

Vurdering av planlagt ny småbåthavn i Mulvika, Holmestrand. Mulige konsekvenser for det marine naturmiljøet.



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

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

Tittel Vurdering av planlagt ny småbåthavn i Mulvika, Holmestrand. Mulige konsekvenser for det marine naturmiljøet.	Løpenr. (for bestilling) 5909-2010	Dato 12.1.2010
	Prosjektnr. Undernr. O-29361	Sider Pris 37
Forfatter(e) Tone Kroglund Birger Bjerkeng Kjersti Lundmark Daae	Fagområde Marin eutrofi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Spir arkitekter AS	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Undersøkelsen ble gjennomført for å vurdere konsekvensene av en eventuell utbygging av marina i Mulvika, Holmestrand, på det marine naturmiljøet. Undersøkelsen omfattet undersøkelser av bunnforhold og naturtyper i og rundt den planlagte marinaen i tillegg til målinger og beregninger av strømforhold. Det forventes reduserte strømforhold i selve marinaen, mens Mulvika forøvrig fortsatt vil ha karakter av en åpen bukt med god vannutveksling. Begroing på bryggeanlegget forventes å gi økt opphoping av organisk materiale og dårligere bunnforhold under anlegget. Dette, sammen med reduserte lysforhold under marinaen vil ha negativ effekt på ålegrasforekomstene under anlegget. Det forventes ikke større effekter på de store ålegrasengene nord for anlegget og i indre del av Mulvika. Det må også forventes økte tilførsler av miljøgifter fra bruken av anlegget og fra eventuell båtvedlikehold og -opplag.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Småbåthavn Konsekvenser Biologi Forurensninger 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Marina Consequenses Biology Pollutants
--	--



Tone Kroglund
Prosjektleder



Mats Walday
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Vurdering av planlagt ny småbåthavn i Mulvika, Holmestrand

Mulige konsekvenser for det marine naturmiljøet

Forord

Dette prosjektet er gjennomført på oppdrag fra Spir Arkitekter AS, som gjennomfører planarbeid for Holmestrand kommune i forbindelse med utbygging av områdene Melkefabrikken, Felleskjøpet og Farnes Kran AS. Planarbeidet utløser krav om konsekvensutredninger og i den forbindelse henvendte Spir Arkitekter AS seg til NIVA med forespørsel om å gjennomføre en vurdering av konsekvensene for det marine naturmiljøet. NIVA utarbeidet et forslag til undersøkelsesprogram som forelå 17. september 2009. Forslaget ble akseptert 25. september 2009. Kontaktperson hos Spir Arkitekter AS har vært Kristian Ottesen.

Feltundersøkelsene av bunnforhold og marine naturtyper ble gjennomført av Janne Gitmark og Camilla With Fagerli. Eli Rinde har bidratt med resultater fra Nasjonalt kartleggingsprogram for marint biologisk mangfold mens Tone Kroglund har sammenstilt resultatene og gjort vurderingene. Utsetting av strømmåler ble gjennomført av Morten Wilberg og Arne Veidel mens Birger Bjerkeng og Kjersti Lundmark Daae har gjort vurderingene av strømforhold.

Alle takkes for innsatsen.

Grimstad, 12. januar 2010

Tone Kroglund

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	8
1.1 Bakgrunn for undersøkelsen	8
1.2 Mål for undersøkelsen	9
1.3 Problemstillinger ved anleggelse eller utvidelse av båthavner	9
1.4 Beskrivelse av området	10
1.5 Tidligere undersøkelser	11
2. Bunnforhold og naturtyper på grunt vann	12
2.1 Generelt	12
2.2 Metodikk	12
2.3 Resultater	13
2.4 Resultater fra det nasjonale kartleggingsprosjektet	16
3. Strømforhold	17
3.1 Generelt	17
3.2 Strømmålinger	17
3.2.1 Metodikk	17
3.2.2 Resultater	17
3.3 Vurdering av bryggeanleggets betydning for strømforhold og vannutskiftning	22
4. Konsekvenser av den planlagte marinaen på naturmiljøet	24
5. Referanser	26
Vedlegg A. Bunnforhold og naturtyper	27
Vedlegg B. Beregning av hydrauliske forhold rundt overflatehindringer	31

Sammendrag

Det planlegges en større marina i Mulvika, Holmestrand, med anslagsvis 500 båtplasser og tilhørende båthotell og serviceanlegg på land. Båtanlegget er planlagt som 8 parallelle utstikkere fra land, beskyttet av en flytende betongmolo/bølgebryter i nordenden av anlegget.

Som en del av konsekvensutredningen for området ble det gjennomført undersøkelser av det marine naturmiljøet høsten 2009.

Den foreliggende undersøkelsen har hatt som mål å:

- Kartlegge viktige naturtyper i Mulvika
- Kartlegge strømforholdene ved den planlagte marinaen
- Vurdere konsekvensene ved en eventuell bygging av marinaen

Naturtyper

Marine naturtyper og bunnforhold ble kartlagt med vannkikkert og undervanns videokamera under den planlagte båthavna og i indre del av Mulvika. I tillegg ble det benyttet data fra det nasjonale kartleggingsprosjektet for marint biologisk mangfold som registrerte utbredelse av ålegrasenger og bløtbunnsområder i Vestfold høsten 2009. Resultatene viser at det vokste ålegrasenger (*Zostera marina*) fra ca. 1 – 3 meters dyp i deler av det planlagte utbyggingsområdet samt innerst i Mulvika. Innimellom ålegrasengene var det felter med ren sand eller blåskjellbanker. I det nasjonale kartleggingsprosjektet ble det registrert to store ålegrasenger i Mulvika, en nord for den planlagte marinaen og en i indre del av Mulvika. Begge engene var over 70.000 m² og har nasjonal verdi (A).

Prøver av bunnsedimentene ble tatt med en håndholdt grabb og tilstanden ble vurdert for lukt og farge i felt. Resultatene viste at bunnområdet under den planlagte båthavna i stor grad består av fint mudder og leire. Det var en svak lukt av hydrogensulfid på flere av stasjonene som kan tyde på at den organiske nedbrytningen i sedimentene til tider er større enn det som tilføres av oksygen. I indre del av Mulvika var det dels fast leire og dels fin sand. Også her var det lukt av hydrogensulfid på noen av stasjonene. Resultatene kan tyde på at indre del av Mulvika er et sedimentasjonsområde preget av relativt lite vannbevegelse.

Under kartlegging av gytefelt for fisk høsten 2009 (under det nasjonale kartleggingsprosjektet) ble det ikke registrert gytefelt i Mulvika.

Strømforhold

Strømmålinger i området hvor småbåthavna er planlagt, viste at strømmen var sterkest i overflaten og var stort sett i sørvestlig retning. Strømstyrken varierte fra 0-70 cm/s. Det ser ut til at det særlig er i perioder med nordlig eller nordøstlig vind at det er stor gjennomstrømning i overflaten. Under overflatelaget var det små forskjeller i strømstyrken mellom de ulike vandypene. Strømstyrken varierte her mellom 0 og 20 cm/s. På 4 m dyp var det dominans av strøm i nordlig til nordvestlig strømretning mens det på 9 og 18 m dyp ikke var noen dominerende strømretning.

Ved nordlige og nordøstlige vinder sirkulerer overflatelaget gjennom Mulvika i en roterende bevegelse mot sola, dvs. inn på vestsiden og ut langs østsiden. Bølgebryteren, som vil dekke ca. 20 % av bredden av bukta og stikke ca. 1 m ned i vannet, vil virke som en barriere for denne strømmen, og skyve vannet ned og under bølgebryteren. De andre bryggene går ned til 30 cm under vann og vil ikke hindre sirkulasjonen i overflaten i like stor grad. Strømhastigheten i overflaten ved bryggeanlegget kan bli redusert til anslagsvis halvparten av dagens situasjon i de periodene hvor det i dag er størst gjennomstrømning, dette basert på målinger fra måleperioden og en forenklet strømmodell. Dersom bølgebryteren fører til større blanding mellom overflatelaget og det stillestående laget under, blir

reduksjonen mindre fordi den samlede volumtransporten blir større. Reduksjonen vil også delvis kompenseres ved at noe mer strøm går rundt bølgebryteren gjennom den åpne delen av tverrsnittet. Men det kan også bli mindre sirkulasjon gjennom Mulvika i de situasjonene som i dag gir vindstyrt overflatestrøm, dvs. mer av sirkulasjonen passerer forbi på utsiden av bukta. Strømmen i 4-18 meters dyp vil ikke påvirkes av bryggeanlegget.

Totalt sett tyder strømmålingene og de hydrauliske beregningene på at bryggeanlegget med bølgebryteren vil gi en betydelig reduksjon av maksimal gjennomstrømning i overflatelaget, men det vil likevel være relativt kort oppholdstid på vannet (godt innenfor ett døgn), og Mulvika vil fortsatt ha karakter av en åpen bukt med ganske fri vannutveksling, også i overflaten.

Det anbefales å ha åpninger noen steder i bølgebryteren hvor vannet kan strømme gjennom helt i overflaten. Bryggene bør også ha en passasje mot land hvor vannet kan strømme forbi, og gjerne også en åpning mellom flytekroppene i alle fall midt på hver brygge.

Konsekvenser for naturmiljøet

Et økt antall flytelegemer, brygger, stolper og tauverk vil gi grunnlag for begroing av blant annet blåskjell, sjøanemoner og hurtigvoksende trådformede alger. Når disse organismene dør, vil de synke og føre til en opphopning av organisk materiale på bunnen. Sedimentene i Mulvika er preget av hydrogensulfid som viser at det er relativt stor nedbrytning av organisk materiale i dag. En økt tilførsel av organisk materiale under båthavna vil medføre at bunnforholdene under båthavna vil bli forverret og levevilkårene for ålegras og bunnlevende dyr vil bli forringet.

Småbåthavnen vil begrense vannutskiftningen i overflatelaget i selve bryggeområdet og kan også til en viss grad innvirke på vannutskiftningen rett innenfor marinaen. Svakere vannutskiftning vil gi utslag i dårligere vannkvalitet og økt avsetning av finmateriale og dermed forsterke virkningene av økt begroing. Strømmålingene viste at strømførholdene var svake under overflatelaget i prøvetakingsperioden og det er viktig med åpninger i bryggeanlegget for å redusere de negative effektene. Marinaen vil trolig ikke redusere vannutskiftningen til andre deler av Mulvika i særlig stor grad, men i de periodene hvor det i dag går kraftig vindstyrt strøm gjennom bukta kan sirkulasjonen i overflatelaget bli omtrent halvert. Det vil allikevel være relativt kort oppholdstid på overflatevannet i slike situasjoner.

Plassering av brygger / båter direkte over ålegrasenger kan føre til at disse ålegrasengene blir borte på grunn av reduserte lysforhold og økt organisk belastning fra begroingsorganismer. Ålegraset er, som andre planter og alger, avhengig av tilstrekkelig lys for å leve. I Mulvika kan man forvente at ålegrasforekomstene som ble registrert i området hvor marinaen er planlagt, etter hvert blir redusert eller forsvinner. Det ble kun funnet en smal stripe med ålegras under det planlagte anlegget så konsekvensene vil være begrenset. Det er usikkert hvor langt unna en småbåthavn har innflytelse på den økologiske kvaliteten på ålegrasenger, men det er lite trolig med store effekter på de store ålegrasengene nord og syd for bryggeanlegget.

Det må forventes noe økte tilførsler av forurensende stoffer (metaller og miljøgifter) fra bruken av marinaen i Mulvika. Dersom det skal etableres en slipp og områder hvor båteierne skal kunne ta istandsetting og vedlikehold, vil det ytterligere kunne øke tilførselen av miljøgifter. Problemene med økt tilførsel av miljøgifter vil i størst grad gjøre seg gjeldende under selve båthavna, men vil også kunne bli spredt til andre del av bukta.

Summary

Title: Evaluation of a planned new marina in Mulvika, Holmestrand. Possible consequences for the marine environment

Year: 2010

Author: Tone Kroglund, Birger Bjerkeng and Kjersti Lundmark Daae

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5644-4

A new marina is being planned in Mulvika bay in the Oslofjord to hold approximately 500 boats. As part of the EIA, a survey of the marine natural environment was conducted in autumn of 2009.

The objectives for the present study have been to:

- Map major marine habitats in Mulvika
- Map/predict the ocean currents in the area
- Assess the consequences of the planned marina on the marine environment

Marine habitats were mapped with an underwater video camera. Patches of seagrass meadows (*Zostera marina*) grew at 1 - 3 meters depth in parts of the planned area. There were also areas of bare sand and mussel banks. In the national mapping projects two large seagrass meadows were registered in Mulvika, one north of the planned marina and one in the inner part of Mulvika. Both meadows were over 70,000 m² and were valued as national important (A). Samples of sediments were taken with a handheld grab and checked in field for grain size, odour and colour. The sediments were largely composed of fine mud and clay. There was a faint odour of hydrogen sulphide in several of the samples, both at the site of the planned marina and in the inner part of Mulvika bay. There are no registered spawning grounds for fish in Mulvika.

Measurements of current velocity and current direction were done at 2 m, 4 m, 9 m, and 18 m depth over a one week period. The results show that the current was strongest in the surface layer where it generally had a south-western direction. A floating pier at the north of the marina is expected to cause a significant reduction of maximum flow in the surface layer. The water flow may be reduced by 50 % in the marina area, but Mulvika as a whole will still have a short retention time (less than one day), and will still have the character of an open bay with free water exchange.

The different constructions in the marina (floating piers, poles and ropes) will give rise to fouling organisms like mussels, sea anemones and fast-growing algae. When these organisms die or are removed they accumulate at the bottom and increase the oxygen consumption in the sediments and this will subsequently reduce sediment quality. This in turn results in impaired growth conditions for seagrasses and sediment-living animals. The reduced water flow through the marina will further enhance the effects of increased fouling. Openings in the pier to allow the water to flow freely through the marina will reduce the negative effects to some extent. The marina is not expected to seriously affect water movement in other parts of Mulvika.

Placement of piers / boats directly over seagrass meadows will reduce light conditions and can cause these meadows to die. Seagrass, like other plants and algae, depend on sufficient light to live. It is not known how far away a marina will influence the ecological quality of seagrass meadows, but effects are not expected on the large seagrass meadow north of the planned marina nor on the seagrass meadow in the inner part of Mulvika.

An increase in pollutant input (metals and POPs) and subsequent increase in pollutant levels in sediments are expected from the use of the marina.

