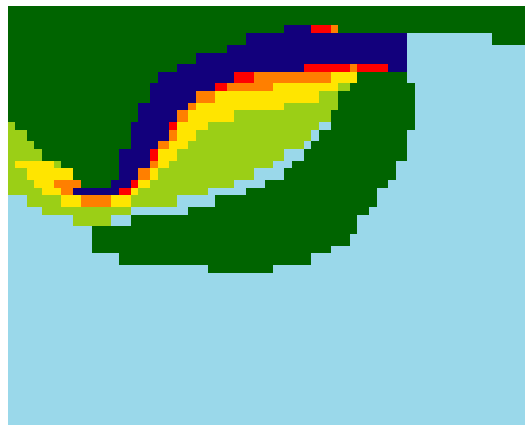
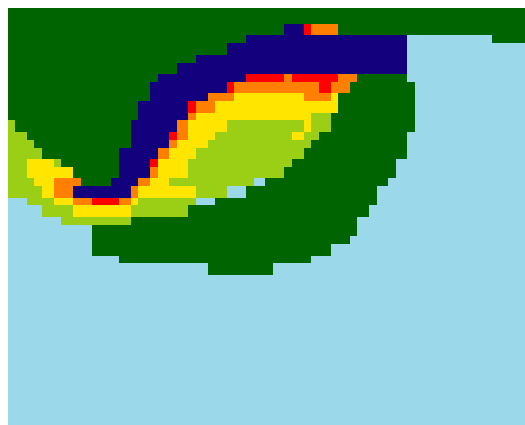


Utbygging av Koigen friområde

Strømningsforhold,
vannutskifting og sandflukt
i planlagt badeområde



0 - 1 m



1 - 2 m

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Utbygging av Koigen friområde Strømningsforhold, vannutskiftning og sandflukt i planlagt badeområde	Løpenr. (for bestilling) 4811-2004	Dato 25.02.04
	Prosjektnr. Undernr. O-24021	Sider Pris 26
Forfatter(e) Torulv Tjomsland	Fagområde Miljøinformatikk	Distribusjon fri
	Geografisk område Hedmark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hamar kommune	Oppdragsreferanse Ståle Andreassen <small>Ståle Andreassen</small>
-----------------------------------	--

Sammendrag

Det skal anlegges ei øy og badestrender i Mjøsa like utenfor Hamar sentrum. Hensikten med denne rapporten er å gi råd om utforming av dette anlegget med hensyn til vannutskiftning og sandflukt.

Vi anbefaler at åpningene mellom øya og land er ca. 15 meter brede og "alltid" har en dybde på minst en meter dvs. til under kote 118 m.o.h. Dette vil gi en meget god vannutskiftning. Vi mener at vannkvaliteten i bassenget vil bli av samme klasse som i Mjøsa utenfor. Det er viktig å unngå forurensende utslipp i nærheten av bassenget.

Området synes å være godt beskyttet mot erosjon av strøm og bølger. Bølgeaktivitet og folk som bader vil likevel sette sandkorn i bevegelse i grensesonen mellom land og vann. Vinddreven strøm vil kunne transportere disse kornene videre slik at det kan bli en svak sandflukt fra strendene. Ved bruk av meget grov sand, diameter 1-2 mm, vil trolig denne sandflukten bli liten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Badeområde	1. Artificial lagoon
2. Vannutskiftning	2. Water exchange
3. Matematiske modeller	3. Mathematical modelling
4. Sandflukt	4. Sand drift

Norsk institutt for vannforskning

Oslo

O-24021

**Utbygging av Koigen friområde
Strømningsforhold,
vannutskiftning og sandflukt
i planlagt badeområde**

Oslo 25. Februar 2004
Prosjektleder: Torulv Tjomsland

Forord

Rapporten er utarbeidet etter oppdrag fra Hamar kommune
Kontaktpersonene til kommunen har vært Johanne Aasnæs Sørum og
Ståle Andreassen.

Arbeidet har tatt utgangspunkt i planene slik de er presentert på mottatte
kart fra Bjørbekk og Lindheim AS.

Oslo, 25. februar 2004

Torulv Tjomsland

Innhold

Sammendrag	5
Det skal anlegges ei øy i Mjøsa like utenfor Hamar sentrum. Øya skal skjerme ei badestrand som skal opparbeides på land. Det skal også anlegges badestrand på den siden av øya som vender mot land. Mellom øya og land blir det et basseng med en største bredde på omkring 100 m.	5
1. Innledning	6
2. Simuleringer	8
2.1 Vannutskiftning ved ulike vindretninger	9
2.2 Vannutskiftning ved redusert bredde på åpningene	9
2.3 Vannutskiftning ved redusert dybde i åpningene	10
2.4 Usikkerhet	10
2.5 Diskusjon og konklusjoner	10
3. Aktuelle kornstørrelser på strendene	12
4. Referanser	14
Vedlegg A. Strøm og vannutskiftnings kart	15

Sammendrag

Rapporten er skrevet av Norsk Institutt for vannforskning etter oppdrag fra Hamar kommune.

Det skal anlegges ei øy i Mjøsa like utenfor Hamar sentrum. Øya skal skjerme ei badestrand som skal opparbeides på land. Det skal også anlegges badestrand på den siden av øya som vender mot land. Mellom øya og land blir det et basseng med en største bredde på omkring 100 m.

Hovedhensikten med denne rapporten var å gi råd om utformingen av dette anlegget. Øya skal verne strendene mot utvasking samtidig som man ønsker god vannutskiftning for å sikre god vannkvalitet og unngå oppsamling av sjenerende skrot. Vi har lagt vekt på å vurdere effektene av endret utforming av åpningene mellom land og øy, dvs. dybde og bredde på disse åpningene. I tillegg er det ytret ønske om vi kunne gi en vurdering av hvilke korndiameterer som kunne benyttes på strendene uten at disse ville bli utsatt for erosjon.

Uttalelsen om vannutskiftning er gitt på grunnlag av strøm- og spredningssimuleringer for karakteristiske vindforhold ved bruk av matematiske modeller. Vi anbefaler at åpningene mellom øya og land er ca. 15 meter brede og "alltid" har en dybde på minst en meter, dvs. bunnen til under kote 118 m.o.h. Dette vil gi en meget god vannutskiftning. Vi mener at vannkvaliteten i bassenget vil bli av samme klasse som i Mjøsa utenfor. Det er viktig å unngå forurensende utslipp i nærheten av bassenget.

Badeområdet synes å være godt beskyttet mot erosjon forårsaket av strøm og bølgeaktiviteter. Vinddreven strøm vil neppe erodere strendene i særlig grad. Bølgene vil få meget liten eroderende effekt. Bølgeaktivitet og folk som bader vil likevel sette sandkorn i bevegelse helt i grensesonen mellom land og vann. Vinddreven strøm vil kunne transportere disse kornene videre slik at det kan bli en svak sandflukt fra strendene. Beregningene tyder på at om man velger meget grov sand med diameter 1-2 mm vil trolig denne sandflukten bli liten. Bruk av mindre kornstørrelser kan også gå bra, men risikoen for økt tap vil være større. Beregningene er meget usikre. Det får bli en avveining mellom hvor sterkt en gitt fraksjon er ønsket og mulig økonomisk tap ved for stor sandflukt.

1. Innledning

Det skal anlegges ei øy i Mjøsa like utenfor Hamar sentrum. Øya skal skjerme ei badestrand som skal opparbeides på land. Det skal også anlegges badestrand på den siden av øya som vender mot land, se **Figur 1** og **Figur 2**.

Ved høyeste regulerte vannstand ved Minnesund kan dybdene i de sentrale delene av bassenget mellom øya og land bli ca. 7 m.

Hensikten med denne rapporten er å gi råd om utformingen av dette anlegget. Øya skal verne strendene mot utvasking samtidig som man ønsker god vannutskiftning for å sikre god vannkvalitet og unngå oppsamling av sjenerende skrot. Vi har lagt vekt på å vurdere effektene av endret utforming av åpningene mellom land og øy, dvs. dybde og bredde på disse åpningene.

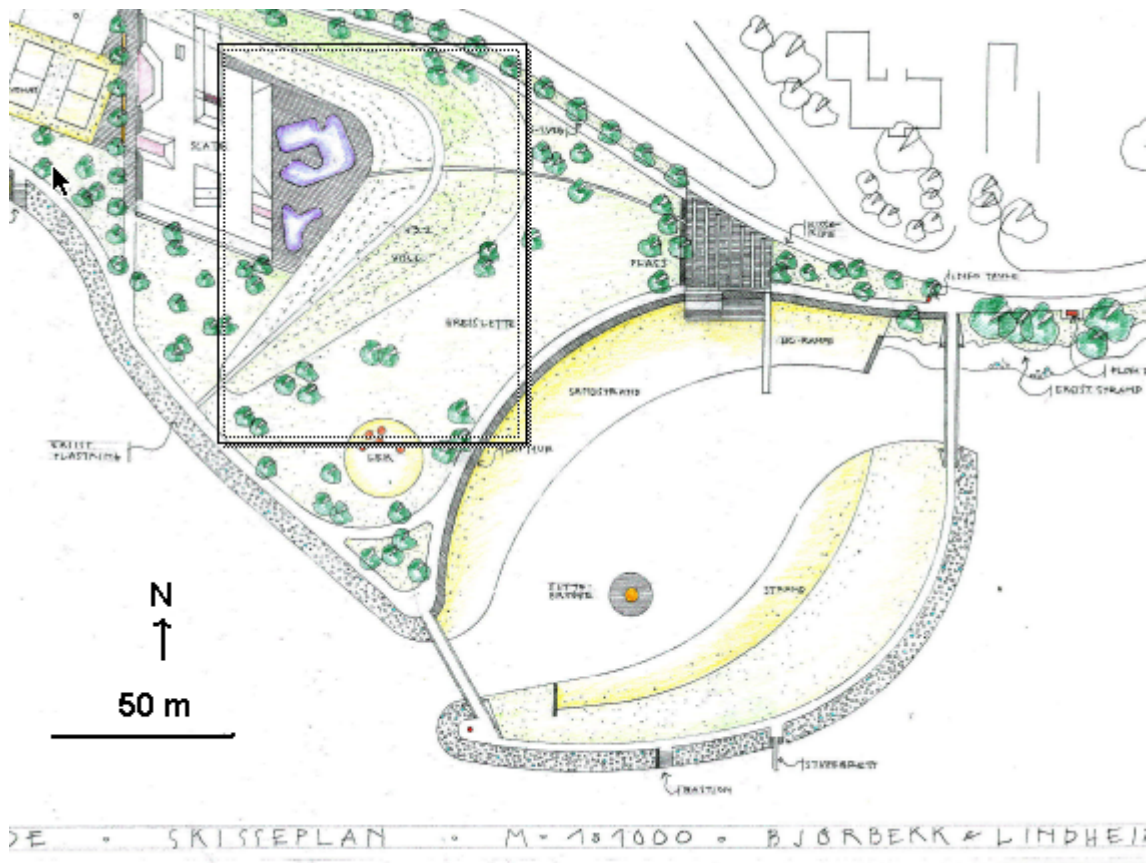
Vurderingen er gitt på grunnlag av simulerte strøm- og spredningsberegninger for karakteristiske situasjoner. Modellene er testet mot observasjoner i blant annet Tyrifjorden og Mjøsa med tilfredstillende resultat, (Simons 1973, Tjomsland 1978, Tjomsland 1980), og for øvrig blitt benyttet ved en rekke anledninger for å vurdere plassering av vanninntak i forhold til forurensningstilførsler og vannutskiftning (Berge og Tjomsland 1999, Berge og Tjomsland 2000).

