

► Vurderinger av endringer i strømforhold som følge av utdypinger i skipsledene i Tromøysund og Galtesund

Sammendrag

Norconsult har utført strømmålinger i Galtesund og i Tromøysund ved Eydehavn sommeren 2021 (Norconsult 2021a). I denne rapporten benyttes strømmålingene, hydrodynamisk modell data og bunndata til å vurdere dagens strømforhold og mulige endringer som følge av utdyping av skipsleder.

Både i Galtesund og Tromøysund medfører utdyping sannsynligvis noe økt vannutveksling da innsnevringssområder som begrenser utvekslingen mellom kysten og indre deler av sundene åpnes mer opp. Økningen i utveksling vil være liten og det forventes små endringer i strømhastigheter. Ved Eydehavn vil trolig utdypingen føre til mer uniforme strømforhold med færre virvler i overflaten i og nær utdypingsområdet.

Strømendringene antas ikke å ha vesentlig effekt i forhold til båttrafikken i området. I overflatevannet er det stor variabilitet i vind og ferskvannstilførsel, og det er derfor usikkert om det er mulig å påvise endringer av strømforhold ved sammenligning av målinger før og etter tiltak.

J02	2021-12-13	For bruk	Anita Whitlock Nybakk	Stig Bjørlew Dalsøren	Anita Whitlock Nybakk
D02	2021-12-10	Til godkjenning hos oppdragsgiver	Anita Whitlock Nybakk	Stig Bjørlew Dalsøren	Anita Whitlock Nybakk
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

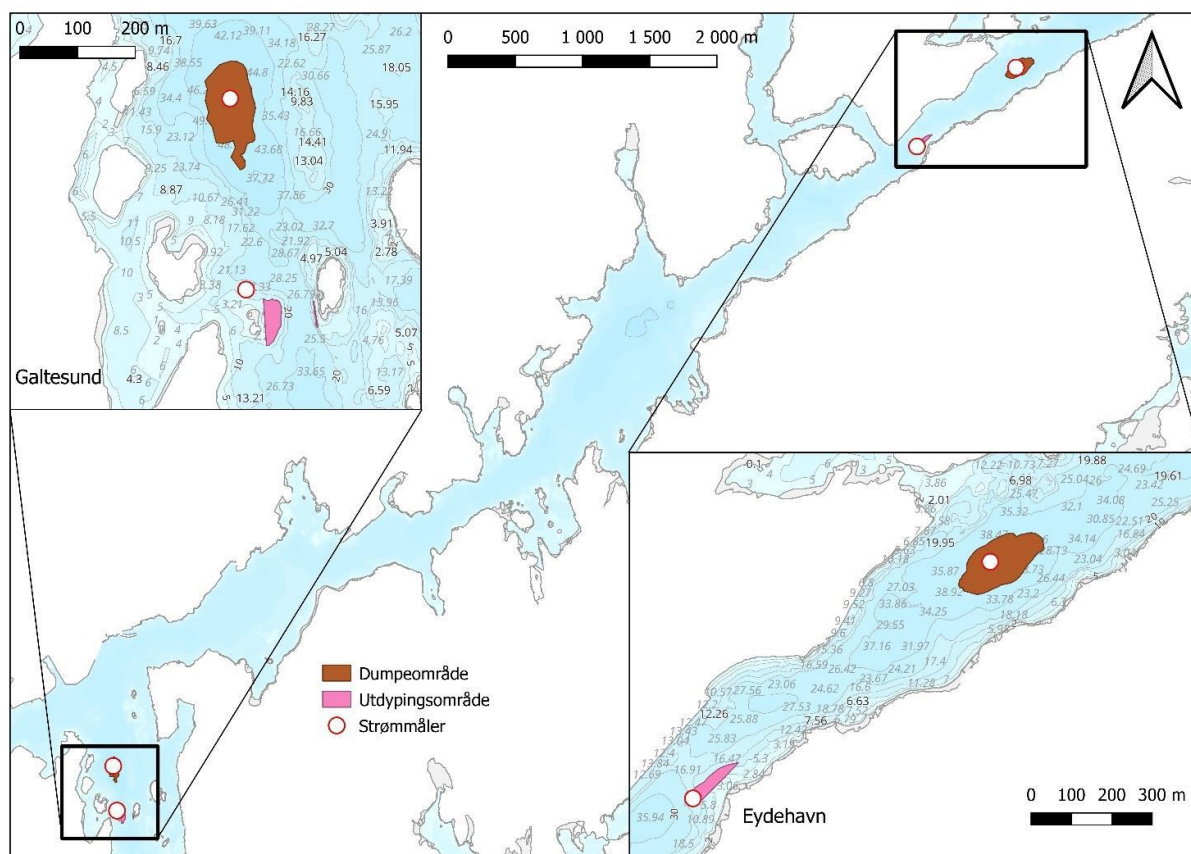
Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

1 Hensikt

På oppdrag fra Kystverket har Norconsult målt strøm i Galtesund og ved Eydehavn i innseilingen til Arendal sommeren 2021 i aktuelle utdypings- og dumpeområder (Figur 1). Resultatene er rapportert i rapport RIM05 Strømmålinger (Norconsult, 2021a). I denne rapporten blir det gjort vurderinger av hvordan utdypingene vil påvirke strømforhold i Galtesund og Tromøysund ved Eydehavn.

2 Grunnlag

I tillegg til strømmålinger (Figur 1, Norconsult 2021a) og informasjon om endringer i batymetrien som følge av utdyping, benyttes resultater fra den hydrodynamiske modellen NorFjords til vurderinger og illustrasjon av den overordnede sirkulasjonen i området. NorFjords er spesielt utviklet av Havforskningsinstituttet (HI) i samarbeid med Meteorologisk institutt for å simulere strøm og hydrografi i kystområder og fjorder.