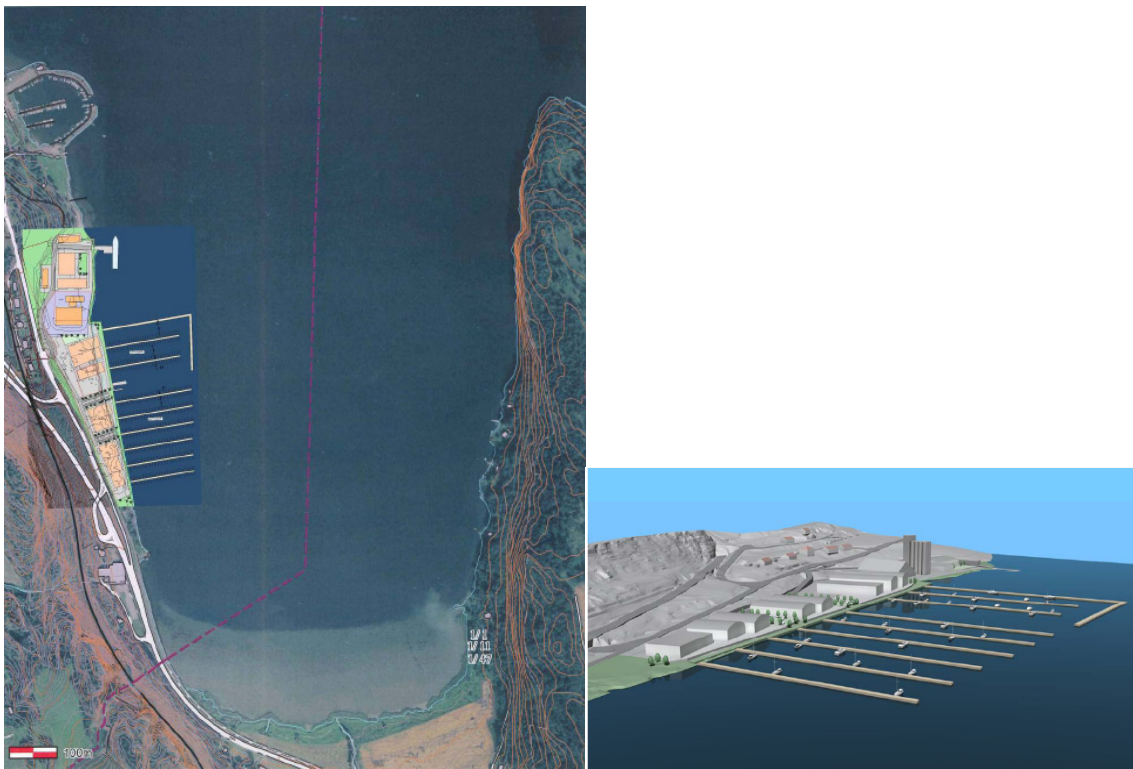
1. Innledning

1.1 Bakgrunn for undersøkelsen

Holmestrand Marine AS planlegger en større marina med 500 båtplasser (alternativt 250 båtplasser) og tilhørende båthotell og serviceanlegg på land ved tidligere Felleskjøpet i Mulvika, Holmestrand kommune. Båtanlegget er planlagt som 8 parallelle utstikkere fra land, beskyttet av en flytende betongmolo/bølgebryter i nordenden av anlegget (**Figur 1**). Tiltaket er beskrevet i ”Reguleringsplan for Felleskjøpet”, datert 5. mai 2009.

Etableringen utløser krav om konsekvensutredning blant annet fordi området er innenfor virkeområdet for Rikspolitiske retningslinjer for planlegging i kyst- og sjøområder i Oslofjordregionen.

Reguleringsplanen beskriver hvilke utredningstemaer som skal utredes for marinaanlegget. Under temaet ”Natur” står det: *Konsekvensene av tiltaket for naturkvalitetene i Mulvika utredes, både med tanke på vannlevende organismer og fugleliv. Det gjennomføres en registrering av biologisk mangfold. Det gjøres en registrering av marine naturtyper og en utredning av konsekvensene av tiltaket for disse naturtypene. Til grunnlag for vurdering av konsekvensene forutsettes det utarbeidet en strømmodell.*



Figur 1. Plassering og perspektivskisse av den planlagte båthavnen i Mulvika. Kilde: Spir Arkitekter AS.

1.2 Mål for undersøkelsen

Foreliggende undersøkelse har hatt som mål å:

- Kartlegge viktige naturtyper i Mulvika
- Kartlegge strømførholdene ved den planlagte marinaen
- Vurdere konsekvensene ved en eventuell bygging av marinaen

Undersøkelsen skulle gi en beskrivelse av dagens forhold på stedet og vurdere eventuelle konsekvenser ved etablering av ny båthavn. Det er ikke lagt opp til detaljerte undersøkelser av enkeltarter og deres utbredelse, men fokus ble lagt på hvilke organismesamfunn og bunntyper som dominerte. Likeledes har det vært prioritert å gjøre en enkel beskrivelse av bunnsedimentene og ikke analyse av miljøgifter eller opparbeiding av faunaprøver.

1.3 Problemstillinger ved anleggelse eller utvidelse av båthavner

En etablering eller utvidelse av båthavner kan gi flere konsekvenser for vannkvaliteten, bunnforhold og for organismesamfunn som lever der. I småbåthavner vil det generelt være effekter fra forurensinger, begroing på brygger og flyteelementer samt svekket vannsirkulasjon. I stikkordsform kan miljøeffektene oppsummeres ved:

- søl av drivstoff og oljeprodukter
- utslipp av eksos og forbrenningsprodukter fra båtmotorer
- utlekking av miljøgifter fra bunnstoff og impregneringsmidler fra båter og bryggeanlegg, utslipp av maling og lakk-produkter
- forsøpling og utslipp av organisk avfall
- vekst av begroingsorganismer på brygger, tauverk og flytelegemer
- redusert vannutskiftning på grunn av brygger, flytende konstruksjon og båter i havnen.

I alle småbåthavner vil det være tilførsler av forurensende stoffer til sjøen i større eller mindre grad. Tilførslene kommer i hovedsak fra lekkasjer av drivstoff, mindre oljesøl og utlekking av begroingshindrende midler fra bunnstoff. I tillegg kan det lekke ut rester av maling, lakk og impregneringsstoffer fra båter og bryggeanlegg. Undersøkelser av småbåthavner har avdekket at bunnsedimentene ofte er betydelig forurenset av oljekomponenter og miljøgifter (Næs m.fl. 2002, Møskeland og Nøland 2004, Oug m.fl. 2003). Av miljøgifter er det først og fremst tjærestoffer (PAH), metaller og tinnorganiske forbindelser (TBT) fra bunnstoffer som har blitt funnet i høye konsentrasjoner. Tinnorganiske bunnstoff er nå forbudt å bruke i bunnstoff.

På brygger, tauverk og flytelegemer vil det danne seg naturlig begroing av blåskjell, rur, alger etc. Begroingsorganismene vil over tid falle til bunns og råtne når organismene frigjøres, enten naturlig eller ved mekanisk rensing. Nedbrytning av organisk materiale er en oksygenkrevende prosess. Dersom vannomrøringen er dårlig slik at det tilføres lite oksygen til nedbrytningsprosessen, vil systemene overbelastes og det dannes hydrogensulfid under den videre anaerobe nedbrytningen. Dette resulterer i "råtten bunn" med svært redusert plante- og dyreliv (Oug og Kroglund 2001, Oug m.fl. 2006, Gitmark og Walday 2008). Undersøkelser av småbåthavner som er plassert i områder med ålegrasvegetasjon, har vist at det ofte er et skarpt skille fra sterkt påvirket bunn i båthavnen til frisk vegetasjon utenfor.

Faste konstruksjoner og flytebrygger vil i tillegg redusere sirkulasjonen i vannmassene. Dette kan føre til at effektene av forurensninger og organiske tilførsler forsterkes. Spesielt i strømbakevjer vil det

være fare for økt avsetning av forurensninger. Forandringer i overflatestrømmer vil også ha betydning for hvor forurensninger på overflaten, for eksempel olje og eventuelt søppel, vil drive og kunne treffe land i områdene omkring.

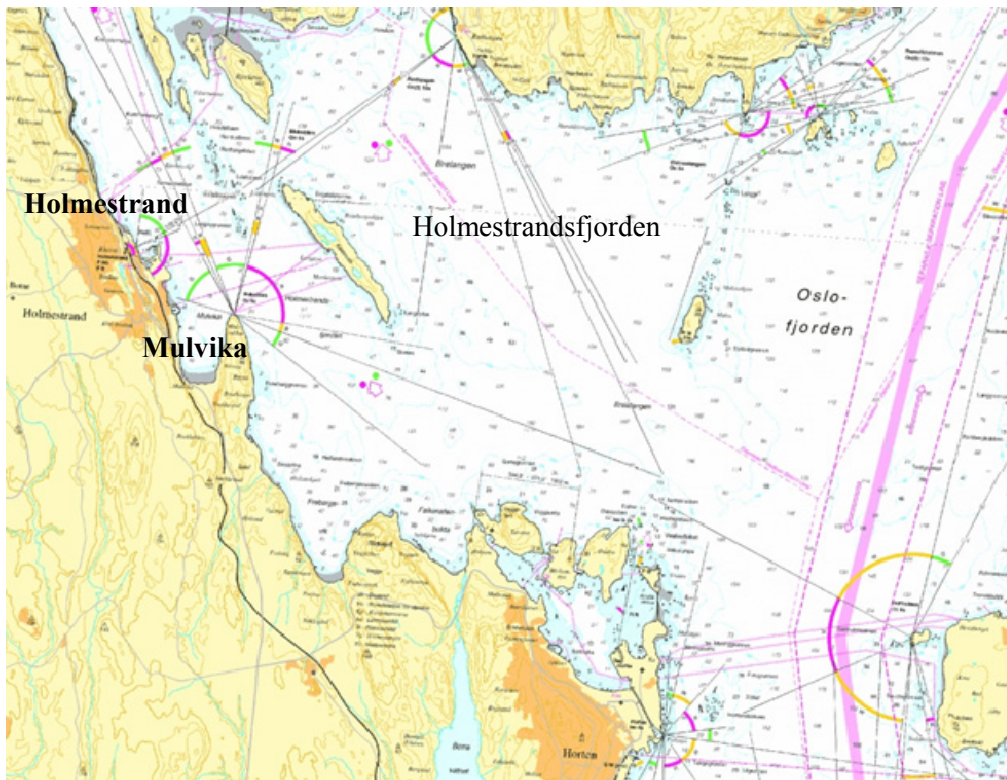
Hvor store de negative konsekvensene er og i hvor stor avstand fra en båthavn de rekker, er avhengig av blant annet størrelsen på småbåtanlegget, områdets naturtyper og topografi, og strømforholdene i området.

1.4 Beskrivelse av området

Holmestrandsfjorden er en åpen fjord uten terskler. Mot nordvest går Holmestrandsfjorden over i Sandebukta og mot sørøst går den over i Breiangen, som er et åpent område av ytre Oslofjord (**Figur 2**).

Mulvika på vestsiden av Holmestrandsfjorden er en åpen bukt i nord-sør retning rett sør for Holmestrand sentrum. I nordenden av den planlagte båthavna er bredden tvers over bukta ca. 900 meter og arealet innenfor er ca. 0,6 km². Den indre delen av bukta er ca. 700 meter bred. Bunnen skråner jevnt opp fra 70-80 meters dyp i ytre del av bukta til et relativt stort gruntvannsområde innerst i Mulvika. Store mudderflater blottlegges ved lavvann og er et viktig område for fugl. I de indre deler mot land er det en takerørsump på ca 39 daa som er vurdert som regionalt viktig (se vedlegg A4). Området er også vurdert i forbindelse med utkast til verneplanen for våtmarksområder i Vestfold fylke, men har ikke blitt vernet (Naturbasen).

Øst for Mulvika ligger Langøya som er bygget opp av 400 millioner år gamle kalkavsetninger med rester av fossiler. I mer enn 100 år har det vært drevet kalksteinbrudd på øya, men i dag brukes det ene av de to gamle bruddene til deponering av farlig avfall (NOAH Holding AS).



Figur 2. Holmestrandsfjorden med Mulvika. Kartgrunnlag: Statens kartverk

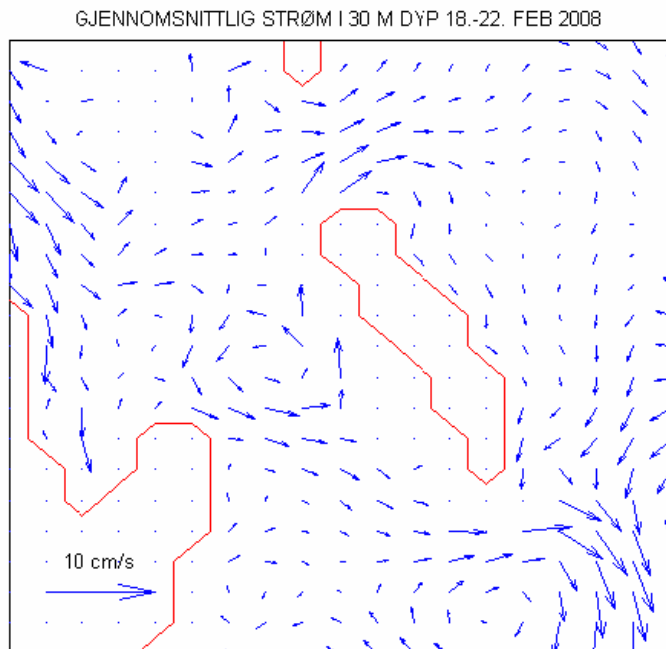
1.5 Tidligere undersøkelser

Området rundt Langøya er undersøkt flere ganger gjennom den årlige overvåkingen av resipienten til NOAHs avfallsanlegg. Overvåkingen av NOAH startet i 1994 og omfatter siden 1996 årlige analyser av miljøgiftinnhold i blåskjell og sedimenter samt undersøkelser av hardbunnsorganismer.

Løpende utslippsmålinger fra bedriften har vist at det foregår en tilførsel av metaller fra Langøya til resipienten, men metallinnholdet i blåskjell og sedimenter har for det meste vist lave konsentrasjoner og tilstanden har generelt vært betegnet som god (Walday m.fl. 2008). Undersøkelsene har også vist at det finnes flere forurensningskilder i Langøyaområdet enn NOAH-Langøya og at forurensningsbildet er komplisert, særlig med hensyn til kildeidentifisering. Undersøkelsene av strandsonesamfunnene har ikke indikert redusert biologisk kvalitet hos samfunnene ved Langøya i 2006 (Walday m.fl. 2008).

Som et tillegg til de årlige undersøkelsene ved NOAH, ble det i 2009 analysert sedimentprøver fra 4 stasjoner utenfor Holmestrand hvorav en stasjon ble plassert i Mulvika. Prøvene ble analysert for metaller, organiske miljøgifter (PAH, PCB) og TBT. Metallnivåene var generelt på bakgrunnsnivå (klasse 1) mens det ble funnet forhøyede nivåer av PAH, PCB og tri-butyl-tinn (TBT) på alle stasjonene. I Mulvika var nivåene av PAH, PCB og TBT i klasse 2 (*ingen toksiske effekter*), men på de øvrige stasjonene utenfor Holmestrand var nivåene i klasse 3 (*kroniske effekter ved langtidseksposering*) og klasse 4 (*akutt toksiske effekter ved korttidseksposering*) (NIVA-notat 151009). Skipstrafikk (bunnstoff) antas å være hovedårsak til forurensning av TBT, mens tjærestoffer normalt stammer fra oljesøl og eksos.

