



DNMI

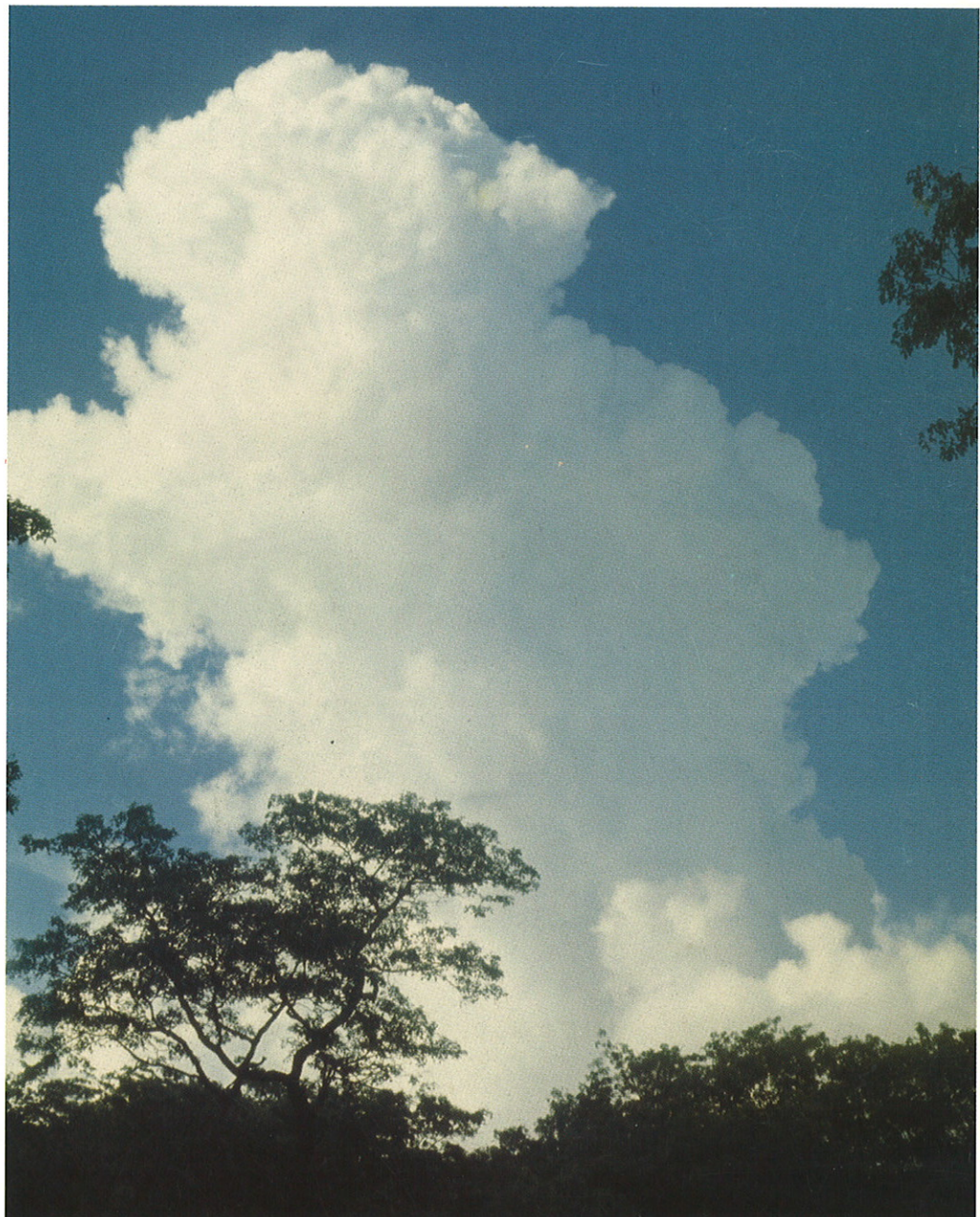
Det norske meteorologiske institutt

RAPPORT NR. 28/99

KLIMA

**ENDRINGAR I LOKALKLIMA
VED FJERNING AV DELAR AV
SVELVIK-RYGGEN I HURUM KOMMUNE**

Per Øyvind Nordli og Knut Harstveit



DNMI - RAPPORT

ISSN 0805-9918

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN, N - 0313 OSLO

RAPPORT NR.
28/99 KLIMA

TELEFON 22 96 30 00

DATO
01.10.99

TITTEL

**ENDRINGAR I LOKALKLIMA VED FJERNING AV DELAR AV SVELVIK-
RYGGEN I HURUM KOMMUNE.**

UTARBEIDD AV

Per Øyvind Nordli og Knut Harstveit

OPPDRAKSGJEVARAR

Hurum kommune

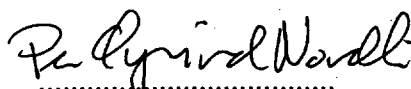
SAMANDRAG

Fjerning av Svelvikryggen fører til temperaturstigning i Drammen/Lier-området, truleg 0,2 til 0,3°C når fjorden er islagt og lufta er vertikalt stabil. Under same tilhøve blir det kaldare i det busette område nær Ryggen på sørsida, sannsynlegvis 1 til 2°C i middel.

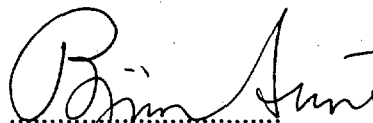
Vinden blir lite endra om Ryggen blir redusert frå 75 til 50 m, medan reduksjon ned til 25 m fører til stor endring. Vidare reduksjon frå 25 til 10 og 5 m har lite å seia. Verknaden av sandryggen slik han ligg i dag, er redusert til om lag 40 % 1 km nedstrøms og til om lag 15 % 2.5 km nedstrøms. Dersom Ryggen blir kutta ned til 25 m, blir mykje av skjerminga borte i desse avstandane til Ryggen.

I det tett busette Svelvik blir det inga endring av vinden same korleis Ryggen blir kutta.

UNDERSKRIFT



Per Øyvind Nordli
SAKSHANDSAMAR



Bjørn Aune
FAGSJEF

1 Innleiing:

Svelvikryggen eller berre Ryggen er ein morene som ligg i Hurum kommune i Buskerud fylke. Sanddrift har hatt lang tradisjon i området og det er også i dag intensiv drift med eksport av sand på lekterar til kjøparar i Oslo, Drammen og elles i Oslofjordområdet. I den vestlegaste delen av Ryggen ut mot Svelviksundet er det likevel ikkje drift i dag. Her er Oslo kommune grunneigar.

I Hurum kommune er no reguleringsplan for Ryggen i ferd med å bli utarbeidd og det er i samband med dette arbeidet at Det norske meteorologiske institutt er beden om ei utgreiing, sjå vedlegg 1. Med omsyn til uttak av sand ynskjer kommunen ei vurdering av tre alternativ, d.e. reduksjon av Ryggen ned til kote 25, 10 og 5 m o.h.

Dei lokalklimatiske verknadene av fjerning eller reduksjon av Ryggen har tidlegare vore vurderte av fleire instansar: Fyrst av Norsk byggforskningsinstitutt i brev til firmaet Anker & Hølaas frå Arne K. Sterten dagsett 16. mars 1978 (sjå vedlegg 2), deretter av DNMI i brev til firmaet Svelviksand frå Åsmund Rabbe dagsett 15. desember 1980 (sjå vedlegg 3). Seinare gjorde Styringsutvalet for Landbruksmeteorologisk Forsking (STULMEF) ei meir grundig utgreiing i rapporters form (1983).

Under dette arbeidet har STULMEFs rapport vore til god hjelp og på somme område går vår gransking no ikkje lenger enn det som allereie før er gjort. Vi ser likevel nytten av ein kritisk gjennomgang av tidlegare arbeid og ei samla framstilling av verknaden av Ryggen på lokal og regional skala.

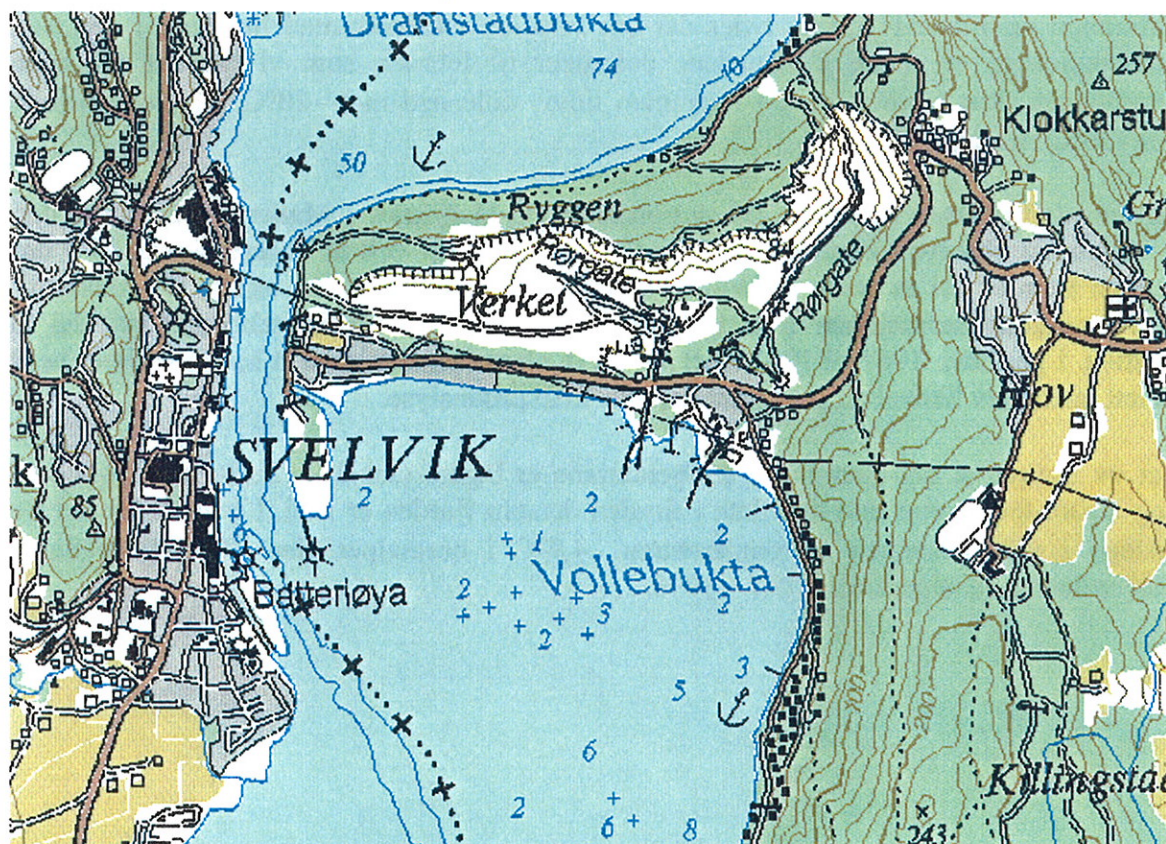
Vårt viktigaste bidrag i høve til tidlegare rapportar er at vi har teke i bruk ein modell for lokal vind i nærområdet til Ryggen. Det har gjort det mogleg å få fram tryggare resultat enn tidlegare med vesentleg større detaljeringsgrad.

2 Klimaet langs Drammensfjorden om vinteren

For å kunne grunngje dei endringane som fjerning av masse ved Svelvik kan føre med seg for lokalklimaet langs fjorden, er det naudsynt å sjå på visse sider ved klimaet i området. I den samanhengen merkar vi oss Drammensfjorden som skjer seg inn i terrenget som ei renne. I den øvre delen går fjorden i nordvestleg retning, i den midtre og nedre delen er retninga nord-sør. Her er fjorden smalare, berre 1,5 – 2 km, medan han i øvre delen er 2 – 3 km brei, sjå kartkopien figur 1. På kvar side av fjorden ris terrenget, visseleg opp til 150 m o.h., men her finst og åsar og høgdedrag over 300 m o.h. og vel så det.

Sør i fjorden stikk to landtunger fram, den eine er Krokåsen, som med unntak av eit lite område, Krokberget er mindre enn 20 m høg, det andre er som nemnt Ryggen. Han stikk ut i fjorden frå austsida så langt at berre ei trong passasje står att, 150 – 200 m brei eller berre 1/10 av breidda til fjorden på staden. Ryggen når opp til 70 – 80 m o.h., men santaksdrifta har allereie redusert høgda vesentleg i tre skilde område som no ligg der som skard i ryggen. Vidare drift går i retning av områda mellom skara som såleis blir utvida frå sidene.

Dette terrenget påverkar i høg grad lokalklimaet i området. For å forklare det er det naudsynt å koma stutt inn på nokre av dei fysiske prosessane som går i grenselaget mellom bakken (jordyta) og lufta: Etter klåre netter, misser overflata varme på grunn av stråling. Landet blir



Figur 1. Kart over Drammensfjorden og områda ikring på regional skala, og ekstra kart på lokal skala over Svelvik med Ryggen og Verke. (Kjelde: Statens kartverk: "Opplev Norge").

avkjølt og kaldlufta samlar seg langs bakken og sklir ut mot fjorden om det ikkje er sterke, storstila vindfelt som blandar seg med kaldlufta gjennom turbulens. Er det rolege vindforhold, kan kaldlufta stagnere over flatt lende og det dannar seg ein inversjon, dvs. at den kaldaste lufta blir liggjande i botnen. Det er særleg om hausten og vinteren det skjer. Då er nettene lengre enn om sommaren og våren, og avkjølingsprosessen får lenger tid til å verke. Midtvinters kan det til og med hende at strålinga frå sola er for veik til å varme opp kaldlufta ved bakken og inversjonen kan då vara ved i fleire dagar om ikkje vêromslaget kjem med vind og skyer.

Drammensfjorden er altså eit naturleg sluk for drenerande kaldluft frå åsane omkring og frå dalen ovafor byen. Men overflata kaldlufta møter varierer. Det kan vera snø oppå islagt fjord, blank stålis eller open vassflate. Kald luft kan liggje over snødekt is utan å ta i mot vesentleg varme frå vatnet under. Blank is derimot slepp vesentleg meir varme igjennom, og er det isfritt på fjorden, blir lufta vermt opp så mykje at ho misser den vertikale stabiliteten og tek til å strøyme vertikalt.

Er derimot Drammensfjorden islagt i ein klårvêrssituasjon med lite vind, fylgjer kaldlufta Drammensfjorden og passerer Svelvikryggen på vegen ut mot dei sentrale delane av Oslofjorden. Vindretninga er då nesten utan unntak nordleg, dvs. ut fjorden.

