-rapport 5783-2009. 22 sider.

Olsgard, F. og Jensen, T., 1989. Basisundersøkelse i Høyangsfjorden. A/S Miljøplan. Oppdragsnr. P87-96. 82 sider + 6 vedlegg

Stigebrandt, A., 2001. FjordEnv – a water quality model for fjords and other inshore waters. C40. Earth Sciences Centre, Gøteborg University, Gøteborg.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no