Det foreligger også prøvetakninger av vannmassene ned til 30 meters dyp (temperatur, saltholdighet og tetthet), modellberegninger av strøm og undersøkelser av bunnforholdene med sedimentprofilfotografering (SPI) (Staalstrøm m.fl. 2008). Modellberegninger av strømbildet i en vintersituasjon er vist i **Figur 3**. Figuren viser gjennomsnittlig strøm rundt Langøya i 30 meters dyp fra 18. til 22. februar 2008. Typisk middels strømstyrke var 2-4 cm/s (Staalstrøm m.fl. 2008).



Figur 3. Strøm fra 30 meters dyp hentet fra met.no sin modell over Oslofjorden. Kystlinja i modellen er tegnet inn med rød linje (fra Staalstrøm m.fl. 2008).

2. Bunnforhold og naturtyper på grunt vann

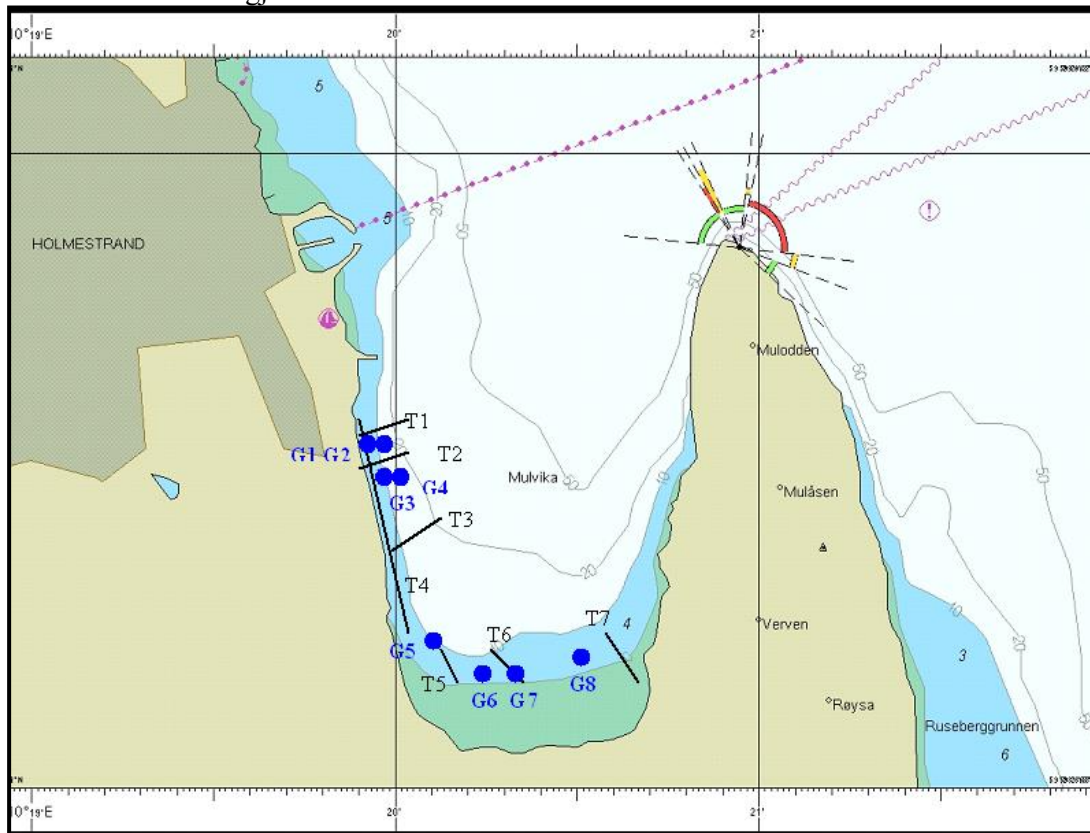
2.1 Generelt

For å kunne si noe om konsekvensene av en båthavn, må man først vite hva som fins i området av naturtyper og organismsamfunn. Ulike naturtyper har ulik toleranse for belastninger og påvirkninger. I innelukkede områder med dårlig vannutskiftning vil effekter av miljøbelastninger ofte være større og mer merkbare enn i åpne områder med god vannutskiftning.

2.2 Metodikk

Registrering av viktige naturtyper og bunnforhold ble gjort med vannkikkert og undervannsvideokamera fra lettboat. Til sammen ble det undersøkt 7 transekter ved den planlagte båthavna samt i indre del av Mulvika (**Figur 4**). Ved hvert transekt ble det tatt videoopptak av bunnen fra ca. 20 meters dyp og opp til strandsonen. Vegetasjon og bunntyper ble notert under filming, sammen med GPS-posisjoner langs transektet. Videoopptakene oppbevares for senere referanse. Koordinatene til alle posisjonene er gitt i **Tabell 1**. I tillegg er det benyttet data fra det nasjonale kartleggingsprosjektet for marint biologisk mangfold som registrerte utbredelse av ålegrasenger i Mulvika høsten 2009.

Prøver av bunnsedimentene ble tatt med håndholdt Van Veen-grabb fra 8 stasjoner. Fire stasjoner ble plassert under den planlagte båthavna og fire stasjoner ble plassert på mudderflaten i indre del av Mulvika (**Figur 4**). Bunnsedimentene ble visuelt vurdert i felt og undersøkt for lukt og farge. Undersøkelsene ble gjennomført 2. oktober 2009.



Figur 4. Plassering av transekter (vist som svarte streker) og stasjoner for grabbprøver (blå punkter) høsten 2009.

2.3 Resultater

Videofilming på grunt vann

Oversikt over de undersøkte stasjonene (transekter) er gitt i **Tabell 1**. Transektene T1-T4 ble tatt i området hvor båthavnen er planlagt, mens transektene T5-T7 ble plassert i indre del av Mulvika.

Ved tre av transektene i området hvor marinaen er planlagt (T1, T2, T4) ble det observert ålegras (*Zostera marina*) fra ca. 1 – 3 meters dyp. Ålegraset var friskt og fint og hadde lite påvekst av trådformete alger. Bunnen skråner raskt nedover og det var kun i en smal stripe langs land at det vokste ålegras. Innimellom ålegrasengene var det felter med ren sand eller blåskjellbanker.

I indre del av Mulvika vokste det også enger av ålegras og på grunnere vann helt innerst ble det observert havgras (*Ruppia cf. maritima*).

Resultatene viser at det vokser ålegras under den planlagte båthavna og langs store deler av Mulvika.

Tabell 1. Transekter for registrering av bunnforhold og naturtyper. Posisjonene er oppgitt i WGS 84.

Transekt	Nordlig koord.	Østlig koord	Største dyp	Kommentarer
T1	59 28.624	10 20.009	22,5	Ved planlagt båthavn. Grunnere enn 3 meters dyp var det sandbunn og det vokste ålegras i dette området. Dypere enn 3 meter var det stort sett bløtbunn.
T2	59 28.545	10 20.018	19,1	Ved planlagt båthavn. Ålegras vokste fra 1,4m dyp til ca. 4 meters dyp. Dypere enn dette var det ren bløtbunn.
T3	59 28.504	10 20.087	20	Ved planlagt båthavn. Bløtbunn på dypere vann. Stein og blåskjellbanker ved ca 2 m dyp. Ålegras ble ikke observert.
T4	59 28.433	10 19.988	4,2	Transekt langs land ved planlagt båthavn. Ålegras vokste i varierende mengder fra 1-3 meters dyp. Bunnen bestod av dels sand, dels bløtbunn og stein.
T5	59 28.326	10 20.089	10,8	Indre del av Mulvika. Bløtbunn og sand. Ålegras vokste ned til ca 3 meter. Flekker med <i>Ruppia</i> på 0,8 m dyp.
T6	59 28.333	10 20.214	14	Indre del av Mulvika. Bløtbunn og sand. Ålegras flekkvis dominerende ned til ca. 2,5 m dyp. Flekker med <i>Ruppia</i> på 0,5 m dyp.
T7	59 28.354	10 20.502	13,7	Indre del av Mulvika. Bløtbunn. Ålegraseng vokste fra 1-3,6 m dyp.

Bunnprøver med grabb

Oversikt over bunnprøvene er vist i **Tabell 2**. Resultatene viser at bunnområdet under den planlagte båthavna består av fin mudder og leire. Svak lukt av hydrogensulfid på tre av fire stasjoner viser at den organiske nedbrytningen i sedimentene til tider er større enn det som tilføres av oksygen.

I indre del av Mulvika var det også fast leire på tre av stasjonene, mens det var fin sand på den grunneste stasjonen (Stasjon 7). Både den grunneste og dypeste stasjonen hadde ingen lukt av hydrogensulfid, mens det var lukt av hydrogensulfid på stasjonene fra 4-6 meters dyp.

Resultatene kan tyde på at området er et sedimentasjonsområde preget av lite vannbevegelse og at nedbrytningen av organisk materiale til tider er større enn tilført oksygen slik at det utvikles hydrogensulfid i bunnsedimentene selv på grunt vann.

Tabell 2. Stasjonsoversikt med beskrivelse av sedimentene.

Grabb	Posisjon (WGS 84)		Dyp	Type	Farge	Lukt	Merknader
G1	59 28.577	10 19.936	4,5	Fint, fast mudder	Svart/brun, lysere brun på overflaten	Svak H ₂ S lukt	Ingen synlige dyr
G2	59 28.557	10 19.958	14	Fast leire	Svart/grå	Svak H ₂ S lukt	Noe tomme muslingskall
G3	59 28.518	10 19.957	5	Fast leire	Svart/grå	Ingen lukt	Ingen synlige dyr
G4	59 28.524	10 19.987	14	Fast leire	Svart/grå	Svak H ₂ S lukt	Noe tomme muslingskall
G5	59 28.309	10 20.106	10	Fast leire	Mørk brun	Ingen lukt	Noe tomme muslingskall
G6	59 28.278	10 20.245	6,1	Fast leire	Mørk brun med noen svarte flekker	H ₂ S lukt	Ingen synlige dyr
G7	59 28.272	10 20.338	1,1	Fin sand	Brun	Ingen lukt	Noen små hjerteskjell og <i>Hiatella</i>
G8	59 28.288	10 20.500	4,5	Fast leire	Svart/mørk brun (sjiktet)	H ₂ S lukt	Ingen synlige dyr



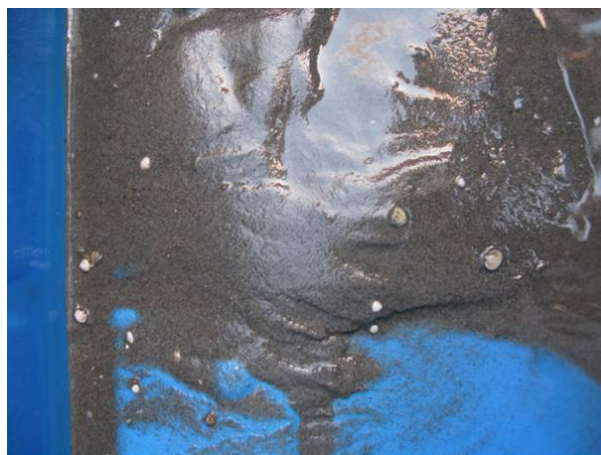
Stasjon G1. Fin, fast mudder med brunt topplag fra 4,5 meters dyp under den planlagte båthavna i Mulvika. Sedimentene hadde svak lukt av H_2S .



Stasjon G2. Fast leire fra 14 meters dyp under den planlagte båthavna i Mulvika. Sedimentene hadde svak lukt av H_2S .



Stasjon G5. Fast leire fra 10 meters dyp innerst i Mulvika.



Stasjon G7. Fin sand med små muslinger (bl.a. hjerteskjell) fra 1 meters dyp innerst i Mulvika.

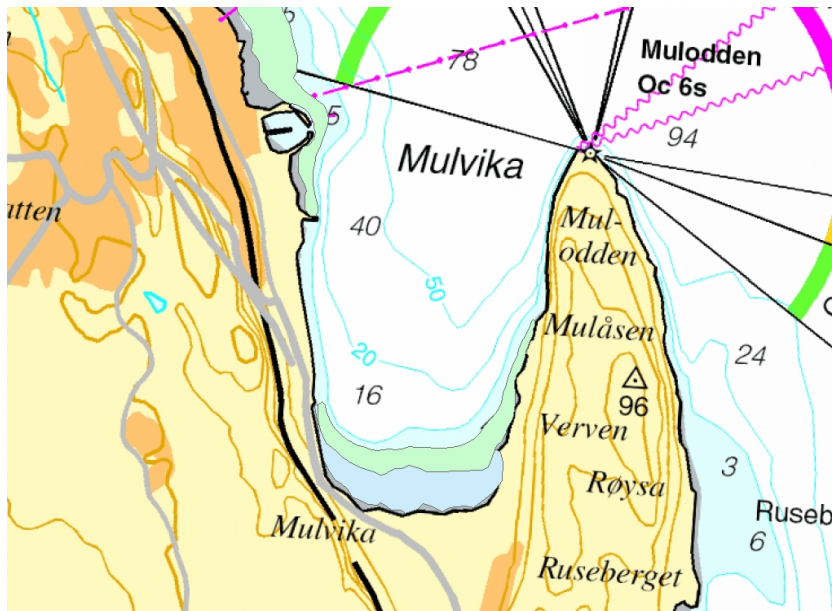
Figur 5. Bilder av utvalgte grabbprøver fra Mulvika. Foto: NIVA

2.4 Resultater fra det nasjonale kartleggingsprosjektet

Høsten 2009 ble ålegrasenger og bløtbunnsområder i Mulvika registrert og verdivurdert gjennom det nasjonale kartleggingsprogrammet for marint biologisk mangfold (et samarbeid mellom Miljøverndepartementet, Fiskeri- og kystdepartementet, Landbruks- og matdepartementet, Samferdselsdepartementet, Forsvarsdepartementet og Olje- og energidepartementet).

Det ble registrert to store ålegrasenger, en i nordlige del av bukta og en i indre del av Mulvika (**Figur 6**). Begge engene var på over 70.000 m² og er gitt høyeste verdi (A- nasjonalt viktig). Dataene fra kartleggingsprosjektet er tilgjengelige i "Naturbasen" til Direktoratet for Naturforvaltning (www.dirnat.no).

I samme prosjekt er det også registrert viktige gyteområder for fisk. Resultatene viser at det eneste gytefeltet som er registrert i Vestfold er i Frebergsvik, sørøst for Mulvika. Gyteområdet er relativt lite og har kun lokal verdi (Sigurd Heiberg Espeland, HI, pers. med).



Figur 6. Kartlagte ålegrasenger (grønne felter) i Mulvika. Fra det nasjonale kartleggingsprosjektet

3. Strømforhold

3.1 Generelt

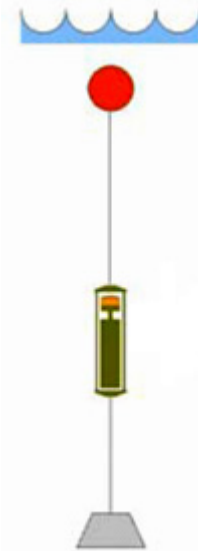
For å kunne vurdere effekten av marinaen på forekomstene av ålegrasenger og andre naturverdier i området, må strømforholdene vurderes. Som grunnlag for en slik vurdering er det gjort strømmålinger i området over ca. ei uke.