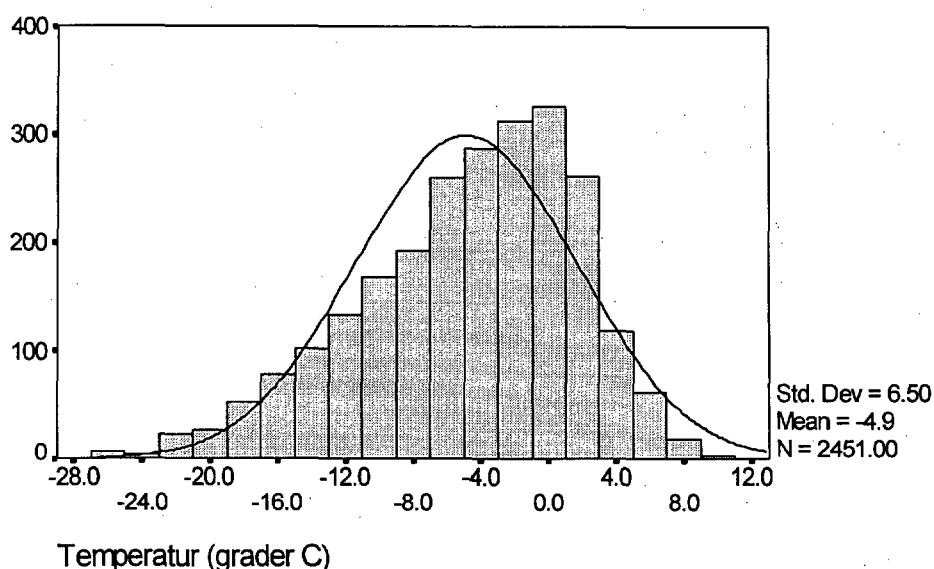
3 Verknader på lufttemperaturen av Ryggen.

3.1 Regional skala.

Det er berre når lufta er vertikal stabil at Ryggen kan påverke klimaet på regional skala (opp til Drammen og Lier). I praksis tyder det om vinteren i klårvêr med lite vind i den tida Drammensfjorden er islagt. I månadene desember til februar, som vi heretter vil kalle vintersesongen, kan temperaturen i Drammen tidvis falle ned mot -20°C , i sjeldne tilfelle nærare -30°C , sjå figur 2.

Datagrunnlaget er observasjonane frå stasjonen 26890 Drammen – Marienlyst gjennom den fulle lengda av observasjonsserien som starta i 1967. Vi har valt ut observasjonen kl 7 om morgonen framfor dei to andre aktuelle observasjonstidspunkta, kl. 13 og kl. 19. Årsaka til valet av morgonobservasjonen er at lufta då i gjennomsnitt er meir stabil enn ved dei to alternativa. I perioden 1967 til 1998 finst det 2451 observasjonar, dvs. at serien ikkje er heilt komplett, men gjev likevel eit godt materiale for frekvensanalyse.

Vi ser av figuren at dei aller fleste temperaturane er lågare enn 0°C . Lufta har dermed til vanleg lågare temperatur enn overflata i fjorden dersom fjorden er isfri. I middel for dei tre månadene i vintersesongen er temperaturen $-4,9^{\circ}\text{C}$ i normalperioden 1961-1990. Same middel er det òg i dataperioden 1967 – 1998.



Figur 2 Temperaturfordeling (talet på tilfelle innafor firegradersintervall) for stasjonen 26890 Drammen – Marienlyst for perioden desember 1967 til februar 1998 i vintersesongen des. – feb. Totalt er brukt 2451 observasjonar, dvs. at nokre observasjonar vantar i perioden.

Dersom eit massivt skydekke kjem inn over Drammensområdet, er det ikkje lenger gode vilkår for danning av kaldluft. Langbylgja stråling frå marka blir møtt av langbylgja motstråling frå skydekket og i netto blir strålingstapet minimalt. Eit anna hinder for danning av kaldluft nær bakken kan vera sterk vind. Turbulente rørsler fører då til sterk omrøring og utjamning av temperaturdifferansar.

Vi vil difor sjå nærare på samvariasjonen mellom vind, skydekke og temperatur, d.e. vêrelement som er viktige når verknadene av Ryggen skal vurderast. Samvariasjon eller korrelasjonskoeffisient mellom desse vêrelementa er vist i tabell 1.

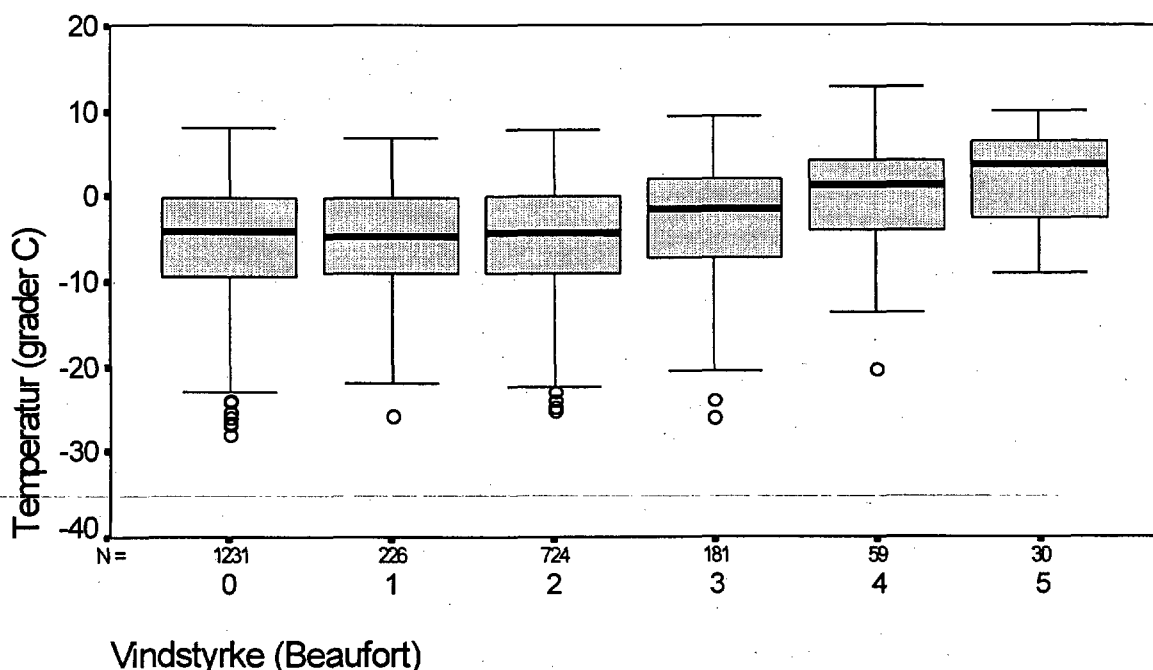
Tabell 1 Samvariasjon (korrelasjonskoeffisientar) mellom vindfart, U, skydekke, N, og temperatur kl. 07 (T) observert på 26890 Drammen – Marienlyst frå desember 1967 til februar 1998. (Tabellen byggjer på 2451 observasjonar, dvs. perioden er ikkje heilt komplett).

	U	N	T
U	1.00	0.15	0.16
N	0.15	1.00	0.25
T	0.16	0.25	1.00

Vi ser at alle vêrelementa er positivt korrelerte. Det er ein svak tendens ($r = 0,16$) til at når vinden er sterk, er temperaturen høg, og ein noko sterkare er tendens ($r = 0.25$) til at når skydekket er stort, er temperaturen også høg. Det finst i Drammen situasjonar med kaldluftsutbrot frå innlandet der vinden ut mot fjorden er relativt sterk. Det kan vera ein vesentleg årsak til at korrelasjon mellom vind og temperatur ikkje er betre enn det tabellen viser.

Ei meir detaljrik samanlikning mellom vind og temperatur finst på figur 3. Vi ser at mediantemperaturen held seg om lag på same nivå frå vindstille til opp mot 2 Beaufort (opp til 3,3 m/s). Frå då av aukar medianverdien når vindfarten aukar. Men vi ser også nokre tilfelle av temperaturar under -20°C og vindstyrke 3 og 4 Beaufort (4 Beaufort går opp til 7,9 m/s).

Då vertikal stabilitet i det bakkenære luftlaget er avgjerande for om Ryggen verkar inn på klimaet på regional skala, er det viktig å finne kor ofte lufta har ein slik tilstand. Stabilitet kan ikkje observerast på DNMI's vêrstasjonar, men eit visst estimat for dette kan likevel finnast ved å setja kriterium til vindfarten og skydekket. Om morgonen i vinterhalvåret reknar vi med at lufta er stabil dersom vindfarten er lågare enn 3,4 m/s (Stuberg & Gotaas, 1972) og/eller at skydekket er mindre enn 5/8-delar. Dette er ikkje eksakte kriterium for stabil luft og må berre bli sett på som eit grovt anslag. Ligg vi likevel dette til grunn, blir vårt estimat for stabil luft i Drammen 27 % (674 observasjonar tilfredsstilte kravet i eit datamateriale på 2451). I praksis er det enno sjeldnare at Ryggen kan ha nokon verknad på grunn av at stabil luft i Drammen kan falle saman med tilfelle av isfri Drammensfjord, noko vi har sett øydelegg stabiliteten i lufta over fjorden.



Figur 3. Temperaturfordeling ved kvar vindstyrkeklasse i vintersesongen (des. - feb.) i perioden desember 1967 – februar 1998 kl. 07. Medianverdien er markert med svart line og boksane markerer variasjonsbreidda mellom kvartilane (25 og 75 persentilen). Observasjonar som ligg utanfor ein avstand til medianen tilsvarende meir enn 3 gonger breidda av kvartilane, er markerte med sirkular. Beaufort vindstyrke 5 femner her også nokre få tilfelle av styrke 6 og 7.

Når utstrøymande, stabil luft møter Ryggen, slepp lufta i lågare nivå enn toppen på Ryggen vanskeleg over. Men lufta kan sleppe i gjennom i sundet ved Svelvik. Dette er likevel trongt, berre 150 – 200 m breitt, men med strandlina på båe sider blir det likevel ei noko breiare passasje for lufta, sjølv om lufta der blir hindra noko av bygningar og skog. Det er likevel liten tvil om at Ryggen verkar inn på lufta nordafor og får ho til å stagnere i langt større grad enn om Ryggen ikkje fanst.

Under ein vørsituasjon med kaldt og klårt vør over Austlandet er ikkje kaldluftslaget (inversjonslaget) like tjukt heile vegen frå Drammen til det møter isfri fjord vanlegvis like sønnafor Ryggen. Laget er tynt ved iskanten, men blir tjukkare innover den islagde fjorden opp mot Drammen. Men auken innover landet er ikkje jamn, ved Ryggen aukar tjukna på laget sterkt for deretter å auke mindre innover mot Drammen. Om ein tenkte seg Ryggen fjerna, ville tjukna på kaldluftslaget bli redusert.

Om tjukna på kaldluftslaget ved Drammen og Lier minka med 30-50 m, ville det føre med seg ein noko høgare temperatur. Kor mykje hevinga kunne bli, er svært vanskeleg å vurdere. Men det er likevel sannsynleg at hevinga i middel ikkje blir større enn nokre ti-dels gradar. Vi skal gje ei kort grunngjeving for det:

I dei tilfella at Drammensfjorden er isfri, finst det eit effektivt sluk for kaldlufta frå Drammen og Lier. Luft som strøymer inn over det ope vatnet, blir vermt, stig opp, og gjev plass til ny kaldluft. Dette sluket er meir effektivt enn det som finst ved Svelvik, også om ein tenkjer seg Ryggen heilt fjerna. Det tyder at dersom ein kunne finne verknaden av open fjord på temperaturen i Drammen, ville ein få ei øvre grense for temperaturhevinga som fjerning av Ryggen ville føre med seg.

Det er nett det STULMEF har prøvd i sin rapport (1983). Dei har samanlikna differansar i minimumstemperatur mellom vørstasjonen i Drammen (den allereie nemnde 26890 Drammen – Marienlyst) og den i Asker. Vørstasjonen i Drammen er påverka av fjordisen, medan vørstasjonen i Asker ligg slik til at isen ikkje kan ha nokon innverknad på temperaturen der.

Tre vintrar vart analyserte, ein såkalla streng isvinter (86 dagars isdekke), ein middels isvinter (32 dagars isdekke) og ein mild vinter utan isdekke. Det viste seg å vera vanskeleg å få heilt pålitelege resultat, særleg fordi temperaturdifferansen mellom Drammen og Asker også var avhengig av temperaturen sjølv utan at isdekket varierte. Etter ei skjønsmessig vurdering til STULMEF på grunnlag av analysen av temperaturdifferansen, fører fjerning av Ryggen til ein gjennomsnittleg heving av minimumstemperaturen i Drammen- Lier-området med 0,2 til 0,3°C. Desse tala gjeld for dei tilfella at Drammensfjorden er islagt og lufta er stabil.

3.2 Lokal skala

På lokal skala vil fjerning av Ryggen berre ha verknad på lufttemperaturen når lufta har stabil lagdeling, dvs. i klårt vør med lite vind og med islagt Drammensfjord frå Svelvik og innover. Det er desse vørsituasjonane vi talar om når vi vurderer temperaturendringa på lokal skala. I det fylgjande blir det ikkje skilt mellom dei tre alternativa 5, 10 og 25 m høgde på Ryggen etter avsluttande drift. Dette er fordi at den søre vollen på om lag 17 m i alle tilfelle blir ståande, slik at maksimal høgde på hindringa i dei to fyrstnemde alternativa ikkje blir 5 eller 10 m, men 17 m. Vidare er det slik at vurderingane nedafor er vanskelege og har stor uvisse. Det finst dermed ikkje grunnlag for å skilje mellom 17 m og 25 m som er den reelle skilnaden mellom alternativa.

For områda på nordsida av Ryggen, fører det til at temperaturen blir høgare om Ryggen blir heilt eller delvis fjerna, truleg vil storleiken på endringa bli om lag 1°C i den nemnde vørsituasjonane, men vurderingane er vanskeleg og noko uviss.

Dersom kaldluftslaget er tjukkare enn høgda på Ryggen, flyt kaldluft over. Under naturlege tilhøve skjer det i nivå 75 m, i dei andre alternativa 17 eller 25 m. Luftstraumen som passerer

ryggen, blir mata frå eit høgre nivå over fjorden under naturlege tilhøve enn når Ryggen er redusert, slik at luft som slepp over har ein høgre temperatur enn det ho ville hatt med redusert sandrygg. Dessutan vil luft kunne falle ned på andre sida av Ryggen og bli oppvarma av fallet, under naturlege tilhøve $0,7^{\circ}\text{C}$ medan dette talet blir redusert til om lag $0,2^{\circ}\text{C}$ med redusert høgde på Ryggen. Noko luft slepp i gjennom Svelviksundet ved sidan av Ryggen, men på grunn av vinden gjennom sundet, må ein rekne med at den kaldaste lufta frå dei lågaste nivåa over den islagde Drammensfjorden blir blanda opp med meddrivi luft frå høgre nivå.

