

Utforming av badestrender i Mjøsa ved Brumunddal med hensyn til erosjon og vannkvalitet



Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

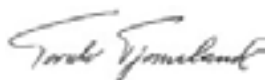
Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Utforming av badestrender i Mjøsa ved Brumunddal med hensyn til erosjon og vannkvalitet	Løpenr. (for bestilling) 6824-2015	Dato 20.03.2015
	Prosjektnr. Undernr. 14054	Sider 45
Forfatter(e) Torulv Tjomsland og Atle Rustadbakken	Fagområde Hydrologi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Hedmark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Ringsaker kommune	Oppdragsreferanse Solveig Egeland
---------------------------------------	--------------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Ringsaker kommune har som mål å lage badestrender og arealer til fritidsbruk i og ved Mjøsa ved Brumunddal. De to hovedområdene kalles Bystranda i nord og Holmene i sør.</p> <p>Vi anbefaler å bruke «meget grov sand», dvs. korn med diameter 1-2 mm for strendene ved Holmene og «grov sand», dvs. diameter 0,5-1 mm ved Bystranda. På yttersiden av holmene/øyene, dvs. mot åpent vann der områdene er utsatt for bølger og de største strømhastighetene, anbefales bruk av grovt materiale som blokker, stein og grus. Ved å bruke tilsvarende materiale på toppen av holmene/øyene/utfyllingene sikrer man seg mot erosjon og transport av materialet i sjeldent forekommende høyvannssituasjoner samt også ved regn og menneskelige aktiviteter. Planlagte mindre utfyllinger og utgravinger er uproblematisk. Av hensyn til mulige forurensninger fra Brumunda anbefales det at tangen nordvest i Holmene området beholdes sammenhengende, dvs. ingen kanal.</p> <p>Fyllingene er planlagt å ha toppnivå på 124,0-124,5 moh. og sandstrendene er planlagt anlagt opp til 123,5 moh. I følge de historiske vannstandsobservasjonene sammenholdt med simulerte resultater, er dette en bra utforming. Vi kan neppe oppnå konstant varmere vann ved å lage grunne bassenger eller ved å redusere vannutskiftningen.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Badestrand 2. Erosjon og vannkvalitet 3. Strøm- og spredningsmodell 4. Brumunddal 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recreational beach 2. Erosion and water quality 3. Current and transport model 4. Brumunddal
--	---



Torulv Tjomsland
Prosjektleder



John Rune Selvik
Gruppenleder

Norsk institutt for vannforskning

Utforming av badestrender i Mjøsa ved Brumunddal
med hensyn til erosjon og vannkvalitet

Prosjektleder : Torulv Tjomsland
Medarbeider: Atle Rustadbakken

Forord

Oppdraget er utført av Norsk institutt for vannforskning etter oppdrag fra Ringsaker kommune. Solveig Egeland har vært kontaktperson for kommunen.

Arbeidet har blitt utført i nært samarbeid med Østengen & Bergo AS v/ Ingrid Roalsø og Ringsaker kommune.

Oslo, 20. mars 2015

Torolv Tjomsland

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
1.1 Mål	9
1.2 Område	9
1.3 Metode	14
1.4 Vannstand i Mjøsa	14
1.5 Vind	17
1.6 Simuleringer	18
2. Strøm, bølger, erosjon og transport vannutskifting	20
2.1 Strøm og vannutskifting ved normal vannstand	20
2.1.1 Holmene	21
2.1.2 Bystranda	25
2.2 Strømforhold ved flomvannstand	30
2.3 Hvordan påvirkes anleggene mht. erosjon og transport av partikler	33
3. Påvirkning av forurenset vann fra Brumunda og Båhusbekken	38
4. Kan utformingen av området påvirke temperaturen i badevannet?	43
5. Referanser	45

Sammendrag

Ringsaker kommune har som mål å lage badestrender og arealer til fritidsbruk i og ved Mjøsa ved Brumunddal. Det er i særlig grad planlagt å utforme to områder. Disse blir kalt Bystranda og Holmene henholdsvis noen hundre meter nord og sør for elven Brumunda. Det planlegges å lage kunstige sandstrender samt utfyllinger for ferdsel og fritidsbruk. Denne rapporten omhandler hvordan strøm og bølger mm. kan påvirke disse anleggene. Rapporten er ment som hjelp for å sikre en gunstig utforming av anleggene med hensyn til erosjon og vannkvalitet.

Metoden for å løse oppgaven er å kombinere simuleringer med en matematisk strøm- og spredningsmodell, GEMSS, sammenholdt med historiske observasjoner. Erosjon i strendene og de øvrige fyllingene vil trolig skyldes menneskelige påvirkning ved bruk av området sammen med bølgepåvirkning og naturlig sig i vannholdig masse. Strømmene vil neppe få eroderende virkning ved valg av anbefalt byggemateriale.

På yttersiden av holmene, dvs. mot åpent vann der områdene er utsatt for bølger og dermed de største strømhastighetene, anbefales bruk av grovt materiale som blokker, stein og grus. Ved å bruke tilsvarende materiale på toppen av holmene/øyene/utfyllingene sikrer man seg mot erosjon og transport av materialet i sjeldent forekommende flomsituasjoner samt også ved regn og menneskelige aktiviteter. Områdene kan eventuelt sikres ytterligere ved å så gress eller etablering av annen vegetasjon.

På sandstrendene og eventuelt i deler av bunnen ved Holmene, vil partikler med diameter over 1,5 mm i følge beregningene ikke bli transportert. For Bystranda blir tilsvarende tall 0,75 mm. Vi anbefaler å bruke «meget grov sand», dvs. korn med diameter 1-2 mm for strendene ved Holmene. Bruk av mindre kornstørrelser kan også gå bra, men risikoen for økt tap vil være større. For Bystranda bør «grov sand», dvs. diameter 0,5-1 mm være tilstrekkelig.

Fyllingene er planlagt å være 124-124,5 moh. og sandstrendene opp til 123,5 moh. I følge de historiske vannstandsobservasjonene sammenholdt med simulerte resultater, er dette en bra utforming. Anleggene er godt tilpasset en vannstand på 123 moh. I følge de historiske vannstandsobservasjonene er det små avvik fra denne vannstanden i juli-august. De største avvikene de siste 10 årene var mindre enn 0,5 m. Dvs. at det er meget sjeldent at sandstrendene blir liggende under vann i badesesongen. Ved laveste observerte vannstand i denne perioden, 122,5 moh., vil fortsatt det meste av bukta ved Bystranda og de grunne områdene ved Holmene være dekket med vann.

De høyeste vannstandene finner sted på forsommeren før badesesongen. Det er i denne perioden sannsynligheten er størst for at det kan oppstå problemer med erosjon. Med den nåværende utformingen vil holmene og fyllingene forventes å bli lagt under vann i snitt hvert 20. år (20-årsflom: 124,6 moh.). Ved valg av tilstrekkelig grovt materiale vil dette i følge beregningene ikke være problematisk. Ønsker man å øke sikkerheten mot erosjon ytterligere kan høyden på holmene økes med 0,7 m slik at gjentagelsesintervallet for oversvømmelse blir 50 år (50-års flom: 125,3 moh.).

Det er planlagt å forbinde enkelte av holmene med bruer. Høyden over havet avgjør hvor ofte disse vil bli liggende under vann. Velger man å lage bruer som i blant blir liggende under vann bør disse tåle strømmer på omkring 15 cm/s og bølgehøyde på 0,5 m.

Mellom andre holmer er det tenkt å legge steiner som skal benyttes til vading. I følge beregningene er dette uproblematisk. Steiner vil ikke bli erodert eller forflyttet som følge av strøm og bølger. Forutsetningen er at fundamentet for steinene er tilstrekkelig solid, f. eks. består av mindre steiner.

Tråkk fra mennesker, regn og sig i fuktig materiale vil alltid føre til transport rettet nedover på strendene og på grunt vann. Dette blir redusert ved å nytte slake gradienter og grovt materiale.

Det er planlagt å lage mindre utfyllinger nord for Båhusbekken, på begge sider av Brumunda og mellom Brumunda og Holmene. Vi kan ikke se at dette vil få noen betydning for strømningsmønsteret og tilhørende erosjon og spredning av forurensninger. Utvidelse av bukta lengst nord i Holmene området vil rimeligvis ha en positiv effekt mht. økt vannutskiftning. Vannutskiftningen i denne bukta vil imidlertid likevel bli liten med fare for opphopning av flytende materiale og annen forurensning.

Det er ikke påvist bakteriologisk forurensning over anbefalt grense for badevann. I hvilken grad forurensninger, som i simuleringene ble antatt å komme fra Brumunda og Båhusbekken, har betydning for badevannskvaliteten vet vi ikke. Scenariene representerer følgelig «føre var situasjoner». Dette kan eventuelt undersøkes ved å ta bakteriologiske prøver etter kraftig nedbør. Det er gunstig å beholde tangen nordvest i Holmene området sammenhengende, dvs. uten åpning på midten.

Utbygging av Bystranda mm. vil påvirke temperaturforholdene, men dette kan føre både til høyere og lavere temperaturer. Raskere oppvarming om dagen blir motvirket av større avkjøling om natten. Forholdet er i stor grad avhengig av skydekning. Konklusjonen er at vi neppe kan oppnå konstant varmere vann ved å lage grunne bassenger eller redusere vannutskiftningen i disse.

Summary

Title: Design of bathing beaches in lake Mjøsa at Brumundal with regard to erosion and water quality

Year: 2015

Author: Torulv Tjomsland and Atle Rustadbakken

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-xxxx-x

Ringsaker municipality aims to make beaches and areas for recreational use in and by lake Mjøsa at Brumunddal. It is particularly planned to design two areas. These are called Bystranda and Holmene. It is planned to make artificial sand beaches and fills for recreation activity. The report is intended to ensure a favorable design of facilities with regard to erosion and water quality.

The method to solve the problem is to combine simulations with a mathematical current- and dispersion model, GEMSS, together with historical observations. Erosion in beaches and other fillings are likely due to human exposure through the use of the area along the wave activity and natural creep in water rich mass. Currents will hardly get erosive effect by use of sufficient coarse material.

On the outer side of the islands, with areas exposed to the highest waves and currents, use of coarse material such as blocks, stone and gravel are recommended. By using similar material on top of the islets / islands / padding ensures against erosion and transport of material in the rarely occurring flood situations and also by rain and human activities. The areas can be further secured by sowing grass or establishment of other vegetation

On the sandy beaches and possibly in parts of the bottom by Holmene will particles with a diameter of 1.5 mm according to the calculations not be transported by currents. For Bystranda the corresponding figure is 0.75 mm. We recommend using "very coarse sand", grains 1-2 mm, in diameter for the beaches by Holmene. Use of smaller grain sizes can also go well, but the risk of increased losses will be greater. For Bystranda "coarse sand", diameter 0.5-1 mm, should be sufficient.

The embankments are planned to be 124 to 124.5 m. and sandy beaches up to 123.5 m. According to the historical water level observations together with simulated results, this is a good design. The plants are well adapted to a water level of 123 m. According to the historical water level observations are that small deviations from this water level in July-August. The largest deviations during the last 10 years are less than 0.5 m which means that it is very rare that the sandy beaches remain under water during the bathing season. By lowest observed water level during this period, 122.5 m., still most of the bay at Bystranda and between areas in the regions of Holmene will be covered with water.

The highest water floods takes place in early summer before the bathing season. It is in this period the probability is greatest that problems can occur with erosion. With the current design islets and landfills are expected to be covered with water averaging every 20 years (20-year flood: 124.6 m.). Upon selection of a sufficient coarse material the calculations showed that this will hardly be problematic. If you want additional security, the height of the islets may be increased by 0.7 m so that the repetition interval of flooding gets 50 years (50-year flood: 125.3 m.).

It is planned to connect some of the islands with bridges. The altitude determines how often these will remain under water. If you choose to create bridges that sometimes remain under water, these should withstand currents of about 15 cm / s and wave height of 0.5 m.

Between other islets it is planned to add stones used for wading. According calculations this is unproblematic. Stones will not be eroded or displaced as a result of currents and waves. The

assumption is that the foundations of the stones are sufficiently solid, f. example consists of smaller stones.

Pedaling from humans, rain and creep in moist material will always lead to downward transport on beaches and under shallow water. This is reduced by benefiting gentle gradients and rough material.

It is planned to create smaller landfills north of Båhusbekken, on both sides of Brumunda and between Brumunda and Holmene. We can not see that this will have any bearing on the flow pattern and associated erosion and the spread of contaminants. Expansion the bay furthest north in Holmene area will reasonably have a small positive effect with respect to increased water exchange. The water exchange in this bay will nevertheless be small with probably accumulation of floating material and other contaminants.

There is no evidence of bacteriological contamination above recommended limit for bathing water. The extent to which contaminants, as here assumed came from the streams Brumunda and Båhusbekken has implications for bathing water quality we do not know. The scenarios represent consequently precautionary situations. According to simulated scenarios it is beneficial to retain the barrier in Holmene area contiguous, i.e. without opening the middle.

Making the bay shallow or reduce the water exchange especially at Bystranda, may affect the temperature conditions; however this can lead to both higher and lower temperatures. Faster heating during day is compensated with greater cooling at night. The relationship is largely dependent on the cloud cover. The conclusion is that we can hardly achieve constant warmer water by making shallow pools and reduce water exchange therein

1. Innledning

1.1 Mål

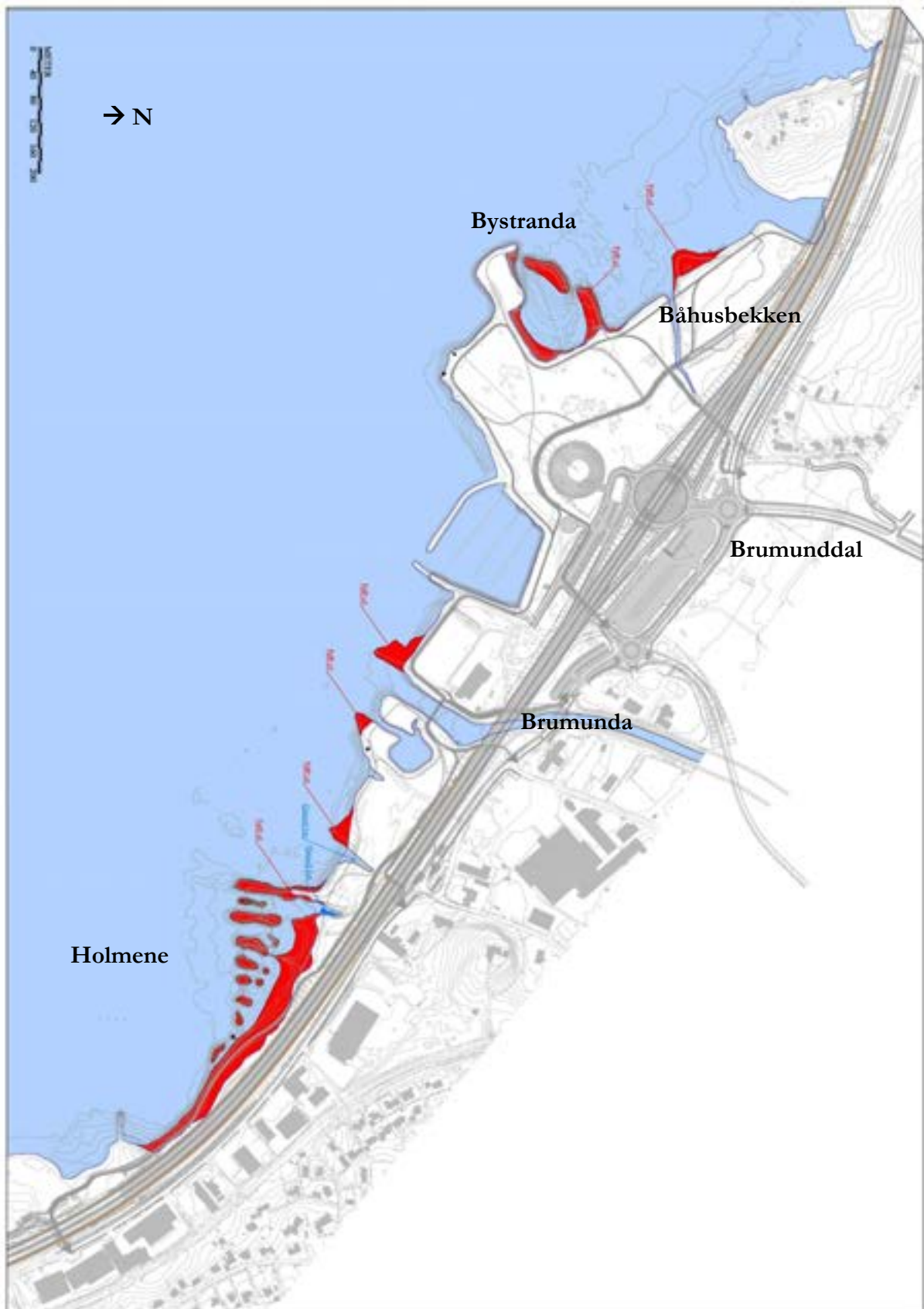
Ringsaker kommune har som mål å lage badestrender og arealer til fritidsbruk i og ved Mjøsa ved Brumunddal. Denne rapporten omhandler hvordan strøm og bølger med mer kan påvirke disse anleggene. Rapporten er ment som hjelp for å sikre en gunstig utforming av anleggene med hensyn til erosjon og vannkvalitet.