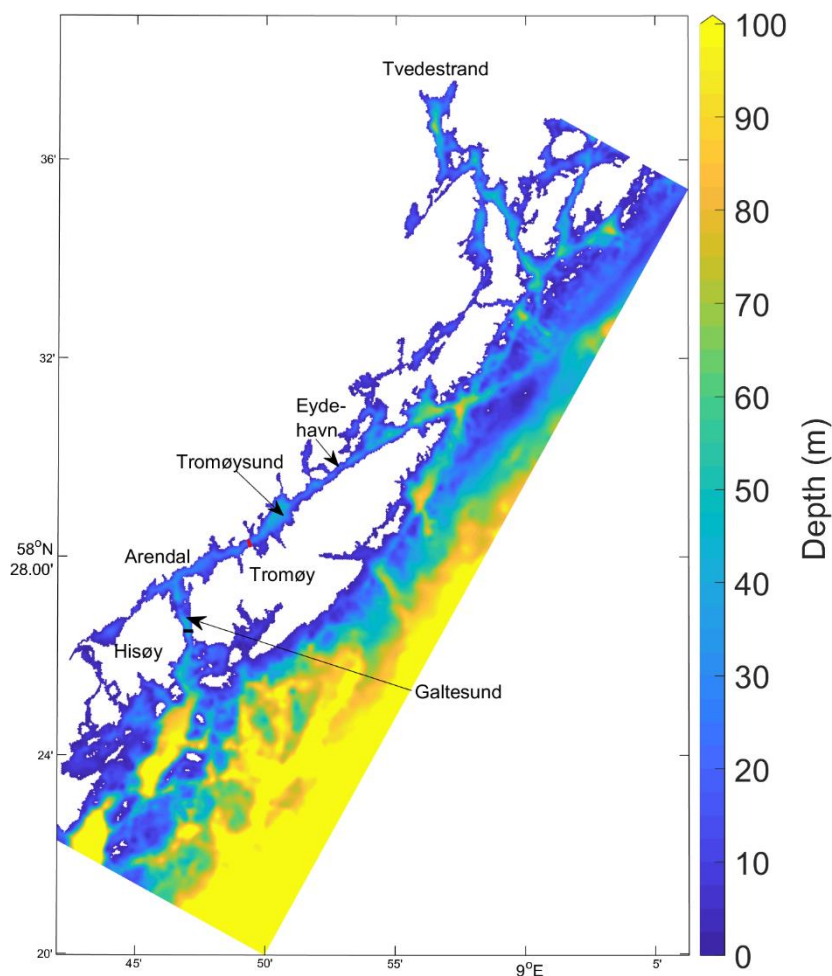
Figur 1: Utdyping- og dumpeområder og plassering av strømmålere i Galtesund og ved Eydehavn sommeren 2021.

3 Vurderinger

I dette avsnittet blir bunndata, data fra NorFjords for 2018 og data fra strømmålinger utført sommeren 2021 benyttet til å vurdere tiltakets påvirkning på strømforholdene i innseilingen til Arendal.

3.1 Strømforhold i Tromøysund og Galtesund

For Arendalsområdet er NorFjords satt opp med 32 m horisontal oppløsning og 35 vertikale lag dekker vannsøylen fra overflaten til bunnen (Figur 2 viser modellområdet). Simulering er gjort for hele 2018. Strømdataene analysert og brukt til figurene i dette dokumentet er hentet fra HIs resultatarkiv.



Figur 2: Modellområde for NorFjords i Arendal og omegn inkludert bunndybder i modellen. Rød og sort linje viser snittene brukt i Figur 3 - Figur 5

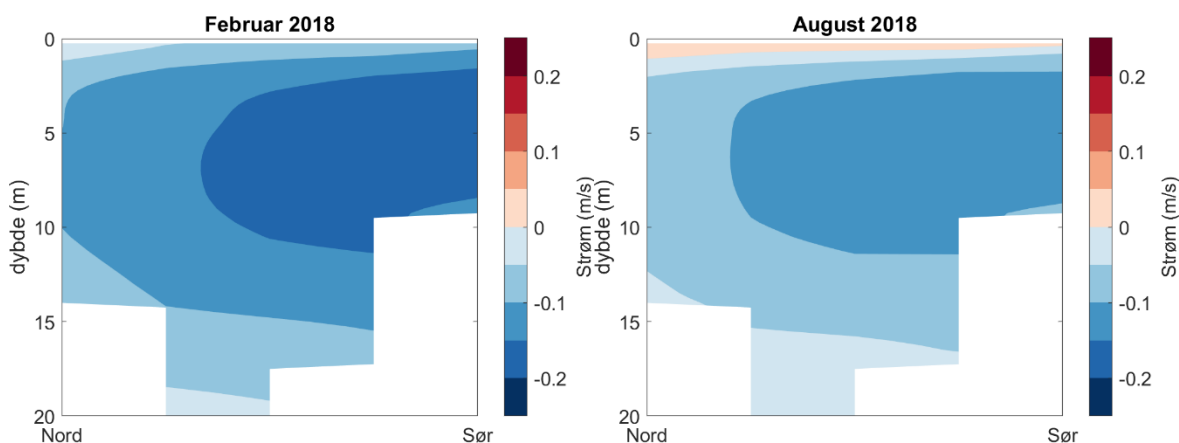
Tromøysund og Galtesund utgjør innseilingsledene til Arendal by fra hhv. nordøst og sørsørøst. Tromøysund er ca. 12 km og strekker seg fra Arendal by til nordøstre enden av Tromøy. Langs sundet er det flere bassenger med dyp på 30-50 m og mellomliggende terskler på omkring 20 m dybde. Galtesund er drøyt 2 km langt og ligger mellom Tromøy og Hisøy. Galtesund har en terskel på omkring 25 meter i utdypingsområdet (Figur 1) og flere terskler rett øst og vest for dette. Innenfor terskelen er det et dypbasseng med dybder over 50 m på stedet tiltenkt som mulig dumpeområde (Figur 1). I vest har sjøområdet ved Arendal by forbindelse til utløpet av Nidelva (på innsiden av Hisøy).

