

# Utbygging av Valhall friområde Strøm, vannutskiftning og sandflukt i planlagt badeområde



**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 Utbygging av Valhall friområde Strøm, vannutskiftning og sandflukt i planlagt badeområde	Løpenr. (for bestilling) 5843-2009	Dato 18. september 2009
	Prosjektnr. Undernr. 29234	Sider Pris 29
Forfatter(e)  Torulv Tjomsland	Fagområde Miljøinformatikk	Distribusjon Fri
	Geografisk område Hedmark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Villbring landskap MNLA	Oppdragsreferanse Brit Angell Johnson
---	--

<p>Sammendrag</p> <p>Det skal bygges en kunstig badestrand, Valhall, ved Brumunddal i Hedmark. Hensikten med denne rapporten er å gi råd om utformingen av badestranden. Arbeidet ble gjort ved bruk numeriske strøm- og spredningsmodeller. En avskjermende molo over ytre del av bukten med åpning på begge sidene vil være gunstig. Det vil gi en god vannutskiftning og beskytte stranden mot erosjon og sandflukt. Ved å bruke ”Meget grov sand” (diameter 1-2 mm) vil sandflukten sannsynligvis bli meget liten.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valhall badestrand</li> <li>2. Erosjon</li> <li>3. Vannkvalitet</li> <li>4. Strøm- og spredningsmodeller</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valhall swimming beach</li> <li>2. Erosion</li> <li>3. Water quality</li> <li>4. Hydrodynamic modelling</li> </ol>
--	---



*Torulv Tjomsland*  
Prosjektleder



*John Rune Selvik*  
Forskningsleder  
ISBN 978-82-577-5578-2



*Bjørn Faafeng*  
Seniorrådgiver

Norsk institutt for vannforskning

# **Utbygging av Valhall friområde**

**Strøm, vannutskifting og sandflukt  
i planlagt badeområde**

Oslo 18. september 2009  
Prosjektleder: Torulv Tjomsland

## **Forord**

Brumundal kommune skal lage et friområde, Valhall, med badestrand. Villbring landskap MNLA har som oppgave å planlegge dette. Denne rapporten er et bidrag til denne planleggingen.

Jeg vil takke Villbring landskap v/ Brit Angell Johnson for godt samarbeid med hensyn til å skaffe grunnlagsmateriale og faglige innspill.

Oslo, 18. september 2009

*Torolv Tjomsland*

---



# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Mål	8
1.2 Metode	8
1.3 Områdebeskrivelse	8
<b>2. Simulert strøm- og vannutskiftning</b>	<b>11</b>
<b>3. Aktuelle kornstørrelser på strendene</b>	<b>26</b>
3.1 Bølger	26
3.2 Menneskelig erosjon	26
3.3 Strøm	26
3.4 Konklusjoner	27
<b>4. Diskusjon og konklusjoner</b>	<b>29</b>
4.1 Vannutskiftning	29
4.2 Erosjon og transport	29
4.3 Representativitet	29

---

# Sammendrag

## Mål

Det skal bygges en kunstig badestrand, Valhall. Hensikten med denne rapporten er å gi råd om utformingen av dette anlegget. Man ønsker god vannutsiftning for å sikre god vannkvalitet og unngå oppsamling av sjenerende skrot samtidig som stranden skal vernes mot erosjon. Vi har lagt vekt på å vurdere effektene av endret lengde av en skjermende molo over den nåværende bukten, **Figur 1**.



**Figur 1.** Valhall ved Jessnes. Dagen forhold

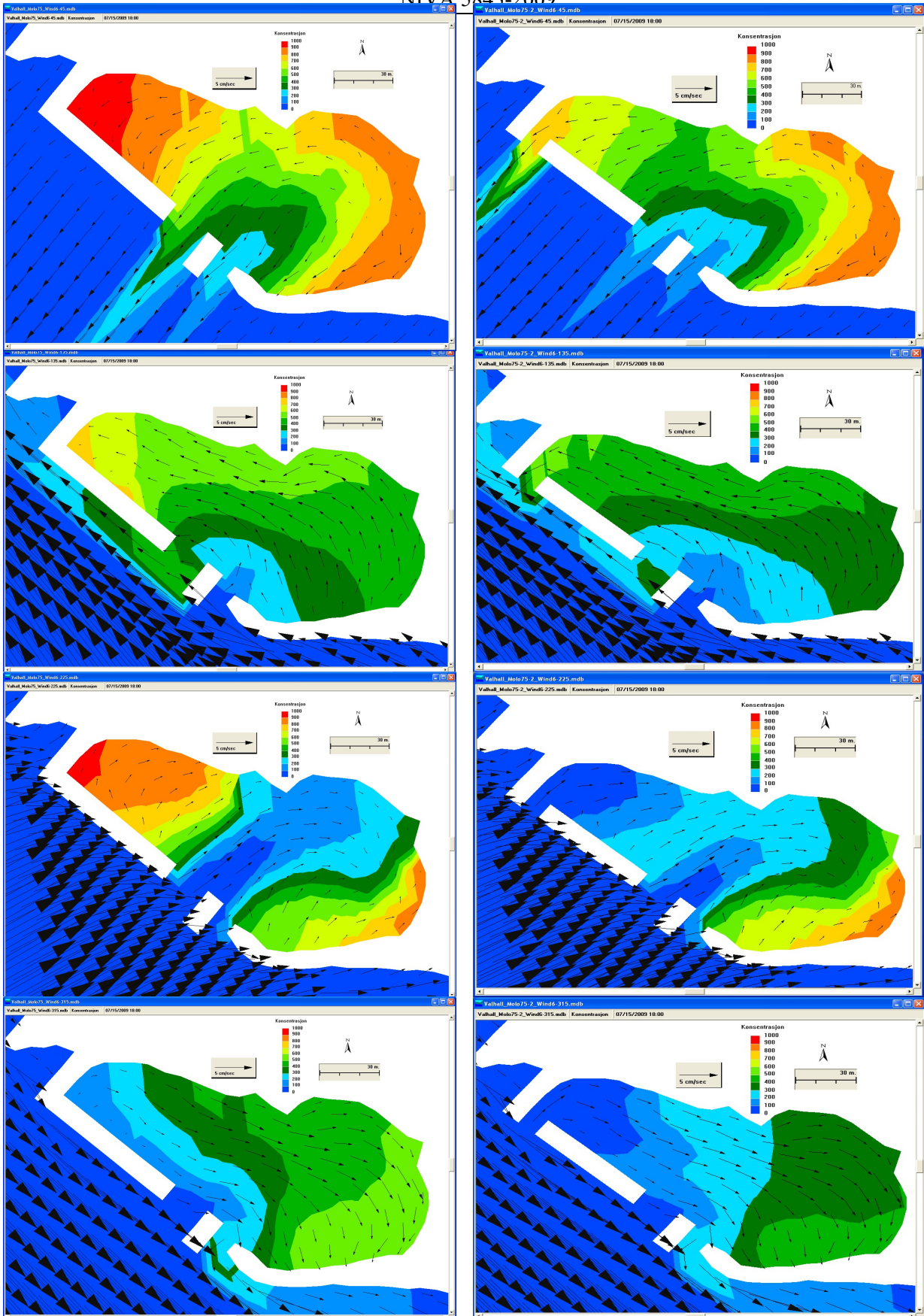
## Metode

Vi benyttet den 3-dimensjonale numeriske modellen GEMSS. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper. Resultatene ble beregnet skrittvis fremover i tid.

## Resultater og konklusjoner

Ved å øke lengden på moloen fra slik den er i dag etappevis helt fram til øya ved brygga, ble vannutsiftningen i følge simuleringene gradvis redusert. Området i nordvest (innerst ved moloen/badestrandområdet) og i sørøst (bryggeområdet) fikk dårligst vannutsiftning. Avhengig av vindretningene oppsto det vertikale virvler, til dels også virvler i horisontalplanet. Forholdene ble spesielt dårlige om moloen nådde helt fram til øya. Vannutsiftningen er et mål for hvordan stoffer som følger vannets bevegelser forsvinner, for eks. bakterier og patogener (parasitter, virus, mikroorganismer med mer). Oppsamlingen vil være enda større for flytende ting som skrot, oljesøl, alger og muligheter for å etablere fastsittende begroing.

Eksempler på simuleringsresultater er vist i **Figur 2**. En utforming av moloen omtrent som kartene til høyre synes å være en gunstig løsning.



**Figur 2.** Eksempler på resultater fra strøm- og vannutskiftnings simuleringer. Strøm og vannutskifting i overflatelaget **med og uten åpning** i moloen ved vindretninger henholdsvis fra henholdsvis: NV, NØ, SØ og NV, dvs. i begge retninger både langs land og på tvers av land. Vindstyrke 6 m/s. Fargene viser vannutskifting i løpet av 6 timer med konstant vind.

Ved å lage en åpning i moloen i nordvest, økte vannutskiftningen betydelig, særlig i nordvest (badestrandområdet). Dette vil også ha en meget god effekt med hensyn til å unngå opphopning av flytende saker. Det er sikrest å også ha en åpning mellom moloen og øya. I bryggeområdet, i motsatt ende av bukten, ble vannutskiftningen dårligere enn i badestrandområdet. Formodentlig vil det her samles opp flytende materiale i noe større omfang enn i dag. En åpning også her, for eksempel et par meter, her vil utvilsomt ha en gunstig effekt.

Det kreves lavere strømhastighet for å transportere sandkorn som allerede er i bevegelse enn å erodere dem. En avskjermende molo vil i følge beregninger redusere bølgeaktivitet og strømmer i så stor grad at erosjonseffekten blir meget liten. Erosjon på stranden vil fortrinnsvis skyldes menneskelige aktiviteter på grunn av tråkk og kanskje også båttrafikk. For de scenariene som ble simulert, ble eroderte kornstørrelser med diameter opp til 0,5 mm i noen grad transportert videre ut av bukten. Vi forutsetter da en molo som dekker minst halvdel av bukten fram til øya. Tar man hensyn til usikkerhet i slike beregninger og mer ekstreme værforhold kan man for sikkerhets skyld øke denne kornstørrelsen. Dersom man velger meget grov sand, diameter 1-2 mm, vil sandflukten i bukten bli meget liten.

Yttersiden av moloen vil være betydelig mer utsatt for erosjon og bør bestå av steiner og blokker. Med en bølgehøyde på 1 meter i perioder med høy vannstand 124 moh. kan bølgene forventes i blant å nå 125 moh.

Vi har laget de fleste scenariene for en vindstyrke på 6 m/s 10 meter over vannflaten. I følge vindobservasjoner om sommeren overskrides denne hastigheten kun et par prosent av tiden. Strømførholdene vil i store trekk bli de samme ved redusert vindstyrke, men bruke lengre tid på å fornye vannet. Vi anser dette som uproblematisk i forhold til konklusjonene ovenfor. Ved ekstreme værforhold, vindstyrke på 10-20 m/s, øker strømhastighetene betydelig utenfor bukten. En molo vil imidlertid dempe fartsøkningen innenfor slik at evnen til transport kun forventes å øke i liten grad.