1.2 Områdene

Det er i særlig grad planlagt å utforme to områder. Disse blir kalt Bystranda og Holmene. Det planlegges å lage kunstige sandstrender samt utfyllinger for rekreasjonsformål. De utfylte områdene er merket med rød farge og sandstrendene med brun farge, **Figur 1**.

Innen prosjektet ble det gjort dybdemålinger og laget dybdekart. **Figur 2** og **Figur 3** viser resultatene av dette. Strandlinjen på fotoet tilsvarer en vannstand på 120,5 meter over havet, slik den var 2. april 2012. På kartene er det også tegnet inn kote for strandlinjen i nivået 123 moh., tilsvarende høyeste regulerte vannstand i Mjøsa.

Figur 4 og **Figur 5** viser detaljer i de to badeområdene. Vannstanden er 123 moh. Strendene når opp til ca. 123,5 moh. og utfyllingene når opp til omkring 124-124,5 moh.



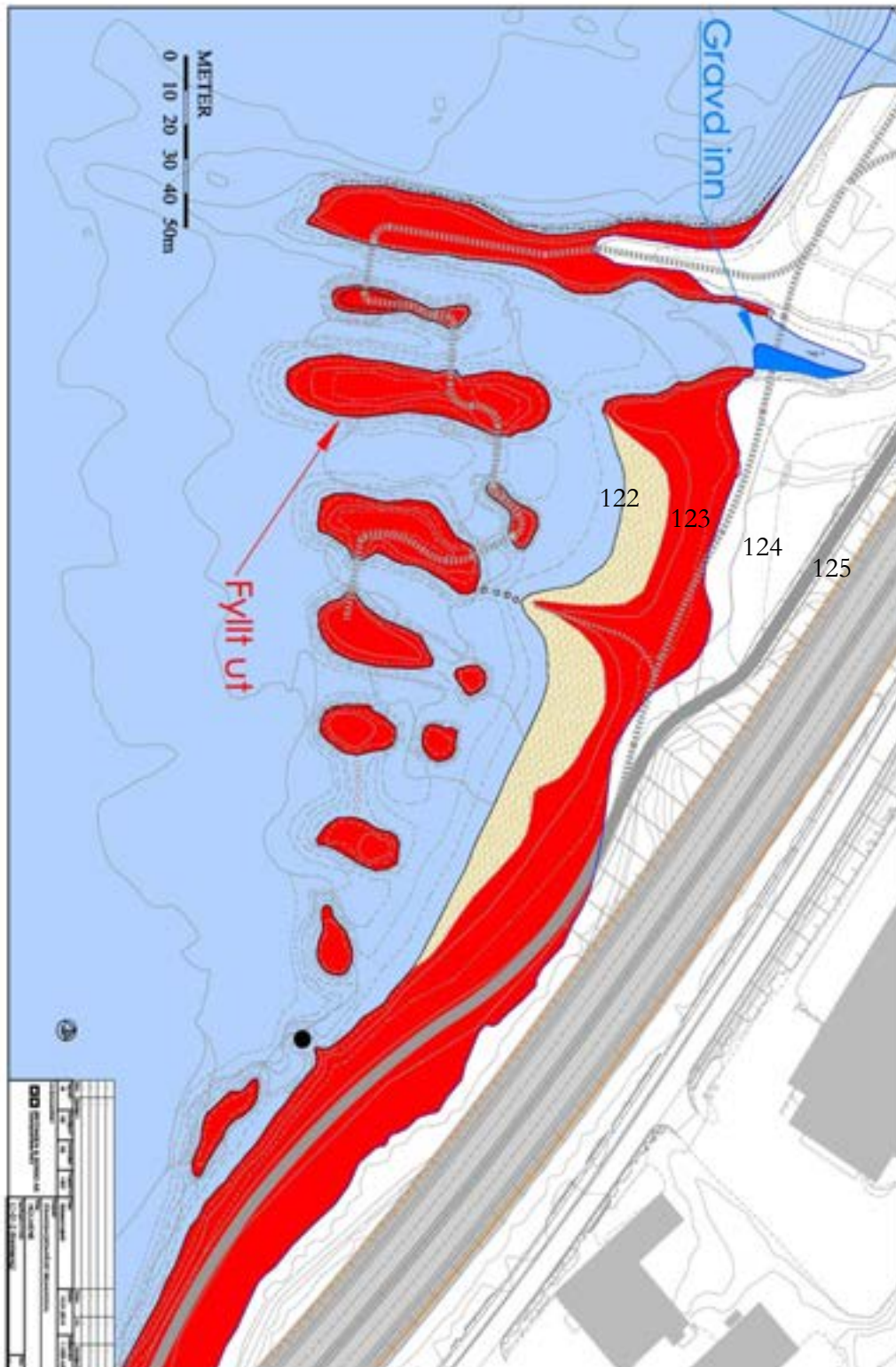
Figur 1. Oversiktskart med inntegnet anleggsområde med fyllinger (røde) og sandstrender (brune).



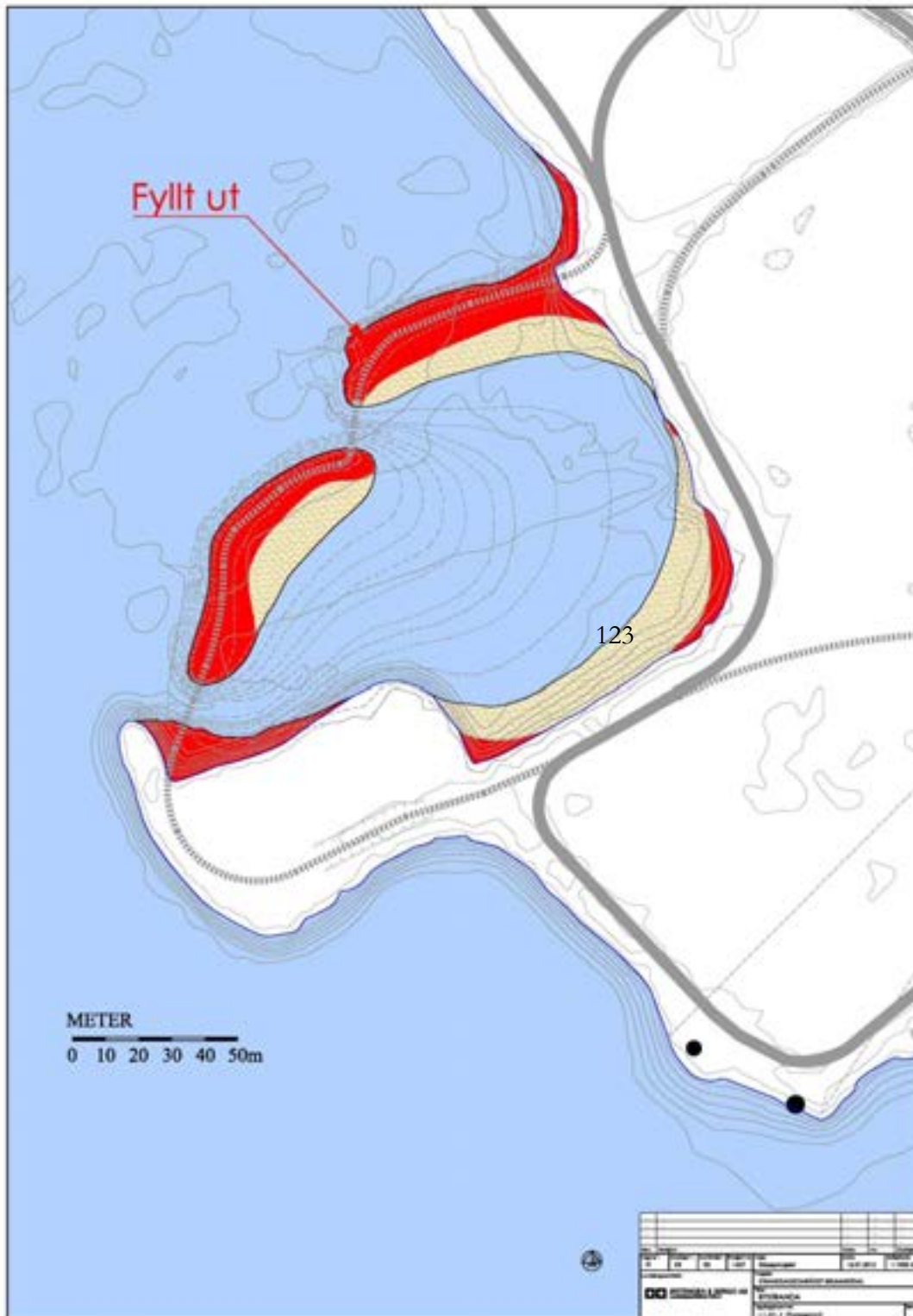
Figur 2. Holmene. Dagens dybdekart, dvs. for utbygging.



Figur 3. Bystranda. Dagens dybdekart, dvs. for utbygging.



Figur 4. Holmene. Det planlegges å lage diverse kunstige holmer og sandstrender. Den innerste bukta i nord blir utvidet. Vannstanden er 123 moh. Strendene når opp til ca. 123,5 moh. og utfyllingene opp til omkring 124-124,5 moh. Mellom enkelte holmer er det bruer, mellom andre steiner for vading.



Figur 5. Bystranda. Det planlegges å lage en kunstig holme samt utfyllinger med sandstrender. Ved vannstand 123 moh. blir bukta et par meter på det dypeste.

1.3 Metode

Metoden for å løse oppgaven er å kombinere simuleringer med en matematisk modell med historiske observasjoner.

Vi har benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS, **Figur 6**. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, inkludert tarmbakterier, vannkvalitet, sedimenttransport, spredning av olje mm. Modellen beregner hva som skjer i innsjøen ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp. Innsjøen ble delt inn i beregningsceller. For hver celle ble resultatene 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://gemss.com/index.html>. Modellen er blant de mest avanserte som finnes. Den er jevnlig brukt verden rundt. Modellen er ved flere anledninger benyttet i Mjøsa Tjomsland, T. og Tryland, I 2007, Tjomsland, T. 2009, Tjomsland mfl. 2012



Figur 6. GEMSS er en pakke med modeller. I sentrum står en hydrodynamisk modell. Det er flere tilleggsmoduler, blant annet sedimenttransport og vannkvalitet.

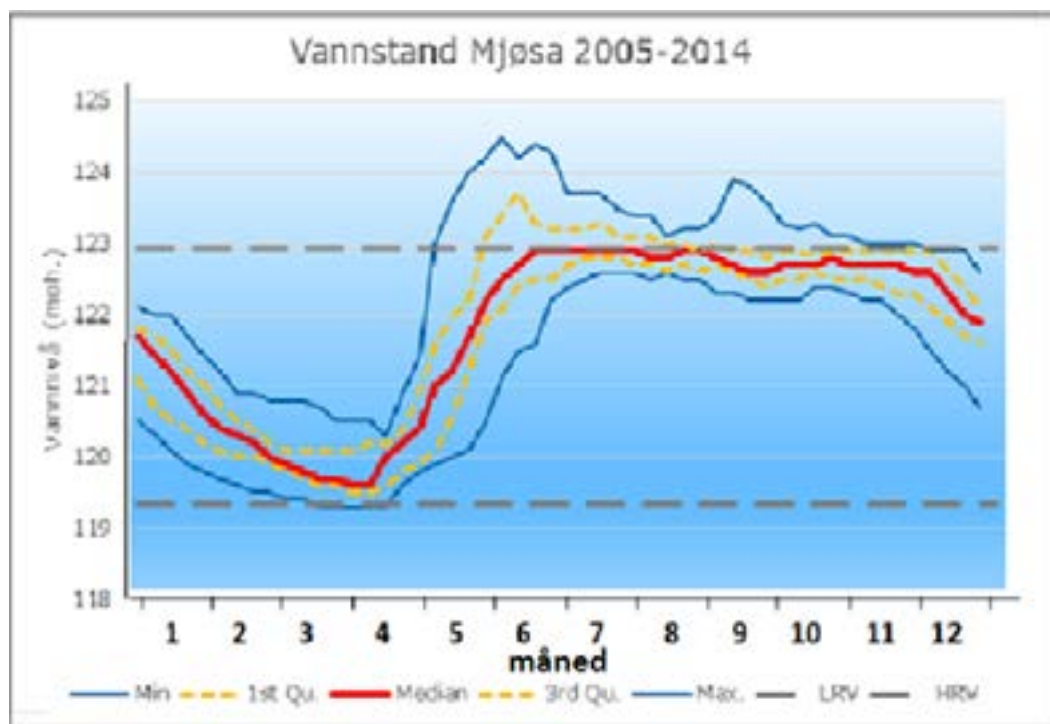
1.4 Vannstand i Mjøsa

Vannstanden i Mjøsa varierer i løpet av året. Dette kan føre til at anlegg som skal lages kan bli liggende under vann ved flom og bli tørrlagt i perioder med lav vannstand. Det er følgelig viktig å ta hensyn til vannstandsendringer ved utformingen av anleggene. Vi vil derfor gjøre en detaljert beskrivelse av forventede vannstandsendringer.

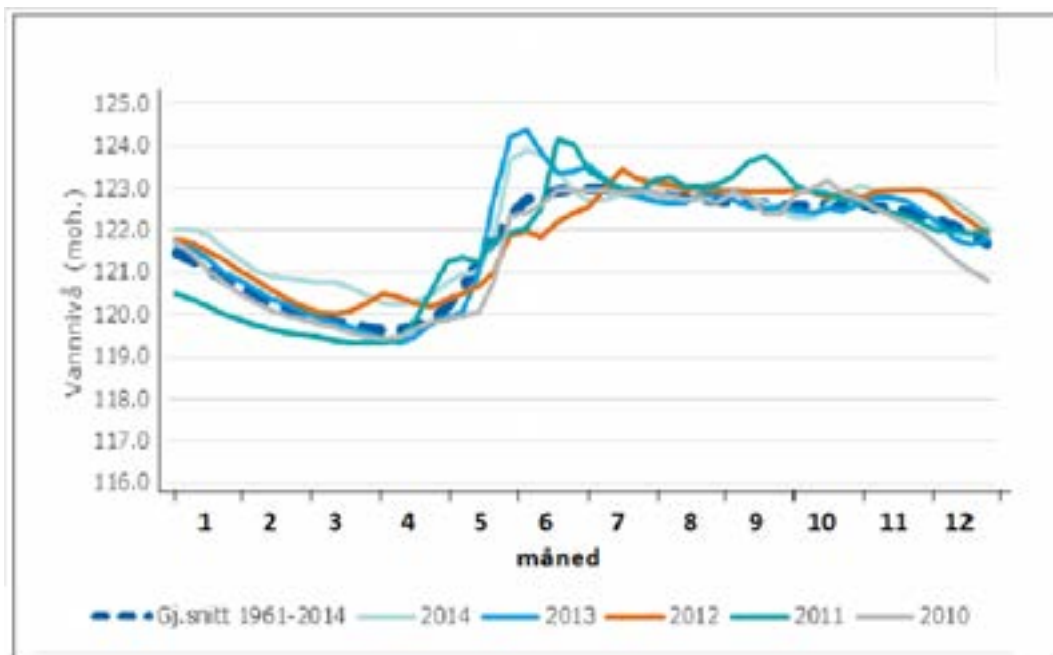
Mjøsa er Norges største innsjø med et overflateareal på 365 km². Største registrerte dyp er 453 m (Pettersson 1997). Innsjøoverflaten blir som oftest oppgitt til å være 123 moh. som er en vanlig forekommende vannstand. Denne varierer imidlertid gjennom året. Mjøsa er i dag regulert med 3,61 m for vannkraftproduksjon ved manøvrering av damlukene ved Svanfoss i utløpselven Vorma. Dette medfører et årvisst mønster i vannhøyde ned mot laveste regulerte vannstand (LVR) på 119,33 moh. i mars april og opp til høyeste regulerte vannstand (HRV) på 122,94 moh. i juni-november), **Figur 7**. De raskeste vannstandsendingene skjer i forbindelse med nedtapping for å produsere kraft i vinterperioden desember-mars og oppfylling under vårmelting og flom i perioden april-juni.