Overflatestrømmen går i hovedsak fra øst mot vest i Tromøysund og mot sør i Galtesund (Figur 3 og Figur 4, Norconsult 2021a, NIVA og Havforskningsinstituttet 2012, Dahl og Danielsen 1986). Indre deler av sundene tilføres ferskvann fra Nidelva innenfor Hisøy. Normalt passerer elvevannet ut Galtesund, men ved stor vannføring og/eller sterkt vind-pådriv fra vest-sydvest kan det også gå en overflatestrøm med ferskt vann

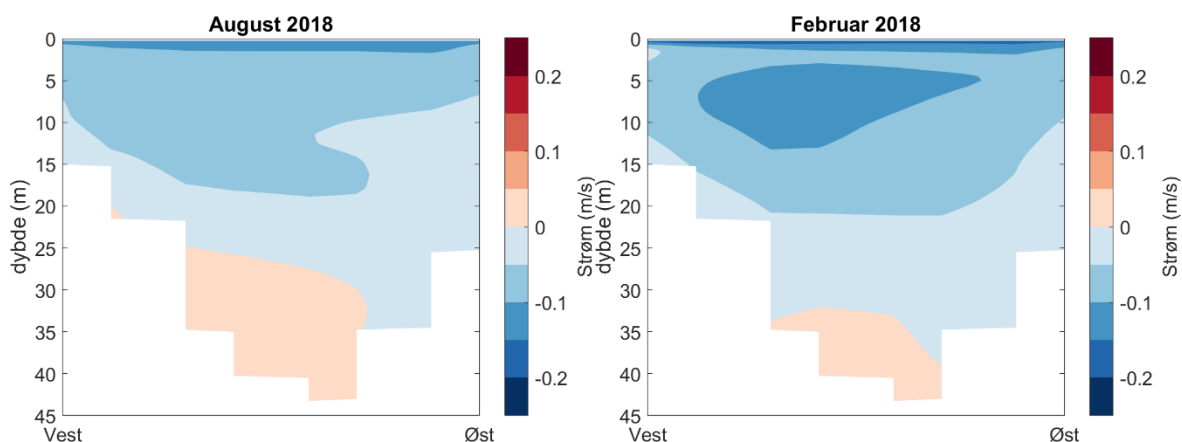
østover i Tromøysund (Figur 3 - høyre, NIVA og Havforskningsinstituttet 2012). Under overflatelaget (øverste 1-3 meterne), ned til terskelnivå (de intermedieære vannmassene), er middelstrømmen i Tromøysund fra øst mot vest (Figur 3, Norconsult 2021a) med maksimum strømhastighet i modellen på 5-10 m dybde (Figur 3). I Galtesund er det strøm sørover mesteparten av tiden med unntak av i de dype vannlagene som har strøm i motsatt retning (Figur 4, Norconsult 2021a).

Figur 3 og Figur 4 er representative for det overordnede bildet (eksempler på typiske månedsmidler) men det er verdt å merke seg at det er betydelige variasjoner i retning og strømhastighet på kortere tidsskalaer. Eksempelvis er det i Galtesund perioder med netto-strøm nordover (dvs. innstrømming) (Figur 5) selv om middelstrømmen over en måned er motsatt (Figur 4). Den høye korrelasjonen i volumflukser (Figur 5) tyder på gjennomgående strømsignal: Eksempelvis, gir strøm inn Tromøysund østfra utstrømming sørover i Galtesund. Vannmengden ut Galtesund er i slike tilfeller noe større (Figur 5) som følge av tilførsel av ferskvann fra Nidelva.

