

# Fastlandsforbindelsen mellom Nøtterøy og Tønsberg

Resultater fra strøm-, CTD-, og turbiditetsmålinger i fjorden  
og Aulielva

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 541



**Tittel**

Fastlandsforbindelsen mellom Nøtterøy og Tønsberg

**Undertittel**

Resultater fra ulike målinger i fjorden og Aulielva

**Forfatter**

Bjørn Gjevik, Elisabeth Gundersen og

Hilde C. Sandbo

**Avdeling**

Vegavdelingen

**Seksjon**

Geoteknikk og skred

**Prosjektnummer**

206998

**Rapportnummer**

Nr. 541

**Prosjektleder**

Steinar Aspen

**Godkjent av**

Steinar Aspen

**Emneord**

Målinger, strømning, tidevann, sjiktning, saltvannskile, flom

**Sammendrag**

Rapporten gir en gjennomgang og oppsummering av målinger av strøm, CTD, oksygen og turbiditet i Vestfjorden, Kanalen og Byfjorden i Tønsberg. Målingene ble utført i perioden 29.8.2017 - 31.10.2017. I tillegg til målinger i fjorden ble det utført målinger i Aulielva i september.

Resultatene viser at de konklusjonene som ble tatt på bakgrunn av numeriske simuleringer i samme område, gitt i rapport nr. 533 er gyldige. Inngrep i forbindelse med fjordkryssingene vil ha liten innvirkning på strømningsforholdene i fjorden og i Aulielva.

**Title**

Mainland Connection between Nøtterøy and Tønsberg

**Subtitle**

Results from different measurements in the fjord and in Aulielva

**Author**

Bjørn Gjevik, Elisabeth Gundersen and

Hilde C. Sandbo

**Department**

Roads Department

**Section**

Geotechnical

**Project number**

206998

**Report number**

No. 541

**Project manager**

Steinar Aspen

**Approved by**

Steinar Aspen

**Key words**

Measurements, flow, tide, flood, layering, salt water wedge

**Summary**

The report provides a review and summary of measurements of current, CTD, oxygen and turbidity in Vestfjorden, the Channel and Byfjorden in Tønsberg. The measurements took place during the period 29.8.2017 - 31.10.2017. In addition to measurements in the fjord, measurements took also place in Aulielva during September. The results show that the conclusions based on numerical simulations in the same area, given in Report No. 533 are valid. Consequences of the fjord crossings will have little impact on the fluid flow in the fjord and in Aulielva.

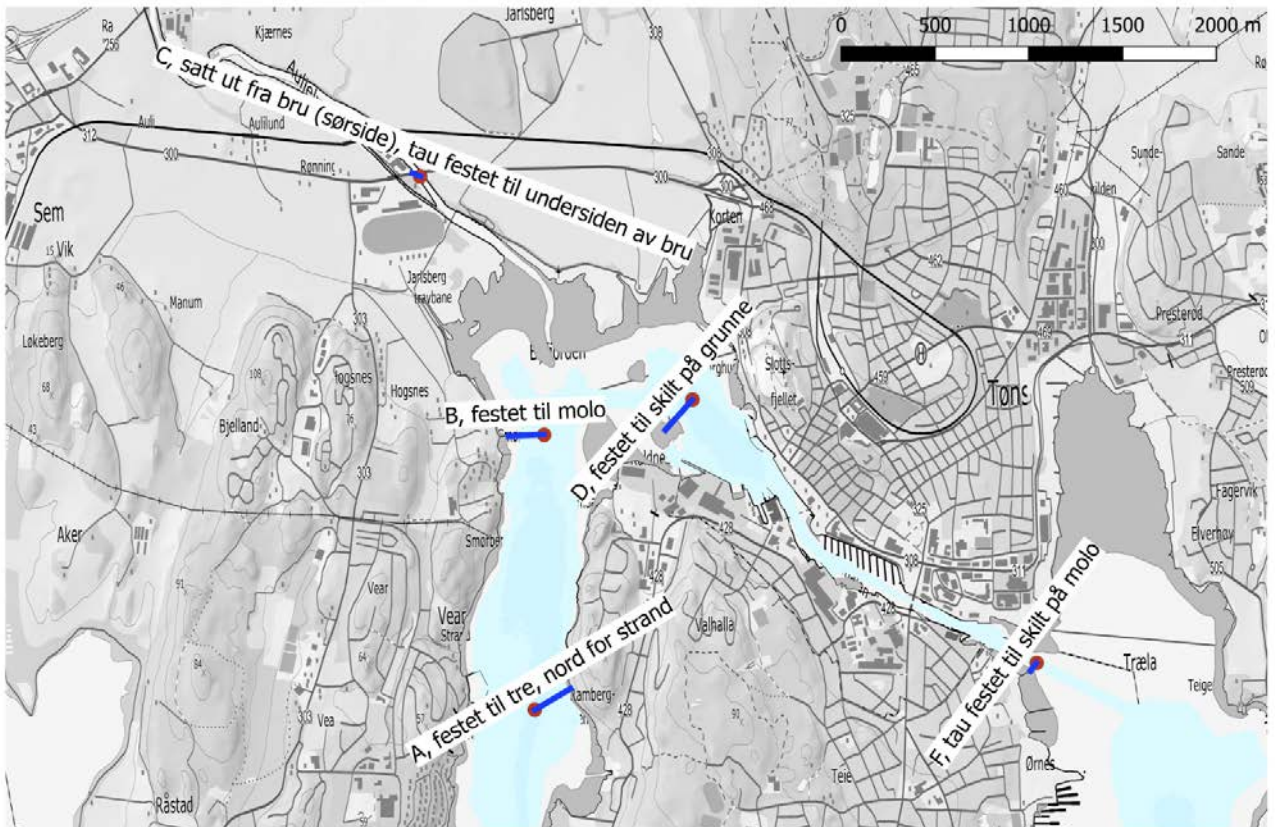
# Oppsummering og resultater fra strøm-, CTD- og turbiditets – målinger i Vestfjorden og Byfjorden ved Tønsberg

## Innhold

2. Tidevann.....	3
2.1 Hendelser hvor vannstanden i fjorden avviker betydelig fra prediktert tidevann .....	3
2.2.1 Hendelser i september .....	5
2.2.2 Hendelser i oktober .....	8
3. CTD målinger.....	9
3.1 Målinger av temperatur, salinitet og tetthet i fjorden.....	9
3.2 Målinger av temperatur, salinitet og tetthet i Aulielva.....	14
3.3 Målinger av turbiditet og oksygen i alle stasjoner .....	16
4. Ytre påvirkninger og målinger av strøm i Aulielva .....	20
4.1. Hendelser i September .....	21
5. Oppsummering .....	26
6. Konklusjon .....	27
7. Referanser.....	27
8. Vedlegg .....	28

I forbindelse med kommunedelplan for fastlandsforbindelsen mellom Tønsberg og Nøtterøy har det blitt gjennomført simuleringer av strømforholdene i Byfjorden, Vestfjorden og Kanalen. Hensikten var å undersøke hvordan utfyllinger og spuntvegger i forbindelse med to ulike vegtraseer med senketunneler vil påvirke forholdene i fjorden. Resultatene er presentert i SVV-Rapport nr. 533[1]. For å verifisere gyldigheten av simuleringene ble det i perioden 24.08.2017 – 30.10.2017 gjennomført ulike målinger av strømstyrke og retning i flere nivåer med bruk av akustisk profilering. I tillegg ble det utført tre CTD – målinger.

Målingene ble gjennomført av Norconsult på oppdrag fra Bane NOR og Statens vegvesen, region sør. Måleutstyret ble plassert i 5 stasjoner, 4 i fjorden og en i Aulielva. Plassering av målestasjonene er vist i figur 1.



Figur 1 Plassering av målestasjoner.

Følgende utstyr ble benyttet:

- 2 stk. 400 kHz (gir resultat fra ca. 2 m over bunn). Disse ble benyttet i stasjon A og D.
- 1 stk. 600 kHz (gir resultat fra ca. 1,5 m over bunn). Ble benyttet i stasjon B.
- 1 stk. 1 MHz sidelooking (gir resultat fra ca. 0,5 m over bunn). Ble benyttet i kanalen, (F).
- 1 stk. 2 MHz sidelooking (gir resultat fra ca. 0,3 m over bunn). Ble benyttet i Aulielva (C).

Dette er utsyr som plasseres på sjøbunnen og måler vannstrøm fra instrumentet og opp til overflaten. I tillegg måles temperatur ved instrumentet og vanddyp.

Etter en måleperiode på en måned ble målerne tatt opp for rengjøring og batteribytte. I forbindelse med utsetting, rengjøring og innhenting ble det gjennomført profilmålinger med CTD for å måle temperatur, salinitet og tetthet. I tillegg ble det også målt oksygen og turbiditet i hele vannsøylen for hver stasjon.

Hensikten med måleprogrammet var følgende:

1. Undersøke hvordan strømforholdene avhenger av meteorologiske forhold som vind, lufttrykk og nedbør.
2. Kartlegge eventuelle tetthets-sjiktninger i fjorden og hvordan disse påvirker strømning.
3. Undersøke styrken av tidevannsstrømmen og hvor framtreddende den er.

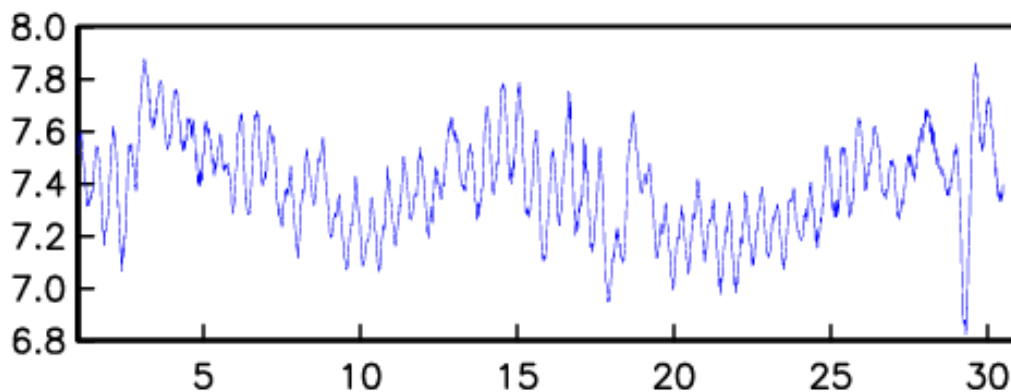
#### 4. Få et mål på volumstrøm fra Aulielva for sammenlikning med modell.

Bortsett fra at det ikke ble registreringer fra strømmåleren ved utløpet av Aulielva i oktober har datafangsten vært god. Kvaliteten på dataene er god. Vi har fått datarapporter fra Norconsult med en standard dataanalyse og statistikk (maks, min, middelveier, gjentakelsesfrekvenser, histogram og roseplott). I tillegg fikk vi alle rådata. Med en så kort måleperiode vil resultater fra statistisk analyse ha begrenset gyldighet. Derimot vil en nærmere analyse av tidsseriene fra strømmålingene gi muligheter for å studere spesielle prosesser som er viktig for forholdene i fjorden. Samplingsintervallet for tidsseriene som vi har fått tilgang til er 10 min.

Dette notatet gir en presentasjon og tolkning av måledata, og en sammenlikning med de parameterne som ble brukt i simuleringene fra rapport nr. 533.

## 2. Tidevann

I rapport nr. 533 ble forskjellen på høyeste og laveste tidevann (HAT-LAT) estimert til ca. 0,6 m i Byfjorden. Målinger av trykkvariasjonene fra ADCP-målerne viser et klart tidevannsignal med amplituder (dvs. variasjoner i vannstand) som forventet, se figur 2. Tidevannsignalet har en periode på ca. 12 timer med utslag på 0,2 – 0,5 m. Endringer i vannstand knyttet til meteorologiske forhold har vesentlig større amplitude (se mer om dette i avsnitt 4). Et tilsvarende klart tidevannsignal kommer ikke frem i strømmålingene. Her er det andre prosesser som i første rekke synes å være viktige.



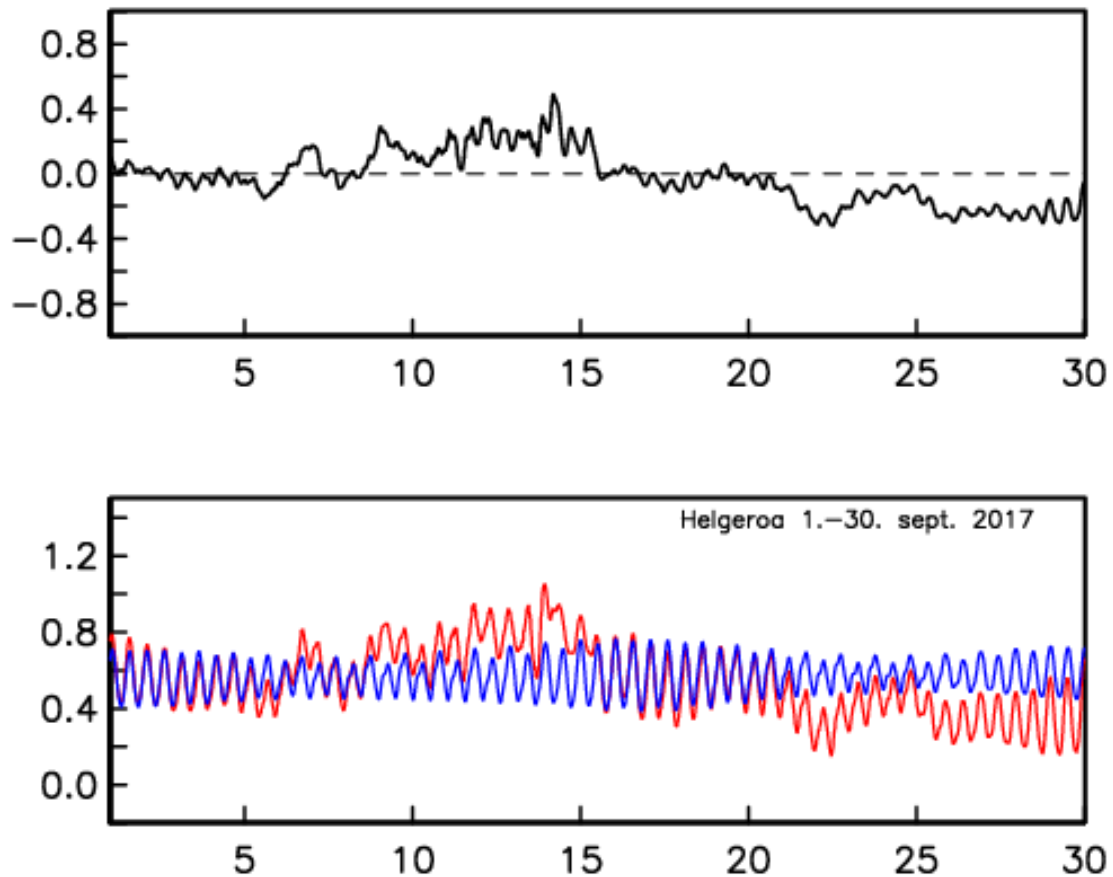
Figur 2 Trykkmålinger (i dbar) fra stasjon F, 1.- 31. oktober 2017. Et trykk på 7 dbar tilsvarer at vannhøyden er ca. 7 m over sensoren. Variasjonene i trykk (i.e. vannstand) er nært korrelert med vannstandsmålinger fra Helgeroa (se figur 4, rød kurve).