Ut fra data om topografi og på basis av strømmålingene er det gjort noen enkle hydraulisk baserte vurderinger av hvor mye det planlagte bryggeanlegget vil påvirke vertikal fordeling og størrelse av vanngjennomstrømningen i området.

3.2 Strømmålinger

3.2.1 Metodikk

Strømmålingene ble utført ved hjelp av en profilerende strømmåler (Nortek Aquadopp 600 kHz) over et tidsrom på ca. ei uke. Måleren ble plassert midt i området hvor småbåthavna er planlagt. Instrumentet var festet til et bunnlodd og stod på ca 20m dyp. Ei oppdriftskule sørget for at instrumentet sto vertikalt i vannsøylen (se **Figur 7**). Instrumentet var satt opp til å logge strømstyrke og retning med 5 min måleintervall i flere måledyp fra like over instrumentet til overflata. Pga refleksjoner fra overflata vil målingene i de øvre 10 % av vannsøylen ikke gi riktige verdier. Vi har derfor konsentrert oss om å studere resultatene fra bunn og opp til ca 2m dyp.



Figur 7. Typisk oppsett av strømmrigg

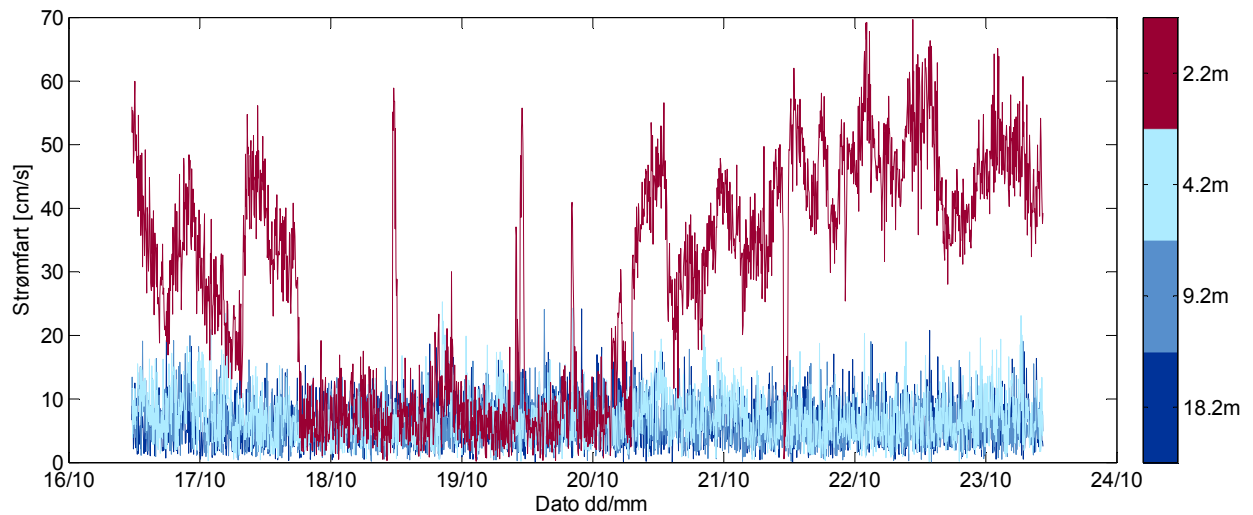
3.2.2 Resultater

Det er valgt å se på resultater for fire dyp fra 2.2 ned til 18.2 m. **Figur 8** viser hvordan strømstyrken varierte over tid i de fire utvalgte måledypene. På alle de 3 dypene fra 18 til 4 meter varierte strømstyrken stort sett fra 0 til 20 cm/s, og de statistiske egenskapene er omtrent like (**Tabell 3.**). Fordelingen av strømretning og strømstyrke er vist mer detaljert i **Figur 10**. På 18 og 9m dyp er det ingen dominerende strømretning, og strømstyrken fordeler seg nokså likt innenfor hver retningssektor. På 4m dyp ser vi en dominans av strøm i nordlig til nordvestlig strømretning. Strømstyrken fordeler seg også her omtrent likt i de ulike retningene, men det er en liten tendens til at de høyeste strømstyrkene (>16 cm/s) forekommer mest ved strøm omkring nordlig eller sørlig retning. Strømrosa for 2m dyp viser tydelig dominansen av sørvestlig strøm i måletidsrommet.

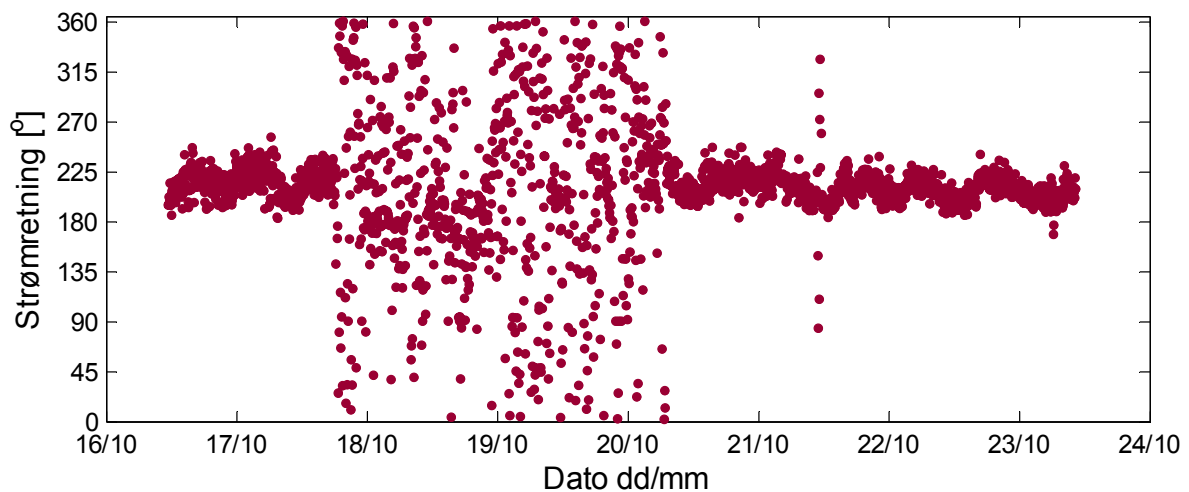
Tabell 3. Statistiske egenskaper for de fire utvalgte måledypene (strømstyrke og retning).

Dyp (m)	Dominerende strømretning	Strømstyrke (cm/s)			Standard-avvik (cm/s)
		Gjennomsnitt	90% persentil	Maksimal (i retning)	
2.2	SV	28,5	50,6	69,7 (187°)	17,7
4.2	N-NV	7,1	12,4	25,3 (181°)	4,0
9.2	Ingen	6,2	10,7	24,1 (15°)	3,5
18.2	Ingen	6,4	10,8	24,2 (229°)	3,4

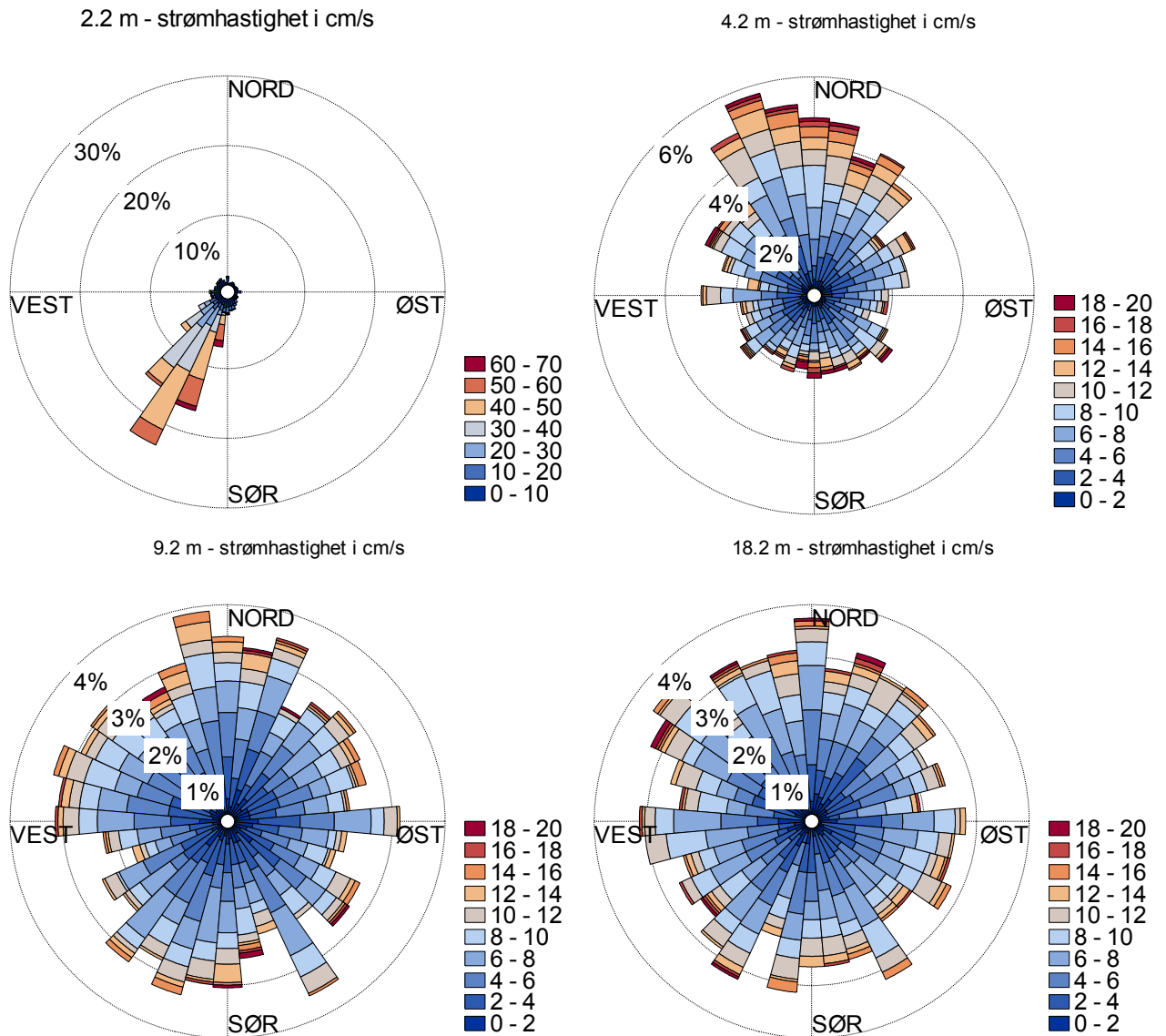
Det fremgår av **Figur 8** at strømmen nær overflaten, på ca 2m dyp, varierer mye mer over tid enn i de dypere cellene. Når det sammenholdes med **Figur 9**, som viser hvordan strømretningen har variert over tid på 2 m dyp, ser vi at strømretningen i 2m dyp er veldig stabil mot sørvest i perioder med sterk strøm, mens den i perioden med svak strøm, den 18. og 19. oktober, varierer mye og i alle retninger.



Figur 8. Strømstyrke (cm/s) fra fire utvalgte måleceller (ca. 18m, 9m, 4m og 2m). Markeringene på tidsaksen angir starten av hvert døgn, målt etter standard tid (UTC).

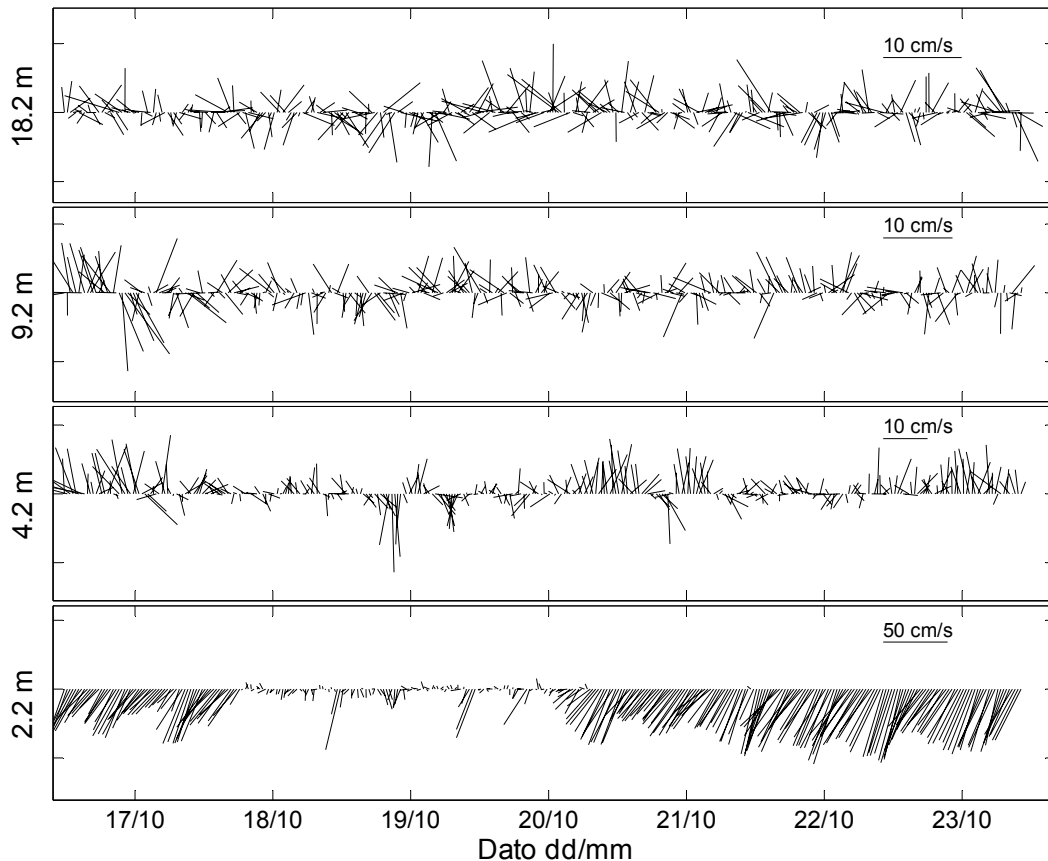


Figur 9. Strømretning nær overflaten (2m). Markeringene på tidsaksen angir starten av hvert døgn, målt etter standard tid (UTC).



Figur 10. Strømroser for de fire utvalgte dypene. Høyden på søylene angir hvor stor del av målingene som har strømretning i den gitte retningen. Fargene i søylene angir strømstyrkefordelingen i den gitte retningen i cm/s. Vær oppmerksom på ulik fargeskala for 2m dyp i forhold til de øvrige dypene.

Figur 11 viser strømmen i ulike dyp som tidsserier av strømvektorer. Figuren viser at det ikke er noen klar kobling i tid mellom variasjonene i strømstyrke og retning på ulike dyp. På de to nederste dypene varierer retning og styrke raskt og kaotisk, og det er ingen klar periodisitet. På 4 m er det en viss tendens til periodisk variasjon, med episoder av varighet i størrelsesorden $\frac{1}{2}$ døgn, antagelig knyttet til tidevannet. Det er enda tydeligere for 2m dyp (ses også i **Figur 8**), men samtidig er det her også mye større variasjon på lengre tidsskala.