Strømforholdene ble modellert ved en matematisk modell. I modellen blir innsjøen delt inn i celler. For hver celle blir horisontal og vertikal strømhastighet samt temperatur skrittvis beregnet framover i tid med et gitt tidsintervall. De drivende kreftene er vind og vannføring. Når bevegelsen er kommet i gang blir den påvirket av innsjøens form, friksjon mot bunnen og jordrotasjonen.

Spredning av stoff ble simulert ved en matematisk spredningsmodell som utnytter strømningsmodellens resultater. Modellen beregner spredningsforløpet skrittvis framover i tid. Stoffet spres ved transport i strømrretningen (advektiv transport), ved virvler (diffusiv transport) og eventuelt ved sedimentasjon og konstant svinnrate, decay eller dødsrate som f.eks. bakterier.



Figur 1. Øya skal opparbeides i Mjøsa like utenfor Hamar senrum

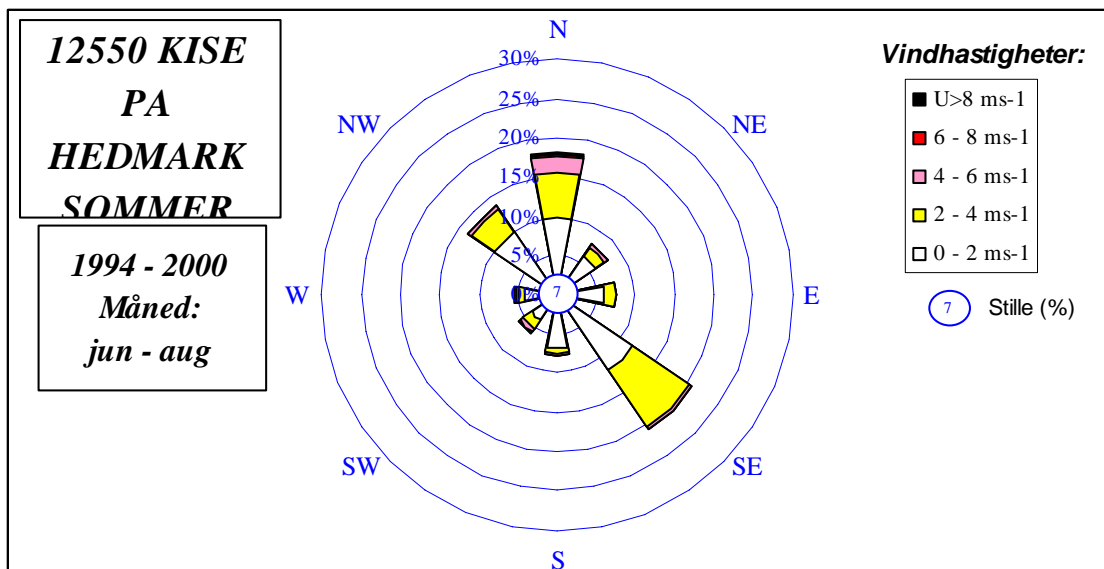


Figur 2. Mulig utforming av Koigen friområde

2. Simuleringer

Simuleringene er foretatt for en vannstand på 123 m o.h. Det vil si to meter lavere enn høyeste regulerte vannstand. Laveste observerte vannstand om sommeren i perioden 1982-2002 er 119.38 m.o.h. Dybdene i den østlige åpningen ble antatt å være fire meter, mens sentrale deler av bassenget og den vestlige åpningen ble satt lik fem meter. Åpningenes bredde ble satt lik 16 m i samsvar med den skisserte planen, **Figur 2**.

Simuleringene ble utført for karakteristiske vindretninger og vindstyrke. De mest vanlige vindretningene om sommeren var fra sørøst mot nordvest (21 % av tiden), fra nord mot sør (18 %) og fra nordvest mot sørvest (14 %). Midlere fart i disse hovedretningene var nær 2 m/s. Vindstyrke over 6 m/s forekom under 1% av tiden. I 7 % av tiden var det vindstille, se **Figur 3**.



Figur 3. Dominerende vindretninger om sommeren var fra sørøst mot nordvest, fra nord mot sør og fra nordvest mot sørvest. Midlere fart var nær 2 m/s. Kilde: Det norske meteorologiske institutt.

I beregningsmodellen ble innsjøen delt inn i celler. I horisontalplanet var hver celle 4 x 4 m. I dybderetningen ble det delt inn i lagene 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m og 4-bunn. Det ble antatt at hele hele "badebassenget" befant seg over sprangsjiktet, dvs. at det ikke var temperaturforskjeller i de øverste fem meterene.

Det ble foretatt simuleringer for midlere vindstyrke, 2 m/s, i "alle" himmelretningene, med vekt på de mest hyppigst forekomende retningene. Vannutsiftningen ble synliggjort ved pålipp av et tenkt konservativt stoff i det vannet som strømmet inn i bassenget.

2.1 Vannutskiftning ved ulike vindretninger

Ved vind mot nord strømmet overflatevannet noe til høyre for vindretningen, se **Figur 4** i vedlegget. På dypere vann ble retningen stadig avbøyd til høyre og hadde komponenter som i stor grad var rettet mot vinden. Overflatevannet ble stuert opp mot stranda på landsiden og dukket ned for deretter å returnere med gradienter utover dypere ned i retning mot øya. Det er kun tegnet kart over horisontale hastigheter. Av hensyn til presentasjonen er det tegnet hastighetspiler i ¼ av modellens beregningspunkter.

Vann fra Mjøsa strømmet inn gjennom den vestlige åpningen i hele tversnittet fra overflaten til bunnen. Det innstrømmende vannet ble i spredningsmodellen gitt en konsentrasjon lik 100. Det vil si at modellen beregner hvor stor del (%) av vannet i bassenget som til enhver tid består av nytt innstrømmende vann. Alle kartene viser vannutskiftning etter ett døgn med konstant vindpåvirkning. I bassenget ble vannet i den nordlige delen, og særlig i overflaten, raskest fornyet. En utskiftning på over 70% var vanlig. Vannet i sørøstlig del av bassenget, og særlig i overflaten, ble i liten grad fornyet. Karakteristisk utskiftning var under 10%.

Ved vind mot øst ble gjennomstrømningen langt mer effektiv enn ved vind mot nord. Vannet strømmet inn gjennom den vestlige åpningen. Spesielt ble utskiftningen i bassengets sørlige del stor. Vind mot sørøst ga i store trekk samme resultat som vind mot øst, **Figur 6**. Denne vindretningen representerer som nevnt 14 % av tiden i løpet av sommeren.

Ettersom vinden dreide videre mot sør (18 % av tiden) snudde strømmen, og vannet trengte inn gjennom den østlige åpningen, **Figur 7**. Vannutskiftningen ble særlig effektiv i den sørlige delen av bassenget. Ved vind mot vest strømmet vannet fortsatt inn gjennom den østlige åpningen, **Figur 8**. Vannutskiftningen ble mest effektiv i den nordlige delen av bassenget. Vind mot nordvest (21 % av tiden) ga noenlunde tilsvarende vannutskiftning. Utskiftningen var noe større i de nordlige delene av bassenget og noe redusert i den sørlige delen, **Figur 9**.

Det vil si at vindens tre mest vanlige hovedretninger tilsammen sørger for en effektiv vannutskiftning både i sørlige og nordlige del av bassenget.

2.2 Vannutskiftning ved redusert bredde på åpningene

Vinden ble antatt å blåse mot nordvest med 2 m/s. Dersom den østlige åpningen ikke eksisterte strømmet vannet kun inn nær bunnen i den vestlige åpningen, men i meget liten grad, **Figur 10**. Ved økt åpning til 4 meter strømmet vannet inn gjennom åpningen i øst og sørget for en effektiv utskiftning kun langs stranda i nord. For øvrig var utskiftningen under 10 %. Økt bredde til 8 m bidro i betydelig grad til forbedret utskiftning. Ytterligere økt bredde til 12 m og 16 m ga bedre utskiftning, men i vesenlig mindre grad enn fra 4 til 8 meter. Ved å redusere den vestlige åpningen ble virkningen omtrent den samme som beskrevet ovenfor, **Figur 11**.

Vinden ble antatt å blåse mot sør med 2 m/s. Både den vestlige og østlige åpningen ble antatt å være henholdsvis 4, 8, 12 og 16 m brede, **Figur 12**. En bredde på 4 meter ga relativt liten vannutveksling. En bredde på 12 meter ga betydelig bedre resultat enn 8 meter, og 16 meter noe bedre enn 12 meter.

