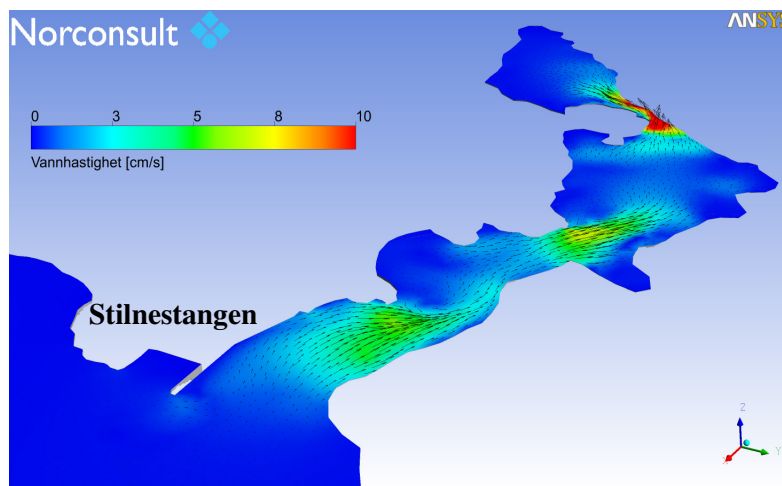
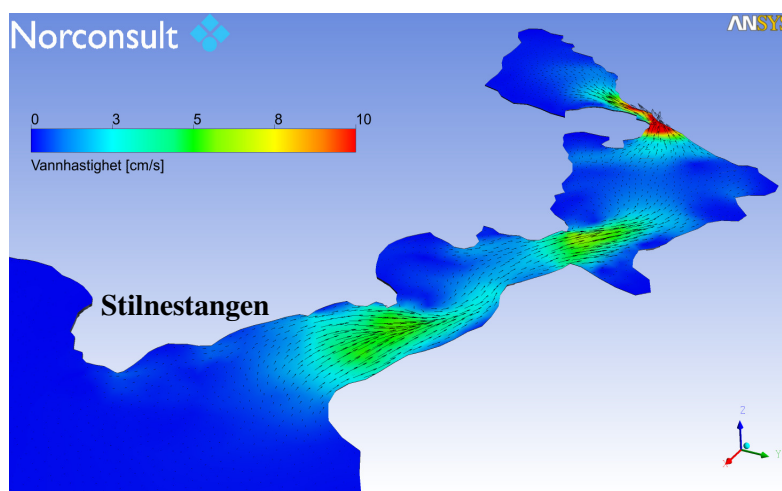







STRØMNINGSANALYSE FOR STILNESTANGEN



22. november 2010

Tittel: STRØMNINGSANALYSE FOR STILNESTANGEN						
Oppdragsgivers kontaktperson: Harald Nilsen			Rådgiver: Norconsult  Norconsult AS Vestfjordgaten 4, 1338 Sandvika Telefon: 67 57 10 00 Telefax: 67 54 45 76 E-post: firmapost@norconsult.no www.norconsult.no Foretaksreg.: NO 962392687 MVA			
Oppdragsnr.: 5102858			Dokumentnr.: 01		Oppdragsleder: Bård Venås	
Revisjon:			Dato: 2010-11-22		Utarbeidet av: Sign.: Bård Venås  Anders Welde Vikan 	
Antall sider og bilag 22 sider inkl. 4 vedlegg			Fagkontrollert av: Sign.: Gaute Rørvik Salomonsen 		Godkjent av: Sign.: Kristin Grenan 	
Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent	
SAMMENDRAG						
<p>Som ledd i utbyggingen av området på Stilnestangen, Kragerø, har det kommet spørsmål om utbyggingen vil forårsake endringer i vannutskiftningen inn mot Kalstadkilen samt strømendringer av betydning for skipstrafikken, eller erosjon av forurensede sedimenter. Det har i denne rapporten blitt fremlagt resultater fra strømningsberegninger av tidevanns- og vinddrevede strømming for å belyse dette.</p> <p>Resultatene viser at slik planen for utbyggingen av Kalstadkilen foreligger i dag, vil den få svært liten eller ingen innvirkning på vannutskiftningen i området, eller for skipsfarten. Det er funnet områder som kan få en liten økning i strømhastighet langs bunnen uten at det er noen erosjonsfare knyttet til denne økningen.</p> <p>Utbyggingen innskrenker ikke munningen mellom Stilnestangen og Malmhella nok til at den vil kunne påvirke vannutskiftningen. Slik at det fortsatt vil være innsnevringene i områdene ved Hestøya, Kragerø sykehus og Sandåsen som vil bestemme strømningsbildet og vannutskiftning i området.</p> <p>Tidevann: generelt sett er tidevannsstrømmene i området små også i de minste tverrsnittene. I området ved utbyggingen skaper tidevannet svært små hastigheter og situasjonen er i praksis upåvirket av utbyggingen.</p> <p>Vind: hovedkonklusjonen fra vindstudiet er at vinden sjelden vil skape stor utskiftning av vannet innover i Kalstadkilen. Utbyggingen vil dessuten skape liten endring mht. disse effektene.</p>						

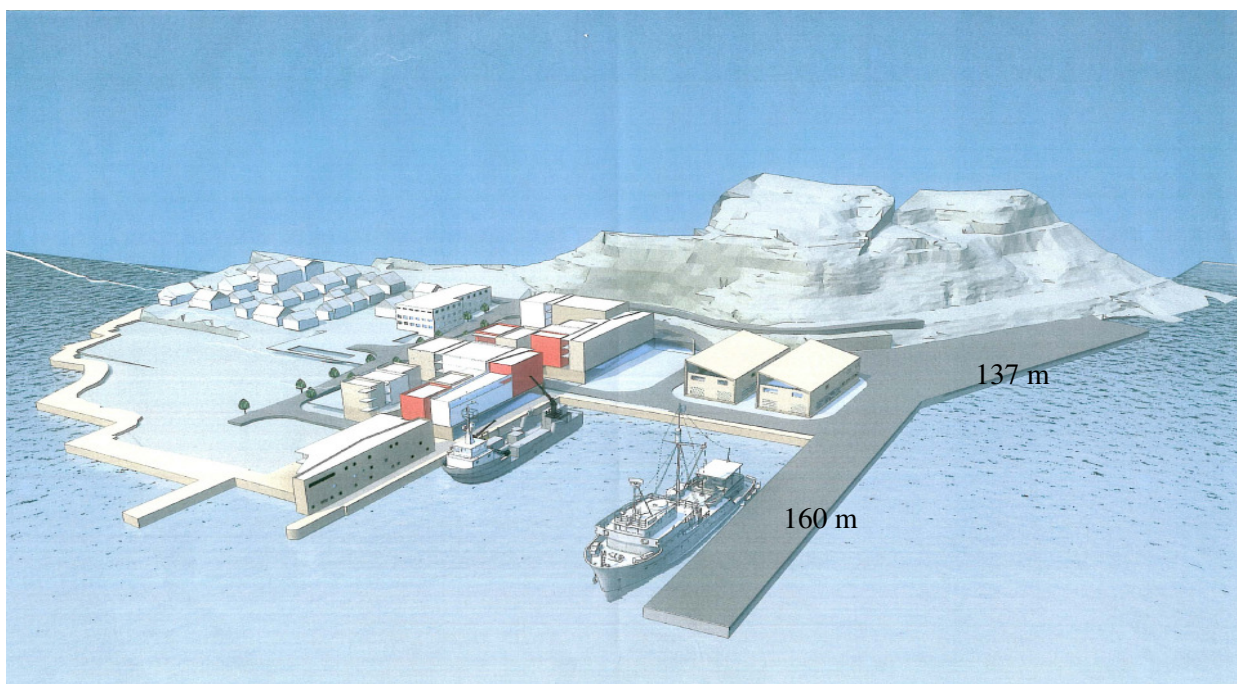
INNHALDSFORTEGNELSE

1	BAKGRUNN	4
1.1	Dagens situasjon og utbygging.....	4
1.2	Geometrisk modellering.....	5
1.3	Beregningsmetodikk.....	7
2	RESULTATER	8
2.1	Tidevannsdrevet strømming.....	8
2.2	Vinddrevet strøm.....	11
3	KONKLUSJONER	16
	VEDLEGG A: TIDEVANNSTRØMNING LANGS BUNN	17
	VEDLEGG B: COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS	19
	VEDLEGG C: TIDEVANNSTABELL	21
	VEDLEGG D: VINDSTATISTIKK	22

1 BAKGRUNN

1.1 Dagens situasjon og utbygging

Området rundt Stilnestangen planlegges bygd ut med nye nærings- og kaiområder. Figur 1 viser Kalstadkilen øverst og en skisse av den planlagte utbyggingen nederst. En ca. 140 m lang kai bygges ut i sørøstlig retning som knekker over til en 160 m lang kai i østlig retning.



Figur 1: Øverst: Flyfoto av området. Nederst: Planlagt utbygging.

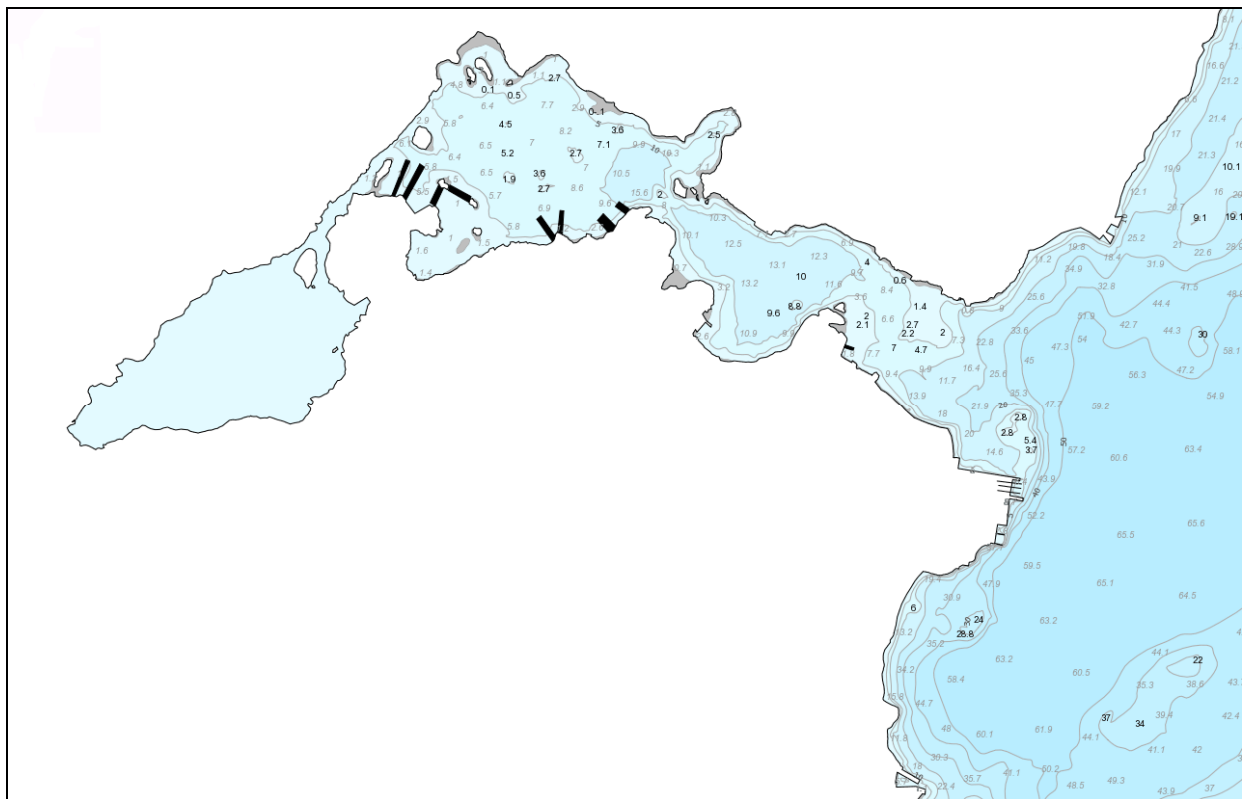
1.2 Geometrisk modellering

Modelleringen for området Stilnestangen og innover mot Indre Kalstadkilen er basert på sjøkartdata fra Sjøkartverket, vist i figur 2.