I modellen er moloen tegnet inn på en skjematisk måte med rette vinkler og konstant bredde. I praksis spiller det liten rolle om bredden varierer, om moloen flyttes litt utover eller innover eller om retningen endres noe.

# 1. Innledning

## 1.1 Mål

Det skal bygges en kunstig badestrand, Valhall. Hensikten med denne rapporten er å gi råd om utformingen av dette anlegget. Man ønsker god vannutsiftning for å sikre god vannkvalitet og unngå oppsamling av sjenerende skrot samtidig som stranden skal vernes mot erosjon. Vi har lagt vekt på å vurdere effektene av endret lengde av en skjermende molo over den nåværende bukten.

## 1.2 Metode

Vi benyttet den 3-dimensjonale numeriske modellen GEMSS. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper. Resultatene ble beregnet skrittvis fremover i tid.

Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA. Modellen og eksempler på bruk av modellen kan studeres nærmere på hjemmesiden: <http://www.erm-smg.com>.

Vi beregnet strøm og vannutsiftning ved ulike vindretninger for dagens situasjon. Deretter ble tilsvarende beregninger gjort for ulike lengder av en tenkt skjermende molo. Dette dannet grunnlag for utforming av moloen.

## 1.3 Områdebeskrivelse

Bukten Valhall ligger i Furnesfjorden ved Jessnes nord for Hamar, se **Figur 3**. Den sørøstlige del av bukten brukes i dag som havn for småbåter,

**Figur 4**. Det skal lages en badestrand langs resten av bukten samt på innsiden av en planlagt molo i området mellom neset i nordvest og øya nær brygga.

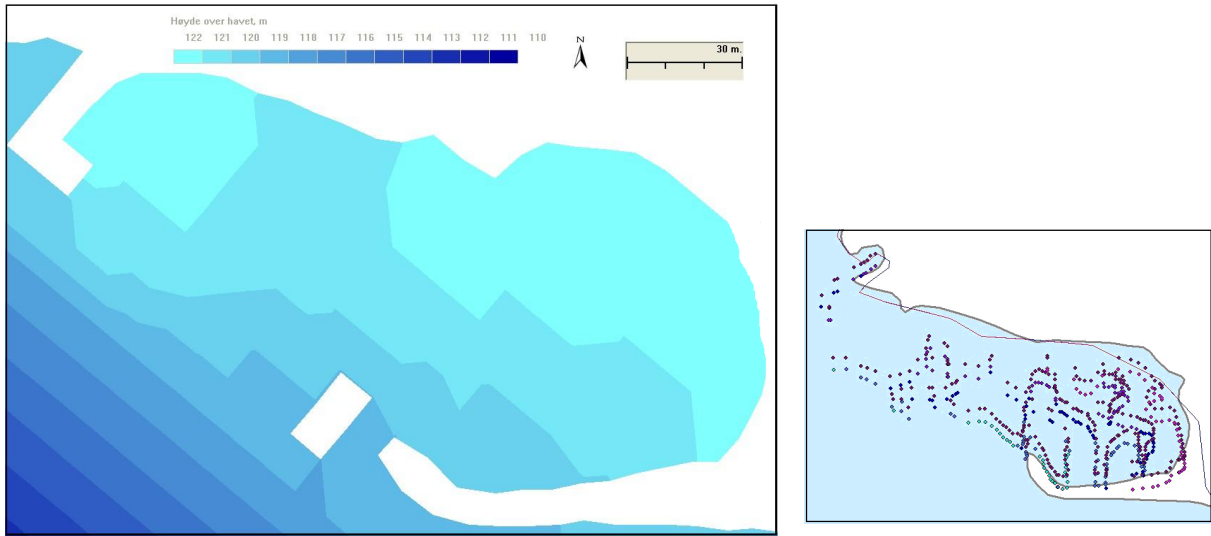




**Figur 3.** Valhall ligger i Furnesfjorden ved Jessnes nord for Hamar

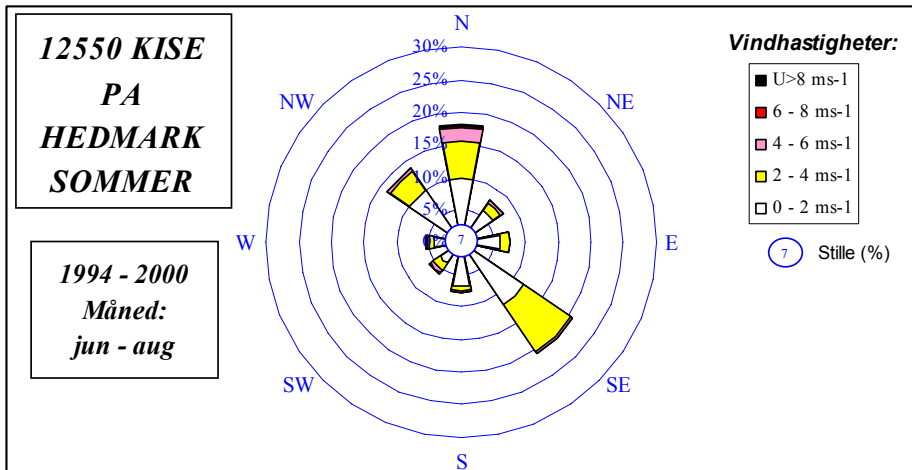


**Figur 4.** Valhall. Dagens forhold



**Figur 5.** Valhall. Digitalt dybdekart (høyde over havet) brukt i modellberegningene. Kartet ble laget på grunnlag av oppløddinger utført av Siv.ing. Rolf Bryhni AS, høyre figur.

For å finne representative vindretninger benyttet vi data fra klimastasjonen på Kise som ligger på Nes halvøya vest for Furnesfjorden og ca. 10 km vest for Valhall. De mest vanlige vindretningene i følge vindobservasjoner på Kise er langs Furnesfjorden dvs. langs land i begge retninger, **Figur 6**. Også vindretning på tvers av disse er vanlig. I tillegg blåste vinden ofte fra nord.



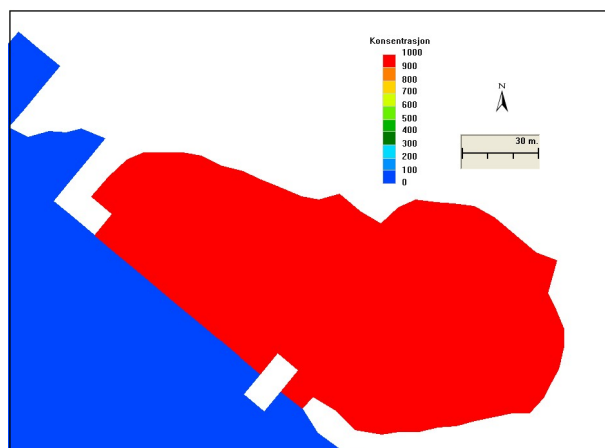
**Figur 6.** Karakteristiske vindforhold om sommeren.

## 2. Simulert strøm- og vannutskiftingning

Vi benyttet vindhastighet på 6 m/s, noe som i følge vindobservasjoner om sommeren kun overskrides i et par prosent av tiden. Vi laget scenarier ved vind fra SØ, NV, NØ og SV, dvs. langs land i begge retningene samt vinkelrett fra og på land. Det ble ikke lagt vekt på å lage scenarier med vind fra nord da disse forholdene ble dekket av de øvrige alternativene.

Vannstanden ble antatt å være 123 moh.

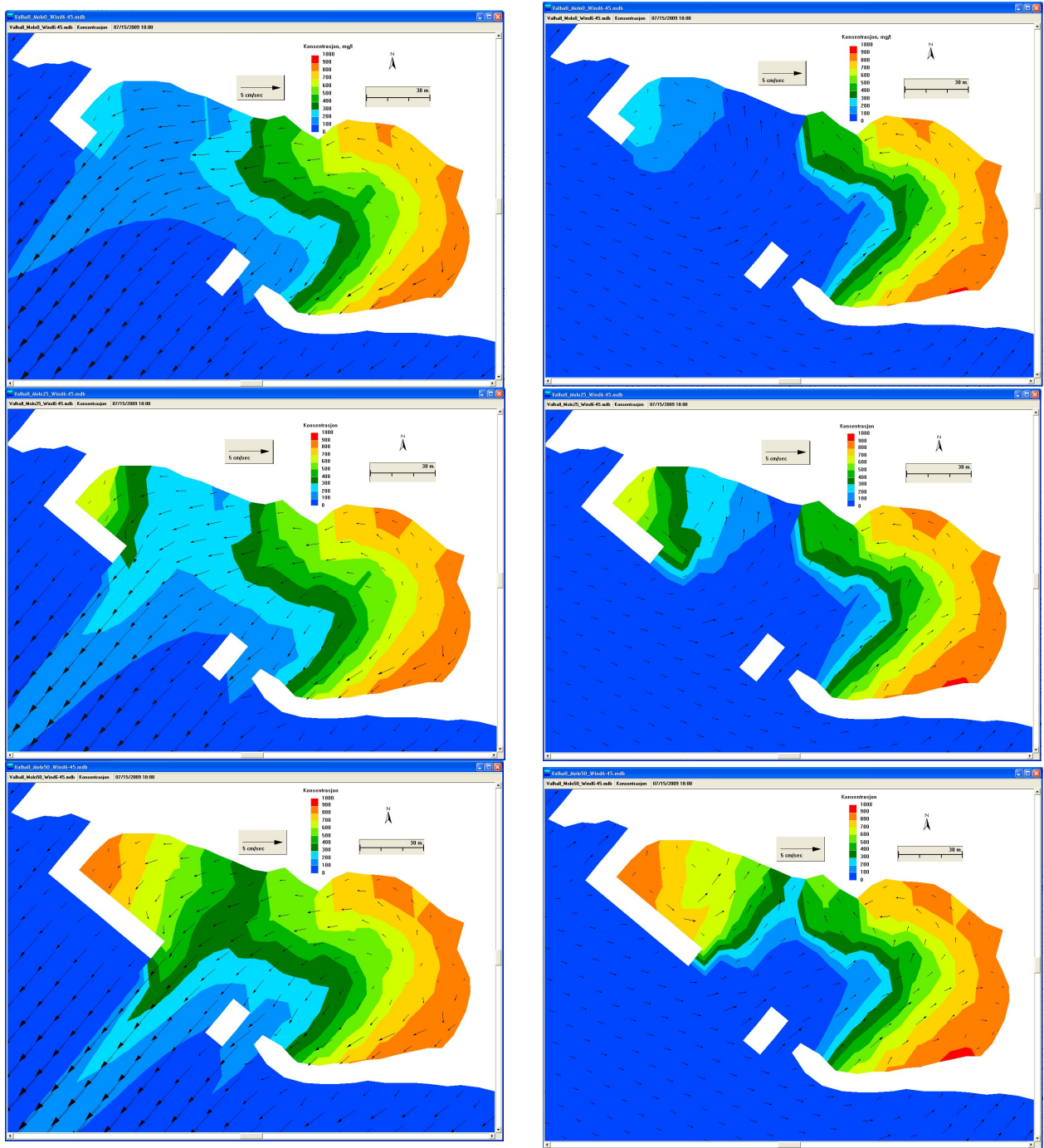
Resultatene viser karakteristiske verdier etter seks timer med konstant vindpåvirkning. Det ble beregnet verdier for hver halve meter i dybderetningen og 10 meter i horisontale retninger. I horisontalplanet går for øvrig detaljeringsgraden frem av tettheten på strømpilene. For å anskueliggjøre vannutskiftingningen ble alt vannet i bukten, dvs. innenfor den tenkte moloen, øya og ytterste del av brygga, merket med et tenkt stoff med konsentrasjon lik 1000 ved simuleringens start, **Figur 7**. Resultatene er presentert etter seks timer med konstant vindpåvirkning. For eksempel angir gul farge verdier mellom 600 og 700. Det betyr at mellom 600 og 700 promille eller 60-70 % av vannet på disse stedene var inne i bukten ved simuleringens start, dvs. en vannutskiftingning på mellom 30-40 % i løpet av seks timer. Kartene til venstre i figurene nedenfor, merket overflate, representerer forhold i den øverste halve meteren. Kartene til høyre, merket bunn, representerer forholdene langs bunnen. Vi må merke oss at bunnen langs land er nær overflaten (1/2 meter dybde) og økende dybde lengre ut. Hastighetene langs bunnen er nyttige til å vurdere potensialet for erosjon, transport og sedimentasjon av partikler som stranden består av.