Figur 11. Strømretning og styrke i utvalgte dyp vist som vektorer langs en tidslinje. For hver halvtime er midlere strømvektor vist som en linje eller pil som starter på aktuelt punkt på tidslinjen. Pilen peker i strømretningen, og lengden angir strømfarten. En pil rett ned betyr strøm mot sør, på skrå ned til venstre strøm mot sørvest etc. Merk ulik skala for strømstyrke i de forskjellige plottene. Markeringene på tidsaksen angir starten av hvert døgn, målt etter standard tid (UTC).

Variasjonene i strøm på 2 m dyp på lang tidsskala viser klar sammenheng med vindforholdene. **Figur 12** viser vinddata for hele måleperioden fra to stasjoner i nærheten. Det ble registrert sterk nordavind¹ i området ved utsetting av strømmåleren. Vinddata fra begge stasjoner viser vind fra nord fra tidlig om morgenen 16. oktober til om kvelden 17. oktober, med styrke 4-6 m/s ved Melsom og 10-15 m/s ved Gullholmen. I denne perioden gikk det strøm i retning S til SV på 2 m dyp på vestsiden av Mulvika, med strømstyrke som varierte mellom 20 og 60 cm/s.

De neste to døgn, 18. og 19. oktober, var det omtrent vindstille ved Melsom og relativt svak vind (2-3 m/s) i noe varierende retning ved Gullholmen. I dette tidsrommet var det lav strømstyrke på 2 m dyp, omtrent på samme nivå som på 4-18 m dyp, og med sterkt varierende retning (**Figur 9**).

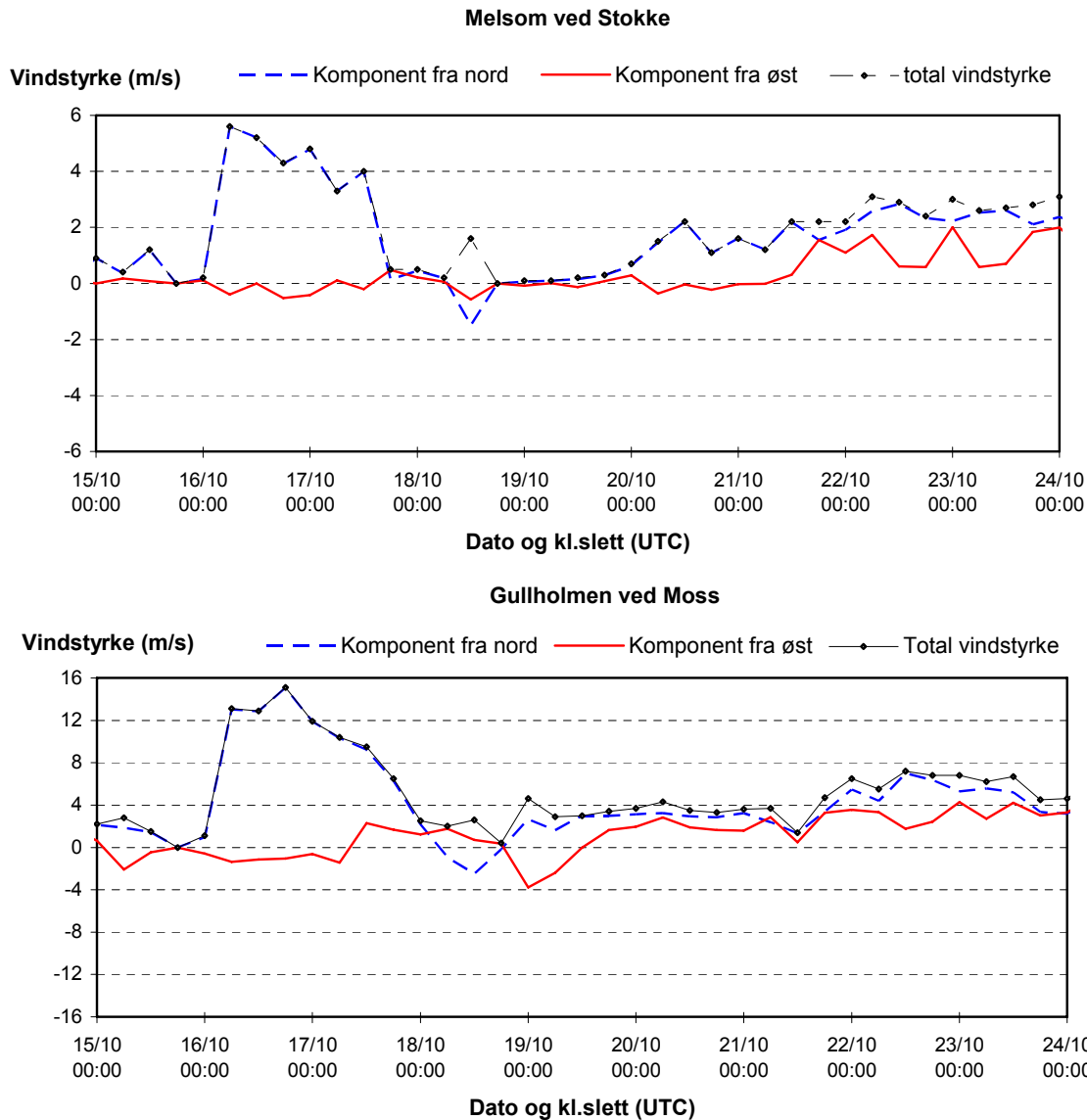
Fra tidlig morgen 20. oktober økte vinden igjen ved Melsom og holdt seg på 2-3 m/s med retning fra NNØ resten av måleperioden. Ved Gullholmen var det også vind i hovedsak fra NNØ fra og med sent på kvelden 20. oktober, og det varte ut resten av måleperioden, med vindstyrke fra 3 til 7 m/s. Parallelt med dette tiltok strømmen i løpet av morgenen 20. oktober, og fra da av og ut måleperioden var det strøm i retning mot S/SV, med strømstyrke som varierte fra 30 til 70 cm/s, enda noe høyere enn i den

¹ Vær oppmerksom på at vindretning angir hvor vinden kommer fra, mens strømretning angir i hvilken retning strømmen går.

første perioden. Fra feltarbeidet er det notert sterk nordavind også ved opphenting av strømmåleren midt på dagen 23.oktober, men vinddata fra de to nærliggende stasjonene indikerer at det var svakere vind enn ved starten av måleperioden.

Den sterke koblingen mellom vind og strøm henger sammen med at vinden drar med seg vannet nær overflaten og på den måten setter opp en overflatestrøm. En grov regel sier at strømhastigheten i overflatelaget kan bygge seg opp til ca. 3 % av vindhastigheten; det skulle tilsi strømhastigheter omkring 15 til 40 cm/s, avhengig av hvilken stasjon som er mest representativ for forholdene utenfor Mulvika, men det er også avhengig av topografiske begrensninger.

Det er trekk ved observasjonene som tyder på at det ikke bare er direkte vinddrevet strøm som er observert. Strømmålingene viser omtrent samme strømretning på 2 m dyp både ved sterk vind fra nord (16.-17. oktober) og ved midlere vind fra nordvest (20.-23. oktober), og faktisk med noe større strømstyrke i den siste perioden, da vinden var svakere. I periodene med sterk strøm er det også en klarere fluktusjon som kan kobles til tidevannet. Disse trekkene kan indikere at variasjonene i strøm i Mulvika pga. vind ikke bare skyldes direkte vinddrevet overflatesirkulasjon i Breianger, men også kan henge sammen med at vinden påvirker mønsteret for overflateutstrømning fra Drammenselva via Drammensfjorden, slik at den presses mot vest, og derfor i større grad gir en sirkulasjon gjennom Mulvika i overflaten. Siden utstrømningen fra Drammen vil variere med tidevannet, er det rimelig hvis en slik variasjon er mer tydelig når utstrømningen også setter preg på Mulvika enn om den i større grad passerer forbi.



Figur 12. Vindforhold i måleperioden ved Melsom i Stokke, ca. 28 km rett sør for Mulvika og Gullholmen ved Moss på østsiden av Breiangen, 15 km øst/sørøst for Mulvika. Data fra Meteorologisk institutt (www.eklima.no)

3.3 Vurdering av bryggeanleggets betydning for strømforhold og vannutskifting

Mulvika er i dag helt åpen mot nord, og vil fortsatt være det med det planlagte bryggeanlegget. Bølgebryteren vil dekke ca. 20 % av bredden av bukta, og vil stikke ca. 1 m ned i vannet. De andre bryggene går ned til 30 cm under vann. Bølgebryteren vil være den viktigste hindringen for sirkulasjon i overflaten. Bunnen under bølgebryteren skråner nedover fra land til ca. 20 m dyp ytterst.

Det vil derfor være et stort åpent strømtverrsnitt under bølgebryter og brygger. Strømmålingene viste uordnet strøm på dyp 4-18 m, i skiftende retninger og med lite kobling til overflatestrømmen. Disse strømmene vil ikke påvirkes av bryggeanlegget. Nær overflaten, på 2 m dyp, var det i perioder med nordavind strøm mot sør gjennom det området hvor bryggeanlegget er planlagt, dvs. på vestsiden av

bukta. Strømhastigheten varierte mellom 20 og 60 cm/s i disse periodene. Det indikerer at overflate-laget sirkulerer gjennom Mulvika i en roterende bevegelse mot sola, dvs. inn på vestsiden og ut langs østsiden. Bølgebryteren vil virke som en barriere for denne strømmen, men i den grad den er det, vil det dannes en lokal oppstuvning av vann rett foran bølgebryteren som bidrar til å skyve vannet ned og under bølgebryteren. Noen enkle hydrauliske beregninger av hvordan dette kan innvirke på strømmen er gjort i Vedlegg B. Beregningene er basert på en idealisert og forenklet modell, hvor et overflatelag strømmer over et stillestående dypere lag i hydrostatisk likevekt, uten blanding mellom de to lagene. Ligninger for energi- og momentbevaring for homogen strøm over fast bunn er tilpasset en situasjon med to lag og brukt til å beregne hvordan hastighet og lagtykkelse varierer når strømmen passerer under overflatehindringen. Beregningen er som sagt sterkt forenklet, men bør kunne gi et brukbart grovt estimat på virkningen av bølgebryteren. Dersom uforstyrret strømhastighet i et ca. 3 m tykt overflatelag varierer mellom 30 og 60 cm/s, som observert i periodene med nordavind, og tetthetsforskjellen mellom overflatelaget og det omtrent stillestående laget under tilsvarer en forskjell i saltholdighet på 20, tyder beregningene på at gjennomstrømningen i overflaten kan bli redusert til anslagsvis halvparten. Hastighetene i overflatelaget vil være i overkant av 20 cm/s med omtrent uendret lagtykkelse et stykke nedstrøms bølgebryteren. Ut fra transportlengden i ytterkant av Mulvika gir dette en gjennomstrømningstid på ca. 3 timer, noe som er en økning fra 1-2 timer i dag under ellers like forhold. Vinddrevet sirkulasjon vil typisk vare noen timer. En kan derfor regne med effektiv utskiftning av overflatevannet i løpet av en typisk episode med nordavind selv med bølgebryteren på plass.

Reduksjonen i gjennomstrømningen som passerer under bølgebryteren kan bli mindre enn beregnet her dersom de vertikale impulsene på strømmen rundt overflatehindringen fører til større blanding mellom overflatelaget og det stillestående laget under når strømmen presses ned og under bølgebryteren. Det vil bety at vann fra det nedre laget rives med av overflatelaget, og da kan det bli noe langsommere strøm enn beregnet, men til gjengjeld i et noe dypere lag. Netto-effekten blir en større volumtransport enn beregnet i Vedlegg B.

Reduksjonen vil også delvis kompenseres ved at noe mer strøm går rundt bølgebryteren gjennom den åpne delen av tverrsnittet, men det kan også bli mindre sirkulasjon gjennom Mulvika i de situasjonene som i dag gir vindstyrt overflatestrøm, dvs. at mer av sirkulasjonen passerer forbi på utsiden av bukta.

Beregningene representerer forhold i perioder med i utgangspunktet stor gjennomstrømning, og selv med den beregnede reduksjonen vil det da være ganske god sirkulasjon i overflatelaget på ca 3-4 m tykkelse. I situasjoner med lave strømhastigheter, tilsvarende det som ble målt uten vind i oktober 2009, vil gjennomstrømningsreduksjonen være mindre.

Totalt sett tyder strømmålingene og de hydrauliske beregningene på at bryggeanlegget med bølgebryteren vil gi en betydelig reduksjon av maksimal gjennomstrømning i overflatelaget, men det vil likevel være relativt kort oppholdstid på vannet (godt innenfor ett døgn), og Mulvika vil fortsatt ha karakter av en åpen bukt med ganske fri vannutveksling, også i overflaten.

Det vil likevel være en fordel å ha åpninger noen steder i bølgebryteren hvor vannet kan strømme gjennom helt i overflaten. En slik åpning bør plasseres i vinkelen mellom de to grenene av bølgebryteren. Åpningene må gjerne lages med skjerming mot bølger; det viktige er at vannet kan strømme gjennom.

Bryggene bør ha en passasje mot land hvor vannet kan strømme forbi, og gjerne også en åpning mellom flytekroppene i alle fall midt på hver brygge.

4. Konsekvenser av den planlagte marinaen på naturmiljøet

Etablering av en marina i Mulvika med 500 båtplasser beskyttet av en molo i nord, vil gi ulike effekter på det marine miljøet i Mulvika.

Et økt antall flytelegemer, brygger, stolper og tauverk vil gi økt tilgjengelig substrat (mulige voksesteder) for begroingsorganismer. Viktige begroingsorganismer som forventes å etablere seg er blant annet blåskjell, sjøanemoner og hurtigvoksende trådformede alger. Når disse organismene dør, vil de synke og føre til en opphopning av organisk materiale på bunnen. Nedbryting av organisk materiale er en oksygenkrevende prosess. Hvis vannomrøringen er dårlig slik at det tilføres for lite oksygen til nedbrytningsprosessen, vil systemene overbelastes og det dannes hydrogensulfid under den videre anaerobe nedbrytingen. I Mulvika vil båthavna bli liggende over skrånende bunn med største dyp 20 meter i et relativt åpent system. Dette vil bidra til å spre det organiske materialet over et større område og redusere faren for opphopning, men man må likevel regne med at bunnforholdene under båthavna vil bli forverret. Sedimentene er i utgangspunktet preget av hydrogensulfid som viser at det er relativt stor nedbryting i Mulvika fra før. Resultatet blir mer rått bunn hvor færre børstemark og andre gravende dyr kan leve, og levevilkårene for ålegras kan bli forringet.