Ved vind mot sørvest på 2 m/s strømmet vannet inn gjennom den vestlige åpningen. Vannutskiftningen økte betydelig ved økt bredde på åpningene fra 4 meter til 8 meter, **Figur 13**. Vannutskiftningen var omtrent fordelt på samme måten som med vind fra sør.

2.3 Vannutskifning ved redusert dybde i åpningene

Vinden ble antatt å blåse mot henholdsvis nordøst og sørvest. Dybden i begge åpningene ble satt lik 1 m. Redusert dybde førte nok til redusert vannutskifning, men i relativt liten grad, **Figur 14**. Vannutskifningen syntes å være langt mindre følsom for endret dybde enn for endret bredde med hensyn til bassengets åpninger. Dette har sammenheng med at var farten på overflatevannet generelt var betydelig større enn ved bunnen. I tillegg økte farten i overflatelaget pga. redusert dybde (jfr. med munningstykke på en hageslange). Følgelig ble overflatelaget spesielt viktig med hensyn til vannutskifningen.

Laveste observerte vannstand om sommeren i perioden 1982-2002 er 119.38 mo.h. Det vil være gunstig at dybdene på åpningene var minst en meter lavere enn dette. Simuleringene ble foretatt for en vannstand på 121 mo.h. og med bunnkoter på 117 og 116 m o.h. for henholdsvis østlig og vestlig åpning. Dette tilsvarte dybder på 4 m og 5 m.

2.4 Usikkerhet

Bevegelser med stor utstrekning blir beskrevet ved bruk av velkjente fysiske lover. I modelleringen inngår valg av en del koeffisienter som påvirker resultatene. Den største usikkerheten er trolig knyttet til beregningen av turbulente virvler med oppløsning mindre enn det rutenettets oppløsning er egnet til å beskrive. Dette påvirker f.eks. i hvor stor grad vann og stoff spres på tvers av bevegelsens hovedretning i bredde- og dybderetningen. Likeledes kan det være usikkert om vertikale bevegelser går helt eller delvis fra overflate til bunn og omvendt. For eksempel ble bassenget i enkelte av scenariene lite påvirket i overflaten, mens bunnvannet hadde stor vannutveksling, hvilket betydde at den oppoverrettede bevegelsen langs land ikke nådde helt opp til overflaten. Det er her bare snakk om et par meters forflytning av sirkulasjonsmønstret slik at vi må ta høyde for at det er mulig at disse oppoverrettede strømmene i virkeligheten kan nå helt opp til overflaten og påvirke vannutskifningen der i gunstig retning.

Vi må ikke forvente at slike modelleringer gir en perfekt gjengivelse av virkeligheten. Imidlertid mener vi at simuleringene som er basert på karakteristiske situasjoner er vel egnet som grunnlag for å trekke konklusjoner om vannutskifningsforhold i bassenget. Kalibrering av modellen mot observasjoner ville krevet et omfattende måleprogram og feltarbeid. Resultatene ville neppe ha blitt betydelig sikrere av den grunn.

Indre bølger kan påvirke strømningsmønsteret i de øverste 20 meterene i perioder med et velutviklet sprangsjikt om sommeren. Slike bevegelser kan bidra til å øke vannutvekslingen i tillegg til den rene vindstrømmen som scenariene indikerer.

Energien fra bølger som bryter nær åpningene kan forplante innover i bassenget, hvilket igjen bidrar til økt vannutveksling.

2.5 Diskusjon og konklusjoner

Det er viktig for vannutskifningen at det er åpning i begge endene av bassenget. I følge simuleringene oppnår man stor forbedret vannutskifning ved åpninger som er 8-12 meter brede. Dersom man tar høyde for usikkerhet kan 15 meters åpninger være ønskelig.

Dybden synes i mindre grad å være viktig for vannutskifningen. I følge simuleringene kan en meters dybde være tilstrekkelig. Laveste observerte vannstand de siste 20 årene er 119.38 mo.h. Vi vil

anbefale at bunnen av åpningene ligger på kote 118 m.o.h. eller dypere slik at dybdene ”alltid” blir minst en meter.

Dersom åpningene er som anbefalt vil vannet i bassenget i snitt forventes å bli praktisk talt skiftet ut i løpet av ett par døgn. De mest vanlig forekommende vindretningene utfyller hverandre slik at de ulike delene av bassenget blir effektivt fornyet. Det er sjeldent at vinden blåser stabilt i et helt døgn. Forurensninger og skrot som måtte bli liggende i en ”dødsone” en stund vil sannsynligvis bli drevet ut av bassenget ved en dreining av vinden. Utformingen synes å være gunstig. Når det er sagt, vil forurensninger og skrot og som måtte drive i sjøen før eller siden bli skylt opp på land og bli liggende i lune farvann. Bassenget vil selvfølgelig også motta noe.

Forurensninger som måtte bli tilført inne i bassenget burde raskt bli fortynnet og transportert ut. Dersom det skulle være permanente forurensende kilder langs land i nærheten vil bassenget selvfølgelig også bli permanent påvirket av dette. Da vannet strømmer inn i bassenget gjennom den østlige åpningen i størsteparten av tiden, er det følgelig spesielt viktig at det ikke finnes forurensende kilder like østenfor, f.eks. lekkasjer fra avløpsnett.

Bensin og andre stoffer som måtte flyte på overflaten vil fortrinnsvis følge hovedstrømmen på overflaten gjennom bassenget og ut via den andre åpningen. Imidlertid vil alltid en mindre del følge turbulente virvler og finne veien til eventuelle dødsoner.

Dersom tilførslene av næringsstoffene fosfor og nitrogen er stor i forhold til vannutskiftningen i en innsjø kan det oppstå sjenerende stor algevekst, hvilket har vært et kjent fenomen i Mjøsa. Vannutskiftningen i bassenget vil bli langt større enn det som kan forventes å gi slike problemer. Dvs. Det vil neppe oppstå spesielle problemer med algevekst i bassenget sammenliknet med de i utenforliggende delene av Mjøsa.

Konklusjon

Vi anbefaler at åpningene mellom den øya og land er ca. 15 meter brede og har en dybde til under kote 118 m.o.h. Dette vil gi en meget god vannutskiftning. Vi mener at vannkvaliteten i bassenget vil bli av samme klasse som i Mjøsa utenfor. Det er viktig å unngå forurensende utslipp i nærheten av bassenget.

3. Aktuelle kornstørrelser på strendene

Hovedmålsetningen med denne rapporten gjaldt vannutskiftning. I etterkant ble det spurt om NIVA også kunne gi noen råd om hvilke kornstørrelser som man kunne bruke på strendene uten at disse ble utsatt for erosjon. Den følgende uttalelsen er gitt på grunnlag av enkle empiriske formler.

Bølger

Erosjon på strender skyldes hovedsakelig bølgeaktivitet. Bølgen har en eroderende virkning når den bryter i strandsonen. Vanligvis kommer bølgen 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 lagret.

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 i bunnsedimentene. Før eller siden vil disse partiklene havne på såpass dypt vann at de kan sies å være fjernet fra stranda. Det er utviklet formler som angir hvilke korndiameterer som er utsatt for resuspensjon som funksjon vanndybde og bølgehøyde (Beach Erosion Board og Håkansen 1977).

De planlagte strendene rundt bassenget er godt beskyttet av øya. Den strøklengden over fri vannflate på under 100 m i bassenget innenfor øya er alt for liten til å sette opp bølger med eroderende virkning av betydning. Imidlertid kan det oppstå bølger med en betydelig eroderende kraft på begge sidene av øya. Det er vanskelig å bedømme i hvilken grad disse bølgene kan forplante seg innover i bassenget.

Strøm

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

Tabell 1. Sammenheng mellom midlere fart fra overflaten til bunn for erosjon og transport av ulike sandtyper i følge Hjulstrøms kurve.

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

Simuleringene så langt ble utført for vindstyrker på 2 m/s, hvilket resulterte overflatehastigheter på noen få cm/s. I følge **Tabell 1** ville disse hastighetene være for små til å erodere sedimenterte sankorn, men med mulighet for å transportere fin og middels grov sand som allerede er satt i bevegelse.

Modellert strøm ved vind på 10 m/s satte i gang overflatestrømmer på omkring 10 cm/s, **Figur 15**. Verdiene var størst nær bassengets åpninger. 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, **Figur 3**. Heller ikke slike strømhastigheter skulle ifølge vårt overslag medføre erosjon. Med erosjon mener vi her sandkorn som befinner seg i ro på bunnen under vann. Farten vil i følge tabellen være på grensen til å transportere til og med de groveste sandfraksjonene.

Konklusjon

Badestrendene synes å være godt beskyttet mot erosjon av strøm og bølgeaktiviteter. Vinddreven strøm vil neppe erodere strendene i særlig grad. Bølgene vil få meget liten eroderende effekt. Bølgeaktivitet og folk som bader vil likevel sette sandkorn i bevegelse helt i grensesonen mellom land og vann. Vinddreven strøm vil kunne transportere disse kornene videre slik at det kan bli en svak sandflukt fra strendene. Beregningene tyder på at om man velger meget grov sand med diameter 1-2 mm vil trolig denne sandflukten bli liten. Bruk av mindre kornstørrelser kan også gå bra, men risikoen for økt tap vil være større.

Erosjon og transport av sedimenter er meget komplisert. Her blir det hele ytterligere komplisert ved mulig påvirkning av bølger som bryter nær bassengets åpninger m.m. Våre betraktninger er derfor beheftet med en del usikkerhet. Bruk av sand på strendene virker lovende. Det får bli en avveining mellom hvor sterkt en gitt fraksjon er ønsket og mulig økonomisk tap ved stor sandflukt.

4. Referanser

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

Håkanson, L. 1977: The influence of wind, fetch and water depth on the distribution of sediments in Lake Vänern, Sweden. Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 14

Simons, T.L., 1973: Development of three-dimensional numerical models of the Great Lakes. Scientific Series No. 12, Canada Centre for Inland Waters.