**Figur 7.** Ved simuleringens start ble vannet i bukten ble merket med et tenkt stoff med konsentrasjon lik 1000 per liter.

Ved vind fra NØ mot SV (fra 45°), dvs. utover fra land, ble det oppnådd strømhastigheter i overflaten på under 5 cm/s både inne i bukten og i områdene utenfor, **Figur 8**. Vannet strømmet utover i overflaten og innover langs bunnen. I båthavnen i SØ ble det liten vannutskiftingning. Vannmassene sirkulerte i stor grad lokalt i vertikal retning. I den andre enden av bukten (NV) ble vannutskiftingningen redusert ved økende lengde på moloen. Også der oppsto det lokal vertikal sirkulasjon.

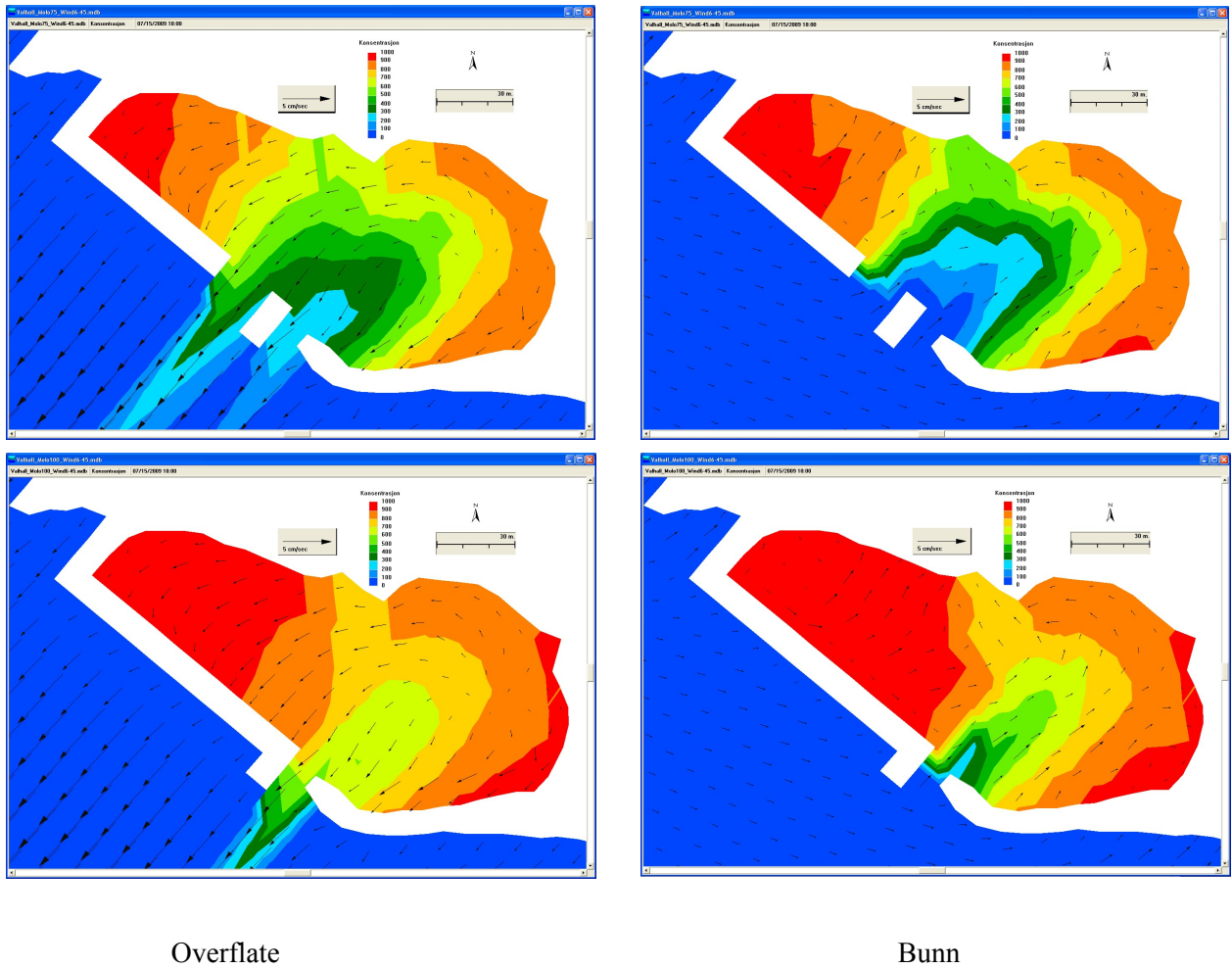




Overflate

Bunn

**Figur 8.** Vind fra NØ mot SV (fra  $45^{\circ}$ ).  
 Vannutsifting med konstant vind ved økende lengde på moloen  
 Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

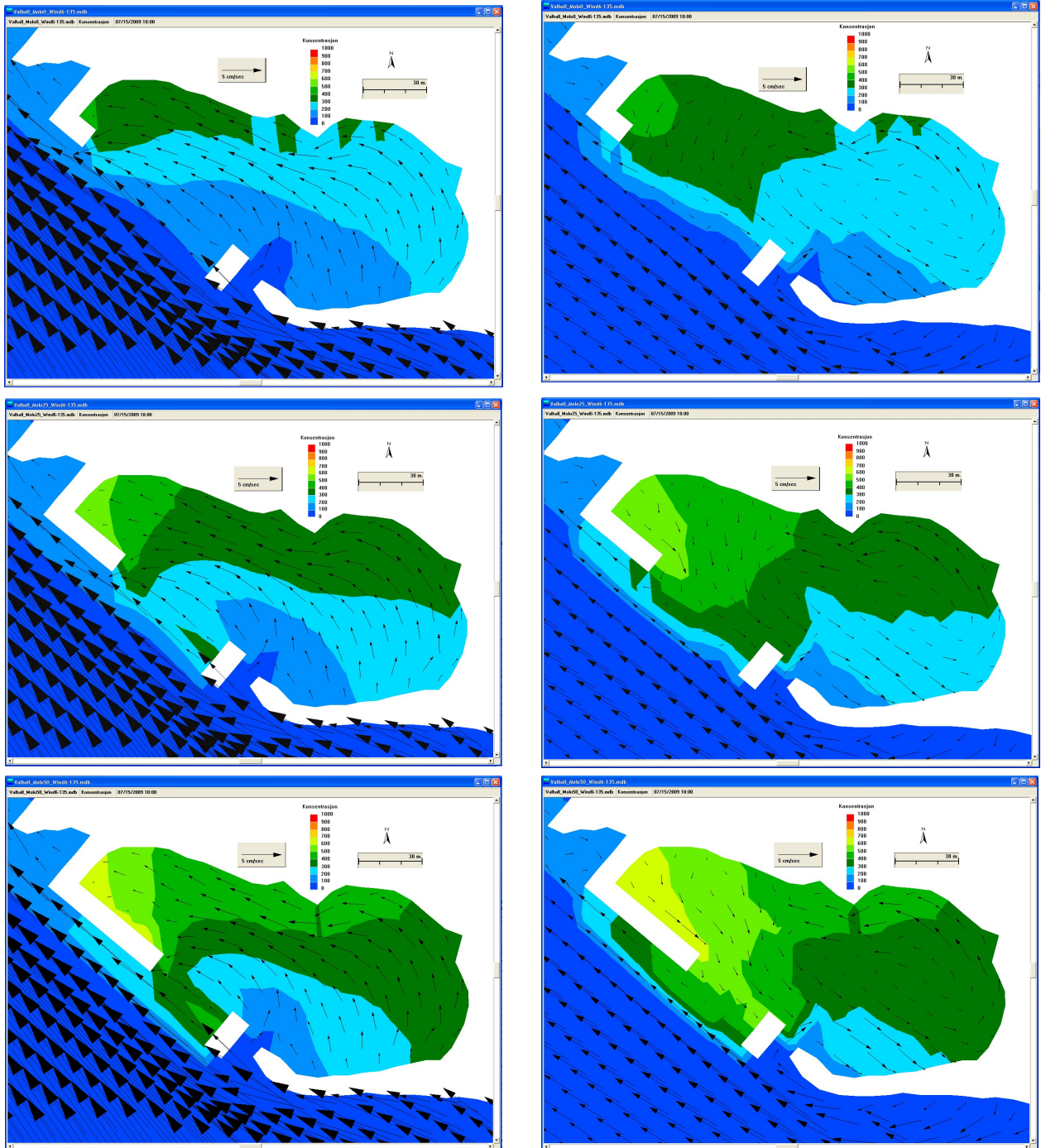


**Figur 8. forts.** Vind fra NØ mot SV (fra  $45^{\circ}$ ).

Vannutsiftning med konstant vind ved økende lengde på moloen

Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

Vi antok at vinden blåste fra SØ mot NV (fra  $135^{\circ}$ ), dvs. parallelt med land med Valhall på høyre side, **Figur 9**. Dette er den mest vanlige vindretningen om sommeren (22 % av tiden). Utenfor Valhall var typiske strømhastigheter over 10 - 15 cm/s. På grunn av den eksisterende bryggen ble disse hastighetene redusert til under 3 cm/s. Vannet hadde en tendens til å strømme inn i bukten mellom brygga og øya og ut mellom øya og moloen. Ved økende lengde på den planlagte moloen sirkulerte vannet i stadig større grad internt i bukten. Vannutsiftningen kan likevel betegnes som god unntatt i det tilfellet da moloen nådde helt fram til øya.