Småbåthavnen vil begrense vannutskiftningen i overflatelaget i selve bryggeområdet og kan også til en viss grad innvirke på vannutskiftningen rett innenfor marinaen. Svakere vannutskiftning vil gi utslag i dårligere vannkvalitet og økt avsetning av finmateriale som igjen stimulerer til vekst av trådformede påvekstlger. Slike hurtigvoksende alger får gode vekstvilkår ved jevn tilførsel av næringssalter og stillestående vann. I tillegg vil økt oppvirvling av sediment fra båttrafikk kunne gi en nedslamming av eksisterende, frisk vegetasjon. For å redusere virkningene av redusert strømhastighet bør det være strategisk plasserte åpninger i bryggene og bølgebryteren som sikrer en best mulig gjennomstrømming i anlegget. Marinaen vil trolig ikke redusere vannutskiftningen til andre deler av Mulvika i særlig stor grad, men i de periodene hvor det i dag går kraftig vindstyrt strøm gjennom bukta kan sirkulasjonen i overflatelaget bli omtrent halvert. Det vil allikevel fortsatt være relativt kort oppholdstid på overflatevannet i slike situasjoner.

Plassering av brygger / båter direkte over ålegrasenger kan føre til at disse ålegrasengene blir borte på grunn av reduserte lysforhold og økt organisk belastning fra begroingsorganismer på bryggene. Ålegraset er, som andre planter og alger, avhengig av tilstrekkelig lys for å leve. I Mulvika kan man forvente at ålegrasforekomstene som ble registrert i området der det planlegges bryggeanlegg blir redusert eller forsvinner etter hvert. Det ble kun funnet en smal stripe med ålegras under det planlagte anlegget så konsekvensene vil være begrenset. Det er usikkert hvor lang avstand en småbåthavn har innflytelse på den økologiske kvaliteten på ålegrasenger, men det er lite trolig med store effekter på de store ålegrasengene nord og syd for bryggeanlegget.

Utslipp av drivstoff og olje, rester fra maling, lakk, impregnerings- og begroingshindrende midler vil alltid, men i varierende grad, forekomme i en båthavn og medføre lokale negative effekter på det marine miljøet. Mange miljøgifter binder seg til partikler og bunnfelles. På grunt vann kan miljøgiftene resuspendes ved oppvirvling fra båtpropeller (Oug m.fl. 2006). Stadig oppvirvling av sedimentet kan i tillegg medvirke til nedslamming av planter og dyr som lever tilknyttet bunnen. Det må derfor forventes noe økte tilførsler av forurensende stoffer (metaller og miljøgifter) fra marinaen i Mulvika. Dersom det skal etableres en slipp og områder hvor båteierne skal kunne ta istandsetting og vedlikehold, vil det ytterligere kunne øke tilførselen av miljøgifter. Problemene med økt tilførsel av miljøgifter vil i størst grad gjøre seg gjeldende under selve båthavna, men vil også kunne bli spredt til andre deler av bukta. Ved nordlige vinder og strømretninger innover i Mulvika vil forurensende stoffer

bli ført innover til de grunne mudderbunnsområdene innerst i vika. Det er ikke kjent hvilke miljøgiftkonsentrasjoner som det er under båthavna i dag, men dette bør dokumenteres før en eventuell etablering av marinaen som grunnlag for videre overvåking. Dersom det skal etableres områder for båtopleg eller andre områder hvor det drives istandsetting og vedlikehold av båter, bør det sørges for oppsamlingsmuligheter for avrenningsvann og gode systemer for søppel- og avfallshåndtering.

5. Referanser

- Gitmark, J.K. og M. Walday 2008, Undersøkelse av biologisk mangfold ved Skjæløy Slipp, Fredrikstad kommune. NIVA-rapport 5572-2008. 17s.
- Møskeland, T. og Nøland, S.A. 2004. Forurensningssituasjonen i småbåthavner. Status, økologisk risiko, spredningsvurdering og tiltaksbehov. SFT/DNV, SFT-rapport TA-2071/2004. 39s.
- Næs, K. E. Oug og J. Håvardstun 2002. Miljøgifter i havner i Aust-Agder 2000. Metaller, klororganiske forbindelser, PAH, TBT og olje i bunnsedimentene. NIVA-rapport 4473-2002. 37s.
- Oug, E., Kroglund, T., 2001. Konsekvensutredning for utvidet småbåthavn i Barselkilen, Grimstad kommune. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport l. nr OR-4302. s.
- Oug, E, T. Kroglund og R. Roseth 2003. Miljøundersøkelse i Hånesbukta, Kristiansand, før utbygging av småbåthavn. NIVA-rapport 4769-2003. 31s.
- Oug, E., J. Molvær, T. Kroglund 2006. Konsekvenser ved utvidelse av Tingsaker båthavn, Lillesand kommune. Vannsirkulasjon, bunnforhold og naturtyper i strandsonen. NIVA-rapport 5182-2006. 33s.
- Staalstrøm, A., Nilsson, H., Magnusson, J., 2008. Overvåking av utslipp ved Langøya - Innledende undersøkelser vinteren 2007-2008. NIVA. Rapport l. nr OR-5630. 32 s.
- Walday, M., Green, N., Gitmark, J., Shi, L., 2008. Overvåking NOAH Langøya 2007. Strandsoneregistreringer samt miljøgifter i blåskjell og sedimenter. NIVA. Rapport l. nr OR-5634. 61 s.

Vedlegg A. Bunnforhold og naturtyper

Vedlegg A1. Tabell med oversikt over videotransekter for kartlegging av naturtyper.

Transekt	Punkt	Dato	Posisjon (WGS 84. Lat/Lon)		Dyp, m	Substrat	Terreng	Merknader
T1	119	02.10.09	59 28.624	10 20.009	22,5	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull- spredt
	120	02.10.09	59 28.588	10 19.964	15,1	Bl	Flatt	Bart
	121	02.10.09	59 28.585	10 19.941	5,4	Bl	Svakt skrånende	Tomme muslingskall – spredt
	122	02.10.09	59 28.582	10 19.933	3,1	Sa	Svakt skrånende	Start på ålegraseng (spredt)
	123	02.10.09	59 28.581	10 19.923	1,5	Sa	Svakt skrånende	Slutt på ålegraseng, sagtang – spredt
	124	02.10.09	59 28.581	10 19.918	0,8	Sa	Svakt skrånende	Bart
T2	125	02.10.09	59 28.545	10 20.018	19,1	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	126	02.10.09	59 28.541	10 19.966	15,2	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	127	02.10.09	59 28.544	10 19.942	3,6	Sa/Bl	Flatt	Ålegras – spredt
	128	02.10.09	59 28.545	10 19.938	3	Sa/Bl	Flatt	Ålegras – dominerende
	129	02.10.09	59 28.546	10 19.932	1,4	Sa/Bl	Flatt	Slutt på ålegraseng
	130	02.10.09	59 28.544	10 19.930	0,9	Gr/Sa	Flatt	Sagtang - dominerende, blåskjell – spredt
T3	131	02.10.09	59 28.504	10 20.087	20	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	132	02.10.09	59 28.478	10 20.028	15,3	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	133	02.10.09	59 28.457	10 19.984	5,2	Bl	Flatt	Tomme muslingskall – vanlig
	134	02.10.09	59 28.455	10 19.978	2,2	St	Skrånende	Blåskjell – vanlig
	135	02.10.09	59 28.453	10 19.975	0,9	St	Skrånende	Blåskjell - vanlig, sagtang – vanlig
T4	136	02.10.09	59 28.641	10 19.913	1,6	Sa+St	Svakt skrånende	Ålegras – dominerende
	137	02.10.09	59 28.618	10 19.915	1,6	Sa+St	Svakt skrånende	Ålegras – spredt
	138	02.10.09	59 28.566	10 19.930	1,4	Bl	Svakt skrånende	Blåskjell – spredt
	139	02.10.09	59 28.547	10 19.938	2,9	Sa	Svakt skrånende	Tomme muslingskall – spredt
	140	02.10.09	59 28.510	10 19.956	3,1	Bl	Skrånende	Tomme muslingskall – spredt
	141	02.10.09	59 28.492	10 19.966	3,8	St	Skrånende	Sukkertare – spredt
	142	02.10.09	59 28.433	10 19.988	4,2	St	Bratt	Sukkertare – spredt
	143	02.10.09	59 28.401	10 19.995	3	Bl	Svakt skrånende	Tomme muslingskall – vanlig
T5	144	02.10.09	59 28.326	10 20.089	10,8	Bl	Flatt	Sukkertare – spredt
	145	02.10.09	59 28.298	10 20.104	3,1	Bl/Sa	Flatt	Ålegras – spredt
	146	02.10.09	59 28.292	10 20.111	1,4	Bl/Sa	Flatt	Ålegras – dominerende
	147	02.10.09	59 28.290	10 20.113	1,1	Bl/Sa	Flatt	Slutt på ålegras, arenicola – vanlig
	148	02.10.09	59 28.268	10 20.122	0,8	Sa/Bl	Flatt	Flekker med ålegras og Ruppia

Vedlegg A1. forts.

Transekt	Punkt	Dato	Posisjon (WGS 84 - Lat/Lon)		Dyp, m	Substrat	Terreng	Merknader
T6	149	02.10.09	59 28.333	10 20.214	14	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	150	02.10.09	59 28.285	10 20.261	9,2	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	151	02.10.09	59 28.276	10 20.279	2,4	Bl	Svakt skrånende	Ålegras – dominerende (flekknis)
	152	02.10.09	59 28.256	10 20.313	0,5	Bl	Flatt	Flekker med ålegras og Ruppia. Arenicola – vanlig
T7	153	02.10.09	59 28.354	10 20.502	13,7	Bl	Flatt	Bløtbunn m/gravehull – spredt
	154	02.10.09	59 28.315	10 20.588	6,2	Bl	Flatt	Arenicola – spredt
	155	02.10.09	59 28.309	10 20.598	3,6	Bl	Flatt	Start på ålegraseng (dominerende)
	156	02.10.09	59 28.306	10 20.608	1,4	Bl	Flatt	Ålegras – dominerende
	157	02.10.09	59 28.290	10 20.645	1,1	Bl	Flatt	Slutt på dominerende ålegraseng, men flekknis med ålegras
	158	02.10.09	59 28.278	10 20.657	0,8	Bl	Flatt	Flekker med ålegras og Ruppia

Vedlegg A2. Tabell med oversikt over grabbprøver av sedimentene

Grabb	Punkt	Dato	Posisjon (WGS 84 - Lat/Lon hddd'mm.mmm')		Dyp, m]	Type	Farge	Lukt	Merknader
G1	159	02.10.09	59 28.577	10 19.936	4,5	Fint, fast mudder	Svart/brun, lysere brun på overflaten	Svak H ₂ S lukt	Ingen synlige dyr
G2	160	02.10.09	59 28.557	10 19.958	14	Fast leire	Svart/grå	Svak H ₂ S lukt	Noe tomme muslingskall
G3	161	02.10.09	59 28.518	10 19.957	5	Fast leire	Svart/grå	Ingen lukt	Ingen synlige dyr
G4	162	02.10.09	59 28.524	10 19.987	14	Fast leire	Svart/grå	Svak H ₂ S lukt	Noe tomme muslingskall
G5	163	02.10.09	59 28.309	10 20.106	10	Fast leire	Mørk brun	Ingen lukt	Noe tomme muslingskall
G6	164	02.10.09	59 28.278	10 20.245	6,1	Fast leire	Mørk brun med noen svarte flekker	H ₂ S lukt	Ingen synlige dyr
G7	165	02.10.09	59 28.272	10 20.338	1,1	Fin sand	Brun	Ingen lukt	Noen små hjerteskjell og Hiatella
G8	166	02.10.09	59 28.288	10 20.500	4,5	Fast leire	Svart/mørk brun (sjiktet)	H ₂ S lukt	Ingen synlige dyr

Vedlegg A3. Bilder av grabbprøvene tatt i Mulvika.



Grabb 1: 4,5 m dyp. Fint, fast mudder med svak lukt av H₂S.



Grabb 2: 14 m dyp. Fast leire med svak lukt av H₂S.



Grabb 3: 5 m dyp. Fast leire.



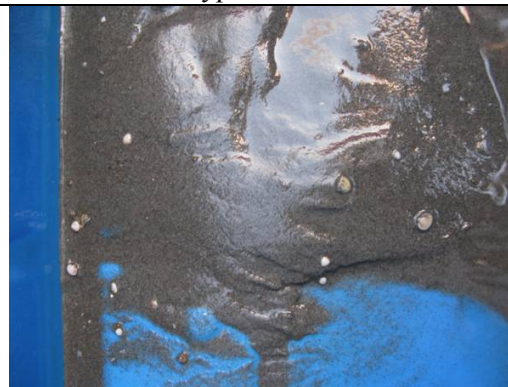
Grabb 4: 14 m dyp. Leire med svak lukt av H₂S.



Grabb 5: 10 m dyp. Fast leire.



Grabb 6: 6,1 m dyp. Fast leire med lukt av H₂S.



Grabb 7: 1,1, m dyp. Fin sand.



Grabb 8: 4,5 m dyp. Fast leire med lukt av H₂S.

Vedlegg A4. Utdrag fra Naturbasen (<http://dnweb12.dirnat.no/nbinnsyn/>)

BN00019831, Mulvika

Kommune	Re
Områdebeskrivelse	Mulvika er et relativt stort grunnvannsområde som er spesielt viktig for fugl. Store mudderflater blottlegges ved lavvann og de indre deler mot land er dominert av noe takrørsump. Området er også vurdert i forbindelse med utkast til verneplanen for våtmarksområder i Vestfold fylke, men har ikke blitt vernet.

