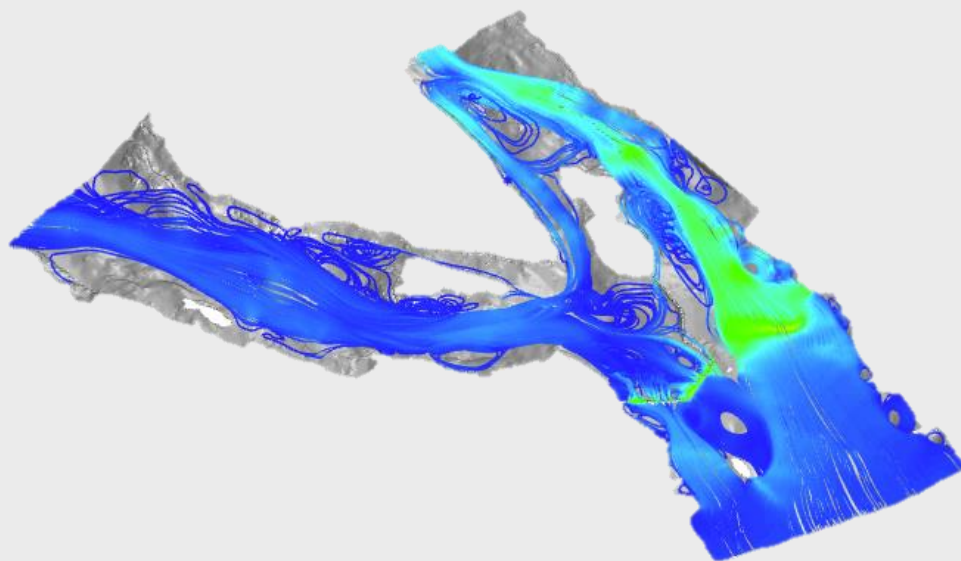


12944-23 Håøya Vest Sjeté

12944-23-OO-R-01 rev. A

Analysereport

CFD-simuleringer av utdypning i sjeté



REVISJONER

Rev.	Dato	Sign.	Kontr.	Godkj.
A	05.09.2022	Tore Helgedagsrud	Gonzalo Diz-Lois Palomares	Matias Linde Røsvik

ENDRINGSHISTORIKK

Rev.	Referanse	Beskrivelse
A	-	Første utgivelse

OPPDRAGSINFORMASJON

Oppdragsgiver: Kystverket

Oppdragsgivers kontaktperson:

Navn: Geir Egil Solberg
Epost: geir.solberg@kystverket.no

SAMMENDRAG

Kystverket ser på muligheten for å åpne opp i sjetéen ved Drøbaksundet og legge til rette for seilas vest av Håøya. Tiltaket inkluderer åpning av en del av sjetéen vest for Småskjær, samt utdypning av Stedgrunnen i Vestfjorden. Dr.techn. Olav Olsen har på oppdrag fra Kystverket gjennomført fluiddynamiske simuleringer (CFD) av det aktuelle området, med den hensikt å vurdere strømningsforhold og andre konsekvenser som følge av tiltaket.

Simuleringene tar utgangspunkt i dagens situasjon og sammenlikner denne med situasjonen der tiltaket er gjennomført. Det fokuseres på endringer i lokale forhold, som strømningshastigheter, volumer og turbulens i og rundt Drøbaksundet og Vestfjorden.

Resultater og analyser er samlet i denne rapporten og oppsummert i tabellen under. Følgende observasjoner trekkes fram:

- Andelen av tidevannsstrøm inn fjorden som går vest av Håøya øker fra 29 % til 40 % som følge av tiltaket. Over Drøbakgrunnen vil andelen tidevannsstrøm reduseres fra 86 % til 77 %. Noe av vannet som passerer over Drøbakgrunnen strømmer tilbake vest for Kaholmen og videre i Vestfjorden grunnet motstanden over sjetéen. Denne andelen reduseres fra 12 % til 8.3 % med tiltak.
- Vannføringen over sjetéen øker med 63 % som følge av tiltaket og gir en betydelig økning i strømstyrke og oppblanding/turbulens i bassenget bak.
- Den reduserte strømstyrken og vannføringen over Drøbakgrunnen gir en betydelig reduksjon av turbulensintensiteten bak denne grunnen.
- Økt vannføring i Vestfjorden gir ikke betydelig endret strømningsbilde over og rundt Stedgrunnen; forholdene for sedimenttransport anses derfor som lite endret.

Supplerende analyser er utført i et liknende program som løser et redusert likningssett, men til gjengjeld løser for hele Oslofjorden gjennom flere tidevannsperioder. Disse viser svært god overensstemmelse med CFD-analysene.

Parameter	Uten åpning	Med åpning
Vannføring Drøbaksundet	6 404 m ³ /s (70.8 %)	5490 m ³ /s (60.7 %)
Vannføring Vestfjorden	2642 m ³ /s (29.2 %)	3608 m ³ /s (39.9 %)
Tilbakestrøm vest for Oscarsborg/Kaholmen	1090 m ³ /s (12 %)	757 m ³ /s (8.3 %)
Vannføring Drøbaksundet	7743 m ³ /s (86 %)	6970 m ³ /s (77 %)
Vannføring over sjeté	1303 m ³ /s (14 %)	2128 m ³ /s (23 %)
Bernoullitap gjennom domene	486 kW	444 kW

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn, motivasjon og omfang	5
1.2	Litteratur og underlag	5
1.3	Tiltak	6
1.4	Terminologi og definisjoner	8
1.5	Beregningsmetode CFD	8
1.6	Supplerende beregningsmetode (Delft3d-FLOW)	9
2	Beregningsmodell	10
2.1	Batymetri og geometri	10
2.2	Randbetingelser	13
2.2.1	Representativ vannføring	13
2.3	Mesh	15
2.4	Usikkerheter	15
2.5	Sammenlikning med strømmålinger	17
2.6	Beregningsmodell for Delft3d	18
3	Resultater CFD	21
3.1	Oppsummering	21
3.2	Vannføring	21
3.3	Påvirkning over Drøbakgrunnen	24
3.4	Påvirkning over sjetéen	27
3.5	Påvirkning rundt Stedgrunnen	29
3.6	Molo ved Storskjær	31
4	Resultater Delft3D	32
	Referanseliste	37

VEDLEGG

Vedlegg A;	Tidevannstabell for Drøbaksundet
Vedlegg B;	Termer og definisjoner

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn, motivasjon og omfang

I forbindelse med innspill til NTP 2022-2033 ble det bl.a. vist til redusert kapasitet for gjennomseiling i Drøbaksundet, som nå karakteriseres ved trange passasjer, ruteendringer og ventetid for fartøyer inn og ut Oslofjorden og mye fritidsbåttrafikk.

Kystverket (KV) utreder derfor muligheten for å legge til rette for seilas vest av Håøya. Et seilingsløp her krever en utdypning av selve sjetéen, samt av Stedgrunnen i Vestfjorden.

I den forbindelse har Dr.techn. Olav Olsen (OO) på oppdrag fra KV gjennomført fluiddynamiske simuleringer av det aktuelle området. Hensikten er å kvantifisere og vurdere endringer i strømningsforholdene, som f.eks. strømningshastigheter og -volumer, oppblandingsforhold o.l., for senere å kunne vurdere om dette kan ha konsekvenser for forholdene i Indre Oslofjord.

Oslofjorden er truet av utslipp og miljøgifter. Tidligere undersøkelser og forskning, se f.eks. [1] [2] og tilhørende referanser, viser at en avgjørende faktor for miljøet og biodiversiteten er at bassenger og dyprenner får hyppig nok omrøring og på den måten tilfører oksygen og jevner ut saltinnholdet. Denne omrøringen drives av såkalte indre bølger, som oppstår når vannstrøm tvinges over fjordterskler. De samme artiklene peker på at Drøbakgrunnen (omtalt som Drøbakerskelen) er særlig viktig for de indre bølgene i Indre Oslofjord, og at det derfor er spesielt relevant med en grundig vurdering av planlagt tiltak.

Indre bølger er ikke en del av omfanget i dette arbeidet. Her fokuseres det derimot på å gi en god forståelse av strømningsforholdene lokalt rundt Drøbaksundet, som utgangspunkt for videre analyser av de indre bølgene og andre faktorer som påvirker miljøet i Oslofjorden.

1.2 Litteratur og underlag

[1] og [2] gir en utfyllende beskrivelse av de indre bølgene i Oslofjorden og mekanismene bak.

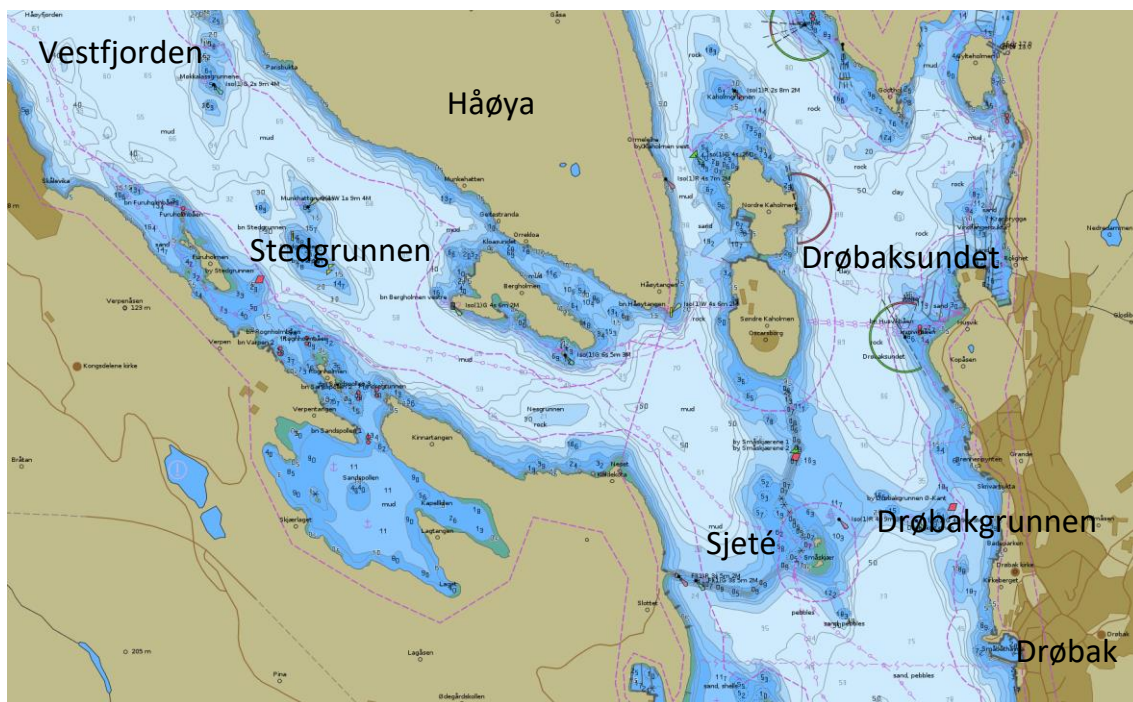
Miljøtekniske undersøkelser ble nylig gjennomført av Norconsult og er rapportert i [3] med vedlegg. Her kartlegges sjøbunn, naturtyper, strømningsforhold og sedimenter i områder som direkte berøres av tiltaket. Biologisk kartlegging av samme område er også tidligere utført av NIVA i 2002 [4].

NIVA gjennomførte også i 2002 strømningsberegninger av tilsvarende tiltak [5]. Her konkluderes det med at åpningen av sjetéen vil være noe ugunstig for dypvannsutskiftningen i Vestfjorden og anbefaler avbøtende tiltak. Det pekes også på at lavere vannhastighet over Drøbakgrunnen vil være ugunstig for dypvannsutskiftningen.

Den dominerende vannføringen i Drøbaksundet er drevet av tidevannet, men vindindusert strøm er også en viktig driver for de vannutskiftende hendelsene [3] [5]. Den vindinduserte strømmen er undersøkt i [6].

1.3 Tiltak

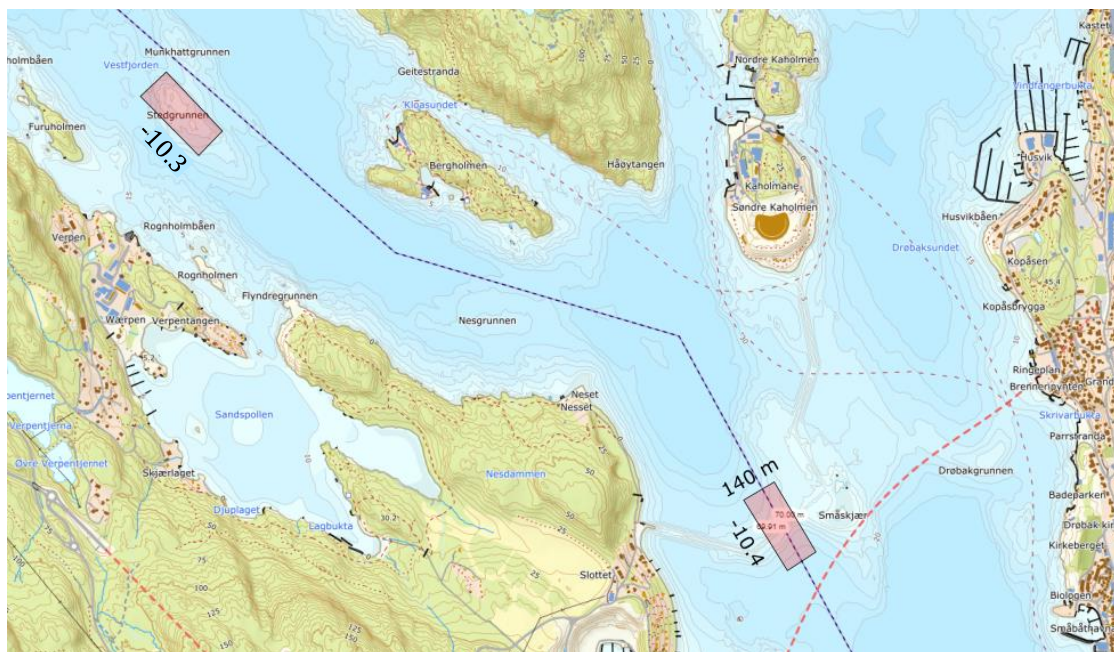
En undersjøisk mur i Drøbaksundet mellom Hurum, Småskjær og Oscarsborg ble bygget på slutten av 1800-tallet og er en del av forsvarsverket inn mot Oslo. Hensikten var å lede all skipstrafikk på østsiden av Oscarsborg og konsentrere vaktholdet her. Muren, eller sjetéen, er nå fredet og består av en 1500 m lang og opptil 30 m høy grunne av 315 000 m³ stein og blokker og kan sees tydelig i oversiktsbildet i Figur 1-1. Vanndybden langs sjetéen er i snitt ca. 0.5 m. Senere har Kystverket åpnet opp i passasjen mot vest (Hurumpassasjen).



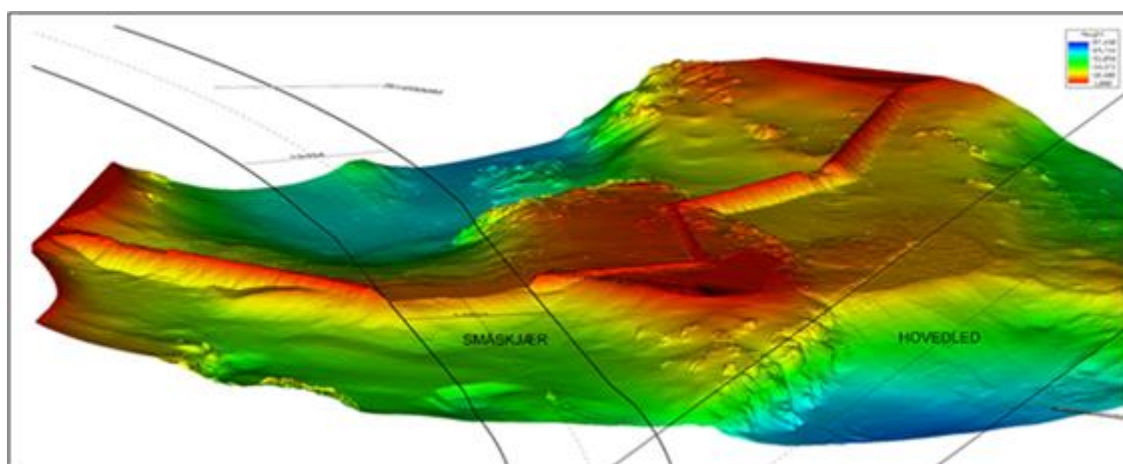
Figur 1-1: Oversikt over Drøbaksundet.