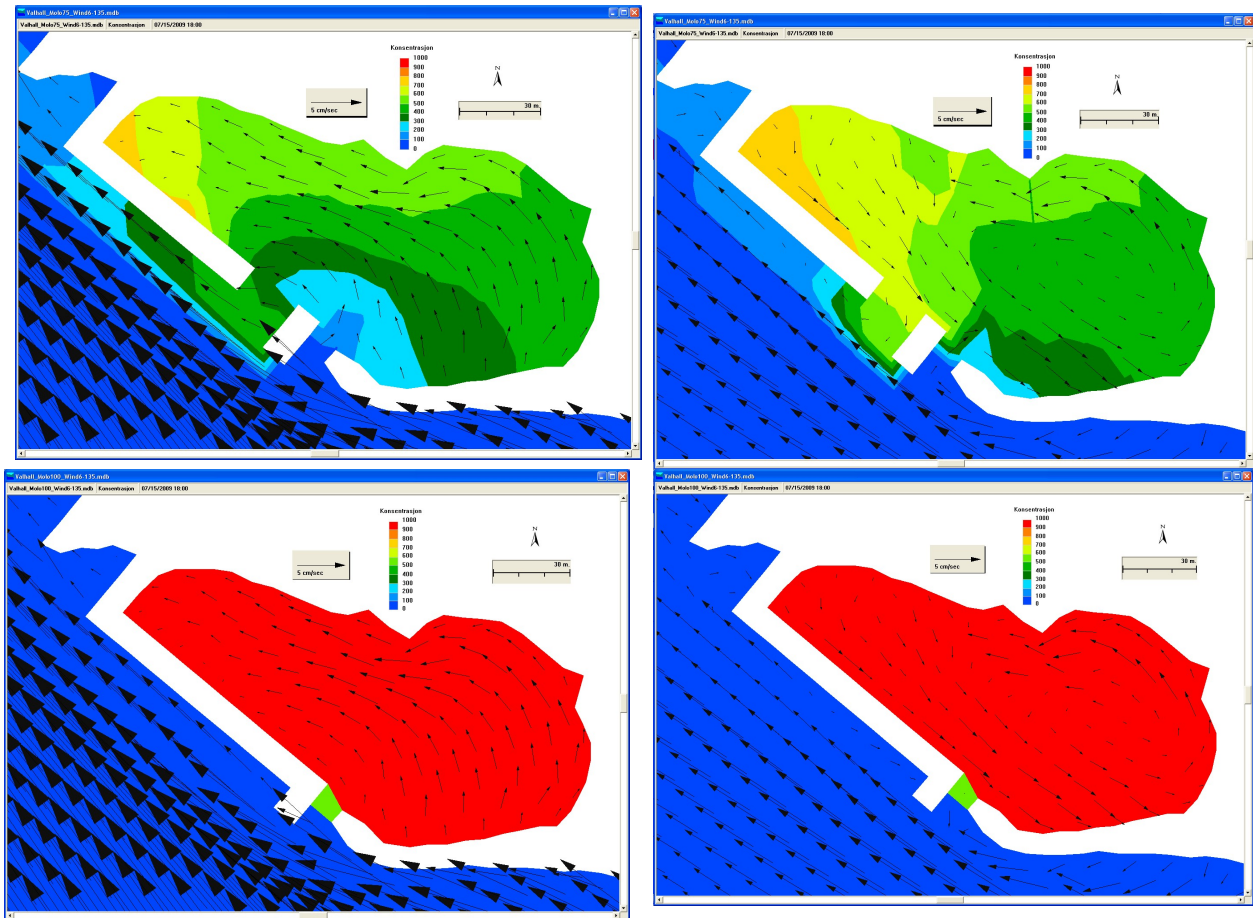


Overflate

Bunn

**Figur 9.** Vind fra SØ mot NV (fra 135<sup>0</sup>).  
 Vannutsifting med konstant vind ved økende lengde på moloen  
 Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.





Overflate

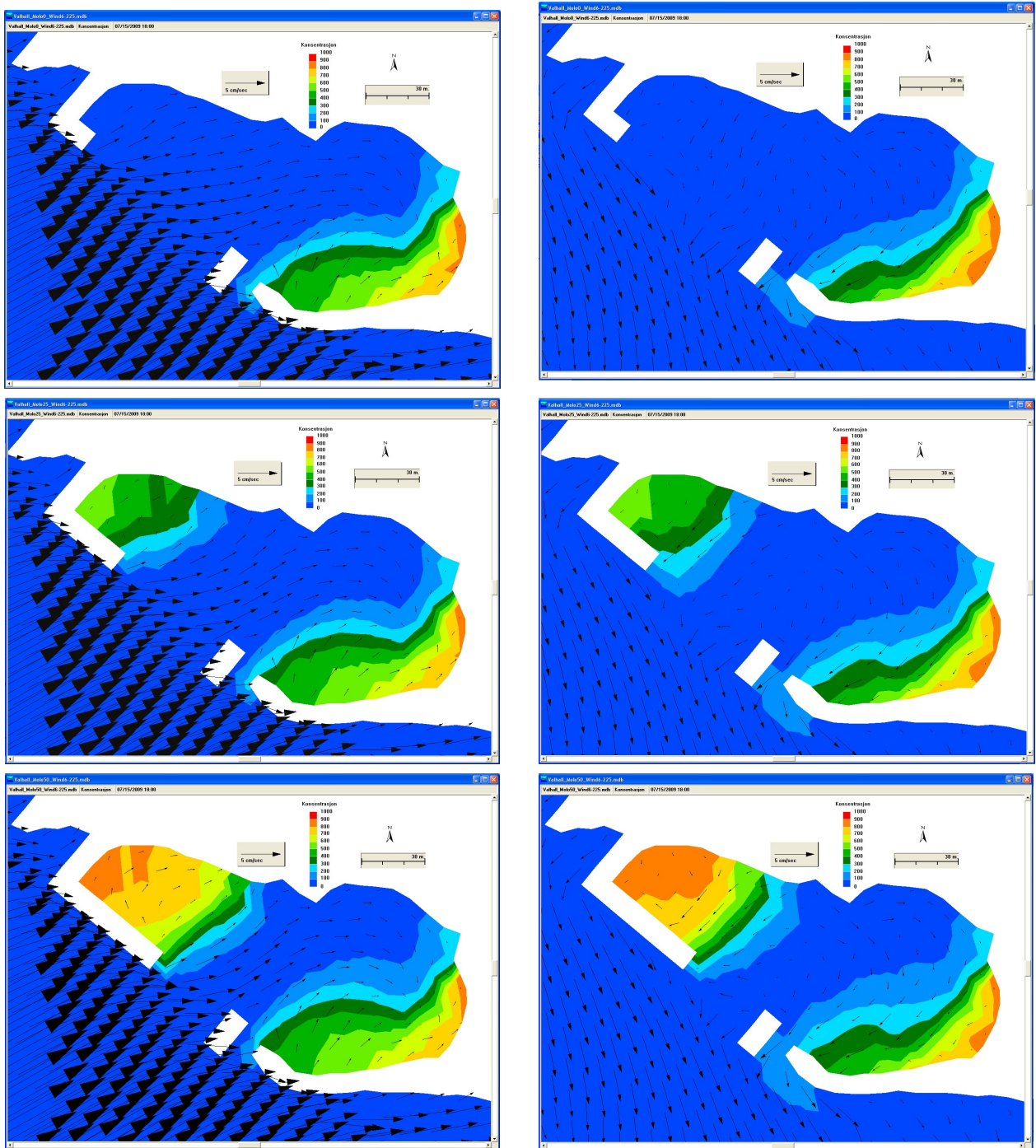
Bunn

**Figur 9. forts.** Vind fra SØ mot NV (fra  $135^{\circ}$ ).

Vannutskiftning med konstant vind ved økende lengde på moloen

Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

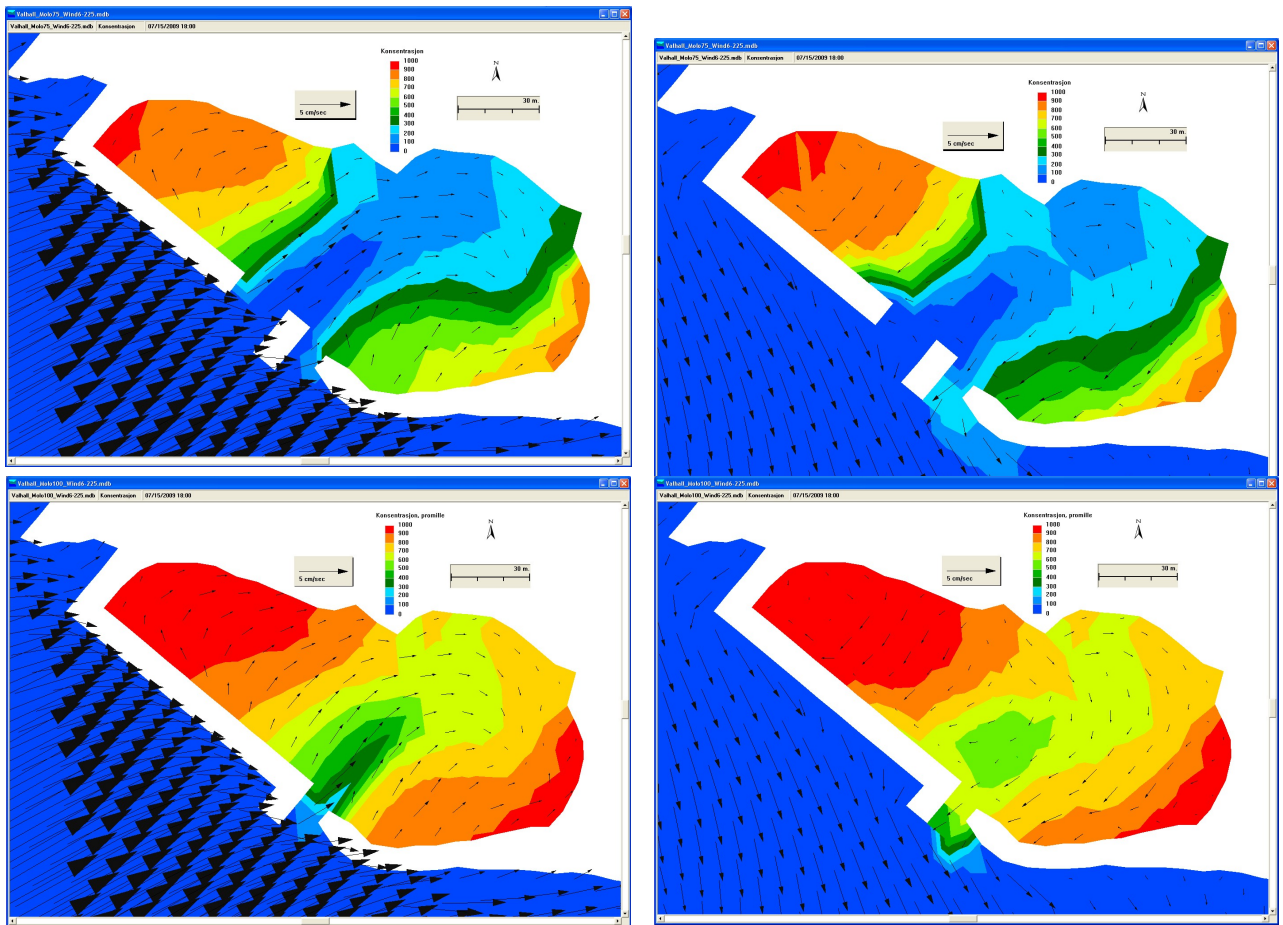
Vinden ble antatt å blåse fra SV mot NØ (fra  $225^{\circ}$ ), dvs. fra Furnesfjorden og innover bukten ved Valhall, **Figur 10**. Strømhastighetene i overflaten avtok fra over 10 cm/s utenfor bukten til noen få cm/s innenfor. Vannet strømmet fortrinnsvis inn i bukten i overflaten og ut langs bunnen. Ved økende lengde på moloen ble det i større grad intern vertikal sirkulasjon i vannmassene bak moloen med tilhørende redusert vannutskiftning



Overflate

Bunn

**Figur 10.** Vind fra SV mot NØ (fra 225°).  
 Vannutsifting med konstant vind ved økende lengde på moloen  
 Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenstående vann i bukten etter 6 timer.