Tjomsland, T. 1978: Simuleringer av strømninger i Mjøsa med en tre-dimensjonal matematisk modell. Norsk institutt for vannforskning, A2-24.

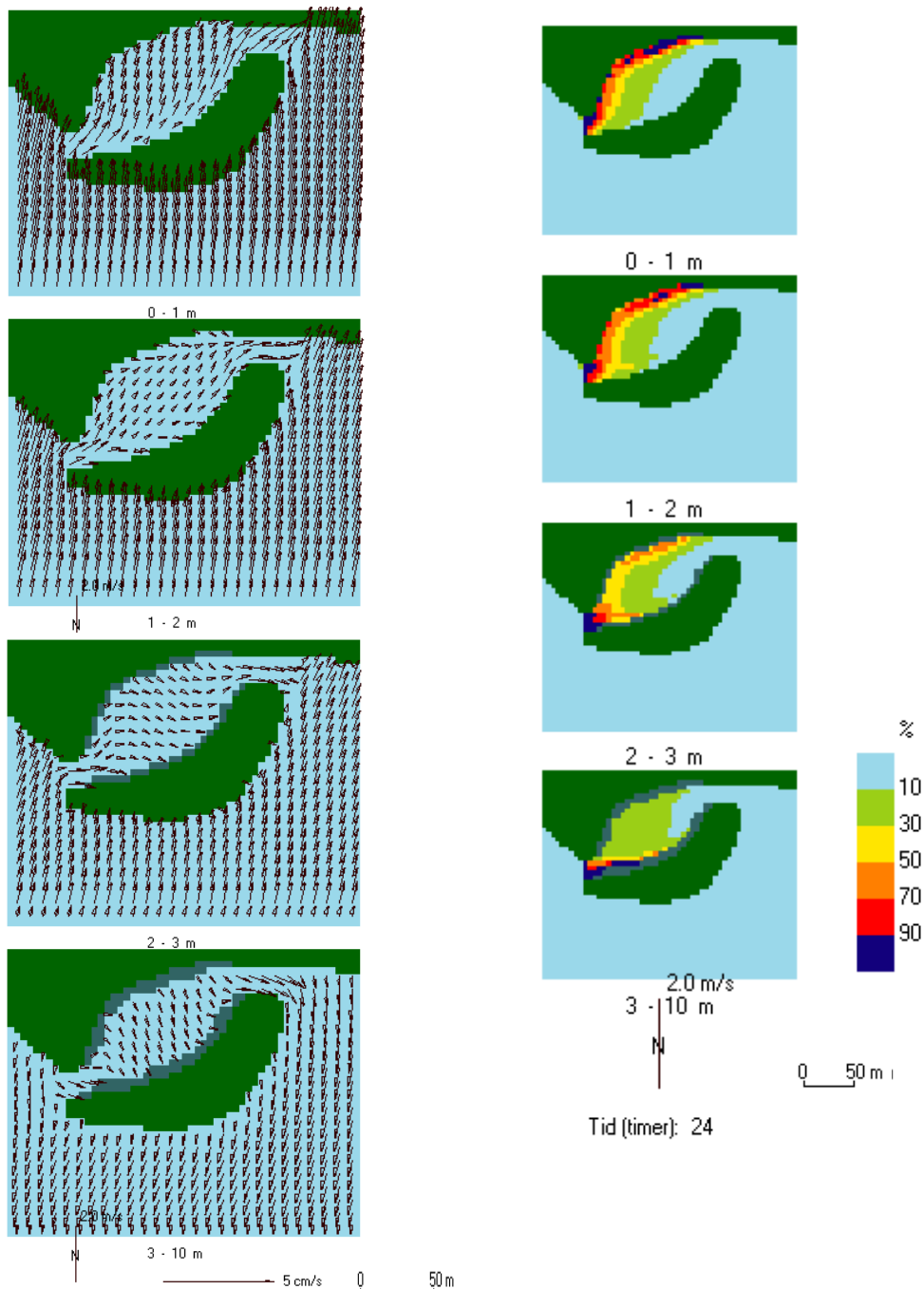
Tjomsland, T. 1980. Strøm og spredningsstudier i Tyrifjorden, Rapport nr.1, løpenr. 1191, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Tjomsland, T. 2000: Vurdering av fremtidig utslippsted for Brandbu renseanlegg Bakteriologisk påvirkning i Randsfjorden av alternative utslipp i Vigga og i Røykenvika. NIVA-rapport Lnr 4203, 24s.

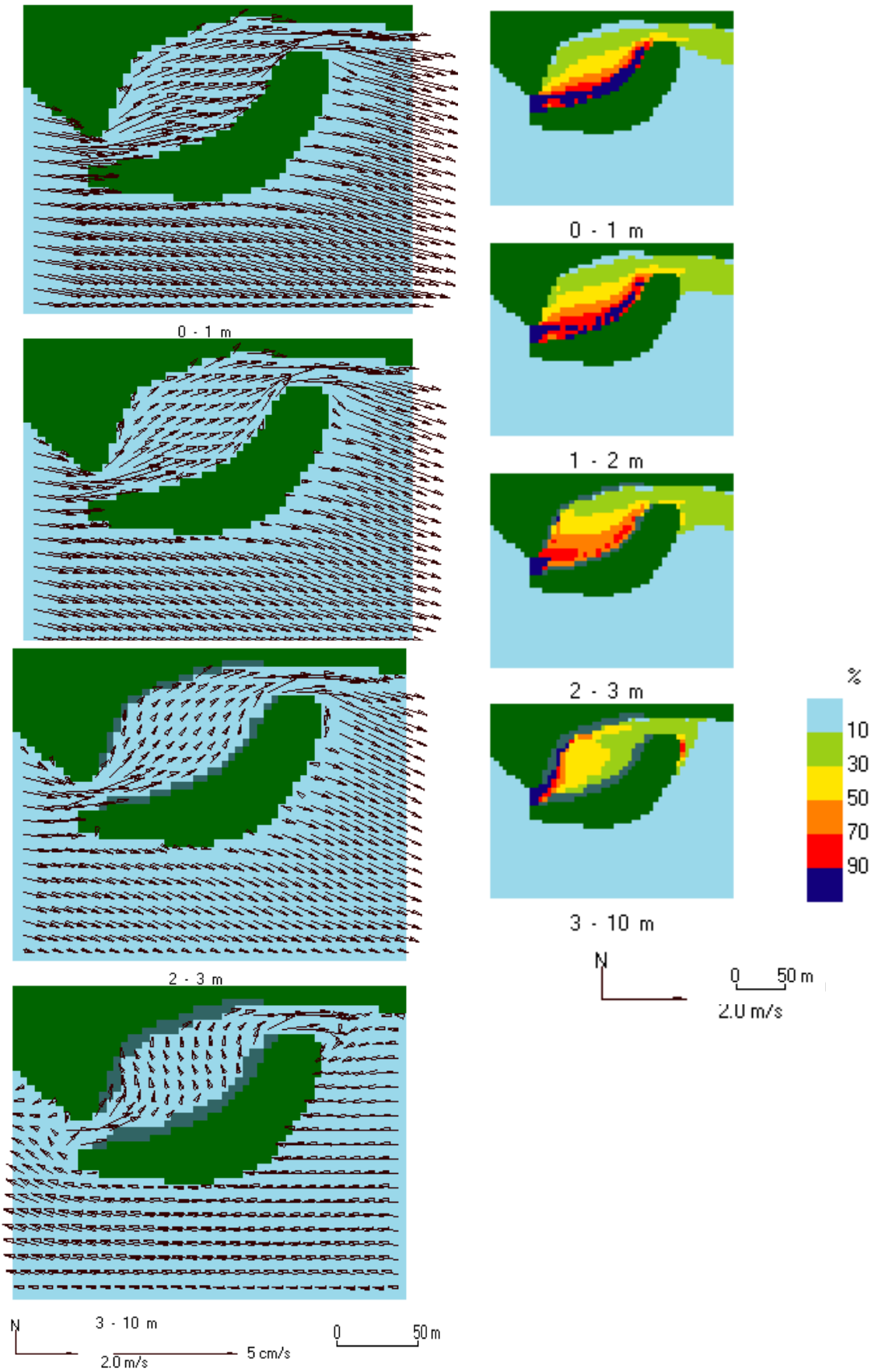
Tjomsland, T. og D. Berge 1999: Eikeren som ny drikkevannskilde for Vestfold: Mulig bakteriell påvirkning av VIVs planlagte drikkevannsinntak på 70 m dyp i sørenden av Eikeren., NIVA-rapport Lnr 4148-99, 35 sider.

Tjomsland, T. og D. Berge 2000: Fremtidig økt vannuttak fra Holsfjorden - betydning for strømningsmønsteret i Tyrifjorden med vekt på spredning av bakterier til Holsfjorden fra de mer forurensede delene av fjordsystemet. NIVA-rapport Lnr 4314-2000, 38 sider.