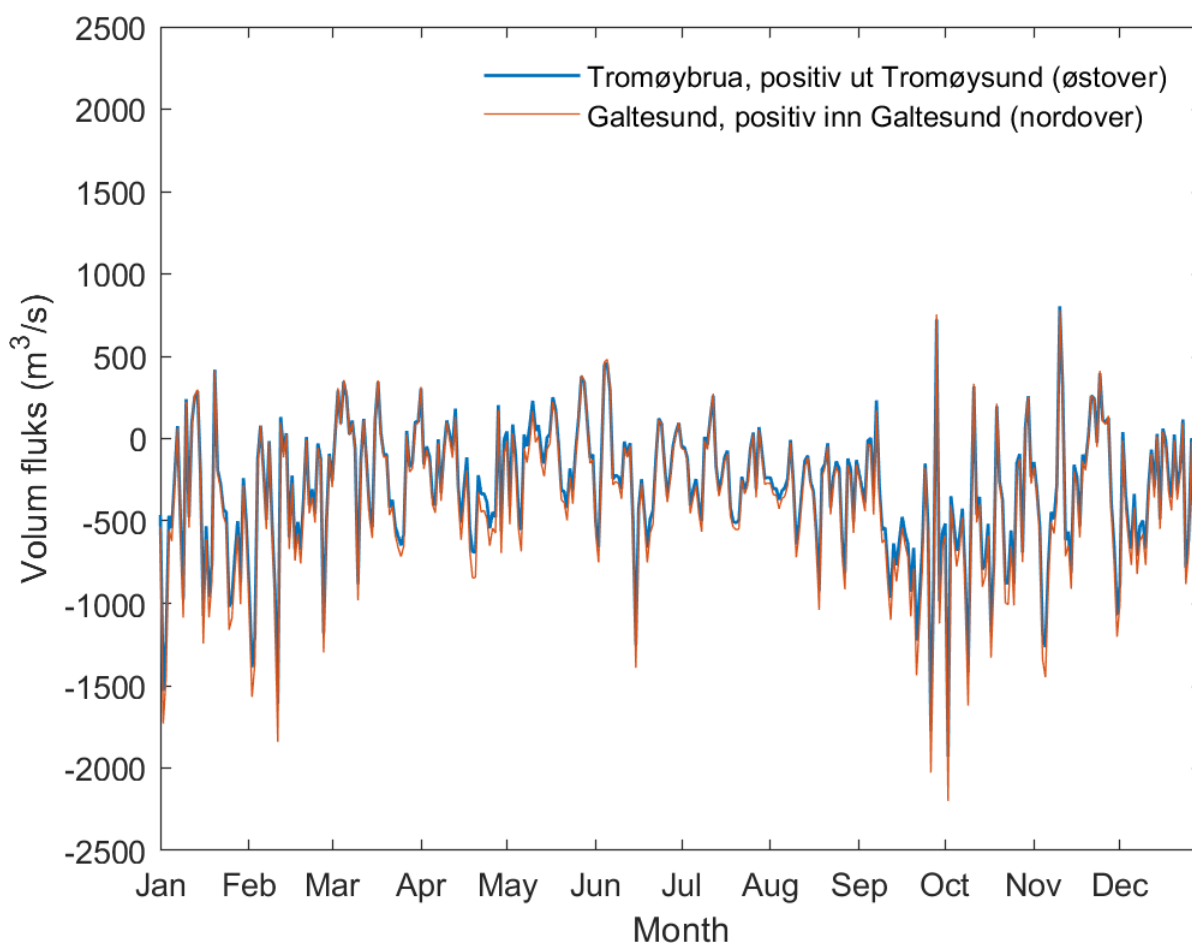
Det gjennomgående strømmønsteret og tidligere studier (NIVA og Havforskningsinstituttet 2012, Dahl og Danielsen 1986) viser at det hovedsakelig er god vannutskiftning i vannmassene i Tromøysund og Galtesund, men i noen av dypbassengene er det stagnerende forhold og periodevis lave oksygenkonsentrasjoner (Dahl og Danielsen 1986, Norconsult 2021b). I dypbassengene er strømhastighetene lave og retningen mer varierende (Norconsult 2021a).



Figur 3: Strøm i østlig retning på tvers av nord-sør snitt (rød linje, Figur 1) ved Tromøybrua i Tromøysund. Venstre: Månedsmiddel februar 2018. Høyre: Månedsmiddel august 2018.



Figur 4: Strøm i nordlig retning på tvers av vest-øst snitt (sort linje, Figur 1) i Galtesund. Venstre: Månedsmiddel februar. Høyre: Månedsmiddel august.



Figur 5 Volumfluks på tvers av snittene vist i Figur 2.

3.2 Teoretisk grunnlag for beregningene av effekter av utdyping

Utdypingene skjer på dybder som gjør at de utvider det intermediære vannlaget (laget mellom overflatelaget og terskelnivå). Variasjon i kyststrømmen, trykkgradienter og tidevannet er de viktigste drivkreftene for sirkulasjonen i disse vannmassene og de endres ikke som følge av utdyping. Det betyr eksempelvis at intermediært kystvann som strømmer inn mot utdypingsområdene vil ha tilnærmet samme hastighet før og etter utdyping.

Både i Galtesund og Tromøysund skjer utdypingene i innsnevringssområder hvor sundenes tverrsnitts-arealer har minimum. Størrelsen på tverrsnittarealene der er derfor styrende for vann-utvekslingen mellom kysten og indre deler av sundene, og en begrensende faktor for utveksling. Studier i norske kyst-områder (Stigebrandt 1990, Aure & Stigebrandt 1991) viser at i det intermediære laget er volumfluksen mellom kyst og indre deler av fjorder og sund proporsjonal med kvadratroten av tverrsnitts-arealet. Når tverrsnitts-arealene i utdypingsområdene utvides, øker derfor intermediær volumstrøm [volumstrøm = oppstrøms strømhastighet (ingen endring) x tverrsnitts-areal (økt)] gjennom området.

Hadde dette vært et vannsystem med kun et utløp til kysten, eksempelvis en innelukket fjord, hadde massebevaring (vannet kan ikke hope seg opp inne i fjorden hvis f.eks. volumfluksen av kystvann inn øker) medført at det oppstod en kompensering av strømhastigheten i overflatelaget (evt. i dypere lag). Som diskutert over (f.eks. Figur 5) er strømsignalet og volumfluksen ganske gjennomgående og korrelert i Galte- og Tromøysund. Økt volumfluks gjennom utdypingsområdene forventes derfor å forplantes gjennom sundene og ut til kysten og medføre minimale lokale strømendringer. Dette diskuteres i mer detalj når volumfluksendringene for utdypingene i hhv. Galtesund og ved Eydehavn beregnes i neste kapittel.

For å vurdere påvirkningen av utdypingene tas det i samsvar med teori diskutert over, utgangspunkt i tverrsnitt på de smaleste stedene i tiltaksområdene, og beregnes hvor mye tverrsnitts-arealene der vil øke. Beregningene er basert på kartdata gitt av Kystverket.