Utenom planlagt tapping og oppfylling medfører ulike nedbørsituasjoner betydelige sesongvariasjoner i vannstand spesielt på sommeren. NVE sitter på 168 sammenhengende år med døgndata på observerte vannstander i Mjøsa (1847-2014). Men siden dagens reguleringshøyde ble vedtatt i 1961 bruker vi data fra perioden etter dette for å danne et representativt bilde av potensielle vannfluktasjoner i Mjøsa i dag. I tillegg til nedbør, blir også vannstanden i Mjøsa påvirket av ytterligere 10 reguleringer lenger opp i nedbørfeltet. Mer fokus på effektkjøring gjør at manøvreringsregimene i seg selv mer kompliserte i dag enn de var tidligere.

Det er tilsynelatende flere og hardere nedbørstopper de siste åra som også medfører hyppigere flommer i Mjøsa enn gjennomsnittet i de siste 50 år. For eksempel viser registrerte vannhøyder i Mjøsa relativt store flommer tre av de siste fem årene (2011, 2013 og 2014), **Figur 8**.



Figur 7. Karakteristiske vannivåer gjennom året i Mjøsa (ukesmidler) for de siste ti årene. (Datagrunnlag fra Glommen og Lågen brukseierforening, GLB).



Figur 8. Vannstand gjennom året de fem siste årene sammenliknet med gjennomsnittet siste 50 år.

Hvilke effekter flom og vannfluktasjoner vil ha for de tilrettelagte friluftsområder som nå planlegges ved Brumunddal avhenger av hvilke tider på året dette inntreffer, varighet og hvorledes strøm og bølger fører til erosjon og transport i strandsonen.

Midlere flomvannstand er 123,5 moh. dvs. 0,5 m over HRV, se **Tabell 1**. Det betyr at i halvparten av årene overstiger vannstanden denne høyden. Hvert 10. år kan man forvente maksimum vannstand på 124,20 moh. og hvert 20. år 124,63 moh. Det betyr at de planlagte holmene og fyllingene for øvrig (ca. 124-124,5 moh.) kan forventes å bli oversvømt i varierende grad med 10-20 års intervall med en varighet på et par uker. Sandstrendene med høyder opp til 123,5 moh. kan forventes å bli lagt under vann annen hvert år. Vannstandskulminasjon forekommer hyppigst i månedene juni og juli, se **Tabell 2**.

Tabell 1. Gjentakelsesintervall for maksimum årlig flomvannstand

Gjentakelsesintervall, år	moh.
2 (middelflom)	123,5
5	123,81
10	124,20
20	124,63
50	125,31
100	125,92

Kilde: Petterson 1997

Ref. høyde: Statens Kartverks høydesystem (NN 1954)

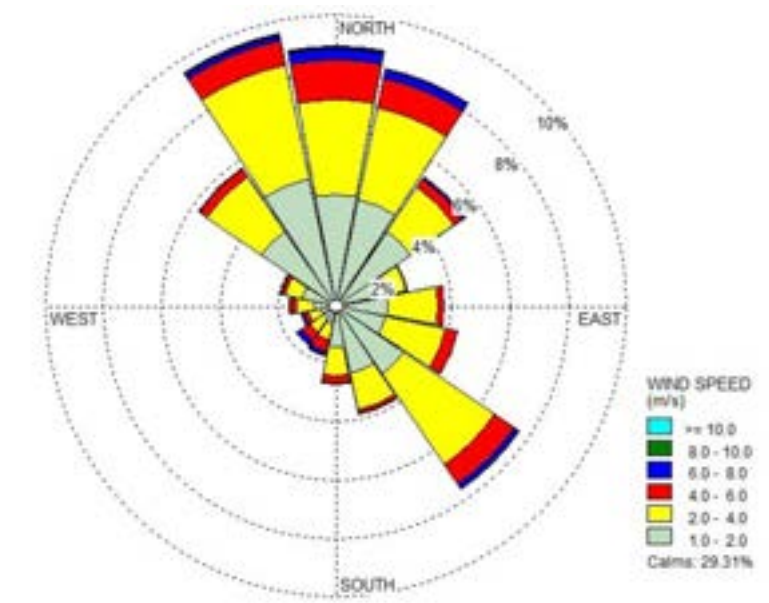
Tabell 2 Tidspunkt for vannstandskulminasjon 1961-1995

Måned	Antall år	Antall år (%)
Mai	3	8,6
Juni	18	51,4
Juli	10	28,5
August	0	0
September	1	2,9
Oktober	3	8,6

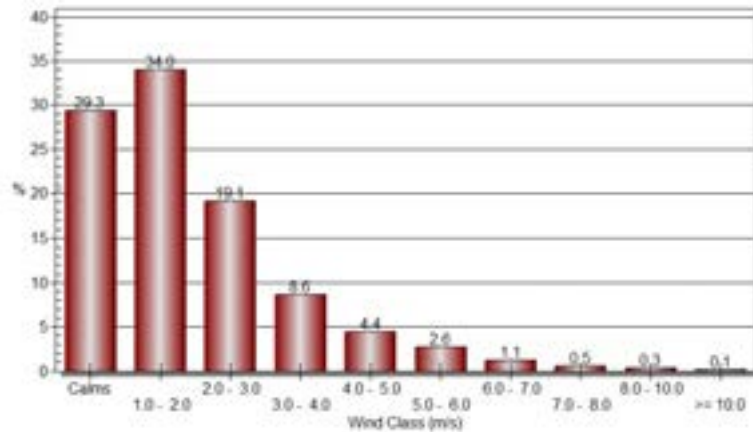
Kilde: Petterson 1997

1.5 Vind

Vi tar utgangspunkt i vindmålinger de siste 30 årene på Meteorologisk institutt sin klimastasjon på Kise på Neshalvøya mellom Hamar og Gjøvik like nord for Helgøya. Verdiene er relatert til 10 meter over bakken. Vinden blåste hovedsakelig fra nordlige retninger og fra sørøst. Andel av tid med vind fra nordlige retninger økte med økende vindstyrke, **Figur 9**. I 29 % av tiden var det rolige forhold med fart under 1 m/s, **Figur 10**. I 63 % og 82 % av tiden var farten under henholdsvis 2 m/s og 3 m/s. I 0,1 % av tiden var farten over 10 m/s. Midlere fart var 1,8 m/s.

**Figur 9.** Vinden blåste hovedsakelig fra nord og fra sørøst.

Data fra Meteorologisk institutt sin klimastasjon på 12550 Kise i Hedmark, fire ganger per døgn.



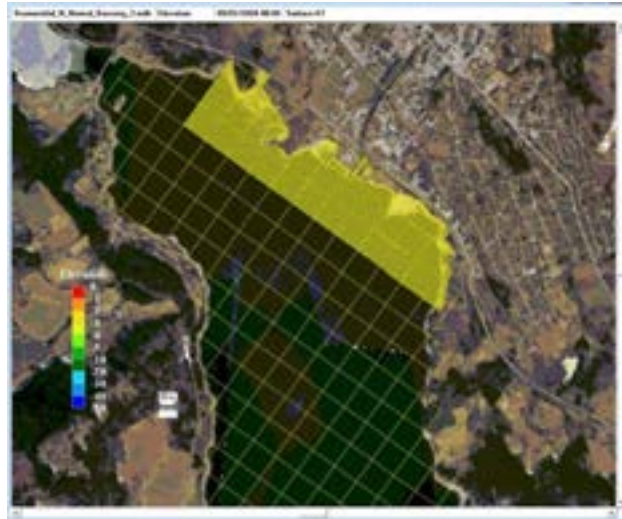
Figur 10. Fordeling av vindstyrke

1.6 Simuleringer

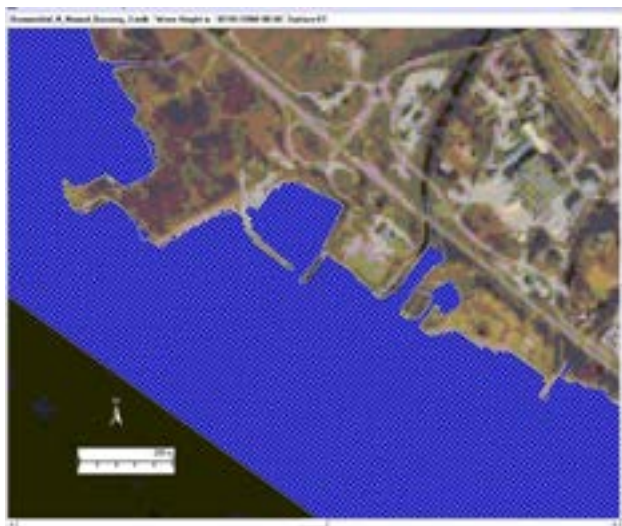
Modellen ble etablert for Mjøsa med vekt på det aktuelle området nær Brumunddal. I dette området benyttet vi et grid/beregningsceller med ca. 10 m x 10 m i horisontal utstrekning og 1 meter vertikalt. Det ble laget scenarier for å beskrive strøm og vannutskifting, bølger, spredning av forurensninger, temperatur mm. ved ulike vindstyrker og vannstander. Det var viktig å vurdere resultatene med hensyn til erosjon og sedimenttransport. Det ble lagtsærlig vekt på å vurdere de to hovedområdene Holmene og Bystranda.

Det ble laget scenarier med vekt på:

1. Strøm, vannutskifting, bølger ved sterk vind og normal vannstand
 2. Strøm, vannutskifting, ved svak vind og normal vannstand
 3. Strøm og bølger ved høy vannstand
- Disse scenariene ble spesielt vurdert angående erosjon og sedimenttransport
4. Påvirkning av bakterier mm. fra Brumunda og Båhusbekken
 5. Påvirkning av temperatur



Figur 11. Det ble laget et grovmasket grid som dekket Furnesfjorden. I det aktuelle området nær Brumunddal var gridet mer finmasket.



Figur 12. I det aktuelle området nær Brumunddal var gridet mer finmasket. Sidene i gridet var ca. 10 m. I dybderetningen var utstrekningen 1 meter.

2. Strøm, bølger, erosjon, transport og vannutskiftning

2.1 Strøm og vannutskiftning ved normal vannstand

Vindstyrken var konstant lik 10 m/s 10 meter over havflaten. Dette var en sterk vind som kun fant sted i 0,1 % av tiden eller til sammen 8 timer per år i følge observasjonene på klimastasjonen på Kise de siste 30 årene. Simuleringer med denne kraftige vinden var ment å påvise eventuelle utsatte områder mht. erosjon og transport av partikler.

Vinden ble antatt å blåse fra Nord (0 grader) i 6 timer, deretter 6 timer fra NØ (45 grader), 6 timer fra Øst (90 grader) osv. Alle vindretninger med intervall på 45 grader ble følgelig representert i løpet av 2 døgn. På slutten av hver 6-timers periode var strømmene representative for gjeldende vindretning.

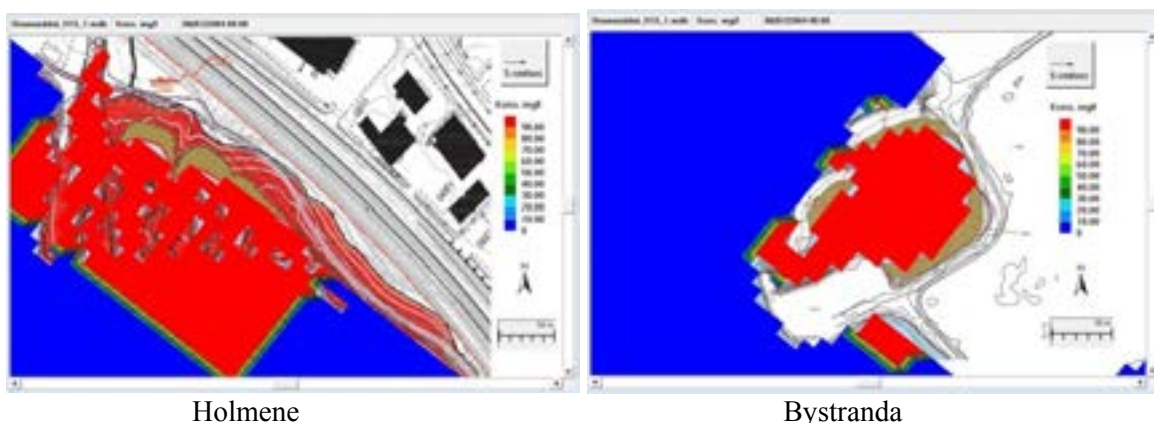
Dernest ble det laget tilsvarende scenarier med svak vindstyrke, 2 m/s som er nær midlere vindstyrke. Disse simuleringene ga informasjon om eventuell dårlig vannutskiftning med opphopning av forurensninger mm.

For å studere vannutskiftningen ble området ved simuleringenes start merket med et tenkt fargestoff med konsentrasjon 100 mg/l, **Figur 13**.

Vannstanden var 123 moh. dvs. normale forhold i løpet av sommeren. Sandstrendene når dermed 0,5 meter over vannlinjen mens de kunstige holmene og øyene blir liggende 1-1,5 meter over vannet.

Det blir senere i rapporten gitt en nærmere vurdering av strøm contra erosjon og sedimenttransport. Det kan imidlertid være hensiktsmessig ved gjennomgangen av de følgende avsnittene å merke seg at strømmene neppe forårsaker problemer ved fart under 10 cm/s.

Dersom ikke annet er nevnt i figurteksten representerer figurene overflaten (0-1 m).



Figur 13. Ved simuleringens start ble området merket med et tenkt fargestoff med konsentrasjon 100 mg/l.

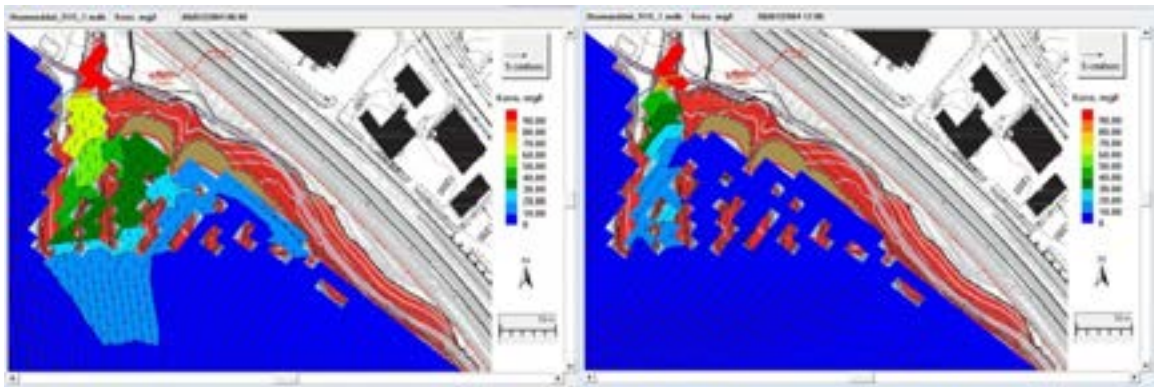
2.1.1 Holmene

I det første scenariet, hovedalternativet, var det anlagt en sammenhengende tange i nordvest. Med unntak av innerst i bukta i nord ble vannet skiftet ut i løpet av noen timer, **Figur 14 - Figur 16**.