Det planlagte seilingsløpet gjennom sjetéen er skissert i Figur 1-2 og Figur 1-3. Dybden er satt til 10.4 m under sjøkartnull og har en bredde på 140 m langs bunn av utdypning. Graveskråningene i utdypning er gitt en stigning på 1:1 slik at bredde i topp er ca. 163.8 m. Volumet er anslått til 27000 m³ [3]. Samtidig planeres Stedgrunnen til tilsvarende dybde, se Figur 1-4, her med et ideelt volum på 66000 m³. Massene planlegges lagt i sjøbunnsdeponi i nærliggende bassenger, evt. benyttes til moloer eller andre samfunnsnyttige formål.

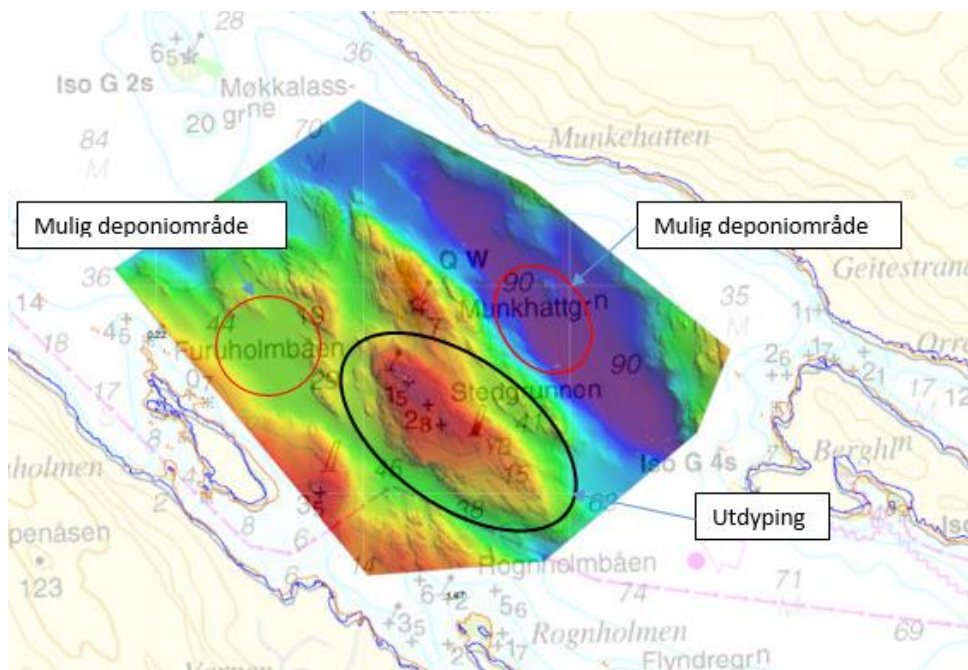
Merknad: I CFD-analysene ble Stedgrunnen utdypet til kote -12.5 og ikke kote -10.3 som planlagt. Resultatene viser imidlertid at strømningsintensitetene er svært lave i denne delen av fjorden, og at de derfor ikke vil påvirkes i merkbar grad av forskjellen.



Figur 1-2: Planlagt seilingsløp gjennom sjetéen og utdypning over Stedgrunnen. Bredde: 140 m, dybde: 10.3 m.



Figur 1-3: Utdypning i sjetéen.



Figur 1-4: Utdypning av Stedgrunnen.

1.4 Terminologi og definisjoner

Nærmere beskrivelser av termer og definisjoner benyttet i denne rapporten er gitt i Vedlegg B.

Merknad: I denne rapporten er alltid sjøkartnull referansedybde.

1.5 Beregningsmetode CFD

Tiltaket simuleres ved hjelp av numeriske strømningsanalyser, eller Computational Fluid Dynamics (CFD). Analysene gjøres i henhold til industripraksis med den ledende programvaren ANSYS Fluent [7]. I CFD løses de romlige Navier-Stokes-likningene for et sett geometri og randbetingelser hvorfra vi finner de resulterende strømningshastighetene og trykkene. Her er geometrien et utsnitt av Oslofjorden i området rundt sjetéen mens strømningshastighetene, vannstand osv. utgjør randbetingelsene.

Turbulens, som er av stor betydning i de fleste praktiske anvendelser, inkludert denne, styres av prosesser helt ned til mikroskopisk nivå og som åpenbart ikke kan simuleres direkte. Derfor benyttes turbulensmodeller som gjør at man likevel kan simulere turbulens i de skalaene man har innenfor mesh-tettheten og introduserer ekstra viskositet i skalaene man ikke simulerer direkte og på den måten oppnår riktig energidissipasjon. Vi benytter industristandarden «SST $k-\omega$ », som er basert på såkalte RANS-modeller (Reynold-Averaged Navier-Stokes). Denne klassen av metoder tar utgangspunkt i at hastighetsfeltet kan dekomponeres i et midlere ledd og et fluktuerende ledd, og hvor man løser for de *tidsmidlede* verdiene av hvert ledd:

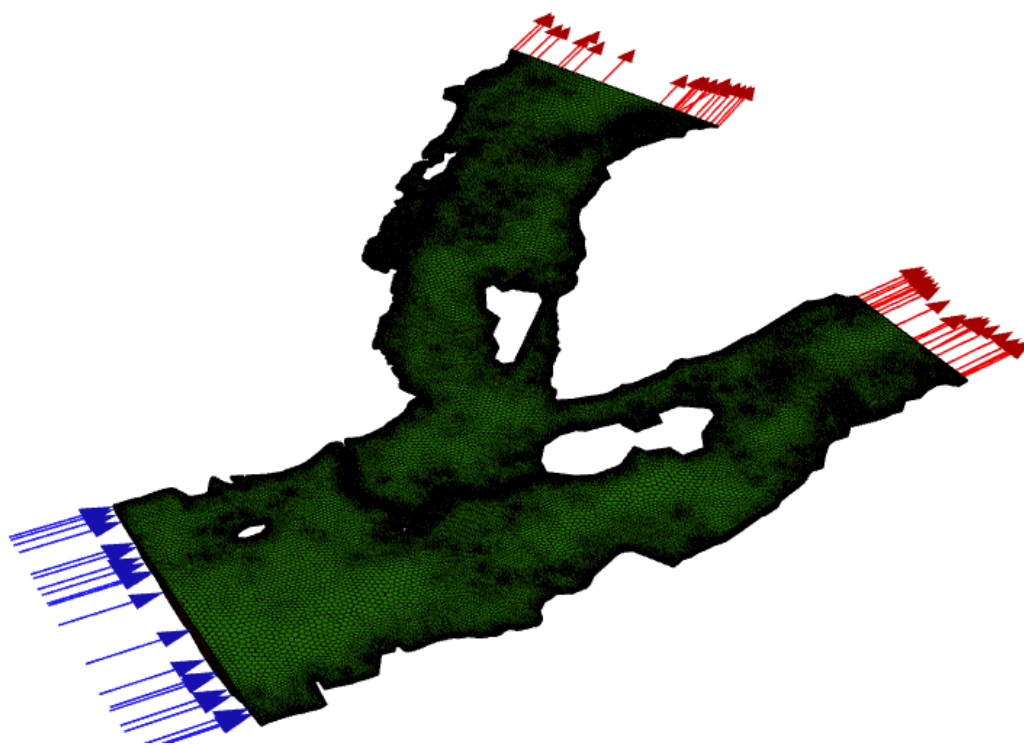
$$u = \bar{u} + u'$$

RANS-metodene er en meget god balanse mellom kostbarhet i regnetid og presisjon og er derfor mest anvendt i industrisammenheng. Videre er det brukt en såkalt vegglov for å beskrive det viskøse

grensesjiktet nært inntil vegger/sjøbunn/objekter da det ikke er tilrådelig med full oppløsning ned til $y^+=1$ på en så stor modell. Dette er i henhold til omfanget på studiet og målet med simuleringene.

Vi har avgrenset domenet av en antatt plan havoverflate (se Merknad 1), sjøbunn med kystlinje. Modellen er avgrenset av at vi kutter fjorden og definerer ett innløp hvor strømningshastighet er foreskrevet og ett eller flere utløp hvor man foreskriver null trykk. Til sammen utgjør dette et domene som diskretiseres i celler/elementer. Beregningsdomenet for Drøbaksundet er illustrert i Figur 1-5 og er videre beskrevet i Kap. 2.

Merknad: Vi har ikke simulert den frie væskeoverflaten her, men antar at den er helt plan. Vi mister da effekten av det hydrauliske spranget over sjetéen, men anser denne forskjellen for å være ubetydelig sammenliknet med unøyaktigheten/ulempen det ville medført i form av grov oppløsning av havoverflaten. Et sprang i størrelsesorden 10-20 cm hadde da måttet vært oppløst i meshet, over hele domenets overflate på 7.5 km².



Figur 1-5: Beregningsdomene med randbetingelser.

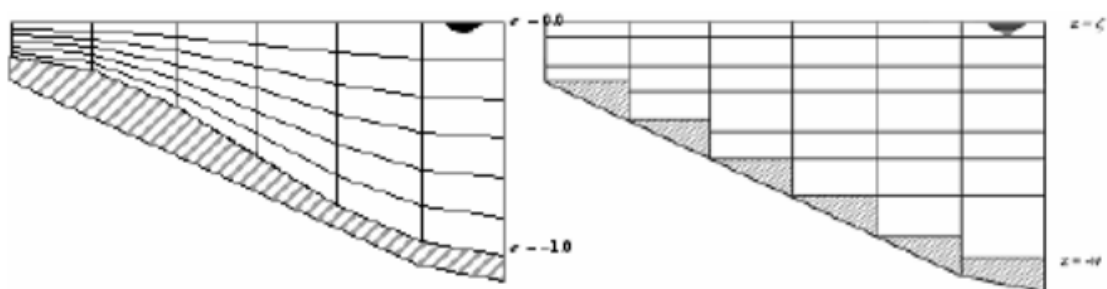
1.6 Supplerende beregningsmetode (Delft3d-FLOW)

Som et supplement til CFD-simuleringene har vi gjort tilsvarende beregninger ved bruk av Delft3d-FLOW med Flexible Mesh. Delft3d [8] er en gruppe av modeller (model suite) ble utviklet for 30 år siden og opprettholdes av Deltares (et forskningsinstitutt fra Delft University of Technology).

FLOW-modulen bruker en velkjent hydrodynamisk modell som kan benyttes for å beregne strømmen tvunget av tidevann, elvestrøm, bølger eller vind. Modellen har flere avanserte

turbulensmodeller og flere moduler for å simulere prosesser knyttet til hydrodynamiske problemer. I dette arbeidet er det benyttet versjon 2022.03. I Kap. 2.6 er det gitt en kort beskrivelse av modellen sammen med valgte modellparametere. For en nærmere beskrivelse av den hydrodynamiske og sedimentære modellen vises det til [8].

Delft3d er som CFD basert på integrasjon av Reynold-Averaged Navier-Stokes ligninger ved å bruke en «finite difference»-diskretisering. Valgt turbulens modellen er «k- ϵ », og vertikal diskretisering fås ved å bruke en σ -koordinat som følger bunnen i stedet for å bruke kartesiske koordinatsystem. Se Figur 1-6. Metoden er også kjent som «shallow water»-approksimasjon av Navier-Stokes, og reduserer problemet med én dimensjon og regnekosten med flere ordener.



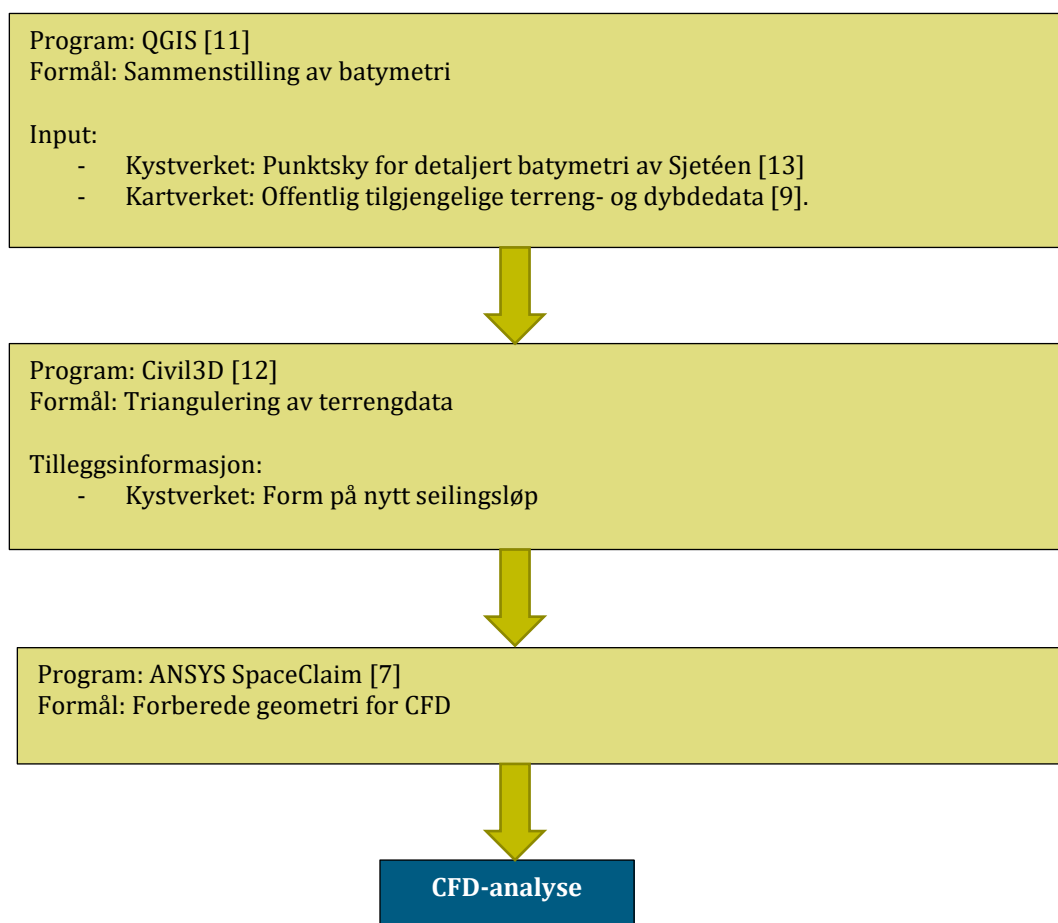
Figur 1-6: Eksempel av σ - og vanlig z -koordinatsystem for vertikal diskretisering.

2 BEREGNINGSMODELL

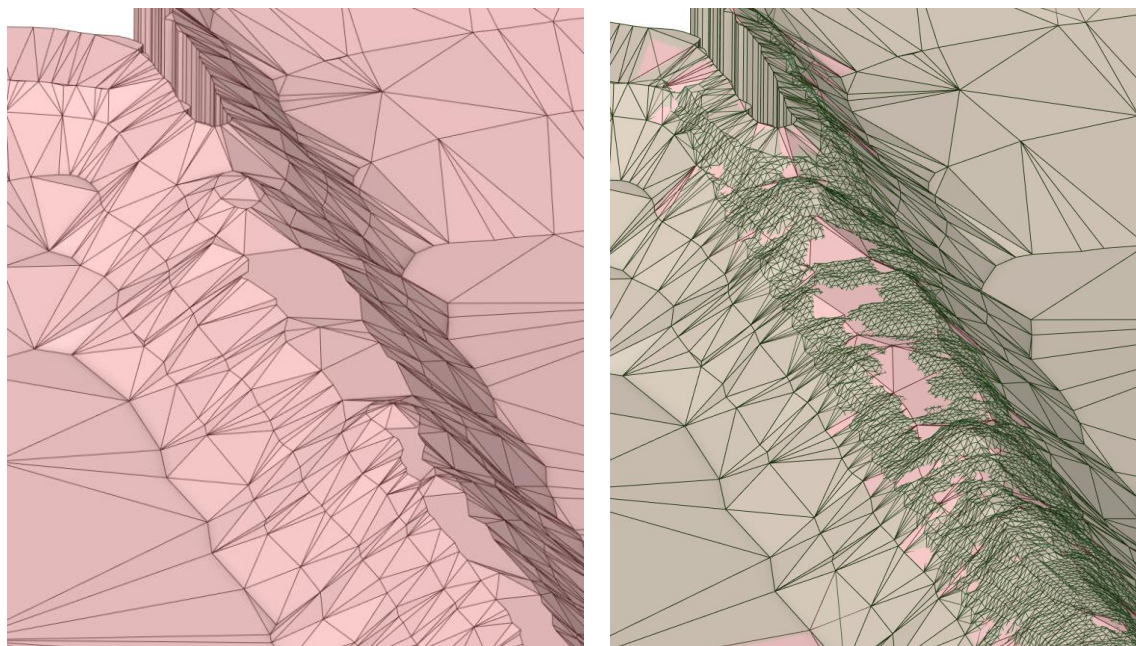
I dette kapittelet beskrives oppbygning av beregningsmodellene, med beskrivelse og definisjon av geometri og valg av randbetingelser. Vi rapporterer også kalibreringsstudier og sensitivitetsanalyser som ligger til grunn for de endelige modellene.