Trykkmålingene fra stasjon A og F viser ingen vesentlig forskjell i tidspunktet for høy- og lavvann i Vestfjorden og ved østre munning av Kanalen. Det betyr at tidevannet kommer inn omtrent samtidig på de to stedene.

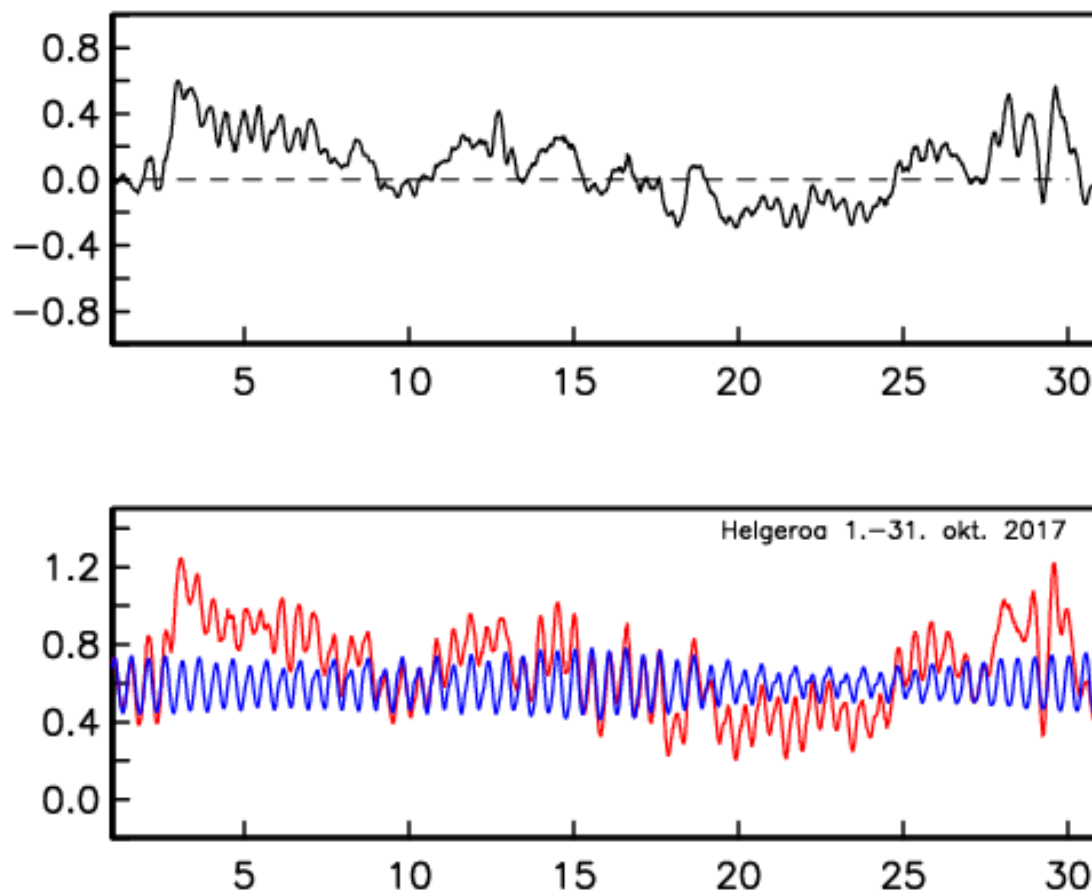
### 2.1 Hendelser hvor vannstanden i fjorden avviker betydelig fra prediktert tidevann

Sjøkartverket har en vannstandsmåler stående permanent i Helgeroa ca. 45 km sørvest for Tønsberg (primærmåler). Målingene fra Helgeroa fra september og oktober viser perioder hvor vannstanden avviker vesentlig fra prediktert tidevann dvs. beregnet tidevann basert på

astronomiske forhold som avstand til sol og måne (se figur 3 og 4). Tilsvarende variasjoner i vannstand gjenfinnes i data fra Sjøkartverkets vannstandsmåler på Viker, ved Hvaler på østsiden av Oslofjorden. Årsaken til disse endringene i vannstand er meteorologiske forhold dvs. lufttrykk og vind (styrke og retning). Ved å sammenholde vannstandsmålingene med strømmålingene kan en få et bedre innblikk i den lokale responsen i Byfjorden på disse hendelsene.



Figur 3 Vannstandsmålinger fra Helgeroa 1.-30. september 2017. I den nederste figuren er rød kurve observert vannstand mens den blå kurven er predikert tidevann. Målingene er gitt i meter over nullpunktet i sjøkartet (sjøkartnull). Den øverste figuren viser observert vannstand minus predikert tidevann i meter. Dette gir da værrets virkning.

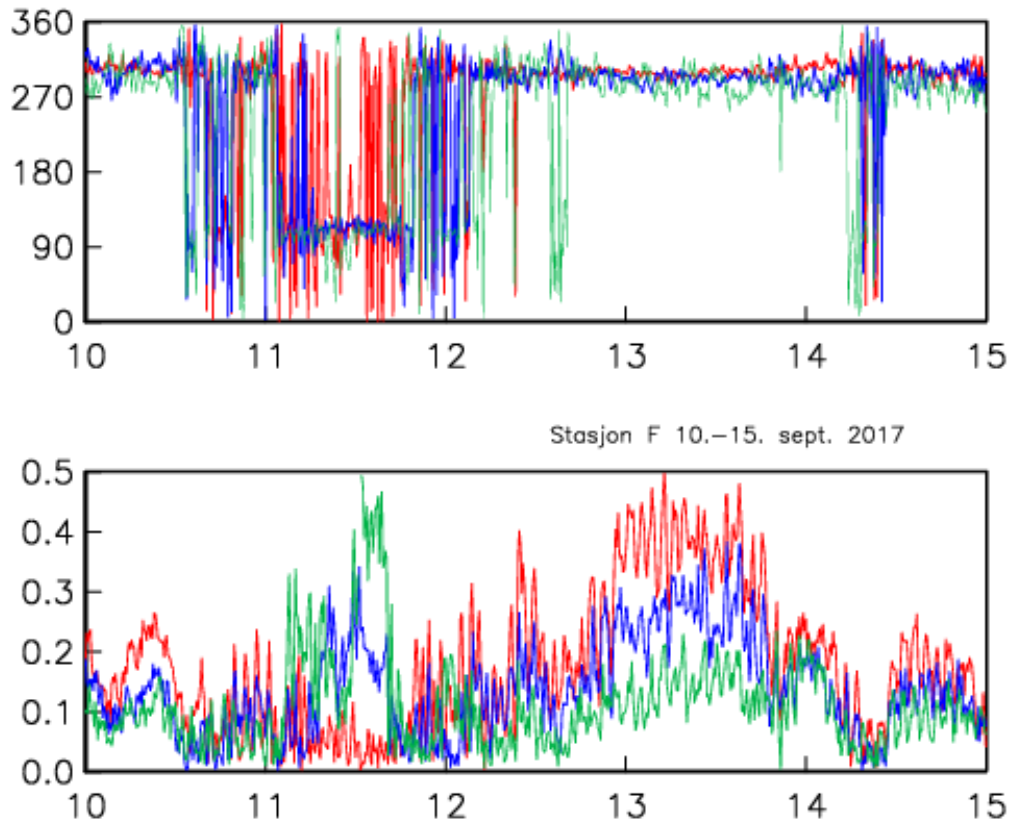


Figur 4 Vannstandsmålinger fra Helgeroa 1.-31. oktober 2017. Nederst: Observert vannstand (rød), prediktert tidevann (blå) i meter over nullpunktet i sjøkartet (sjøkartnull). Øverst: Observert vannstand minus prediktert tidevann i meter (værets virkning).

### 2.2.1 Hendelser i september

I perioden 8.-15. sept. er vannstanden i Helgeroa opp mot 0,5 m høyere og i perioden 22.-30. sept. opptil 0,3 m lavere enn prediktert tidevann (fig. 3). Tilsvarende vannstandsendringer ble målt i Viken. Særlig den første perioden var det forholdsvis sterk strøm i stasjonene B (Vestfjorden) og F (Kanalen øst).

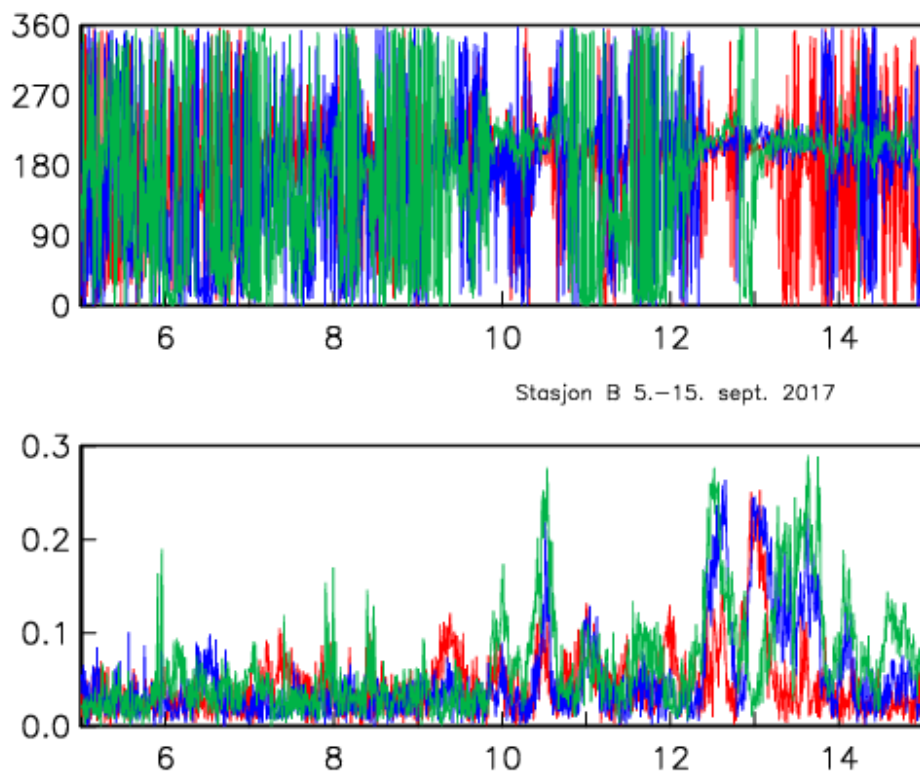
I stasjon F var det i dagene 12.-14. sept. strømtopper på opptil 0,4 – 0,5 m/s både i nivå 2,1 og 4,1 meter over instrumentet på sjøbunnen. Strømmen var rettet nord-vestover (fig. 5). De samme dagene var strøm i stasjon B gjennomgående rettet sørover med topper på opptil 0,3 m (fig. 6). I stasjon D (Byfjorden) var det svakere strøm (< 0.2 m/s) gjennomgående rettet nord-vestover nær overflaten. Nær bunnen var strømmen svakere og retningen mer variabel.



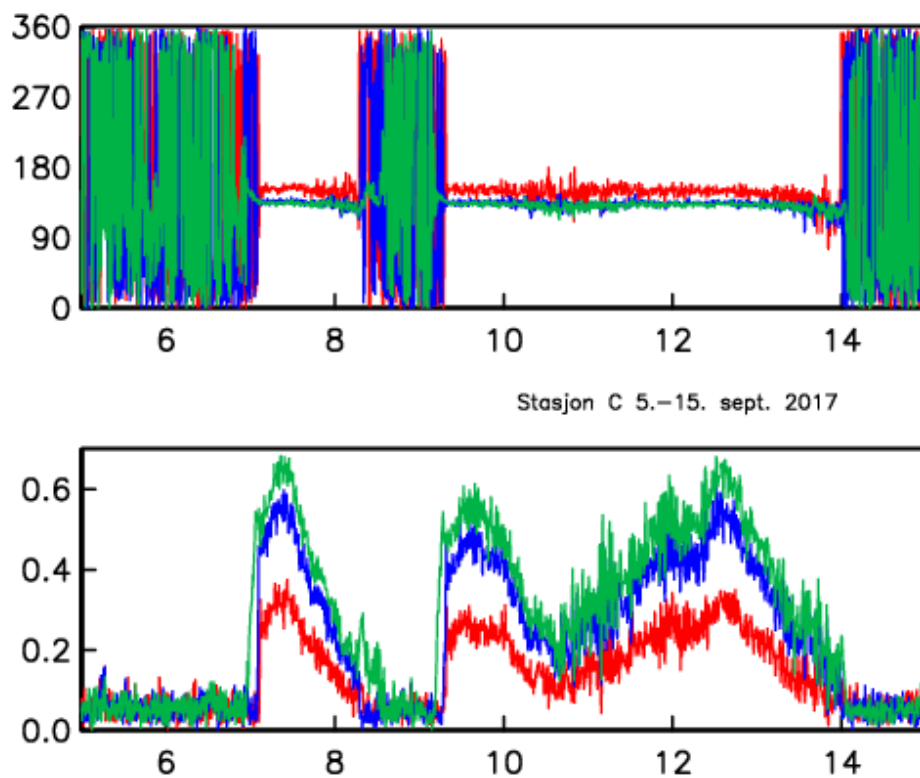
Figur 5 Strømmålinger fra tre dyp i stasjon F, Kanalen øst, 10.-15. september 2017. Øverst vises strømrretning i grader, nederst strømstyrke i m/s. Rød, blå og grønn kurve er målinger henholdsvis fra nivå 2,1 m, 4,1 m og 5,7 m over måleinstrumentet, dvs. fra bunnen og oppover mot overflaten. Svingninger i strømstyrken den 13. september med en periode ca. 1,8 time er spesielt framtrede, se rød kurve. Dette viser at det er større svingninger i bunnen av vannsøylen enn det er på toppen.

Den 11. september var det i stasjon F en kort episode med en strømtopper på opptil 0,5 m/s hvor strømmen gikk østover. I perioden (8. – 15/9) var det dager med mye nedbør og stor vannføring i Aulielva (se avsnitt 4). Dette ga sterk strøm i alle nivåer i stasjon C ved utløpet til Aulielva (fig. 7). Hendelsen var merkbar også i strømmålingene fra stasjon B.





Figur 6 Strømmålinger fra tre dyp i stasjon B i Vestfjorden, 5.-15. september 2017. Øverst strømretning i grader, nederst strømstyrke i m/s. Rød, blå og grønn kurve er målinger henholdsvis fra nivå 1,5 m, 3,5 m og 5,5 m over måleinstrument på bunnen av fjorden.