Vurderinga av kva dette har å seia for temperaturen på sørsida av Ryggen i det busette området er vanskeleg utan haldepunkt i modellberekningar. Etter ei skjønsmessig vurdering meiner vi at verknaden av at Ryggen blir fjerna vil vera frå $1 - 2^{\circ}\text{C}$ i klårt vêr med lite vind når Drammensfjorden er islagt ovafor Svelvik.

4 Vindsimulering

4.1 Problemstilling

Det er ønskelig å finne ut hva som skjer med vinden i Drammensfjorden nær Verket i Svelvik, dersom sandryggene på halvøya helt eller delvis forsvinner. Særlig er det interessant å se hva som vil skje i nærheten av bebyggelsen på sørsiden av halvøya.

4.2 Valg av modell

Drammensfjorden ved Svelvik ligger som en 20 km lang kanal langs en nord - sør akse. Nord for denne kanalsonen dreier fjorden mot nordvest i retning Drammen, og sør for sonen løper den ute i Oslofjordbassenget. Se Figur 1.

Kanalsonen er ca. 2 km bred. Åsene på Hurum og Svelviksiden går begge opp i ca. 300 moh. Terrenget stiger relativt bratt opp mot denne platåhøyden. Midt ute i kanalsonen ligger Verket - halvøya, som er ca. 1 km bred og 2 km lang. Bredden løper i fjordens retning. Lengden dekker hele kanalsonens bredde bortsett fra en smal passasje på 150 m nær Svelvik på vestsiden av fjorden.

Halvøya består av 2 sandrygger på 75 m og 25 m høyde, hvorav den nordlige ryggen er størst. Her er det allerede tatt ut en del sand, slik at ryggen ikke har full høyde over det hele. Men det er av interesse å se hva som skjer dersom ryggen reduseres til f.eks. 50, 25, 10 og 5 m høyde. Sørlig rygg skal ikke endres. På Figur 1 sees nordlig rygg ganske tydelig, mens koteoppløsningen gjør at den sørlige ryggen mellom de to veiene langs halvøya er delvis kamuflert.

Vi skal bestemme den relative endring av vindfeltet på begge sider av sandryggene. Det er da ikke avgjørende å modellere vinden helt korrekt i fjorden. Vi velger derfor en rent stilistisk modell med jevn bredde og jevn stigning opp fra på begge fjordbredder. Sandryggene på Verket legges inn som to langsgående bygninger med saltak, med angitt høyde og bredde.

Terrenngmodellen legges numerisk inn som grenseflate i en strømningsmodell. Vi velger en anerkjent CFD «Computational Fluid Dynamics» - modell, Phoenix (1). Phoenix løser Navier Stokes ligninger (Panofsky and Dutton 1984, p 90), som i prinsippet er Newtons 2. lov, loven om massens bevarelse og ligningene for varmeutveksling. Modellen løses opp i celler som

velges utfra aktuell geometri. Deretter foretas integrasjon, løsningsmetoden er i prinsippet en iterasjonsprosedyre der vi gradvis nærmer oss løsningen. Strømningen er modellert som midlere strøm pluss en variasjon omkring middeltilstanden. Denne variasjonen uttrykker strømmens turbulens. Turbulensen parametriseres ved turbulent kinetisk energi og grad av dissipasjon, såkalt KE - modell. Vi skal fokusere på forhold ved middels og sterk vind, og ser derfor bort fra variasjoner i temperatur, og derved tetthet, dvs. vi ser på inkompressibel strømning. Dette er meningsfylt siden høydevariasjonene er små.

4.3 Oppsett og test av bakgrunnsvind

Vi tar nå ut et område av terrenget på 20 km lengde, 4 km bredde og 3 km høyde. Først legger vi bare inn fjorden og skråningen opp mot plataet. Vinden legges inn med en fart på ca. 10 m/s i 10 m høyde. Vindfarten legges inn som et logaritmisk profil, dvs. den avtrappes mot null ved bakken, men slik at fartsendringen er størst helt nederst. Profilet svarer til det som er vanlig kjent over vann i en fjord i et skogsområde, et logaritmisk profil med ruhetsparameter $z_0=0.01\text{m}$. På fjellsidene er det skog og på Verket er det noe bebyggelse og noe vegetasjon, slik at forholdene der egentlig er noe ujevnere enn i modellen. Men vinden blåser mest langs fjorden, og utenom direkte skygge fra trær og busker, er avviket på Verket neppe stort siden det er kort avstand til fjorden der vinden kommer fra.

Modellen består nå av en rekke celler, der alle vindparametre får en digital verdi. Cellene er av dimensjon $dx_i \cdot dy_j \cdot dz_k$, der d antyder at vi bør bruke små celler, x_i er bredden, y_j lengden og z_j høyden av en celle. Cellelengden skal være liten der krumningen er stor, dvs. nær hjørner eller andre endringer i terrenget. Siden vindfarten endrer seg hurtig nær bakken, er høyden av cellene der liten. I høyere lag er den derimot stor. Figur 4 til 7 illustrerer modellen.

Modellen løper i ca. 500 iterasjonsstepp, da er konvergensen god og løsningen stabil i tid. Figur 8 og 9 viser vindfarten, U og turbulent kinetisk energi, Ke , målt i 10 m høyde. Figurene viser at middelvinden er jevn og vindvariasjonen tilnærmet lik over hele testområdet. Figur 10 viser vindprofilet langs midtlinjen i testseksjonen. Tabell 2 viser digitale verdier av vindfarten i testseksjonen, og befester inntrykket av ensartede vindforhold. Tabell 3 viser at vindprofilene midt i testseksjonen ligger omtrent som forventet ved en ruhet på 0.01 m, mens tabell 4 viser at turbulensintensiteten ligger på et noe lavere nivå, mer svarende til 0.003 m, men at profilet er bra. Dette kan bety at KE-modellen har en tendens til ikke å få med all variasjonen i vindfeltet. Dog er forskjellen liten, og neppe av betydning ved vurdering av ryggenes virkning på vindfeltet, siden denne er relativ.

Tabell 2

Simulert vindfart [m/s] i testseksjonen, 10 m høyde

Y / X [km]	1.2	1.4	2.0	2.6	2.8
10.0	10.39	10.43	10.25	10.32	10.23
12.5	10.31	10.42	10.32	10.45	10.34
15.0	10.20	10.29	10.19	10.32	10.23

Tabell 3

Simulerte verdier i punktet 12.5 / 2.0 sett i relasjon til logaritmisk vindprofil med $Z_0=0.01m$.

Z [m]	U	$\frac{U_{z2}}{U_{z1}}$	$\frac{\ln(Z_2/Z_0)}{\ln(Z_1/Z_0)}$
2	7.72		
10	10.32	1.34	1.30
30	11.66	1.13	1.16
100	14.00	1.20	1.15
100/2		1.81	1.74

Tabell 4

Simulerte verdier i punktet 12.5 / 2.0 sett i relasjon til teoretiske verdier ved $Z_0=0.01$ og 0.003 m.

Z [m]	$\frac{K_e^{1/2}}{U}$	$\frac{1}{\ln(Z/0.01)}$	$\frac{1}{\ln(Z/0.003)}$
2	0.15	0.19	0.15
10	0.12	0.14	0.12
30	0.10	0.12	0.11
100	0.08	0.11	0.10

Vi konkluderer med at simuleringene gir de teoretiske relasjoner som er forventet og at forholdene er ensartet i testseksjonen dersom sandryggene og halvøya ikke hadde vært der.

4.4 Resultater og kommentarer

Vi plasserer nå inn de to ryggene, illustrert i Figur 5 til 7. Kjøringer gjøres fra sør og nord med høyder av nordlig rygg på 75, 50, 25, 10 og 5 m.

Vi tar ut digitale verdier fra løsningsmatrisen i avstand av -2, -1.5, -1, -0.55S (-0.5N), -0.25S (-0.1N), 0.1S (0.25N), 0.5S (0.55N), 1, 1.5, 2 og 2.5 km fra toppen av nordre rygg, med - tegn for oppstrøms vind. I verksområdet er det lest av på hver ytterside av ryggene, samt i området mellom. Verdiene tas ut langs en midtlinje i fjorden, 10 m over bakken, dvs $X=2$ km og $Z=0.01$ km. Dessuten leses av en verdi midt i sundet mellom nordre rygg på Verket og vestre fjordbredd, samt en verdi ved Svelvik sentrum, 1.4 km videre mot sør.

Vindfarten bestemmes i alle punkter for alle modellkjøringene, også for kjøringen uten rygger. Den relative endring mellom løsningen med 75 m høyde på nordlig rygg (tilnærmet dagens tilstand) og øvrige tistander bestemmes. Resultatene er vist i Tabell 5 - 8.

Tabell 5

Simulert vindfart i 11 punkter langs en midtlinje i fjorden med nullpunkt ($Y=0$) sentralt på nordre sandrygg, midt i sundet vest for nordre rygg og i Svelvik. Modellen er kjørt ved 5 høyder av nordre rygg, samt med helt flatt landskap som referanse. Alle verdier gjelder 10 m høyde over bakken.

SØRLIG VIND			Høyde av nordre rygg redusert til:					Ingen rygger
Sted	Modellp.	Y [km]	75m	50m	25m	10m	5m	
Oppstrøms	10.55	-2.00	10.05	10.09	10.16	10.18	10.18	10.30
Oppstrøms	11.05	-1.50	10.01	10.07	10.16	10.18	10.18	10.32
Oppstrøms	11.55	-1.00	9.85	9.97	10.11	10.14	10.14	10.33
S.fot, rygg S	12.00	-0.55	8.35	8.58	8.86	8.92	8.94	10.33
Mellom åsene	12.30	-0.25	6.33	7.18	8.26	8.58	8.66	10.32
N.fot, rygg N	12.65	0.10	1.24	1.43	5.48	9.04	9.47	10.31
Nedstrøms	13.05	0.50	3.64	5.47	8.93	9.68	9.80	10.30
Nedstrøms	13.55	1.00	7.51	8.24	9.70	9.92	9.95	10.28
Nedstrøms	14.05	1.50	7.84	8.46	9.73	9.91	9.93	10.26
Nedstrøms	14.55	2.00	8.16	8.68	9.76	9.89	9.91	10.23
Nedstrøms	15.05	2.50	8.47	8.88	9.78	9.88	9.89	10.19
Sund	1.15,12.55		10.99	10.67	10.28	10.17	10.14	10.10
Svelvik	1.15,11.15		9.98	10.03	10.08	10.07	10.07	10.13
Resirkulasjon			Ja	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei

Tabell 6

Simulert vindfartsøkning i 11 punkter langs en midtlinje i fjorden med nullpunkt ($Y=0$) sentralt på nordre sandrygg, midt i sundet vest for nordre rygg og i Svelvik. Økningen er simulert ved 5 endringer av høyden til nordre rygg og gjelder endring fra dagens tilstand (simulert ved 75 m høyde). Alle verdier gjelder 10 m høyde over bakken.

SØRLIG VIND			Høyde av nordre rygg redusert til:				Ingen rygger
Sted	Modellp.	Y [km]	50m	25m	10m	5m	
Oppstrøms	10.55	-2.00	0 %	1 %	1 %	1 %	2 %
Oppstrøms	11.05	-1.50	1 %	1 %	2 %	2 %	3 %
Oppstrøms	11.55	-1.00	1 %	3 %	3 %	3 %	5 %
S.fot, rygg S	12.00	-0.55	3 %	6 %	7 %	7 %	24 %
Mellom åsene	12.30	-0.25	13 %	31 %	36 %	37 %	63 %
N.fot, rygg N	12.65	0.10	16 %	342 %	629 %	664 %	731 %
Nedstrøms	13.05	0.50	50 %	145 %	166 %	169 %	183 %
Nedstrøms	13.55	1.00	10 %	29 %	32 %	32 %	37 %
Nedstrøms	14.05	1.50	8 %	24 %	26 %	27 %	31 %
Nedstrøms	14.55	2.00	6 %	20 %	21 %	21 %	25 %
Nedstrøms	15.05	2.50	5 %	15 %	17 %	17 %	20 %
Sund	1.15,12.55		-3 %	-6 %	-7 %	-8 %	-8 %
Svelvik	1.15,11.15		1 %	1 %	1 %	1 %	2 %
Resirkulasjon			Ja	Ja	Nei	Nei	Nei

Tabell 7

Simulert vindfart i 11 punkter langs en midtlinje i fjorden med nullpunkt ($Y=0$) sentralt på nordre sandrygg, midt i sundet vest for nordre rygg og i Svelvik. Modellen er kjørt ved 5 høyder av nordre rygg, samt med helt flatt landskap som referanse. Alle verdier gjelder 10 m høyde over bakken.

NORDLIG VIND			Høyde av nordre rygg redusert til:					Ingen
Sted	Modellp.	Y [km]	75m	50m	25m	10m	5m	rygger
Oppstrøms	10.10	-2.00	9.97	10.05	10.15	10.17	10.17	10.28
Oppstrøms	10.60	-1.50	9.86	9.99	10.14	10.17	10.18	10.30
Oppstrøms	11.10	-1.00	9.76	9.93	10.14	10.18	10.18	10.32
Oppstrøms	11.60	-0.50	9.24	9.61	10.05	10.15	10.17	10.33
N.fot, rygg N	12.00	-0.10	3.41	4.74	7.60	9.59	9.90	10.33
Mellom åsene	12.35	0.25	0.99	1.31	7.63	9.47	9.75	10.33
S.fot, rygg S	12.65	0.55	3.44	4.95	6.73	7.31	7.40	10.32
Nedstrøms	13.10	1.00	7.15	7.88	9.24	9.46	9.49	10.30
Nedstrøms	13.60	1.50	8.38	8.71	9.74	9.85	9.87	10.28
Nedstrøms	14.10	2.00	8.54	8.81	9.76	9.86	9.87	10.26
Nedstrøms	14.60	2.50	8.69	8.92	9.78	9.86	9.87	10.23
Sund	2.85,12.1		11.05	10.69	10.28	10.19	10.16	10.10
Svelvik	2.85,13.5		10.14	10.14	10.08	10.10	10.10	10.13
Resirkulasjon			Ja	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei

Tabell 8

Simulert vindfart i 11 punkter langs en midtlinje i fjorden med nullpunkt ($Y=0$) sentralt på nordre sandrygg, midt i sundet vest for nordre rygg og i Svelvik. Modellen er kjørt ved 5 høyder av nordre rygg, samt med helt flatt landskap som referanse. Alle verdier gjelder 10 m høyde over bakken.