2.1 Batymetri og geometri

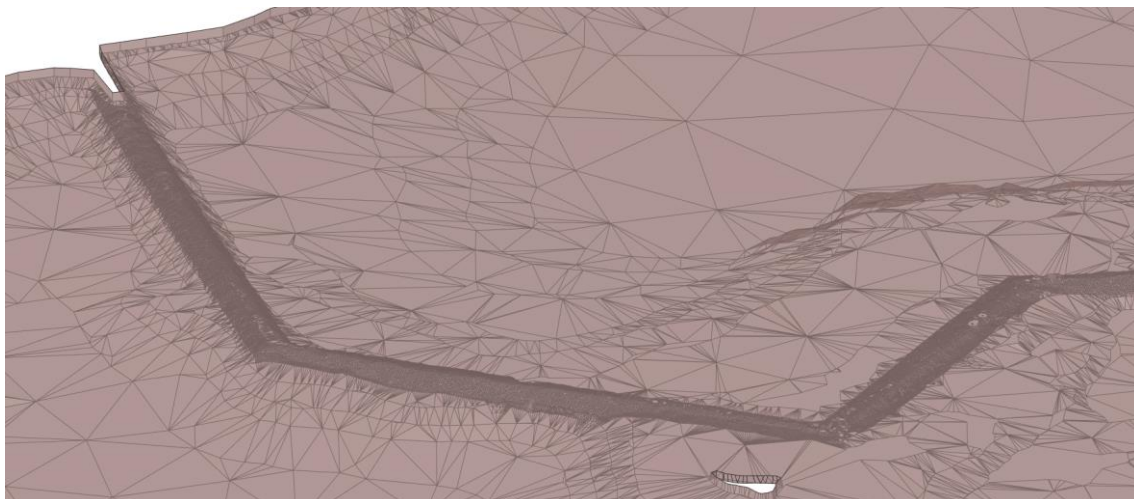
Batymetrien er en sentral del av modelloppsettet og involverer flere prosesser og programmer som vist i Figur 2-1. Hovedsakelig har vi benyttet dybde- og terrengdata tilgjengelige fra Kartverkets nettsider [9]. Sammenliknet med den generelle oppløsningen av cellene i beregningsmodellen er dette vurdert å gi tilstrekkelig nøyaktighet. Unntaket er lokalt over sjetéen, hvor vi har anvendt en overflate som er utledet fra punktskyen fra KV. Figur 2-2 viser hvordan de offentlige dybdedataene sammenlikner med punktskyen over sjetéen og hvordan vi har økt detaljgraden her. Utstrekningen og oppløsningen av anvendt punktsky kan også sees i Figur 2-3.



Figur 2-1: Arbeidsflyt for oppbygging av beregningsdomene.



Figur 2-2: Sammenlikning av batymetri fra Kartverket (venstre) og kombinasjon med punktsky fra KV (høyre) for lokalt høyere oppløsning.

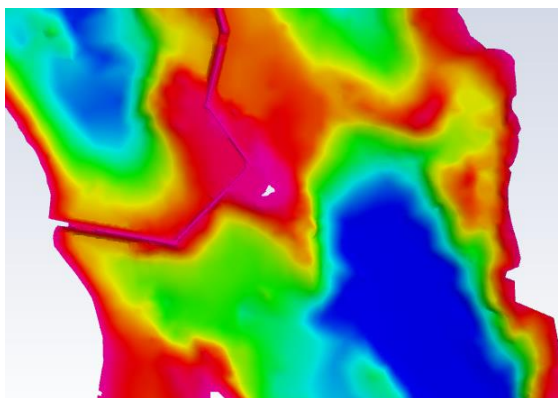
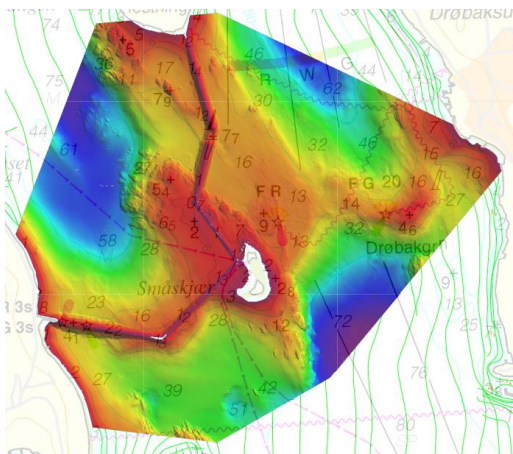


Figur 2-3: Utsnitt fra sjetéen som antyder grensesnittet mellom batymetri fra Kartverket og KV.

Den triangulerte batymetrien importeres til slutt inn i SpaceClaim [7] hvor batymetrien pakkes inn i et beregningsdomene for CFD. Her lager vi en fiktiv vegg langs strandsonen som jevner ut små bukter og ujevnheter som vurderes overflødige. Innløpet plasseres ca. 1 km sør for sjetéen. Utløpene i den endelige modellen er plassert ved Tronstad i øst og Møkkalassa i vest. Plassering av innløp og utløp er valgt ut fra en balanse mellom modellstørrelse og randforstyrrelser. Dette er diskutert i Kap. 2.4. Den endelige modellen er vist i Figur 2-4. Sammenlikning av dybder mellom punktsky fra KV og ferdig prosessert geometri for simulering er vist i Figur 2-5.



Figur 2-4: Definisjon av grenseflater og avgrensning av beregningsdomene i SpaceClaim.



Figur 2-5: Sammenlikning mellom batymetri fra KV (venstre) og som simulert (til høyre). Konturene antyder detaljnivået.

Merknad 1: Triangulerte flater fra punktskyene kan ikke benyttes direkte, da de er svært ruglete og igjen gir «vrengte» elementer. Vi har derfor gjort en utglatting og fokusert på at den utjevnete geometrien skal ligge i en dybde som i snitt samsvarer med punktskyen.

2.2 Randbetingelser

Randbetingelsene er gitt i Tabell 2-1. En detaljert utredning om valgt vannføring er gitt i Kap. 2.2.1.

Tabell 2-1: Randbetingelser for CFD-analyser.

Flate	Randbetingelse
Innløp	9 300 000 kg/s og vannstand 88 cm over sjøkartnull. Representerer maksimal vannføring ved middel spring høyvann, se beregning i Kap. 2.2.1.
Batymetri og sjeté	No-slip-vegg.
Toppflate (vannoverflate)	Friksjonsfri vegg (ingen vertikal strøm, ingen skjær)
Utløp	Trykkutløp
Tetthet vann	1027 kg/m ³
Viskositet vann	0.00149 kg/ms

Merknad: Vi har ikke inkludert salinitet eller temperatur i vannet. Sjøtning vil derfor ikke være del av dette arbeidet og oppblanding kvantifiseres av turbulens alene. Vi vil følgelig ikke kunne simulere de indre bølgene direkte.

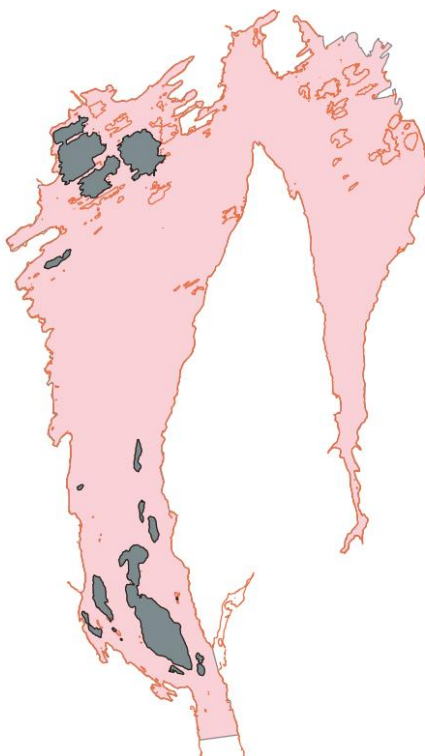
2.2.1 Representativ vannføring

I CFD-analysene simulerer vi ikke en hel tidevannssyklus, men løser strømmingen for et øyeblikksbilde der vi har valgt en verdi på vannstrømmingen som er basert på dominerende

tidevannsstrøm. Innenfor størrelsen på beregningsdomenet vurderer vi strømmingssituasjonen som stasjonær.

Vi har valgt å modellere en stasjonær situasjon ved middel spring høyvann (0.88 m over sjøkartnull, ref. Vedlegg A). Dette er en hendelse med relativt sterk strøm og derfor et relevant scenario for en vannutskiftende hendelse.

Vannføring gjennom modellens innløpe estimeres ved å fordele volum til tidevannprisme langs hele tidevannperiode (6.8 h). Tidevannprisme estimeres med en konstant tidevannhøyde (0.88 m) langs hele Oslofjordens areal (ca. 196 millioner m²).



Figur 2-6: Estimering av Oslofjordareal oppstrøms modellens innløp

Totalt volum for én tidevannprisme fordeles med en sinusfunksjon langs hele tidevannsperioden, og for denne situasjonen kan vi estimere maksimal vannføring som:

$$Q = Q_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

I løpet av en kvart periode fylles hele domenet med en halv amplitude. Det vil si at:

$$V = \int_0^{T/4} Q \cdot dt = \int_0^{T/4} Q_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt = \frac{Q_{max}}{\omega}$$

Totalt volum er $196 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 0.18 \text{ m} = 35.3$ millioner m³. Estimert maksimal vannføring blir da 9055 m³/s, eller tilsvarer 9.3 millioner kg/s.

Merknad 1: Vi analyserer kun strømming inn fjorden fordi dette er situasjonen som driver de indre bølgene og tilfører energien for vannutskiftning.

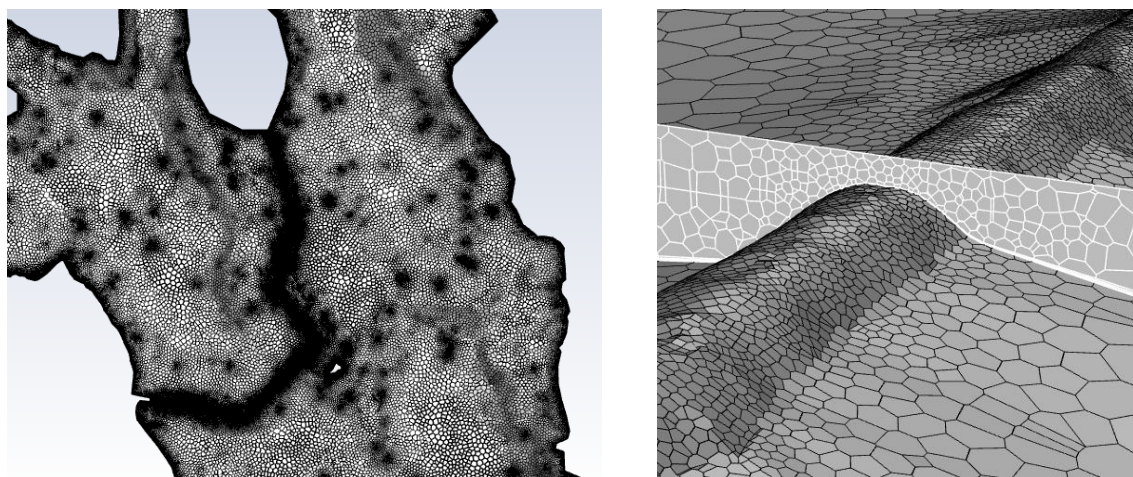
Merknad 2: De supplerende analysene (Kap. 4) Viser at tidevannsstrømmen ikke er symmetrisk, og at maksimal strømningshastighet i ulike deler av området er litt ute av fase. Representativ vannføring er derfor noe høyere enn den faktiske for samme tidevannsprisme, men anses å gi god nøyaktighet.

2.3 Mesh

Figur 2-7 viser typisk oppløsning av mesh. Meshet er bygd opp av polyedriske celler, med randelementer mot sjøbunn. Sistnevnte er flattrykke, slik at de fanger opp variasjoner i dybderetning, dvs., det viskøse grensesjiktet mot bunn, uten at det øker oppløsningen i planet.

Cellestørrelsen er satt til minimum 1 m, i nærheten av krumme flater og objekter, og opp til 60 m der det er liten variasjon i strømmingen.

Meshstørrelser er oppsummert i Tabell 2-2.



Figur 2-7: Mesh globalt og utsnitt over sjetèn.

Tabell 2-2: Meshstørrelser.

Simulering	Antall celler	Antall faces	Antall noder
Uten åpning	4 746 961	24 294 881	15 952 492
Med åpning	4 729 417	24 208 169	15 897 047

2.4 Usikkerheter

CFD er en numerisk tilnærming av virkeligheten og det vil alltid være usikkerheter knyttet til resultatene. Det er viktig å ha identifisere dem og vurdere hvilke effekter man eventuelt tilfører og/eller fjerner, og om det vil påvirke gyldigheten av analysene. Et sentralt grep for å minimere usikkerhetene er den supplerende analysen i det uavhengige programmet Delft3D, hvor vi kan påvise samsvarende resultater med ganske forskjellige teknikker og metoder (Se Kap. 4).

Under er de viktigste usikkerhetene for simuleringene i dette arbeidet tilhørende kommentarer. En overordnet vurdering følger deretter.

- **Geometri:** Drøbaksundet et ekstremt stort domene i CFD-sammenheng og det er derfor nødvendig å gjøre tilpasninger for å holde gridstørrelsen nede. Dette gjør at vi både må glatte ut sjøbunnen og rette av/glatte strandsonen. Opppløsning for sjøbunn er satt til 1-60 meter, avhengig av hvor mye overflatene krummer seg. Sammenliknet med størrelsesordenen på domenet anses dette som passende. Videre, langs bunnen må vi aktivt bruke veggfunksjoner for vannstrømmen heller enn å løse opp det viskøse grensesjiktet. Vi har god erfaring med tilsvarende forenklinger på CFD-analyser av dammer, der samme metode er brukt. En annen gunstig faktor her er at på grunn av irregulær bunn vil strømmen konsentreres i øvre vannsjikt og redusere «belastningen» på veggfunksjonene.
- **Mesh og plassering av inn- og utløp:** Det store beregningsdomenet gir utfordringer med antallet frihetsgrader og det er nødvendig å balansere oppløsning i geometrien og utstrekning av domenet. I dette arbeidet fokuserer vi på lokale strømningsforhold over og rundt sjetéen og tilpasser domenet deretter. Utløpene er plassert i omtrent lik avstand fra innløpet. Mye av feilen som introduseres i plassering av inn- og utløp forventes at kanselleres når vi ser på forskjellen mellom de to alternativene.
- **Batymetri:** Det er brukt metodikk som gir en høy grad av presisjon på batymetrien i simuleringene, men både i Kartverkets flater og i punktskyene er det forenklinger, først og fremst utjevninger i overflatene. Steiner og andre ruheter er ikke representert, noe som vil tillate en noe større vannhastighet langs bunn i simuleringen. Dette kan påvirke strømprofilen noe, men vi forventer at hovedtrekkene skal være ivarettatt i dette studiet, og innenfor presisjonen vi forventer av den valgte gridoppløsningen.
- **Startbetingelser:** Det er knyttet usikkerhet til vannføring og strømningsprofil ved innløpet, og vi har kun valgt å se på én representativ vannføring. Innløpet er derimot plassert såpass langt unna sjetéen at strømningsprofilen får tid til å innstille seg. Videre skal vi ikke simulere de indre bølgene direkte og hendelsene som forårsaker disse, men heller se hvordan strømningsbildet reagerer på utdypning i sjetéen.
En annen bemerkning til innløpet, er at vi her foreskriver en konstant hastighet over tverrsnittet, også i tverretning. Innløpet kommer etter et langt strekke med relativt konstant bredde og dybde på fjorden og det virker sånn sett som en rimelig antakelse, men uten en mer presis beskrivelse av innløpsprofilen fører det også med noe usikkerhet her. Mesteparten av volumet strømmer uansett inn dyprenna, og det er rimelig å anta at denne feilkilden utliknes når vi ser på forskjeller med/uten åpning i sjeté.
- **Stasjonær tilstand:** Vi simulerer kun toppunktet i den oscillerende tidsvannstrømmen som en stasjonær strøm og tar med det ikke hensyn til tregheten i systemet. Med samme argument som for at hydrauliske sprang neglisjeres oppfører vannet seg inkompressibelt, som igjen fører til at systemet responderer raskt nok til at det er en god nok tilnærming.
- **Hydraulisk sprang:** Som påpekt i merknad til Kap. 1.5 neglisjerer vi det hydrauliske spranget. Vi forventer at det ikke har stor betydning for vannføringene, og langt mindre når vi ser på forskjellene, men vi mister et viktig bidrag i energitapet. Energibalansen bør derfor ikke vektlegges for mye i dette arbeidet.

Overordnet mener vi at usikkerhetene i simuleringene domineres av startbetingelsene (dvs. strømningsprofil i innløp) og at vi ikke inkluderer noen fysikk for å fange opp sjiktning. I simuleringene er vannet helt homogent og mobiliserer enkelt dypereleggende vannmasser, mens vi i virkeligheten forventer en profil med større hastighet i toppsjiktet (se også Kap. 2.5). Men, siden det ikke er noen terskler av betydning sør for Drøbak forventer vi at vannmassene som møter terskelen er mindre preget av sjiktning og at homogent vann her følgelig er en god tilnærming. Denne feilkilden

virker også utliknende når vi ser på forskjeller heller enn absoluttverdier.