Tangen i nordvest dempet effektivt strømmer forårsaket av nordlige vinder. De største hastighetene fant sted ved vind fra sør. Ved den sørlige delen av stranden kom farten opp mot 10 cm/s ellers var farten under 6 cm/s.

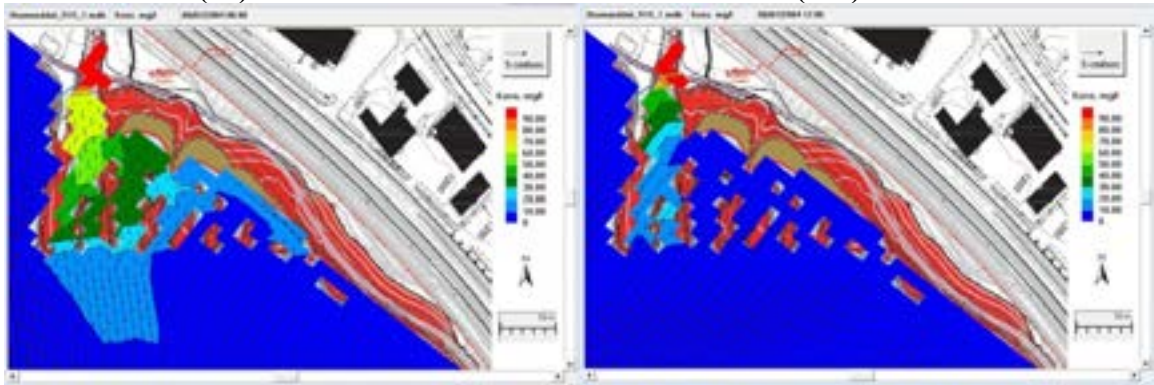
I det neste scenariet ble det laget en kanal gjennom tangen i nordvest, **Figur 17**. Dette førte til små endringer. Innerst i bukta ble det liten vannutskiftning uansett kanal eller ikke.

Tilsvarende scenarier ble laget ved svak vind, vind 2 m/s, som er nær midlere vindstyrke. Vannutskiftningen ble fortsatt overveiende god i området. Det ble liten vannutskiftning innerst i bukta både med og uten kanal, **Figur 18**. Vi må anta at denne bukta kan være utsatt for oppsamling av flytende ting som skrot, oljesøl, alger og muligheter for å etablere fastsittende begroing. Den foreslåtte utvidelsen innerst i bukta vil påvirke dette forholdet i gunstig retning.



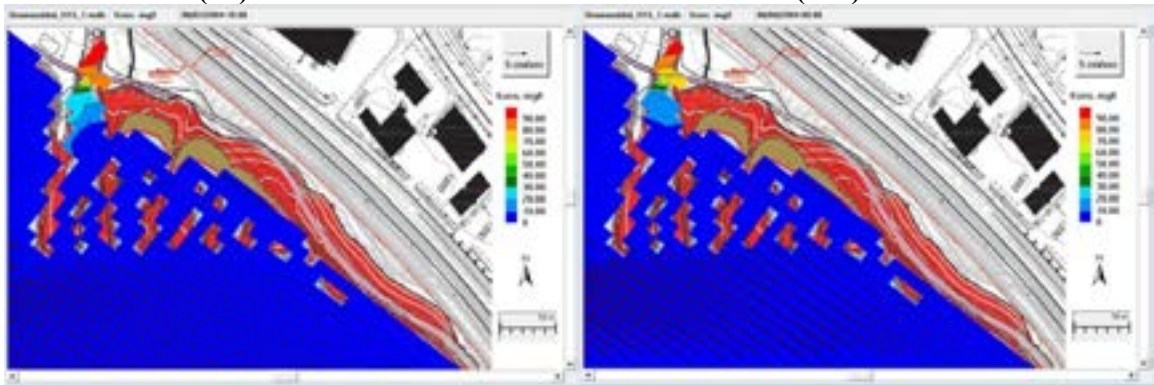
Vind fra Nord (0 °)

Vind fra NØ (45 °)



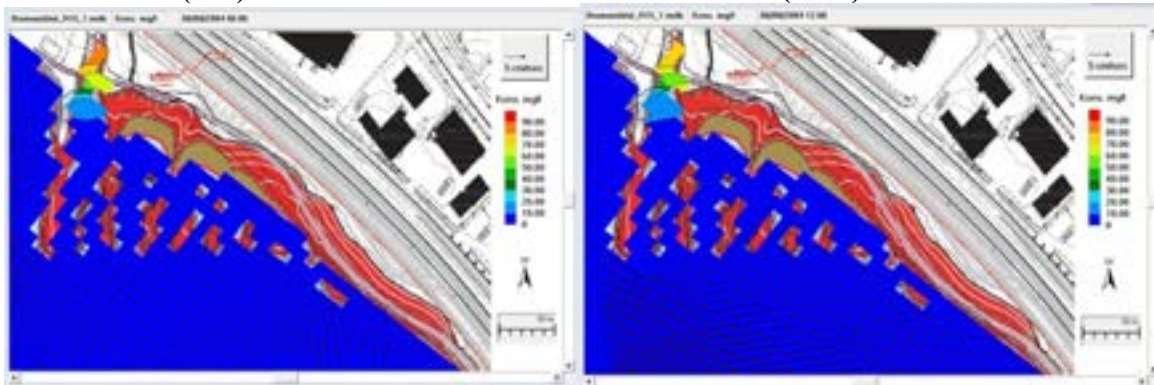
Vind fra Nord (0 °)

Vind fra NØ (45 °)



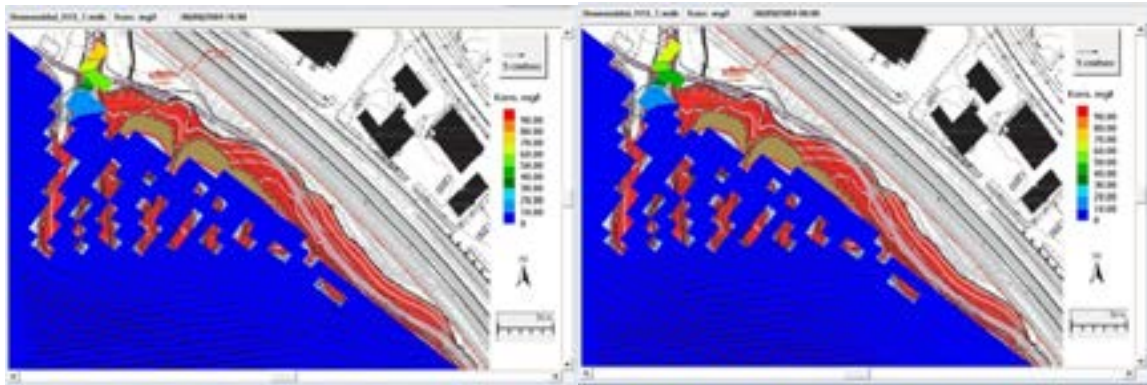
Vind fra Vest (90 °)

Vind fra SØ (135 °)



Vind fra Sør (180 °)

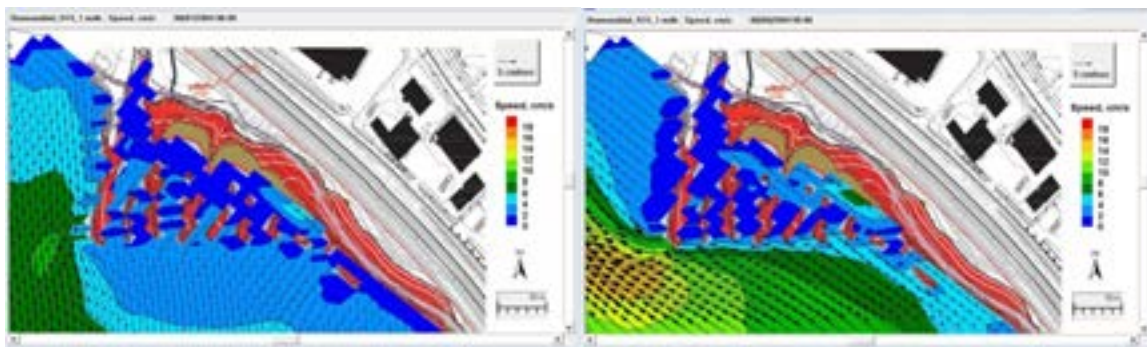
Vind fra SV (225 °)



Vind fra Vest (270 °)

Vind fra NV (335 °)

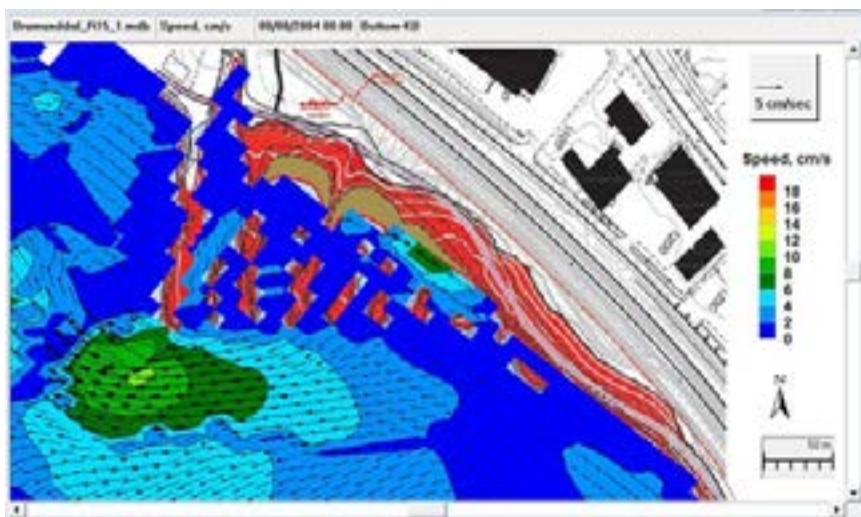
Figur 14. Holmene. Strøm og vannutskifting ved sterk vind, 10 m/s. Med unntak av innerst i bukta i nord ble vannet skiftet ut i løpet av noen timer.



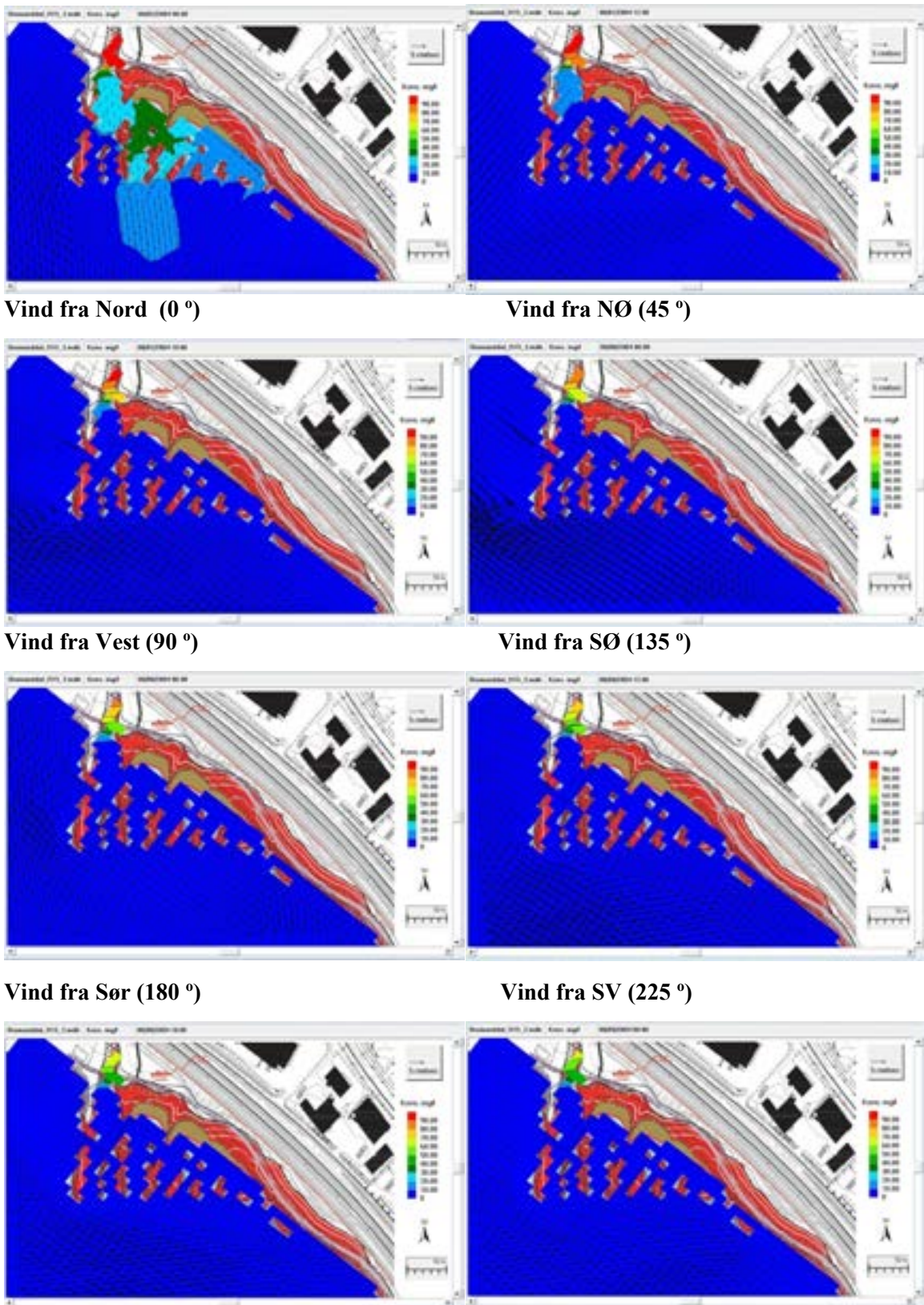
Vind fra nord

Vind fra sør

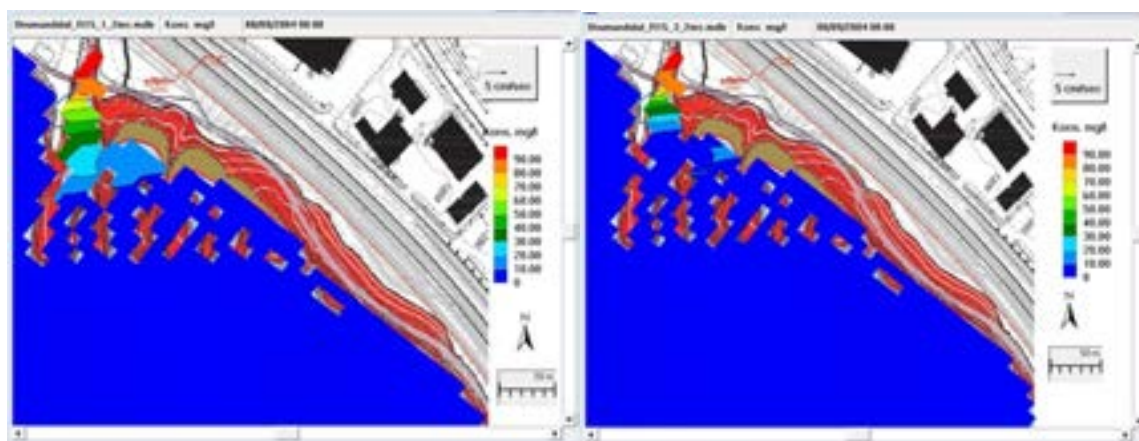
Figur 15. Holmene. Vind 10 m/s. Strøm og fargeskalert fart i overflaten. Ved den sørlige delen av stranden kom farten opp mot 10 cm/s ellers var farten under 6 cm/s.