NORDLIG VIND			Høyde av nordre rygg redusert til:				Ingen
Sted	Modellp.	Y [km]	50m	25m	10m	5m	rygger
Oppstrøms	10.10	-2.00	1 %	2 %	2 %	2 %	3 %
Oppstrøms	10.60	-1.50	1 %	3 %	3 %	3 %	4 %
Oppstrøms	11.10	-1.00	2 %	4 %	4 %	4 %	6 %
Oppstrøms	11.60	-0.50	4 %	9 %	10 %	10 %	12 %
N.fot, rygg N	12.00	-0.10	39 %	123 %	181 %	190 %	203 %
Mellom åsene	12.35	0.25	32 %	670 %	857 %	885 %	943 %
S.fot, rygg S	12.65	0.55	44 %	96 %	113 %	115 %	200 %
Nedstrøms	13.10	1.00	10 %	29 %	32 %	33 %	44 %
Nedstrøms	13.60	1.50	4 %	16 %	18 %	18 %	23 %
Nedstrøms	14.10	2.00	3 %	14 %	15 %	16 %	20 %
Nedstrøms	14.60	2.50	3 %	13 %	13 %	14 %	18 %
Sund	2.85,12.1		-3 %	-7 %	-8 %	-8 %	-9 %
Svelvik	2.85,13.5		0 %	-1 %	0 %	0 %	0 %
Resirkulasjon			Ja	Ja	Nei	Nei	Nei

4.5 Generelle kommentarer

Et utvalg plott er gitt i Figur 11 - 24. Figur 11 - 18 illustrer dagens tilstand ved vind fra sør og nord. Det er tatt med vindstrømningsplot langs fjordens midtlinje (Figur 11, 15), og i 10 m nivå i horisontalplanet (Figur 12, 16), fartskonturkart i horisontalplanet (Figur 13, 17), og vertikalsnitt langs fjordens midtlinje av turbulent, kinetisk energi (Figur 14, 18). Kartene viser at det inntrer en betydelig fartsreduksjon etter passasje av nordlig rygg, men at vinden da er svært turbulent, slik at sjenerende vindkast nok kan forekomme enkelte steder. Dessuten er vinden noe forsterket gjennom sundet vest for nordre rygg. Ved vind fra nord inntrer en viss vindfartsreduksjon «pute-effekt» inn mot den høye ryggen, mens det er skjermede områder bak passasjen av ryggene. Ved sørlig vind sees ikke noen reduksjon inn mot den lave ryggen i sør.

Vi ser også at vinden i området med sterkest fartsreduksjon tildels skifter retning, dvs. vi ligger i en bakevje, vi sier at vinden er resirkulert. Vi legger også merke til fartsøkningen over begge ryggene, spesielt den høye.

Figur 19 til 21 illustrerer forhold ved nordlig vind og 25 m høyde av nordlig rygg, figur 22 til 24 sørlig vind og 10 m høyde. Vi ser at det ikke er resirkulasjon i noe område for disse høydene. Skjermede områder er mindre utbredt og fartsdempningen er mindre. Forskjellen er mest iøynefallende ved reduksjon til 25 m. Tabell 6 - 9 viser at det er resirkulasjon for 50 og 75 m, men ikke for 25 m og lavere.

4.6 Virkning for bebyggelsen på Verket

Ved sørlig vind kommer vinden fra fjorden meget fritt inn mot bebyggelsen på Verket, sandryggene «puteeffekt» er liten. Dette gjelder uansett tilstand av sandryggene. Se også Tabell 6 - 7.

Ved nordlig vind er skjermingen ved dagens tilstand ganske stor. Bebyggelsen er også skjermet for den sterke turbulensen slik at vindkastene ved nordlig vind ikke er sjenerende. Tabell 8 - 9 viser at skjermingseffekten gradvis avtrappes når høyden av nordre ås reduseres fra 75 til 25 m, men at videre utgravning har mindre å si fordi det da er restskjermingen fra søndre rygg som dominerer.

Variasjoner innenfor byggefeltene er generelt vanskelig å kommentere fordi vi da opererer på en så liten skala at den ikke blir oppløst av geometrien i modellen. Men skjermingen helt vest på neset, sør for søndre rygg synes å være liten i dag, dette forhold blir heller ikke endret ved inngrepene.

4.7 Øvrige virkninger

Tabell 6 - 9 antyder at vindfarten går noe ned når ryggen fjernes, ca. 5 - 10 %. Det er ingen virkning ved Svelvik.

Tabell 6 - 9 viser at skjermingsvirkningen etter passasje av dagens sandrygger gradvis avtrappes fra ca. 40 % 1 km nedstrøms til ca. 15 % 2.5 km nedstrøms. Det er liten forskjell ved kutt til 50 m, men dersom vi kutter til 25 m, forsvinner mye av skjermingen i disse farvannene.

5 Sammendrag og konklusjoner.

Temperatur.

Skal sandryggen ved Svelvik ha noen virkning på lufttemperaturen på regional skala, må lufta være stabil mot vertikal forflytning. Dette inntreffer vesentlig om vinteren når fjorden er islagt. I månedene desember til februar er lufta stabil i rundt regnet 27 % av tida forutsatt at fjorden er islagt.

Virkningene av ryggen er tidligere vurdert av Studieutvalget for landbruksmeteorologisk forskning (STULMEF) på grunnlag av en sammenligning av temperaturredifferanser mellom to meteorologiske stasjoner i Drammen og Asker. En skjønsmessig vurdering gjort av STULMEF med bakgrunn i undersøkelsen, gav som resultat at fjerning av ryggen førte til en temperaturstigning i Drammen/Lier-området på 0,2 til 0,3 °C. Disse tallene er gjennomsnitt for de tilfellene at fjorden er islagt og lufta over stabil. Ved isfri fjord blir det ingen virkning.

Ved det bosatte området like sør for ryggen, vil det bli litt kaldere om ryggen fjernes, men det er vanskelig å gi sikre kvantitative resultat. Etter en samlet vurdering anslår vi størrelsen på endringen i middel til 1-2 °C for de tilfellene at Drammensfjorden er islagt ovafor Svelvik og vinden ikke er særlig sterk.

Vindforhold.

Generelt gjelder at ved inngrep i nordre rygg endres vindforholdene relativt lite når høyden endres fra 75 til 50 m, mens videre reduksjon til 25 m medfører stor ending. Videre reduksjon fra 25 til 10 og 5 m betyr lite.

Ved dagens tilstand inntreder det en betydelig vindfartsreduksjon de neste 500 til 1000 m etter passasje av ryggen. I deler av dette området blir gjennomsnittshastigheten nesten null. Vinden skifter også delvis retning ved å blåse inn mot ryggen etter å ha passert den, dvs. vi ligger i en bakevje, vinden er resirkulert. Turbulensen i disse områdene øker, slik at det kan forekomme en del sterke vindkast. Det er ikke resirkulasjon i noe område når høyden av nordre rygg går ned i 25 m eller lavere.

Skjermingsvirkningen etter passasje av dagens sandrygger avtrappes gradvis fra ca. 40 % 1 km nedstrøms til ca. 15 % 2,5 km nedstrøms. Det er liten forskjell ved kutt til 50 m, men dersom vi kutter til 25 m, forsvinner mye av skjermingen i disse farvannene.

Vinden er noe forsterket gjennom sundet vest for nordre rygg, og blir følgelig noe redusert når ryggenes høyde avtar til 25 m og lavere, ca. 5 - 10 %. Det er ingen virkning ved Svelvik.

Ved vind fra nord inntreder en tydelig vindfartsreduksjon («pute-effekt») inn mot den høye ryggen, reduksjonen er mer enn 50 % nær ryggen. Ved sørlig vind sees en mindre reduksjon inn mot den lave ryggen i sør (20 %).

Over ryggene er det fartsøkning, spesielt over den høye. I forhold til 10 m over fri fjord er fartsøkningen der på ca. 60%, mens den på den lave ryggen ligger på 10 til 20%.

Virkning for bebyggelsen på Verket

Ved sørlig vind kommer vinden fra fjorden meget fritt inn mot bebyggelsen på Verket, sandryggenes «puteeffekt» er bare ca. 20%. Ved inngrep i nordre rygg ved reduksjon til 25 m og lavere, er puteeffekten relativt uforandret, ca. 15%.

Ved nordlig vind er skjermingen ved dagens tilstand ganske stor, vindfarten er bare 35 % av vinden ute på fjorden. Bebyggelsen er også skjermet for den sterke turbulensen slik at vindkastene ved nordlig vind ikke er sjenerende. Denne skjermingseffekten avtrappes gradvis når høyden av nordre ås reduseres fra 75 til 25 m, mens videre utgravning har mindre å si.

Variasjoner innenfor byggefeltene er generelt vanskelig å kommentere fordi vi da opererer på en skala som geometrien ikke har oppløst. Men skjermingen helt vest på neset sør for søndre rygg synes å være liten i dag, dette forhold blir heller ikke endret ved inngrepene.

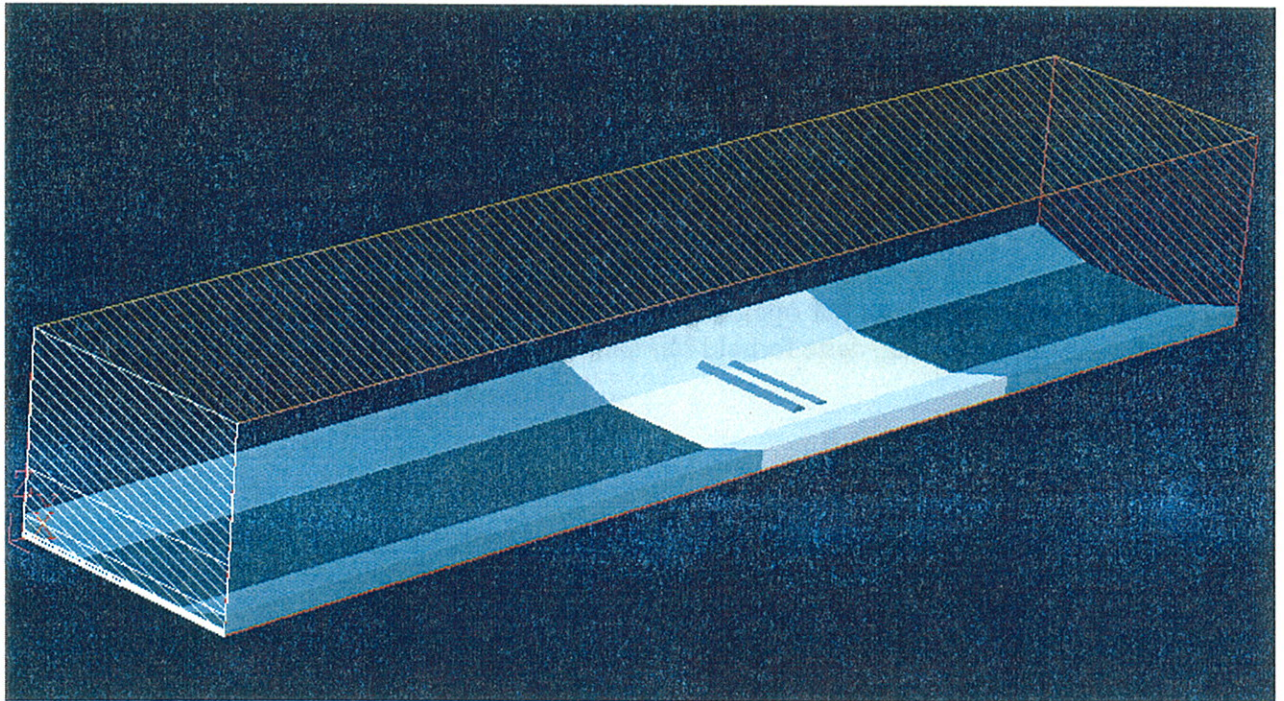
Litteratur

Heldal, B. 1983: Forventede lokalklimatologiske konsekvenser av fjerning av deler av Verket – Ryggen. *Styringsutvalet for landbruksmeteorologisk forskning, Ås – NHL.*

Phoenix-VR (1) Concentration, Heat & and Momentum limited (CHAM): *TR 324: Starting wiht PHOENICS-VR.* <http://www.cham.co.uk>

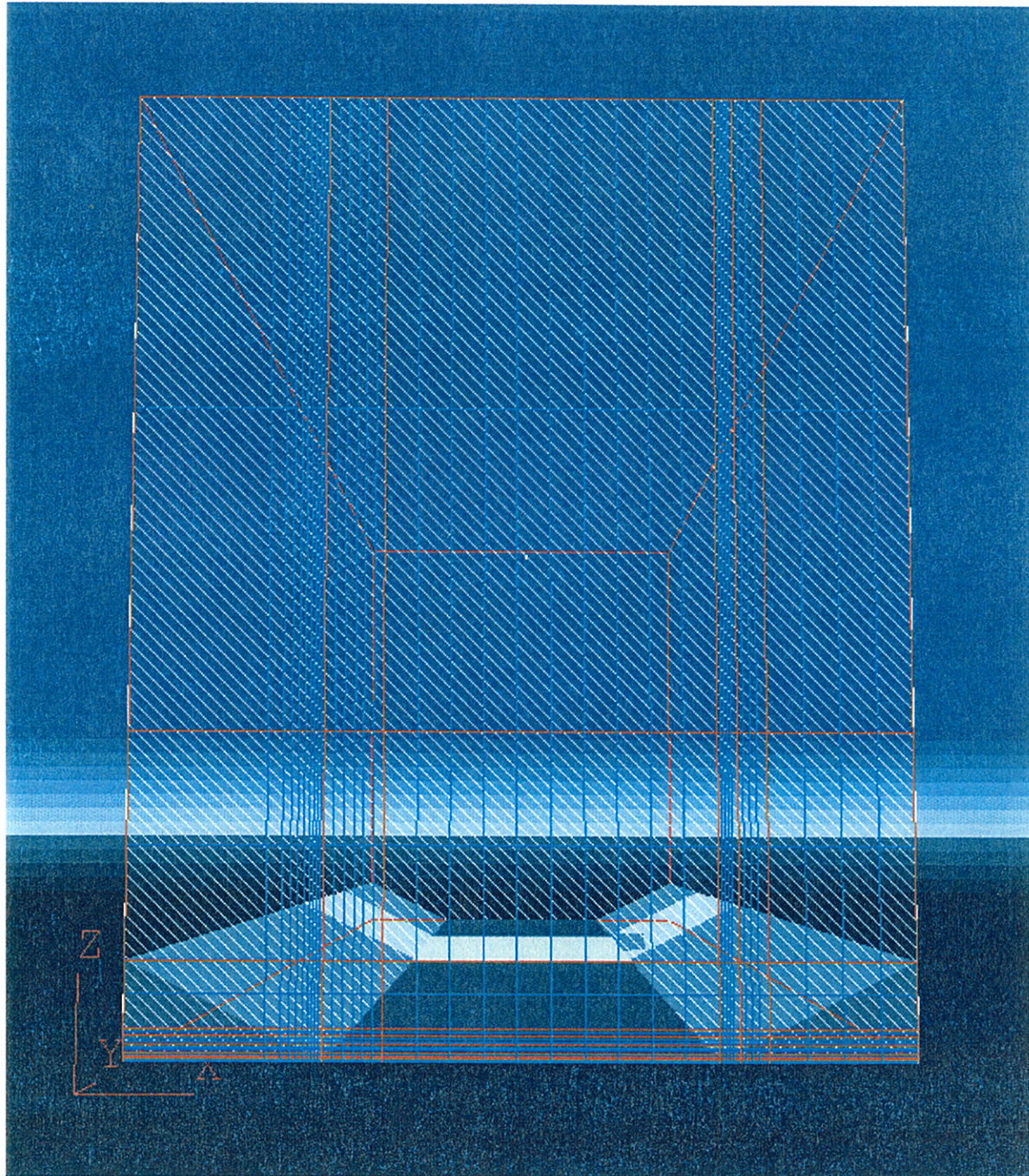
Panofsky, H.A, and Dutton, J 1984: *Atmospheric Turbulence. Models and Methods for Engineering Applications.* John Wiley & Sons, Inc.US.