Feilkildene knyttet til geometri og modellbegrensning anser vi for å være små, noe den supplerende analysen i Delft3D (Kap. 4) understøtter. Det at de to beregningsmetodene gir såpass lik strømming gir god tillit til resultatene, og når forskjellene mellom de to scenariene viser seg å være såpass tydelige, forventer vi alt i alt at summen av feilkildene er beskjedne relativt til tiltaket.

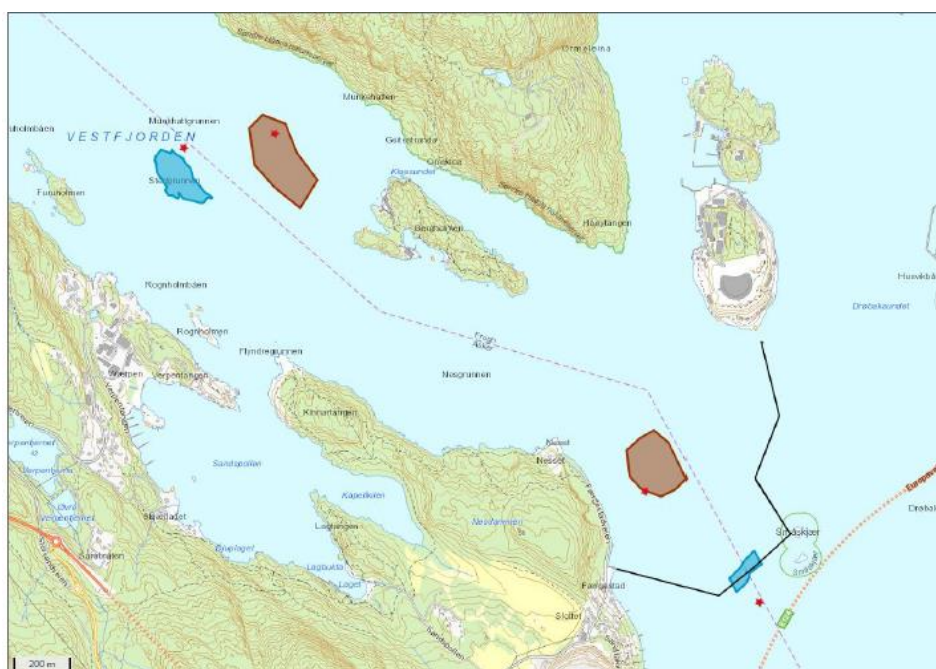
2.5 Sammenlikning med strømmålinger

Strømmålinger er rapportert i [3] for fire punkter vist i Figur 2-8. Som en validering sammenlikner vi her med strømprofiler hentet fra tilnærmet de samme punktene i simuleringen.

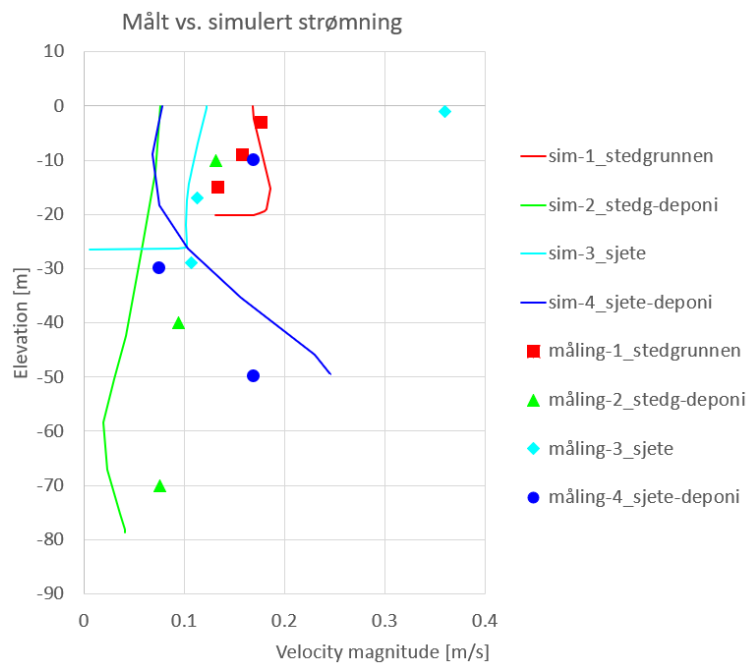
Mens målingene rapporterer gjennomsnittlig strøm og spissverdi, har vi simulert maks vannføring ved middel spring høyvann. Vi skalerer derfor målingene med en faktor $\pi/2$, som tar oss fra gjennomsnittlig magnitudo til høyeste punkt på en sinuskurve, og med en faktor på 1.2, som tar oss fra middel spring høyvann til middel høyvann relativt til middelvann $((0.88 - 0.7)/(0.85 - 0.7) = 1.2$, ref. Vedlegg A).

Det må understrekes at det ligger mye usikkerhet til sammenlikningen her. Hovedsakelig skalering av målingene og avvik i plassering av «målestavene» hovedsakelig, men også til innløpsbetingelser, som er forenklet i simuleringene og sjiktning, som ikke er inkludert. Trendene skal imidlertid fanges opp.

Sammenlikning av strømprofilene er vist i Figur 2-9 med heltrukne linjer fra simulering og punkter fra målinger. Vi ser at både formen på profilene og forholdet mellom profilene stemmer bra. Magnitudene er også i samme størrelsesorden. Rundt sjetéen får vi forholdsvis større strømningshastighet nær bunn og lavere hastighet nær overflaten. Det er rimelig å tro at dette skyldes sjiktningen, som gjerne gjør øvre vannmasser mer mobile.



Figur 2-8: Plassering av strømmålinger [3].



Figur 2-9: Sammenlikning av tidsmidlede strømningsprofiler fra simulering av dagens situasjon og strømmålinger.

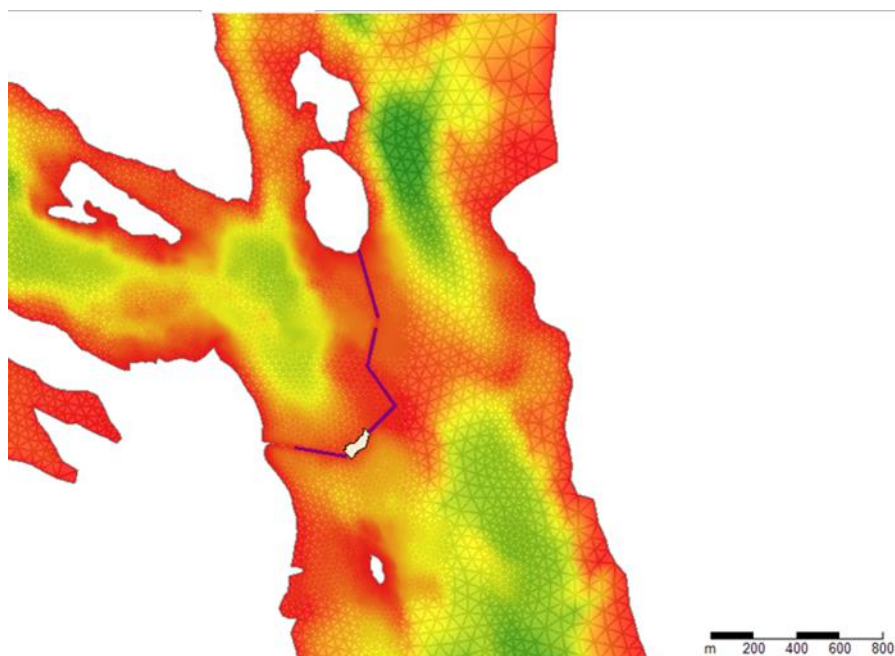
2.6 Beregningsmodell for Delft3d

For de supplerende analysene er hele Oslofjorden diskretisert med et ustrukturert mesh av 32050 triangler. Meshet er forfinet i området i omkring sjetéen med elementer på ca. 6 m. Se Figur 2-10.



Figur 2-10: Mesh for Delft3d-analyser.

I dybderetning er vannsøylen delt inn i 10 lag. Sjetéen modelleres som et overløp (weir) og ikke med batymetrien, som skissert i Figur 2-11. Tidevannsbetingelsene er definert ut fra komponentene gitt i [10] og gjengitt i Figur 2-12.



Figur 2-11: Modellering av sjetéen med åpning.

Comp.	Period [h]	sim/ obs	Viker		Oscarsborg		Oslo	
			amp. [cm]	phase. [deg]	amp. [cm]	phase. [deg]	amp. [cm]	phase. [deg]
SA	8764	sim	15.5	284	15.6	286	15.4	286
		obs	10.0	319	11	322	11.4	324
SSA	4382	sim	8.8	197	9.2	200	9.4	200
		obs	7.5	188	8.0	189	8.2	190
Q ₁	26.8684	sim	0.0	231	0.0	216	0.1	215
		obs	1.1	190	1.2	198	1.3	200
O ₁	25.8193	sim	3.5	337	3.8	339	3.8	339
		obs	2.2	277	2.3	281	2.4	282
P ₁	24.0659	sim	0.6	322	0.6	334	0.7	342
		obs	0.2	129	0.3	102	0.4	97
K ₁	23.9345	sim	0.2	187	0.1	175	0.2	157
		obs	0.4	127	0.7	130	0.8	130
N ₂	12.6584	sim	3.0	69	3.5	75	3.7	76
		obs	3.0	60	3.4	76	3.6	80
M ₂	12.4206	sim	11.5	105	13.2	112	13.9	114
		obs	11.9	105	13.8	121	14.4	125
S ₂	12.0000	sim	3.3	64	3.9	69	4.2	70
		obs	2.9	46	3.3	65	3.5	69
K ₂	11.9672	sim	1.6	10	2.0	13	2.1	15
		obs	0.7	45	0.8	66	0.9	66
MN ₄	6.2692	sim	0.2	5	0.5	32	0.6	35
		obs	0.4	249	0.6	289	0.7	297
M ₄	6.2103	sim	1.0	355	1.9	18	2.5	23
		obs	1.2	281	1.8	324	2.3	332
MS ₄	6.1033	sim	0.6	80	1.2	107	1.6	111
		obs	0.3	360	0.5	44	0.7	56

Figur 2-12: Tidevannskomponenter for Oscarsborg fra [10].

3 RESULTATER CFD

Vi har valgt å presentere resultatene for de to simuleringene parallelt for å gi best grunnlag for sammenlikning.

3.1 Oppsummering

Vannføring i de to fjordarmene uten/med tiltak samt energidissipasjon er vist i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Vannføringer uten/med åpning.

Parameter	Uten åpning	Med åpning
Vannføring Drøbaksundet ¹	6 404 m ³ /s (70.8 %)	5490 m ³ /s (60.7 %)
Vannføring Vestfjorden	2642 m ³ /s (29.2 %)	3608 m ³ /s (39.9 %)
Tilbakestrøm vest for Oscarsborg/Kaholmen ²	1090 m ³ /s (12 %)	757 m ³ /s (8.3 %)
Vannføring over Drøbakgrunnen ³	7743 m ³ /s (86 %)	6970 m ³ /s (77 %)
Vannføring over sjeté ⁴	1303 m ³ /s (14 %)	2128 m ³ /s (23 %)
Bernoullitap ⁵	486 kW	444 kW

¹I dette arbeidet definerer vi vannføring i Drøbaksundet som vannføring i østre fjordarm.

²Med tilbakestrøm menes her motsatt strømrøtning enn i hovedleden (øst for Oscarsholm).

³Øst for Småskjær

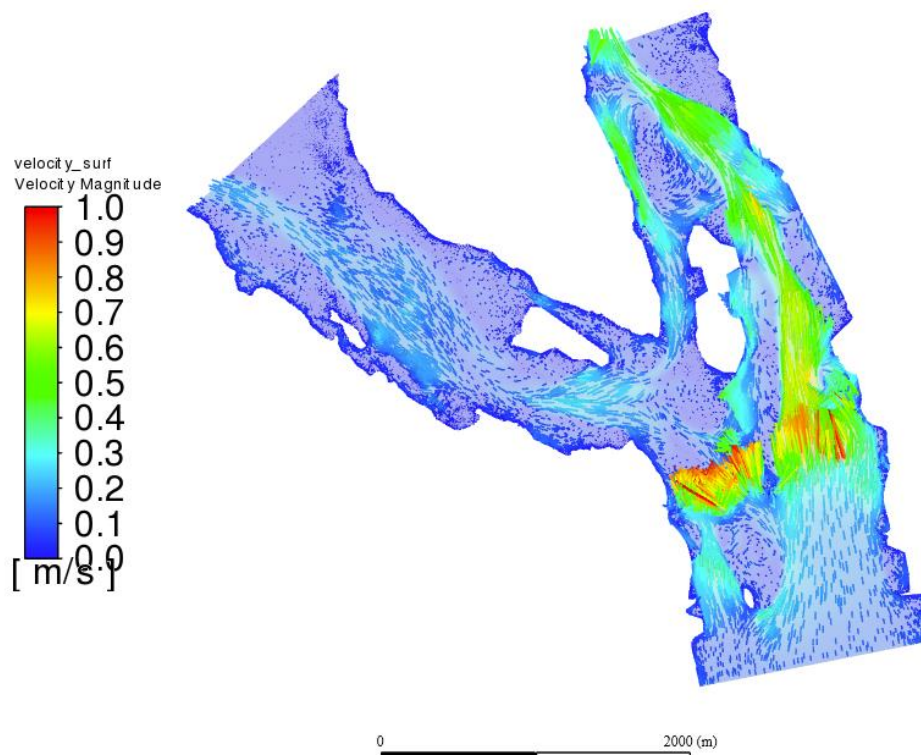
⁴Vest for Småskjær

⁵Energitalp er estimert fra differansen i Bernoullis likning mellom innløp og utløp. Verdierne sier lite om energitalp over tersklene men gir et inntrykk på motstanden gjennom domenet.

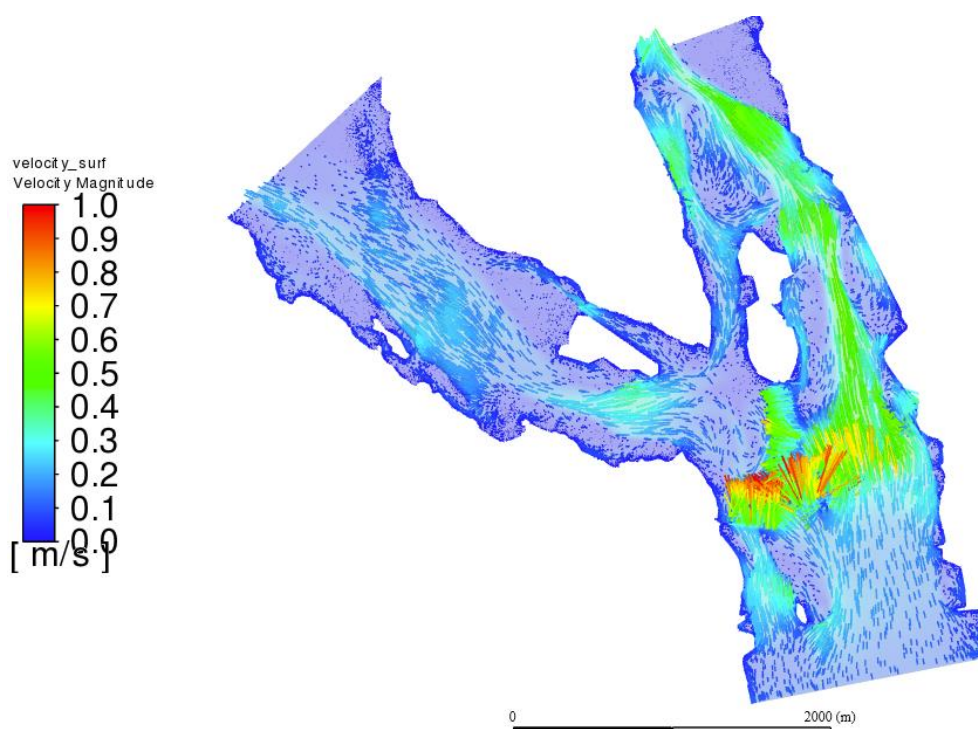
3.2 Vannføring

Vi ser nærmere på karakteristikken til vannføringen uten/med åpning. Se også Tabell 3-1 og Tabell 3-2. Figur 3-1 og Figur 3-2 viser strømhastighet og -vektorer på vannoverflaten uten og med åpning hhv., farget med samme konturer. Videre viser Figur 3-3 og Figur 3-4 strømningslinjer som følger vannpartiklene fra innløpet og gjennom domenet. Strømlinjene er farget med hastighet.