Overflate

Bunn

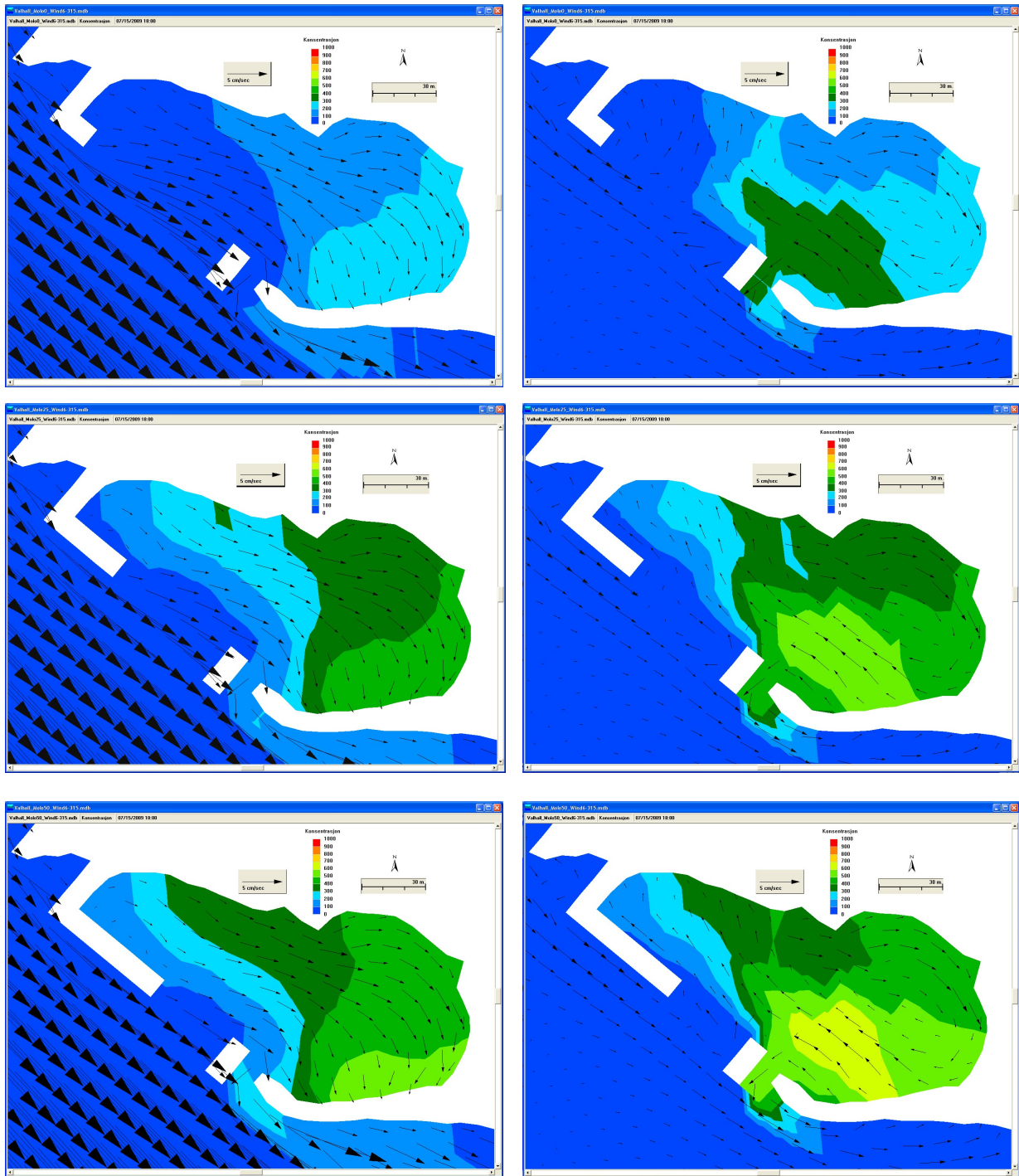
**Figur 10. forts.** Vind fra SV mot NØ (fra 225<sup>0</sup>).

Vannutsiftning med konstant vind ved økende lengde på moloen

Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

Vi antok at vindretning fra NV mot SØ (fra 315<sup>0</sup>), dvs. på langs av Furnesfjorden med Valhall til venstre, **Figur 11**. Dette er en vanlig forekommende vindretning om sommeren. Økende lengde på moloen førte til økt intern sirkulasjon i sørvestlig del av bukten (bryggeområdet) med tilhørende redusert vannutsiftning. Vannet strømmet fortrinnsvis inn i bukten mellom moloen og øya og ut mellom øya og brygga.

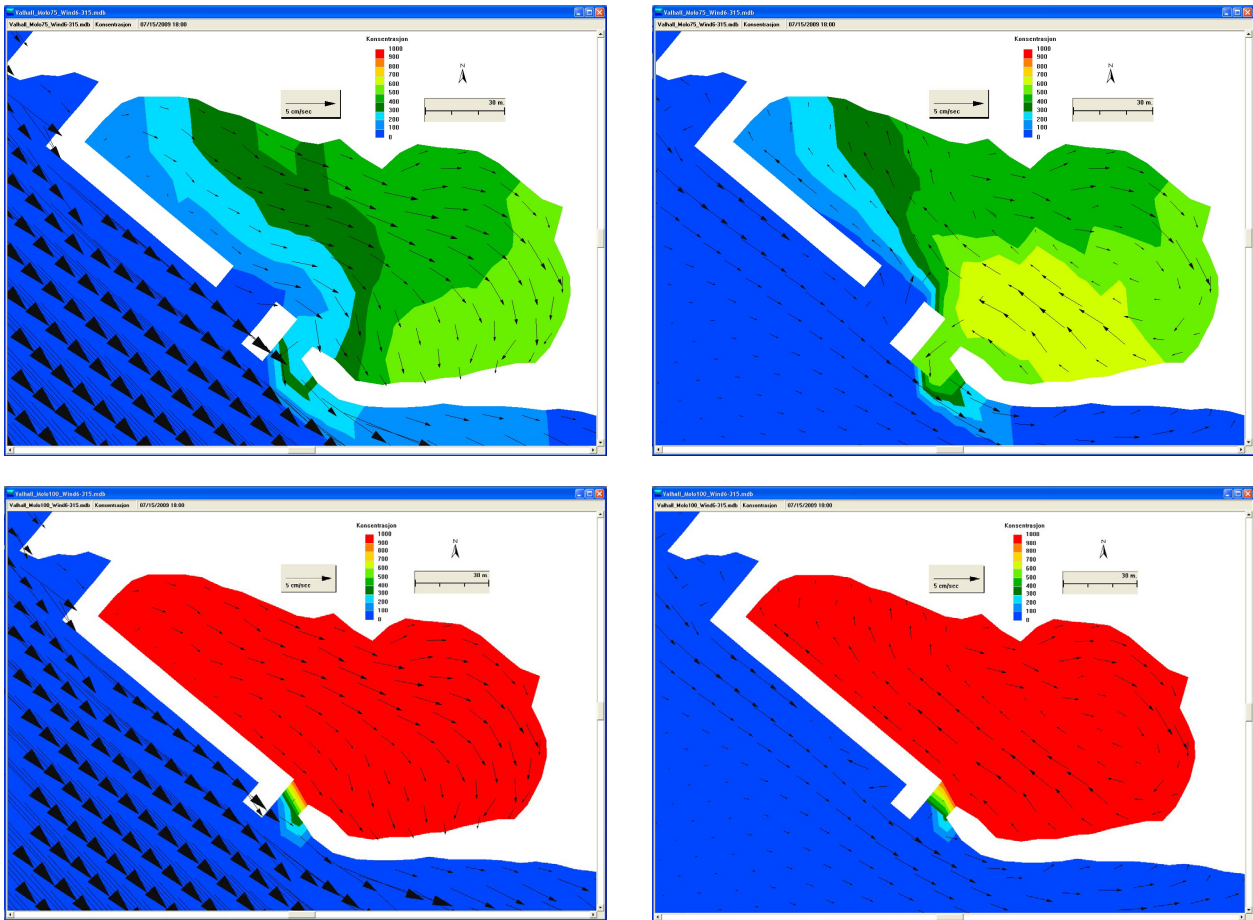




Overflate

Bunn

**Figur 11.** Vind fra NV mot SØ (fra 315<sup>0</sup>).  
 Vannutsjiktning med konstant vind ved økende lengde på moloen  
 Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.



Overflate

Bunn

**Figur 11. forts.** Vind fra NV mot SØ (fra 315<sup>0</sup>).

Vannutskifting med konstant vind ved økende lengde på moloen

Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

Generelt gjaldt det at det ble små strømhastigheter innerst i bukten i nordvest dvs. badeområdet. Ved økende lengde på moloen ble det intern sirkulasjon og redusert vannutskifting. I sørøstlig del av bukten, dvs. i bryggeområdet, ble forholdene mindre endret. En noe svak vannutskifting ble der ytterligere redusert ved økende lengde på moloen.

Av hensyn til forurensninger som blir transportert inn i bukten eller blir produsert i bukten, er det ønskelig med en tilstrekkelig god vannutskifting. Forurensningene kan gjelde hygieniske forhold (*E. coli* og patogener) eller alger/fastsettende begroing.

Flytende skrot, oljesøl med mer, vil følge overflatestrømmene og i langt mindre grad transporteres ut av bukten enn stoffer som følger vannets bevegelser fullstendig. Dette vil samle seg fortrinnsvis bak den tenkte moloen lengst vekk fra øya og innerst langs brygga i noe større grad enn i dag.