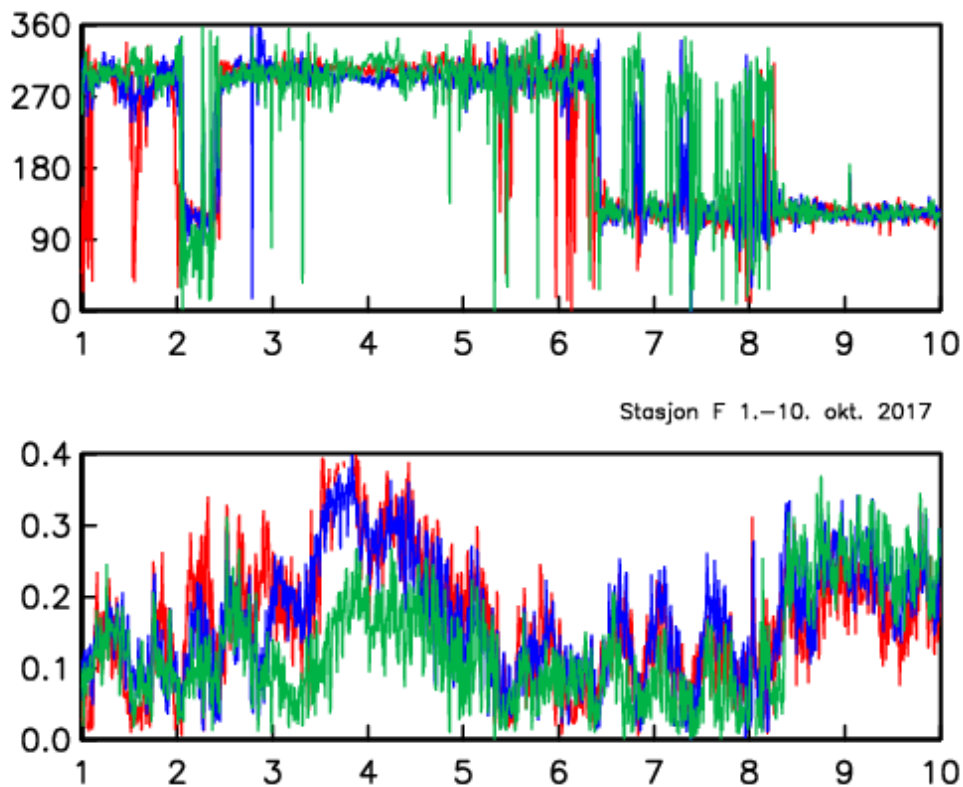
Figur 7 Strømmålinger fra tre dyp i stasjon C ved utløpet av Aulielva, 5.-15. september 2017. Øverst strømretning i grader, nederst strømstyrke i m/s. Rød, blå og grønn kurve er målinger henholdsvis fra nivå 0,3 m, 1,1 m og 2,1 m over måleinstrument på fjordbunnen.

Figur 7 viser en sterk og stabil strøm sør-østover dvs. nedover elva under hendelsen den 7. september. Tilsvarende den 9. til den 14. september. I perioder med svak strøm ( $< 0,1$  m/s) er strømretningen ustabil. Se også avsnitt 4.

### 2.2.2 Hendelser i oktober

I tiden 2.-5. okt. og 27.-30. okt. var vannstanden opptil 0,5 m høyere og mellom 18.-24. okt. opptil 0,3 m lavere enn prediktert (se figur 4). Tilsvarende variasjoner i vannstanden ble registrert med vannstandsmåleren i Vikar. Trykkmålingene fra ADCP-målerne i Tønsbergfjorden viser liknende variasjoner i vannstand (fig. 2). Det bekrefter at disse hendelsene har en relativ stor geografisk utstrekning og er merkbare over store områder i Oslofjorden og Skagerrak.

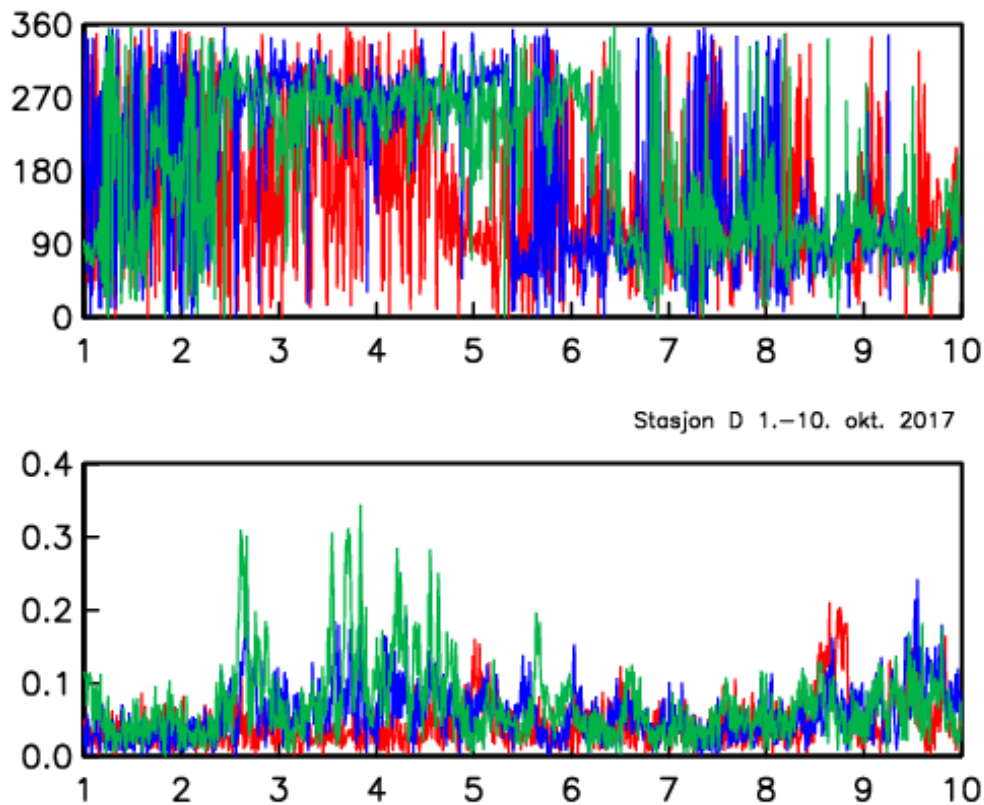
Det er strømmålinger fra de første dagene av oktober fra stasjonene A og B (Vestfjorden), D (Byfjorden) og F (Kanalene øst). Målingene fra F og D er vist i figur 8-9.



Figur 8 Strømmålinger fra tre dyp i stasjon F, Kanalene øst, 1.-10. oktober 2017. Øverst strømretning i grader, nederst strømstyrke i m/s. Rød, blå og grønn kurve er målinger henholdsvis fra nivå 1,3 m, 3,3 m og 5,3 m over måleinstrument på fjordbunnen.

Under hendelsen 2.-5. okt. gikk strømmen i stasjon F nord-vestover (dvs. inn Kanalene), retningen varierer lite fra overflaten nedover mot bunnen. Den største strømstyrken var ca. 0,45 m/s den 3. okt. Styrken varierte noe gjennom vannsøylen og strømmen nær bunnen var noe mindre den dagen. Samtidige målinger fra stasjon A (plottet ikke med her) viser lavere strømhastighet, opp mot 0,20 m/s og strømmen var stort sett rettet sørover (dvs. ut Vestfjorden). Det er tydelig episoder med kortperiodisk variabilitet i strømstyrke og retning,

antagelig knyttet til virvler i strømmen. Den 4. og 6. okt. var perioden for disse svingningene ca. 2,5 timer.



Figur 9 Strømmålinger fra tre dyp i stasjon D, Byfjorden, 1.-10. oktober 2017. Øverst strømretning i grader, nederst strømstyrke i m/s. Rød, blå og grønn kurve er målinger henholdsvis fra nivå 2,2 m, 5,8 m og 8,2 m over måleinstrument på fjordbunnen.

Målinger fra stasjon B viser en mer konsistent strømretning mot sør (ut Vestfjorden) og styrken var opptil 0,30 m/s, noe høyere enn ved stasjon A. I Byfjorden (stasjon D) gikk strømmen nord-vestover med topper på opptil 0,30 m/s den 2.-4. okt. Hendelsen 2.-5. okt. likner situasjonen med vestgående strøm i simuleringene i rapport 533 (se figur 9, 11 og 12 i rapporten). Men målingene viser at strømforholdene er mer sammensatte enn hva den enkle modellen kan beskrive.

### 3. CTD målinger

Det har blitt gjennomført CTD (Current – Temperature – Density) målinger i hver stasjon i forbindelse med utsett, ettersyn og opptak av strømmålerne. Dato for målingene var 24. august, 29. september og 30. oktober i fjorden. I Aulielva ble det kun gjennomført målinger den 29. september og 30. oktober.

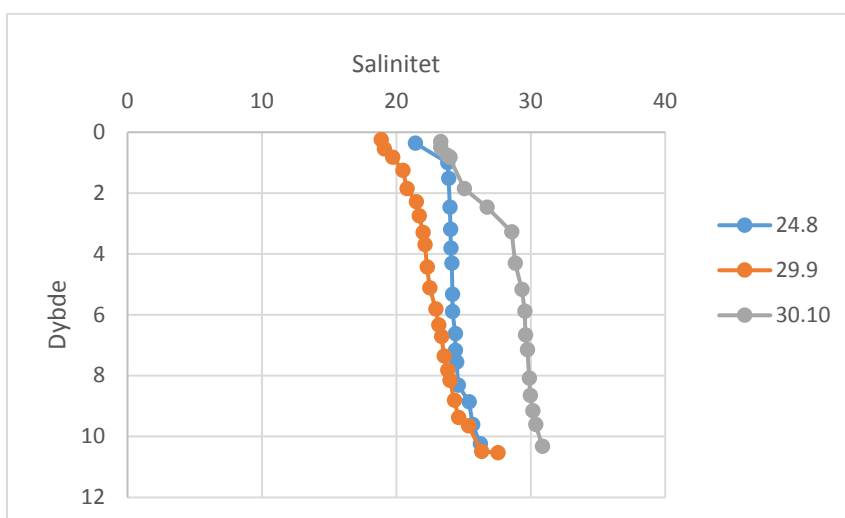
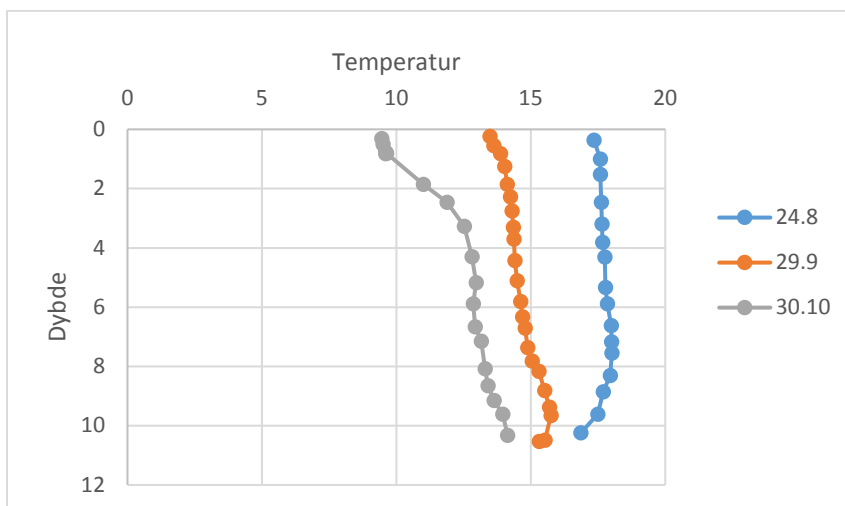
#### 3.1 Målinger av temperatur, salinitet og tetthet i fjorden

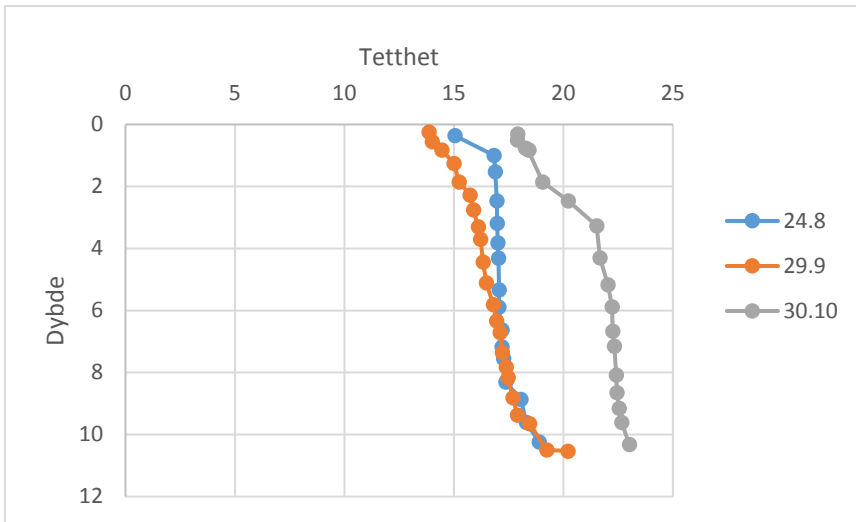
Figur 10 – 13 vises temperatur, salinitet og tetthet for de fire stasjonene i fjorden, dvs. stasjon A, B, D og F. Kurvene viser at temperaturen i vannet synker i hele vannsøylen fra 24. august

til 30. oktober. I den samme perioden øker saliniteten, dvs. at vannet i denne perioden blir kaldere og saltere.

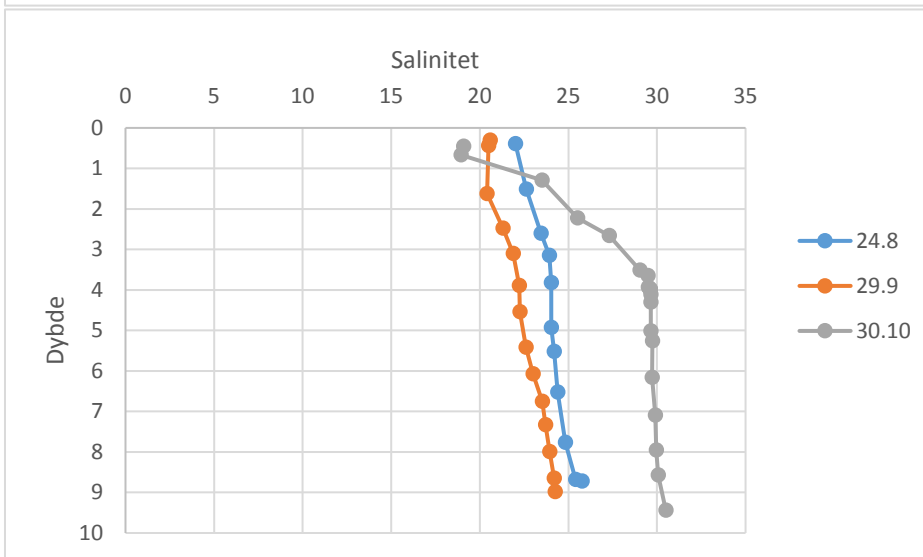
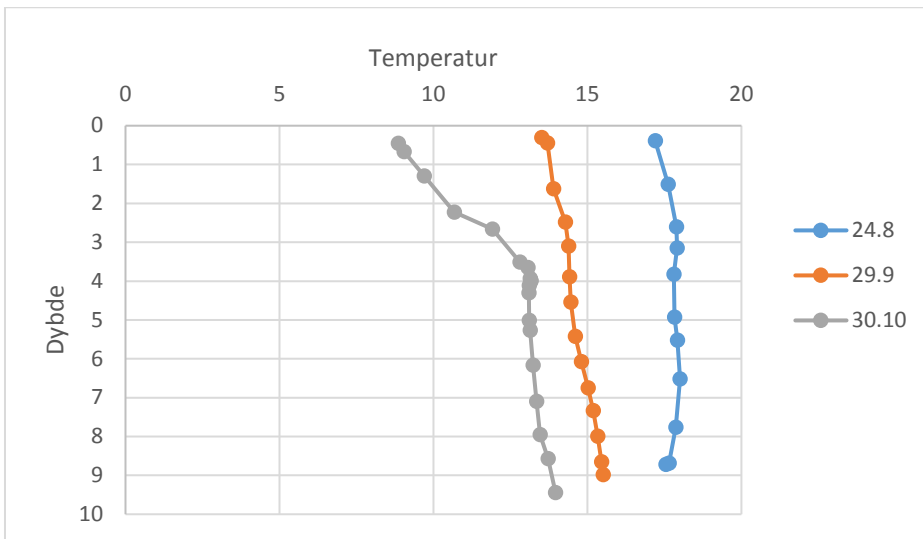
Tettheten er i hovedsak bestemt av temperatur- og salinitetsverdiene. Vi ser en tetthetsøkning i tid og i dybde for alle stasjonene. Tetthetsverdiene indikerer at det er sjiktninger i vannsøylen, men disse varierer en god del mellom måletidspunktene. Den 30. oktober ser vi et nokså tydelig sprangsjikt i salinitetsverdier for stasjon A, B og D ca. 3,5 m under overflaten. Målingene indikerer et ferskere topplag, dvs. et typisk brakkvannslag. I de to tidligere målingene, den 24. august og den 29. september er det kun små variasjoner, dvs. at vannsøylen er mer gjennomblandet med lite sjiktning. Resultatene fra stasjon F som sto ved inngangen til Kanalen avviker litt fra de andre stasjonene. Her kan vi se antydninger til tre lag, et tynt øvre brakkvannslag, et mellomliggende blandingslag og et bunnlag den 29. september og den 30. oktober. Den 24 august var det lite sjiktning.