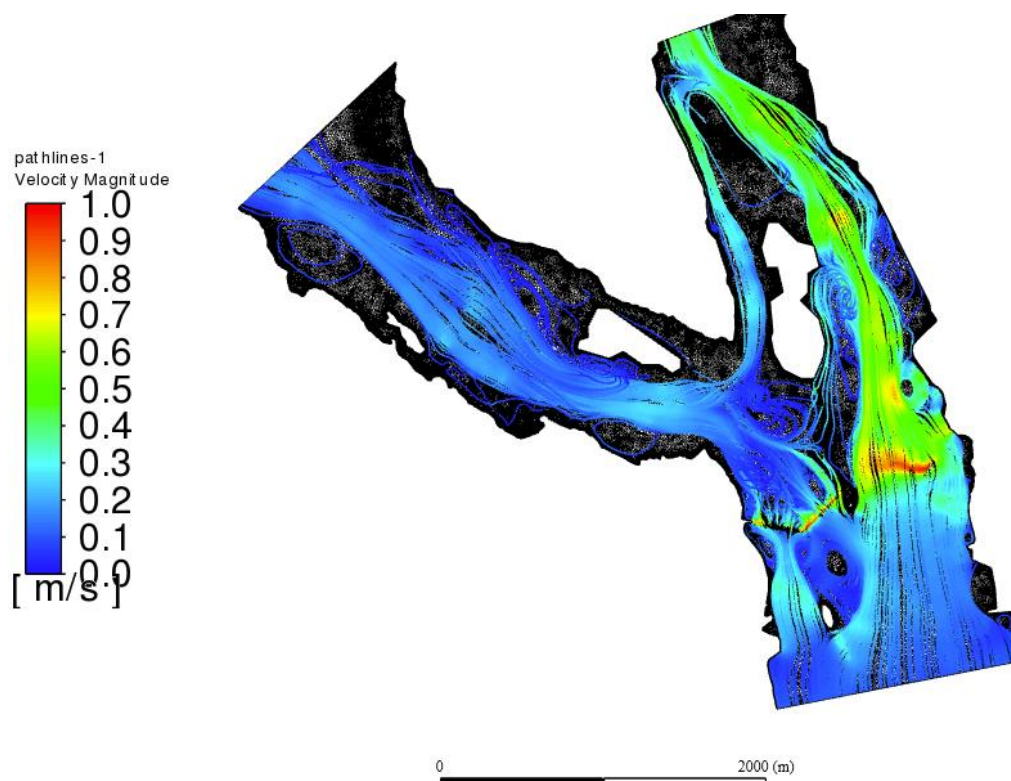
Resultatene viser at motstanden over sjetéen er såpass stor at mye av vannet, 1090 m³/s, dvs. 15 % av vannet som går over Drøbakgrunnen, strømmer tilbake mellom Håøya og Kaholmen og videre gjennom Vestfjorden. Når motstanden over sjetéen reduseres med nytt seilingsløp ser vi at denne effekten reduseres: Med tiltak reduseres denne tilbakestrømmen til 757 m³/s. Dette er diskutert videre i Kap. 3.3. Over sjetéen øker vannføringen fra 1303 til 2128 m³/s. I begge tilfeller strømmer svært lite vann over sjetéen mellom Oscarsborg og Småskjær.



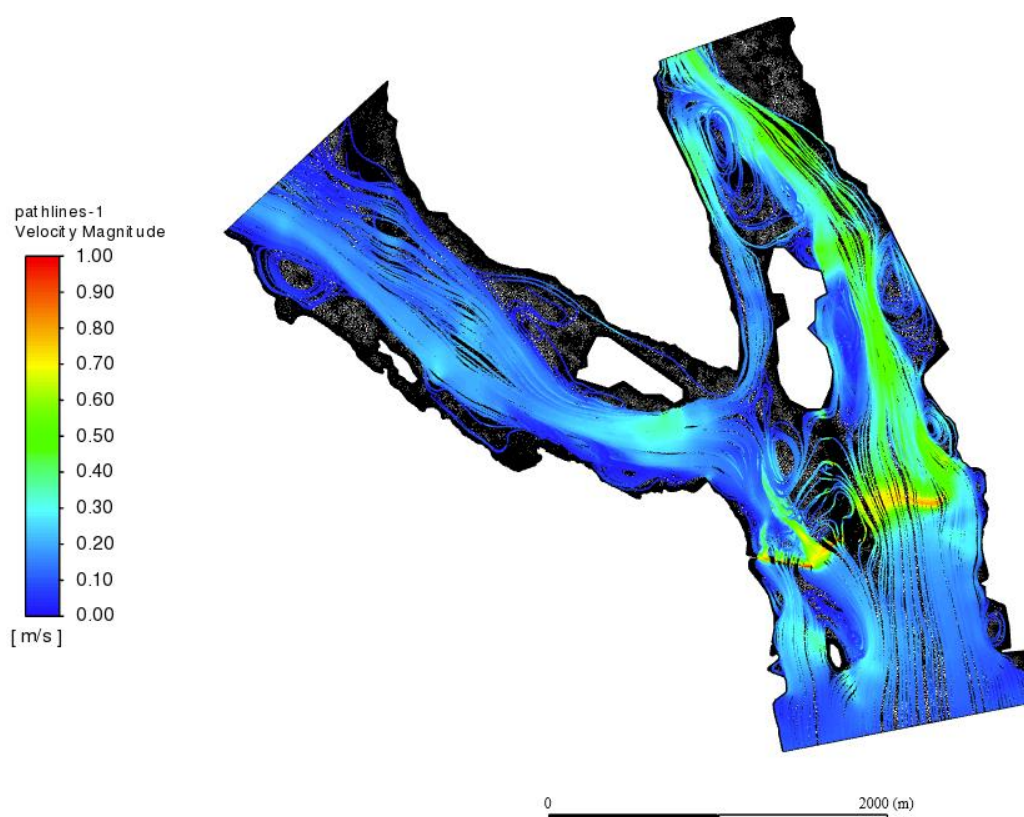
Figur 3-1: Strømningshastighet overflate, uten åpning.



Figur 3-2: Strømningshastighet overflate, med åpning.



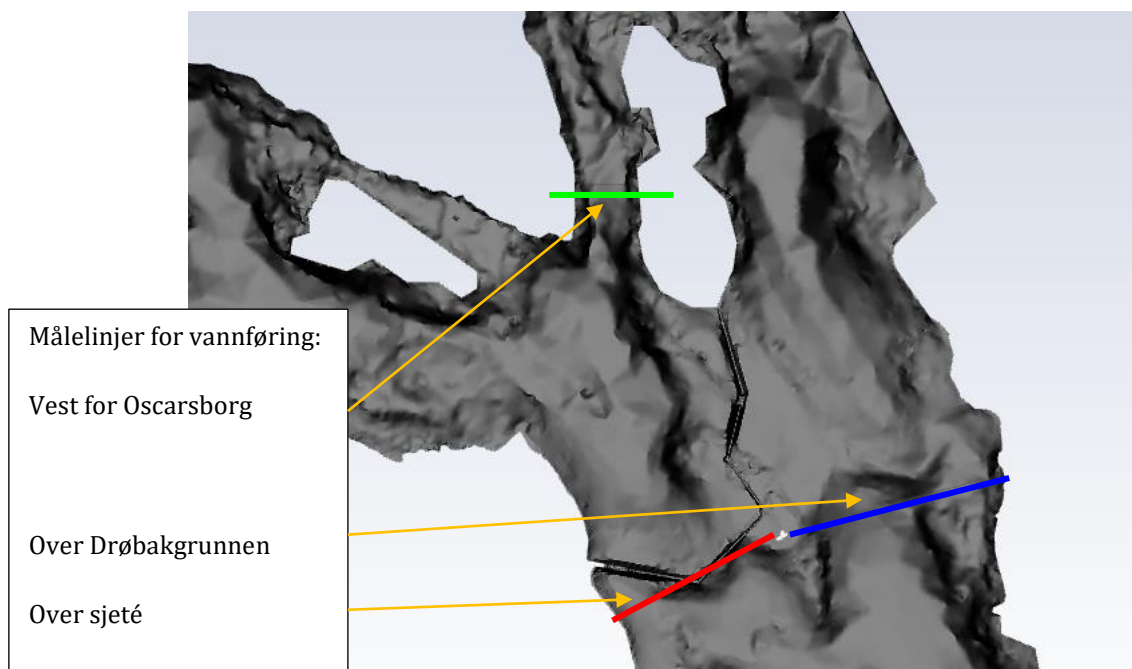
Figur 3-3: Strømlinjer uten åpning.



Figur 3-4: Strømlinjer med åpning.

3.3 Påvirkning over Drøbakgrunnen

I dette kapittelet ser vi på hvordan strømningsforholdene over Drøbakgrunnen (som definert i Figur 1-1) påvirkes av tiltaket. Fra [1] [2] er dette fremhevet som en viktig faktor for de indre bølgene. Vi har konsentrert oss om de direkte resultatene fra trykk- og hastighetsfeltene. Tabell 3-2 oppsummerer resultatene, hvor vi har introdusert målelinjer definert i Figur 3-5.



Figur 3-5: Målelinjer for måling av vannføringer innad i domenet.

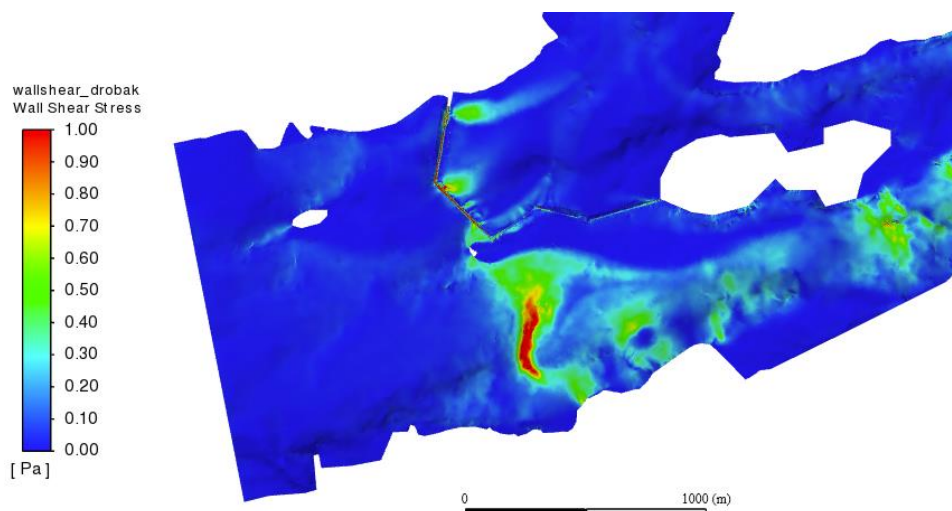
Tabell 3-2: Resultater for strømning over Drøbakgrunnen.

Parameter	Uten åpning	Med åpning
Vannføring Drøbaksundet*	7743 m ³ /s (86 %)	6970 m ³ /s (77 %)
Vannføring over sjeté**	1303 m ³ /s (14 %)	2128 m ³ /s (23 %)
Maksimal strømhastighet over Drøbakgrunnen	0.95 m/s	0.80 m/s
Maksimal skjærspenning over Drøbakgrunnen	1.45 Pa	1.09 Pa

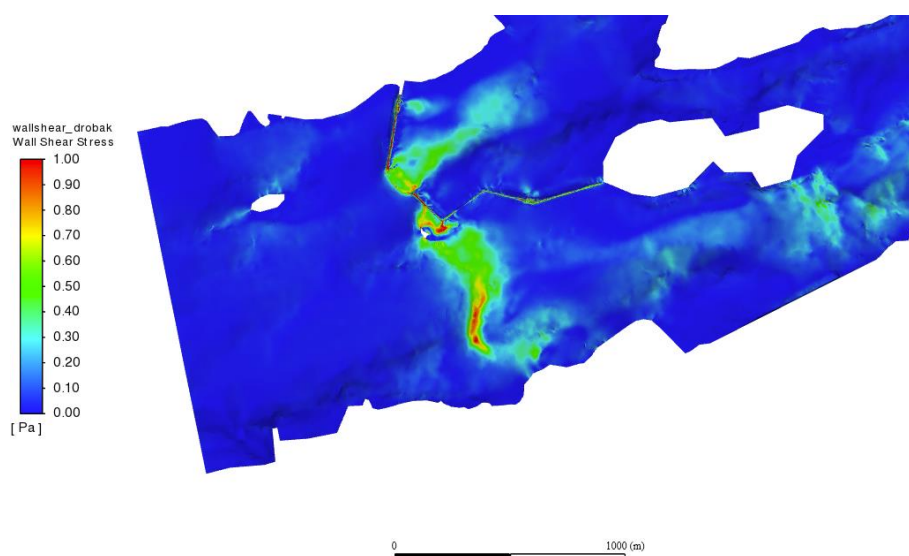
*Øst for Småskjær

**Vest for Småskjær

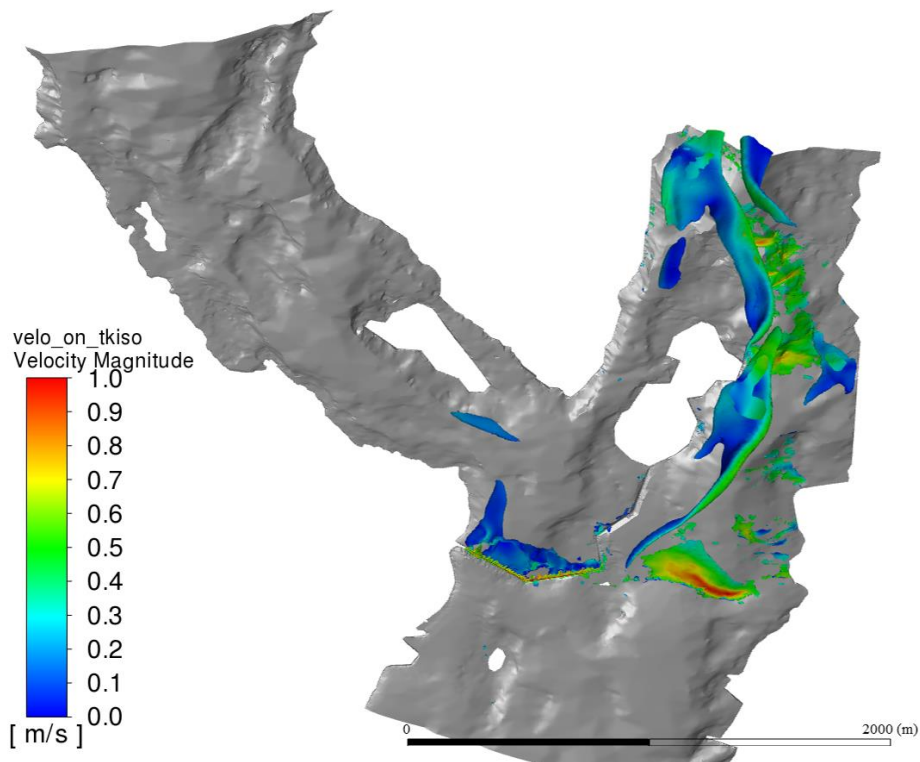
Fra overflatehastighetene i Figur 3-1 og Figur 3-2 får vi en tydelig reduksjon av hastigheten over Drøbakgrunnen, og vannføringen er redusert med ca. 10 % fra 7743 til 6970 m³/s. Reduksjonen forsterkes ytterligere for skjærspenningene (som er proporsjonale med gradienten av hastighetsprofilen) som vi sammenlikner i Figur 3-6 og Figur 3-7. Den turbulente energien som oppstår over terskelen er visualisert ved isoflater i Figur 3-8 og Figur 3-9. Sammenlikner vi disse ser vi at reduksjonen i turbulens er betydelig større enn forholdet mellom vannføringene, da turbulensenergien er proporsjonal med kvadratet av hastighetsfluktuasjonene.