Figur 16. Holmene. Strøm og fargeskalert fart langs **bunnen** (Obs. Bunnen har varierende dybde.) Ved den sørlige delen av stranden kom farten opp mot 10 cm/s ellers var farten under 6 cm/s.



Figur 17. Holmene ved åpning i tungen i nord. Det ble små forskjeller i forhold til scenariet uten åpning i tungen.



Vind fra Vest (270 °)

Vind fra NV (335 °)

Figur 18. Holmene. Svak vind 2 m/s. Liten vannutskiftning innerst i bukta uansett åpning i halvøya eller ikke.

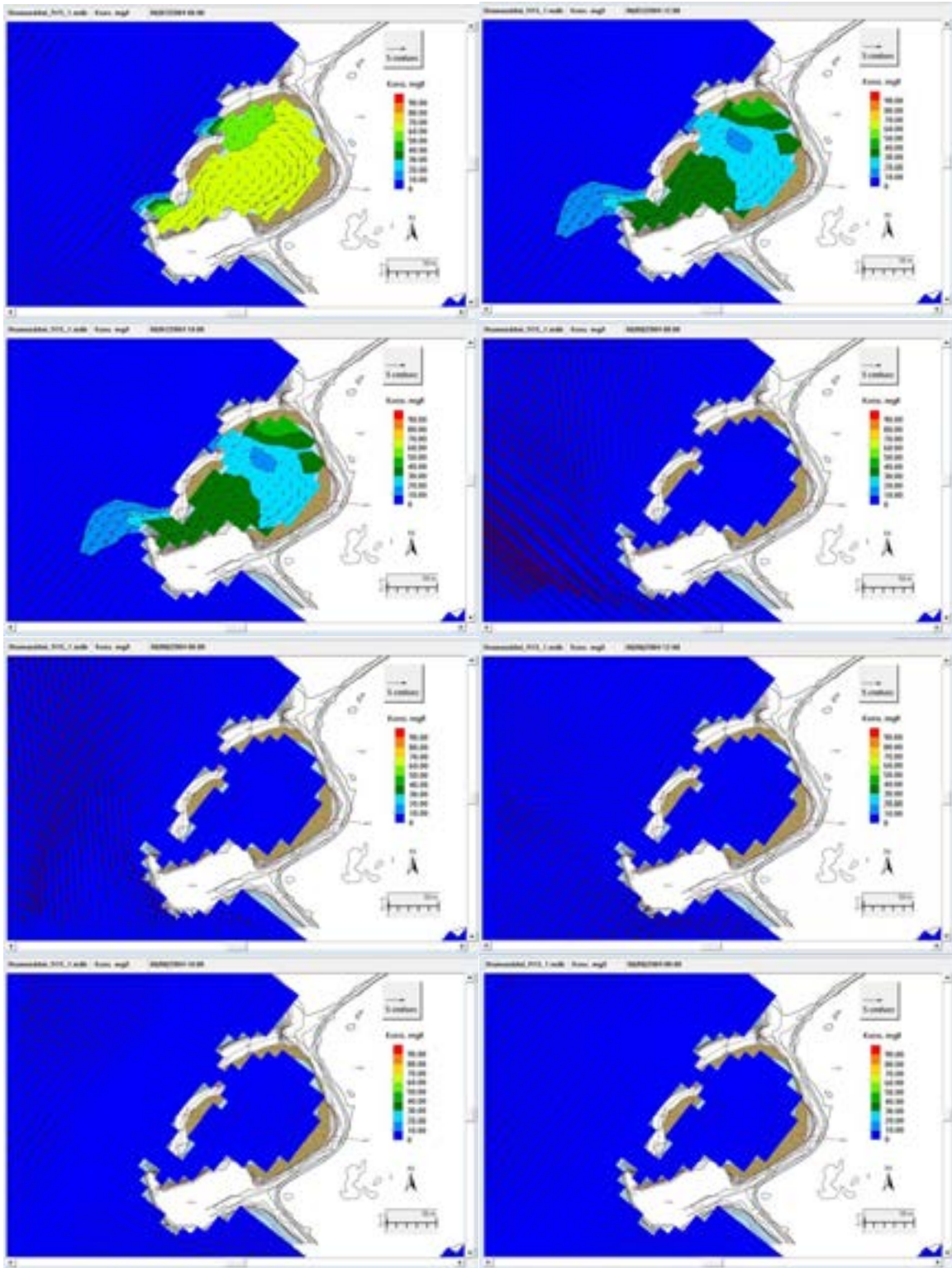
2.1.2 Bystranda

I det første scenariet, hovedscenariet, var det anlagt to åpninger i bukta. Vinden var 10 m/s. Vannet inne i bukta ble fornyet i løpet av et døgn. Farten på strømmene var under 4 cm/s, **Figur 19** og **Figur 20**. Odden i sørvest og øya utenfor bukta reduserte strømmenes fart betydelig. Vest for odden var farten spesielt stor, 10-20 cm/s.

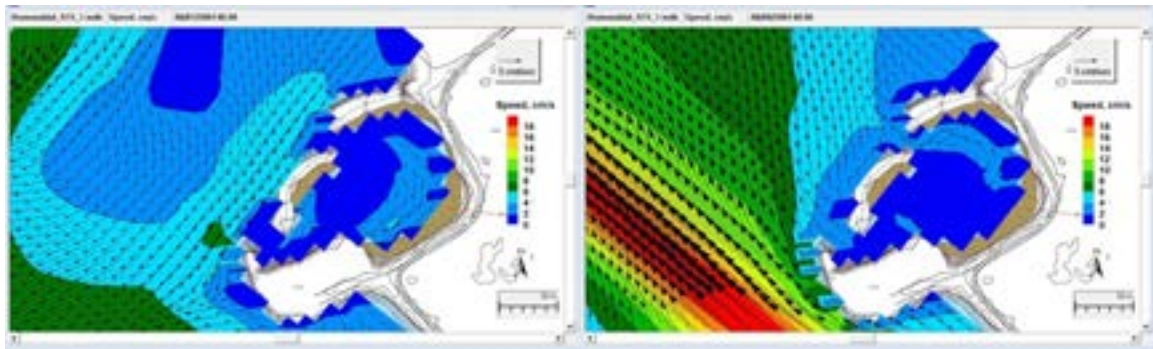
Ved kun å anlegge en åpning i bukta ble farten på strømmene i bukta av samme størrelse som ved to åpninger, **Figur 21** og **Figur 22**. Kun nær åpningene ble det nevneverdige forskjeller. Ved vind på 10 m/s ble mer enn 70 % og 60 % av vannet skiftet ut i løpet av to døgn ved kun en åpning henholdsvis i nord og sør.

Eventuelle problemer mht. vannutskiftning blir mer synlige ved svak vind. Ved svak vind, 2 m/s, ble ca. 50 % av vannet innerst i bukta byttet ut i løpet av to døgn ved to åpninger. Ved åpning kun i sør ble tilsvarende vannutskiftning redusert til ca. 20 %, **Figur 23**. En åpning vil kunne føre til større opphopning av flytende materiale innerst i bukta enn om det blir laget to åpninger.

Bystranda. Svak vind, 2 m/s. Ved kun å benytte en åpning ble vannutskiftningen redusert. Etter to døgn ble nær 50 % av vannet ikke fornyet i scenariet med to åpninger i bukta. Ved kun en åpning i sør besto over 80 % av det opprinnelige vannet, **Figur 23**.



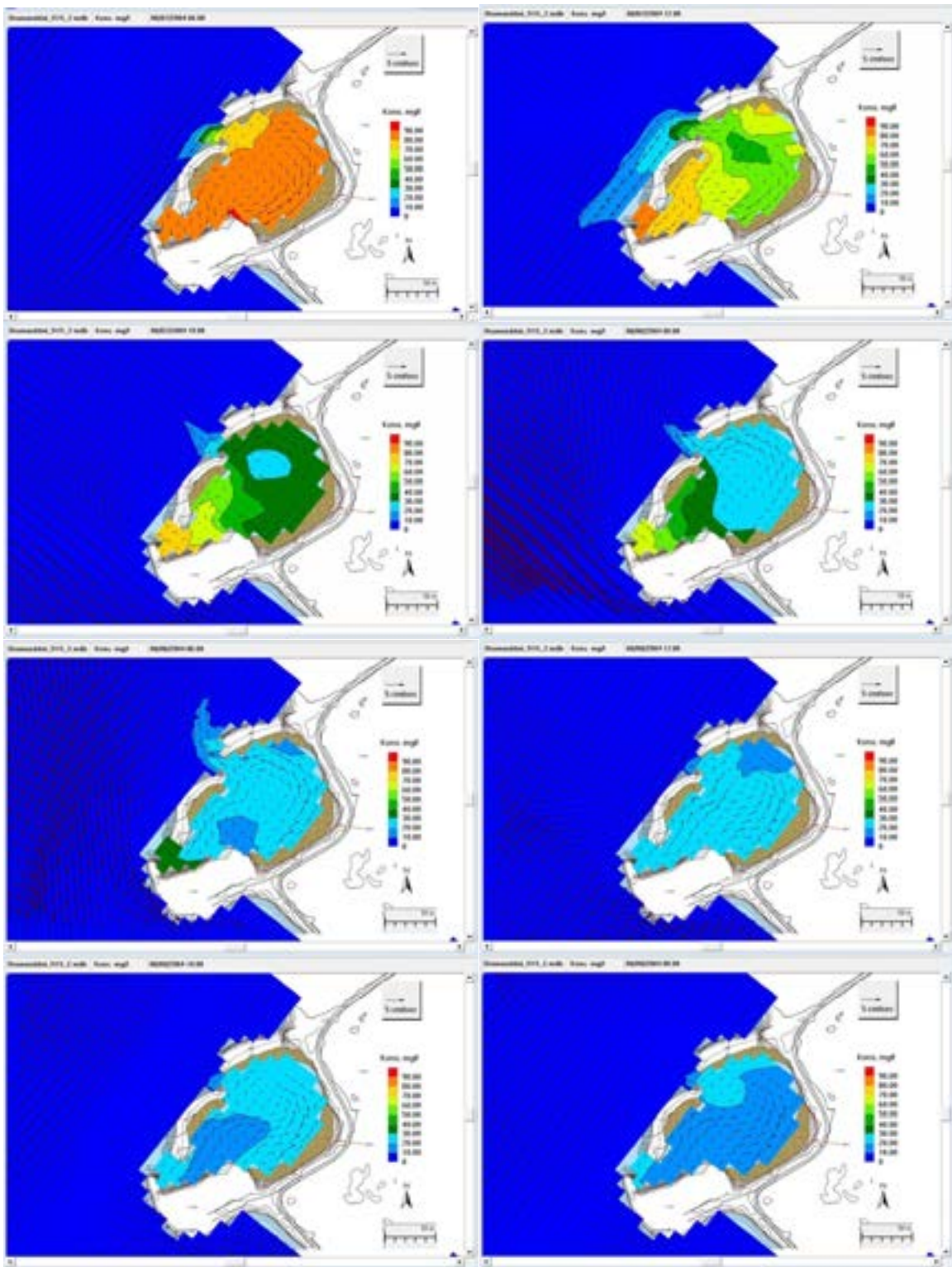
Figur 19. Bystranda. Vind 10 m/s. Vannet inne i bukta ble fornyet i løpet av et døgn. Farten på strømmene var under 4 cm/s.



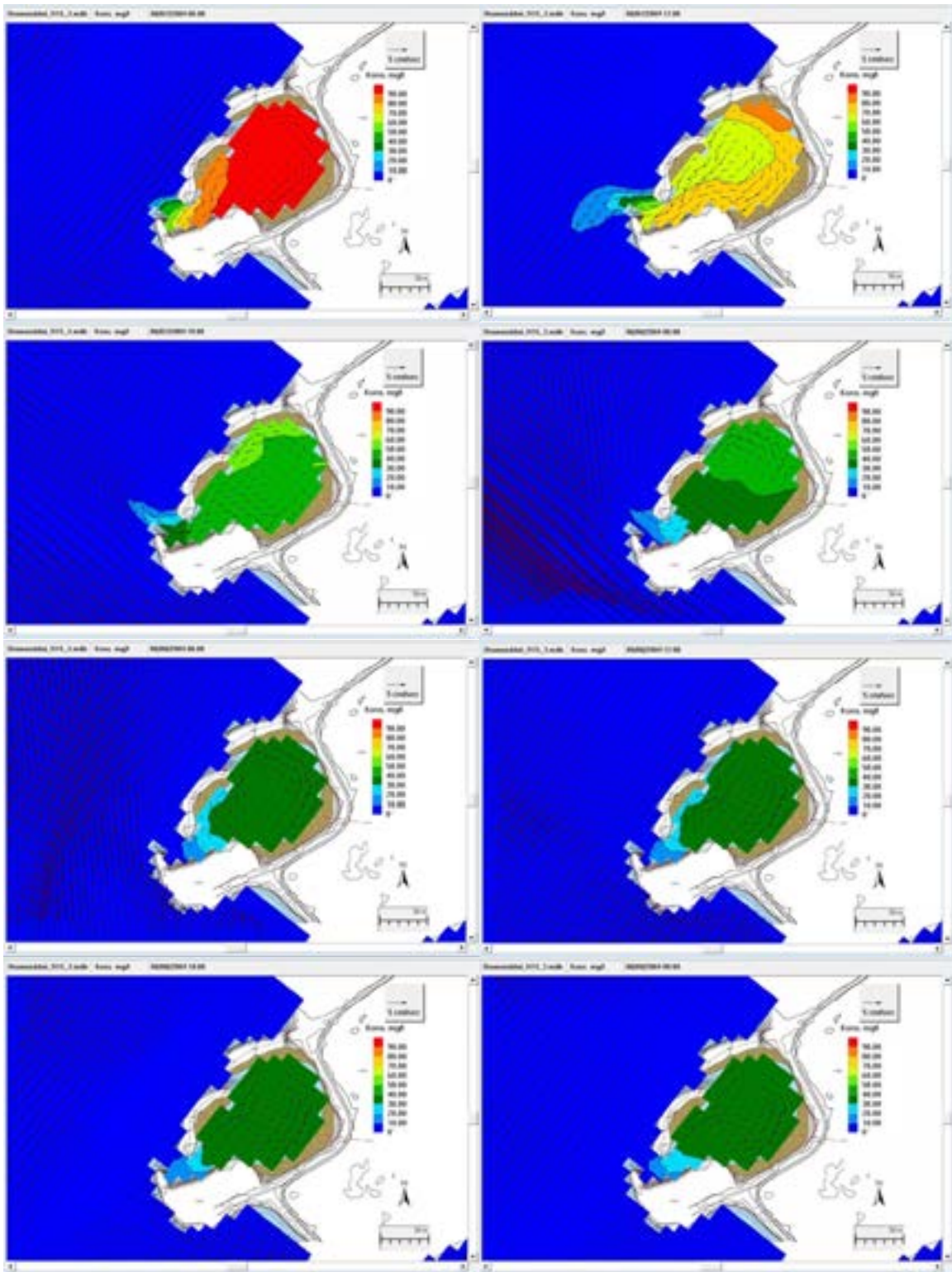
Vind fra nord

Vind fra sørvest

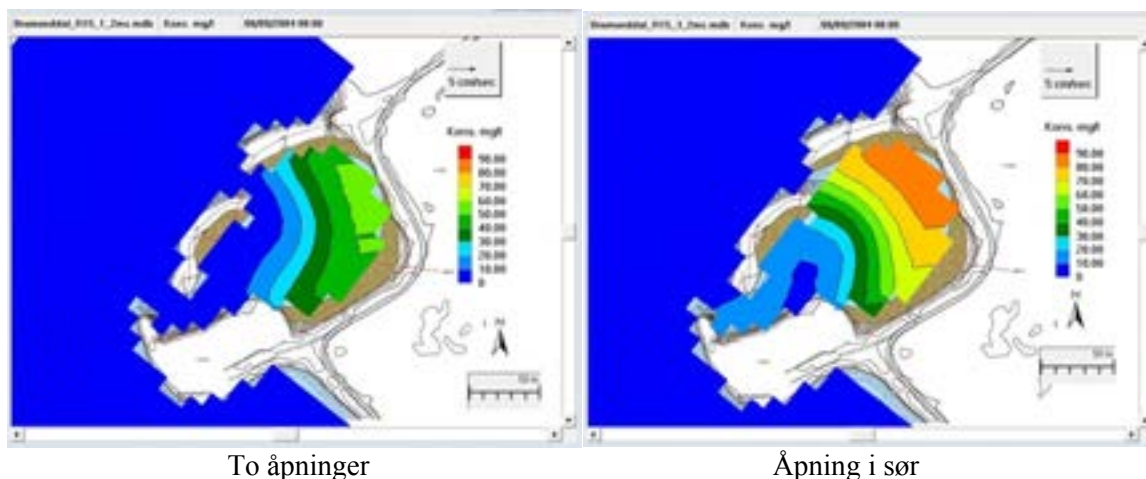
Figur 20. Vind 10 m/s. Strøm og fargeskalert fart i overflaten. Farten inne i bukta var under 4 cm/s.