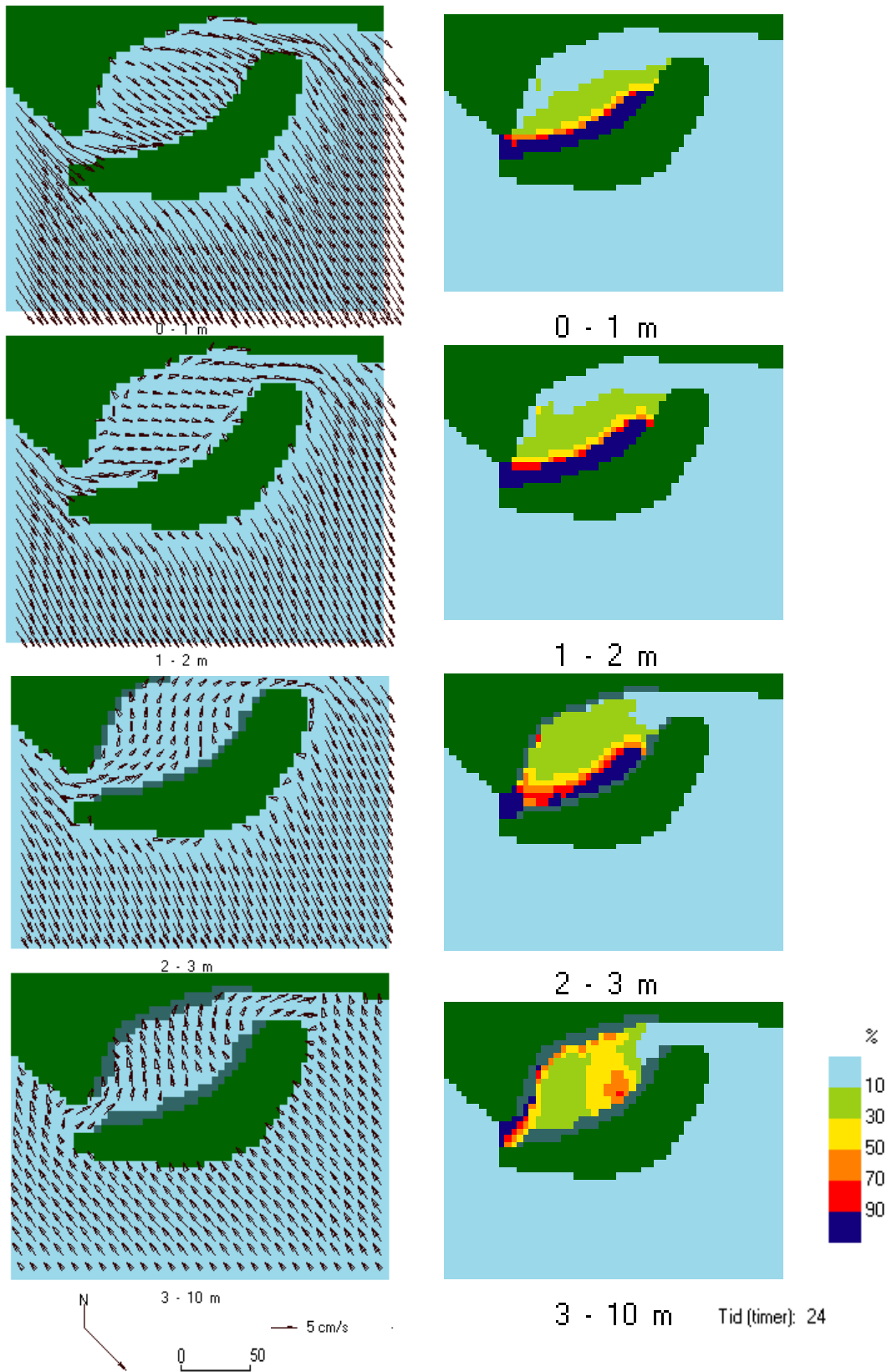
Vedlegg A. Strøm og vannutskiftnings kart



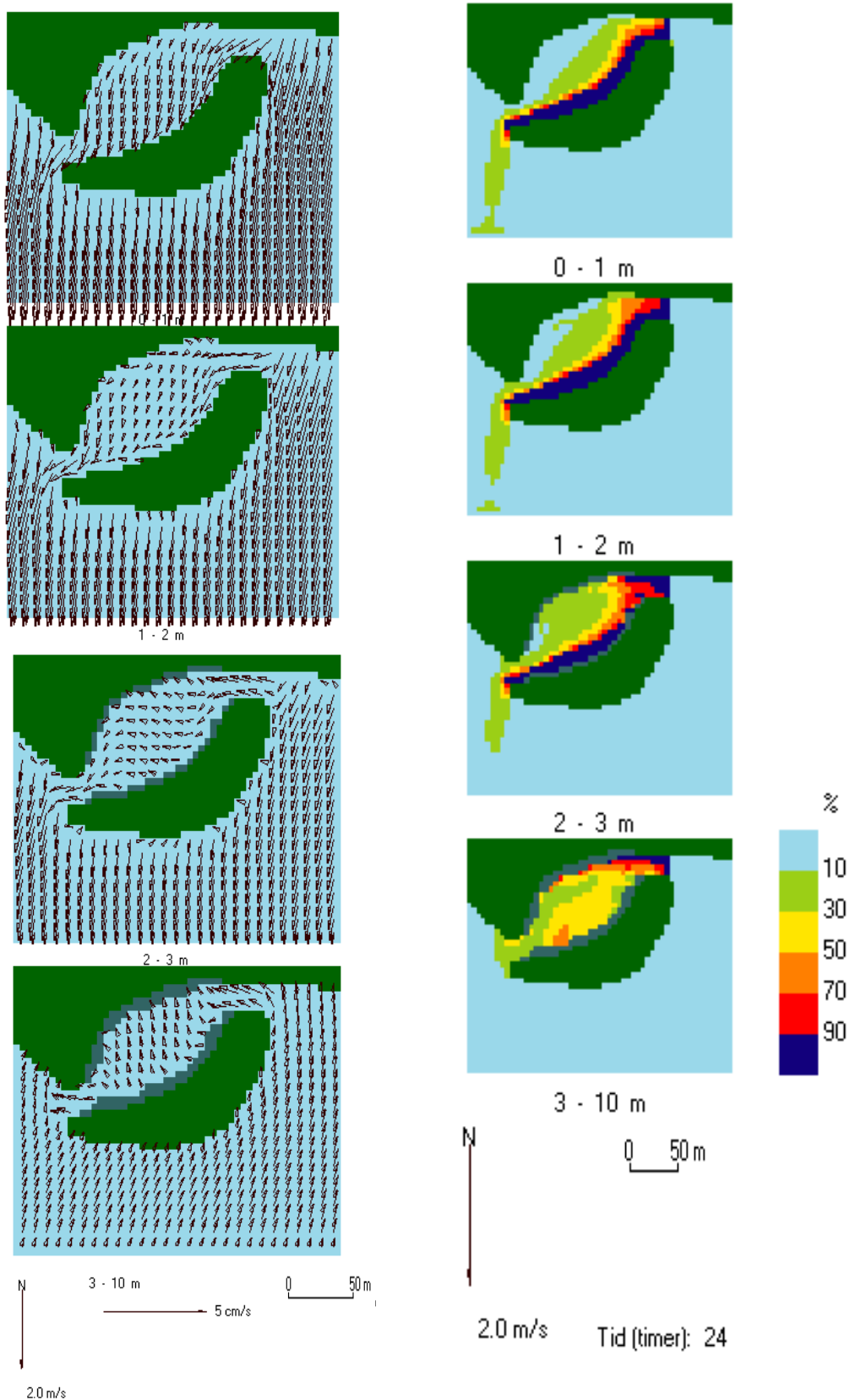
Figur 4. Vind mot nord på 2 m/s. Vannutskifting etter ett døgn. Vannet strømmet inn gjennom bassengets vestlige åpning. Best vannutskifting nær åpningen og i nordlige del av bassenget.



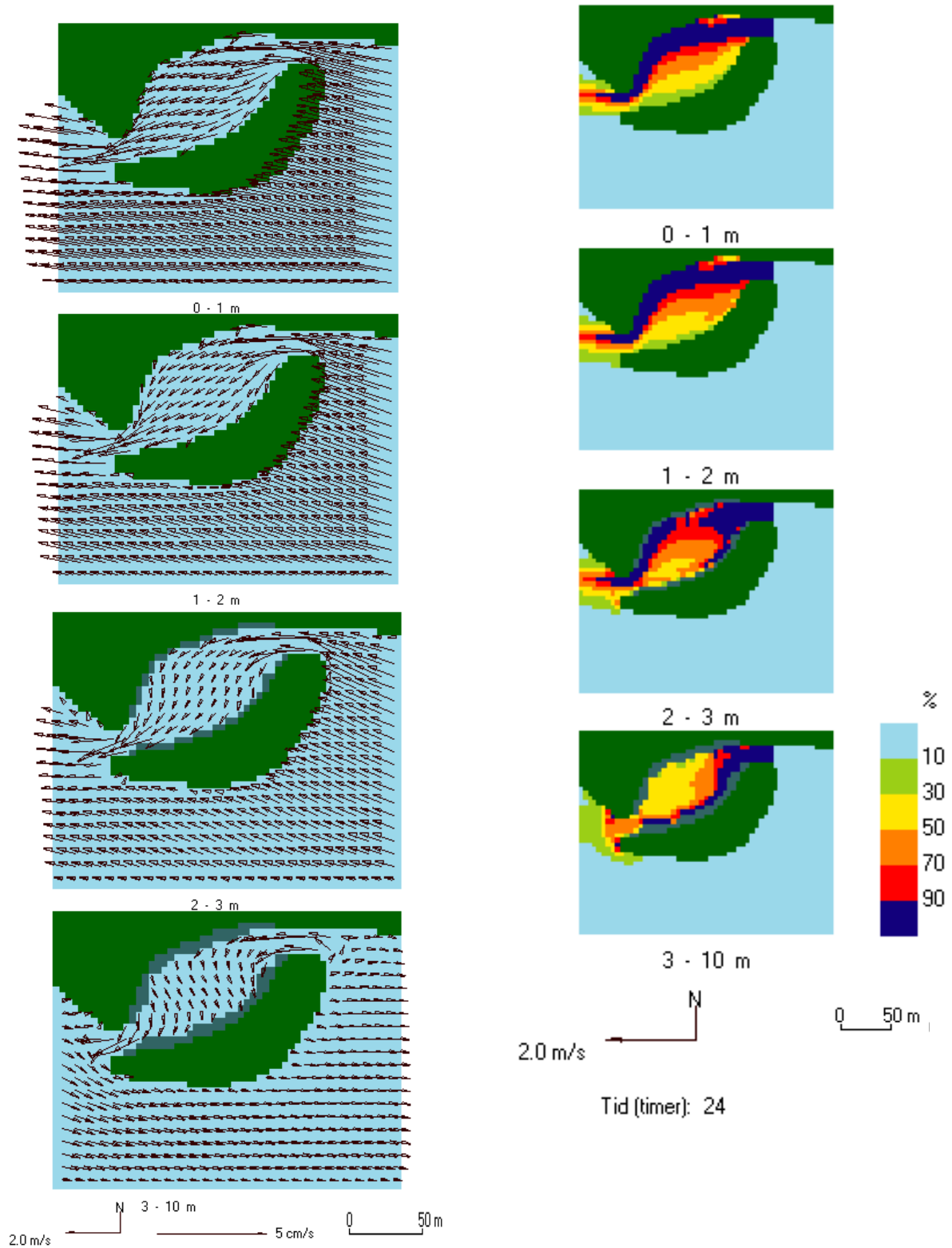
Figur 5. Vind mot nord på 2 m/s. Vannutsiftning etter ett døgn. Vannet strømmet inn gjennom bassengets vestlige åpning. Best vannutsiftning nær åpningen og i sørlig del av bassenget.