Naturtyper

Naturtype	Strandeng og strandsump
Utforming	Skjermede strandsumper
Verdi	Viktig
Stedkvalitet	
Dato registrert	01.01.2004

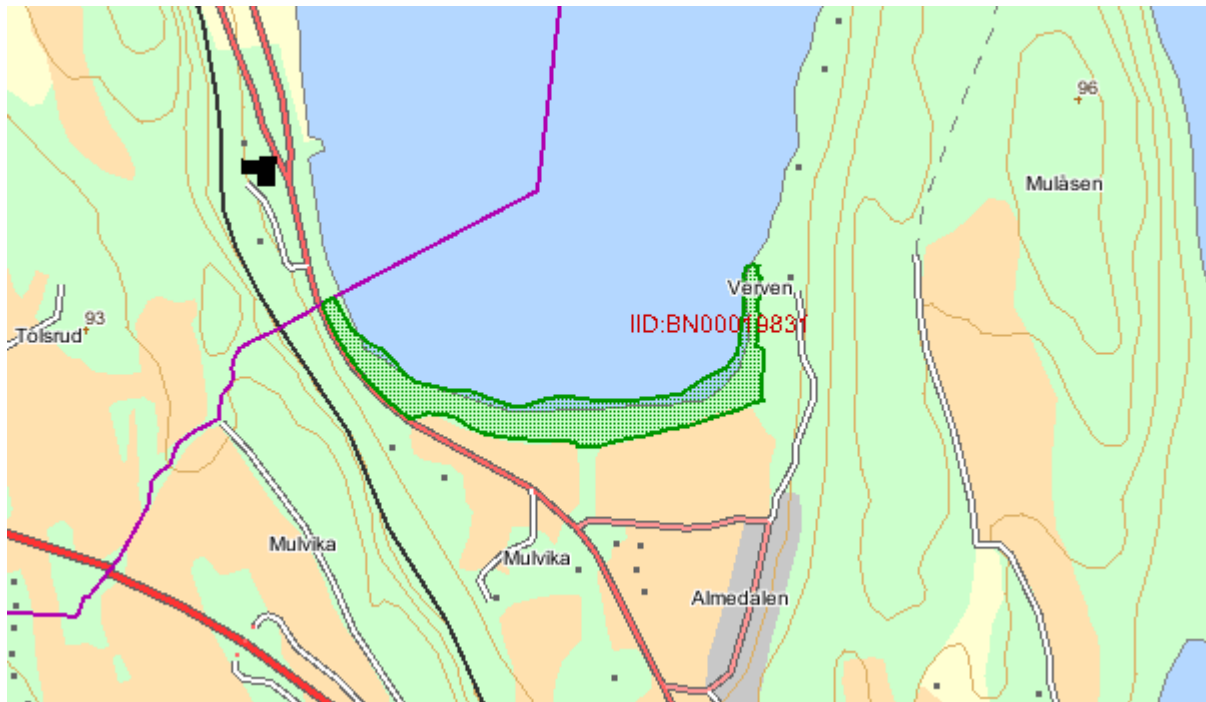
Andre opplysninger

Totalarea	39 daa
------------------	--------

Kilder

Navn	Årstall	Tittel	Link	Kildetype
Abel, K.	2005	Kartlegging av naturtyper. Verdisetting av biologisk mangfold i Re kommune. Siste Sjanse-Notat 2005-4.		Litteratur

Kartutsnitt



Vedlegg B. Beregning av hydrauliske forhold rundt overflatehindringer

Innledning

Strømmålingene viste at det er uordnet og relativt svak strøm fra 4 m dyp og nedover, med varierende strømretning og lite kobling mellom strømmen i ulike lag, og spesielt lite sammenheng med strømmen i overflaten. På 2 m dyp var det i perioder med nordlig vind en ganske sterk strøm sørover gjennom det området hvor båthavnen er planlagt å ligge. For å anslå hvor mye slik strøm kan bli påvirket av bryggeanlegget gjøres noen enkle hydrauliske beregninger.

Den viktigste overflatehindringen ved det planlagte bryggeanlegget vil være bølgebryteren, som stikker ca. 1 m ned i vannet. Selve bryggene, som går ca. 0,3 m ned i vannet, vil bety mindre, og båter ved brygga vil antagelig også ha begrenset betydning, siden de vil ligge med lengderetningen omtrent i strømretningen for de sterkeste overflatestrømmene. Vi konsentrerer derfor vurderingene til hvordan bølgebryteren vil påvirke overflatesirkulasjonen slik den ble målt i de vindpåvirkede periodene i oktober 2009. Strømmen dypere ned vil i liten grad være påvirket, siden den er så lite koblet med overflatestrømmen.

Utgangspunktet er at vi tenker oss en naturlig sirkulasjon gjennom området i overflaten, drevet av et større strømsystem utenfor, slik at vannet strømmer forbi det området hvor bryggene er tenkt. Bølgebryteren vil innsnevre strømtverrsnittet i forhold til i dag, fordi den øverste meteren blir avstengt. Gjennomstrømningen under bølgebryteren vil bli noe mindre enn det ville vært i det samme tverrsnittet uten hindringen, og det betyr at det blir en liten oppstuvning av vann, slik at overflaten blir litt hevet i nærområdet oppstrøms bølgebryteren i forhold til hvordan overflaten ville vært ved uhindret strøm forbi området.

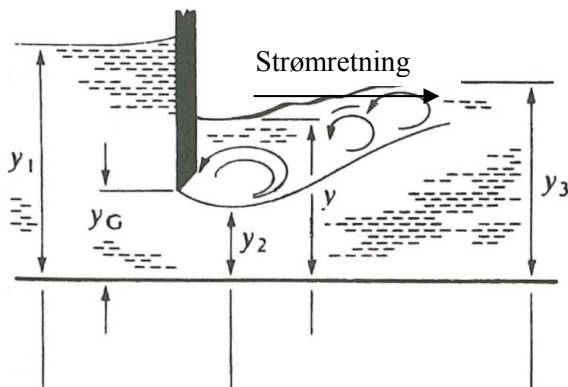
Hevingen av vannflaten gir tilsvarende horisontale trykkgradienter som virker på alle dyp i det strømmende laget. Det gir en netto trykkforskjell mellom nærområdet og området lenger oppstrøms som er rettet motsatt av strømretningen. Dermed vil strømhastigheten i nærområdet reduseres i forhold til hva den ville vært uten hindringen til stede. Dette betyr en reduksjon av bevegelsesenergi, men en tilsvarende økning av potensiell energi knyttet til vannstanden, slik at energien bevares. Hevingen av vannflaten vil også gi en horisontal trykkgradient utover til sidene og derved avlede noe av strømmen som går inn mot nærområdet ut til siden og rundt hindringen. På den andre siden av bølgebryteren (nedstrøms) er vannstanden litt lavere igjen, og vannstandsforskjellen mellom de to sidene av bølgebryteren vil gi et lite trykkfall i strømretningen som akselerer vannet under hindringen. I en overgangssone etter at strømmen har passert overflatehindringen vil det være et energitap pga. blanding av vann med ulik hastighet. Det beskrives nærmere nedenfor.

Det må understrekes at beregningene er gjort med en svært forenklet og idealisert modellbetragtning, med et strømmende homogent overflatelag over stillestående vannmasser, med en viss tetthetsforskjell mellom lagene, og helt uten blanding mellom de to lagene. Beregningen kan bare forventes å gi et grovt estimat for hvor mye strømmen blir redusert av overflatehindringen. Det kan tenkes at krefter som er neglisjert her vil ha merkbar innvirkning. For eksempel kan de forstyrrelsene bølgebryteren skaper i strømmen på undersiden gi blanding mellom overflatelaget og vannlagene under. I den grad bølgebryteren fører til at overflatestrømmen blander seg med og river med seg vann fra dypere lag, vil volumtransporten kunne bli større enn beregnet nedenfor, men med langsommere hastighet. Det vil i så fall gi bedre vannsirkulasjon enn beregnet her.

Beregningsmetodikk

For å kvantifisere virkningen på overflatestrøm tas det utgangspunkt i en hydraulisk modell for strøm under en hindring (kontrollport eller sluseport) i overflaten i en kanal med horisontal bunn og konstant bredde. Slike porter, som kan heves og senkes slik at høyden av åpningen under porten varierer, brukes til å regulere strømmen i for eksempel vanningskanaler.

En prinsippskisse for kanalstrøm under en overflathindring hvor strømmen begrenses av en fast horisontal bunn er vist i Figur 13. Kontrollporten er satt ned til avstand y_G fra bunn. Vannet stopper opp mot hindringen nær overflaten, men strømmer forbi på undersiden.



Figur 13. Prinsippskisse for dykket utstrømning under kontrollport fra Chadwick et al. (2004)

I figuren er y_1 vannstand et stykke ovenfor porten i strømretningen, så langt unna at strømmen fortsatt er fordelt over hele dybden og er horisontal, men så nær at vannstanden y_1 er litt høyere enn den ville vært uten hindringen.

Retten etter hindringen er strømmen konsentrert fra bunnen og opp mot toppen av åpningen, med en kontraksjon slik at tykkelsen av strømmen er litt mindre enn åpningen y_G . Minste høyde fra bunn opp til toppen av strømmen rett etter hindringen kalles y_2 .

Vannstanden y rett nedstrøms porten antas i denne sammenhengen å være større enn y_G , dvs. at utløpet under hindringen er dykket, med vann stående over det strømmende laget på baksiden av porten. Det overdekkende vannlaget vil ikke stå stille, men være preget av virvelbevegelser (turbulens) og vannutveksling med vann fra utstrømningen på undersiden.

Etter en overgangssone vil strømmen igjen være fordelt over hele dybden. Vannstand her kalles y_3 ; den er høyere enn y , men lavere enn y_1 . Den turbulente blandingen i overgangssonen gir et energitap i overgangssonen. Alle y -verdiene er regnet fra den samme horisontale bunnen.

I det følgende refereres det til de tre posisjonene for y_1, y_2 og y_3 som hhv. snitt 1, 2 og 3.

Figuren viser en oppstuvning til vannstand $>y_2$ like i forkant av hindringen, men den er ikke med i beregningen her. Den gjør seg gjeldende i området mellom snitt 1 og 2, hvor det er avvik fra hydrostatisk trykk, se mer om dette nedenfor.

I praktiske anvendelser for slike kontrollporter er vannstands forskjellene betydelige i forhold til tykkelsen på det strømmende laget. Det vil også ofte være fri utstrømning (*free flow*), dvs. at det strømmende laget ut fra porten har fri overflate mot luft helt inne ved porten. For de strømhastighetene det er snakk om rundt en båtbrygge som i det aktuelle tilfellet, er vannstands forskjellene svært små, og ikke merkbare annet enn ved den virkningen de har på strømhastigheten.

For det aktuelle tilfelle ser vi ikke på strøm begrenset av fast bunn, men på en konsentrert strøm i et overflatelag som er noen få meter tykt og lettere enn vannet under, og antar at strømhastighetene dypere ned er vesentlig lavere, slik at variasjonene i kinetisk energi her er små i forhold til det en har i overflatelaget. Som en tilnærming antar vi at vannet under det strømmende overflatelaget er stillestående. Modellen for kanalstrøm modifiseres derfor til å gjelde strøm i et begrenset overflatelag over stillestående vann. Lagtykkelse y_i og y angir da avstand fra overflaten ned til grensen for det strømmende laget, og beregnes i sammenheng med vannstandsendingene ut fra at horisontale trykkforskjeller i det stillestående laget på undersiden av overflatelaget skal være =0.

Den modifiserte modellen løses for å kvantifisere virkningen på overflatestrømmen under realistiske forutsetninger basert på resultatet av strømmålingene. Vi ser først på strømmen med hindringen til stede og beregner hvordan vannstand og strømhastighet varierer fra snitt 1 via snitt 2 til snitt 3. Strømmen beregnes da som for en bred kanal, hvor vi ikke tar i betraktning at det er en åpning på siden slik at det kan strømme rundt bølgebryteren.

For å sammenligne med tilsvarende strøm uten hindring, antar vi deretter at det er god forbindelse mellom området langt fra hindringen oppstrøms og nedstrøms pga. at det er åpen forbindelse på siden. Dette er tilfelle i Mulvika, hvor 80 % av bredden fortsatt vil være åpen. Som en tilnærming er det da naturlig å anta at vannstand i snitt 3 et stykke nedstrøms hindringen er lik vannstanden i et snitt 0 oppstrøms hindringen, men lengre unna enn snitt 1, dvs. før strømmen påvirkes av hindringen (før oppstuvning til vannstand y_1). Snitt 0 vil ligge et stykke til venstre for det området som er vist i Figur 13. Vi beregner så hvilken hastighet vannet må ha i snitt 0 for at vannstandshevingen fra snitt 0 til snitt 1 skal gi den aktuelle hastigheten i snitt 1. Når vi også tar i betraktning forskjellen i det strømmende overflatelagets tykkelse i snitt 0 og 1, kan vi beregne relativ forskjell mellom vertikalintegret vanntransport i snitt 0 og snitt 1. Det gir et omtrentlig anslag for hvor mye overflatehindringen reduserer transporten pr. breddemeter sammenlignet med uhindret strøm Reduksjonen fra snitt 0 til snitt 1 tenker vi oss da vil kompenseres av at noe strøm avledes rundt hindringen på siden, uten betydelige begrensninger. Den del av strømmen som avledes til siden kan delvis gå inn i Mulvika på siden av bølgebryteren og bidra til sirkulasjon der, men noe kan også passere forbi Mulvika, slik at sirkulasjonen gjennom bukta blir mindre.

Modell for enlags strøm over fast horisontal bunn forbi hindring i overflaten

Gjeldende ligninger for strømmen slik den er skissert i Figur 13 er beskrevet av Chadwick et al. (2003). For endringen fra snitt 1 til snitt 2 er summen av kinetisk og potensiell energi konstant. Vannet blokkeres av overflatehindringen, med en oppstuvning på oversiden, men akselereres gjennom porten av trykkfallet pga. lavere vannstand på nedsiden. Ved denne akselerasjonen er det lite turbulens og energitap, og energibevaring gir ligningen:

$$E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y + \frac{q^2}{2gy_2^2} = E_2$$

hvor g = gravitasjonskonstanten $9,81 \text{ m/s}^2$, og q er volumtransport pr. breddemeter (m^2/s). Når y_1 , q og y_G er gitt, og hvis vi antar at vi har en empirisk verdi for kontraksjonskoeffisienten C_c ($y_2 = C_c y_G$) kan y beregnes direkte av energiligningen:

$$y = y_1 + \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2} \right)$$

Figuren viser som nevnt også en oppstuvning like i forkant av hindringen, men den er ikke med i beregningen her. Den er en del av de helt lokale variasjonene rundt åpningen, og gir et overtrykk i

overflaten som presser overflatevann ned under hindringen. I denne overgangen er det avvik fra forutsetningen om hydrostatisk trykk², og vertikale hastighetskomponenter har betydning i energibalansen.

Energiligningen gjelder mellom snitt 1 og 2, hvor det i hovedsak er horisontalt rettet strøm og hydrostatisk trykk. For en overflatahindring som har en viss bredde, vil snitt 2 kunne være et sted under hindringen. Det antas da at det er hydrostatiske trykkforhold fra bakkant av hindringen inn til snitt 2.

Mellom snitt 2 og 3 gjelder impulsbalanse (kraft \times tid = endring i masse \times hastighet). Det er ingen ytre påvirkning, men økningen i trykk fra snitt 2 til 3 gir en netto motkraft som reduserer bevegelsesmengde (masse multiplisert med hastighet). Impulsbalansen beskrives av ligningen

$$\frac{y^2}{2} + \frac{q^2}{gy_2} = \frac{y_3^2}{2} + \frac{q^2}{gy_3}.$$

Første ledd på hver side er vertikale integral av horisontal hydrostatisk trykk-kraft, og andre ledd impulsfluksen gjennom snittene; alle ledd dividert med ρg .

Ligningene kan løses mhp. y og y_3 når de andre størrelsene er gitt.

Modifisert beregning for strøm i begrenset overflatelag forbi hindring

For det aktuelle tilfelle modifiseres denne modellen til å gjelde en avgrenset overflatestrøm over tyngre og omtrent stillestående vann. For å forenkle antar vi at begge lag hver for seg har homogen tetthet. I dette tilfellet er det fortsatt vannstandsendingene som styrer trykk og hastighetsendring mellom de tre snittene. Nå vil vannstandsendingene motsvares av en mye større motsatt forskyvning av nedre grenseflate for det strømmende laget, slik at de horisontale hydrostatiske trykkgradientene under det strømmende laget er =0. Vi lar y og y_i betegne tykkelsen av det strømmende laget som før, men variasjon i y er nå ikke lenger det samme som variasjon i vannstand. Vannstand i forhold til et fast nullnivå betegnes med h . Hvis tetthetsforskjellen mellom overflatelag og dypere lag er $\Delta\rho$ og tettheten av overflatelaget er ρ , må en heving h av vannstanden bety at tykkelsen y av det strømmende laget øker med $(1 + \rho/\Delta\rho)h$ for at horisontal trykkgradient under sprangsjiktet skal være =0.