Figur 21. Bystranda med kun åpning i nord. Vind 10 m/s. I løpet av to døgn ble mer enn 70 % av vannet skiftet ut. Farten på strømmene var under 4 cm/s.



Figur 22. Bystranda med kun åpning i sør. Vind 10 m/s. I løpet av to døgn ble mer enn 60 % av vannet skiftet ut. Farten på strømmene var under 4 cm/s.



Figur 23. Svak vind, 2 m/s. Innerst i bukta ble ca. 50 % av vannet byttet ut i løpet av to døgn ved to åpninger. Ved kun åpning i sør ble tilsvarende vannutskiftning redusert til ca. 20 %.

2.2 Strømforhold ved flomvannstand

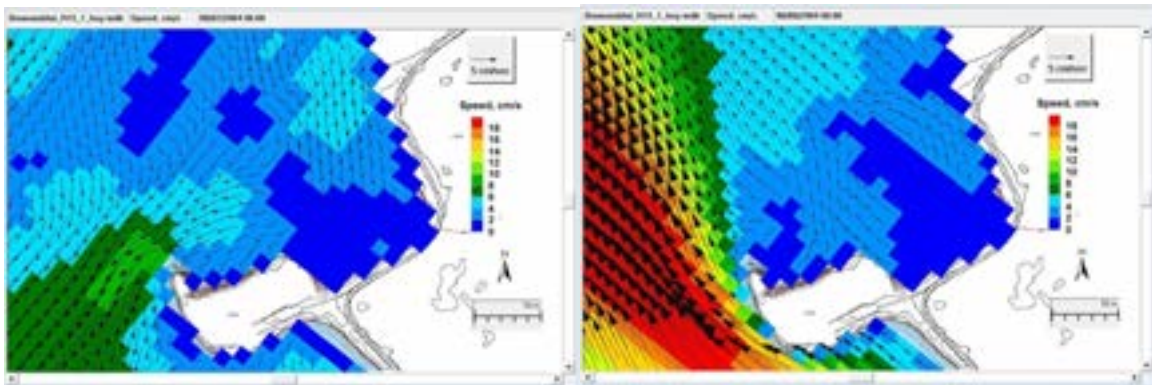
I de forgående scenariene var vannstanden 123 moh., hvilket tilsvarer normale forhold om sommeren. Imidlertid forekommer de høyeste observerte flomvannstandene også om sommeren. Kan ekstremt høye vannstander føre til strømmer som forårsaker erosjon og ødelagte strender og anlegg?

Vannstanden ble satt lik 125 moh. Til sammenlikning er 20-års flommen beregnet til å være 124.6 moh. og 50-års flommen 125,3 moh. I modellen var denne vannstanden 0,5 - 1 meter over holmene og fyllingene og 1,5 meter over strendene.

Vinden ble antatt å være 10 m/s. Retningene ble, som i de forgående scenariene, endret 45° med 6 timers intervall slik at alle himmelretningene blir dekket i løpet av to døgn.

I området ved Bystranda ble strømmens fart betydelig redusert fra åpent vann lenger ut, til under 6 cm/s langs den oversvømte øya og strendene inne i bukta, **Figur 24** og **Figur 25**.

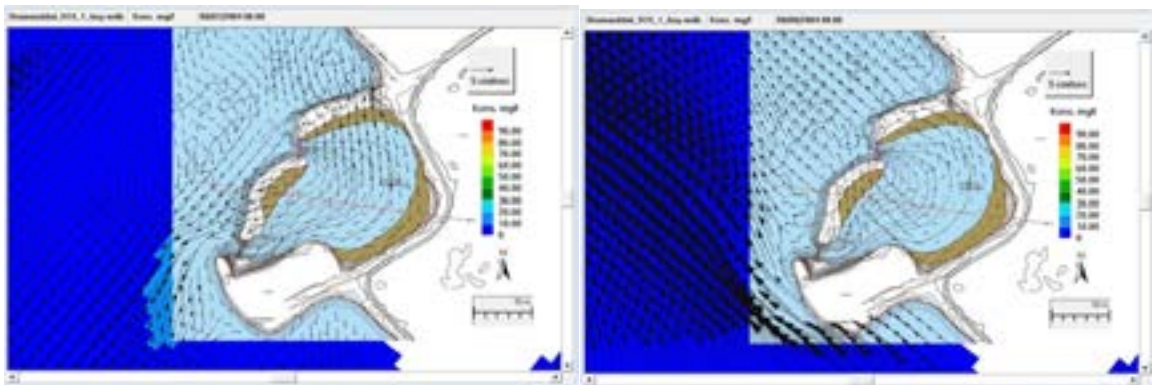
Ved nordlige vinder ble strømmenes fart ved Holmene betydelig redusert fra åpent vann lenger ut pga. tangen og holmene for øvrig, **Figur 26** og **Figur 27**. Farten på overflatestrømmene var under 6 cm/s. Ved vind fra sørvest ble farten ble nær 10 cm/s ved de oversvømte strendene/fyllingene og over 10 cm/s over de ytre delene av holmene. **Figur 28** viser strømmene langs bunnen. I tillegg til i strandsonen er det disse strømmene som eventuelt kan ha eroderende virkning på partikler. Bunnstrømmenes fart ble nær 10 cm/s ved strendene og fyllingene langs land samt på toppen av Holmene. Fart over 10 cm/s fant sted på toppen av tangen i nordvest.



Vind fra nord

Vind fra sørvest

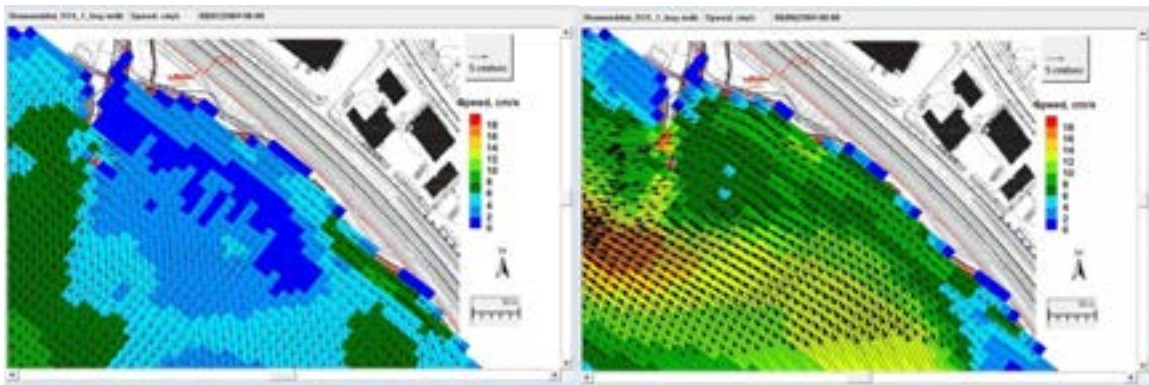
Figur 24. Bystranda. Vind 10 m/s. Vannstand 125 moh. dvs. ca. 1 meter over fyllingene. Strømmenes fart (jfr. fargeskalaen) ble redusert fra åpent vann lenger ut, til nær 5 cm/s langs de oversvømte strendene inne i bukta.



Vind fra nord

Vind fra sørvest

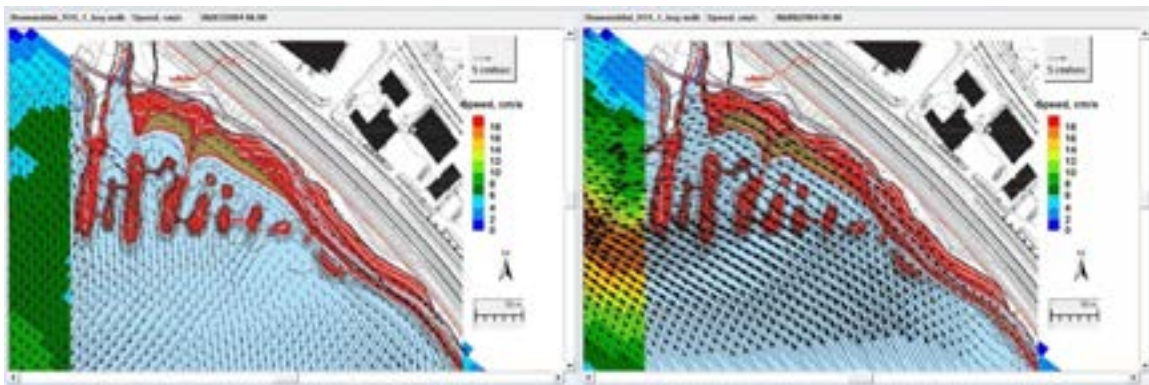
Figur 25. Samme figur som over, men ved inntegrede holmer og strender som er under vann.



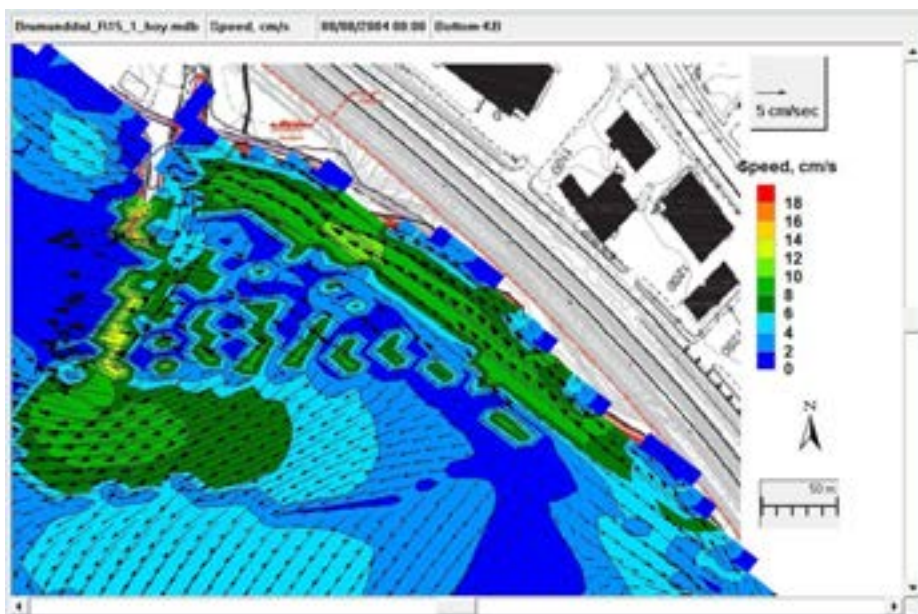
Vind fra nord

Vind fra sørvest

Figur 26. Holmene. Vannstand 125 moh. dvs. ca. 1 meter over fyllingene. Strømmenes fart (jfr. fargeskalaen) ble redusert fra åpent vann lenger ut pga. holmene under vann. Ved vind fra sørvest ble farten ble nær 10 cm/s ved oversvømte strendene/fyllingene og over 10 cm/s over de ytre delene av holmene.



Figur 27. Samme figur som over, men ved inntegrede holmer og strender som er under vann.



Figur 28. Holmene. Vind fra sørvest 10 m/s. Strøm og fargeskalert fart langs **bunnen** (Obs. Bunnen har varierende dybde.) Strømmenes fart er nær 10 cm ved strendene og Holmene. Fart over 10 cm/s fant sted på tangen i nordvest.

2.3 Hvordan påvirkes anleggene mht. erosjon og transport av partikler

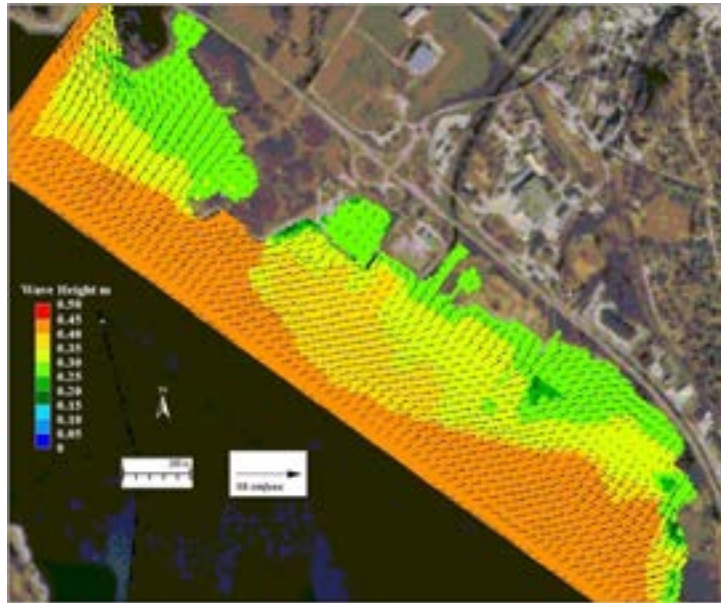
Bølger

Naturlig erosjon på strender skyldes ofte 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 med påfølgende "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 og transport. Det avgjørende for om stranden blir utsatt for tap av sand er om disse partiklene kan bli transportert videre utover på tilstrekkelig dypt vann til at de blir permanent fjernet fra stranden

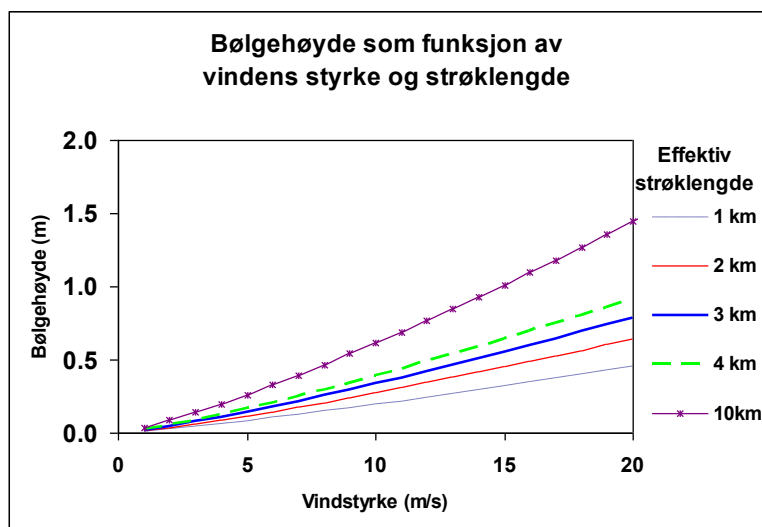
Bølgene forplanter seg med hastighet, høyde og bølgelengde avhengig av vindens hastighet og vindens strøklengde. Den enkelte vannpartikkel beveger seg i en elliptisk bane i vertikalplanet. (Horisontal forflytning skyldes strøm). Er det tilstrekkelig grunt, kan denne elliptiske bevegelsen føre til erosjon og forflytning av bunnsedimentene. Vedvarende angrep av bølger har tendens til å gjøre sedimentene gjennombløte og utsatt for sig.

De planlagte områdene synes godt beskyttet mot bølger med dagens dybdeforhold. Simulerte bølgehøyde på over 40 cm ved en vindstyrke på 10 m/s ble redusert til under 30 cm i de aktuelle utbyggingsområdene Bystranda og Holmene, **Figur 29**. I følge **Figur 30** forventes bølgehøyden ikke å overstige 0,5 m før de bryter mot grunnere områder. Ved den planlagte utbyggingen vil bølgehøyden bli ytterligere redusert i forhold til i dag. Ved normal vannstand forventes bølgehøyden å bli under et par desimetere og ved flomvannstand neppe over 30 cm tilsvarende dagen forhold.