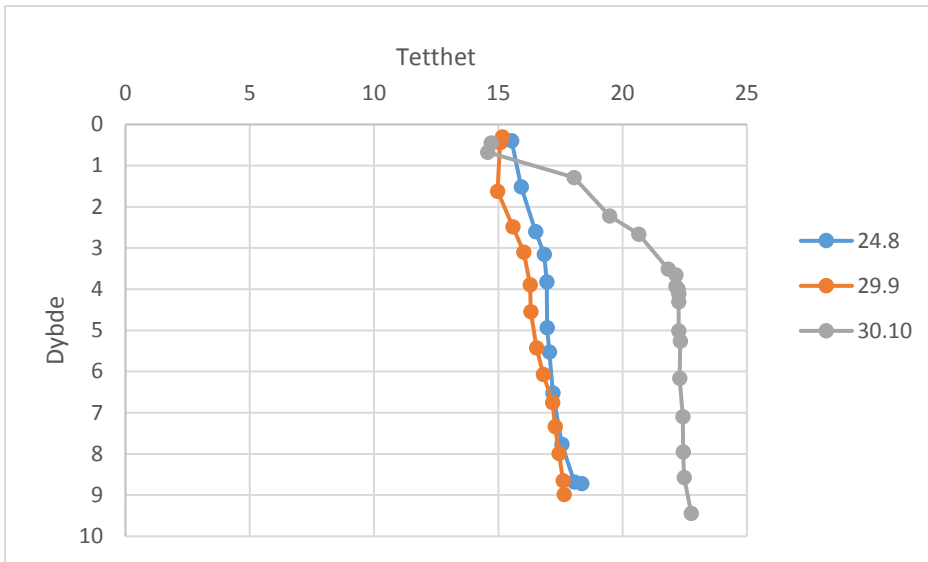
I stasjon B som ligger nærmest utløpet til Aulielva ville en kanskje forvente å finne de laveste salinitetsverdiene i toppen av vannsøylen på grunn av bidrag av ferskvann fra elva. Men, under disse målingene ble de laveste salinitetsverdiene registrert den 28.8 og den 30.10 helt i toppen av vannsøylen i stasjon D som ligger lenger mot Korten. Dette kan skyldes at strømmen i toppen først og fremst er påvirket av vindretningen.



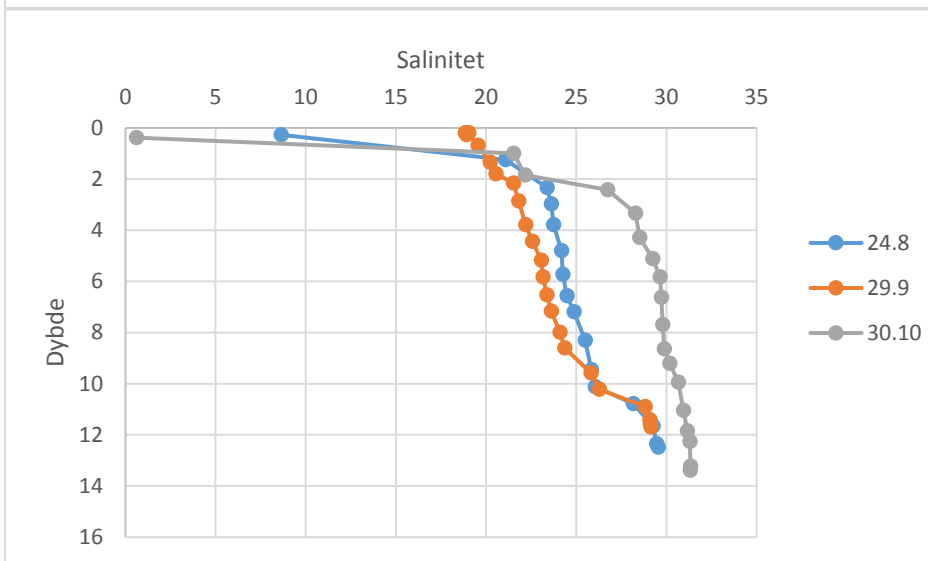
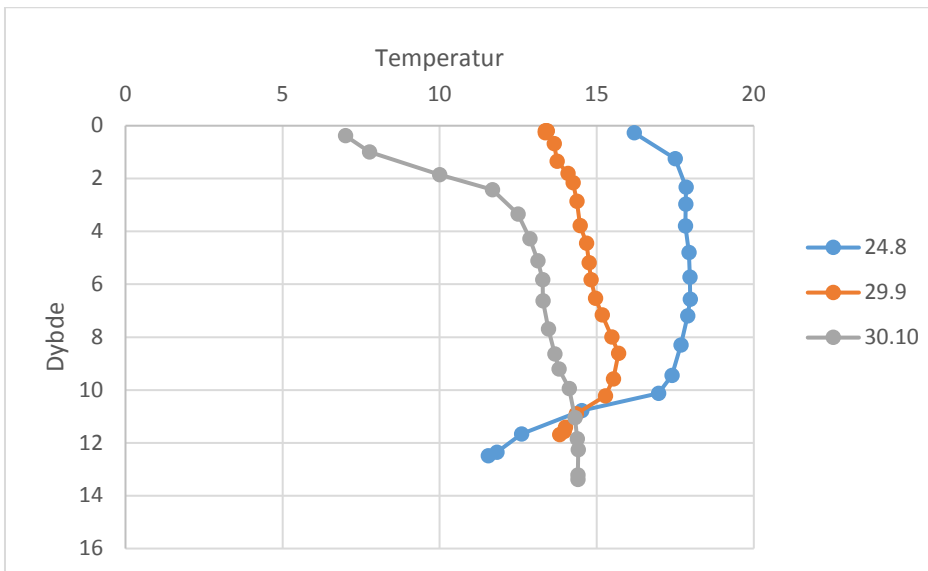


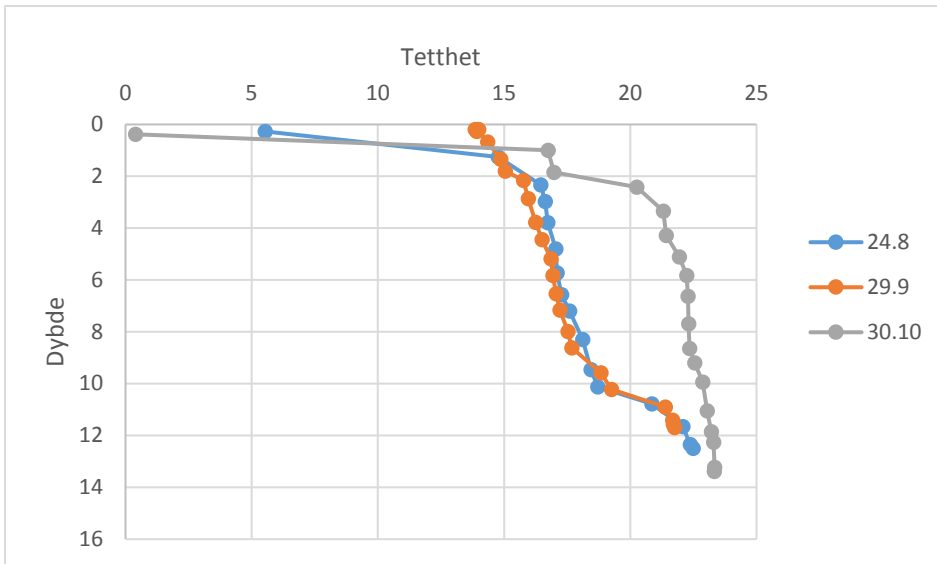
Figur 10 Temperatur, salinitet og tetthet (sigma-t) for stasjon A.



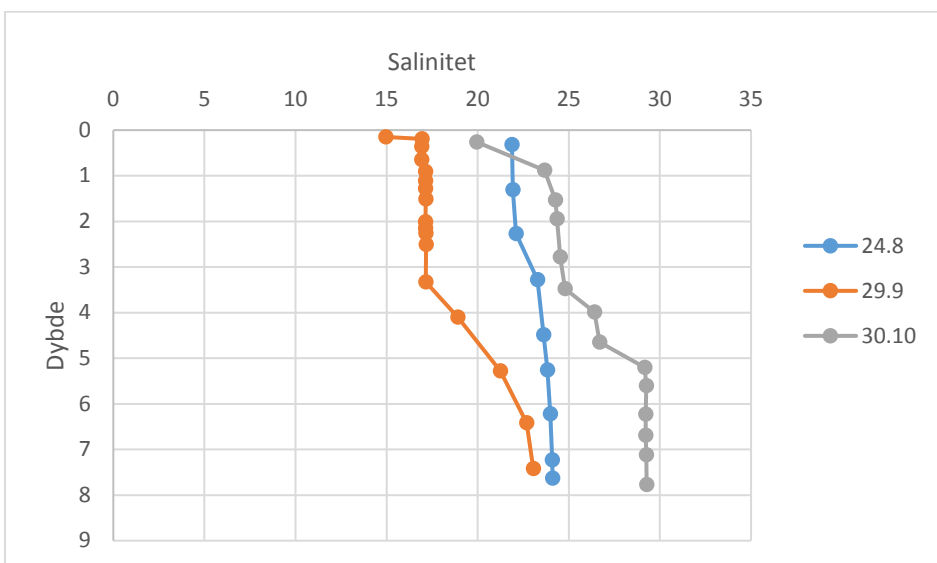
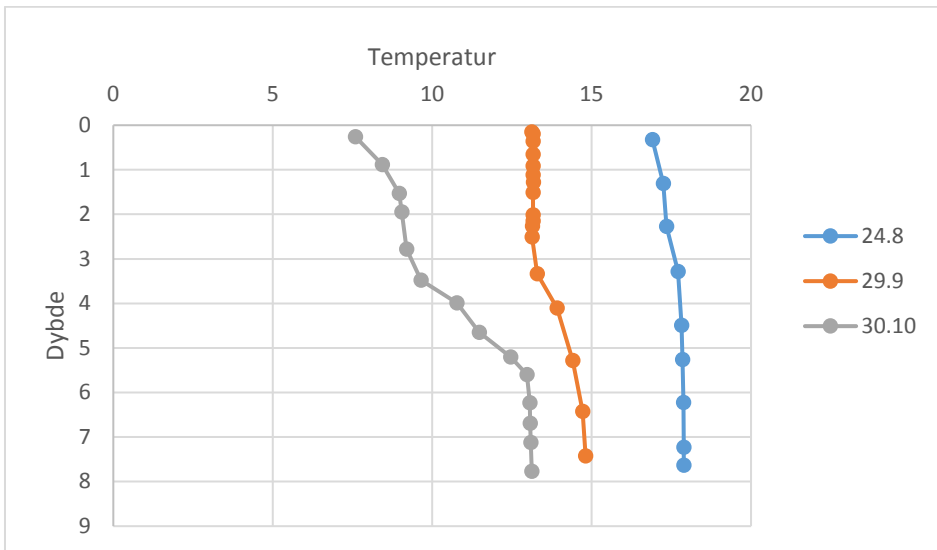


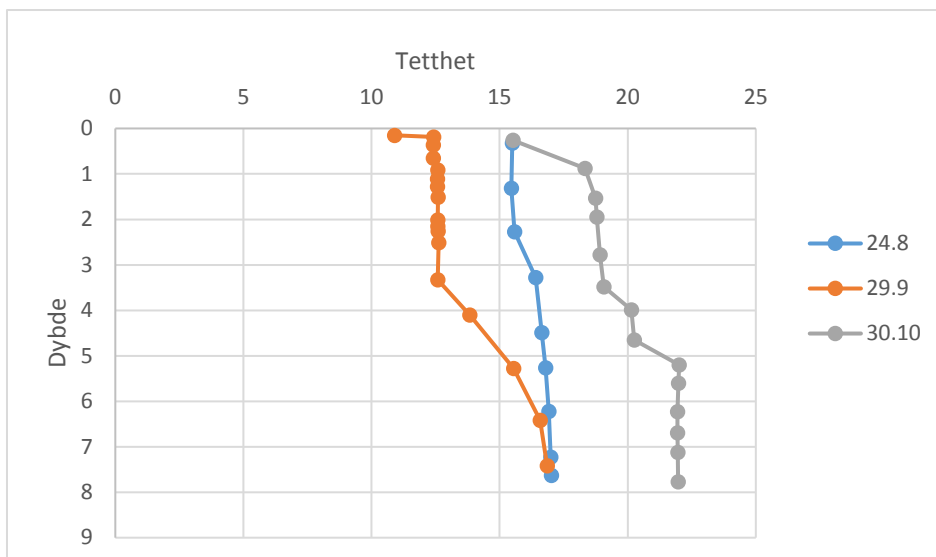
Figur 11 Temperatur, salinitet og tetthet (sigma-t) for stasjon B