Stuberg, M. Gotaas, Y. 1972: Static Stability in a Valley Atmosphere in Northern Norway. *Norwegian Defence Research Establishment.* Technical note No. VM-57.

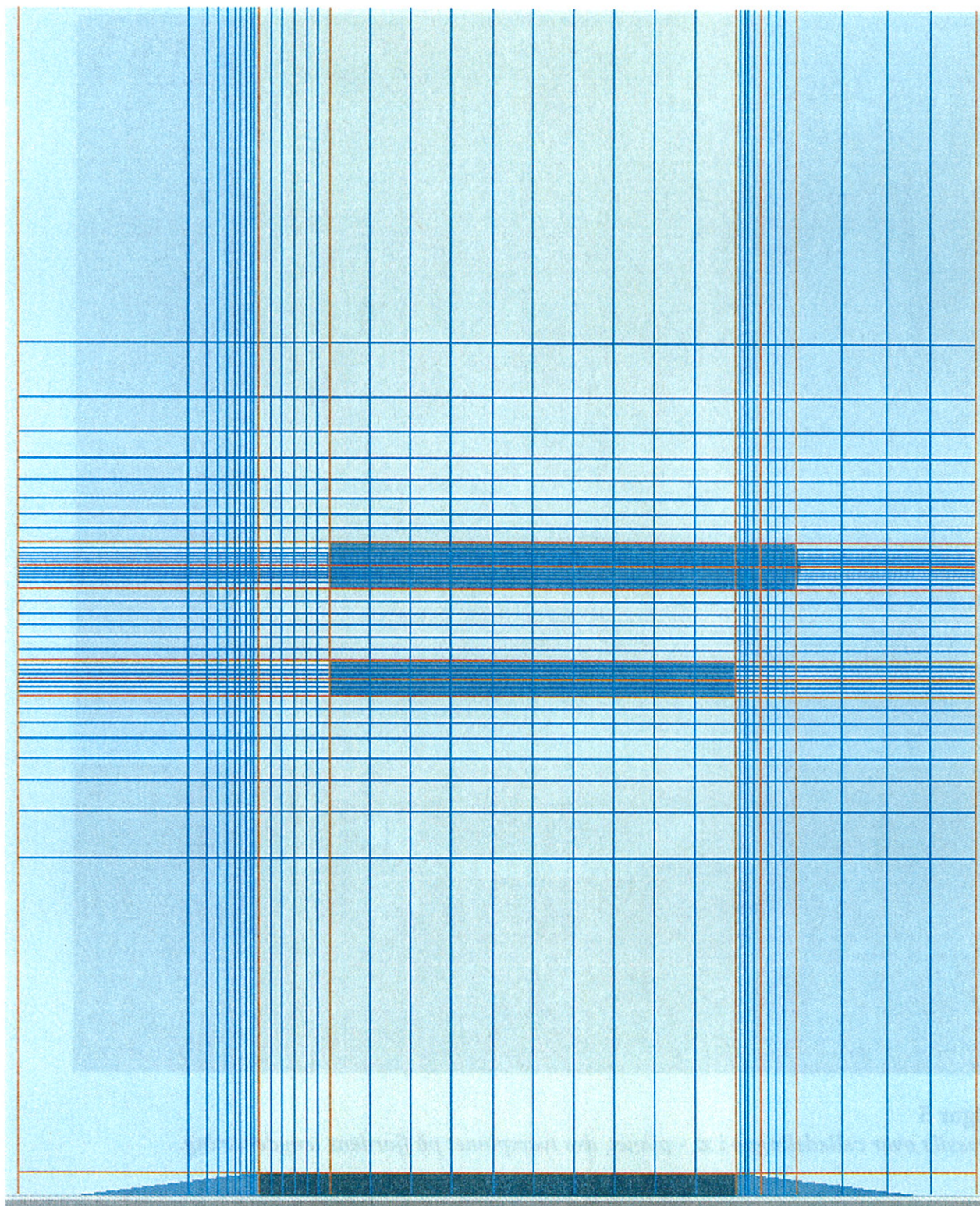


Figur 4.

Modell av Drammensfjorden med sandryggene på Verket plassert midt i testseksjonen. Fjordens retning er nord-sør med nord til venstre i bildet. Modellen er 20 x 4 x 3 km og testseksjonen 5 x 2 km.

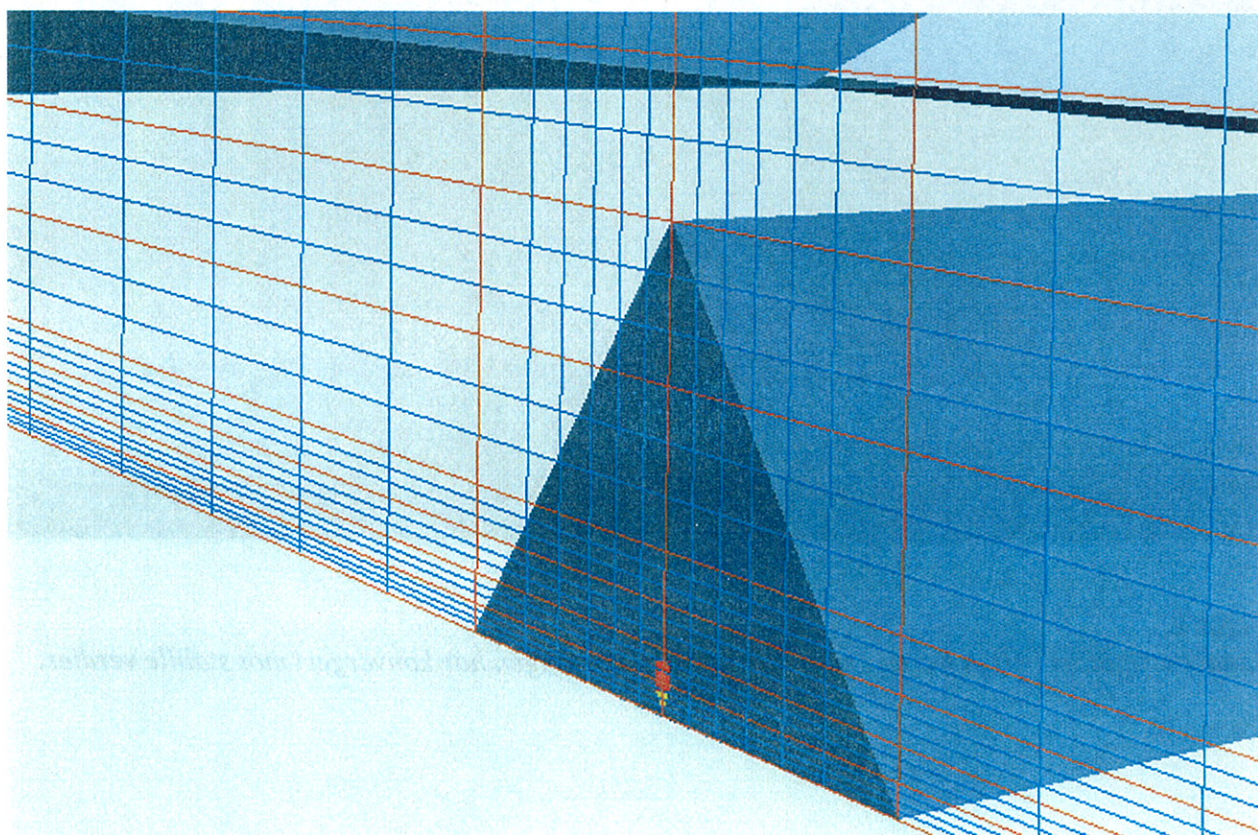
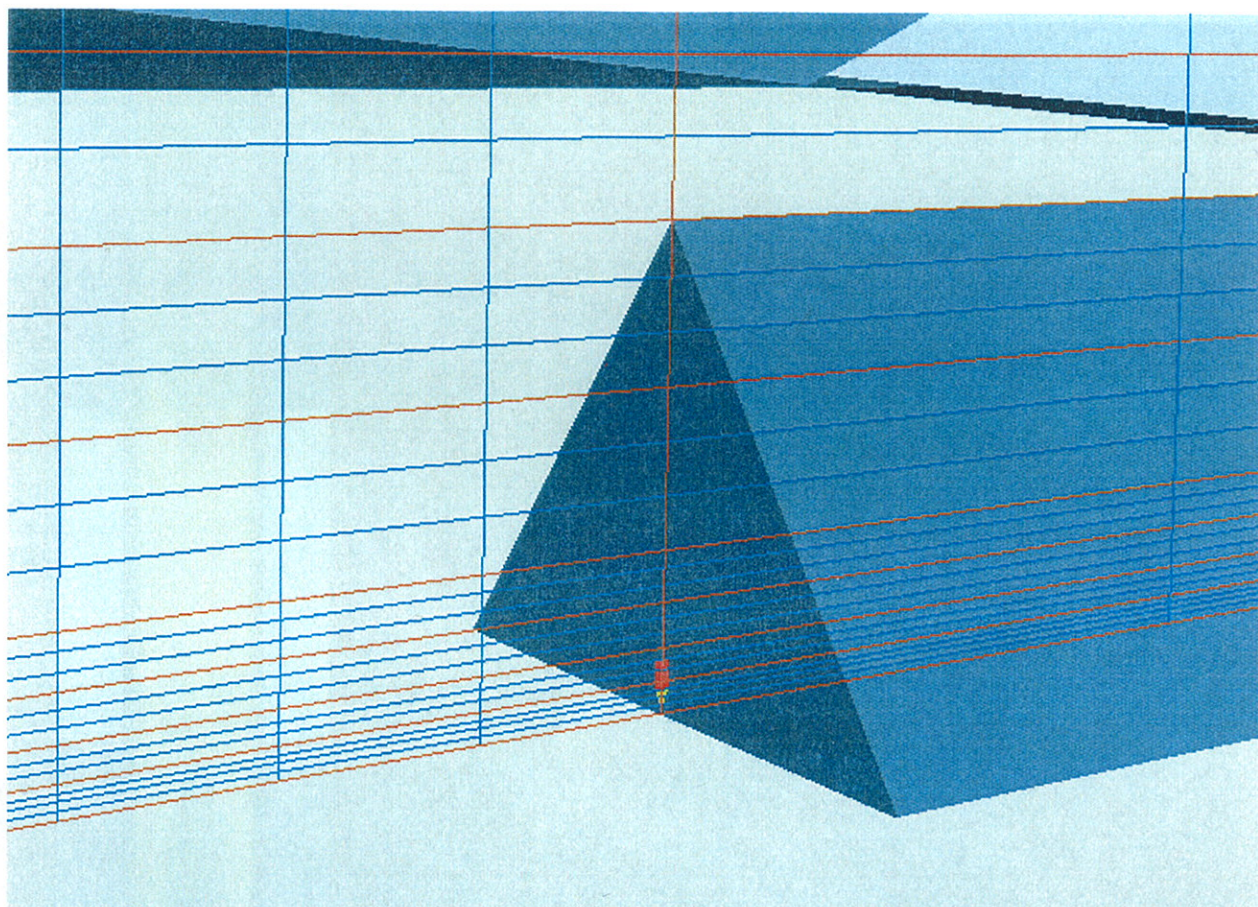


Figur 5
Ovesikt over celledelingen i xz - planet, dvs tversplanet på fjordens lengderetning.



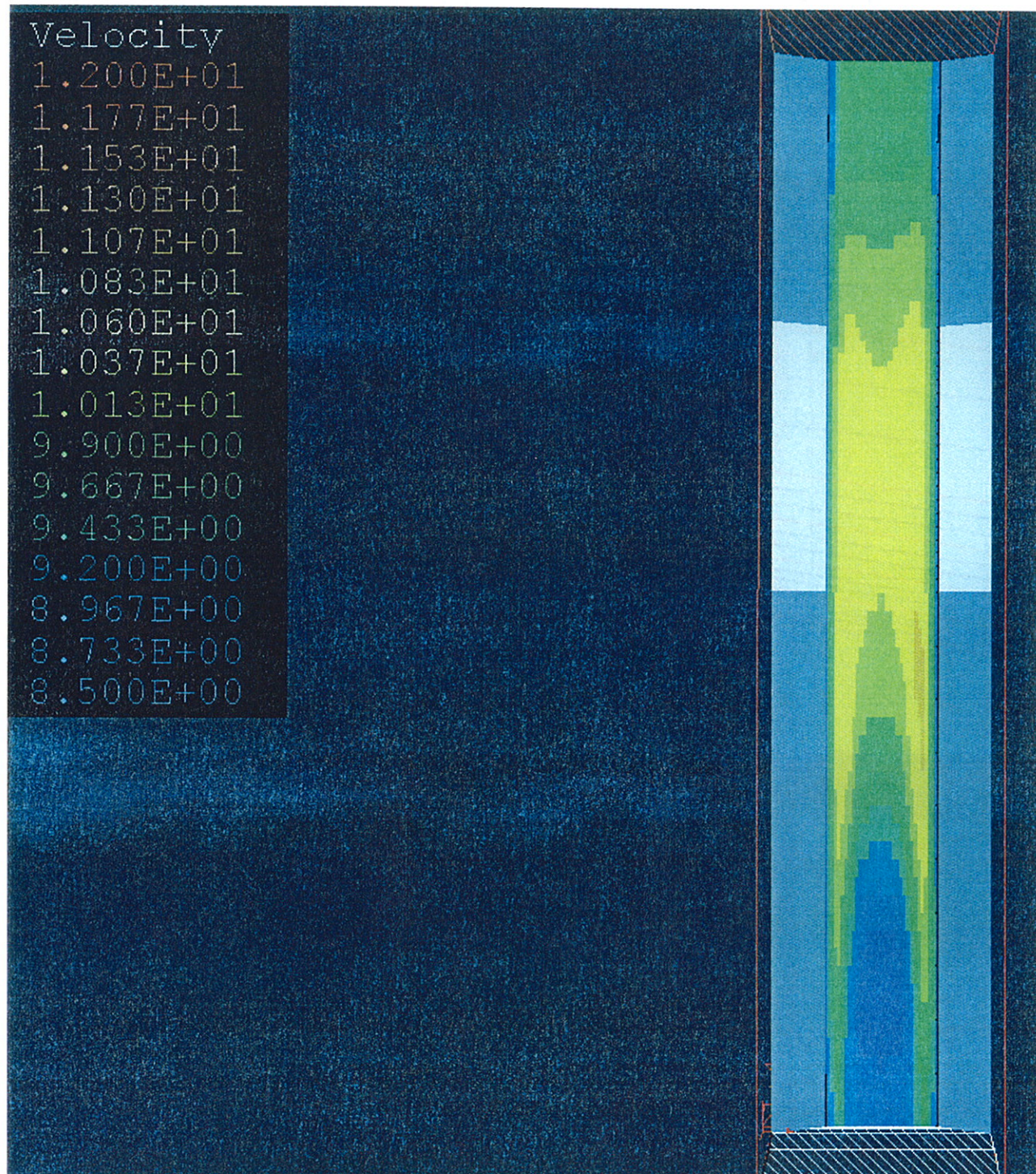
Figur 6

Oversikt over celledelingen i testseksjonens horisontalplan. Cellestørrelsen er liten nær krumningen der åssidene går over i fjordflaten og nær sandryggene.