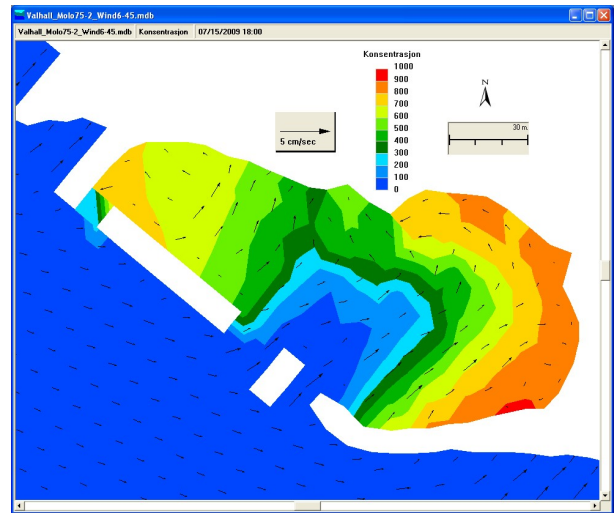
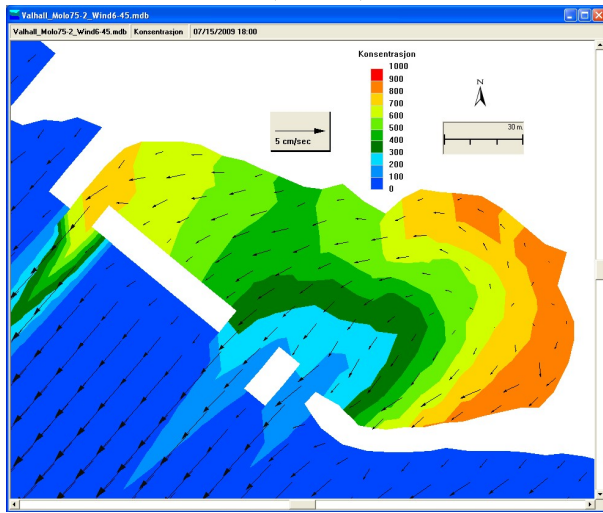
Vi laget deretter scenarier hvor det var en åpning i nordvestre del av moloen, **Figur12** og **Figur 13**. For øvrig var forholdene som ved den nest lengste moloen i scenariene over. Dette ga betydelig bedre vannutskifting, særlig i badeområdet i den nordvestlige del av bukten som ellers kunne anses som et mulig problemområde, i alle fall for flytende saker. I den andre delen av bukten, ved bryggene, hadde



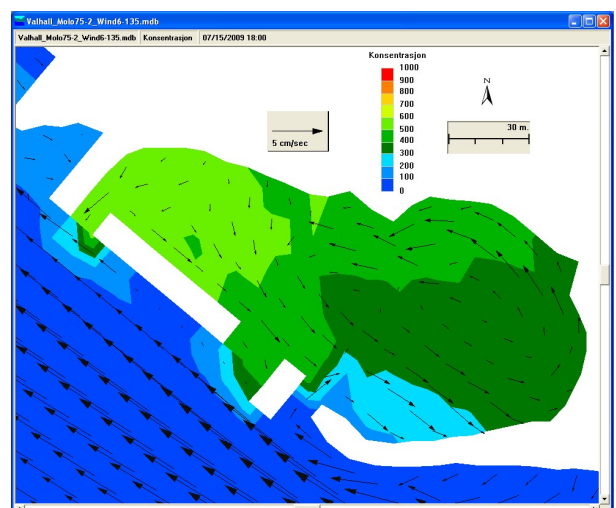
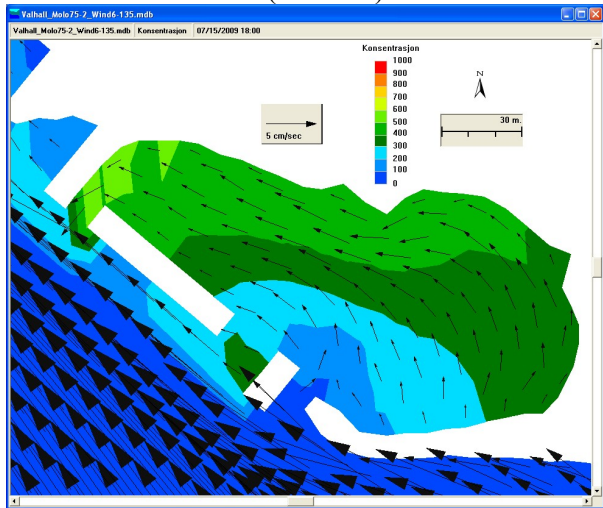
åpningen mindre betydning. Vi kan regne med at det her vil få mindre god vannutskiftning og særlig bli en samle plass for flytende ting. Formodentlig noenlunde i samme grad som i dag. En åpning innerst i bryggen vil bedre denne situasjonen. Dette er imidlertid scenarier som ikke var aktuelle ved denne anledningen.

**Figur 14** viser strøm og vannutskiftning i løpet av ett døgn ved en vindstyrke på 2 m/s. Vindretningen var konstant i tre timer for deretter å endres stegvis med 45 grader. Hvert plott viser tilstanden i slutten av hvert intervall, dvs. etter tre timer med stabil vind. Lavere vindhastighet resulterte lavere strømhastighet og lavere vannutskiftning. 30 – 100 % av vannet i ulike deler av bukten ble skiftet ut i løpet av simuleringsdøgnet. Vi benyttet vindhastighet på 6 m/s i de øvrige simuleringene, noe som i følge vindobservasjoner om sommeren kun overskrides i et par prosent av tiden. Strømforholdene vil i store trekk bli de samme ved redusert vindstyrke, men strømhastighetene vil avta og vannutskiftningen bli mindre. Vannutskiftningen kan imidlertid fortsatt betegnes som god.

Vind fra NV mot SØ (fra 45°).



Vind fra SØ mot NV (fra 135°).

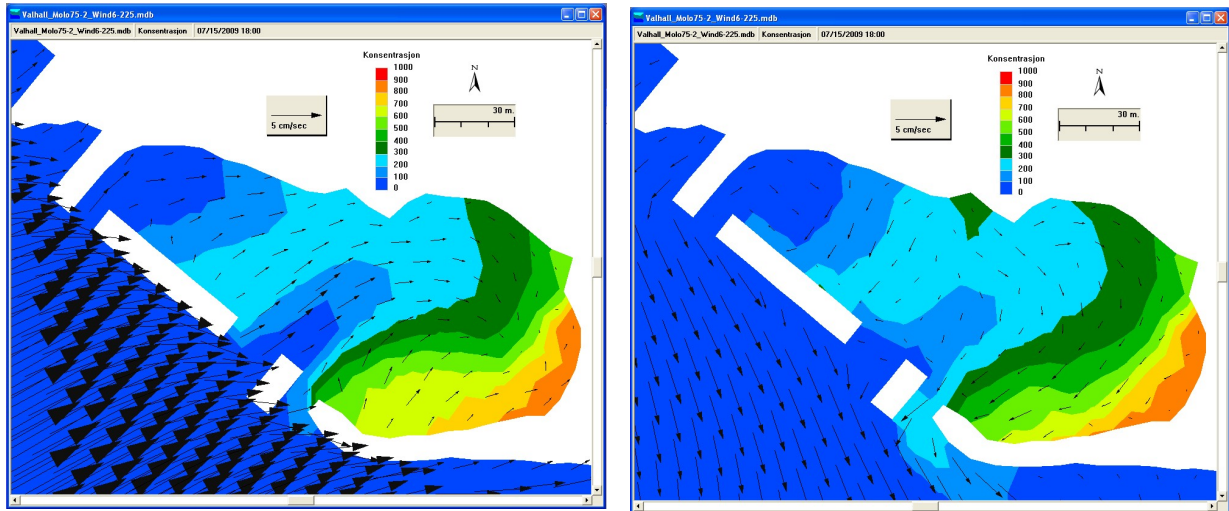


Overflate

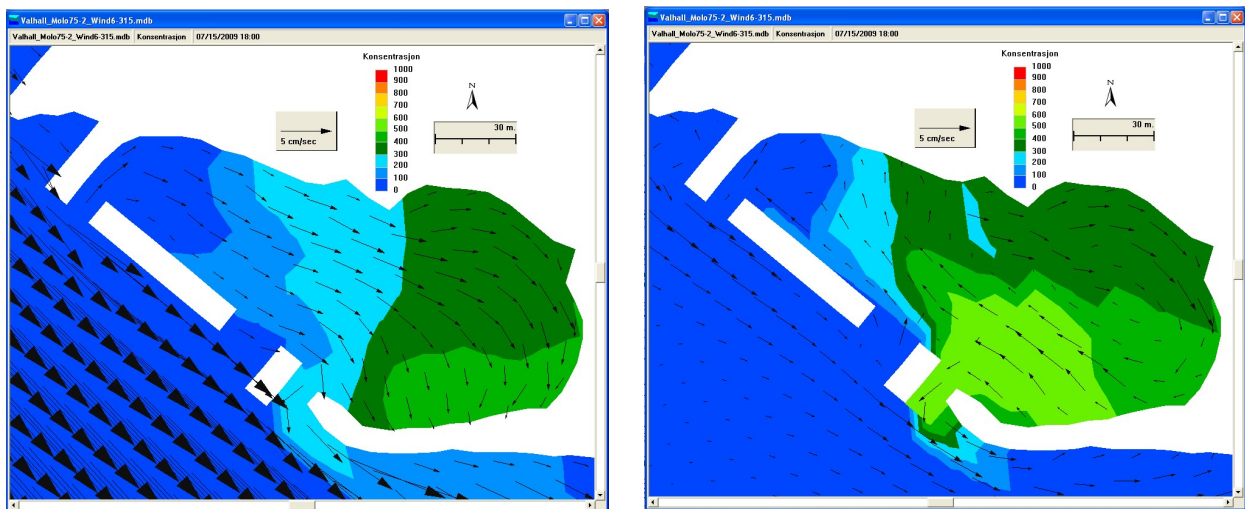
Bunn

**Figur 12.** Vannutskifting med endret vind ved åpning i moloen i nordvest. Vindstyrke 6 m/s. Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

Vind fra SV mot NØ (fra 225<sup>0</sup>).



Vind fra NV mot SØ (fra 315<sup>0</sup>).