Figur 12 Temperatur, salinitet og tetthet (sigma-t) for stasjon D

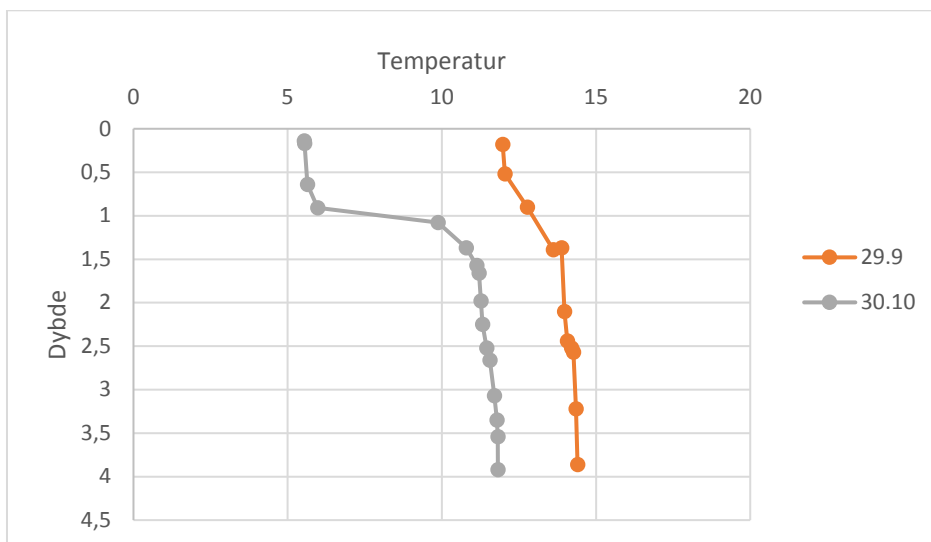




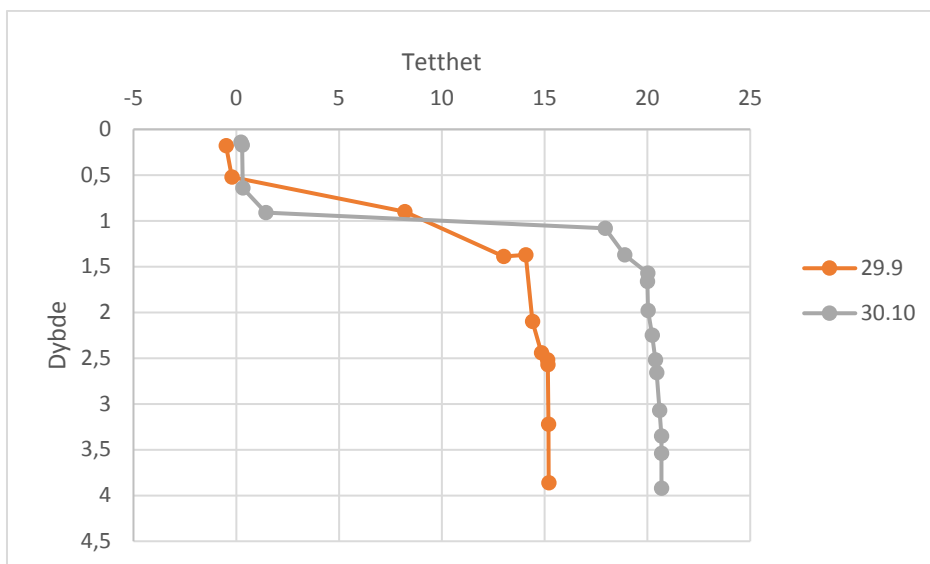
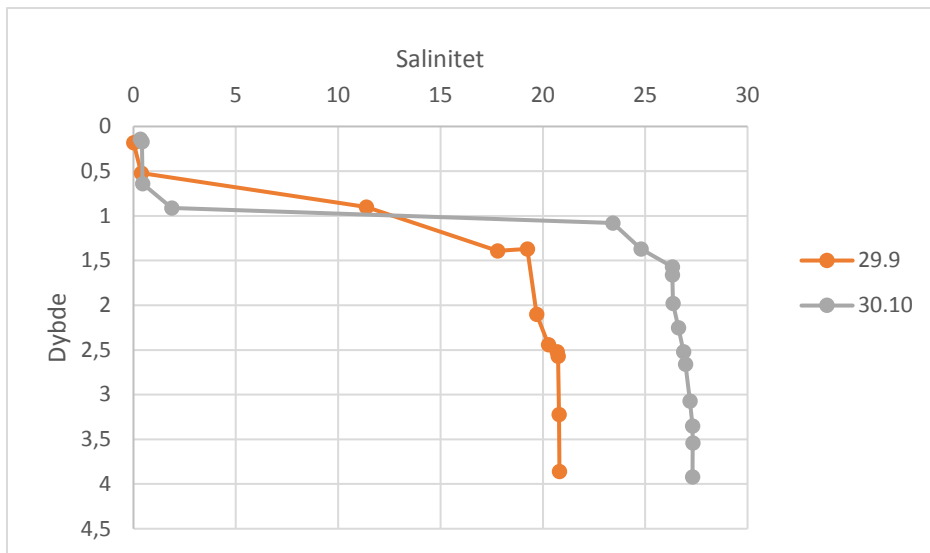
Figur 13 Temperatur, salinitet og tetthet (sigma-t) for stasjon F.

### 3.2 Målinger av temperatur, salinitet og tetthet i Aulielva

Resultater fra målingene i elva er vist i figur 14. Figurene viser verdier fra vannoverflaten og nedover. Det er viktig å være klar over at vannoverflaten ikke ligger i en konstant kote men varierer med vannstanden i elva.







Figur 14 Temperatur, salinitet og tetthet (sigma-t) i stasjon C, dvs. i Aulielva.

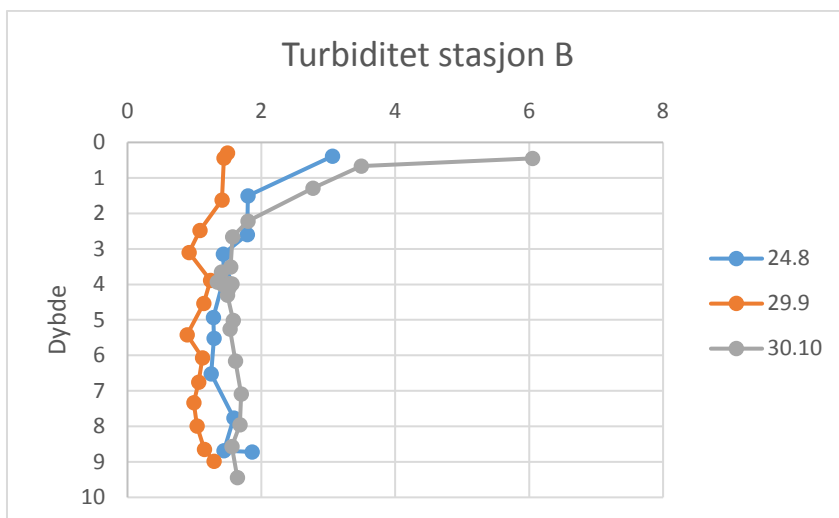
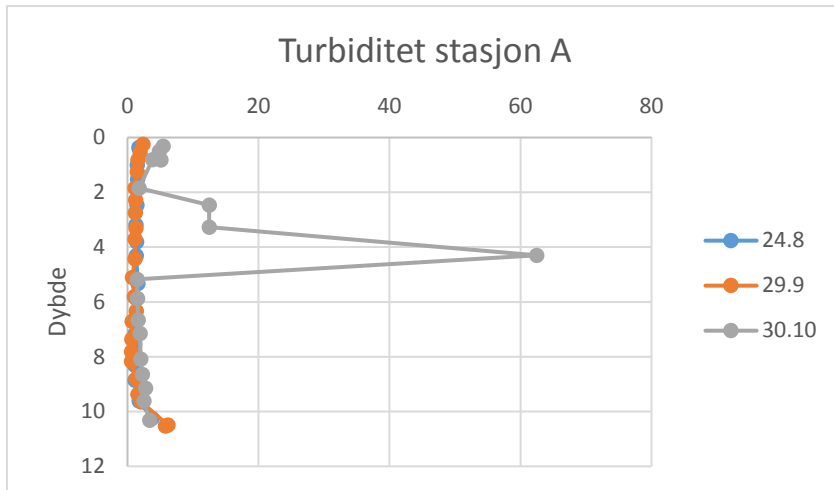
Mens temperaturmålingene viser små forskjeller i temperatur mot vandyp den 29. september ser vi et tydelig temperatursprang den 30. oktober ca. 1 meter under overflaten. Det er nærliggende å tro at vannoverflaten avkjøles raskest. Temperaturverdiene dypere ligger nærme verdiene målt i sjøen.

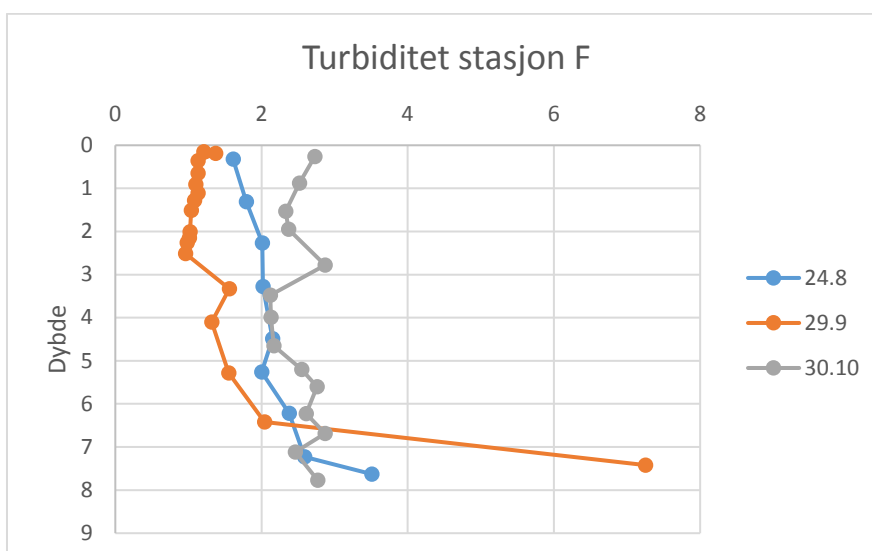
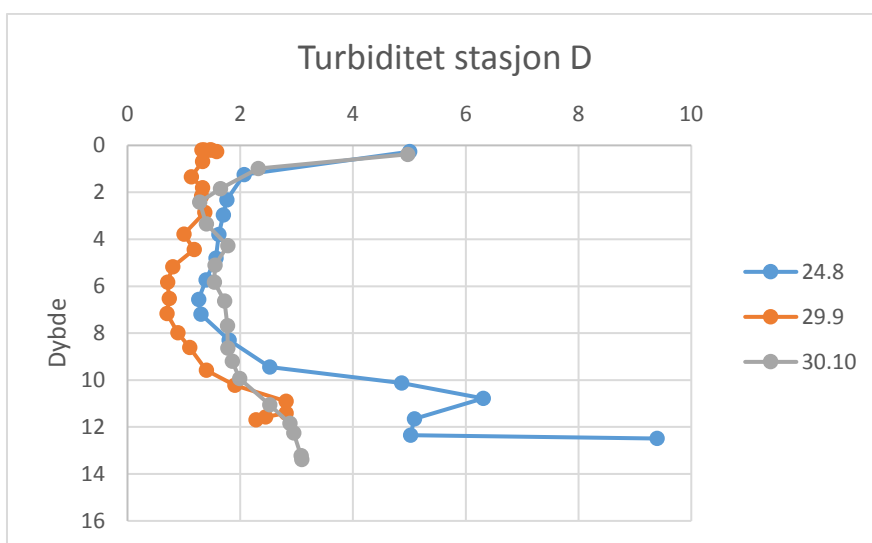
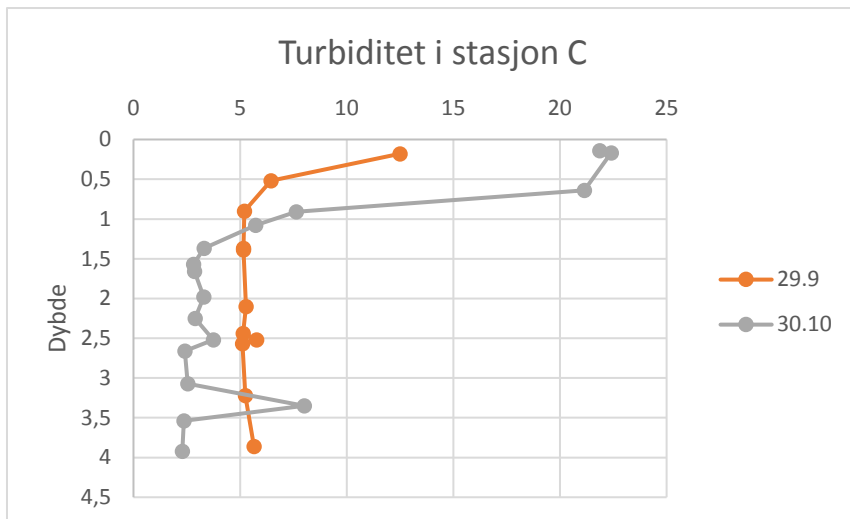
Salinitetsverdiene viser et tydelig sprang ca. 1 meter under overflaten. Her ser vi en tydelig saltvannsinntrenging, der salinitetsverdiene ligger nær det vi måler under sprangsjiktet i sjøen. Dette tyder på at sjøvannet går oppover elva når vannhastigheten i elva er lav. I perioder med mye nedbør og flom i elva presses saltvannet tilbake. Begge CTD målingene ble utført omtrent ved høyvann. Om saltvannsinntrengingen styres av tidevannet kan vi ikke si med sikkerhet, men trykkmålingene i stasjon C viser variasjoner i takt med vannstanden i fjorden i.e. tidevannet. Å påvise hvordan og hvor hurtig utskiftninger i saltvannskilen skjer vil kreve en langt mer omfattende instrumentering.

### 3.3 Målinger av turbiditet og oksygen i alle stasjoner

I tillegg til temperatur og salinitet ble det gjort målinger av oksygen og turbiditet. Turbiditet er et mål på hvor klart vannet er. Måleenheten er FTU som er en forkortelse av «Formazin Turbidity Unit». Turbiditet måles ved hjelp av et «nefelometer» som måler hvordan lyset spres i væsken. Økende FTU indikerer mer uklart vann. Ved en turbiditet på 1 FTU kan man se at vannet virker uklart. Partikler, plankton og annet som flyter i vannet vil føre til redusert turbiditet. Det var oppholdsvær alle dagene målingene ble gjennomført

Resultat av turbiditetsmålingene er vist i figurene under.