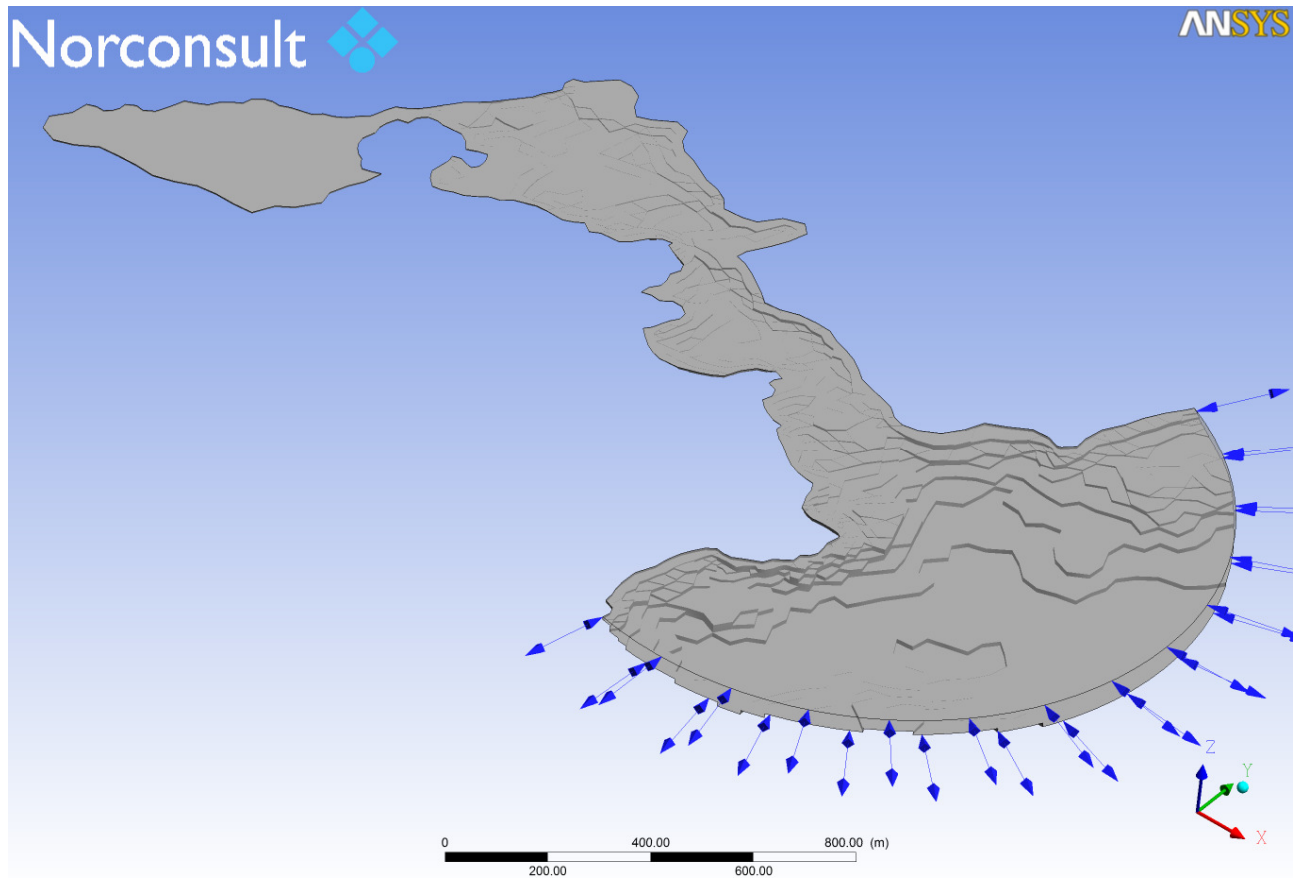
Dybde dataene er benyttet til å lage en 3D-modell som grunnlaget for strømningsberegningene. Pilene i figur 3 representerer den "åpne grensen" hvor vann kan strømme inn og ut i beregningene.

Dybden i modellen kan ses i figur 4 der dybden er plottet langs bunnen. Figuren leses av ved å sammenlikne fargene med skalaen til venstre i figuren.

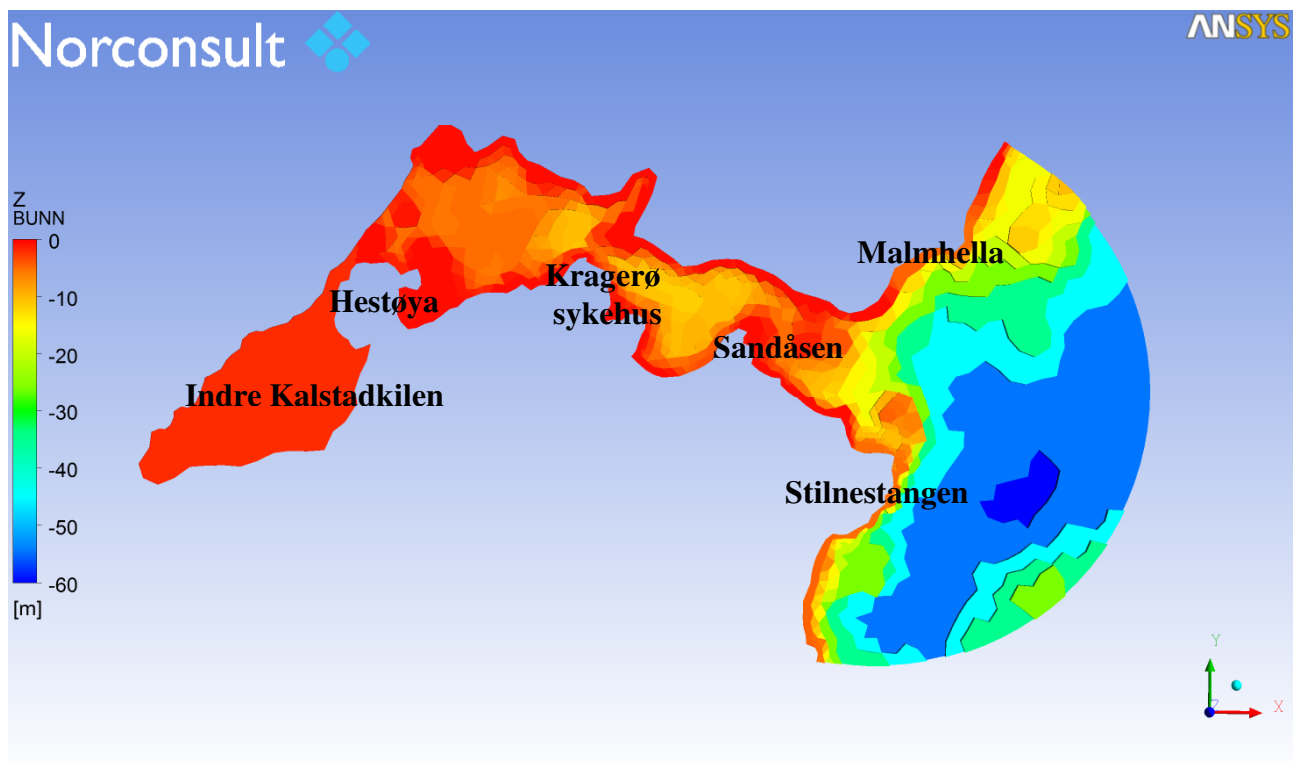
Dybden er i forhold til sjøkartnull, med middel vannstand på 0,5 m. Av figur 4 kan det ses at dybdene i fra Stilnestangen og inn i Kalstadkilen varierer fra ca. 13 m og til sjøkartnull. Mellom Stilnestangen og Malmhella i retning Bærøyfjorden skråner fjordbunnen raskt ned mot rundt 60 m. Det kan også observeres at de trangeste - og grunneste - sundene befinner seg ved Sandåsen, Kragerø sykehus og ved Hestøya. De små øyene i Kalstadkilen er utelatt for å forenkle modelleringen noe.



Figur 2: Sjøkart over det modellerte området.



Figur 3: 3D-modellen av området i fugleperspektiv.



Figur 4: Fargene leses av som dybder i henhold til fargeskalaen til venstre.

1.3 Beregningsmetodikk

For å utrede strømningsforholdene er det blitt gjennomført 3D CFD-simuleringer (CFD fra engelsk: Computational Fluid Dynamics) for dagens situasjon og med planlagt utbygning.

CFD-metodikken innebærer at de fundamentale ligningene for bevegelser av fluider (væsker og gasser) løses for en geometrisk datamodell av det berørte området. Etter at geometrien er konstruert deles volumet opp i et stort antall beregningsceller og likningene løses ved numeriske metoder på kraftige datamaskiner. Simuleringene som rapporteres her er utført for modeller med rundt 60 000 beregningsvolumer.

Strømningen er fulgt i tre tidevannssykluser for at en stabil strømnings situasjon skal etableres.

Beregningen er kjørt som en simulering av kun vann, hvor overflaten i modellen tilpasses ut fra løsningen slik at den følger væskeoverflaten. Bølger er ikke inkludert i beregningen. Metoden beskrives noe nærmere Vedlegg B: Computational Fluid Dynamics. Som vist her er endringen av vannstand som følge av strømningen svært liten.

Simuleringene ble utført på en kraftig flerprocessor PC på 4 prosessorer parallelt, hvor hver beregning tok typisk et par timer.

En fordel med CFD-beregninger er at resultatene lar seg visualisere effektivt på en rekke måter som ved hjelp av konturflater, isoflater, animasjoner mm. Norconsult benytter programvaren ANSYS CFX som er en av de absolutt verdensledende innenfor området. Se <http://cfd.norconsult.no> eller <http://www.ansys.com> for mer informasjon.

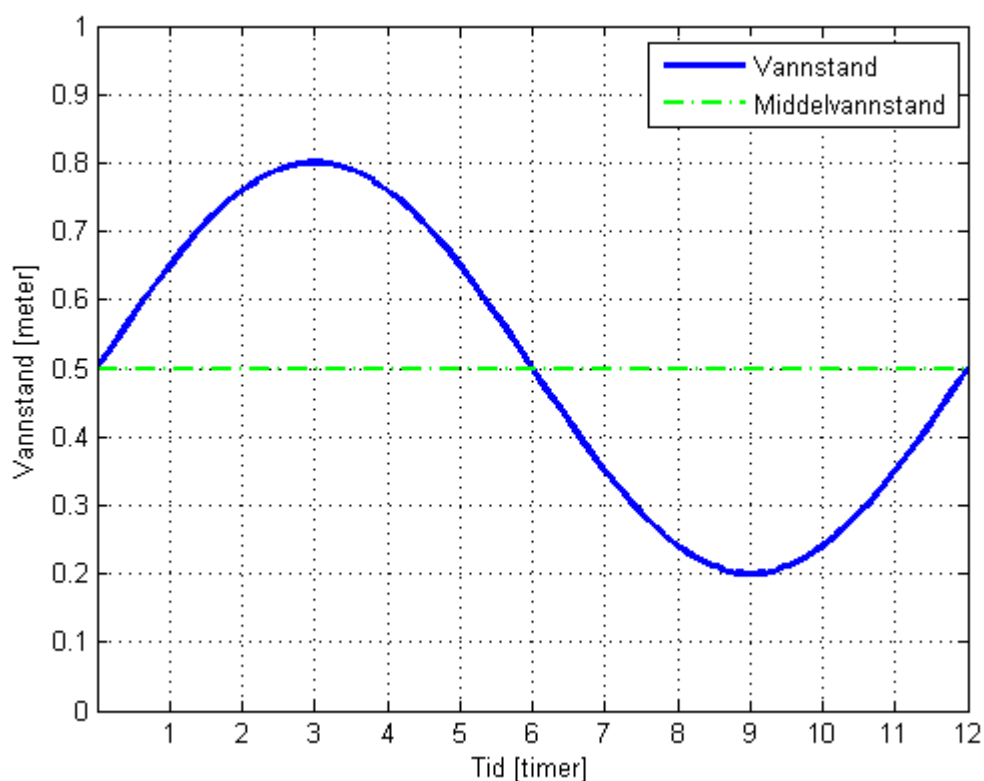
2 RESULTATER

Det er utført beregninger for tidevannsdrevet og vinddrevet strømming. Bakgrunnen for simuleringene, presentasjon og tolkningen av resultatene beskrives i dette kapittelet. Hovedkonklusjonene trekkes i neste kapittel.