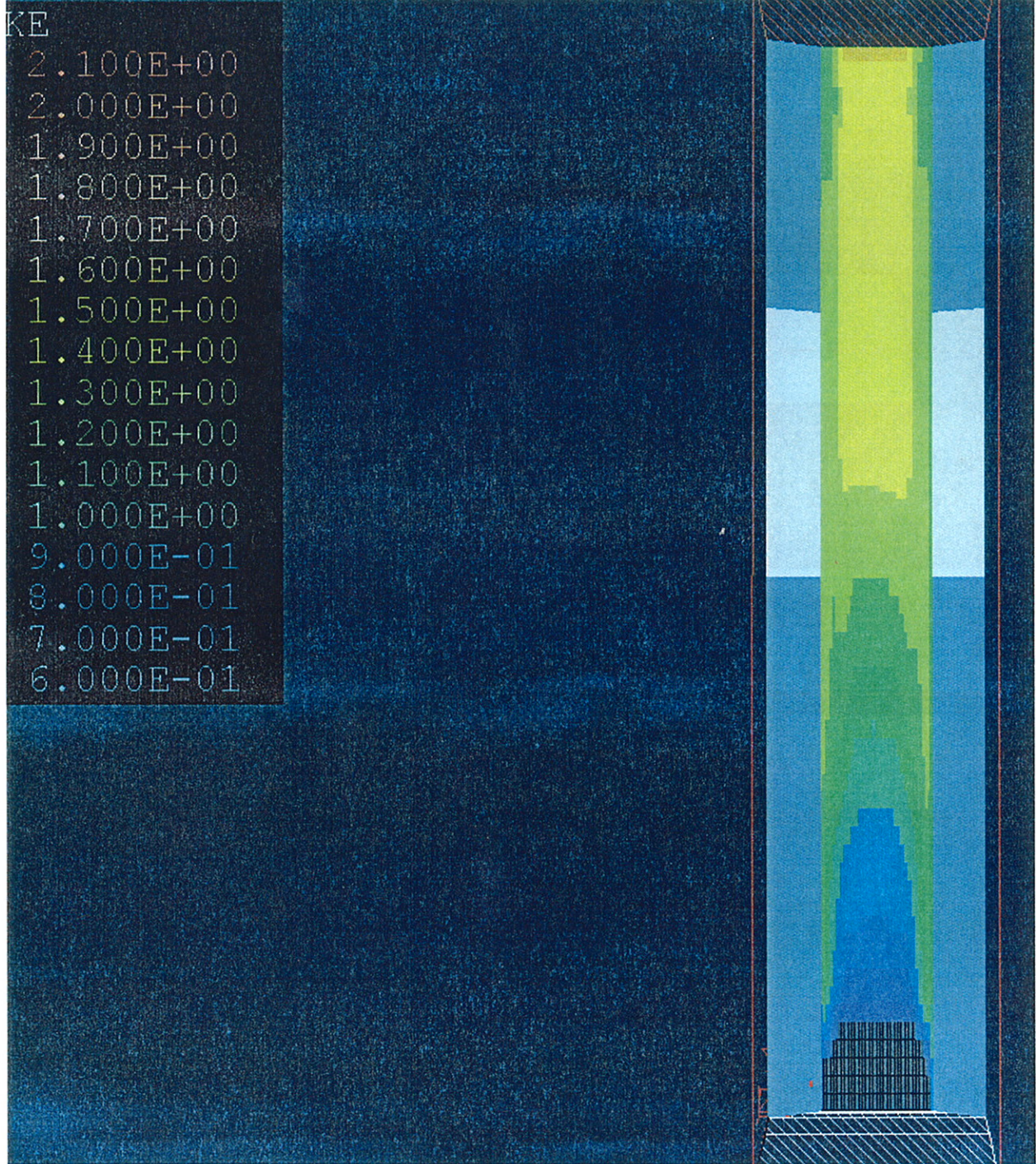
Figur 7a og b

Oversikt over celledelingen i xz og xy - planet nær nordre sandrygg. Ryggen er her 75 m høy og 300 m bred, z-aksen er derfor blåst opp for å gi et visuelt inntrykk.



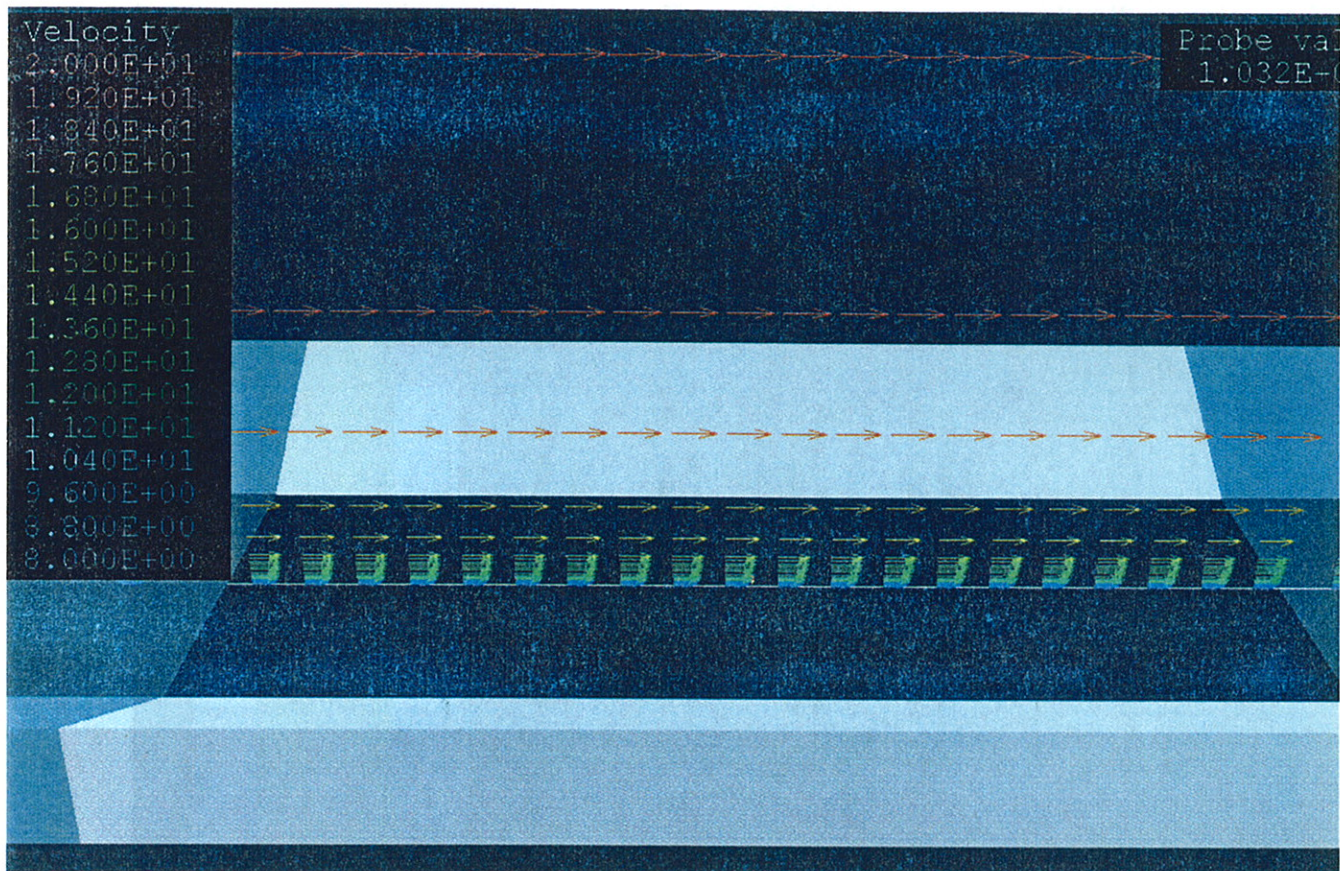
Figur 8

Simulert vindfart i 10 m høyde i modellseksjonen. Løsningen har konvergert mot stabile verdier.



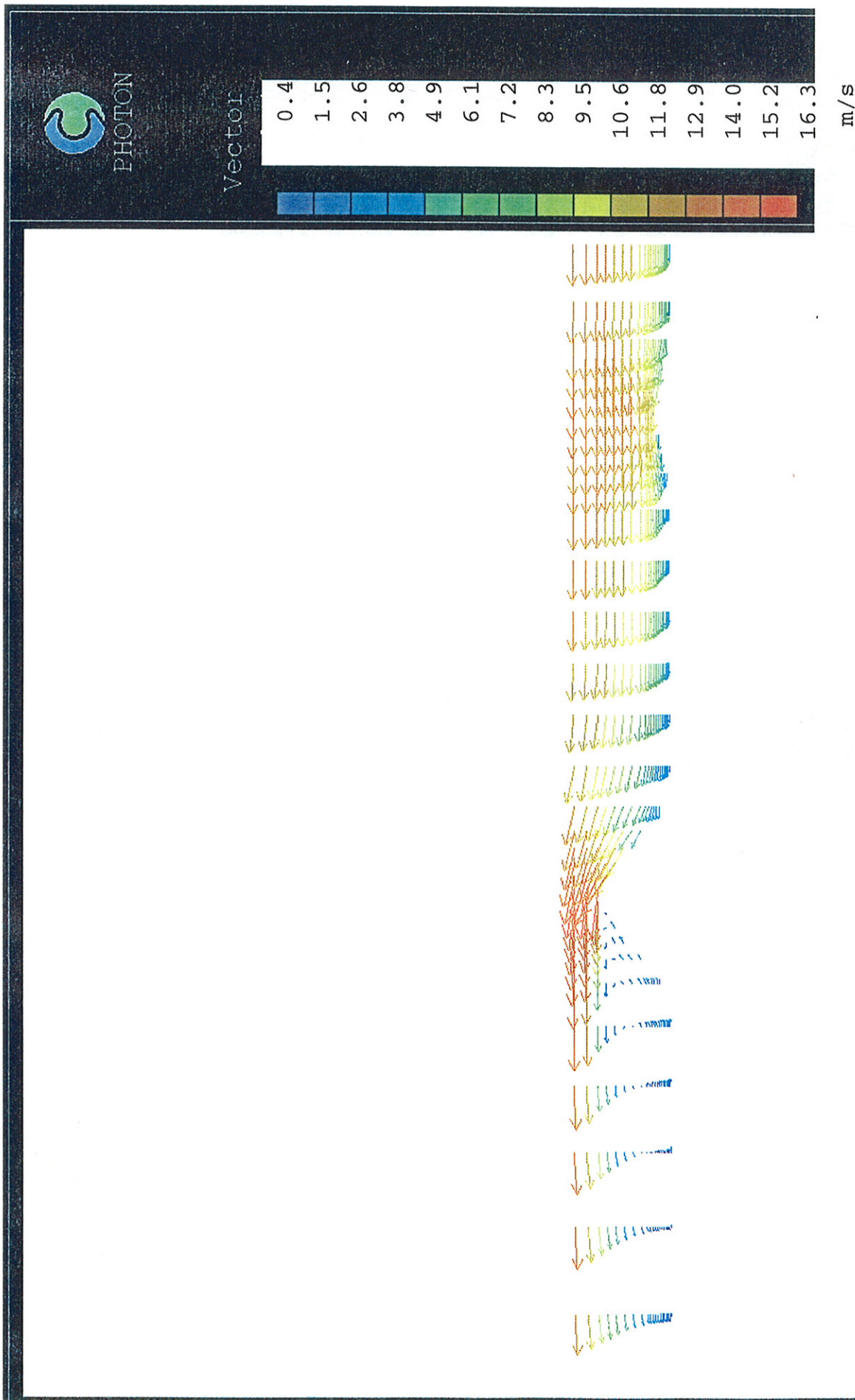
Figur 9

Simulert turbulent kinetisk energi i 10 m høyde i modellseksjonen. Løsningen har konverget mot stabile verdier.