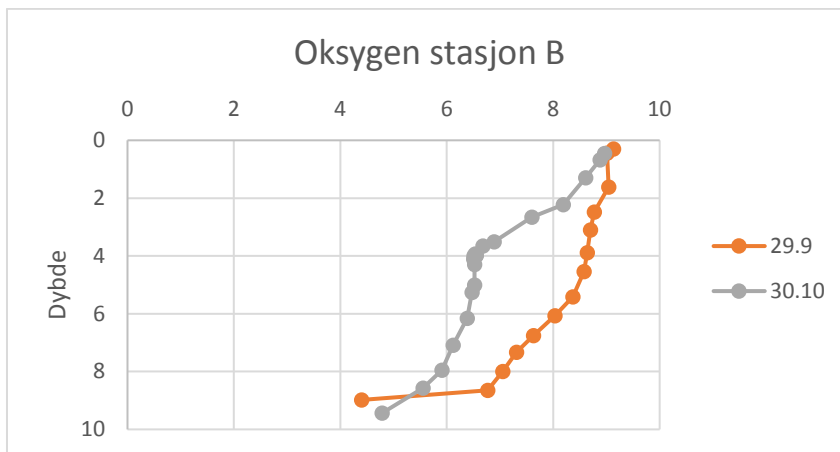
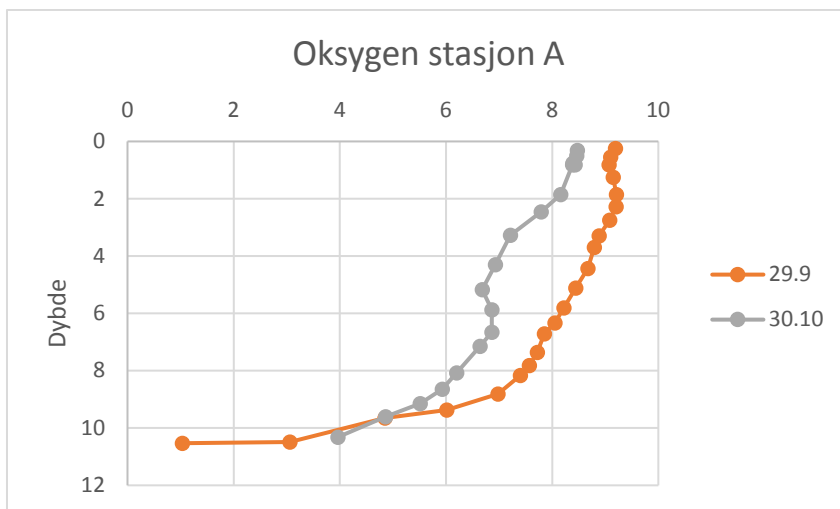
Figur 15 Turbiditet målinger i de ulike stasjonene

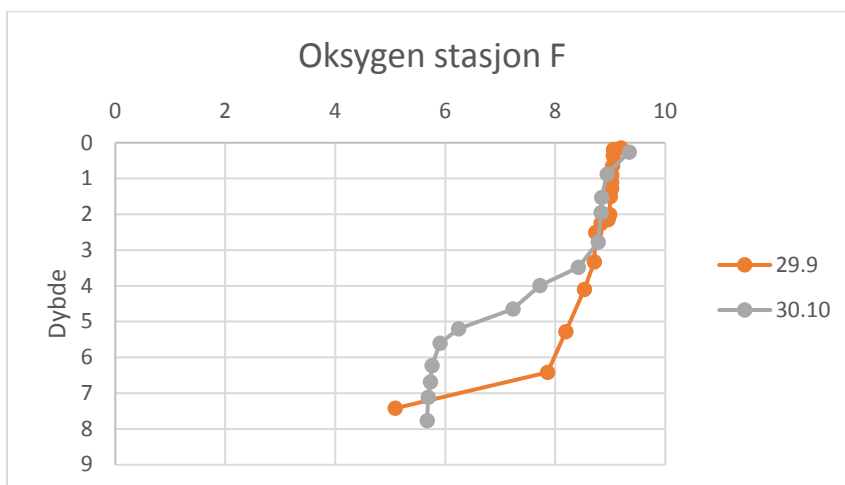
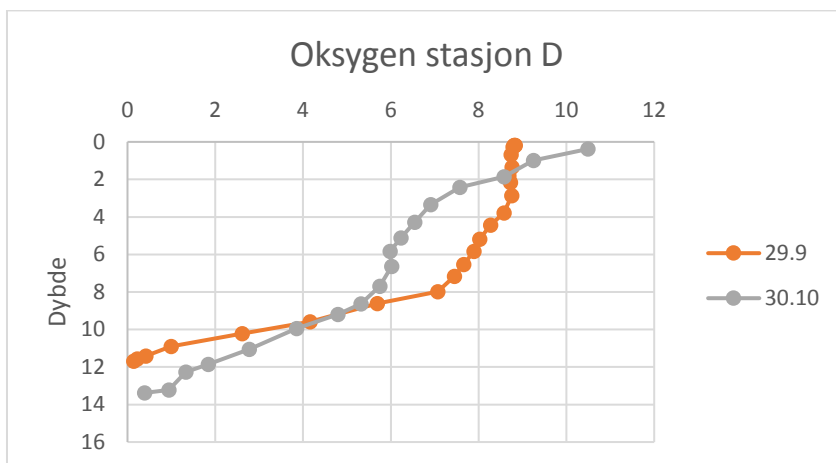
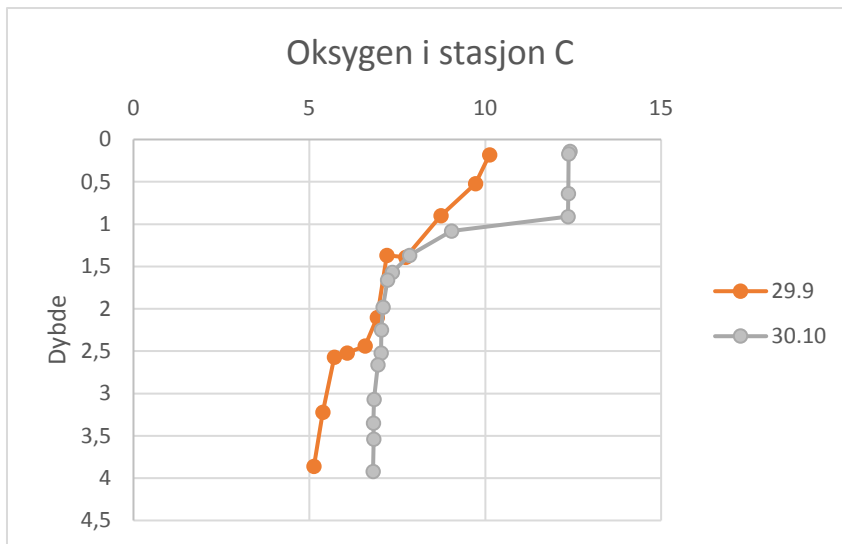
Turbiditetsverdiene målt i elva (stasjon C) skiller seg ut med høye verdier fra vannoverflaten og ca. en meter nedover. Det er tydelig en partikkeltransport i det øvre ferskvannslaget i elva. Under dette er turbiditetsverdiene mer sammenfallende med det vi ser i fjorden.

I stasjon B som ligger nærmest utløpet til Aulielva er turbiditetsverdiene vesentlig lavere noe som tyder på at partiklene som transporters i det øvre ca. 1 m tykke vannlaget i elva spres raskt når det kommer ut i fjorden. Turbiditeten i stasjon B er lavere og nokså konstant fra ca. 2 m og nedover. Dette kan indikere at mye av partikkeltransporten først og fremst foregår i det øvre vannlaget, og transporten av dette er påvirket av vindretning og lufttrykk.

I stasjon D og F som ligger i kanalen viser noen av målingene at der er mer uklart vann nær bunnen. I stasjon A ble det i oktober registrert en svært høy verdi ca. midt i vannsøylen. Dette kan være en feilmåling eller at måleren har truffet noe som blokkerer lyset.

Det ble ikke gjennomført oksygenmålinger i august, kun i september og oktober. Resultatene er vis i figur 16.





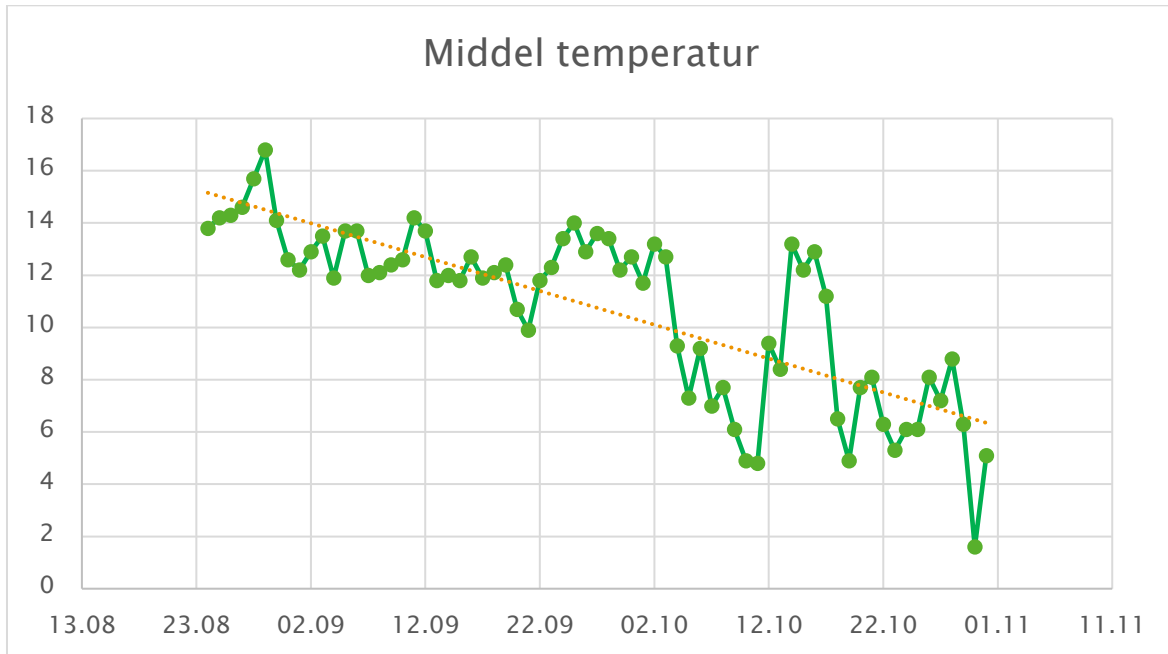
Figur 16 Oksygenmålinger i slutten av september og oktober.

Oksygenverdiene avtar som forventet nedover vannsøylen. Det er interessant å se at verdiene i Aulielva ikke avviker mye fra hva som er målt i sjøen. De laveste oksygenverdiene er målt i de dypeste vannmassene i stasjon A og D.

#### 4. Ytre påvirkninger og målinger av strøm i Aulielva

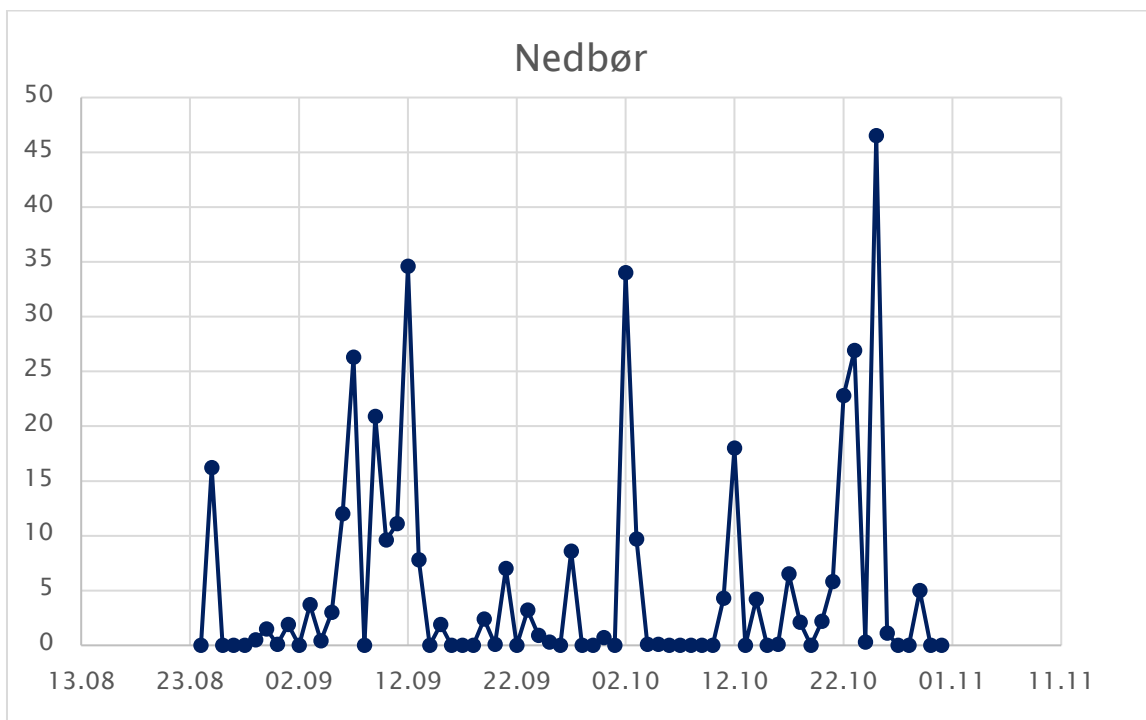
Klimatiske data som temperatur og nedbør er hentet fra Vestskogen målestasjon. Stasjonen ligger i Nøtterøy kommune, 25 m o.h. Det er den nærmeste offisielle målestasjon, 2,9 km fra punktet Tønsberg, data fra andre nærliggende stasjoner er også vurdert.

Figur 17 viser at vi i måletidsrommet har hatt et generelt temperaturfall.



Figur 17 Middel lufttemperatur (grader C) i måletidsrommet.

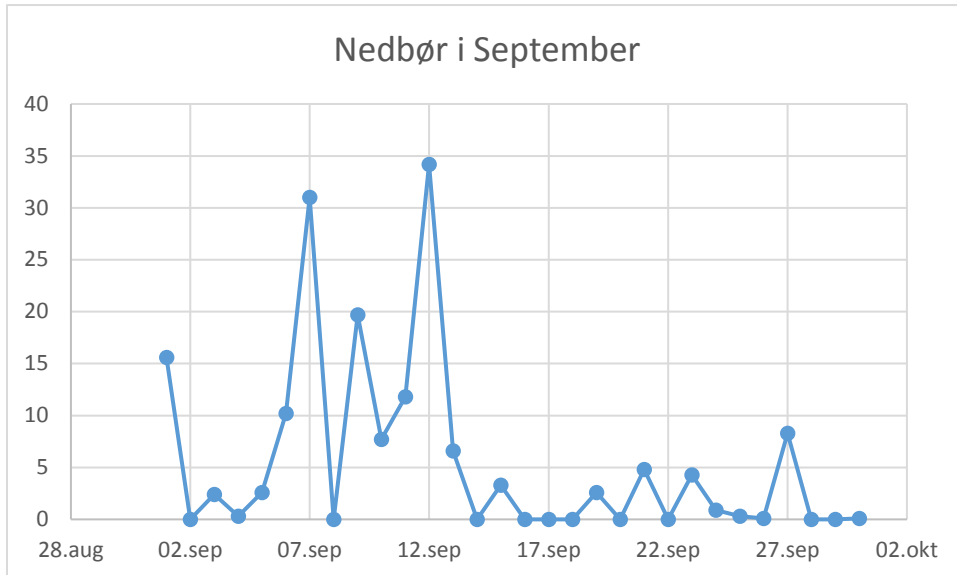
Figur 18 viser at det har vært flere episoder med mye nedbør i måleperioden.



Figur 18 Nedbør målt i mm pr. døgn.