2.1 Tidevannsdrevet strømming

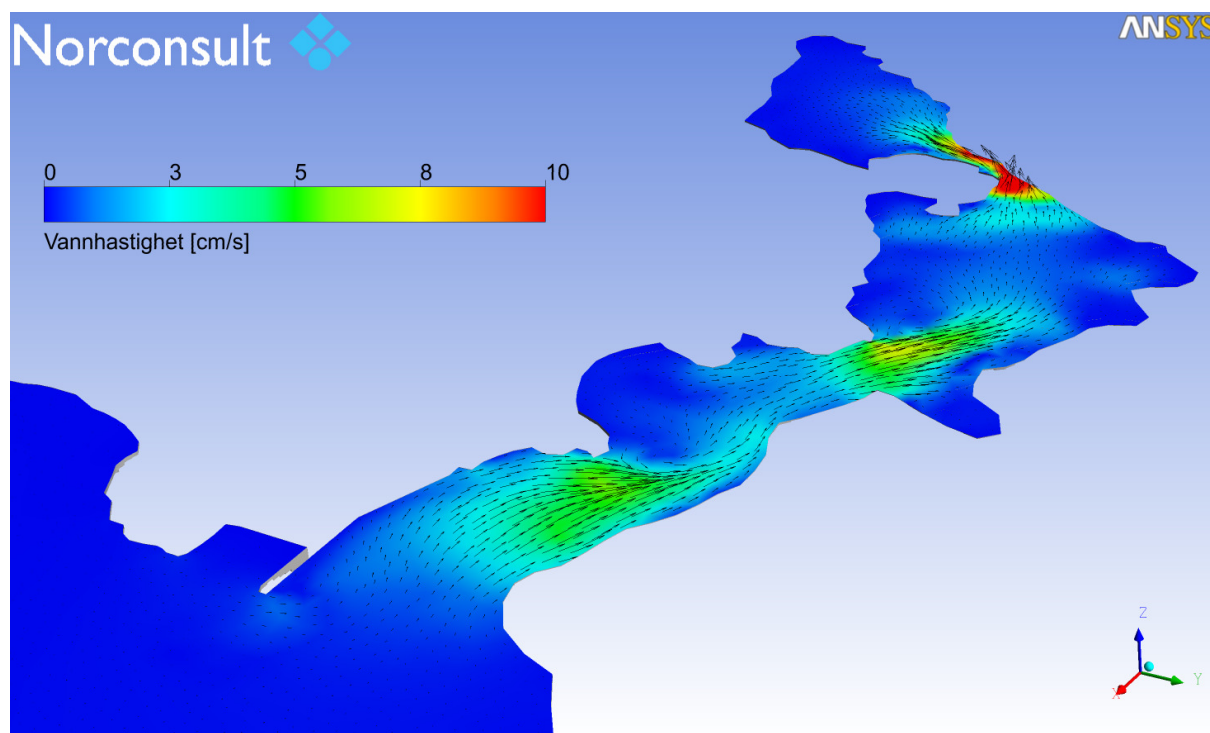
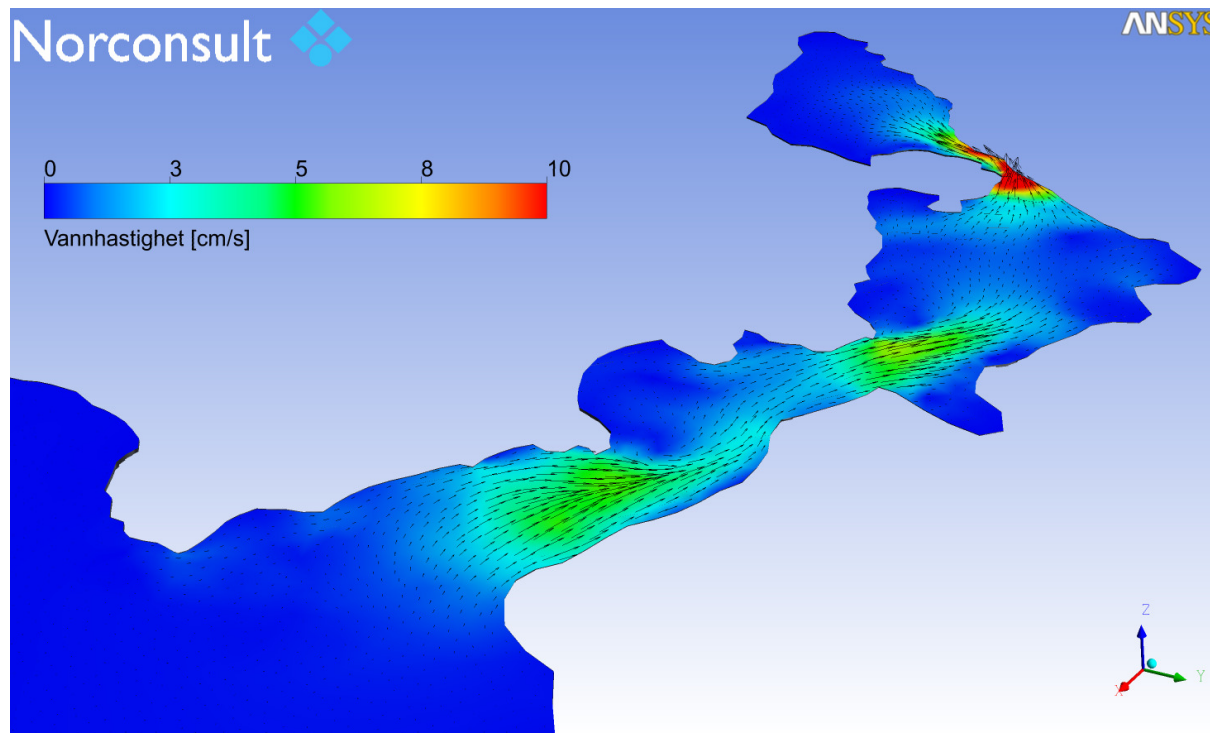
Det er simulert for hele tidevannssyklusen i området rundt Kragerø. Det vil si i henhold til figur 5 som viser tidevannssyklusen over 12 timer¹. Se Vedlegg C: Tidevannstabell.

I beregningene følger overflaten ved den frie grensen (flaten vist med piler i figur 3) tidevannssyklusen.



Figur 5: Vannstand plottet over en periode (12 timer) for området.

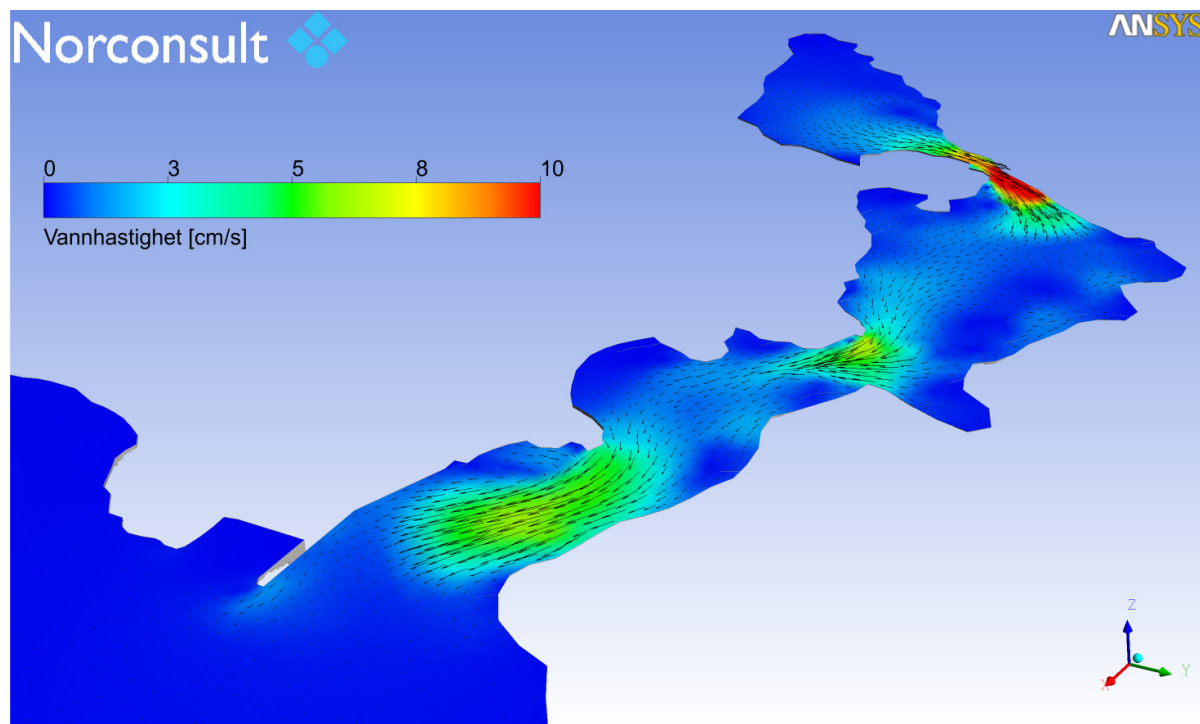
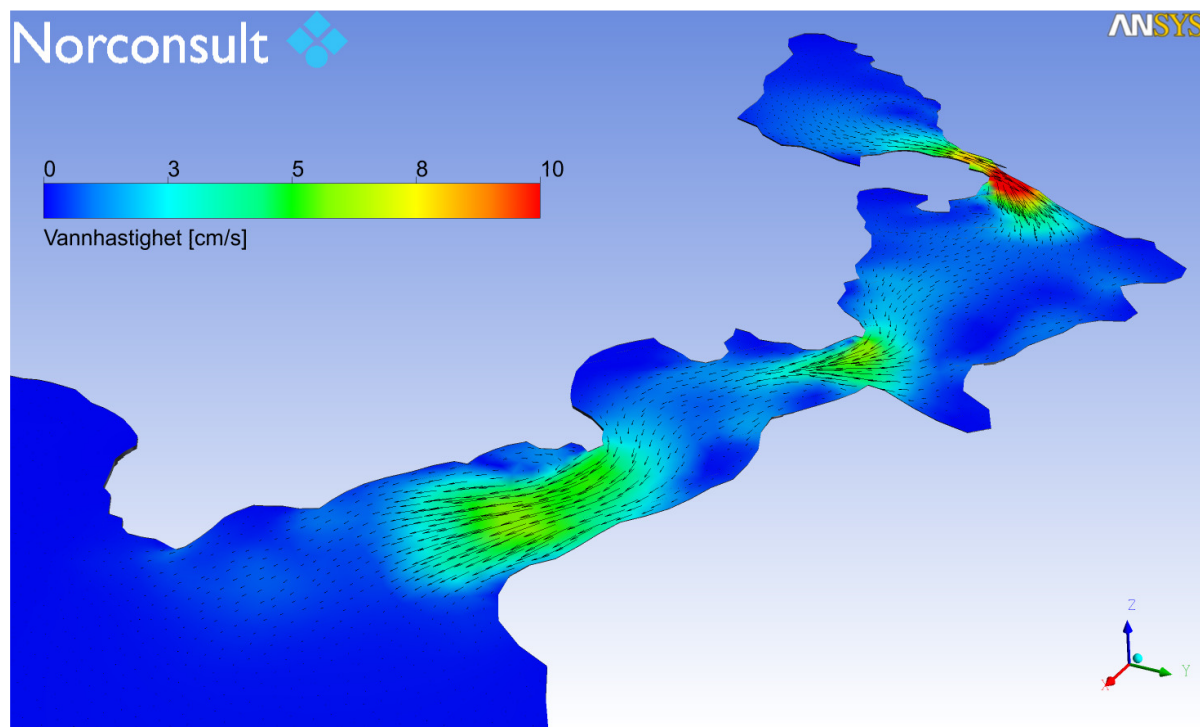
¹ Figuren er basert på data fra statens kartverks internettside, vannstand.no, som viser middelvannstand = 0,5m, LAT = 0,2m og HAT = 0,8m i forhold til sjøkartnull for Helgeroa. Se for øvrig Vedlegg C: Tidevannstabell.