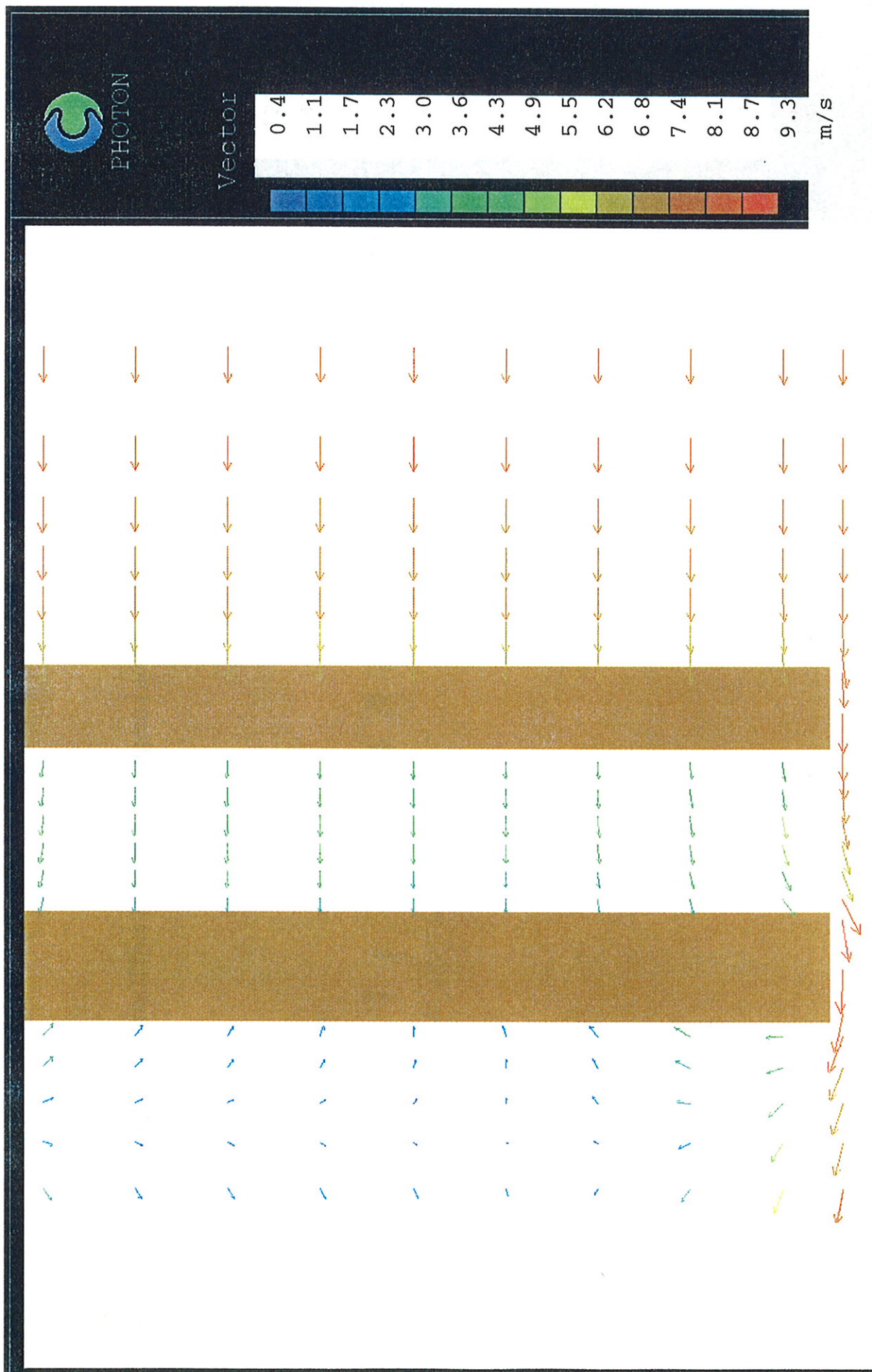


Figur 10

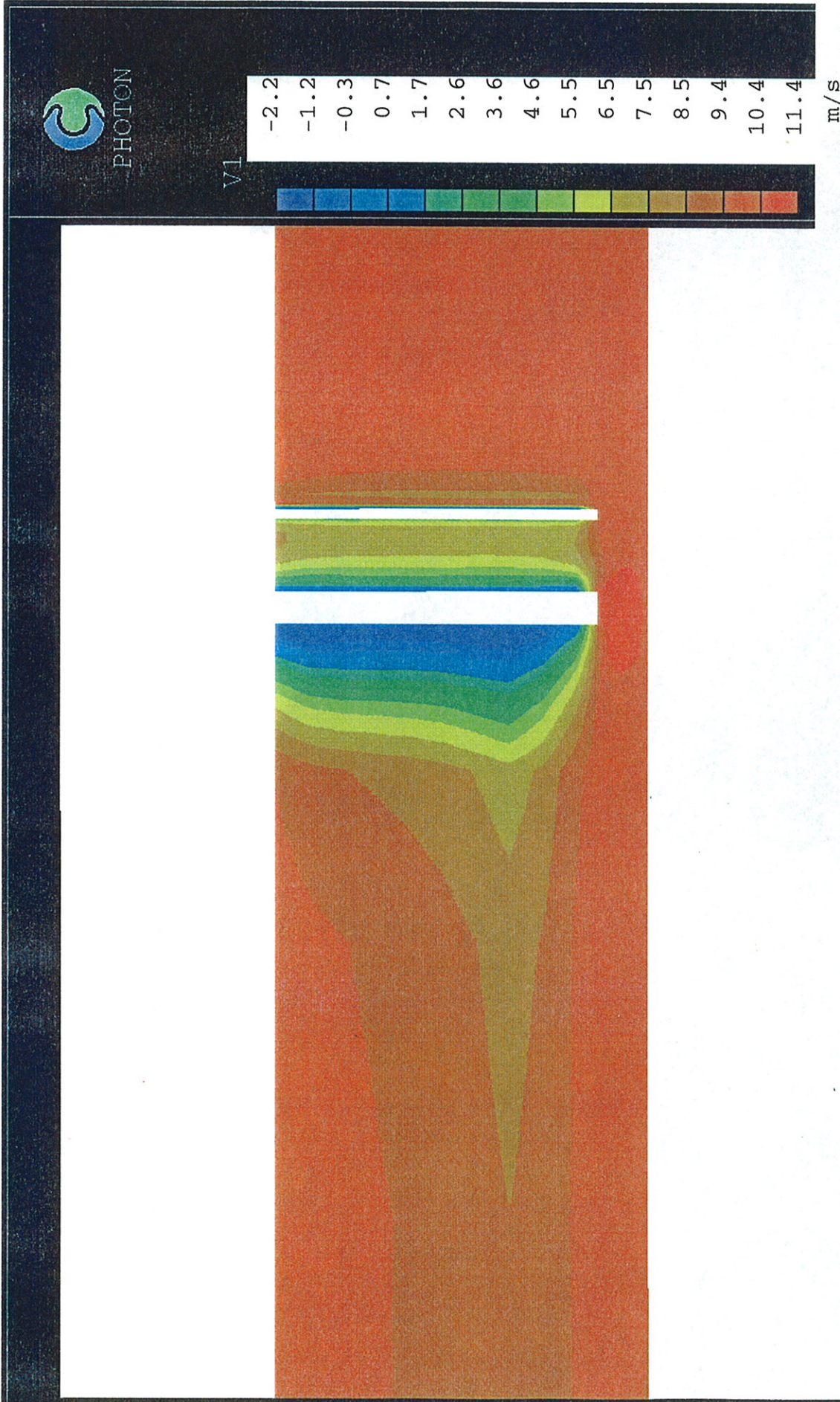
Simulert vindhastighet i yz - planet langs fjordens midtlinje 10 m høyde i testseksjonen.



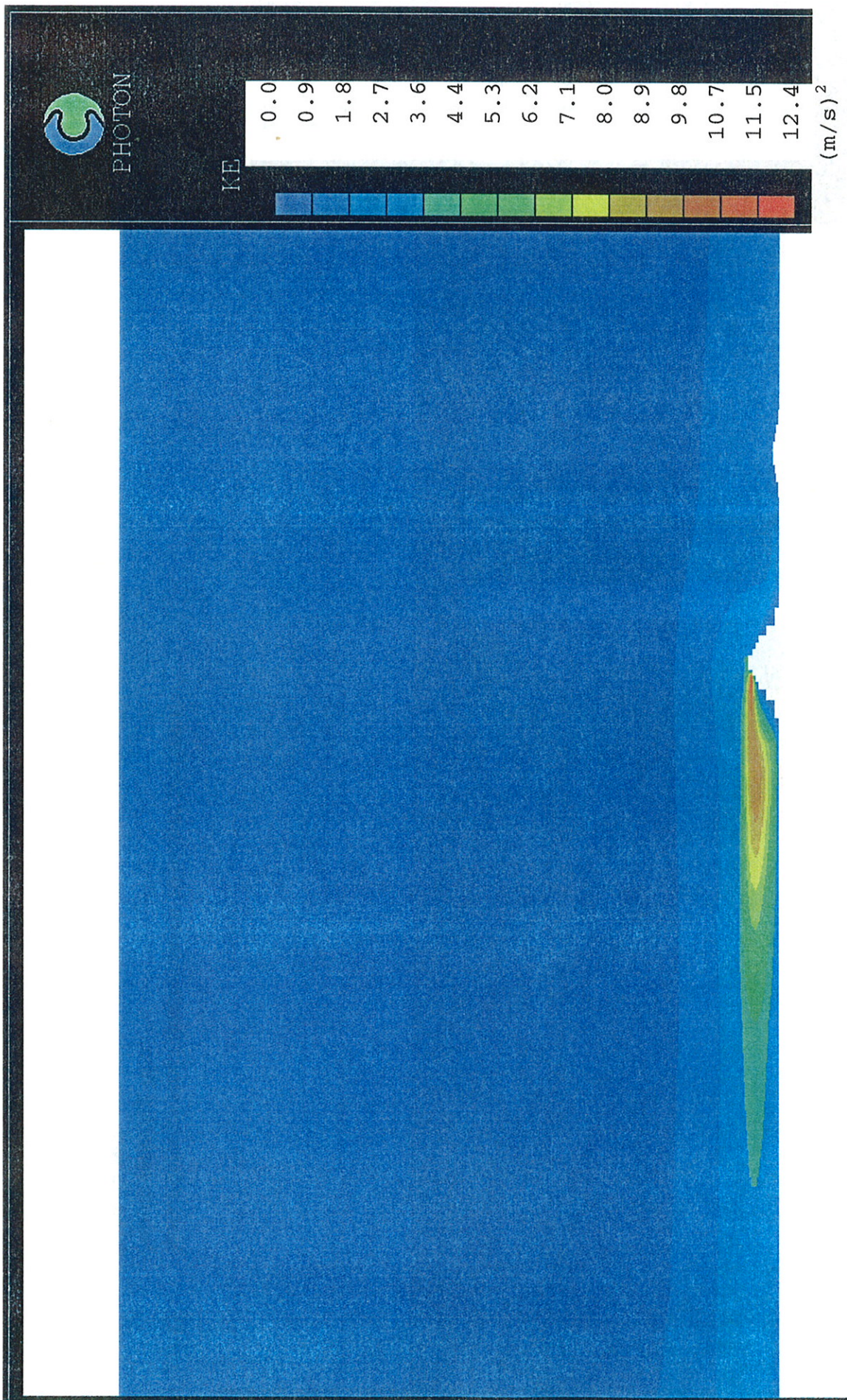
Figur 11. Vindstrømning over sandryggene ved Verket, visualisert i nivå 0-100m. Nordre sandrygg 75m. Vind fra sør.



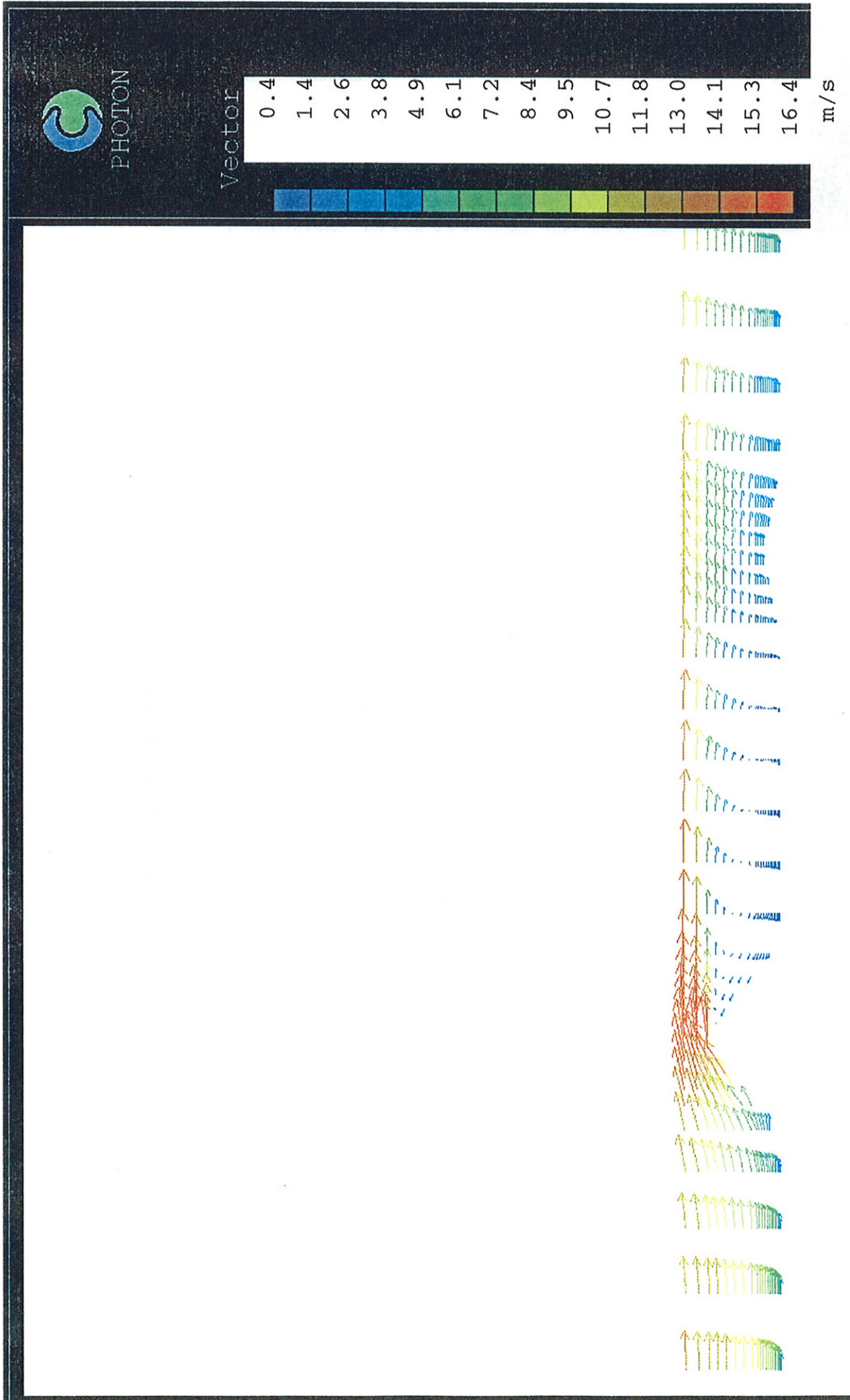
Figur 12. Vindstrømning over sandryggene ved Verket, visualisert i 2m nivå.
 Nordre sandrygg 75m.
 Vind fra sør.