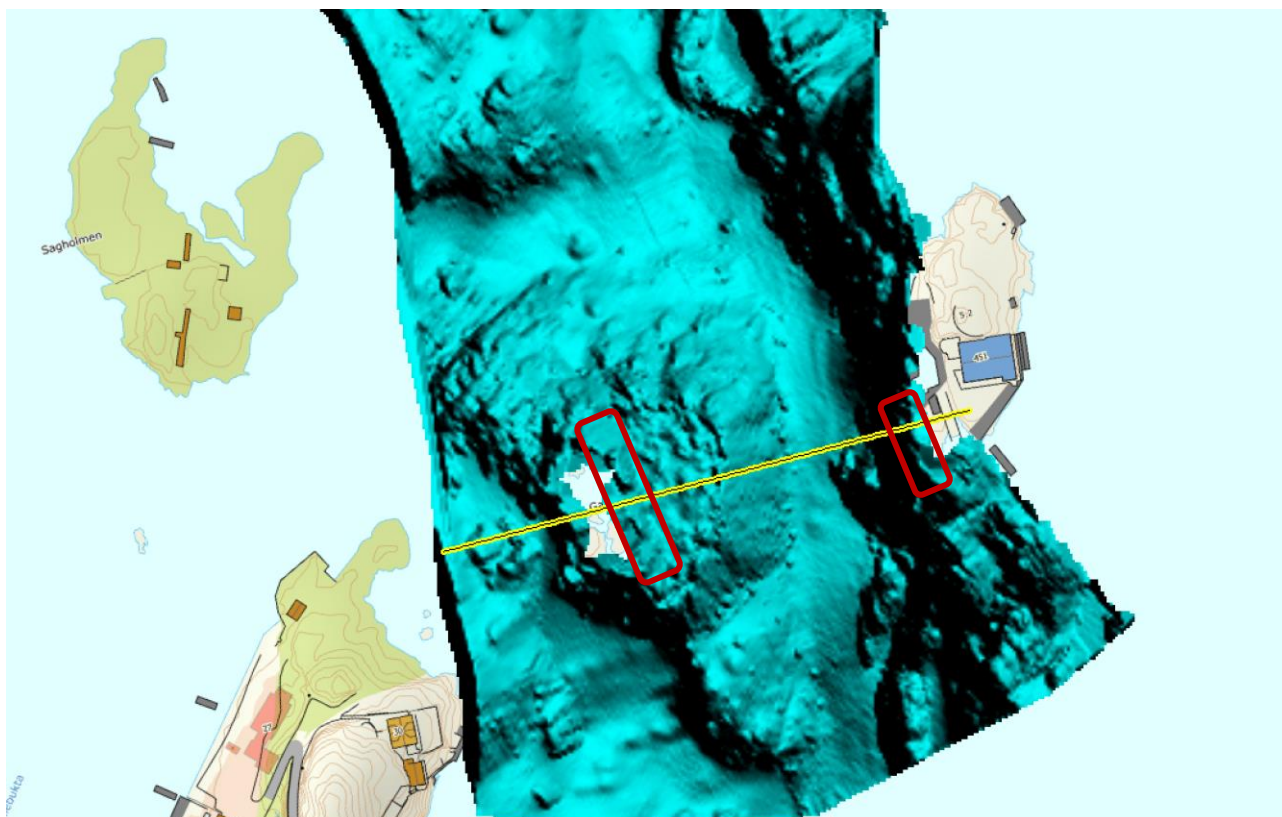
3.3 Effekt av utdyping i Galtesund

I Galtesund er det planlagt utdyping på begge sider av sundet (figur 6.) Det er planlagt utdyping til kote -10,5, og totalt utdypingsvolum er beregnet til 3 111 m³. I østre område har tiltaket svært begrenset omfang.

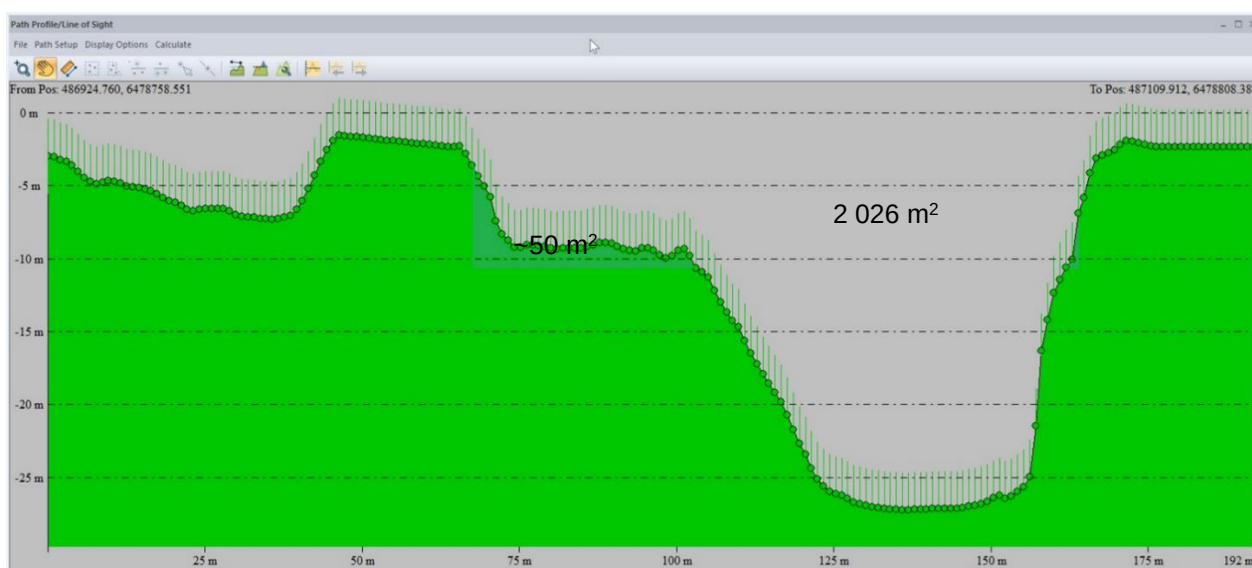
For å beregne potensielle strømendringer i forbindelse med planlagt utdyping, vurderes tverrsnittet som antas å bli mest påvirket av utdypingen. Tverrsnittet er markert med gul linje i figur 6 og arealet for tverrsnittet er vist i Figur 7.