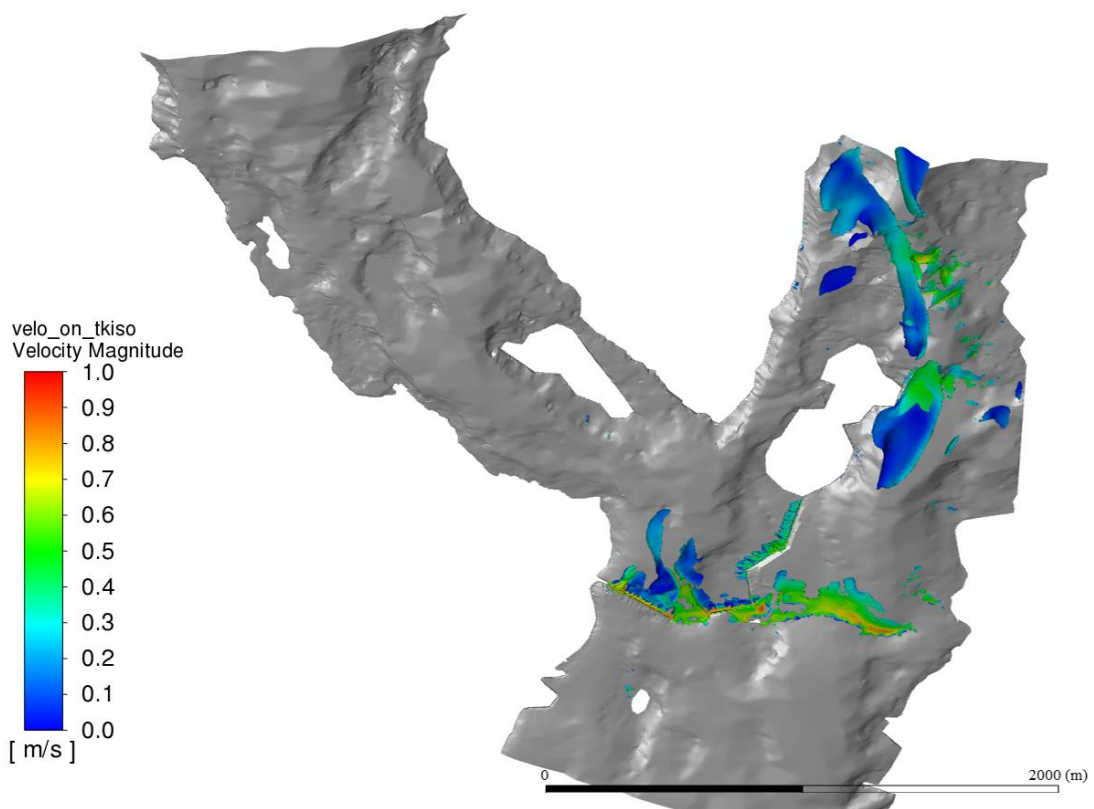
Figur 3-6: Skjærspenning langs bunn, uten åpning.



Figur 3-7: Skjærspenning langs bunn, med åpning.



Figur 3-8: Iso-flater av turbulent kinetisk energi $k=0.0015$ farget med vannhastighet, uten åpning.



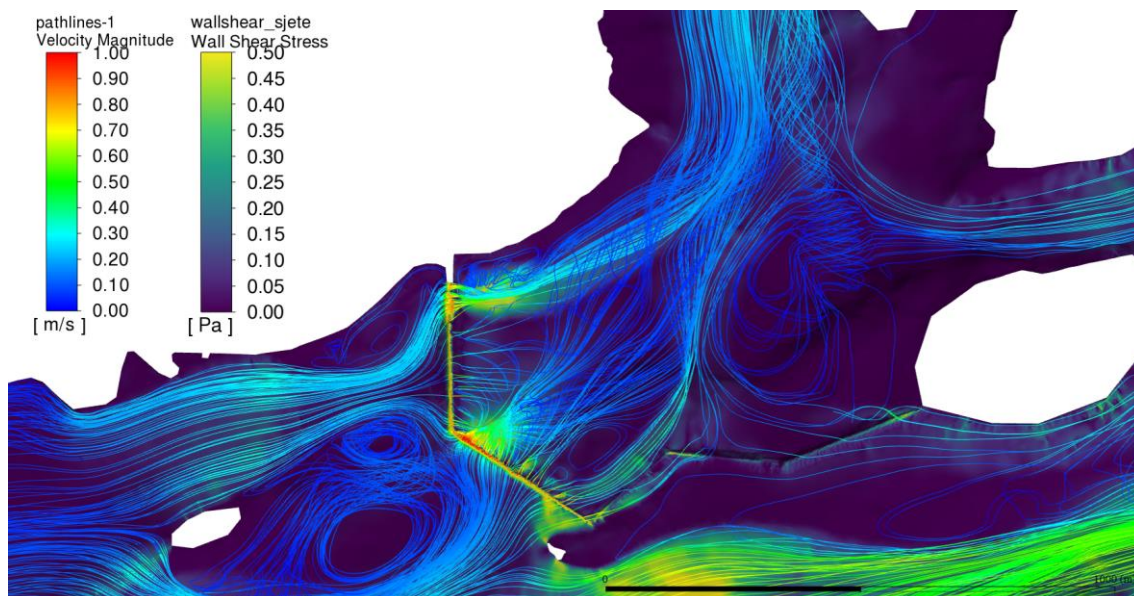
Figur 3-9: Iso-flater av turbulent kinetisk energi $k=0.0015$ farget med vannhastighet, med åpning.

3.4 Påvirkning over sjetéen

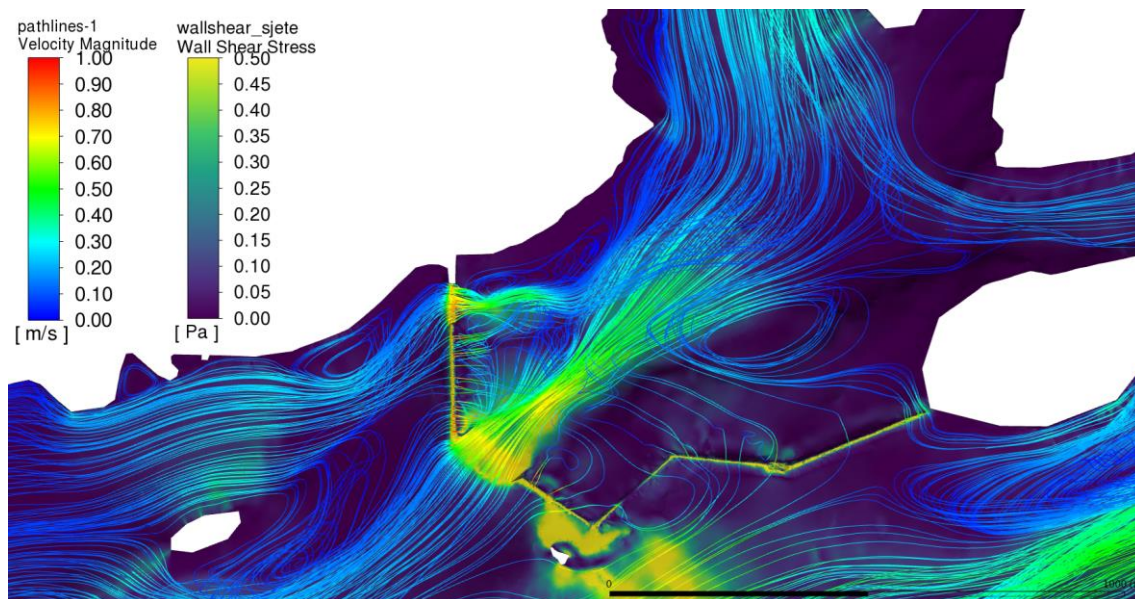
I Kap. 3.2/Tabell 3-2 fant vi at vannføringen over sjetéen økte fra 1303 til 2128 m³/s. Strømlinjene og skjærspenningene i Figur 3-10 og Figur 3-11 illustrerer økningen gjennom det nye seilingsløpet, og viser også at vannføringen reduseres gjennom den nåværende åpningen for småbåter i vest og tilbakestrømmen mellom Håøya og Kaholmen.

Turbulent kinetisk energi i utvalgte plan er sammenliknet i Figur 3-12 og Figur 3-13. Fra disse ser vi at uten åpning er turbulensen mer konsentrert over sjetéen, særlig ved eksisterende åpning i vest, men at den har mindre utstrekning. Oppblandingen skjer hovedsakelig bak eksisterende åpning og resten av bassenget ligger i stor grad urørt. Med åpning ser vi lavere intensitet av turbulensen umiddelbart over sjetéen, men til gjengjeld får vi omrøring/turbulens i en mye større andel av bassenget.

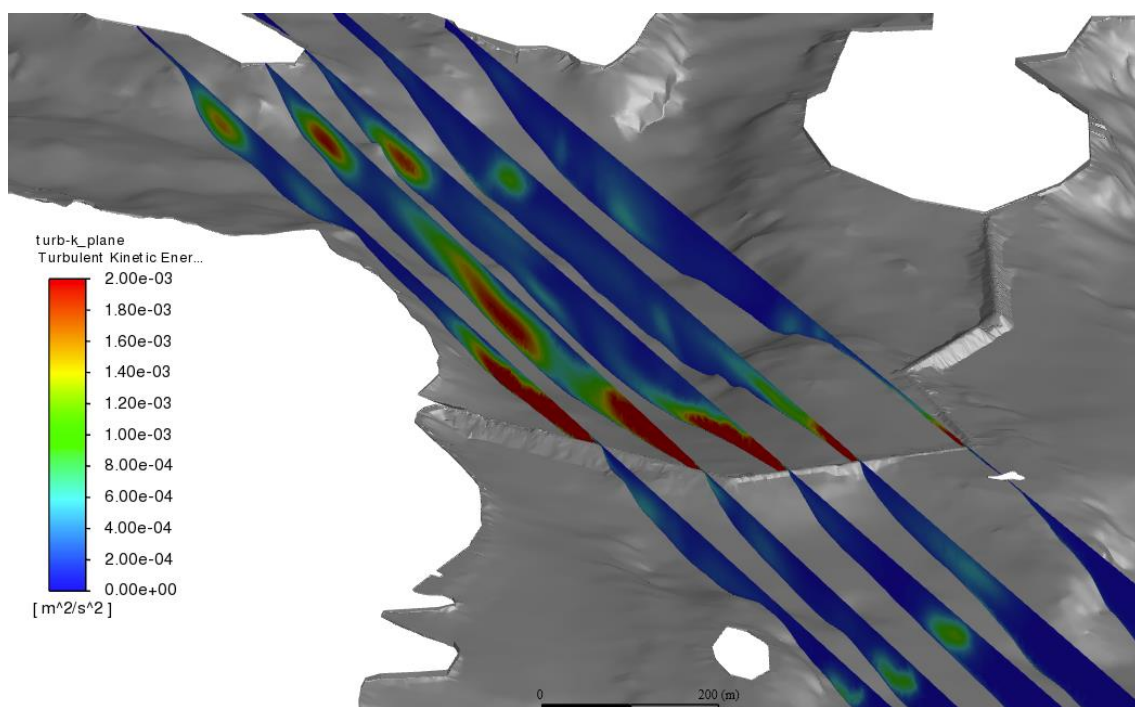
Tross økt vannføring i Vestfjorden med tiltak, ser vi lavere turbulens i fjordarmens inngang. Vi tror dette skyldes at tilbakestrømmen mellom Håøya og Kaholmen er redusert og forholdsmessig mye mindre enn den økte vannføringen over sjetéen og følgelig ikke nok til å skape rotoren (som skimtes i Figur 3-10).



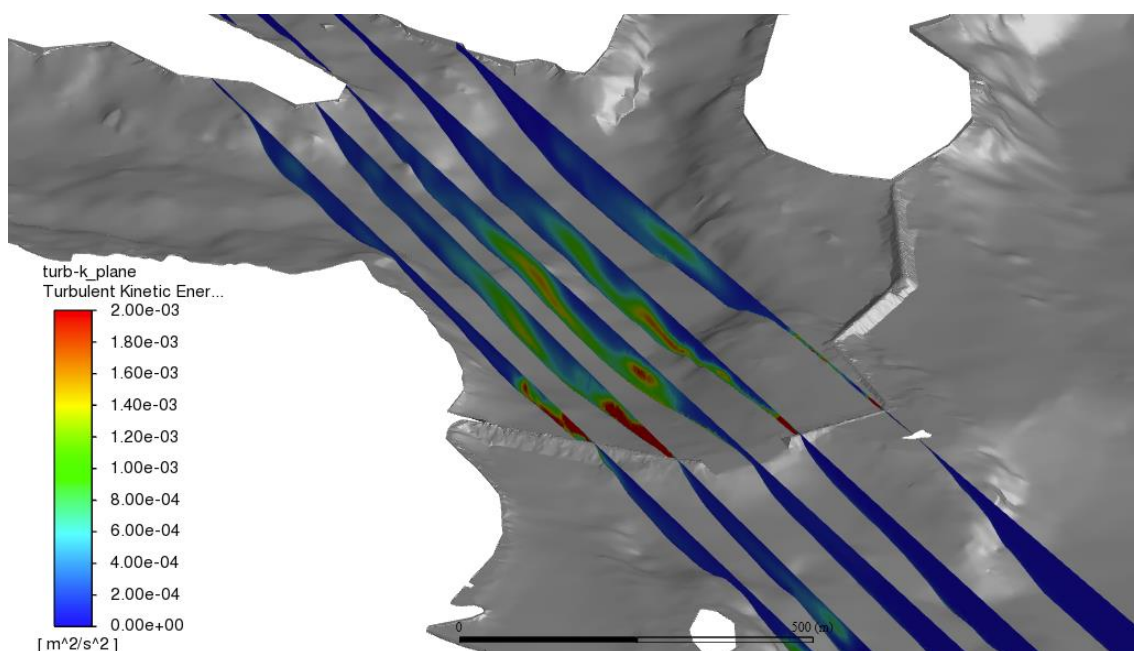
Figur 3-10: Skjærspenning [Pa] og strømlinjer med strømhastighet [m/s] i basseng bak sjeté, uten åpning.



Figur 3-11: Skjærspenning [Pa] og strømlinjer med strømhastighet [m/s] i basseng bak sjeté, med åpning.



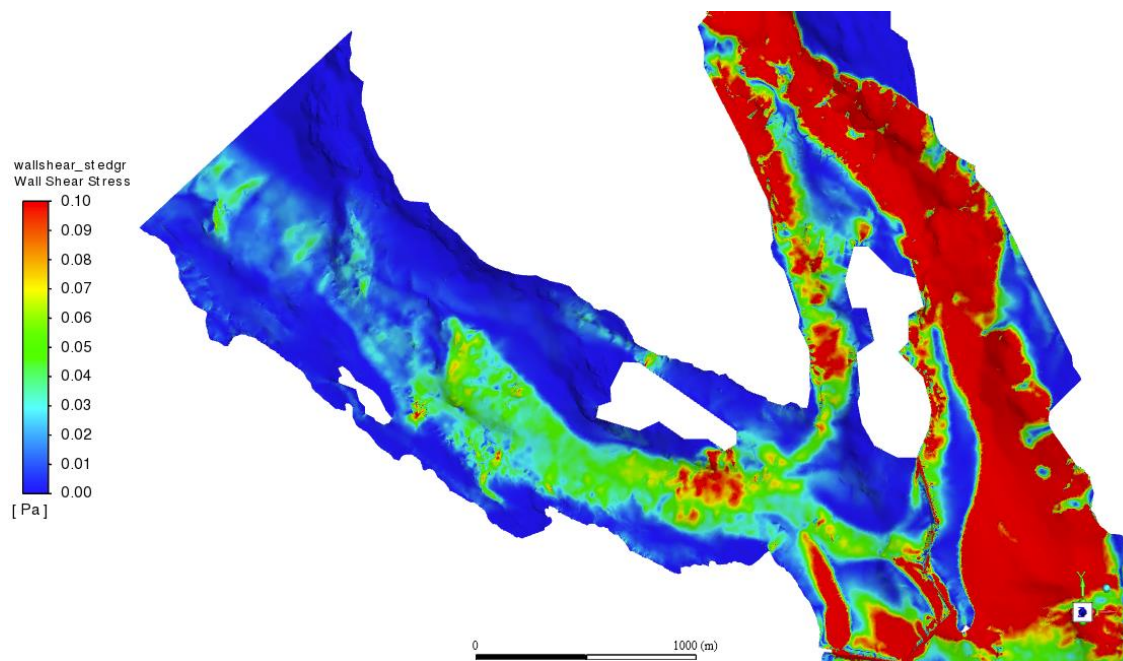
Figur 3-12: Turbulens bak sjeté, uten åpning.



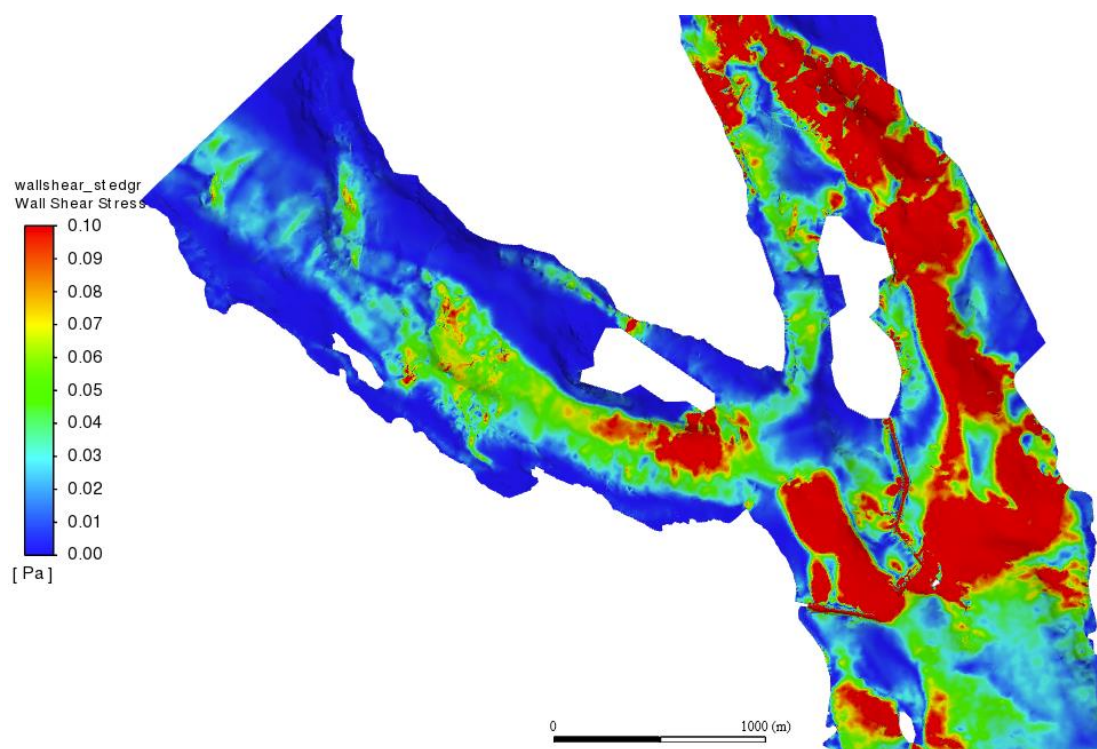
Figur 3-13: Turbulens bak sjeté, med åpning.