I snitt 2 definerer vi fortsatt y som dybde fra fri vannoverflate ned til underkant av det strømmende laget, og y_2 som tykkelsen av det strømmende laget med en omtrent stillestående vannsøyle over i etterkant av hindringen. Avstanden fra overflaten ned til bunnen av hindringen (bølgebryteren) kalles y_H , og vi setter

$$y_2 = C_c \cdot (y - y_H)$$

hvor C_c er kontraksjon i overkant av strømmen forbi hindringen. I Figur 13 er kontraksjonen vist som avstanden fra underkant av hindringen ned til toppen av det utstrømmende laget (forskjellen mellom y_G og y_2). Slik kontraksjon skyldes at vannet ved overflaten får tilført et moment nedover mot åpningen på oppsiden av hindringen, og hvis det er en skarp overgang, vil det strømmende vannet fortsette nedover litt etter at kanten er passert, slik at det blir en sone med stagnant vann mellom overkant av strømmen og underkant av bølgebryteren. Hvis bølgebryteren har en avrundet profil på undersiden, kan strømmen følge profilen uten noen kontraksjon. Ved strøm over fast bunn vil det bli

² Hydrostatisk trykk vil si av trykket i alle dyp er lik atmosfæretrykket + den statiske vekt pr. flateenhet av vannsøylen over.

kontraksjon fordi strømmen har en absolutt begrensning i utstrekning nedover, og det vertikale momentet møtes av et mottrykk oppover fra bunnen. For strøm i et lettere overflatelag med fri grense mot et stillestående lag er det annerledes, fordi det ikke er noen absolutt begrensning nedover. Tilført vertikalt moment nedover vil gi høyere trykk på underliggende vannmasser, og det vil skyve grensen mellom strømmende vann og stillestående vann nedover, slik at det strømmende laget blir tilsvarende tykkere. I de forenklete beregningene her antar vi at kontraksjon er ca. 0,8, ca. halvparten av det en har maksimalt ved fri utstrømning over fast bunn, fordi det bare gjelder overkant av utstrømningen. Det kan også være den er lavere.

Ved beregningene er det praktisk å ta utgangspunkt i tverrsnittet 2, hvor vannstanden er minst og det strømmende laget er tynnast. Vi antar da verdier for q , y , y_H , og kan dermed beregne y . Deretter beregner vi hva vannstand, lagtykkelse og strømhastighet må være i snitt 1 ut fra energiligningen, og i snitt 3 ut fra momentligningen for den gitte gjennomstrømningen q . Til slutt beregnes tilsvarende uforstyrret strøm i det tenkte snitt 0, før hindringen gjør seg gjeldende. Ved å justere utgangsverdiene i snitt 2 kan vi treffe ønskede realistiske verdier for uforstyrret lagtykkelse og strømhastighet, og estimere hvilken reduksjon hindringen medfører.

Vi velger vannstanden y i snitt 2 som nullnivå, og definerer h_1 og h_3 som forskjellen mellom vannstand i snitt 1 og 3 og dette null-nivået. Pga. sammenhengen mellom vannstand og tykkelse av overflatelaget betyr det at vi har:

$$y_k = y + M \cdot h_k, \quad \text{hvor } M = (1 + \rho/\Delta\rho) \text{ for } k=1 \text{ og } 3.$$

Ligningen for energibevaring fra snitt 1 til 2 blir nå forandret til:

$$h_1 + \frac{q^2}{2g \cdot (y + Mh_1)^2} = \frac{q^2}{2g(y - y_H)^2}.$$

Vi går ut fra gitte verdier for y og y_H og kan da løse ligningen iterativt for h_1 :

$$h_1^{(i+1)} = \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{(y - y_H)^2} - \frac{1}{(y + Mh_1^{(i)})^2} \right)$$

Grenseverdier for h_1 er åpenbart gitt ved:

$$\frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{(y - y_H)^2} - \frac{1}{y^2} \right) < h_1 < \frac{q^2}{2g} \cdot \frac{1}{(y - y_H)^2}$$

Iterasjon fra nedre og øvre grense vil nærme seg den reelle verdien fra hver sin kant, og det gir god kontroll på løsningen.

Ligningen for impulsbevaring fra snitt 2 til 3 blir annerledes enn for strøm over fast bunn. Mellom de to snittene heves vannstanden med h_3 , og tykkelsen av det strømmende laget øker fra y til

$y_3 = y + M \cdot h_3$. I impulsbalansen må en ta med både de horisontale trykk-kreftene i snitt 2 og snitt 3, men også regne med den horisontale komponenten av trykket i den nedre grenseflaten. Den virker i strømretningen som et tillegg til trykket i snitt 2, slik at ligningen blir:

$$\frac{(y + (M-1)h_3)^2}{2} + \frac{q^2}{gy_2} = \frac{(y + Mh_3)^2}{2} + \frac{q^2}{g(y + Mh_3)}$$

som kan forenkles til:

$$\frac{q^2}{gy_2} = y \cdot h_3 + \frac{(2M-1)h_3^2}{2} + \frac{q^2}{g(y + Mh_3)}$$

Denne ligningen kan etter litt omredigering skrives som en 3. grads ligning for h_3 :

$$\left(M - \frac{1}{2}\right) \cdot M \cdot h_3^3 + \left(2M - \frac{1}{2}\right)y h_3^2 + \left(y^2 - \frac{q^2}{g} \frac{M}{y_2}\right) \cdot h_3 = \frac{q^2}{g} \left(\frac{y}{y_2} - 1\right)$$

For aktuelle verdier av q , M , y og y_2 vil alle leddene være >0 . Det betyr at det alltid vil være en løsning $h_3 > 0$. Tredjegradslikningen for h_3 kan løses direkte, men en kan også bruke iterasjon. Én måte å gjøre det på som fungerer greit i dette tilfelle er å se 3. gradsleddet som en del av konstantleddet og løse den resulterende 2. gradslikningen. Da finnes en iterativ formel³ hvor 3. gradsleddet inngår med en foreløpig verdi på h_3 :

$$h_3^{(i+1)} = \frac{-\left(y^2 - \frac{q^2}{g} \frac{M}{y_2}\right) + \sqrt{\left(y^2 - \frac{q^2}{g} \frac{M}{y_2}\right)^2 + 2(4M-1)y \left(\frac{q^2}{g} \left(\frac{y}{y_2} - 1\right) - \left(M - \frac{1}{2}\right) \cdot M \cdot (h_3^{(i)})^3\right)}}{(4M-1)y}$$

Det kan gjentas så mange ganger som nødvendig for å bestemme løsningen nøyaktig. For aktuelle verdier konvergerer iterasjonen ved å starte med $h_3^{(0)} = 0$. I andre tilfeller kan det være nødvendig med en annen iterasjonsformel.

Sammenligning med tilsvarende strøm uten hindring i overflaten

Ut fra de beregnede størrelsene kan en anslå hvor mye hindringen kan endre en strøm forbi det stedet hvor den er plassert. Vi tenker oss da som nevnt ovenfor at uten hindringen vil det gå en strøm gjennom området som en del av et større strømsystem, og at det vil skje med omtrent konstant vannstand h_0 , dvs. svært små variasjoner i forhold til de vannstandsforskjellene hindringen gir.

Når det legges ut en hindring i overflaten, vil det redusere volumstrømmen pr. breddemeter forbi hindringen, og det betyr en redusert hastighet i snitt 1 oppstrøms hindringen i forhold til hvordan det ville vært uten hindringen til stede. Hastighetsreduksjonen forårsakes av en heving av vannspeilet fra h_0 til h_1 i området et stykke før hindringen. Et stykke nedstrøms hindringen er vannspeilet senket til h_3 som beregnet ovenfor. Siden vi tenker oss at strømmen er en del av et mye større strømsystem hvor vannstanden varierer lite, og hvor det også kan strømme rundt hindringen, er det naturlig å anta at h_3 da er omtrent lik den uforstyrrede vannstanden h_0 . Det betyr at vannstandsforskjellen h_1-h_3 er den høydeforskjellen som bremser hele strømmen fra snitt 0 til snitt 1 foran hindringen og reduserer strømmen under hindringen.

³ Matematisk er det også en løsning med minustegn foran kvadratrotten, men den løsningen blir <0 og har ikke fysisk mening.

Hastigheten i snitt 1 med hindringen til stede er

$$u_1 = \frac{q}{y_1}.$$

Hastigheten lenger foran hindringen, før hevingen av vannspeilet fra $y_0=y_3$ til y_1 , er da

$$u_0 = \sqrt{u_1^2 + 2g(h_1 - h_3)}.$$

Tykkelsen av strømmende lag i de ulike snittene beregnes ut fra h -verdiene som beskrevet foran, med forutsetning om hydrostatisk likevekt i det stillestående laget under. Tykkelsen av det strømmende laget ved snitt 0 blir derfor det samme som i snitt 3, og forholdet mellom gjennomstrømning med og uten hindringen blir:

$$f = \frac{u_1 y_1}{u_0 y_3}.$$

Denne betraktningen er selvsagt en sterkt forenklet måte å analysere problemstillingen på, men kan bidra til å skalere omtrent hvor stor reduksjonen i overflatestrømmen blir forbi bølgebryteren. Det må dessuten understrekes at disse beregningene er basert på en ganske teoretisk betraktning, utledet fra en modell for relativt sterk strøm i en kanal med fast, flat bunn og for hindringer som gir store forskjeller i vannstand sammenlignet med dybden av strømmen. Modellen er tilpasset en situasjon med et overflatelag som strømmer over en tyngre og omtrent stillestående vannmasse, med mindre vannstandsforskjeller. Ideelt burde det vært undersøkt empirisk hvor gode tilnærmelsene som er innebygd i en slik betraktningssmåte ved strømmålinger forbi eksisterende anlegg er. Så lenge vi ikke har undersøkt dette, vil det være en usikkerhet omkring beregningene. Uansett er beregningene bare egnet til grov skalering av virkningen av en bølgebryter i overflaten.

Betraktningen som er gjort forutsetter at vannet kan avledes og strømme rundt hindringen på siden for å kompensere for reduksjonen i gjennomstrømning direkte under hindringen. For Mulvika vil det si at den lille oppstuvningen av vannflaten oppstrøms bølgebryteren (h_1-h_3) også vil gi en trykkgradient ut til siden som avleder noe av strømmen rundt bølgebryteren, og med en tilsvarende strøm inn langs bølgebryteren på baksiden. Betraktningen forutsetter at det kan skje med små forskjeller i vannstand, dvs. at forskjellen mellom h_0 og h_3 er mye mindre enn forskjellen mellom h_1 og h_3 .

Resultater

Tabell 4 viser resultatet av beregningene for noen realistiske antagelser mht. strømhastigheter, lagtykkelse og tetthetsforskjell. Tetthetsforskjellen mellom overflatelaget og laget under er satt til 15 sigma-t enheter (= kg/m³), tilsvarende omtrent forskjell mellom saltholdighet 10 og 30; det gir $M=68$. Vi antar at $y_H=1$ m, dvs. lik dybden av bølgebryteren. Beregningene er gjort ved å velge verdier på uforstyrret hastighet inn mot området for bølgebryteren, dvs. y_0 og u_0 . For hver rad i tabellen er det valgt en slik kombinasjon. Deretter er y og u_2 i snitt 2 justert inntil en oppnådde de valgte verdiene for snitt 0. Beregnet reduksjon av volumfluksen pr. breddemeter er vist i kolonnen lengst til høyre i tabellen (f), som forholdet mellom volumfluks med og uten bølgebryteren på plass.

Den øverste delen av tabellen viser resultatene for uforstyrret hastighet 0,3 m/s, dvs. for strømhastighet i nedre del av variasjonsområdet ved vind-indusert sirkulasjon gjennom Mulvika. Hvis tykkelsen på det innstrømmende laget ved uforstyrret strøm er fra 2 til 4 m, vil volumfluksen pr. breddemeter i følge beregningene bli redusert til 41-76 % av uforstyrret strøm. Reduksjonen er sterkere jo tynnere det strømmende laget er. Den nedre delen av tabellen viser resultater for uforstyrret strømhastighet på 0,6 m/s, som er omtrent det maksimale som ble observert på 4 m dyp. Da blir

reduksjonen større; bølgebryteren vil redusere volumfluksen pr. breddemeter til 22-52 % under samme forutsetninger.

Ut fra strømmålingene er det rimelig å anta en tykkelse på ca. 3 m for det strømmende laget. Ut fra de øvrige antagelsene vil da gjennomstrømningen bli redusert pga bølgebryteren til hhv 64 og 39 % av hva den er uten bølgebryteren til stede, fra uforstyrret strømhastighet hhv. 0,3 og 0,6 m/s til ca. 0,2 m/s nedstrøms bølgebryteren. I gjennomsnitt kan det antydes en reduksjon til ca. 50 %, og hastigheter redusert til i overkant av 20 cm/s. Transportlengden gjennom Mulvika ved en vinddrevet sirkulasjon vil være av størrelsesorden 2000 m. Det betyr at strømhastigheter som observert med påvirkning av nordavind vil gi utskiftning av overflatelaget i løpet av hhv. 2 eller 1 time. Med bølgebryteren øker dette til ca. 3 timer. Vinddrevet sirkulasjon vil typisk vare noen timer, og vil derfor gi effektiv utskiftning av overflatevannet selv med bølgebryteren til stede.

Tabell 4. Beregning av overflatestrøm forbi bølgebryter som stikker 1 m ned i vannet

Uforstyrret hastighet inn mot området for bølgebryteren $u_0 = 0,30$ m/s:

y (m)	u_2 (m/s)	y_2 (m)	q (m ² /s)	h_1 (m)	y_1 (m)	u_1 (m/s)	h_3 (m)	y_3 (m)	u_3 (m/s)	y_0 (m)	q_0 (m/s)	f
1.768	0.396	0.6	0.2	0.01	2.273	0.1	0.003	2.00	0.122	2.00	0.60	41 %
2.692	0.423	1.4	0.6	0.01	3.203	0.2	0.005	3.00	0.191	3.00	0.90	64 %
3.691	0.423	2.2	0.9	0.01	4.145	0.2	0.005	4.00	0.228	4.00	1.20	76 %

Uforstyrret hastighet inn mot området for bølgebryteren $u_0 = 0.6$ m/s:

y (m)	u_2 (m/s)	y_2 (m)	q (m ² /s)	h_1 (m)	y_1 (m)	u_1 (m/s)	h_3 (m)	y_3 (m)	u_3 (m/s)	y_0 (m)	q_0 (m/s)	f
1.463	0.718	0.4	0.3	0.03	3.232	0.1	0.008	2.00	0.133	2.00	1.20	22 %
2.105	0.786	0.9	0.7	0.03	4.155	0.2	0.013	3.00	0.232	3.00	1.80	39 %
2.886	0.825	1.5	1.2	0.03	5.04	0.2	0.016	4.00	0.311	4.00	2.40	52 %

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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