Figur 6 Øyeblikksbilde av vannhastighet i overflaten. Stigende tidevann. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd.

Figur 6 viser strømningshastighet og retning i overflaten ved stigende tidevann ved tidspunktet der vannstanden passerer middelvannstanden (12 timer). Den øverste figuren viser forholdene ved dagens situasjon og den nederste ved skissert utbygging.

De høyeste hastighetene finnes ved Sandåsen, Kragerø sykehus og Hestøya. Hestøya har det trangeste tverrsnittet og her finnes naturlig nok de høyeste hastighetene på noe over ca. 10 cm/s. Ved Kragerø Sykehus og Sandåsen kan det observeres hastigheter på rundt 5 cm/s.



Figur 7: Øyeblikksbilde av vannhastighet i overflaten. Synkende tidevann. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd.

Figur 7 viser strømningshastighet og retning i overflaten ved synkende tidevann ved tid lik 6 timer. De samme hastighetene som for stigende tidevann finnes her.

Strømningen langs bunnen av fjorden er svært lik den en finner ved overflaten - dvs. tidevannsstrømmen forårsaker det en kaller en "stempelstrømning" inn og ut gjennom fjorden. Tilsvarende figurer for hastighet 1 meter over bunnen er lagt i Vedlegg A: Tidevannsstrømning langs bunn.

2.2 Vinddrevet strøm

Krefter (skjærkrefter) fra vind overføres til vannet langs vannoverflaten og gir opphav til strømmer. Typisk kan vann oppnå hastigheter på maksimalt 3-5 % av vindhastigheten over store åpne havområder.

Det har blitt gjennomført en forenklet analyse av vinddrevet strømming i Kalstadkilen - for å studere muligheten for at utbyggingen kan påvirke denne mekanismen. Det gjøres oppmerksom på at beregningen er overslagsmessig og kun ment for å vurdere relative endringer.

Terrenget rundt vil påvirke hvor kraftig vinden virker på de ulike stedene i området, men dette er ikke med i beregningen. Noe forenklet kan det sies at dette svarer til hvordan situasjonen ville vært med "helt flatt terreng". Dette vil også være en konservativ forenkling da terrenget i hovedsak kan antas å skjerme for vind. Simuleringene er utført ved å legge på konstante krefter (skjærkrefter) på vannet i hele området.

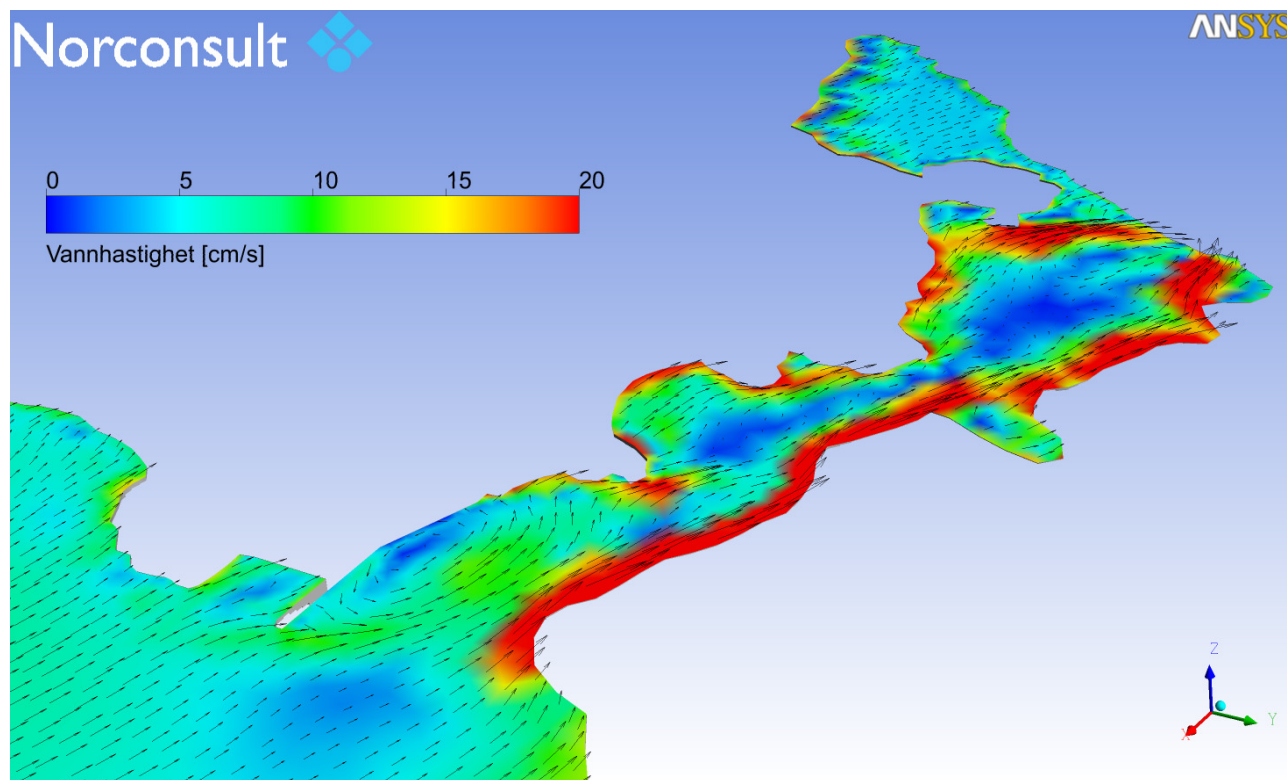
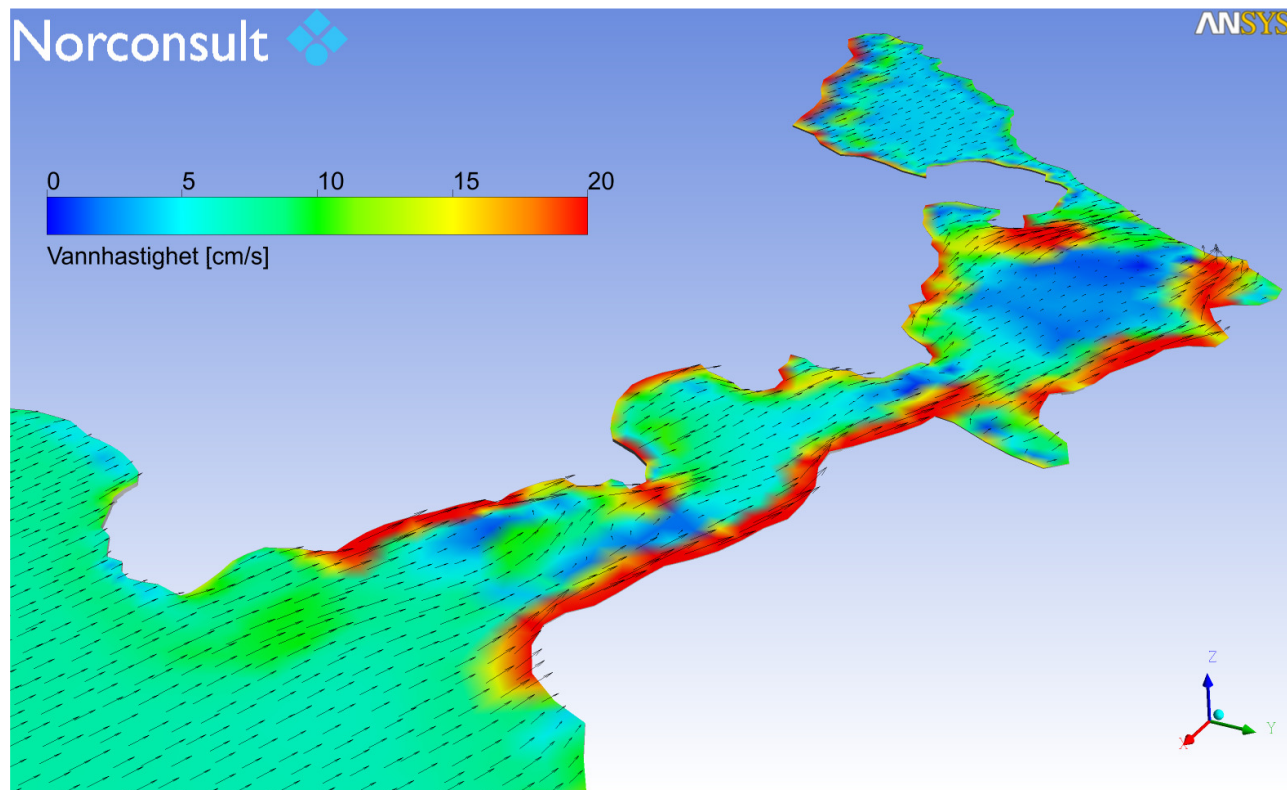
Vindroser for Jomfruland fyr finnes i Vedlegg D: Vindstatistikk. De to mest hyppige vindretningene for området er sørvestlig og nordøstlig. Disse vindretningene vil i liten grad skape vinddrevet strømming inn eller ut av Kalstadkilen, da denne ligger nær vinkelrett på disse retningene.

For å gjøre en følsomhetstest la vi på vind langs fjorden, selv om disse er relativt sjeldent forekommende. Figur 8 og figur 9 viser strømmingen som settes opp ved vind inn langs fjorden, hhv. langs overflaten og 1 meter over bunn. Figur 10 og figur 11 viser strømmingen som settes opp ved vind ut langs fjorden, hhv. langs overflaten og 1 meter over bunn.