3.5 Påvirkning rundt Stedgrunnen

Skjærspenninger langs bunn (skalert for å vise forskjellene i Vestfjorden) er vist i Figur 3-14 og Figur 3-15 uten/med åpning hhv. Vi ser som ventet at økt vannføring gir noe økt bunnskjær, men verdiene er fortsatt så små, og sett sammen at strømlinjene følger samme mønster finner vi at forholdene for sedimenttransport ikke påvirkes i betydelig grad av tiltaket.



Figur 3-14: Skjærspenning langs bunn i Vestfjorden, uten åpning.



Figur 3-15: Skjærspenning langs bunn i Vestfjorden, med åpning.

3.6 Molo ved Storskjær

Det planlegges en molo ved Storskjær som skissert i Figur 3-16 med ukjent lengde. Ut fra resultatene gjøres en kvalitativ vurdering hvordan denne vil påvirke strømmingen sammenliknet med tiltaket.



Figur 3-16: Planlagt molo ved Storskjær.

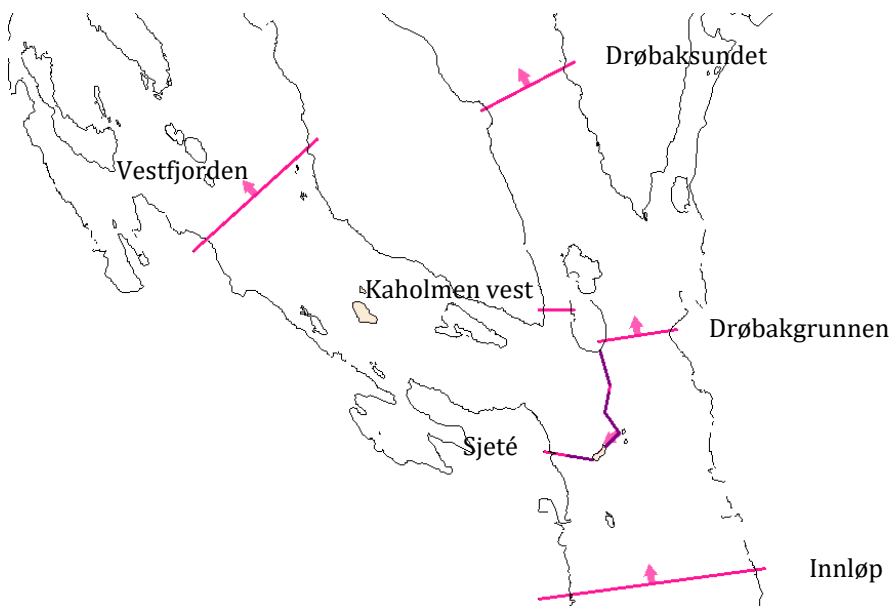
Figur 3-3 og Figur 3-4 viser at mesteparten av vannet som passerer mellom vestbredden og Storskjær vil gå i Vestfjorden, både uten/med åpning. Endres vannføringen over sjetéen ser vi også at den utliknes av tilbakestrøm vest for Kaholmen.

Vi forventer at moloen begrenser strømmen over sjetéen, og dermed øker vannføringen over Drøbakgrunnen, men at vannføringen i Vestfjorden ikke vil påvirkes i like stor grad på grunn av økt tilbakestrøm.

Moloen vil derfor på denne måten ha en avbøtende effekt på konsekvensene av utdypning av sjetéen. Størrelsesforholdet mellom effektene er ukjent, men vi forventer at utdypningen dominerer.

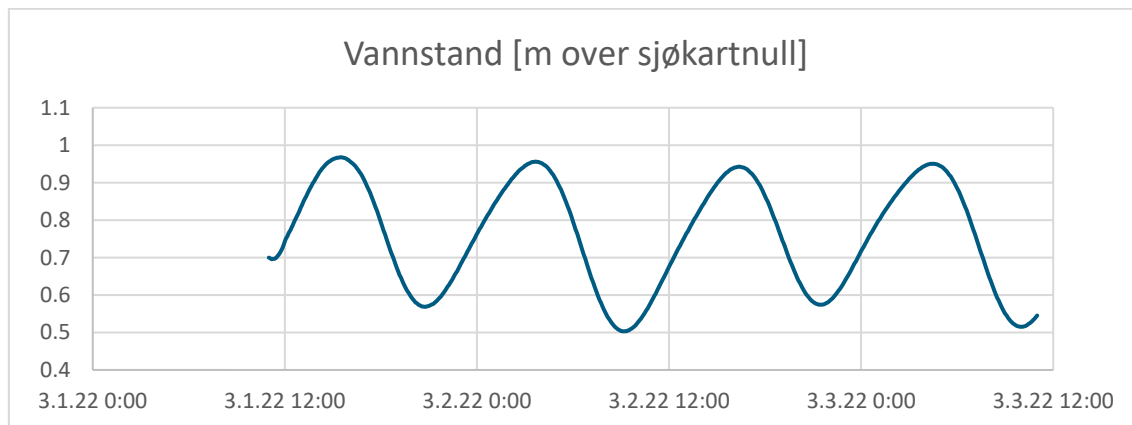
4 RESULTATER DELFT3D

Den supplerende analysen er tenkt som en grovere tilnærming lokalt over sjetéen, men som omfatter hele Oslofjorden og som gjør det mulig å modellere flere hele tidevannsykluser. Samt få et inntrykk av de ikke-stasjonære effektene. Vi har rapportert resultater fra snitt som er definert i Figur 4-1.



Figur 4-1: Snitt benyttet for resultater med Delft3D.

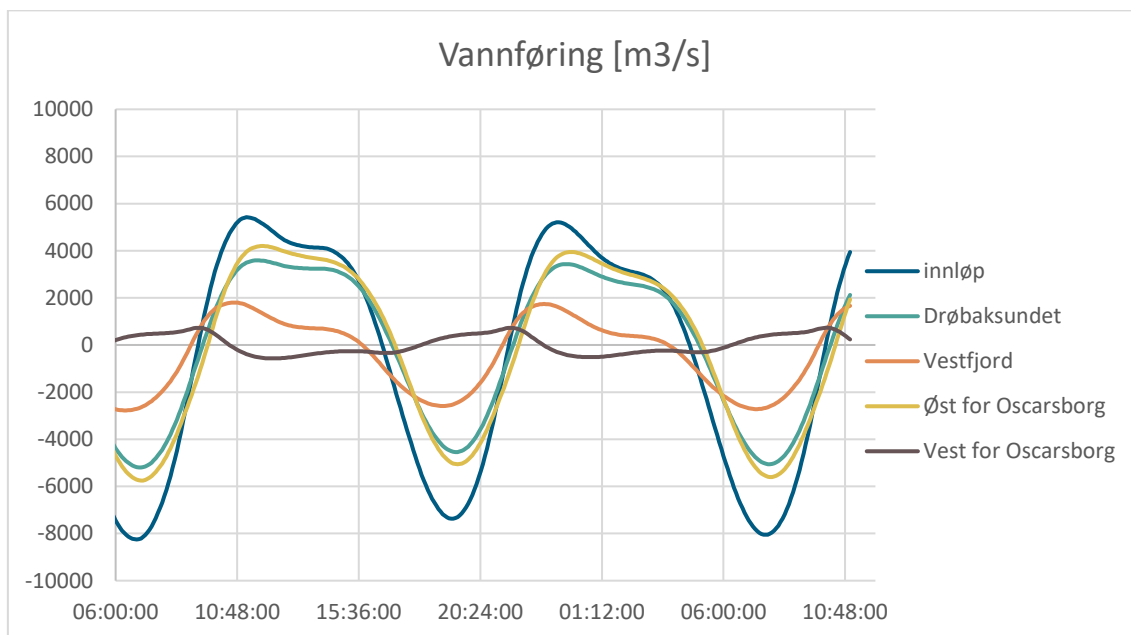
Vi har modellert en tre-dagers periode med sterk tidevannshøyde i perioden 1.-3. mars 2022.



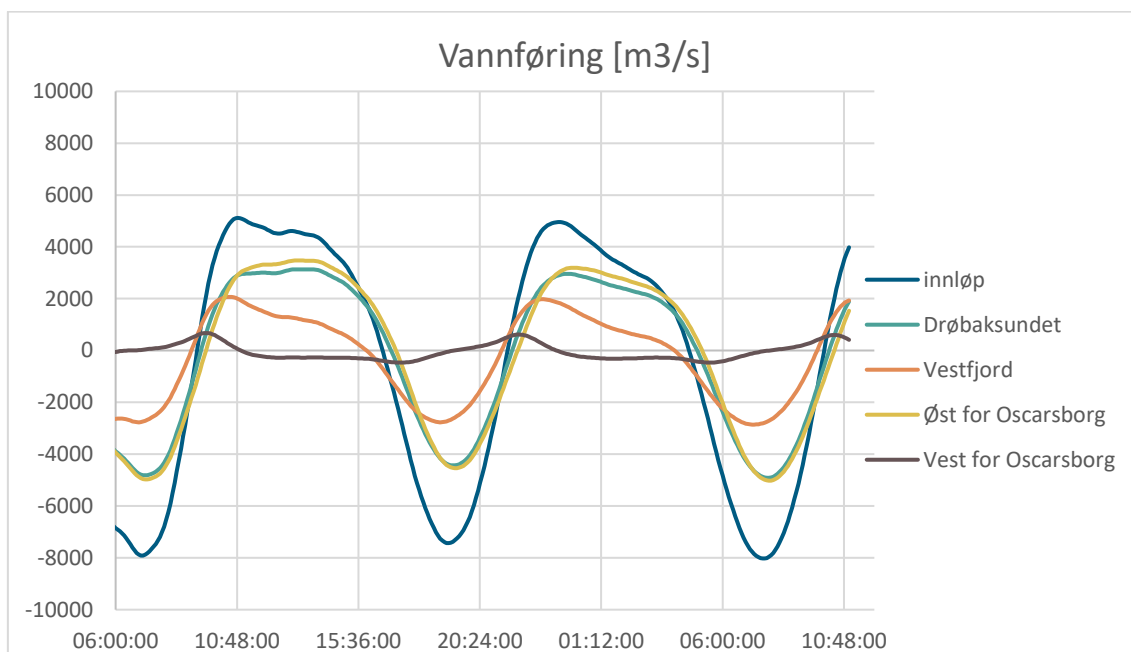
Figur 4-2: Vannstand ved innløpet av modellen for Delft3D for 1.-3. mars 2022.

Figur 4-3 og Figur 4-4 viser vannføringene i de definerte snittene uten og med åpning i sjetéen, hhv. Vi finner også her en reduksjon av vannføringen gjennom Drøbaksundet og i kanalen vest for Oscarsborg med åpningen i sjetéen.

Alle snittene viser en usymmetrisk fordeling av vannføringene: Ved flo er vannføringene mindre enn ved fjære, men perioden med strøm inn fjorden har lengre varighet enn ved strøm ut fjorden.



Figur 4-3: Vannføringer gjennom utløpene og innløpene av modellen i Delft3d for dagens situasjon. Horisontalaksen viser klokkeslett med start fra 3. mars 2022.



Figur 4-4: Vannføringer gjennom utløpene og innløpene av modellen i Delft3d med tiltak. Horisontalaksen viser klokkeslett med start fra 3. mars 2022.

Spissverdiene for strøm inn fjorden er gitt i Tabell 4-1. Vi ser at den totale vannføringen er mindre enn den som er simulert i CFD, men ser vi på forholdstallene så stemmer de eksepsjonelt bra med CFD-analysene (Tabell 3-1). Vi fanger også opp at tidevannføringen ved flo strømmer hovedsakelig

gjennom Drøbaksundet, men at noe vann snur nord for Kaholmen og kommer tilbake i kanalen mellom Håøya og Oscarsborg. Effekten av sjetéen er at motstanden til strømmen gjør at det er lettere for vann å komme seg inn i Vestfjorden gjennom denne kanalen. Når sjetéen åpnes ser vi samme reduksjon av denne tilbakestrømmen som i CFD-analysene.

Vannføringene gjennom kanalen øst for Oscarsborg mot Vestfjorden er lavere enn den vi får for CFD, dette skyldes trolig at oppløsningen i den smale kanalen i Delft3D var for grovt diskretisert til å kunne fange kapasiteten til kanalen tilstrekkelig.

Tabell 4-1: Vannføringer ved bølgetoppen uten/med åpning fra Delft3D.

Parameter	Uten åpning	Med åpning
Vannføring ved Innløpet ¹	5201 m ³ /s (100 %)	4957 m ³ /s (100 %)
Vannføring Drøbaksundet	3384 m ³ /s (65.1 %)	2897 m ³ /s (58.4 %)
Vannføring Vestfjorden	1595 m ³ /s (30.7 %)	1846 m ³ /s (37.2 %)
Vannføring vest for Oscarsborg/Kaholmen	-323 m ³ /s (6.2 %)	-26 m ³ /s (0.5 %)
Vannføring Drøbaksundet ²	3781 m ³ /s (72.7 %)	2994 m ³ /s (60.4 %)
Vannføring over sjeté ³	1365 m ³ /s (26.2%)	1908 m ³ /s (38.5 %)

¹Maksimal vannføring i innløp. Ulik vannføring med/uten åpning skyldes at strømningene fordeler seg noe ulikt gjennom tidevannssyklusene. Vannføring for aktuell simulering brukes som referanseverdi (100 %).

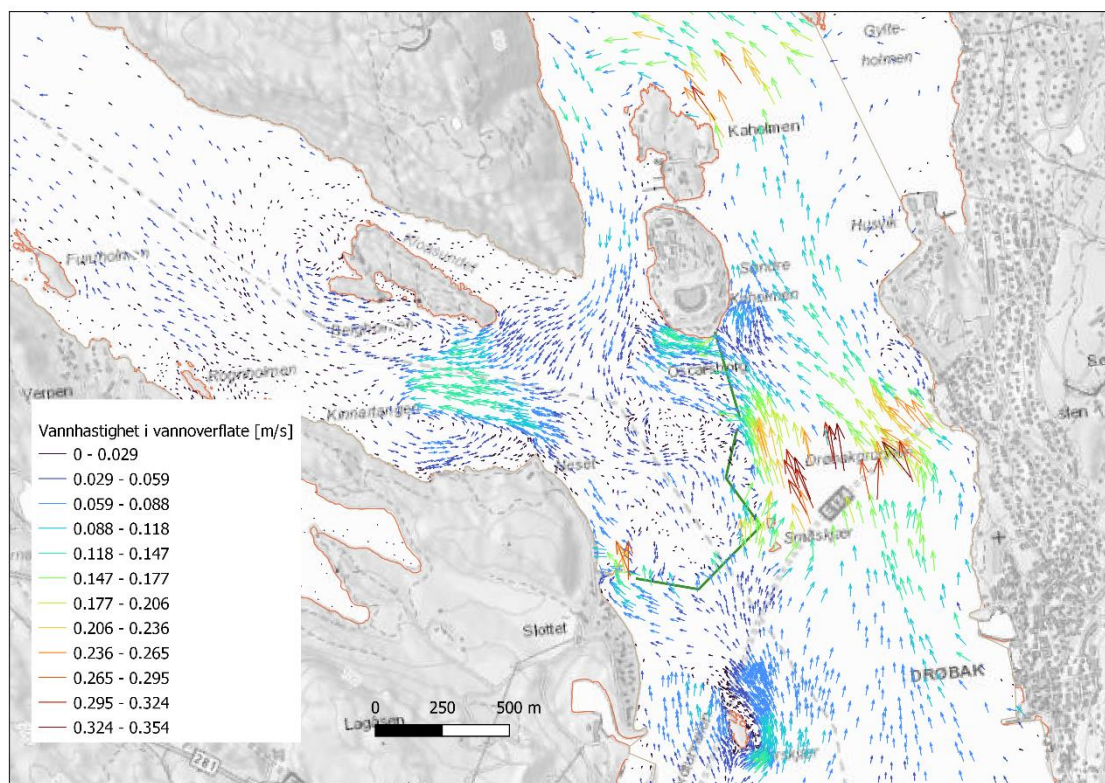
²Øst for Småskjær

³Målt langs hele sjetéen på tidspunktet ved maks vannføring i innløp, se Figur 4-1. Vannføring over sjetéen er ikke i fase med bølgetoppen og maksimal vannføring blir større enn de gitte verdiene. Se Figur 4-7 for en oversikt av utviklingen av vannføring med tid.