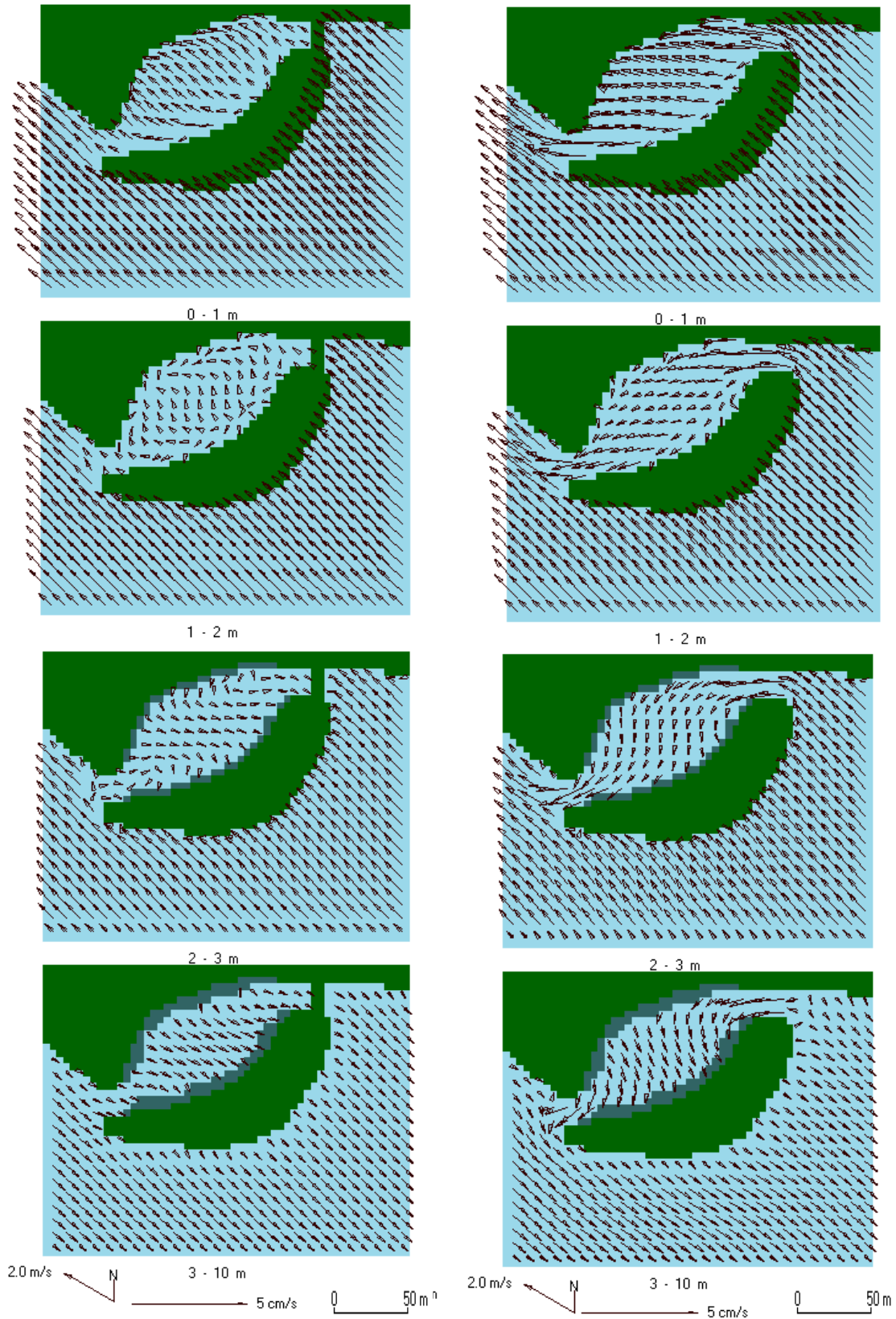
Figur 6. Vind mot sørøst på 2 m/s. Vannutsiftning etter ett døgn. Vannet strømmet inn gjennom bassengets vestlige åpning. Best vannutsiftning i bassengets sørlige deler.



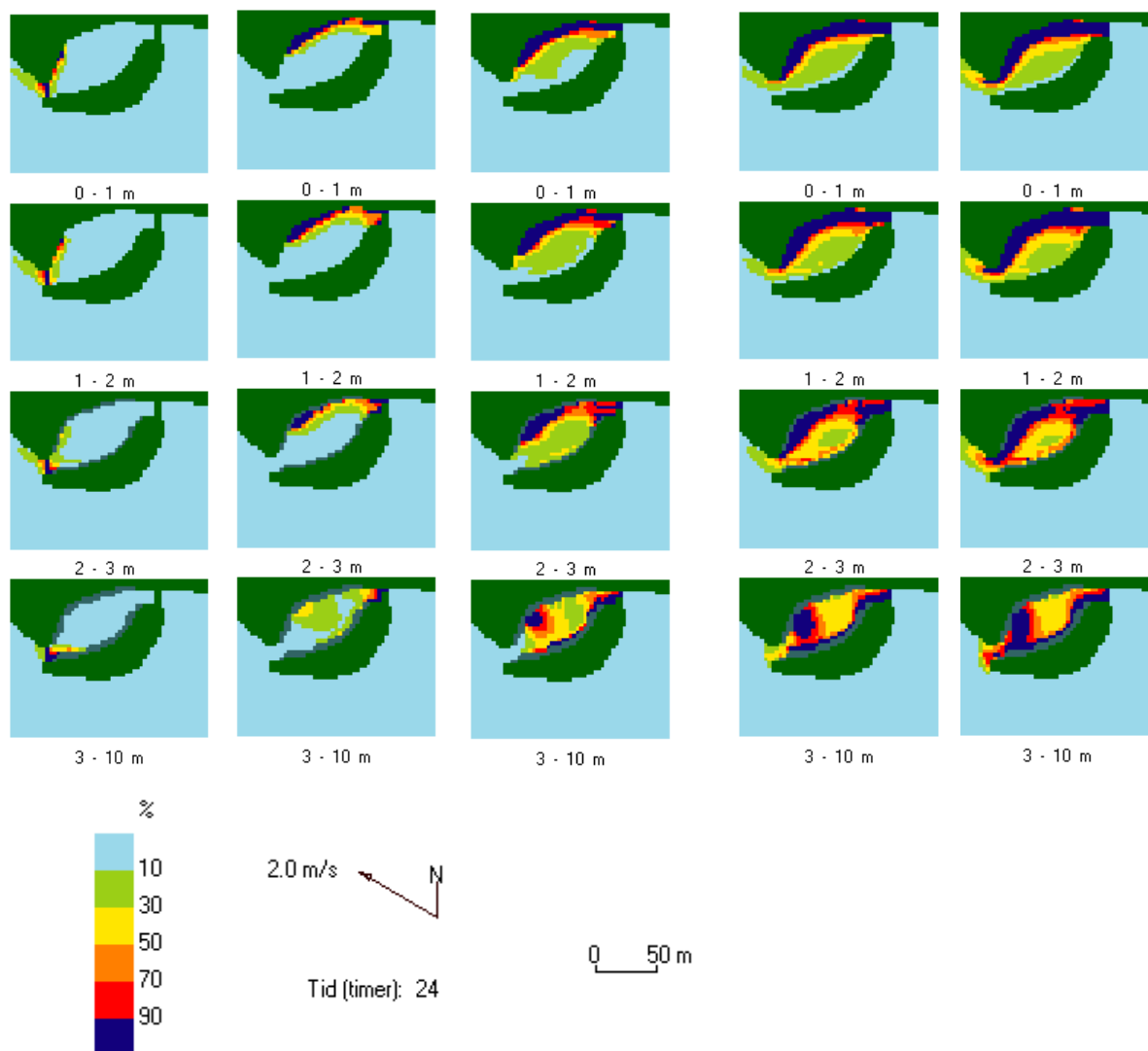
Figur 7. Vind mot sør på 2 m/s. Vannutsiftning etter ett døgn. Vannet strømmet inn gjennom den åpningen i øst. Best vannutsiftning nær åpningen og i bassengets sørlige deler.