Tverrsnitts-arealet er beregnet til 2 026 m² og tverrsnittet til utdypingen er beregnet til ca. 50 m². Vanndybden er angitt som sjøkartnull. Ved endring av vanndybden pga. tidevannet, atmosfæriske trykkendringer etc. vil tverrsnitts-arealet endres, men ikke mer enn at forholdstallet mellom total-areal og utdypingsareal er tilnærmet uendret. Utdypingen som i sin helhet skjer i det intermediære laget (mellom 5-10,5 m dybde), vil føre til en økning på 2-3 % i tverrsnitts-arealet og følgelig en økning i volumfluks på 1,4-1,8 % gjennom tverrsnittet i Figur 6 og Figur 7.

Den totale relative volumfluks-endringen gjennom Galtesund vil være mindre siden tverrsnittet omfattet av tiltak og gjort beregninger for ikke strekker seg over hele Galtesund. Som forklart i forrige kapittel er gjennomstrømningen i det intermediære laget god, og volumfluks- og strømsignaler forplanter seg effektivt ut Galtesund (ved utstrømning Galtesund) og ut Tromøysund (ved innstrømning Galtesund). Hvilket betyr at endret volumfluks i det intermediære laget forventes å gi minimale lokale kompenserende endringer i gjennomstrømning (strømhastighet) ellers i vannsøylen. Utdypingen gir små endringer i formen på bunntopografien (Figur 7), så lokale virvler og småskala strømmønstre relatert til friksjon forventes å være omtrent som før.



Figur 6: Sjøbunnskart over utdypingsområdet i Galtesund. Røde rektangler markerer utdypingsområdene. Tversnittet markert med gul linje er vist i figur 7. Kilde: Kystverket.



Figur 7: Tversnitt markert med gul linje i Figur 6. Mørkere grønt viser hvor utdypingen planlegges (omtrentlig). Kilde: Kystverket

3.4 Effekt av utdyping ved Eydehavn

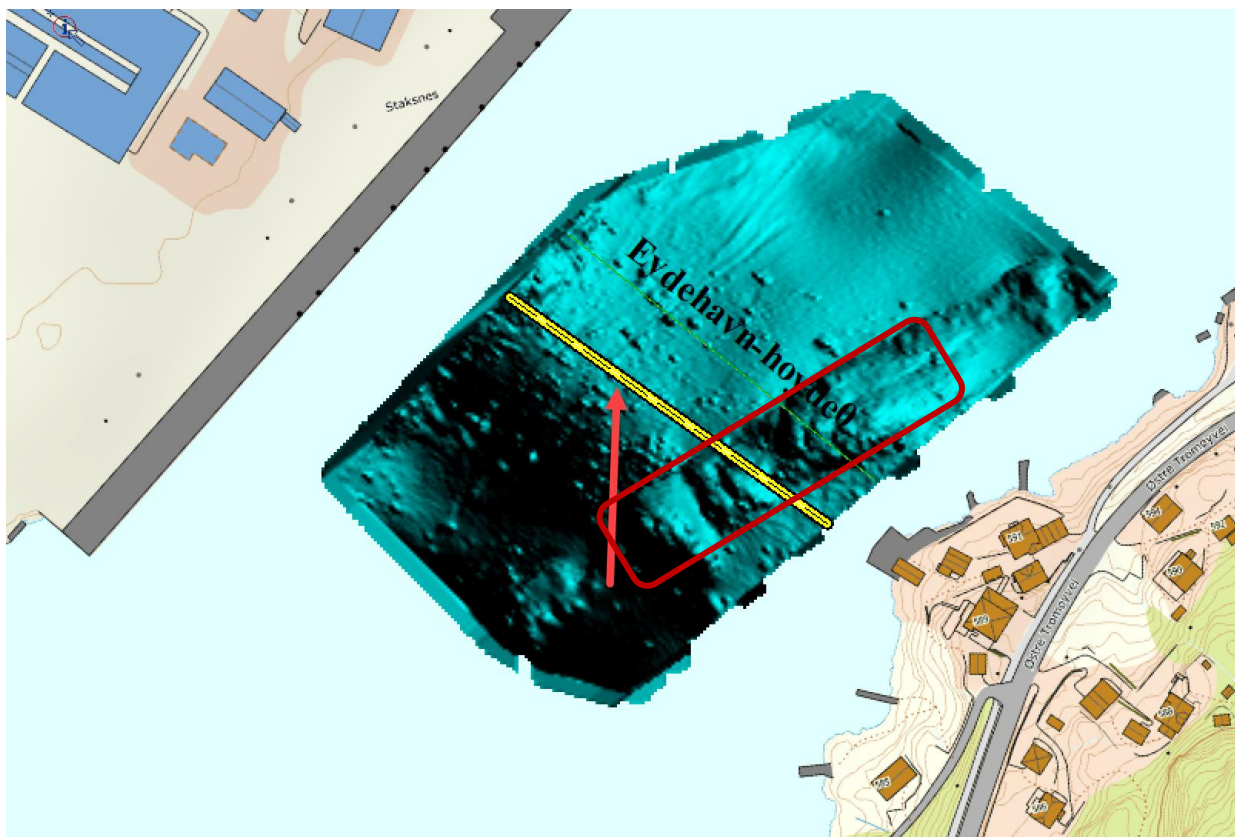
Ved Eydehavn er planlagt utdyping på sørsiden av sundet (Figur 8). Det er planlagt utdyping til kote -12, og totalt utdypingsvolum er vurdert til 26 640 m³.