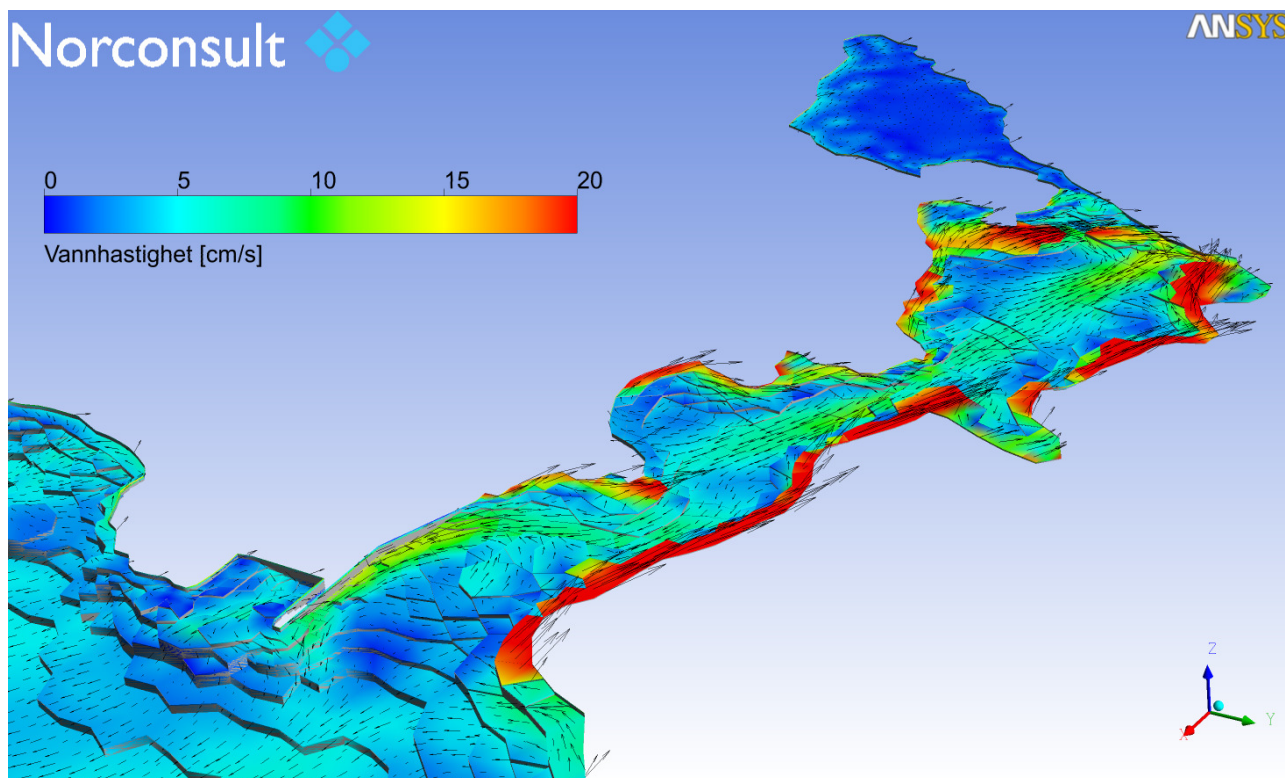
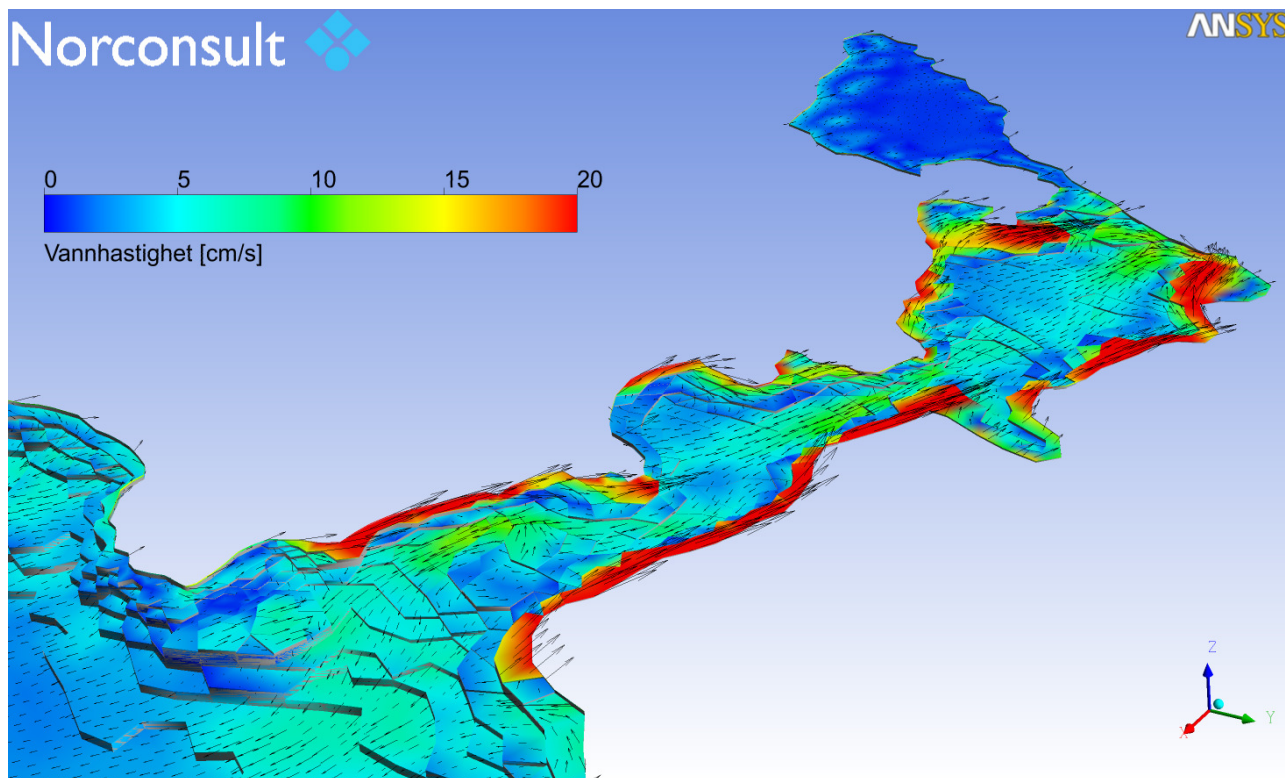
Det karakteristisk bildet er at de høyeste hastighetene settes opp langs sjøkantene som har retning med vinden. Her strømmer det i samme retning både i overflaten og langs bunnen.

I de dypeste områdene strømmer det langs bunnen i motsatt retning av vinden. Dette er ganske enkelt en konsekvens av at vannet presses med vinden i overflatesjiktet, og vannet derfor må strømme den motsatte veien der det er minst motstand mot dette.

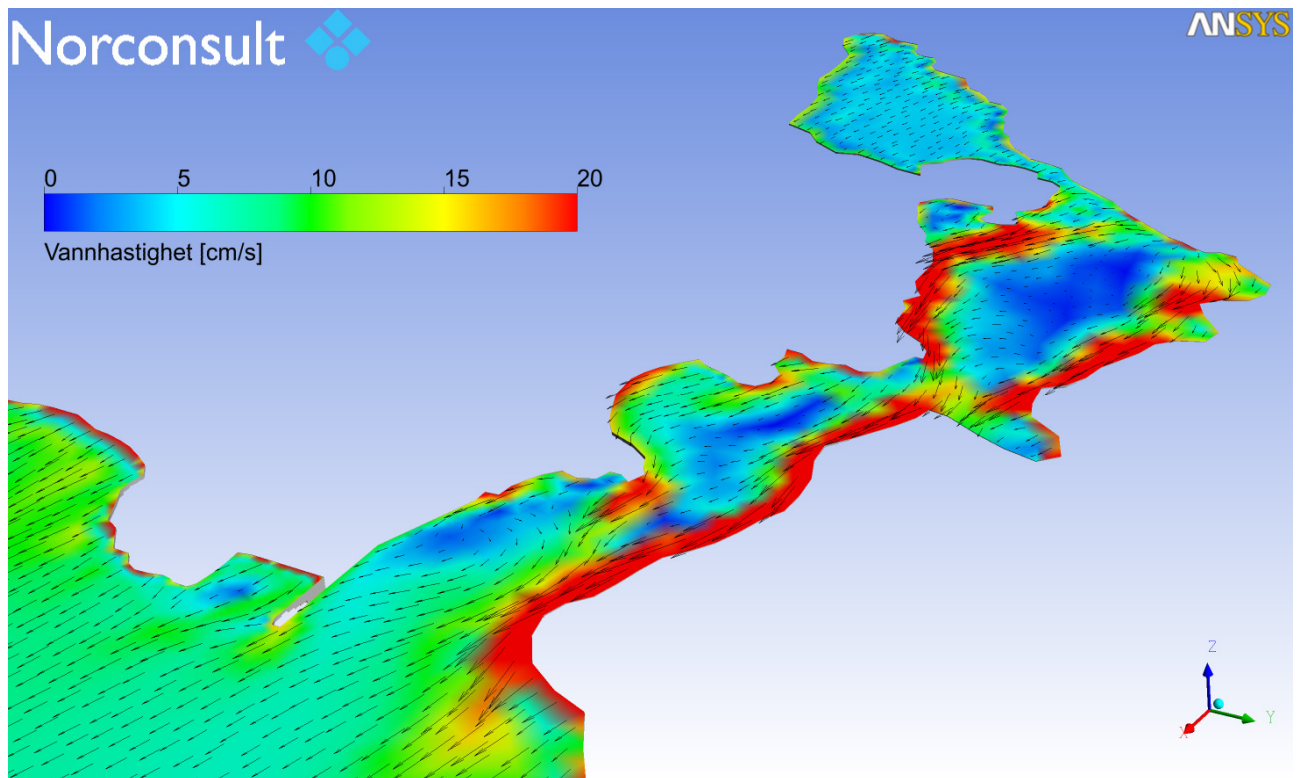
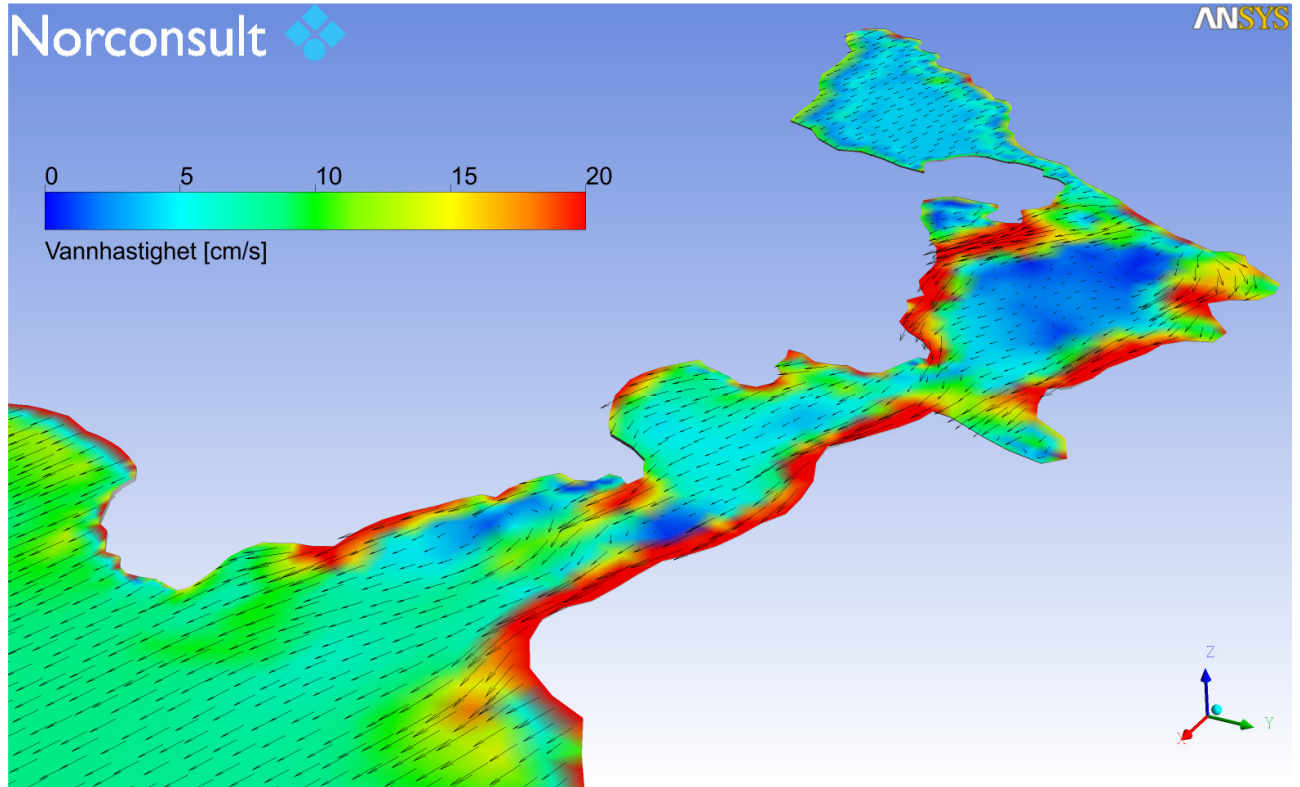
Som påpekt over, er analysen ikke kvantitativ mht. hvor høye vindhastighetene må være for å skape strøm av beregnet størrelse. Med hastigheter utenfor Kalstadkilen, i simuleringene, av størrelse 6-7 cm/s antas det at forholdene typisk kan svare til vindhastigheter på 5-10 m/s over en viss tid. Dette avviker fra prosentangivelsen i første avsnitt da området er relativt innelukket og begrenset i størrelse av skjærgården utenfor.