Vi forventer at bølgene får liten eroderende virkning i bukta ved Bystranda og indre deler av Holmene området. Sannsynligvis vil båttrafikk kunne forårsake vel så store bølger. I de ytterste delene av Holmene området og øya ved Bystranda bør man ta hensyn til bølgevirksomhet ved å bruke grov fyllmasse, f.eks. stein. Vedvarende bølgevirksomhet vil vanligvis få en eroderende virkning i løsmateriale. Ved stigende vannstand vil hele området legges under vann. Følgelig vil et hvert punkt kunne bli utsatt for bølgevirksomhet. Vi kan ikke kvantifisere erosjonseffekten av dette. Bølgenes størrelse tyder imidlertid på at effekten liten.



Figur 29. Normal vannstand ved dagen dybdeforhold. Simulert bølgehøyde ved vind fra nordvest 10 m/s. Bølgehøyde på omkring 40 cm ble redusert til når de nådde de grunne områdene langs land.



Figur 30. Sammenheng mellom vindstyrke, strøklengde og bølgehøyde. Kilde: Beach Erosion Board 1972

Menneskelig påvirkning

Menneskelige aktiviteter på stranden samt på bunnen i grunne områder, eventuelt også av båttrafikk, kan føre til erosjon. Partiklene kan virvles opp og transporteres nedover stranden. Vi vil få en transport utover i bukta. Vi kan ikke kvantifisere denne effekten. Transporten nedover er avhengig av kornstørrelse og gradient. Slak helning vil redusere transporten, likeså økende kornstørrelse. Det avgjørende er om strømmene er tilstrekkelig store til å transportere disse partiklene videre utover og eventuelt ut av bukta.

Strøm

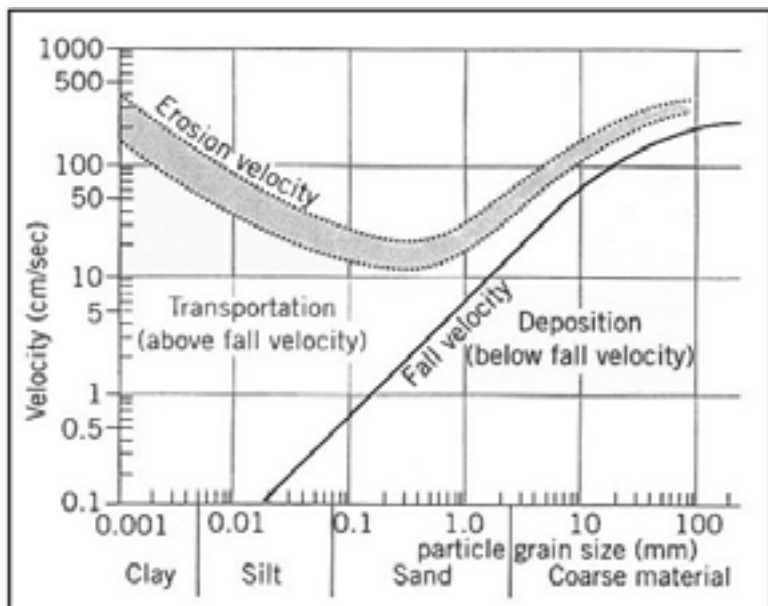
I hvilken grad kan de vinddrevne strømmene erodere og transportere partikler? For bunntransport i elver basert på midlere strømhastighet kan man nytte Hjulstrøms kurver, **Figur 31**. Dette har også gyldighet for erosjon og transport av partikler som ligger i strandsonen under vann.

For simuleringene gjaldt at strømhastighetene langs bunnen sjeldent var over 6 cm/s. Slike hastigheter er for små til å ha eroderende virkning uansett kornstørrelse, men kan transportere partikler som allerede er satt i bevegelse opp til en diameter på ca. 0,750 mm, dvs. grov sand. Det vil si at med valg av større kornstørrelser vil disse være bestandig mot erosjon og transport som følge av strøm ved normal vannstand.

Ved høy vannstand, 125 moh., ble deler av Holmene området utsatt for hastigheter på omkring 10 cm/s og enkelte steder opp mot 15 cm/s. Dette er i følge Hjulstrøms diagram neppe tilstrekkelig til å forårsake erosjon, men kan transportere korn med diameter på 2 mm. Det vil derfor være gunstig å benytte grovere materiale i de ytre delene av holmene og øya ved Bystranda samt også på toppen av holmene. I de indre delene av holmene vil korn med diameter på 2 mm være bestandig. Høy vannstand som oversvømmer holmene (124-124,5 moh.) forventes å forekomme med 10-20 års mellomrom. Dette må skje samtidig med kraftig vind som i snitt neppe har en varighet på ett døgn i løpet av året og som i tillegg må blåse fra sør. Hendelsen vil ventelig inntreffe meget sjelden.

Ved lav vannstand, f.eks. 122 moh., blir en større del av bunnen tørrlagt. Forholden forventes da å bli tilsvarende som ved 123 moh. Kornstørrelser over 0,750 mm vil fortsatt ikke bli transportert av strømmene.

Vannstanden er lavest om vinteren. I et middelår vil bukta ved Bystranda og mesteparten av Holmene området bli tørrlagt. Dette kan forårsake noe nedover rettet transport pga. regn og dannelse av konsentrerte «bekkeløp». All masse, særlig vannholdig masse, vil få et sakte sig mot lavere nivåer. Vi kan ikke kvantifisere betydningen av dette. Bruk av grovt materiale og slak helning vil dempe denne effekten.



Figur 31. Hjulstrøms kurver for erosjon og transport av partikler

Tabell 3. 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

Konklusjoner

Erosjon i strendene og de øvrige fyllingene vil trolig skyldes menneskelige påvirkning ved bruk av området sammen med bølgevirksomhet og naturlig sig i vannholdig masse. Strømmene vil neppe ha eroderende virkning.

På yttersiden av holmene/øyene, dvs. mot åpent vann slik at områdene er utsatt for bølger og de største strømhastighetene, anbefales bruk av grovt materiale som blokker, stein og grus. Ved å bruke tilsvarende materiale på toppen av holmene/øyene/utfyllingene sikrer man seg mot erosjon og transport av materialet i sjeldent forekommende flomsituasjoner samt også ved regn og menneskelige aktiviteter. Områdene kan eventuelt sikres ytterligere ved å så gress eller plante annen vegetasjon.

På sandstrendene og eventuelt i deler av bunnen ved Holmene, vil partikler med diameter over 1,5 mm ikke bli transportert i følge Hjulstrøms diagram. For Bystranda blir tilsvarende tall 0,75 mm. Vi

anbefaler å bruke «meget grov sand», dvs. korn med diameter 1-2 mm for områdene ved Holmene. Bruk av mindre kornstørrelser kan også gå bra, men risikoen for økt tap vil være større. For Bystranda bør «grov sand», dvs. diameter 0,5-1 mm være tilstrekkelig.

Fyllingene er planlagt å bli anlagt opp til 124-124,5 moh. og sandstrendene opp til 123,5 moh. I følge de historiske vannstandsobservasjonene sammenholdt med simulerte resultater, er dette en bra utforming. Anleggene er godt tilpasset en vannstand på 123 moh. I følge de historiske vannstandsobservasjonene er det små avvik fra denne vannstanden i juli-august. De største avvikene de siste 10 årene er mindre enn 0,5 m. Dvs. at det er meget sjeldent at sandstrendene blir liggende under vann i badesesongen. Ved laveste observerte vannstand i denne perioden, 122,5 moh., vil fortsatt det meste av bukta ved Bystranda og mellom arealene i områdene ved Holmene være dekket med vann.

De høyeste vannstandene finner vanligvis sted på forsommeren før badesesongen. Det er i denne perioden sannsynligheten er størst for at det kan oppstå problemer med erosjon. Med den nåværende utformingen vil holmene og fyllingene forventes å bli lagt under vann i snitt hvert 20. år (20-årsflom: 124,6 moh.). Ved valg av tilstrekkelig grovt materiale vil dette i følge beregningene neppe være problematisk. Ønsker man å øke sikkerheten ytterligere kan høyden på holmene økes med 0,7 m slik at gjentagelsesintervallet for oversvømmelse blir 50 år (50-års flom: 125,3 moh.). Om man skulle velge å øke høyden på holmene for å oppnå en ekstra sikkerhet i forhold til beregningene, bør tangen vest i Holmene området prioriteres.

Det er planlagt å forbinde enkelte av holmene med bruer. Høyden over havet avgjør hvor ofte disse vil bli liggende under vann, **Tabell 1**. Velger man å lage bruer som i blant blir liggende under vann bør disse i følge simuleringene tåle strømmer på omkring 10 cm/s kombinert med bølgehøyder på noen desimeter. For sikkerhet skyld bør disse tallene justeres noe opp, f.eks. strøm på 15 cm/s og bølgehøyde på 0,5 m.

Mellom andre holmer er det tenkt å legge steiner som kan benyttes til vading. I følge beregningene er dette uproblematisk. Steiner vil ikke bli erodert eller forflyttet som følge av strøm og bølger. Forutsetningen er at fundamentet for steinene er tilstrekkelig solid, f. eks. består av mindre steiner. Sannsynligvis vil en grøft fylt med mindre steiner være et bra fundament.

Tråkk fra mennesker, regn og sig i fuktig materiale vil alltid føre til nedover rettet transport på strendene. Dette blir redusert ved å nytte slake gradienter og grovt materiale.

Det er planlagt å lage mindre utfyllinger nord for Båhusbekken, på begge sider av Brumunda og mellom Brumunda og Holmene, **Figur 1**. Vi kan ikke se at dette vil få noen betydning for strømningsmønsteret og tilhørende erosjon og spredning av forurensninger. Utvidelse av bukta innerst og lengst nord i Holmene området vil rimeligvis ha en positiv effekt mht. økt vannutskiftning. Vannutskiftningen der vil imidlertid fortsatt være dårlig med sannsynlig oppsamling av flytende materiale.

3. Påvirkning av forurenset vann fra Brumunda og Båhusbekken

Det ble laget scenarier for å få kjennskap til i hvilken grad vann fra Brumunda (mellom Bystranda og Holmene) og Båhusbekken (like nord for Bystranda) kan påvirke badeplassene og eventuelt forurense disse.

Vannføringen i Brumunda ble satt lik middelvannføringen på 3 m³/s og i Båhusbekken 0,1 m³/s. Vannet fra disse to tilførselene ble merket med et tenkt konservativt (bestandig) stoff med konsentrasjon 100 mg/l. De resulterende konsentrasjonene i badeområdene kan også tolkes som andel vann (%) fra de to tilførselskildene.

Vindstyrken ble satt lik 10 m/s og i likhet med de forgående scenariene ble denne systematisk endret med 45 ° hver 6. time inntil alle himmelretningene ble dekket i løpet av to døgn.

Holmene ble sterkt påvirket av vann fra Brumunda ved vind fra nord med konsentrasjoner omkring 50 mg/l, **Figur 32**. Det betyr at omkring 50 % av badevannet besto av vann som opprinnelig kom fra Brumunda i løpet av det siste døgnet. Kanal gjennom tangen i nordvest økte påvirkningen av vann fra Brumunda i betydelig grad, **Figur 33**. Ved vind fra sør ble disse områdene lite påvirket. Holmene ble ikke påvirket av vann fra Båhusbekken i nevneverdig grad.

Bystranda ble påvirket av vann fra Båhusbekken ved vind fra nord med konsentrasjoner under 0,1 mg/l, dvs. at opp til 0,1 % av badevannet i bukta besto av vann fra Båhusbekken, **Figur 34**. Påvirkningen ble redusert ved kun å ha en åpning. Ved kun åpning i sør ble påvirkningen minst. Ved nordgående strømmer ble Bystranda påvirket av vann fra Brumunda, **Figur 35**. Det ble da liten forskjell ved valg av alternative åpninger. Påvirkningen (opp til 0,5 %) var i dette tilfellet noe større enn fra Båhusbekken.

I følge mulig bakteriell påvirkning fra Båhusbekken vil det være gunstig med kun en åpning til bukta ved Bystranda. Imidlertid kommer dette i konflikt med sannsynlig oppsamling av flytende rask og forurensninger. Da uheldig påvirkning fra Båhusbekken ikke er dokumentert vil vi velge å anbefale to åpninger inn til Bystranda, hvilket i utgangspunktet var hovedalternativet.

Det ble foretatt en undersøkelse av miljøtilstanden i området ved Strandsaga dvs. ved Bystranda (Løvik og Rustadbakken 2011). Det ble ikke påvist alarmerende verdier av forurensende komponenter. Det ble påvist moderate konsentrasjoner av koliforme bakterier (tarmbakterier), dvs. innen godkjent kvalitet for badevann. Vanlige overvåkingsundersøkelsene vil neppe fange opp episodiske fenomener. Det er ofte slik at tarmbakterier kommer i spesielt høye konsentrasjoner etter kraftig nedbør, dette pga. overløp og lekkasjer i avløpsnettene mm. I Oslofjorden frarådes bading på enkelte strender dagene etter kraftig nedbør (Tjomsland m.fl. 2012). Tarmbakterier, *E. coli*, vitner om fersk avføring fra mennesker eller varmblodige dyr. Ved høye konsentrasjoner av *E. coli* i badevannet er det økt sannsynlighet for forekomst av sykdomsfremkallende bakterier, virus og parasitter. Enkelte av disse kan overskride anbefalte grenser i drikkevannskilder ved svært små konsentrasjoner, ned til 1 per 10 000 l vann.

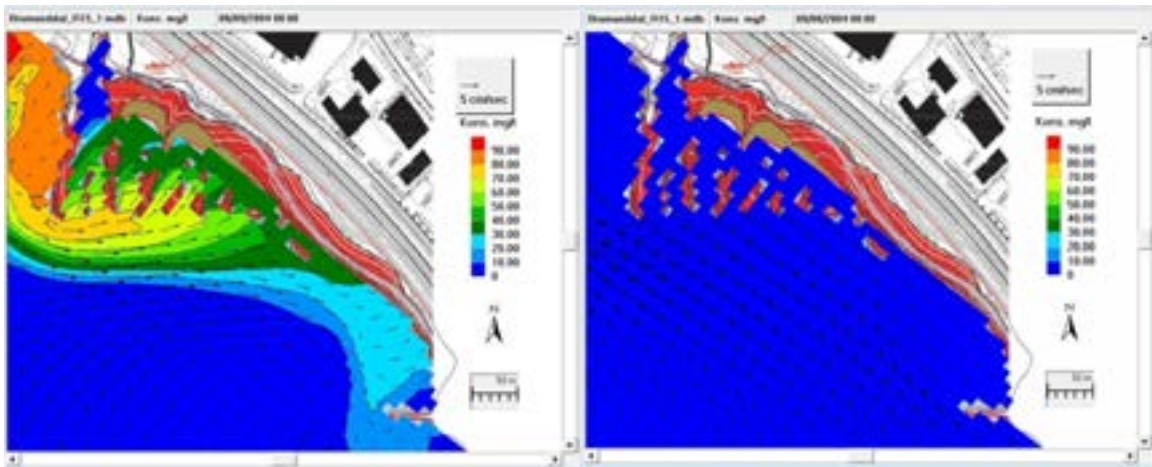
Konklusjon

Det er ikke påvist bakteriologisk forurensning over anbefalt grense for badevann. I hvilken grad forurensninger, som her antatt kom fra Brumunda og Båhusbekken, har betydning for

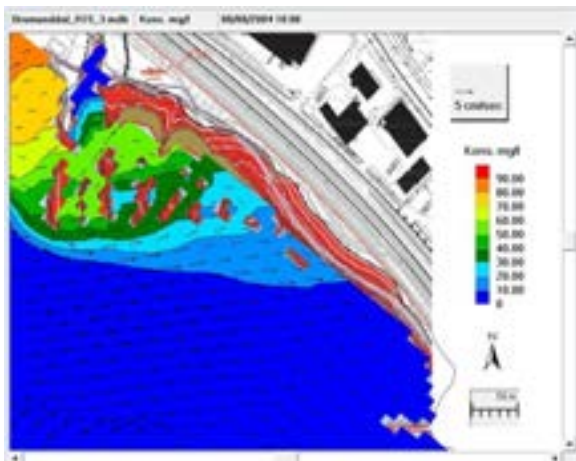
badevannskvaliteten vet vi ikke. Dette kan eventuelt undersøkes ved å ta bakteriologiske prøver etter kraftig nedbør tilfeller. Scenariene representerer følgelig «føre var situasjoner».