For å beregne endringer i strømhastigheten, vurderes tverrsnittet som antas å bli mest påvirket av utdypingen. Tverrsnittet er markert med gul linje i figur 8 og arealet for tverrsnittet er vist i figur 9.

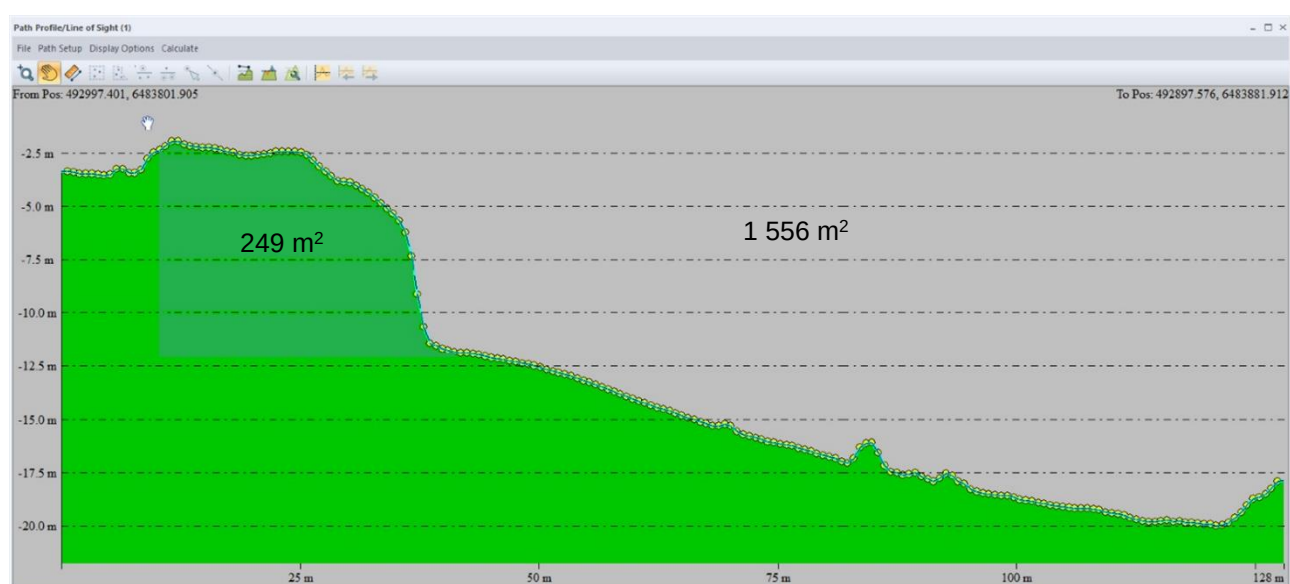
Tverrsnitts-arealet er beregnet til 1 556 m² og tverrsnittet til utdypingen er beregnet til 249 m². Vanndybden er angitt som sjøkartnull. Ved endring av vanndybden pga. tidevannet, atmosfæriske trykkendringer etc. vil tverrsnittet endres, men ikke mer enn at forholdstallet mellom total-areal og utdypingsareal er tilnærmet uendret. Dybdataene gitt av Kystverket tilsvarer 130 m av tverrsnittet Figur 9, mens hele tverrsnittet er 190 m, Figur 10. Differansen er 60 meter. Figur 10 viser at ca. 2/3 av resterende tverrsnitt er mot kaien i Eydehavn, med et gjennomsnittsdyp på ca. 15 meter, mens på andre siden av sundet er det mindre enn 5 meter dypt. Dette gir et ekstra tverrsnitts-areal på ca. 650 m². Utdypingen vil dermed føre til en økning på 11 % av tverrsnitts-arealet ($249/(1556+650)$).

Utvidelsen av tverrsnitts-areal skjer hovedsakelig i det intermediære laget (fra typisk dybde 2,5 m rett under overflatelaget og ned til 12 m). Utfra Stigebrandt 1990 sin sammenheng mellom tverrsnitts-areal og volumfluks forventes 11 % endring i tverrsnitts-areal å gi drøyt 3 % endring i intermediær volumfluks gjennom tiltaksområdet. Som belyst er gjennomstrømningen i det intermediære laget god, og volumfluks- og strømsignaler forplanter seg effektivt ut Tromøysund (ved utstrømning Tromøysund) og ut Galtesund (ved innstrømming Tromøysund). Så også her kan man forvente at økt volumfluks i det intermediære laget gir minimale lokale kompenserende endringer i gjennomstrømning (strømhastighet) ellers i vannsøylen. Siden inhomogen grunn bunn erstattes av dypere og muligens mer homogen bunntopografi (Figur 9) forventes det et mer homogent strømningsmønster nær overflaten i og nær utdypingsområdet (Figur 8, rødt rektangel) med færre virvler o.l.