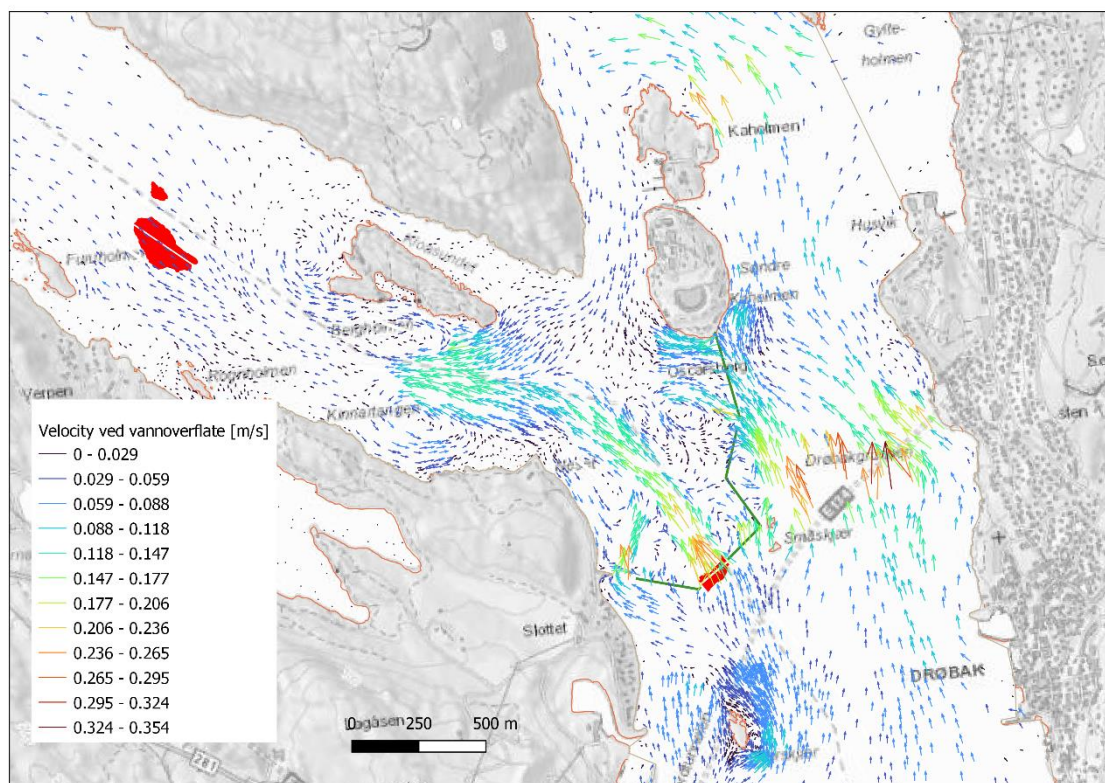
Hastighetsvektorer og -konturer er vist i Figur 4-5 og Figur 4-6 uten/med åpning, hhv. Sammenlikner vi med CFD i Figur 3-1 og Figur 3-2 ser vi svært god overensstemmelse.

Vannføring over sjetéen med/uten tiltak for hele tidsvinduet er vist i Figur 4-7. Som ventet ligger vannføringen jevnt høyere over sjetéen gjennom hele tidevannssyklusen.

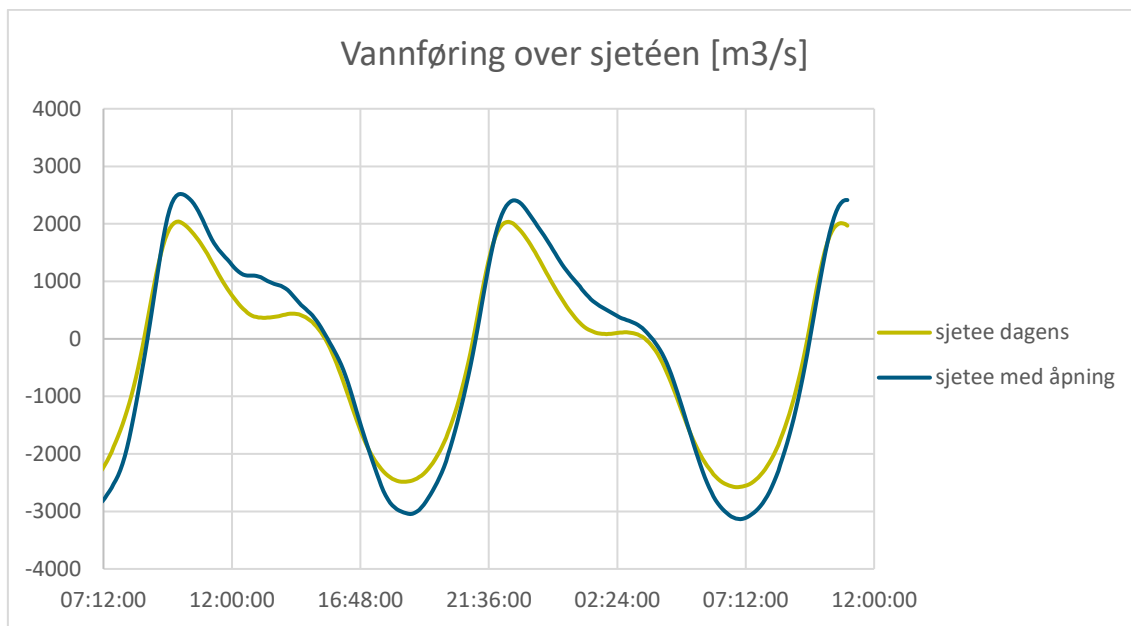
Vannføringene gjennom kanalen øst for Oscarsborg mot Vestfjorden virker lavere enn den vi får i CFD-analysene. Dette kan delvis skyldes at diskretiseringen av kanalen i Delft3D var for grov å kunne fange geometrien tilstrekkelig, men også at vannføringen i kanalen er ikke i fase med tidevannshøyden pga. tregheten til vannet. Effekten av åpning er derimot den samme.



Figur 4-5: Vannhastighet ved vannoverflaten fra modellen i Delft3D for dagens situasjon ved flo (03.03.2022 00:25).



Figur 4-6: Vannhastighet ved vannoverflaten fra modellen i Delft3D, med åpningen ved flo (03.03.2022 00:25).



Figur 4-7: Vannføring over sjetéen med og uten åpning.

REFERANSELISTE

- [1] A. Staalstrøm, L. Arneborg, B. Liljebladh og G. Broström, «Observations of Turbulence Caused by a Combination of Tides and Mean Baroclinic Flow over a Fjord Sill,» *JOURNAL OF PHYSICAL OCEANOGRAPHY*, vol. 45, pp. 355-368, 2015.
- [2] A. Staalstrøm og L. P. Røed, «Vertical mixing and internal wave energy fluxes in a sill fjord,» *Journal of Marine Systems*, vol. 159, pp. 15-32, 2016.
- [3] Norconsuklt AS, *Hovedrapport, Håøya vest og Strøbaksundet, Oppsummering av miljøtekniske undersøkelser, RIM04, rev. J03, 2022-03-09.*
- [4] Norsk institutt for vannforskning, *Biologiske registreringer på Drøbakgrunnen og jeteen ved hjelp av ROV i forbindelse med en utvidelse av skipsleden over Drøbakerskelen, LNR 4499-2002, 2002.*
- [5] Norsk institutt for vannforskning, *Utredning av konsekvenser for vannutskiftningen i indre Oslofjord ved utvidelse av skipsleden over Drøbakerskelen, LNR 4500-2002, 2002.*
- [6] O. M. Johannessen, *Strømundersøkelser i Drøbaksundet, Delrapport nr. 19, Oslofjorden og dens forurensingsproblemer, I. Undersøkelsen 1962-1965*, Norsk Institutt for Vannforskning, 1963.
- [7] ANSYS Fluent, 2022. [Internett]. Available: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>. [Funnet 27 05 2022].
- [8] Deltares, «Delft3d-FLOW,» [Internett]. Available: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d>. [Funnet 07 07 2022].
- [9] Kartverket, [Internett]. Available: <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva>. [Funnet 27 05 2022].
- [10] Karina Hjelmervik, Nils M. Kristensen, Lars P. Røed, André Staalstrøm, «Evaluation of the FjordOs-model. FjordOs technical report No. 4,» Norske Meteorologiske Institutt, 2017.
- [11] QGIS, [Internett]. Available: <https://qgis.org/en/site/>. [Funnet 27 05 2022].

- [12] Symetri, «Autodesk Civil 3D,» [Internett]. Available: https://www.symetri.no/produkter/civil-3d?utm_campaign=%5BPB%5D%C2%A0%5BDSA%5D+%5BNO%5D+%5BNB%5D+Alla+sidor&utm_source=adwords&utm_term=&utm_medium=ppc&hsa_cam=15082684300&hsa_net=adwords&hsa_kw=&hsa_acc=3100054137&hsa_ver=3&hsa_grp=128706878853&hsa_mt=&h. [Funnet 27 05 2022].
- [13] Kystverket, *Punktsky motatt per epost fra Tor Egil Johansen 16.mai 2022, filnavn "kmlfil for småskjær 140m bredde 160522,kml"*.

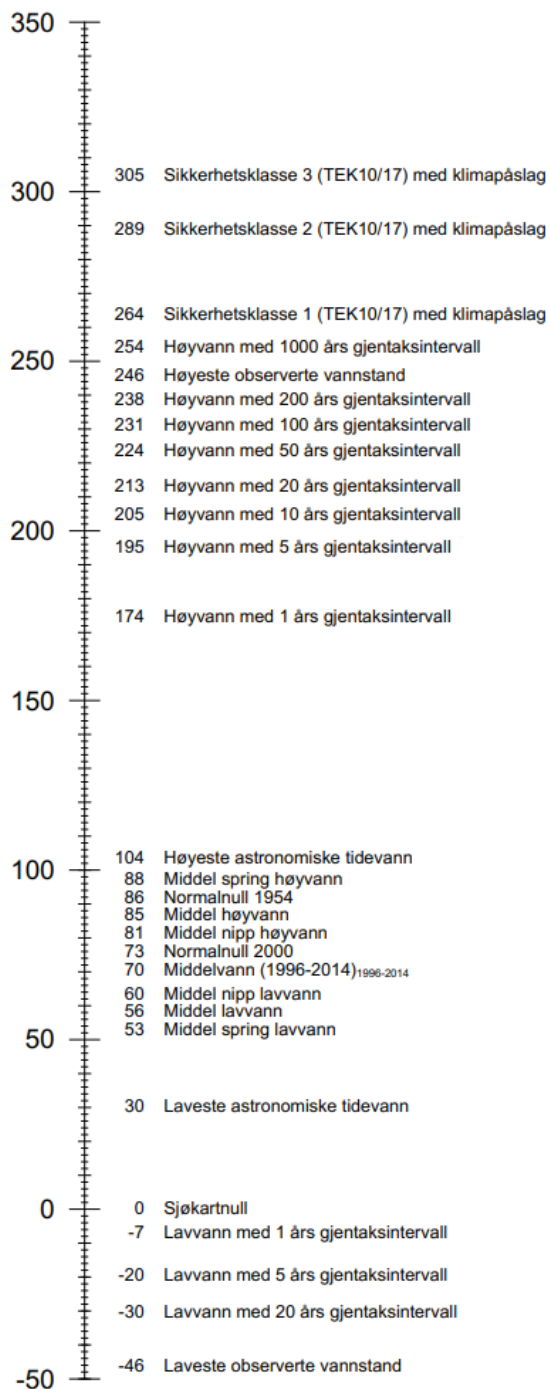
VEDLEGG A; TIDEVANNSTABELL FOR DRØBAKSUNDET

N59°40,4' E10°37,0'

Nivåskisse

DRØBAKSUNDET

Nivå knyttet til tidevann er hentet fra Oscarsborg, justert med faktor 1,00.



Høyder er i cm over Sjøkartnull som er nullnivå for dybder i sjøkart og høyder i tidevannstabellen. Datagrunnlag sist endret: 17. august 2021. Lastet ned: 26. mai 2022.



Sikkerhetsklasser i TEK10/17 med klimapåslag

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap har i 2016 anbefalt at for planleggingsformål som faller inn under Sikkerhetsklasse 1, 2 og 3 i TEK10 (og TEK17), skal man bruke returnivå for stormflo med henholdsvis 20-, 200- og 1000-års returnivå og legge til et klimapåslag. Klimapåslaget er anbefalt å være tallene fra RCP8.5 fra rapporten fra FNs klimapanel (2013) for årene 2081-2100 og framskrivningenes 95-persentil.

Høy-/lavvann med gjentakintervall

Statistiske beregninger av hvor hyppig et ekstremt høy-/lavvann av en viss størrelse vil opptre. I gjennomsnitt når høy-/lavvannet dette nivået en gang i løpet av gjentakintervallet. Eksempel: et ekstremt høyvann med 50 års gjentakintervall vil i gjennomsnitt opptre en gang per 50 år. Gjentakintervall kalles også returperiode.

Høyeste observerte vannstand

Den høyeste observerte vannstanden for denne målestasjonen. Dette er summen av tidevannet og værrets virkning (vind, lufttrykk og temperatur) på dette tidspunktet. Effekten av eventuelle vindbølger vil komme i tillegg.

Høyeste astronomiske tidevann

Høyeste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes HAT ved å lage tidevanntabeller for 19 år og plukke ut det høyeste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

Middel spring høyvann

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til høyere høyvann enn ellers.

Normalnull 1954

Nullnivået som de aller fleste kommuner brukte før NN2000 ble innført.

Middel høyvann

Gjennomsnittet av alle observerte høyvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann pluss amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

Middel nipp høyvann

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til lavere høyvann enn ellers.

Normalnull 2000

Nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000

Middelvann (1996-2014)

Gjennomsnittlig høyde av sjøens overflate på et sted over en periode på 19 år. Middelvann beregnes som gjennomsnittet av vannstandsobservasjoner foretatt med faste tidsintervall - fortrinnsvis over en periode på 19 år. Dagens middelvann er beregnet over perioden 1996-2014.

Middel nipp lavvann

Gjennomsnittet av observerte lavvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til høyere lavvann enn ellers.

Middel lavvann

Gjennomsnittet av alle observerte lavvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann minus amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

Middel spring lavvann

Gjennomsnittet av observerte lavvann omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til lavere lavvann enn ellers.

Laveste astronomiske tidevann

Laveste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes LAT ved å lage tidevanntabeller for 19 år og plukke ut det laveste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

Sjøkartnull

Nullnivå for dybder i sjøkart og høyder i tidevanntabellen. Sjøkartnull er fra 1. januar 2000 lagt til laveste astronomiske tidevann (LAT). Langs Sørlandskysten og i Oslofjorden er tidevannsvariasjonene små i forhold til værrets virkning på vannstanden (vind, lufttrykk og temperatur). Sjøkartnull er derfor av sikkerhetsmessige grunner lagt 20 cm lavere enn LAT langs kysten fra svenskegrensen til Utsira og 30 cm lavere enn LAT i indre Oslofjord (innenfor Drøbaksundet).

Laveste observerte vannstand

Den laveste observerte vannstanden for denne målestasjonen. Kombinasjonen av lavt tidevann og værrets virkning (vind, lufttrykk og temperatur) kan resultere i ekstra lav vannstand.

VEDLEGG B; TERMER OG DEFINISJONER

Nærmere beskrivelser av termer og definisjoner benyttet i denne rapporten er gitt i tabellen under.

Celle	Ett delvolum/beregningspunkt i et mesh.
Dybde	Avstand fra vannstands nivå ved sjøkartnull til sjøbunn.
Element	Se Celle.
Kote	Nivå sjøbunn relatert til sjøkartnull
Mesh	Inndelingen av et kontinuerlig legeme til et diskret antall beregningspunkter.
Skjærspenning	Tangentiell kraft per areal i grensen mellom vann og sjøbunn. Definert som viskositet multiplisert med gradienten til strømningshastigheten: $\tau_w = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=0}$ I denne rapporten brukes det som en indikator på eventuelle endringer i forholdene for sedimenttransport.
Tidevannsprisme	Volumendringen i en fjord eller havn mellom lavvann og høyvann
Turbulent kinetisk energi	Sum av varians av fluktuerende hastighetskomponenter, $k = 1/2 \cdot (\overline{u_i^2}), i = x, y, z$
Viskøst grensesjikt	Hastighetsprofil nærmest sjøbunn/objekt der viskøse krefter dominerer