Det er gunstig å beholde tangen i Holmene området sammenhengende, dvs. uten åpning på midten. Det er likeledes gunstig å ha kun en åpning i sør ved Bystranda, men vi vil likevel anbefale to åpninger av hensyn til å redusere opphoping av rask innerst i bukta.

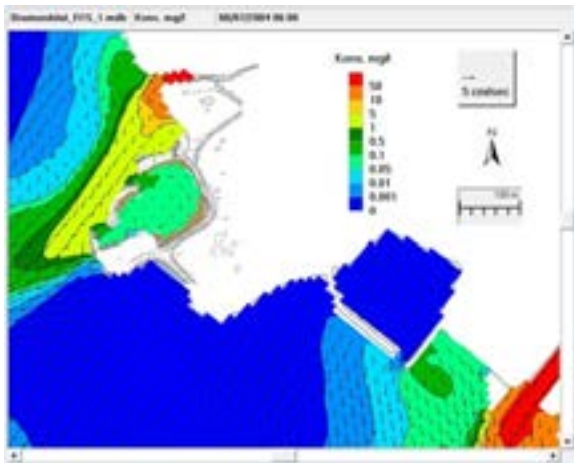
Utvidelse av bukta lengst nord i Holmene området vil rimeligvis ha en positiv effekt mht. økt vannutskiftning. Vannutskiftningen i denne bukta vil likevel være følsom ovenfor lokale tilførsler av hygienisk art eller opphopning av flytende materiale og annen forurensning.



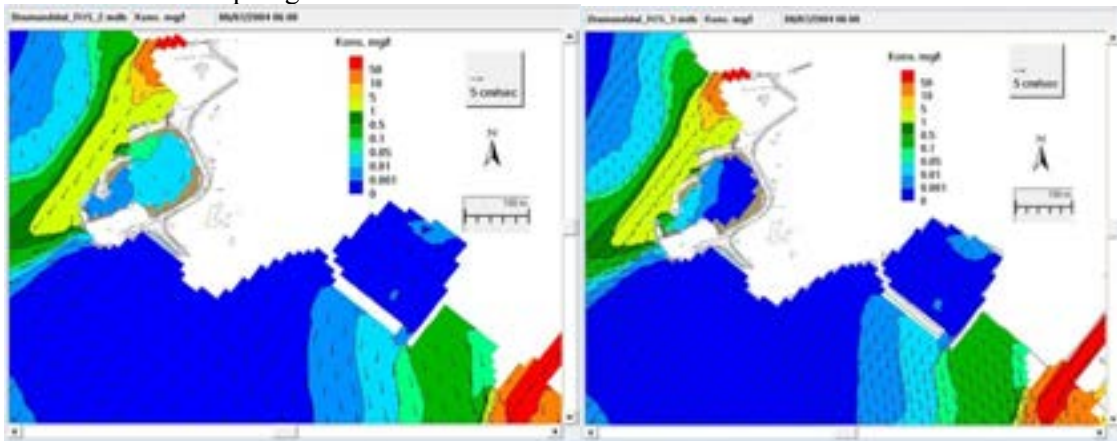
Figur 32. Holmene ble påvirket av vann fra Brumunda ved vind fra nord (venstre figur). Ved vind fra sør ble disse områdene ubetydelig påvirket (høyre figur).



Figur 33. Holmene. Vind fra nord. Kanal gjennom tungen i nordvest økte påvirkningen av badestrendene av vann fra Brumunda.



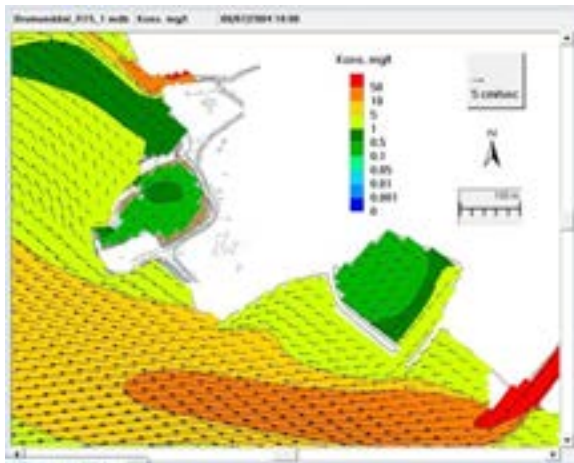
To åpninger



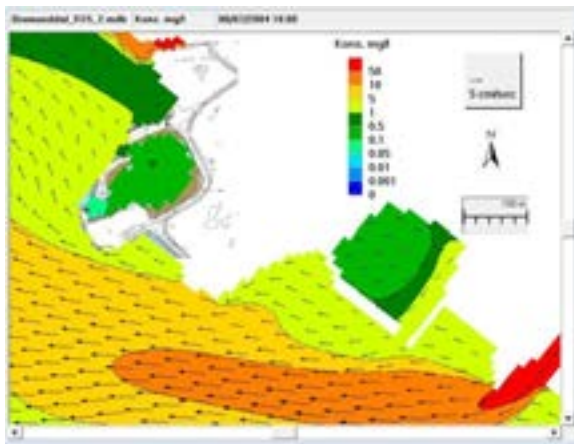
Åpning kun i nord

Åpning kun i sør

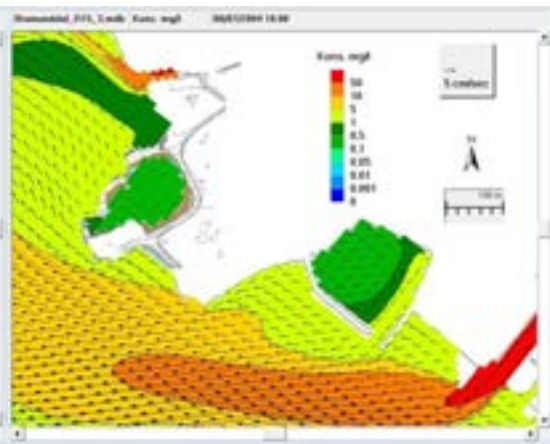
Figur 34. Bystranda ble noe påvirket av vann fra Båhusbekken ved sørgående strømmer. Påvirkningen ble redusert ved kun å ha en åpning. Ved kun åpning i sør ble påvirkningen minst.



2 åpninger



Åpning kun i nord



Åpning kun i sør

Figur 35. Ved nordgående strømmer ble Bystranda påvirket av vann fra Brumunda. Det ble liten forskjell ved valg av alternative åpninger.

4. Kan utformingen av området påvirke temperaturen i badevannet?

Det ble utført simuleringer for å studere i hvilken grad utformingen av anleggene kan påvirke temperaturen i vannet.

Vi beregnet også vanntemperaturene i overflaten ved Bystranda i de scenariene som er omtalt foran i rapporten, dvs. med systematisk varierende vindretninger i løpet to døgn. De ulike scenariene førte til temperaturforskjeller i overflatevannet på flere grader, **Figur 36**. Økt vannstand (123-125 moh.) førte til kaldere vann i overflaten (se rød og blå kurve). Redusert vind (10-2 m/s) førte til varmere vann (se rød og grønn kurve). Dersom det kun var en åpning ble vannet merkbart varmere ved høy vindhastighet og ubetydelig ved svak vind.

Disse forløpene har sammenheng med at liten vannutveksling med den utenforliggende del innsjøen ga raskere lokal temperaturrespons inne i bassenget. Økt vindstyrke førte til økt vannutskiftning og da særlig ved to åpninger. Sterk vind førte i tillegg til økt vertikal blanding, særlig ved vestlige vinder. Dette førte til at kaldere bunnvann nådde overflaten pga. oppstrømning nær land hvor det var fralandsstrøm. Ved økt dybde ble det større vannmengde å varme opp, samt at den kraftige vinden førte kaldere bunnvann enn ellers kom til overflaten.

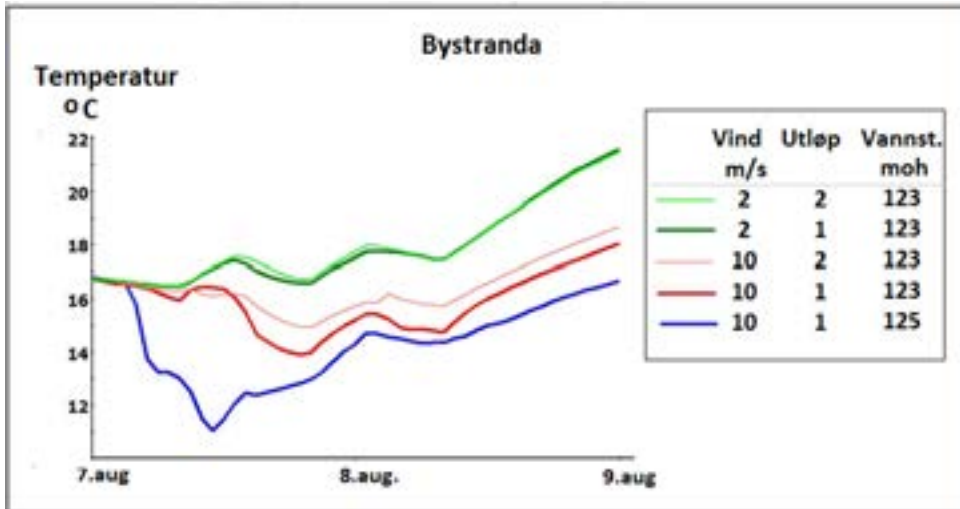
De omtalte spesielle scenariene ga oss informasjon om at ulike vannstander og vinder samt til dels også antall åpninger, påvirker temperaturene på overflatevannet i Bystranda. Hvordan vil slike fenomener påvirke temperaturene under normale forhold? Det ble følgelig laget scenarier med naturlige meteorologiske forhold tilsvarende sommeren 2004. Det ble i modellen laget et fullstendig lukket basseng der Bystranda er planlagt, dvs. ingen åpninger. Simulerte temperaturer i overflatevannet inne i bassenget ble sammenliknet med tilsvarende temperaturene samme sted uten dette bassenget, dvs. ved naturlige forhold som i dag, **Figur 37**. Forskjellene var gjennomgående under 1 °C. Inne i bassenget ble det i varierende grad både varmere og kaldere vann enn ellers.

Temperaturene i vannet er først og fremst avhengig av varmeutveksling med atmosfæren via stråling. Generelt gjelder at vannet varmes opp om dagen og avkjøles om natten. Dersom det er overskyet blir denne utvekslingen redusert. Redusert utstråling om natten pga. skyer og stor innstråling om dagen ved skyfri himmel, vil føre til maksimal oppvarming. Ved motsatte forhold kan temperaturen bli redusert. Varierende skydekke kan følgelig føre til både avtagende og økende vanntemperatur. Dette bildet blir også komplisert horisontale og vertikale strømmer som følge av vind mm. I et lukket basseng vil det ikke være varmeutvekslingen med resten av innsjøen via strømmer. Vannet i bassenget vil følgelig reagere raskere på strålingsbalansen enn i en større innsjø, og dess grunnere vann, desto raskere respons. Dette sammensatte bildet gjorde at det ikke ble noen entydige temperaturforskjeller mellom de to scenariene. Det ble i varierende grad lavere og høyere temperaturer i bassenget først og fremst pga. skydekning natt og dag. For å være sikret varmest mulig vann må man gjøre som i svømmebassenger i hagene hvor man iblant trekker over en presenning for å skjerme for utstråling om natten. I det aktuelle tilfellet ved Bystranda vil vannutvekslingen, om enn redusert, med den utenforliggende del av innsjøen føre noe mer utjevnete forhold enn i scenariene.

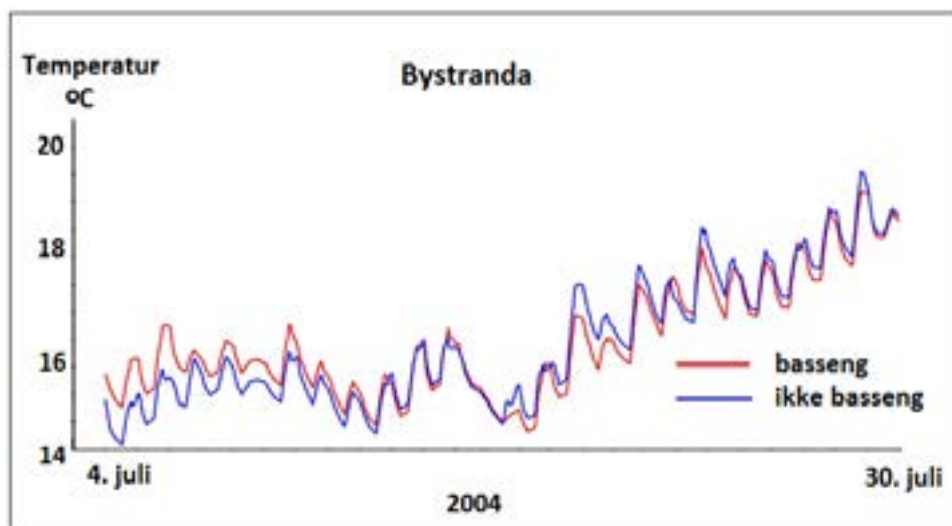
Konklusjon

Utbygging av Bystranda mm. vil påvirke temperaturforholdene, men dette kan føre både til høyere og lavere temperaturer. Raskere oppvarming om dagen blir kompensert med større avkjøling om natten. Konklusjonen er at vi neppe kan oppnå konstant varmere vann ved å lage grunne bassenger eller

reduere vannutskiftningen. Imidlertid blir vel de fleste mest inspirert til å bade på solfylte dager. I så måte er sjansen størst for at utbyggingen vil føre til noe økte badetemperaturer i forhold til i dag.



Figur 36. Bystranda. Økt vind (2-10 m/s) og økt vannstand (123-125 moh.) førte til kaldere vann i overflaten. Redusert vannutskiftning som følge av kun en åpning førte til varmere vann ved kraftig vind og ubetydelige forskjeller ved svak vind.



Figur 37. Det ble små og usystematiske forskjeller i vanntemperatur i et avgrenset basseng plassert i bukta ved Bystranda i forhold til dagens naturlige forhold

5. Referanser

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

Løvik, J.E. og Rustadbakken, A. 2011. Strandsaga i Brumunddal. Vurdering av miljøtilstand i Mjøsa i forbindelse med planer om endret bruk av området. Løpenr. 6092-2010. 43 s. Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Pettersson L-E. 1997. Hydrologiske data for Mjøsa (002.DC). Norges vassdrags- og energiverk. Report no. 1997:6.

Tjomsland, T. og Tryland, I 2007. Valg av trasé for avløpsledning over Furnesfjorden i Mjøsa. Sårbarhetsanalyse ved bruk av strøm- og spredningsmodeller. 67 s, Rapportnr. 5466-2007, Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Tjomsland, T. 2009. Utbygging av Valhall friområde. Strøm, vannutskiftning og sandflukt i planlagt badeområde. 5843-2009. 29 s. Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Torulv Tjomsland T., Løvik J.E., Rognerud, S. og Kempa, M. 2012. Fellesprosjektet E6-Dovrebanen. Dumping av masse i Mjøsa. Modellert partikkelspredning og vurdering av miljøkonsekvenser. 6342-2012. 69 s. Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Tjomsland, T., Tryland, I. og Kempa M. 2014. Modellert spredning av *E. coli* i indre Oslofjord. Innledende arbeid for å studere effekt av vind og strømningsforhold. 6703-2014. 50 s. Norsk institutt for vannforskning, Oslo

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 samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

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