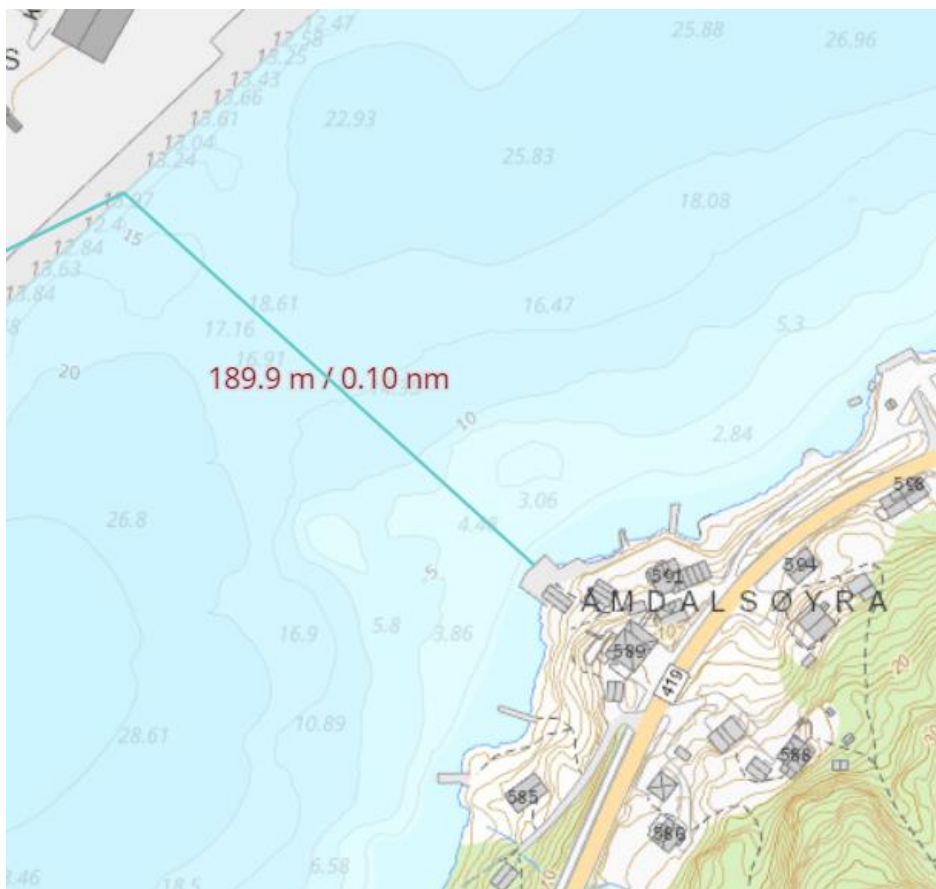
Den beskjedne økningen i volumfluks i intermediært lag forventes å ha liten innvirkning på utskiftning av stagnant bunnvann observert i noen av dypbassengene i Tromøysund (Dahl og Danielsen 1986, Norconsult 2021b). Ved en større endring ville økt innfluks av kystvann med høy tetthet nær terskel sen vinter-vår (hoved mekanismen for vannutskiftning av dypvann i bassenger) gjøre det mulig med mer effektiv utblanding og utskifting.



Figur 8: Sjøbunnskart over utdypingsområdet ved Eydehavn. Røde rektangler markerer utdypingsområde. Tverrsnittet markert med gul linje er vist i Figur 9. Kilde: Kystverket.



Figur 9: Tverrsnitt markert med gul linje i Figur 8. Mørkere grønt viser hvor utdypingen planlegges. Kilde: Kystverket.



Figur 10: Dybdekart ved utdyping i Eydehavn. Kilde: Kystinfo

4 Konklusjon

Både i Galtesund og i Tromøysund ved Eydehavn medfører utdyping sannsynligvis noe økt vannutveksling da innsnevringssområder som begrenser utvekslingen mellom kysten og indre deler av sundene åpnes mer opp. Økningen i utveksling vil være liten og det forventes små endringer i strømhastigheter. Ved Eydehavn vil trolig utdypingen føre til mer uniforme strømførhold med færre virvler i overflaten i og nær utdypingsområdet.

Strømendringene antas ikke å ha vesentlig effekt i forhold til båttrafikken i området. I overflatevannet er det stor variabilitet i vind og ferskvannstilførsel, og det er derfor usikkert om det er mulig å påvise endringer av strømhastighet ved sammenligning av målinger før og etter tiltak.

5 Referanser

Dahl, F.E og Danielsen D. S. (1986). Resipientundersøkelser i Arenadalsområdet i perioden 1975-79. Flødevigen. Meldinger nr. 5. 1986. ISSN 0800-7667

NIVA og Havforskningsinstituttet (2012). RAPPORT L.NR. 6445-2012. Undersøkelser av sjøområdene i Arendal kommune 2011-2012. Tilstanden i havneområdene og ved utslippsstedene for kommunalt avløpsvann

Norconsult. (2021a). *RIM 05 Strømmålinger Arendal Innseiling 52102613*.

Norconsult (2021b). Vurderinger av plassering av kjølevannsledning i Tromøysund med tilhørende analyser av CTD målinger. Under utarbeidelse.

Stigebrandt, A., (1990): On the response of the horizontal mean vertical density distribution in a fjord to low-frequency density fluctuations in the coastal water. Tellus, 42A, 605-614.

Stigebrandt, A. & Aure, J., (1990): The importance of external driving forces for the water exchange in the fjords from Skagerrak to Finnmark. Rep. No. FO9003, Inst. Mar. Res., Bergen, 29 pp.