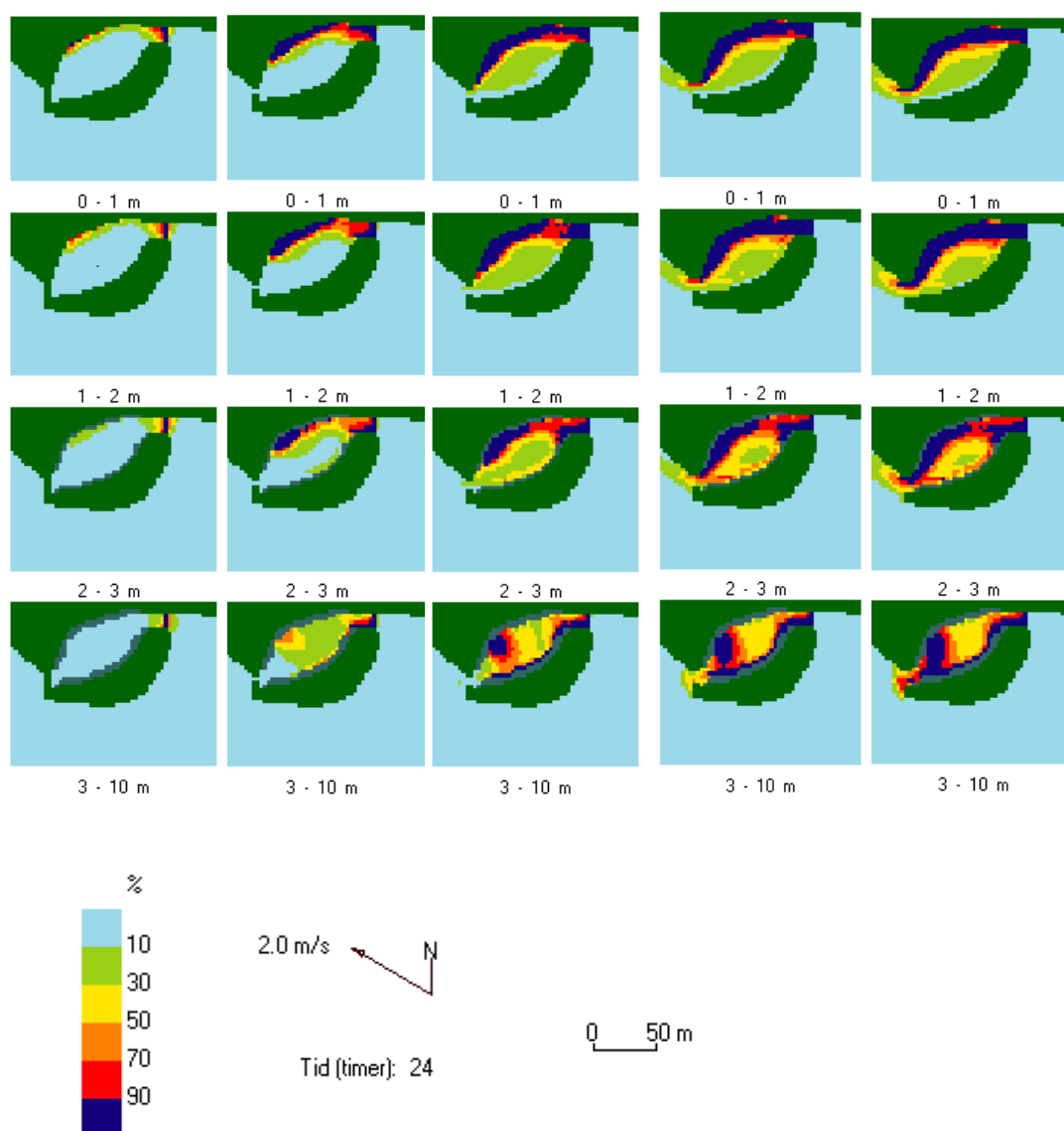
Figur 8. Vind mot vest på 2 m/s. Vannutskiftning etter ett døgn. Vannet strømmet inn gjennom åpningen i øst. God vannutveksling i hele bassenget. Best nær østlig åpning og i nordlige deler.



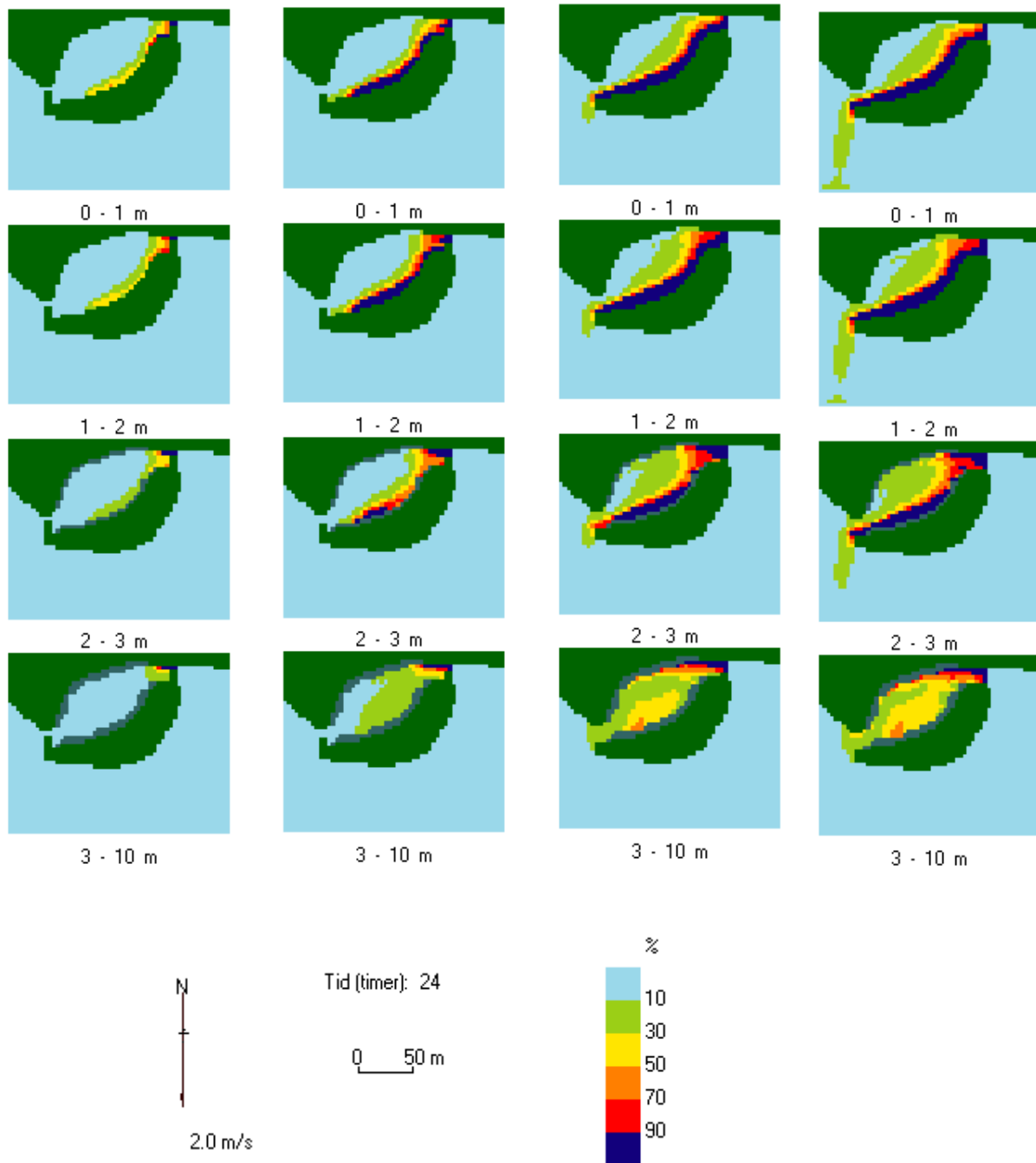
Figur 9. Vind mot nordvest på 2 m/s med og uten åpning i øst. Uten åpning i øst strømmer det kun inn små mengder med vann langs bunnen i den vestlige åpningen.



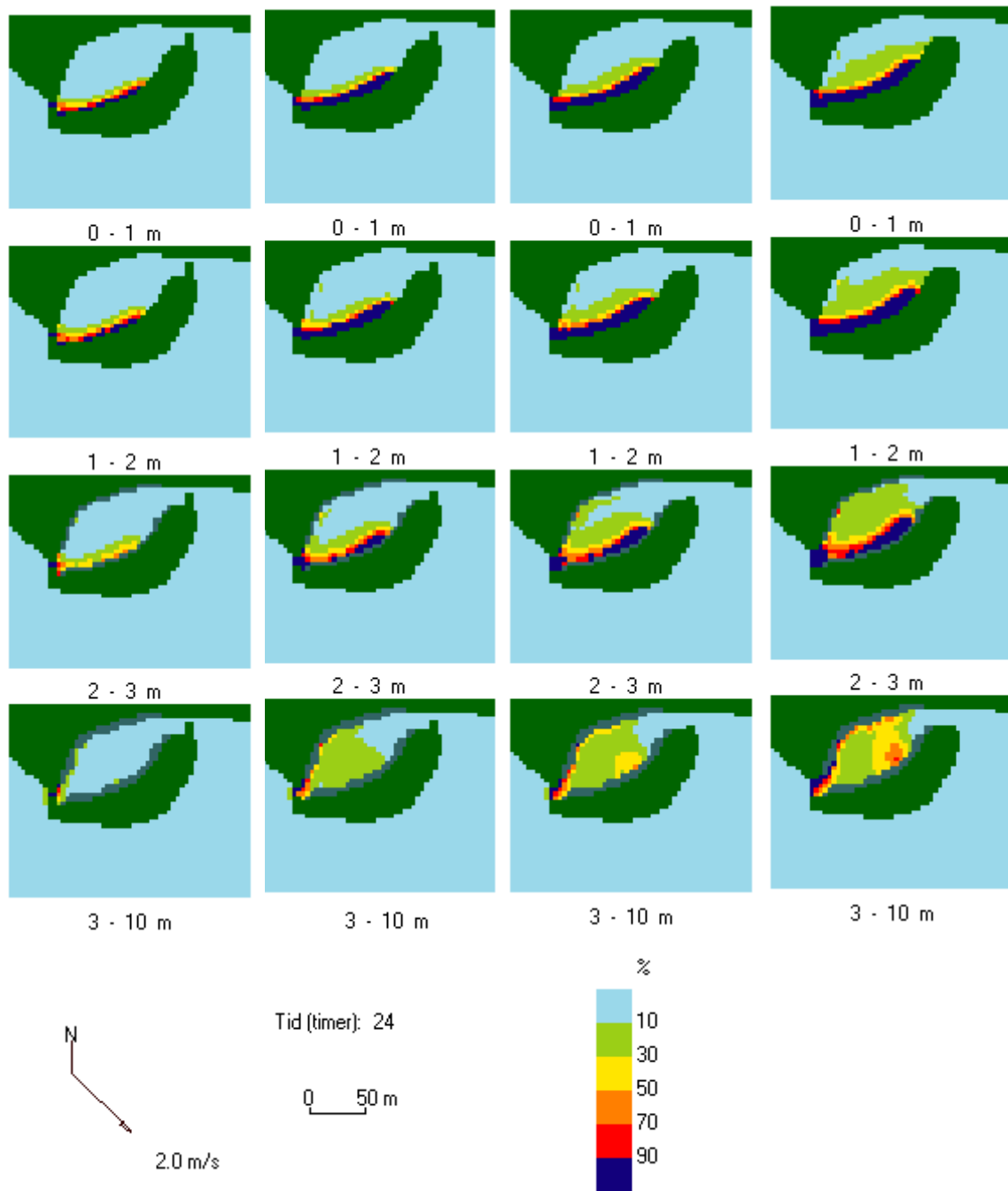
Figur 10. Vind mot nordvest på 2m/s. Vannutsiftning etter ett døgn. Bredder på åpningen i øst på 0, 4, 8, 12 og 16 meter. Stor økning i vannutsiftningen ved økt bredde til 8 meter, deretter mindre økning.