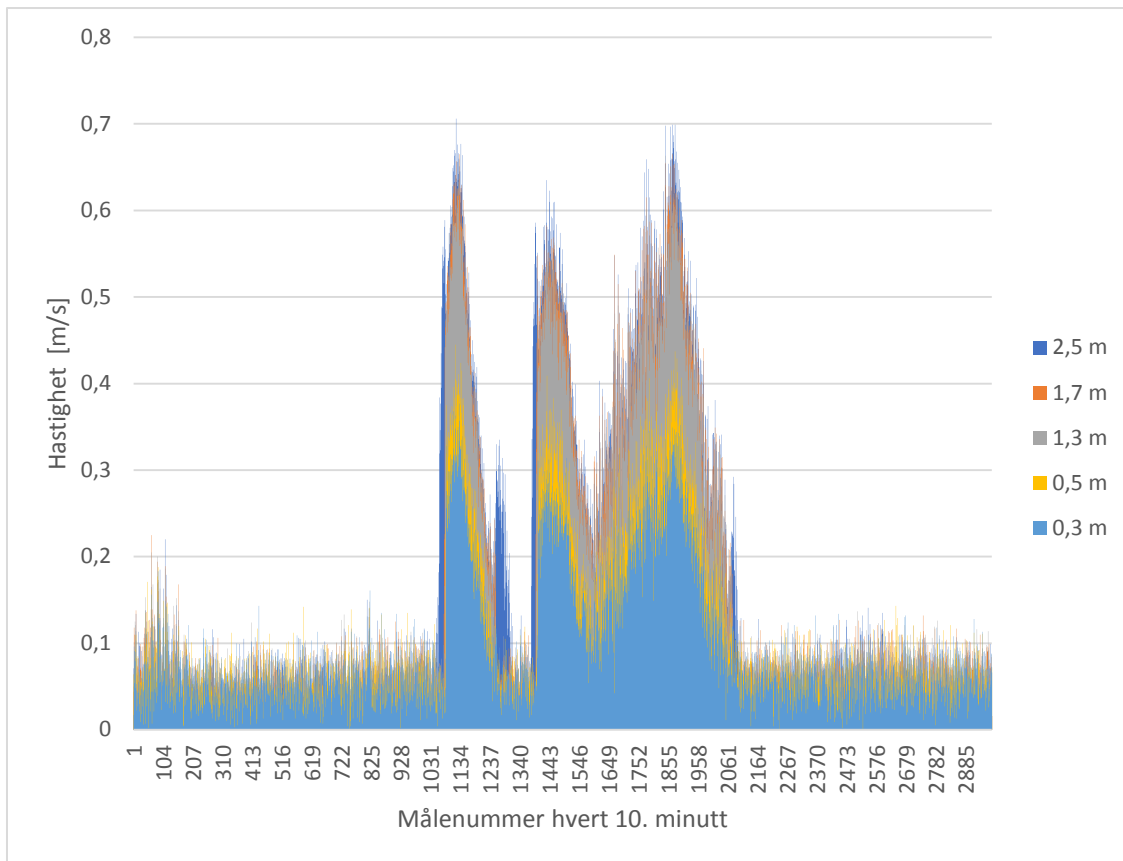
#### 4.1. Hendelser i September

I september ble det gjennomført måling av vannhastighet og strømretning i 12 dybder i Aulielva. Målingene går fra 0.3 m over instrumentet som ble plassert på elvebunnen og opp mot overflaten. Det ble gjort målinger hvert 10. minutt. Dessverre ble måleren revet ned i løpet av oktober slik at det ikke var mulig å hente ut data fra denne perioden. Vi vil derfor her kun se på resultater fra september. Figur 19 viser 24-timers nedbørverdier for september.



Figur 19 viser 24-timers nedbørsverdier i ved Tønsberg i september.

Figur 7 viser strømhastighet i stasjon C, under brua (se figur 1) i tre dybder i perioden 5. – 15. september. Figur 20 viser strømhastigheter fra hele måleperioden. Målingene er registrert fra toppen av instrumentet (0,3 m) og oppover elvetverrsnittet, x-aksen er en tidsakse som viser målnummer, der første måling startet den 30.08.2017 kl. 14.18.

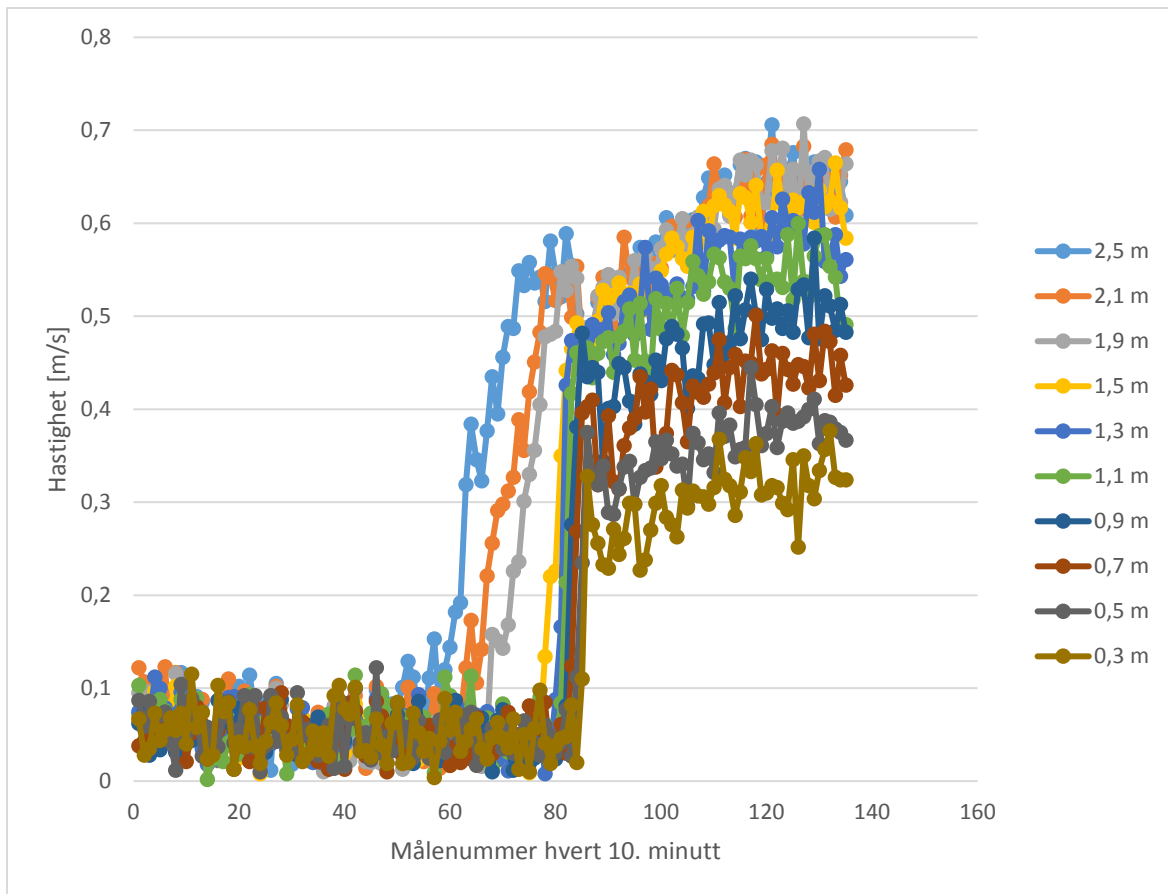


Figur 20 Målt vannhastighet fra topp av instrument (0,3 m) og oppover elvetverrsnittet. Dvs. at måling 2,5 er i toppen av elva, mens 0,3 m er nære bunnen.

Figur 20 viser at strømhastigheten er høyest i toppen av elva og avtagende nedover mot bunnen. Figur 18, 19 og 20 viser, som forventet en tydelig sammenheng mellom strømhastighet og nedbørmengde. Det er tre tydelige nedbørstopper på hhv. den 7. sep. (31 mm), den 9. sep. (19,7 mm) og den 12. sep. (34,2 mm). Disse førte til en rask og markant økning av strømhastigheten og at strømrretningen ble mer entydig nedover elva. Figur 21 viser alle registreringer mellom måle-nummer 1000 (som er den 06.09.2017 kl. 12:38) til måle-nummer 1134 (den 07.09.2017 kl. 10:58). Figuren viser hvor raskt hastigheten øker fra rundt 0,1 m/s til maksimal hastighet i de ulike nivåene. Hele elvetverrsnittet har nådd sin maksimale hastighet i løpet av rundt 200 minutter. Registrert 24-timers nedbør var 10,2 mm den 6.9, 31 mm den 7.9 og 0 mm den 8.9.2017.

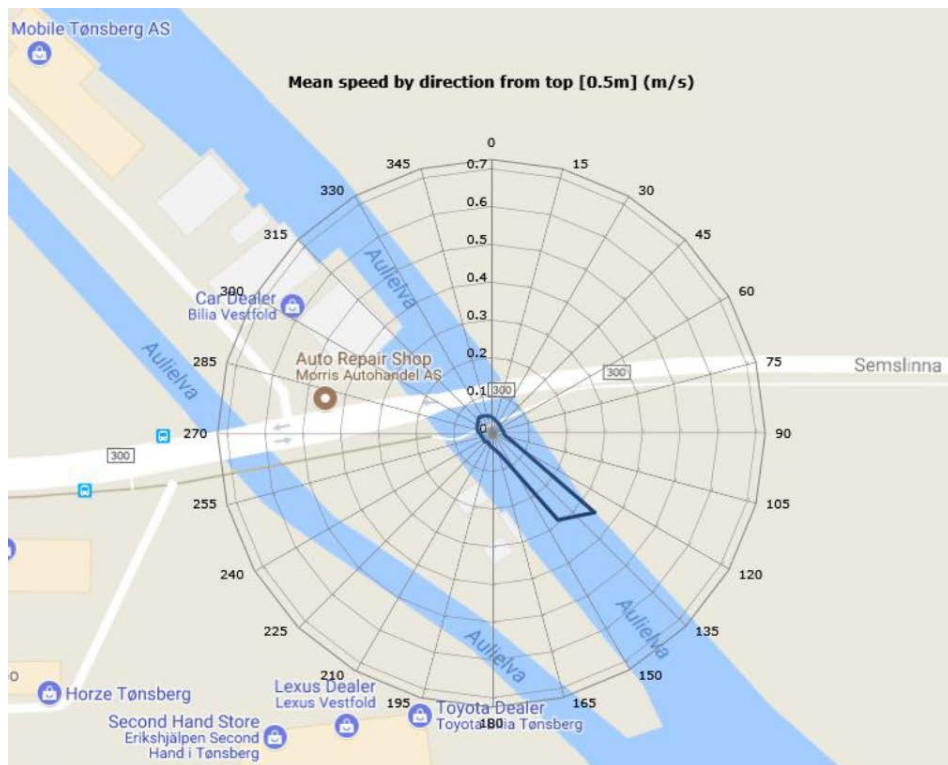
Figur 20 viser at strømhastigheten faller tilsvarende raskt når nedbøren stutter.





Figur 21 Strømhastighet i elva fra 6/9 2017 kl. 12:38 til 7/9 2017 kl. 10:58

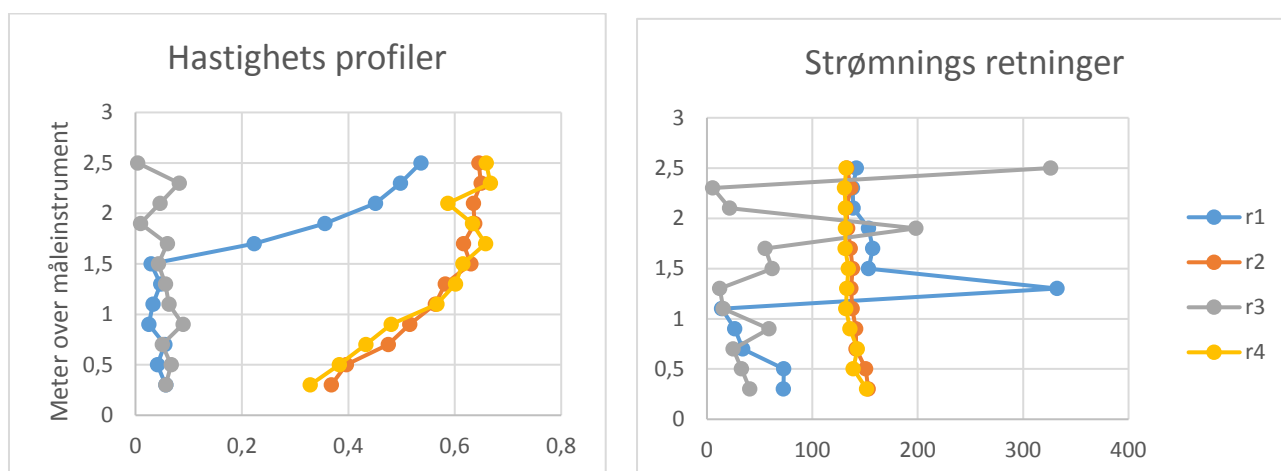
Et tilsvarende plott av strømretning for hele datasettet er ikke vist her, men hastighet og retning er vist i strømmrosen i figur 22.



Figur 22 Hastighets og retningsdiagram for strøm i elva.

Hastighetsrosen i figur 22 viser at strømning nedover elva ligger mellom 135 og 150 grader. Ved lav vannhastighet er retningen på strømmen mer skiftende (se også figur 7). Dette kommer også frem i figur 23 der hastighet- og strømningsprofil er tatt ut for 4 ulike tidspunkter gitt i tabellen under.

Symbol figur 23	Tidspunkt	Nedbør
r1	7.9.17, kl. 01:08:20	Ja
r2	7.9.17, kl. 06:58:20	Ja
r3	17.9.17, kl. 12:58:20	Nei
r4	11.9.17, kl. 22:18:20	Ja



Figur 23 Hastighet og strømningsprofiler for 4 ulike dager.

Ved tidspunkt «r1» har det vært nedbør, i moderate mengder fra dagen før og vi ser en tydelig økning i strømhastigheten i toppen av elva der det er ferskvann. I antatt saltvannskile (se figur 14) fra ca. 1,5 m og ned mot bunnen er vannhastigheten fortsatt lav. Dette kan komme av at flomvannet fortsatt ikke har erodert bort det underliggende saltvannslaget. Når hastigheten øker blir strømningsretningen også mer konstant. Ca. 6 timer senere i «r2» har strømningshastigheten nådd sitt høyeste nivå gjennom hele vannsøylen. Det er nærliggende å anta at saltvannskilen på dette tidspunktet er borte, men vi har ingen målinger som bekrefter dette.

Kurven «r3» er fra et tidspunkt uten nedbør. Her er strømhastigheten lav ( $< 0,01$  m/s) strømrretningen variabel. Strømrretninger mellom 315 og 330 grader er oppover elva, se hastighetsrosen i figur 22.

Kurven «r4» viser maksimal hastighet i forbindelse med nedbørsperioden den 11. – 12. september. Hastighetsprofilen er sammenfallende med nedbørsperioden den 6. – 7. september vist i kurven «r2».

Ved å sammenlikne målinger av nedbør og strømhastighet med lik oppløsning kan man se hvor lang tid det tar fra nedbørsstart til vannhastigheten i elva øker og når maksimal hastighet. Aulielva har et stort nedbørsfelt, se figur 24, men ca. 95 % er dekket av skog og dyrket mark. Dette indikerer at ved kortere nedbørsperioder, som vi har registrert her er det kun en liten del av nedbørsfeltet som bidrar til rask avrenning.

Ved målestasjonen i Aulielva ble elvetverrsnittet målt inn til  $94,51 \text{ m}^2 \approx 95 \text{ m}^2$ . Høyeste målte vannhastighet i elva var på ca.  $0,7 \text{ m/s}$ . Hvis vi antar lik strømhastighet i hele elvetverrsnittet gir det en volumstrøm på  $66,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den teoretiske årsmiddelvannføring ved Aulielvas utløp er ca.  $7,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (referanse Vannportalen).

I følge beregninger fra NVE (se Vedlegg 1) har Aulielva en middelflom  $Q_M \approx 84,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dette viser at de høyeste strømhastighetene som ble målt i september 2017 ikke førte til noen stor flom i elva.