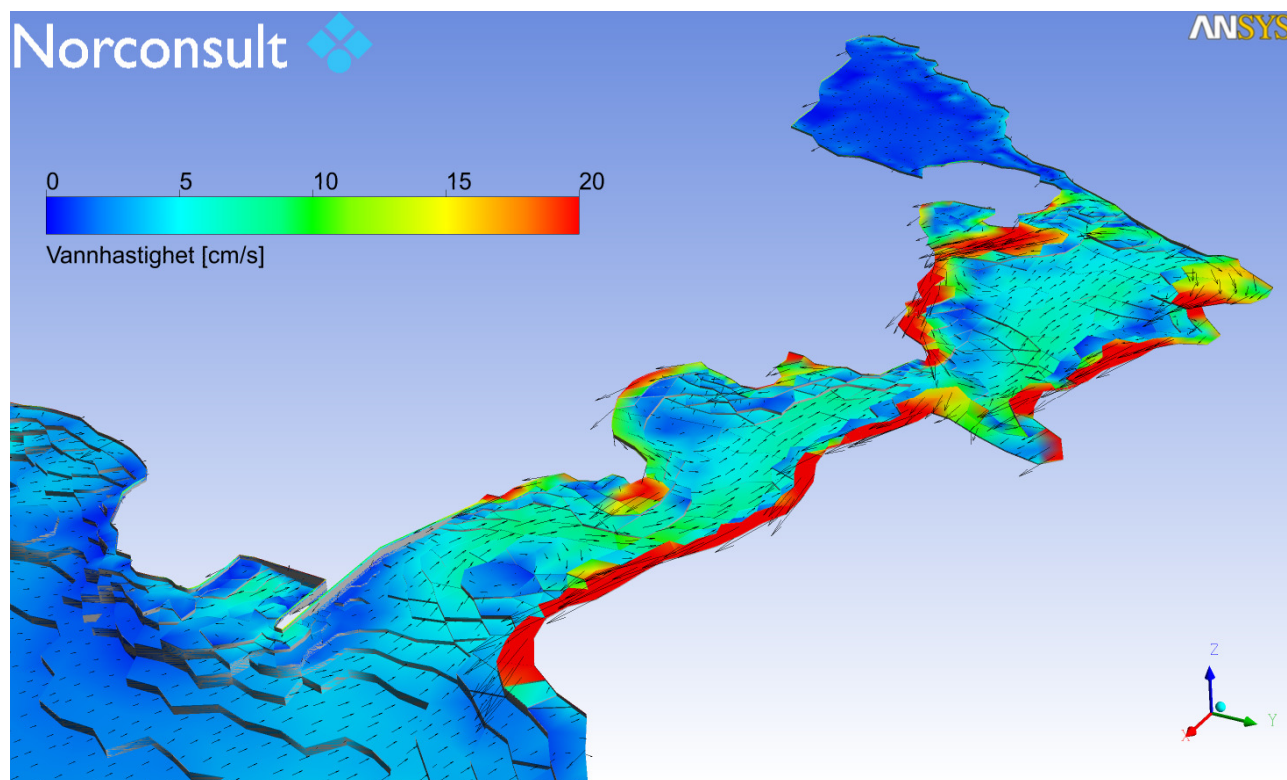
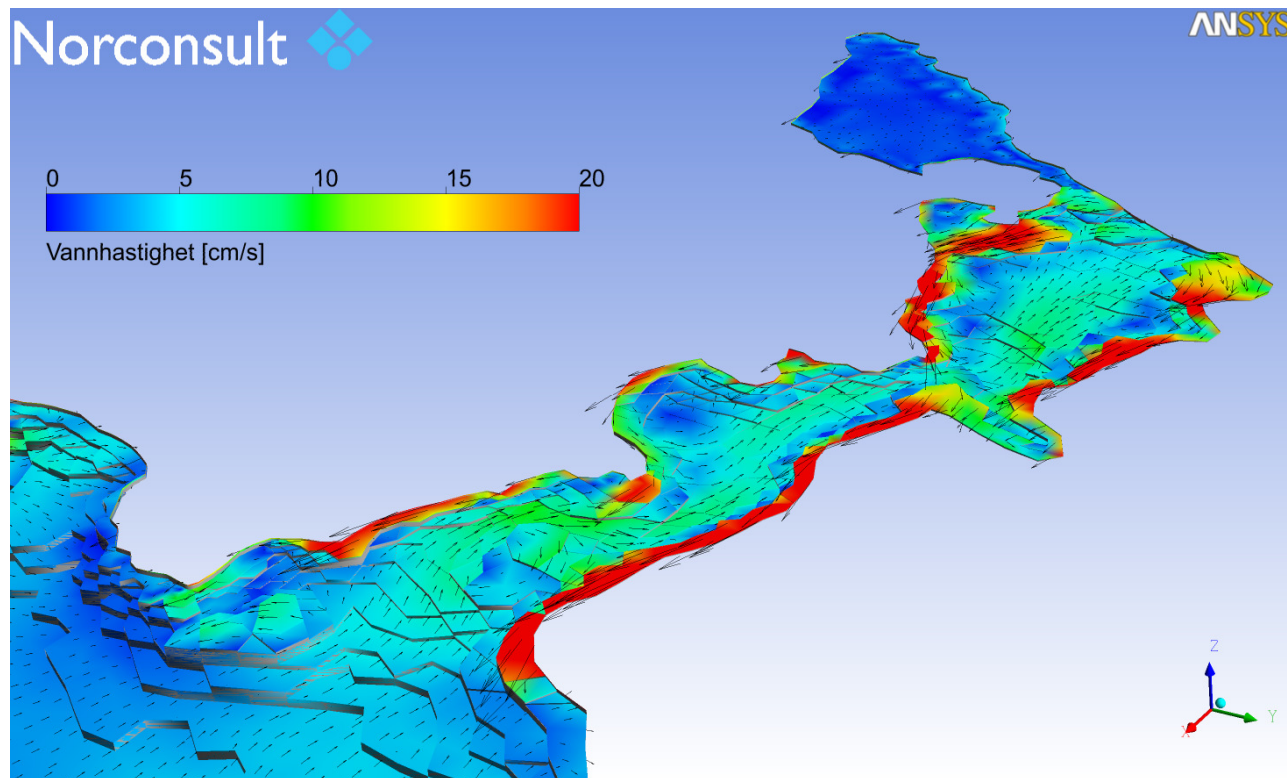
Figur 8: Øyeblikksbilde av vannhastighet langs overflaten ved vind INN langs fjorden. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd situasjon.



Figur 9: Øyeblikksbilde av vannhastighet 1 meter over bunn INN langs fjorden. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd situasjon.



Figur 10: Øyeblikksbilde av vannhastighet langs overflaten ved vind UT langs fjorden. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd situasjon.



Figur 11: Øyeblikksbilde av vannhastighet 1 meter over bunn ved vind UT langs fjorden. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd situasjon.

3 KONKLUSJONER

Med bakgrunn i beregningene som er utført i dette prosjektet er det ikke blitt funnet signifikante forskjeller, som vil ha betydning for den lokale vannutskiftningen, mellom dagens situasjon og utbygd situasjon. Dette kan forklares ved at utbyggingen av Stilnestangen representerer en svært liten innsnevring av fjorden, og dermed liten motstand mot strømning.

De minste tverrsnittene, som representerer "flaskehalsene" for strømningen, finnes ved Sandåsen, Kragerø sykehus og Hestøya. Det er disse stedene som gir mest motstand for vannet på vei inn og ut av fjorden, og det er hovedsak disse stedene som vil bestemme vannutskiftningen i området. For å ha en målbar innvirkning på vannutskiftningen, måtte utbyggingen ved Stilnestangen, typisk, innskrenket fjorden til nær samme tverrsnitt som noen av disse stedene.