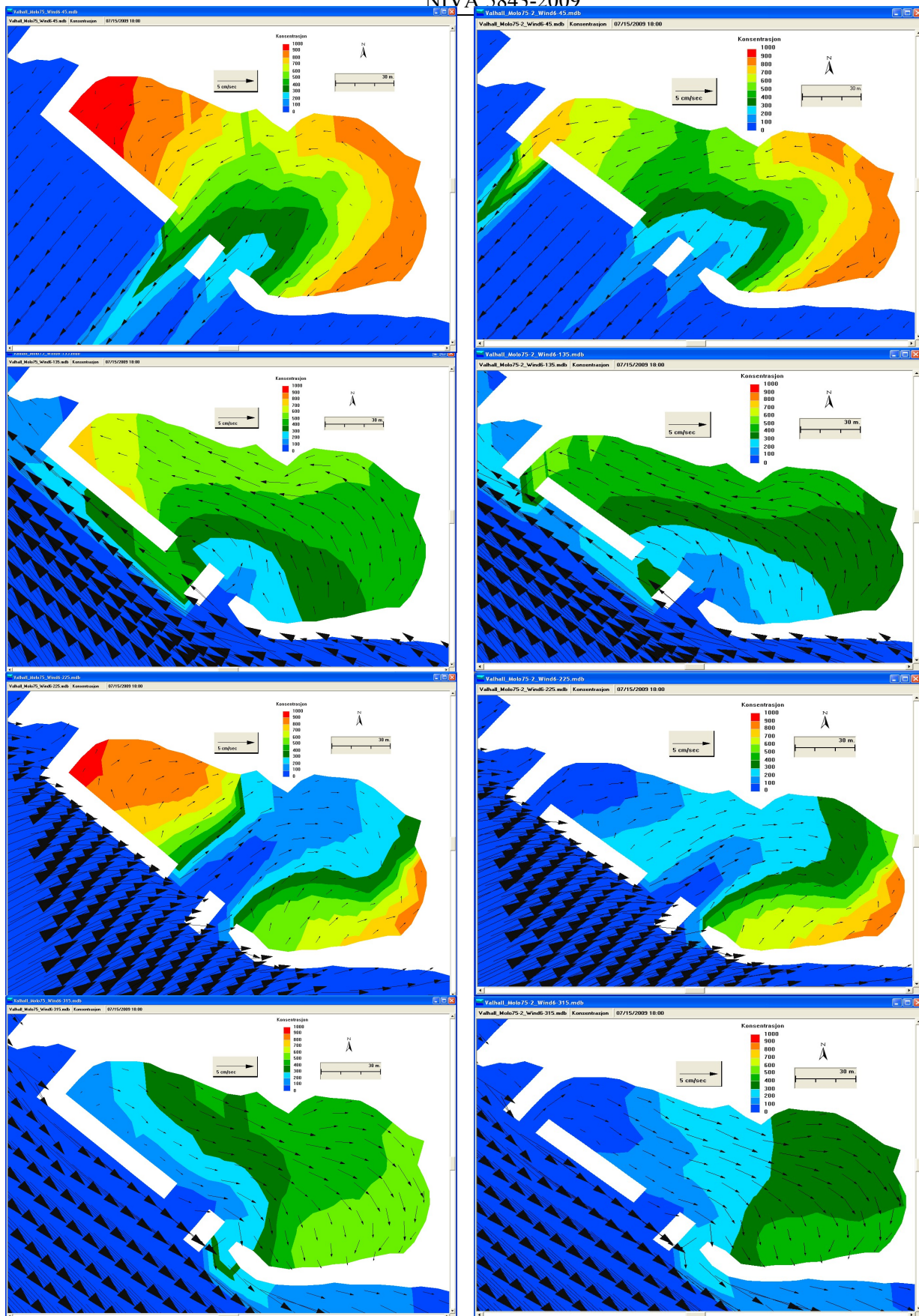


Overflate

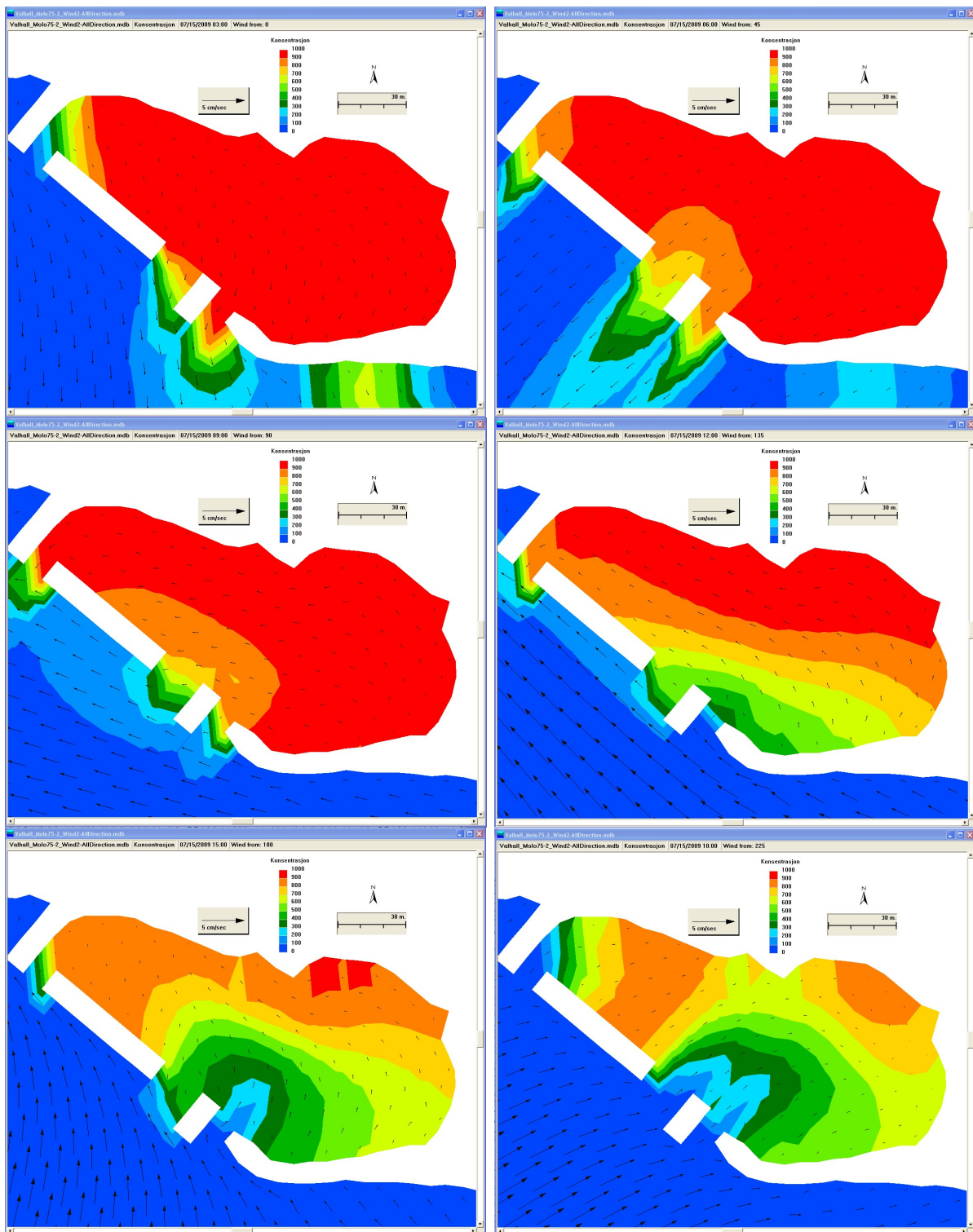
Bunn

**Figur 12. forts.** Vannutsifting med endret vind ved åpning i moloen i nordvest. Vindstyrke 6 m/s. Startverdi = 1000 i badebukten. Konsentrasjon lik gjenværende vann i bukten etter 6 timer.

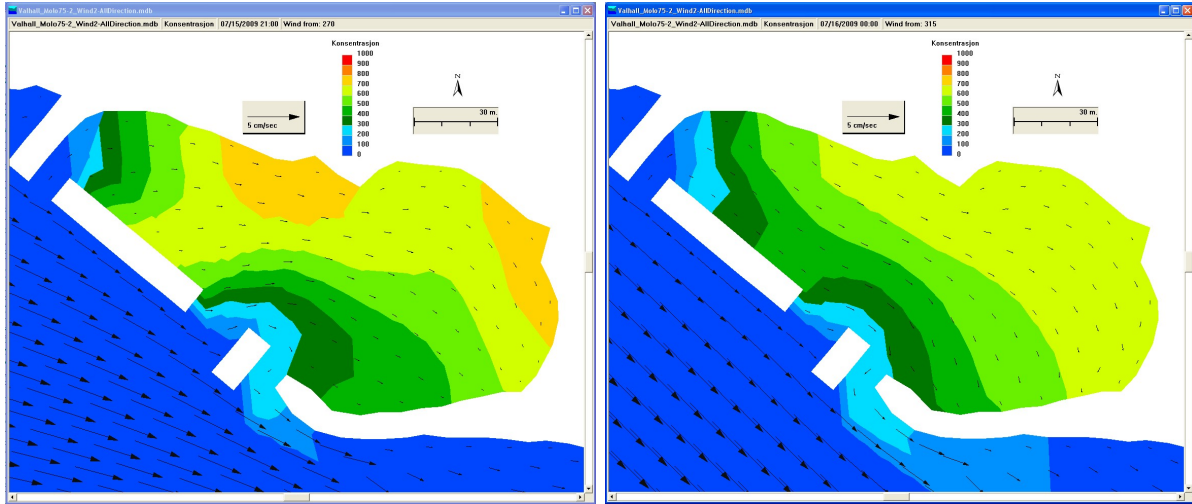




**Figur 13.** Strøm og vannutskifting i overflatelaget **med og uten åpning** i moloen ved vindretninger henholdsvis fra: NV, NØ, SØ og NV, dvs. i begge retninger både langs land og på tvers av land. Vindstyrke 6 m/s.



**Figur 14.** Eksempler på strøm- og vannutskifting i overflatelaget ved endrede vindretninger i løpet av ett døgn. Vindstyrke 2 m/s. Vindretningen var konstant i tre timer for deretter å endres skrittvis med 45 grader. Hvert plott viser tilstanden i slutten av hvert intervall, dvs. etter tre timer med stabil vind. Vindretning se tekst i rammen på hvert plott.



**Figur 14.** forts. Eksempler på strøm- og vannutskifting i overflatelaget ved endrede vindretninger i løpet av ett døgn. Vindstyrke 2 m/s. Vindretningen var konstant i tre timer for deretter å endres skrittvis med 45 grader. Hvert plott viser tilstanden i slutten av hvert intervall, dvs. etter tre timer med stabil vind. Vindretning se tekst i rammen på hvert plott. Strømningsmønsteret ble i store trekk det samme som ved større vindstyrke. Lavere vindstyrke førte til lavere strømhastigheter. Vannutskifting fortsatt betegnes som god.