### Lavvannskart

Vassdragsnr.: 014.A0  
 Kommune: Tønsberg  
 Fylke: Vestfold  
 Vassdrag: AULIVA.SSDRAGET

Feltparametere	
Areal (A)	365.0 km <sup>2</sup>
Effektiv sjø ( $S_{eff}$ )	0.0 %
Elvelengde ( $E_L$ )	41.4 km
Elvegradient ( $E_G$ )	3.6 m/km
Elvegradient <sub>1085</sub> ( $G_{1085}$ )	1.1 m/km
Feltlengde ( $F_L$ )	28.5 km
$H_{min}$	1 moh.
$H_{10}$	23 moh.
$H_{20}$	44 moh.
$H_{30}$	60 moh.
$H_{40}$	75 moh.
$H_{50}$	85 moh.
$H_{60}$	99 moh.
$H_{70}$	114 moh.
$H_{80}$	132 moh.
$H_{90}$	166 moh.
$H_{max}$	422 moh.
Bre	0.0 %
Dyrket mark	35.1 %
Myr	0.4 %
Sjø	1.0 %
Skog	59.9 %
Snau fjell	0.0 %
Urban	1.5 %

### Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	16.2 l/(s*km <sup>2</sup> )
Alminnelig lavvannføring	0.9 l/(s*km <sup>2</sup> )
5-persentil (hele året)	1.0 l/(s*km <sup>2</sup> )
5-persentil (1/5-30/9)	0.8 l/(s*km <sup>2</sup> )
5-persentil (1/10-30/4)	1.7 l/(s*km <sup>2</sup> )
Base flow	6.2 l/(s*km <sup>2</sup> )
BFI	0.4

### Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	1029 mm
Sommernedbør	440 mm
Vinternedbør	589 mm
Årstemperatur	5.7 °C
Sommertemperatur	13.3 °C
Vintertemperatur	0.3 °C
Temperatur Juli	15.9 °C
Temperatur August	15.0 °C

1) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk  
 Kartdatum: EUREF89 WGS84  
 Prosjeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Figur 24 Nedbørfelt og vannføringsdata for Aulielva hentet fra NVE's nettportal Nevina.

## 5. Oppsummering

1. Strømmålingene, selv om de er begrenset til en forholdsvis kort periode av ca. 2 mnd., har gitt en vesentlig bedre forståelse av strømforholdene i fjorden.
2. De største strømtoppene kommer i forbindelse med hendelser knyttet til de meteorologiske forhold dvs. endringer i lufttrykk og vind (styrke og retning) og nedbør.
3. Strømmålingene i fjorden viser strømhastigheter med topper på ca. 0,4 m/s. Det tilsvarer de strømnivåer som ble brukt i simuleringene i rapport nr. 533.
4. Tidevannsstrømmen er svak og ubetydelig i forhold til andre påvirkninger, men endringene i vannstanden knyttet til tidevannet er gjennomgående mer regelmessige og tydelige.
5. Det er en tydelig saltvannsinntrenging i Aulielva. Denne ble påvist på tider nær høyvann i sjøen og ved lav vannhastighet i elva. Utfyllinger i grunne områder nær land i forbindelse med fjordkryssingene vil ha svært liten påvirkning på tidevannshøydene i Byfjorden. En må dermed gå ut fra at saltvannskilen i elva heller ikke blir påvirket av utfyllingene.
6. Dannelse og utskiftningen av saltvannskilen i Aulielva er påvirket av bunntopografi ved elvemunningen og vannstandsendringer i fjorden. Vi har ikke data til å kunne analysere dette i mer detalj.

7. CTD målinger, samt målinger av turbiditet og oksygen indikerer at partikkeltransport i elva er størst i den øvre meteren og at partikkeltettheten avtar når elva møter fjorden der partiklene fordeler seg over et større horisontalt tverrsnitt.
8. Mye nedbør gir, ikke uventet, sterk strøm ved utløpet av Aulielva med målte strømtopper på opptil 0,7 m/s i toppen av vannsøylen. Strømhastigheten avtar mot elvebunnen. Strømstyrken er bestemt av mengde og varighet på nedbør.
9. Høyeste målte strømhastighet i Aulielva i september ga en flomvannføring under en beregnet middelsflom ( $Q_M$ ).

## 6. Konklusjon

1. Strømmålingene bekrefter at strømnivåene som ble undersøkt i simuleringene i rapport nr. 533 er realistiske.
2. Det er tydelig tetthetssjiktning i fjorden i deler av måleperioden. Sjiktningen ser ut til å variere med nedbør- og temperaturforholdene.
3. Det ble påvist en tydelig saltvannsinntrenging ved målestasjonen i Aulielva. Hvor ofte saltvannet skiftes ut kan vi ikke si noe om. Ettersom utfyllinger i grunne områder nær land i forbindelse med fjordkryssingen vil ha svært liten påvirkning på vannstand og tidevannshøydene i Byfjorden må en gå ut fra at saltvannskilen i elva heller ikke blir påvirket.
4. Vannhastigheten i Aulielva øker raskt når den delen av nedbørsfeltet som bidrar til direkte avrenning mobiliseres.
5. Trykkmålinger i nedre del av Aulielva (stasjon C) viser at endringer i vannstanden i elva er korrelert med vannstanden i fjorden. Dataene gir ikke grunnlag for å følge inntrenging av saltvannskilen i bunnen av elva.
6. Målingene viser, som forventet at forholdene i fjorden er mer komplekse enn antatt under simuleringene i rapport 533. Det endrer ikke hovedkonklusjonen i rapporten at virkningen av utfyllinger/spuntvegger (alternativ I og II) vil være begrenset til de grunne områdene nær utfyllingene/spuntveggene.
7. Sirkulasjonen og utvekslingen av vannmassene i dypere deler av Byfjorden ventes derfor ikke å påvirkes i vesentlig grad av de planlagte utfyllingene nær land. Det forutsettes da at selve senketunnelen blir bygd slik at dybdeforholdene i fjorden ikke endres i vesentlig grad.

## 7. Referanser

- [1] SVV rapport Nr. 533. Fastlandsforbindelsen mellom Nøtterøy og Tønsberg. Endringer i strømforholdene i Byfjorden og Tønsberg havn.
- [2] Datarapporter og rådata fra målinger utført av Norconsult.
- [3] Vannstandsdata fra [https:// www.kartverket.no/sehavniva/](https://www.kartverket.no/sehavniva/)

## 8. Vedlegg

Notat som beskriver en flomsituasjon i Aulielva.

# Vurderinger av situasjoner med ekstrem flom i Aulielva

av

Bjørn Gjevik<sup>1</sup>

Dato 31. mai 2017

## 1. Resultater og vurderinger

Under møte med representanter fra miljøvernavdelingen hos fylkesmannen i Vestfold den 19. mai i Tønsberg ble det opplyst at vannføringen i Aulielva under ekstreme forhold kan bli vesentlig større enn hva som ble antatt i rapporten av Gjevik, Gundersen og Sandbo (2017). På nettsiden NEVINA Nedbør-Vannføring-INdeks-Analyse oppgis følgende verdier for middel-, 50-års, 100-års og 200-års flom:

$Q_M$	84,5	$m^3/s$
$Q_{50}$	181,6	-
$Q_{100}$	210,0	-
$Q_{200}$	242,3	-

En klimafaktor på f. eks. 1,4 vil gi tilsvarende høyere verdier.

Vi har i etterkant av møtet utført simuleringer med en vannføring tilsvarende en 100-års flom,  $Q_{100} = 210$  kubikkmeter per sekund. Det er benyttet samme modell som beskrevet i rapporten, men for å vise elvestrømmen tydeligere er det ikke lagt på en gjennomstrømning gjennom modellranden øst i Kanalen og i Vestfjorden sør for Smørberg. Resultatet er vist i fig. 1.

Det blir kraftig strøm i det grunne utløpet med strømhastighet godt over  $2 m/s$ . Strømhastigheten avtar lenger ut i fjorden der dypet er større. Vi ser også at strømmen legger seg over mot vestsiden. Selve strømbildet er ganske likt med det som ble beskrevet i rapporten (Gjevik, Gundersen og Sandbo 2017), bortsett fra at strømhastigheten er større.

I denne modellen forutsettes det at ferskvannet blandes inn i hele vannsøylen. En må regne med at ferskvannet i visse situasjoner kan legge seg i et forholdsvis tynt lag over saltvannet under. Midtfjords kan det bli et skarpt skille (front) mellom ferskvann og saltvann (se bildet, forside og fig. 3 i rapporten). Detaljert informasjon om dette vil en bare få ved målinger i fjorden.

En kan gjøre overslag over strømhastigheter ved Strømberg dersom det oppstår en ferskvannskile langs vestsiden av fjorden. Antar en f.eks. at ferskvannet har en tykkelse av  $4 m$  ved land og tykkelsen avtar jevnt til null i en avstand av  $400 m$  fra land vil en volumstrøm på  $200$  kubikkmeter per sekund gi en strømhastighet på  $25 cm/s$ . Det er samme størrelsesorden som for strømhastigheten som ble brukt for å se virkningen av utfyllingene (Gjevik, Gundersen og Sandbo, 2017). Er ferskvannslaget tynnere vil strømhastigheten bli større, men neppe mye mer enn  $50 cm/s$ .

I ferskvannskilen vil det pga. turbulens blandes inn noe saltvann fra laget under og på utsiden. Det vil bli transportert ut av fjorden sammen med ferskvannet fra Aulielva. For

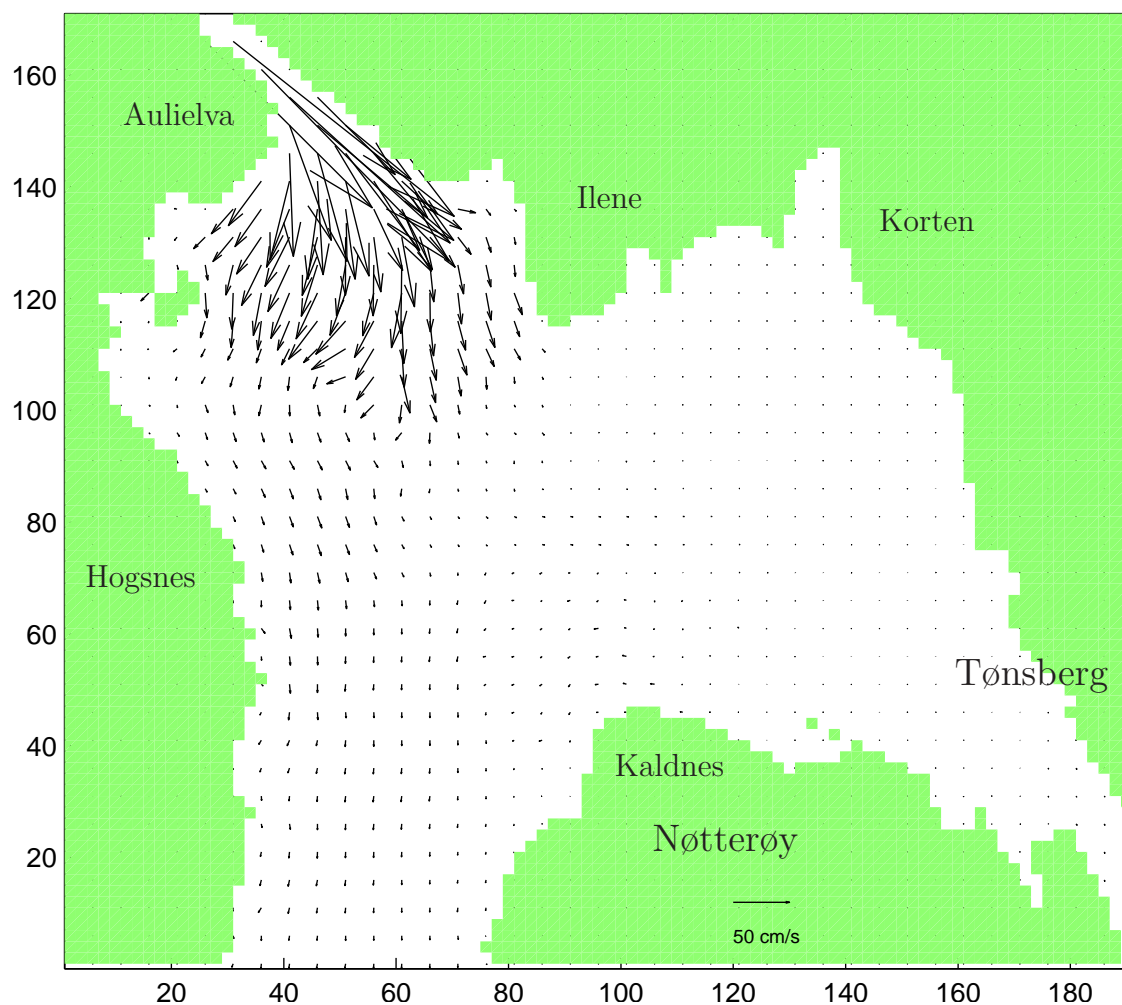
---

<sup>1</sup>Dr. philos, professor emeritus, Matematisk institutt, Universitetet i Oslo. epost: bjorng@math.uio.no

å erstatte dette tapet må det strømme saltere vann inn i Byfjorden (returstrøm, estuarin sirkulasjon).

Utfyllinger fra Kaldnes og Smørberg vil føre til økt strømhastighet utenfor enden av utfyllingene. Mer turbulens i vannet vil øke innblanding av saltvann i ferskvannskilen. Derved vil returstrømmen av saltvann inn i Byfjorden øke, noe som kan føre til raskere utskiftning av vannmassen i Byfjorden. Økt strømhastighet vil også føre til større bakevjer på lesiden av utfyllingen. Hvordan det vil påvirke sedimentasjon vil avhenge av hvordan partikler i elvevannet blandes inn i bakevjene.

Bare målinger i fjorden vil gi pålitelig informasjon om hvordan alle disse prosessene utvikler seg under forskjellige forhold.



Figur 1: Simulert ferskvannstrøm fra Aulielva med vannføring tilsvarende en 100-års flom ( $Q_{100}$ ). Dagens bunntopografi uten utfyllinger er brukt. Enhetene på aksene er gitteravstanden i modellen,  $\Delta x = 10$  m.

## 2. Konklusjon

- Større vannføring i Aulielva under en 100-års flom ( $Q_{100}$ ) vil hovedsakelig innvirke på forholdene ved utfyllingene fra Kaldnes og Smørberg (Senketunnel alt. 1).



- Forholdene ved utfyllingene for alt. 2, senketunnel mellom Kaldnes og Korten er lite berørt av utstrømningen fra elva.
- Med større vannføring tilsvarende  $Q_{200}$  med klimafaktor (1,4) kan en forvente en økning av strømhastigheten i ferskvannskilen langs vestsiden av fjorden på ca. 60 % i forhold til ved en 100-års flom
- En ekstrem flom,  $Q_{100}$  og større, vil ha forholdsvis kort varighet og vil derfor ha mindre betydning for vannutvekslingen i fjorden enn tidevann og episoder med sterk vind som er langt hyppigere hendelser.
- Øket ferskvannstrøm langs vestsiden av fjorden kan forsterke returstrømmen av saltvann og bidra til raskere utskiftning av vannmassene og antagelig bedre næringstilgangen i Byfjorden.

### **3. Litteratur**

Gjevik, B., Elisabeth Gundersen og Hilde C. Sandbo (2017). Fastlandsforbindelsen mellom Nøtterøy og Tønsberg. Endringer i strømforholdene i Byfjorden og Tønsberg havn. Statens vegvesens rapporter nr. 533, 2017, 32 sider.



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO  
Tlf: (+47) 22073000  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**