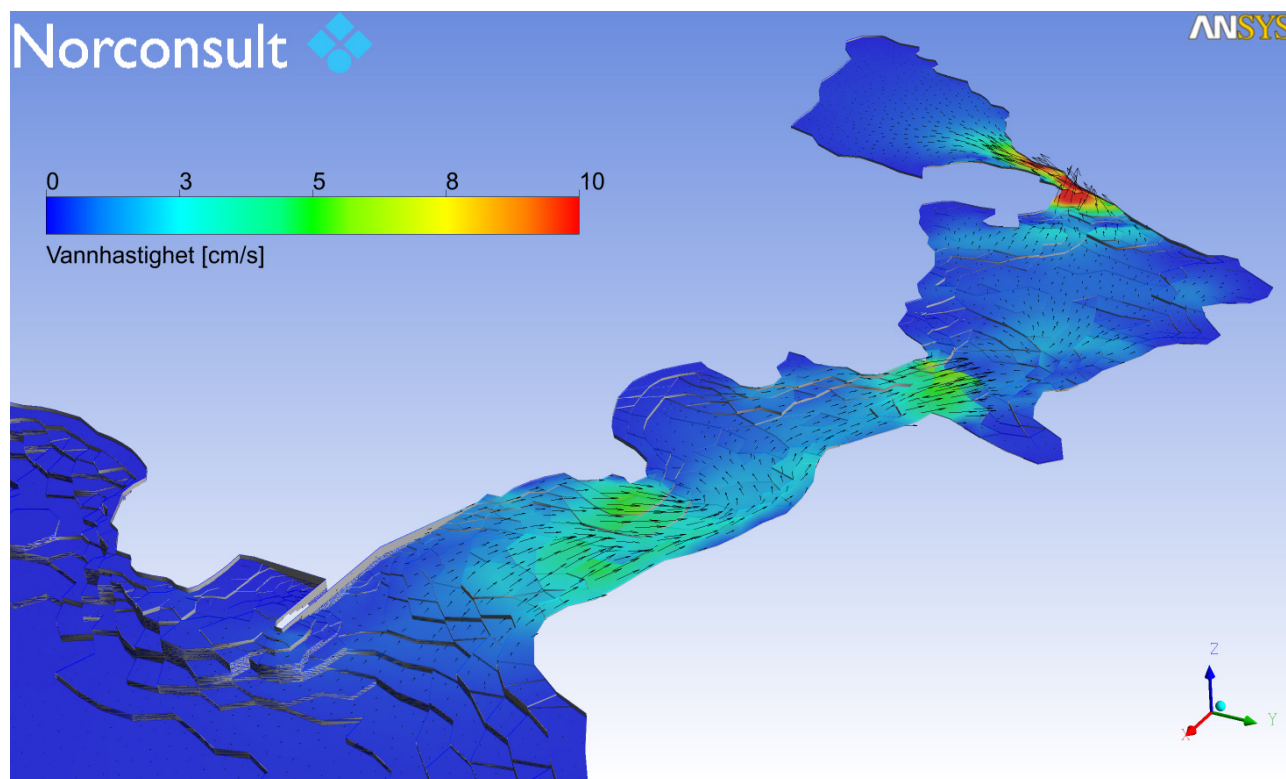
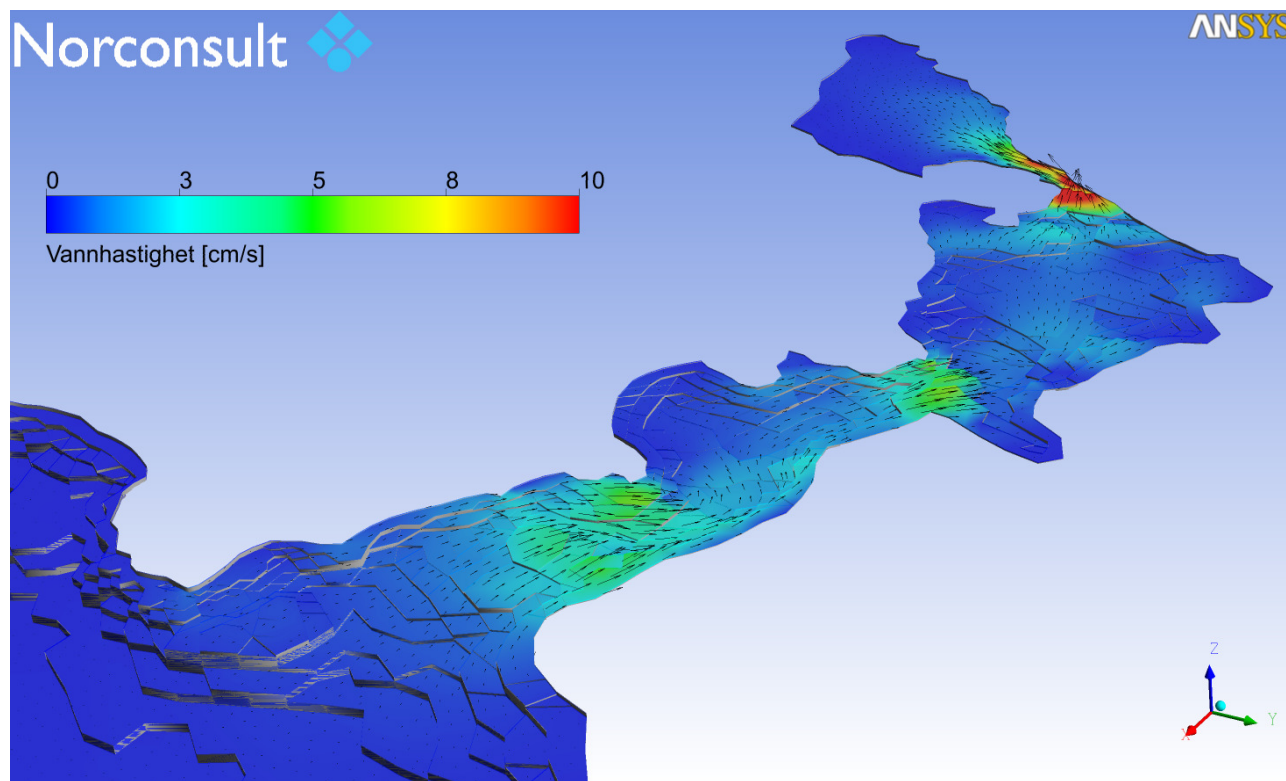
Tidevann: generelt sett er tidevannsstrømmene i området små også i de minste tverrsnittene. I området ved utbyggingen skaper tidevannet svært små hastigheter og situasjonen er i praksis upåvirket av utbyggingen.

Vind: hovedkonklusjonen fra vindstudiet er at vinden sjelden vil skape stor utskiftning av vannet innover i Kalstadkilen. Utbyggingen vil ha lite og si i forhold til disse effektene.

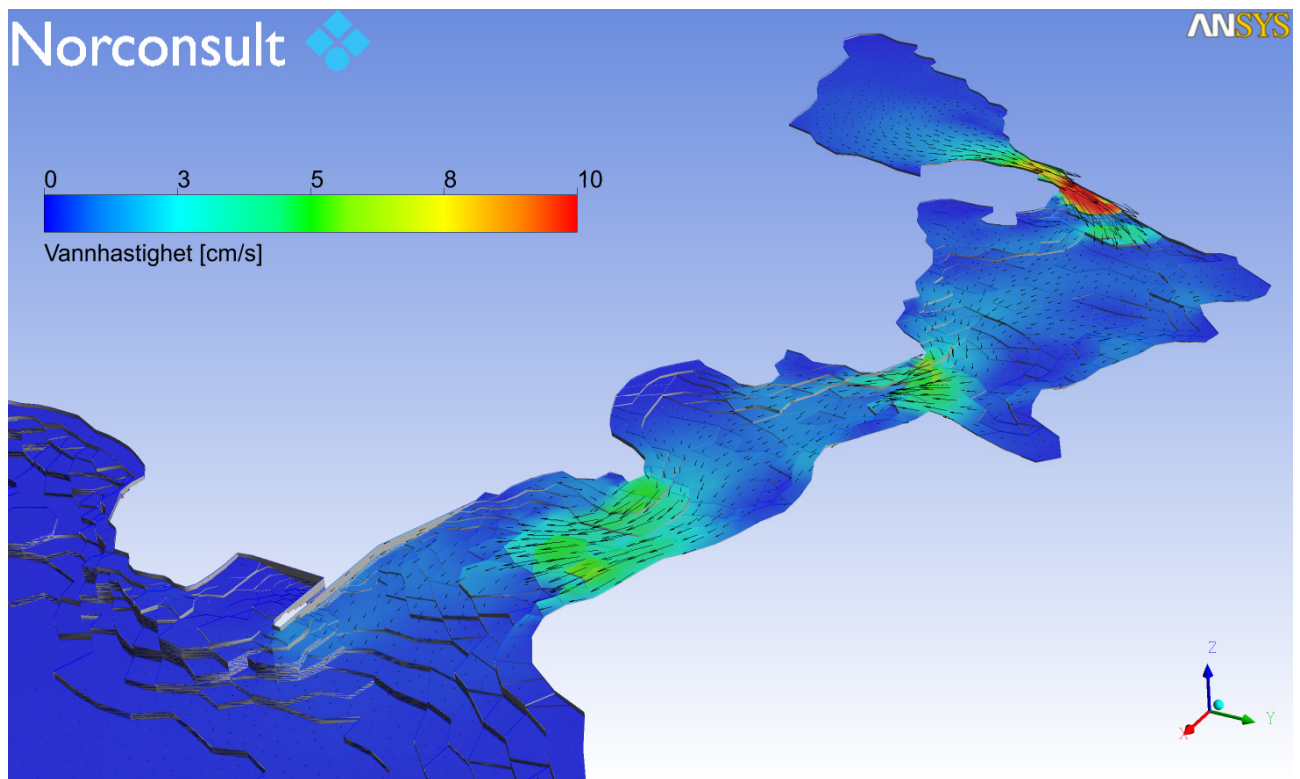
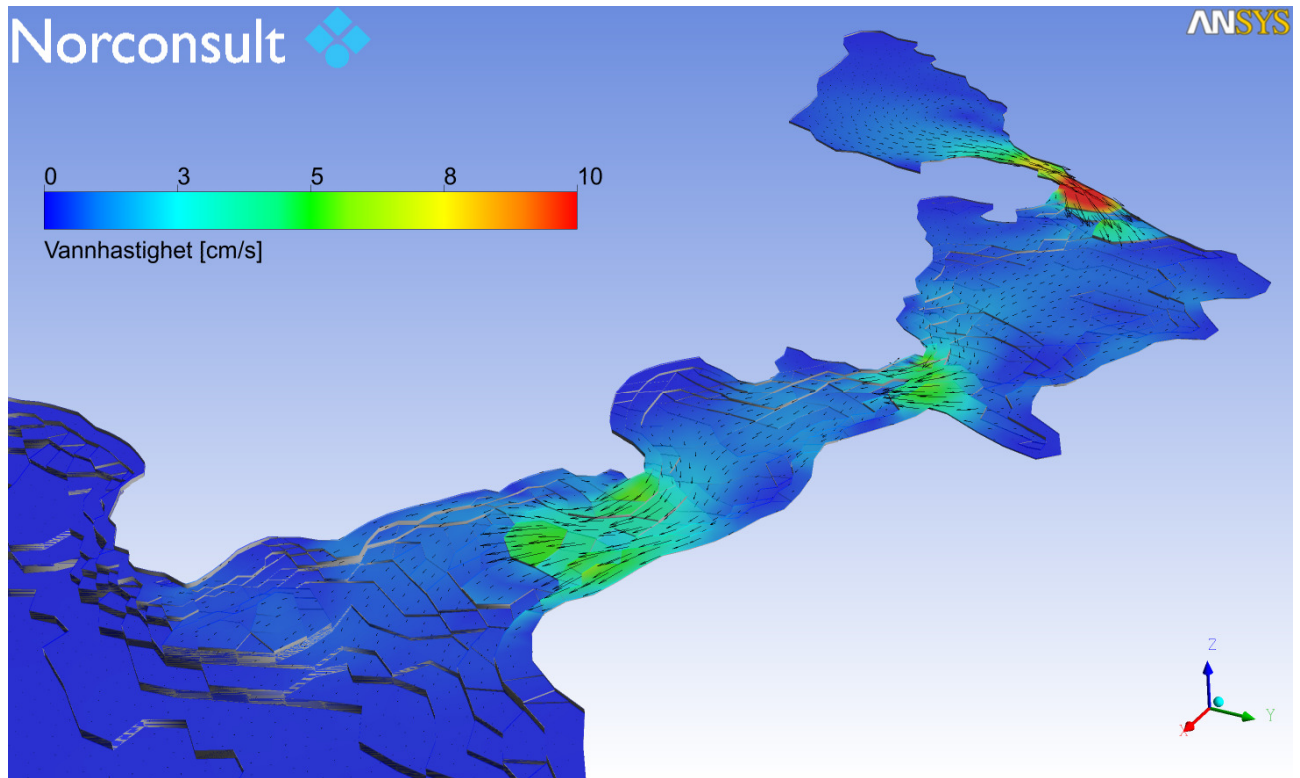
Erosjon: Det er vist to små områder med noe høyere strøm langs bunnen. Sedimentet består av sand og er lett å erodere. Men økningen er så moderat at erosjon er lite trolig.

Det gjøres oppmerksom på at forhold som kan oppstå under selve utbygningsarbeidet er ikke vurdert i dette arbeidet.

VEDLEGG A: TIDEVANNSTRØMNING LANGS BUNN



Figur A-1: Øyeblikksbilde av vannhastighet 1 meter over bunn. Stigende tidevann. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd



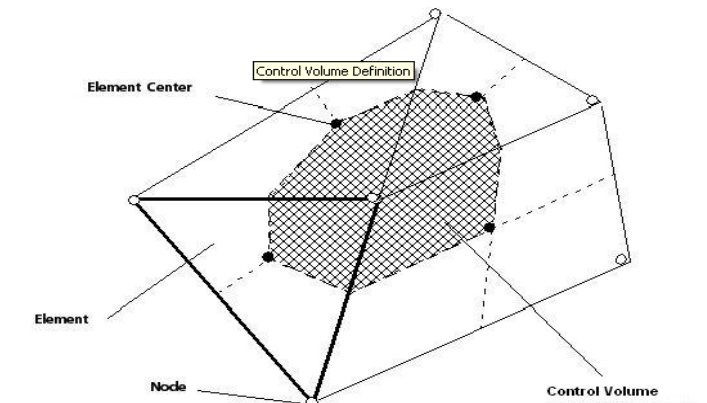
Figur A-2: Øyeblikksbilde av vannhastighet 1 meter over bunn. Synkende tidevann. Øverst nåværende situasjon og nederst utbygd.