## 3. Aktuelle kornstørrelser på strendene

### 3.1 Bølger

Naturlig erosjon på strender skyldes hovedsakelig bølgeaktivitet. Bølger har en eroderende virkning når de bryter i strandsonen. Vanligvis kommer bølgene noe skrått inn mot stranden. En partikkel får en ”skrå” bevegelse oppover stranda og en ”rett ned” bevegelse tilbake til sjøen igjen. Dermed er den blitt forflyttet en liten strekning langs stranda. Dersom partiklene bare blir skyllet fram og tilbake på og langs stranda får dette liten betydning. Strendenes buede form er sannsynligvis en naturlig riktig form som beskytter mot erosjon. Det avgjørende for om stranden blir utsatt for erosjon er om disse partiklene kan bli transportert videre utover på tilstrekkelig dypt vann til at de blir permanent fjernet fra stranden

Bølgene forplanter seg med hastighet, høyde og bølgelengde avhengig av vindens hastighet og vindens strøklengde. Den enkelte vannpartikkel beveger seg i en eliptisk bane i vertikalplanet. (Horisontal forflytning skyldes strøm). Er det tilstrekkelig grunt, kan denne eliptiske bevegelsen føre til erosjon og forflytning av bunnsedimentene.

De planlagte strendene i bukten vil være godt beskyttet av den tenkte moloen. Utenfor moloen vil bølgehøyden sjeldent overstige 1 meter i følge **Figur 15**. Selv ved dagens forhold blir bølgene betydelig redusert og bygges det en avskjermende molo vil bølgehøyden neppe overstige noen få desimeter. Bølgene vil få meget liten eroderende kraft. Sannsynligvis vil båtttrafikk kunne forårsake vel så store bølger.

### 3.2 Menneskelig erosjon

Erosjon vil først og fremst foregå som følge av menneskelige aktiviteter på stranden eventuelt også av båtttrafikk. Partiklene vil i så fall virvles opp og transporteres nedover stranden. Vi vil få en transport utover i bukten. Det avgjørende er om strømmene er tilstrekkelig store til å transportere disse partiklene videre utover og eventuelt ut av bukten

### 3.3 Strøm

I hvilken grad kan de vinddrevne strømmene erodere og transportere partikler. For bunntransport i elver basert på midlere strømhastighet kan man nytte Hjulstrøms kurver. Dette har også gyldighet for erosjon og transport av partikler som ligger i strandsonen under vann.

For simuleringene gjaldt at strømhastighetene langs bunnen sjeldent var over 3 cm/s. Slike hastigheter er for små til å ha eroderende virkning, men kan transportere partikler som allerede er satt i bevegelse opp til en diameter på ca. 0,5 mm, dvs. middels grov sand, **Figur 16**. Vi benyttet en stor vindhastighet, 6 m/s. En hastighet som kun overskrides et par prosent av tiden i løpet av sommeren. Dersom moloen dekker minst halvdelen av den nåværende åpningen vil strømmene i liten grad øke selv om vinden øker betydelig, for eksempel til 10-20 m/s 10 meter over vannflaten. Vind på 10 m/s forekommer for sjeldent til at det gikk fram av vindstatistikken på Kise, dvs. med en varighet på under 0,1 % av tiden. Det er neppe mange som bader i storm. I så måte vil det være ubetydelig erosjon på grunn av menneskelige aktiviteter samtidig med maksimal transportevne som følge av de størst forekommende strømhastighetene.

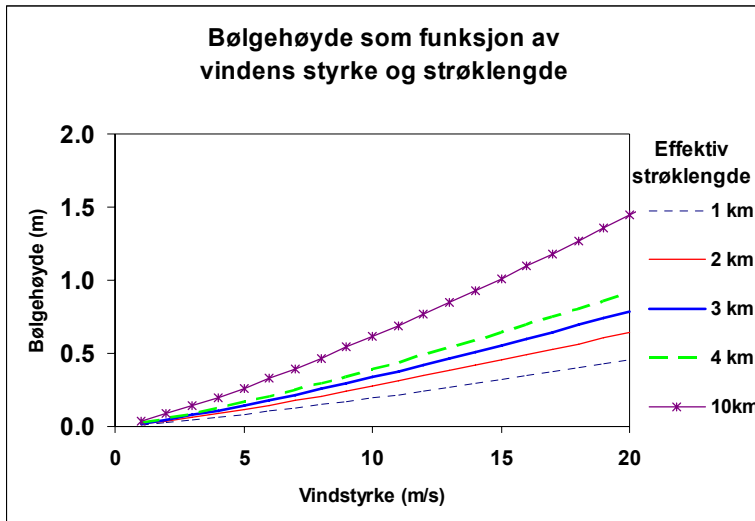


Tar man hensyn til usikkerhet og at vinden i ekstreme tilfeller kan øke ytterligere, kan man for sikkerhets skyld øke partikkeldiameteren i forhold til det som beregningene antyder.

### 3.4 Konklusjoner

Dersom man velger meget grov sand med diameter over 1-2 mm vil sandflukten i bukten bli meget liten, **Tabell 1**. Bruk av mindre kornstørrelser kan også gå bra, men risikoen for økt tap vil være større. Økt lengde på moloen reduserer risikoen for sandflukt. Dersom lengden dekker halvdelen av dagens åpning vil dette sannsynligvis redusere virkninger av strøm og bølger i tilstrekkelig stor grad. Det er i så måte bedre å ha moloen på "midten" med åpning på begge sidene enn at den kun strekker seg ut sammenhengende fra den ene siden.

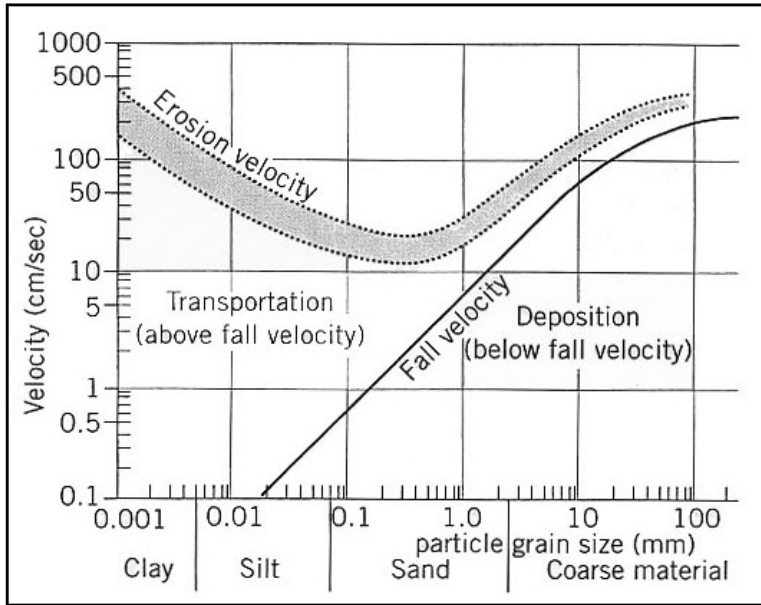
Yttersiden av moloen vil være betydelig mer utsatt for erosjon og bør bestå av steiner og blokker.



**Figur 15.** Sammenheng mellom vindstyrke, strøklengde og bølgehøyde

Kilde: Beach Erosion Board 1972: Waves in inland reservoirs. Technical Memoir 132, Beach Erosion Board Corps of engineers, Washington, DC.





**Figur 16.** Hjulstrøms kurver for erosjon og transport av partikler

**Tabell 1.** Karakteristiske sammenheng mellom erosjon, transport og strømhastighet i følge Hjulstrøms kurver.

KORNTYPE	DIAMETER	MIDLERE DIAMETER	TRANSPORT MIDDELFART	EROSJON MIDDELFART
	mm	mm	cm/s	cm/s
Fin sand	0.125-0.250	0.188	2	20
Middels grov sand	0.250-0.500	0.375	3	20
Grov sand	0.500-1.00	0.750	6	25
Meget grov sand	1.00-2.00	1.500	10	30

## 4. Diskusjon og konklusjoner

### 4.1 Vannutskiftning

Ved å øke lengden på moloen fra slik det er i dag etappevis helt fram til øya ved brygga, ble vannutskiftningen i følge simuleringene gradvis redusert. Området i nordvest (innerst ved moloen/badestrandområdet) og i sørøst (bryggeområdet) fikk dårligst vannutskiftning. Avhengig av vindretningene oppsto det vertikale virvler, til dels også virvler i horisontalplanet. Forholdene ble spesielt dårlige om moloen nådde helt fram til øya. Vannutskiftningen er et mål for hvordan stoffer som følger vannets bevegelser forsvinner, for eks. bakterier og patogener (parasitter, virus, mikroorganismer med mer). Oppsamlingen vil være enda større for flytende ting som skrot, oljesøl, alger og muligheter for å etablere fastsittende begroing.

Ved å lage en åpning i moloen i nordvest på 10 meter, økte vannutskiftningen betydelig, særlig i nordvest (badestrandområdet). Dette vil også ha en meget god effekt med hensyn til å unngå opphopning av flytende saker. Det er sikrest å også ha en åpning mellom moloen og øya. I bryggeområdet, i motsatt ende av bukten, ble vannutskiftningen dårligere enn i badestrandområdet. Formodentlig vil det her samles opp flytende materiale i noe større omfang enn i dag.

### 4.2 Erosjon og transport

Det kreves lavere strømhastighet for å transportere korn som allerede er i bevegelse enn å erodere dem. En avskjermende molo vil i følge beregninger redusere bølgeaktivitet og strømmer i så stor grad at erosjonseffekten blir meget liten. Erosjon på stranden vil fortrinnsvis skyldes menneskelige aktiviteter i på grunn av tråkk og kanskje også båttrafikk. For de scenariene som ble simulert ble eroderte kornstørrelser med diameter opp til 0,5 mm i noen grad transportert videre ut av bukten. Vi forutsetter da en molo som dekker ca. halvdel av bukten fram til øya. Tar man hensyn til usikkerhet i slike beregninger og mer ekstreme værforhold kan man for sikkerhets skyld øke denne kornstørrelsen. Dersom man velger meget grov sand, diameter over 1-2 mm, vil sandflukten i bukten bli meget liten.

Yttersiden av moloen vil være betydelig mer utsatt for erosjon og bør bestå av steiner og blokker. Med en bølgehøyde på 1 meter i perioder med høy vannstand 124 moh. kan bølgene forventes i blant å nå 125 moh.

### 4.3 Representativitet

Vi har laget de fleste scenariene for en vindstyrke på 6 m/s 10 meter over vannflaten. I følge vindobservasjoner om sommeren overskrides denne hastigheten kun et par prosent av tiden. Strømforholdene vil i store trekk bli de samme ved redusert vindstyrke, men bruke lengre tid på å fornye vannet. Vi anser dette som uproblematisk i forhold til konklusjonene ovenfor. Ved ekstreme værforhold, vindstyrke på 10-20 m/s, øker strømhastighetene betydelig utenfor bukten. En molo vil imidlertid dempe fartsøkningen innenfor slik at evnen til transport kun forventes å øke i liten grad.

I modellen er moloen tegnet inn på en skjematisk måte med rette vinkler og konstant bredde. I praksis spiller det liten rolle om bredden varierer, om moloen flyttes litt utover eller innover eller om retningen endres noe.

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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)