Figur 11. Vind mot NV på 2 m/s. Vannutsiftning etter ett døgn. Vind mot nordvest. Bredder på åpningen i vest på 0, 4, 8, 12 og 16 meter. Stor økning i vannutsiftningen ved økt bredde til 8 meter, deretter mindre økning.

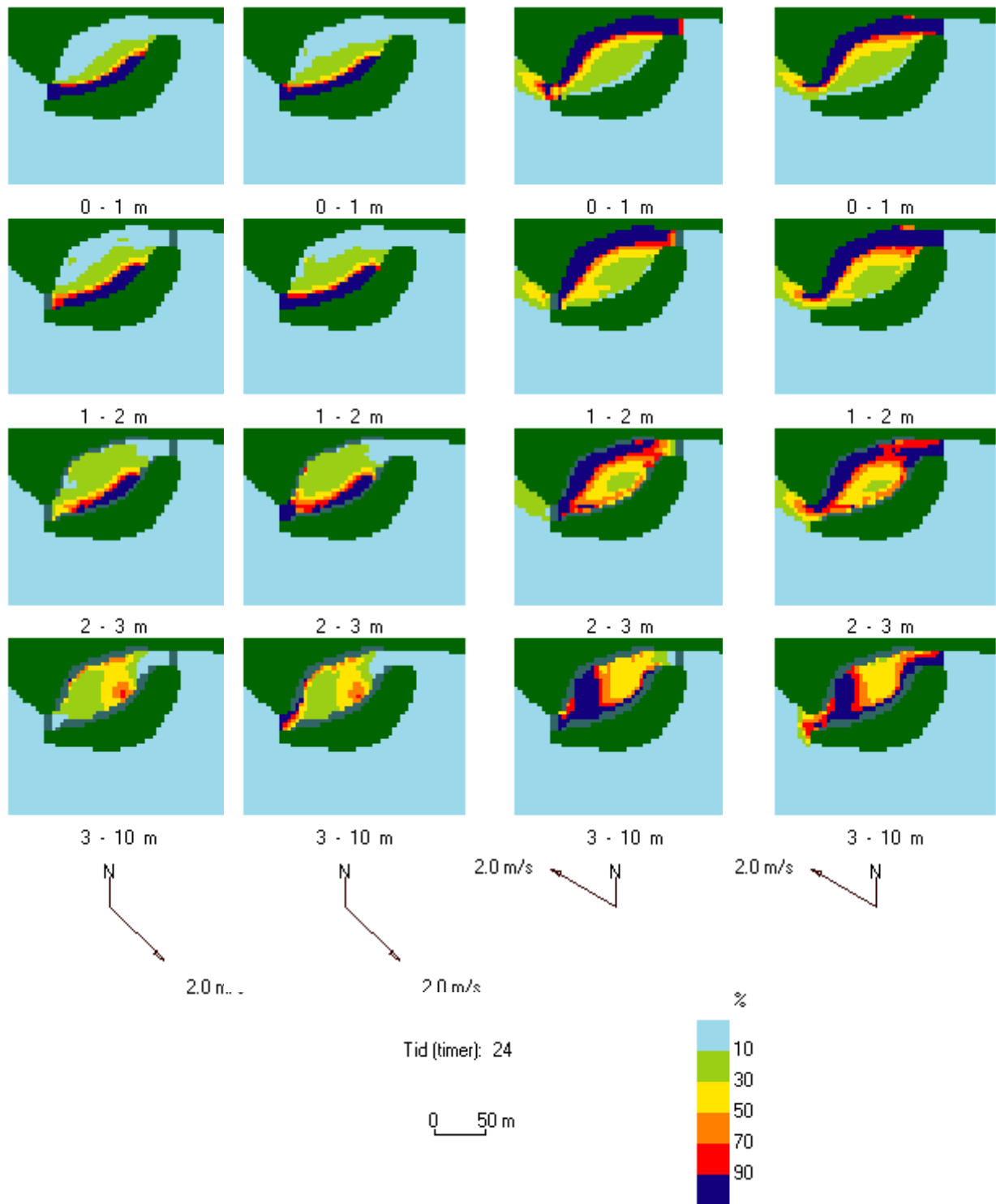


Figur 12. Vind mot sør på 2 m/s. Vannutskifting etter ett døgn. Bredder på åpningen i både øst og vest på 4, 8, 12 og 16 meter. Stor økning i vannutskiftingen ved økt bredde til 12 meter, deretter mindre økning.

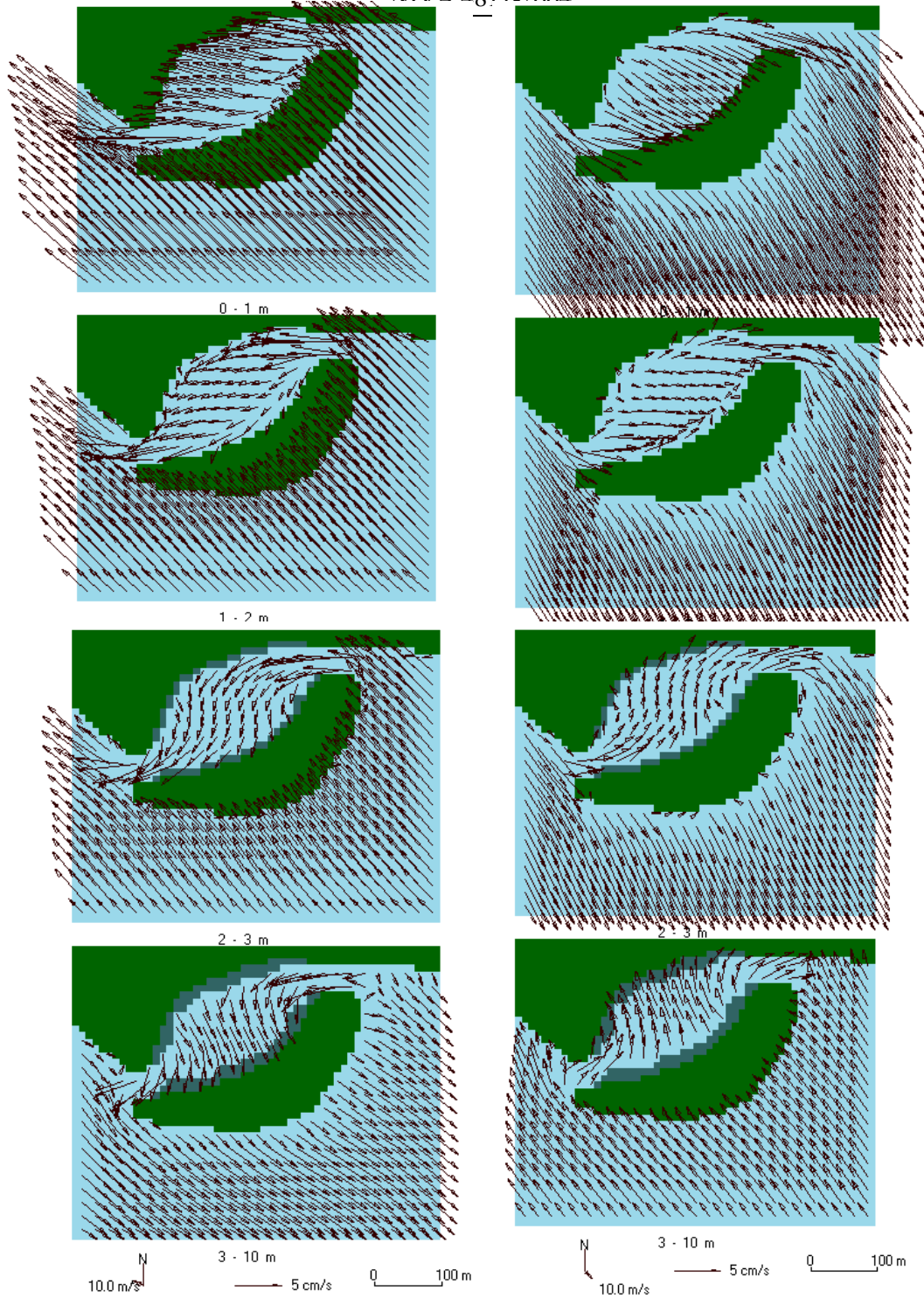


Figur 13. Vind mot sør-vest på 2 m/s. Vannutskiftning etter ett døgn.

Bredden på åpningen i både øst og vest på 4, 8, 12 og 16 meter. Vannutskiftningen økte jevnt ved økt bredde på åpningene.



Figur 14. Vind mot sørøst og mot nordvest på 2 m/s. Vannutsiftning etter ett døgn. Redusert dybde i begge åpningene til 1 meter førte kun til en liten reduksjon i vannutsiftningen.



Figur 15. Vind mot nordvest og mot sørøst på 10 m/s. Hastigheter på omkring 10 cm/s var vanlige i overflaten. Farten var spesiell stor nær åpningene. (merk at hastighetspilene er skalert ned til 2/5 av hva som er vist på de øvrige figurene).