VEDLEGG B: COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Ut fra konserveringslovene for fluider kan en utlede de fundamentale ligningene for fluidbevegelse. Med en konserveringslov menes det at en fysisk egenskap ved strømmingen er bevart. En slik konserveringslov er for eksempel bevarelse av masse, dvs. i et volum er den massen som lagres i volumet lik forskjellen mellom den massen som kommer inn og den massen som går ut til en hver tid. En annen konserveringslov er f.eks. bevarelse av impuls som er bedre kjent som Newtons 2. lov for bevegelse. Disse konserveringslovene ender opp i de fundamentale ligningene for fluidbevegelse kalt *Navier-Stokes ligninger*. Nedenfor vises den generelle transportligningen som løses for domenet.

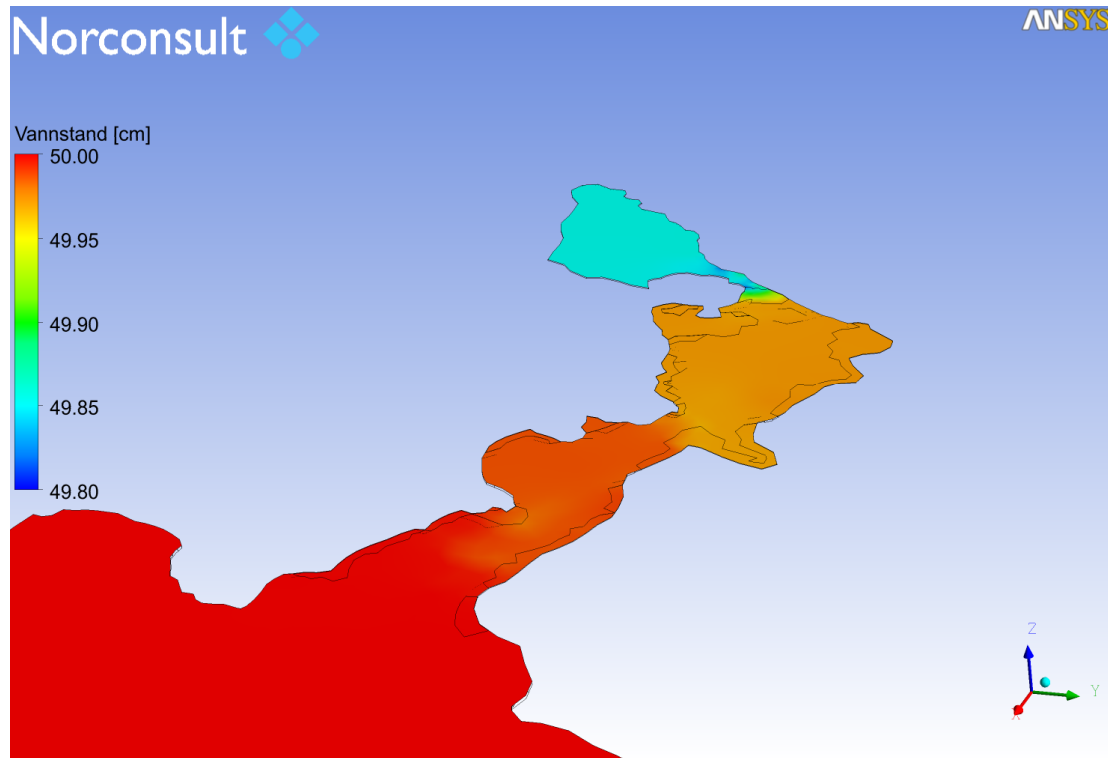
$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla(\rho\phi\mathbf{u}) = \nabla(\Gamma\nabla\phi) + S_\phi$$

Ved CFD-metoder løses disse likningene ved numeriske teknikker. For en 3D-modell deles volumet inn i et stort antall celler, og deretter beskriver man at konserveringslovene må gjelde for hver av disse cellene. En sier at grunnligningene er diskretisert. Gjennom en iterativ prosess på en datamaskin løses likningene for de ulike variablene ("fysiske størrelsene") i hver av cellene. Disse variablene kan være strømningshastigheter, trykk, konsentrasjon av et stoff etc.



Figur 12: Eksempel på beregningscelle.

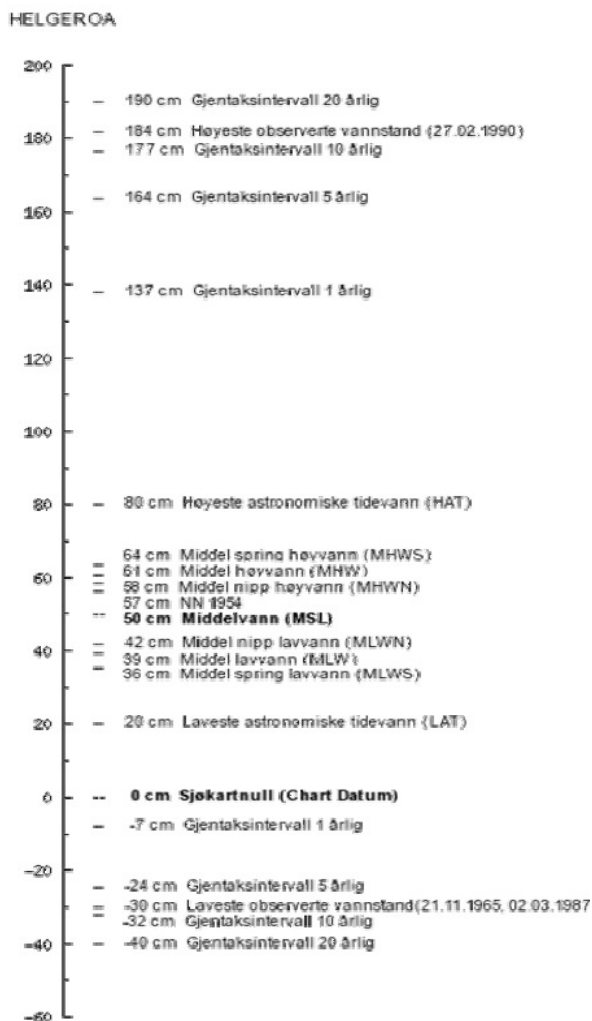
For simuleringene i dette prosjektet var det også viktig å modellere endringer i den frie overflaten til vannet mot lufta. Det er benyttet en metode med bevegelig mesh der overflaten spores i forhold til trykket langs flaten. Som et eksempel viser Figur B-1 vannstanden relativt sjøkartnull ved innstrømning. Det kan observeres at det er funnet et det er bare 1,5 mm forskjell i vannstanden ut mot Bærøyfjorden og i Indre Kalstadkilen. Vannstands forskjellen er forårsaket av motstanden mot strømming i de minste tverrsnittene



Figur B-1: Vannstand ved maksimal innstrømning.

VEDLEGG C: TIDEVANNSTABELL

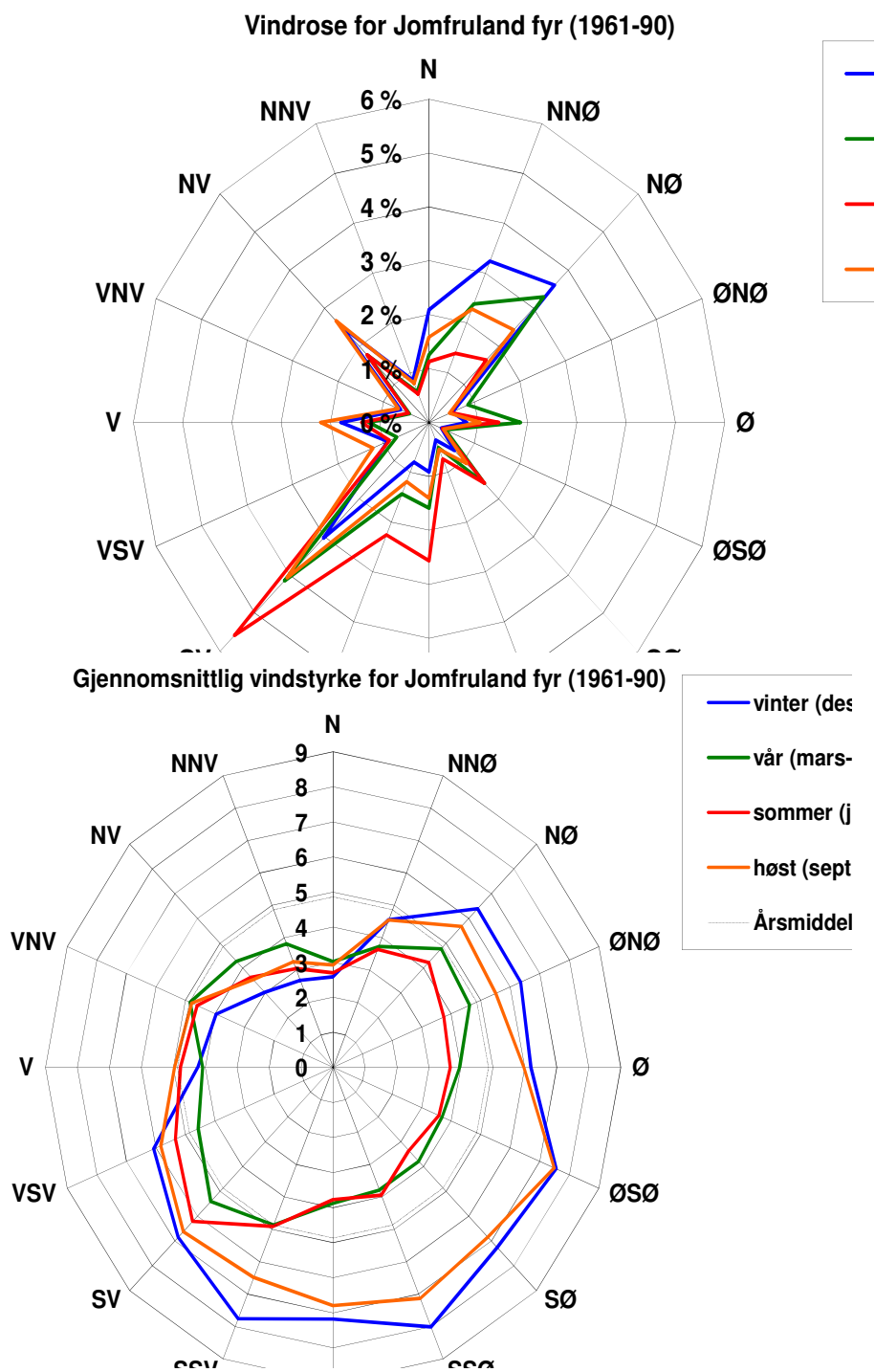
Figur C-1 viser vannstands nivåer for Helgeroa som vi har tatt som utgangspunkt for Stilnestangen. I simuleringen er det lagt inn en tidevannssyklus mellom høyeste astronomiske tidevann (HAT) og laveste astronomiske tidevann (LAT), hvor HAT = 80 cm og LAT = 20 cm

Vannstands nivå - Helgeroa

Figur C-1 Vannstands nivåer for Helgeroa hentet fra <http://www.vannstand.no>.

VEDLEGG D: VINDSTATISTIKK

Vindstatistikk for området har blitt hentet fra metrologis institutt. Dataene er vist for hyppighet (prosent av året) av vind fra forskjellige retninger og vindstyrken fra de forskjellige retningene. Statistikken er fremstilt ved hjelp av vindroser i figur D-1.



Figur D-1: Vindroser for Jomfruland fyr. Øverst: hyppighet. Nederst: Vindstyrke.