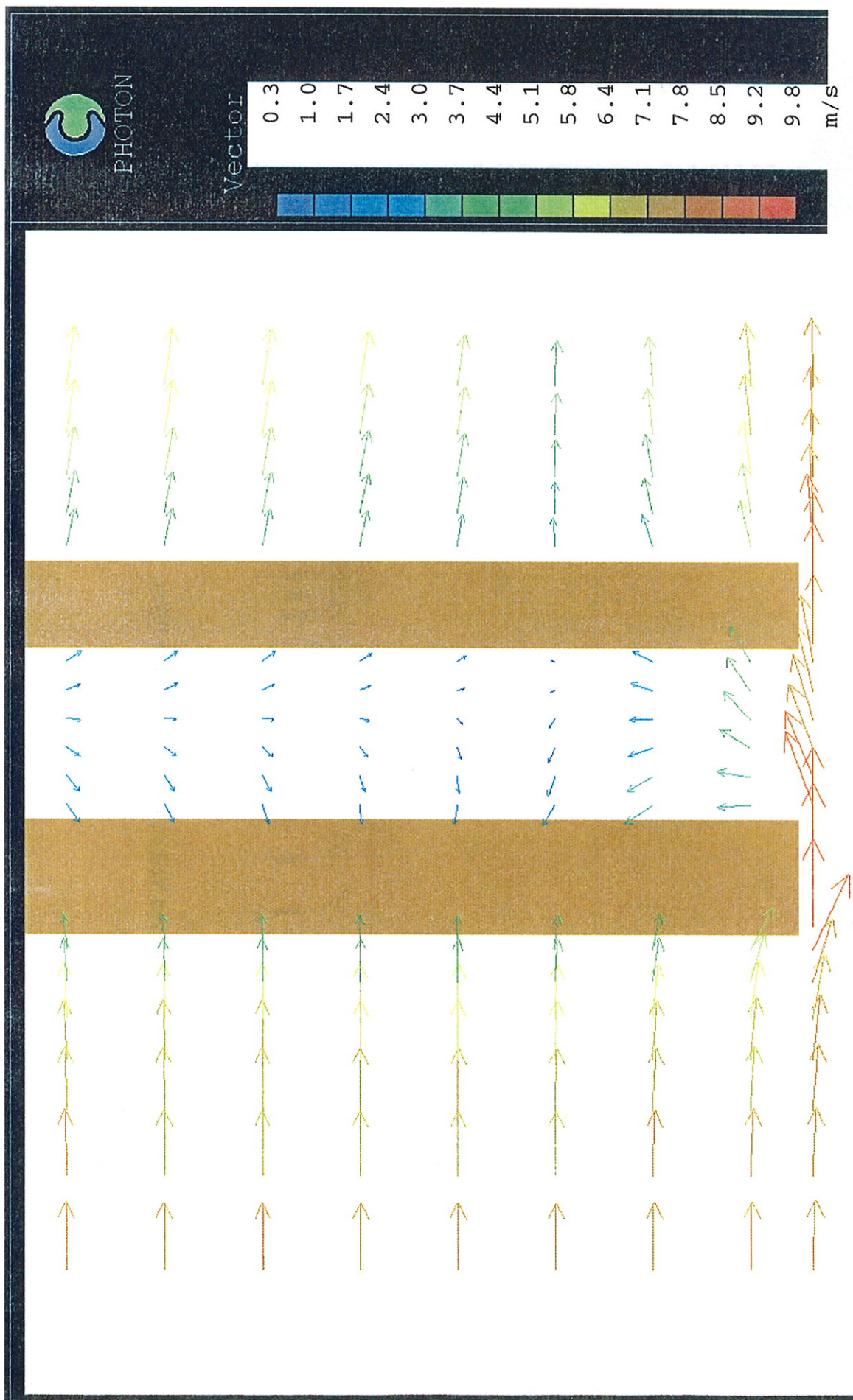
Figur 13. Konturlinjer av vind i fjordretningen 10 m over havflaten.
 Nordre sandrygg 75m.
 Vind fra sør.



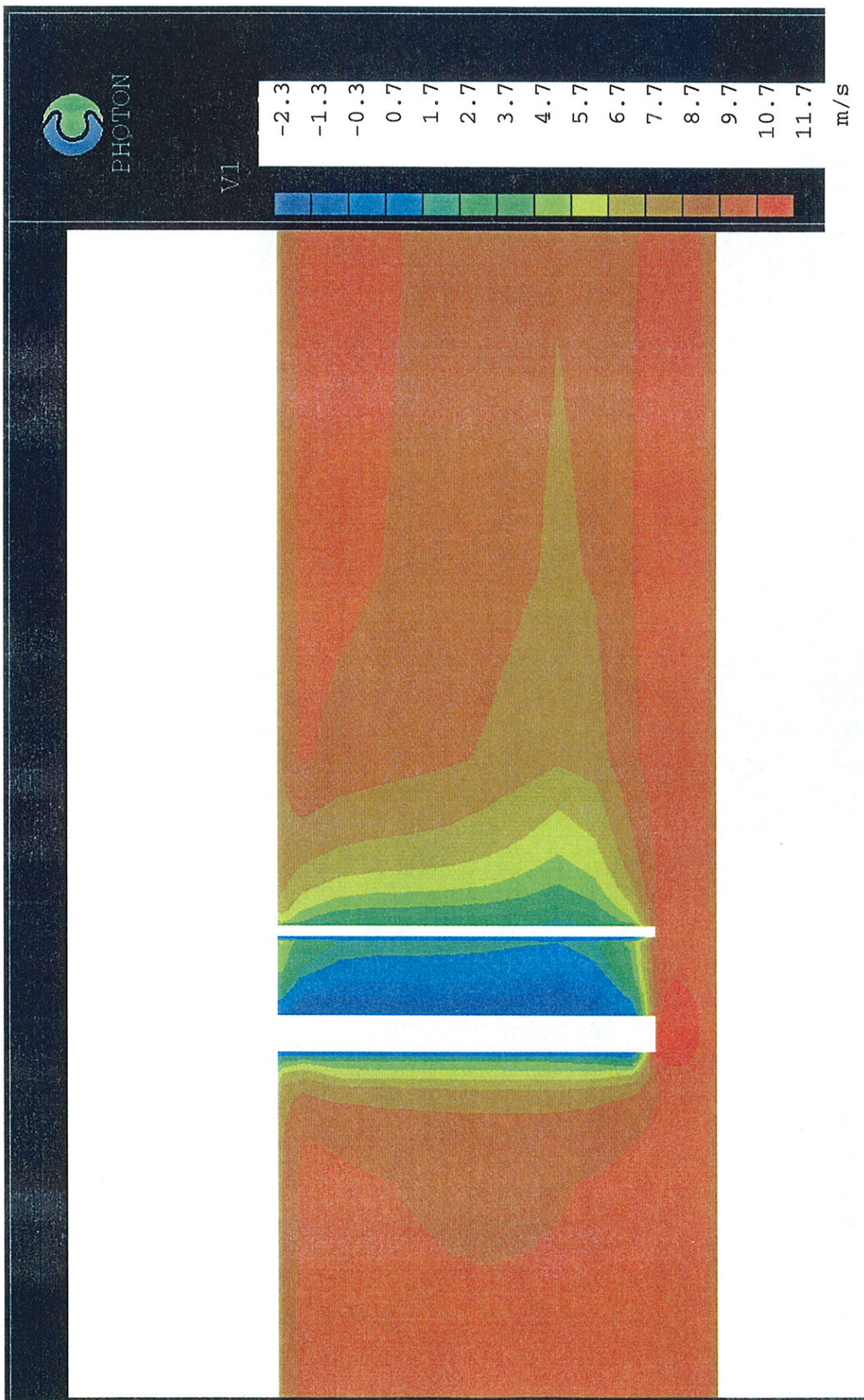
Figur 14. Turbulent kinetisk energi i et vertikalsnitt langs fjordens midtlinje. Nordre sandrygg 75m. Vind fra sør.



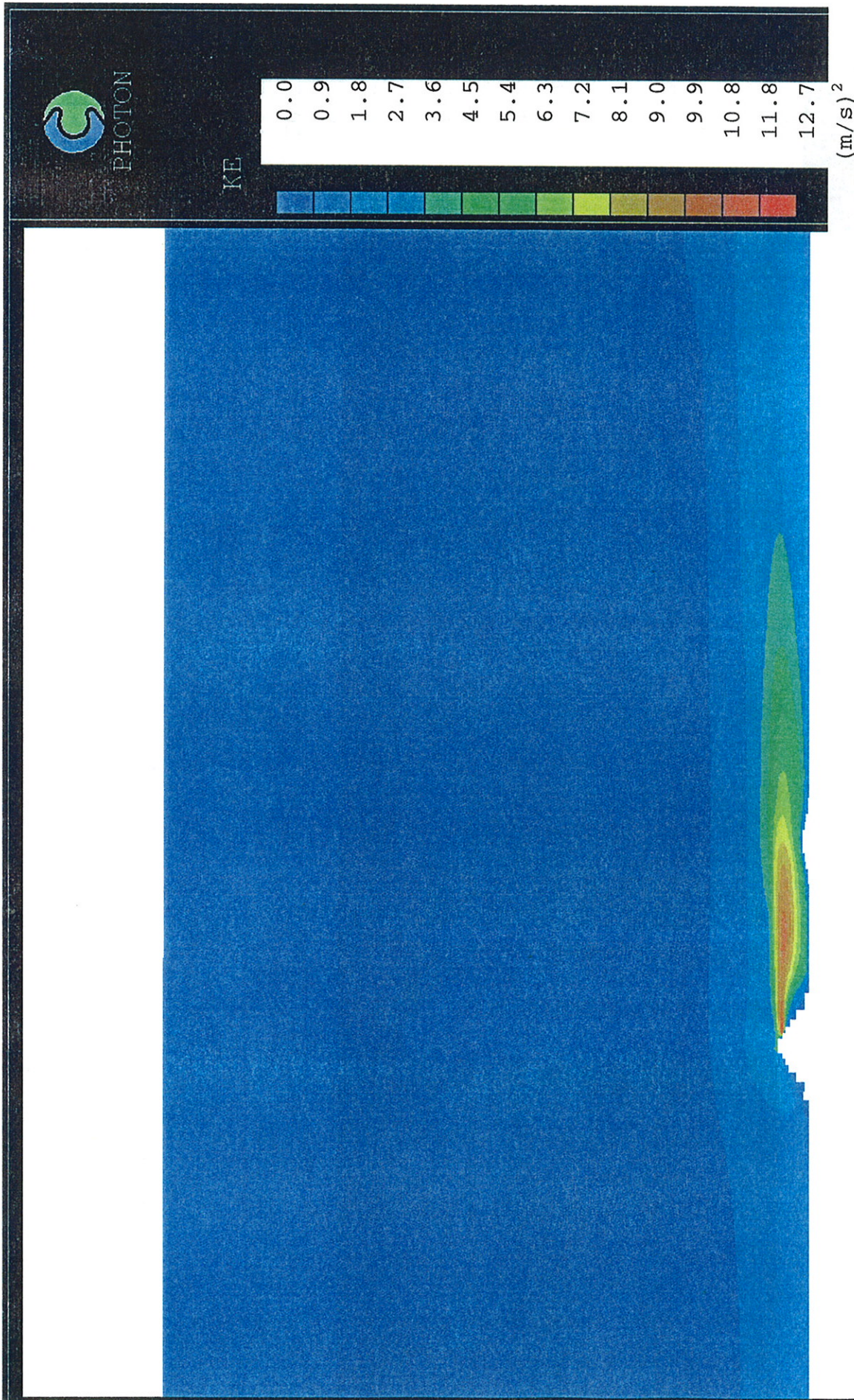
Figur 15. Vindstrømning over sandryggene ved Verket, visualisert i nivå 0-100m.
 Nordre sandrygg 75m.
 Vind fra nord.



Figur 16. Vindstrømning over sandryggene ved Verket, visualisert i 2m nivå.
 Nordre sandrygg 75m.
 Vind fra nord.



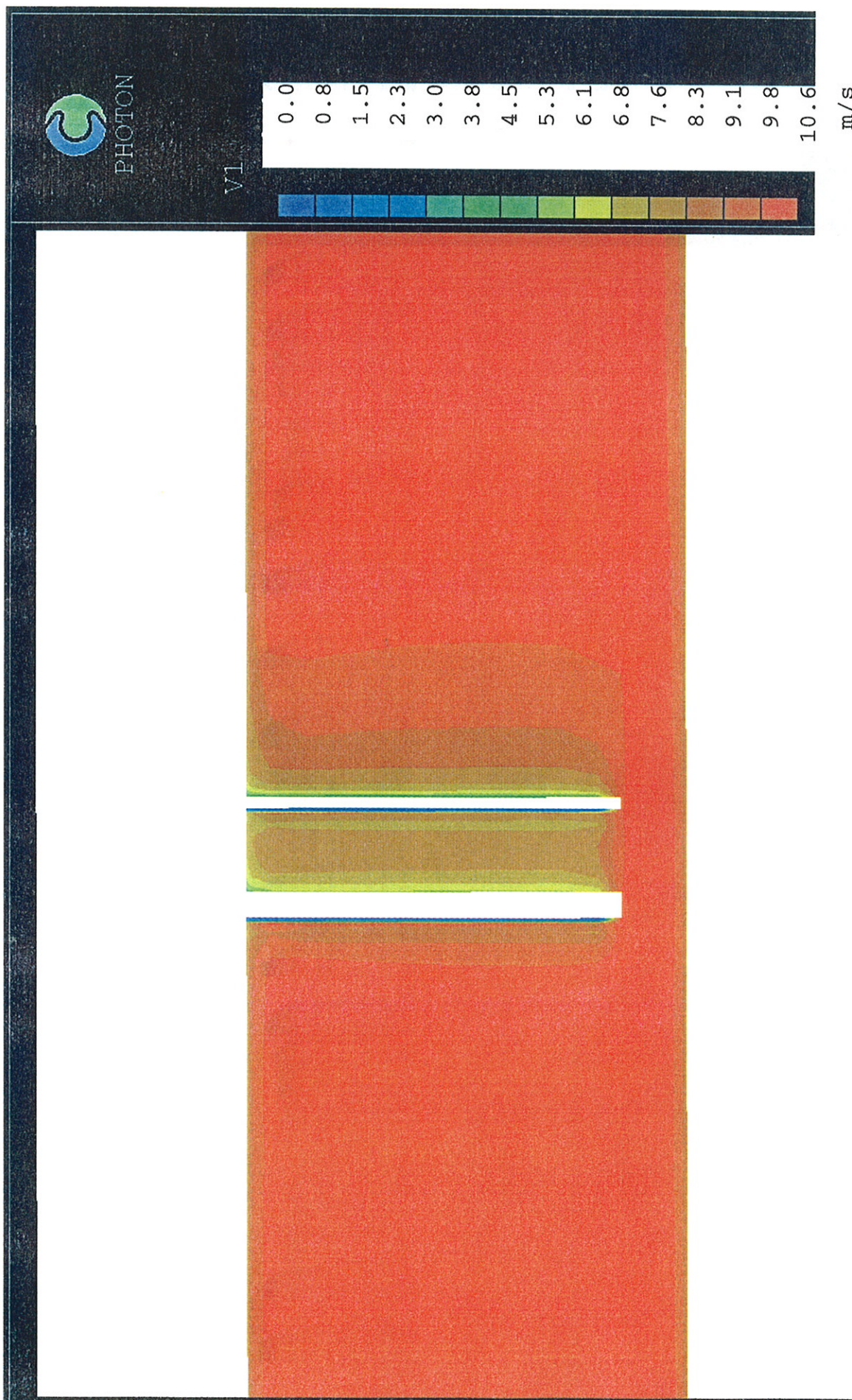
Figur 17. Konturlinjer av vind i fjordretningen 10 m over havflaten.
 Nordre sandrygg 75m.
 Vind fra nord.



Figur 18. Turbulent kinetisk energi i et vertikalsnitt langs fjordens midtlinje.
 Nordre sandrygg 75m.
 Vind fra nord.



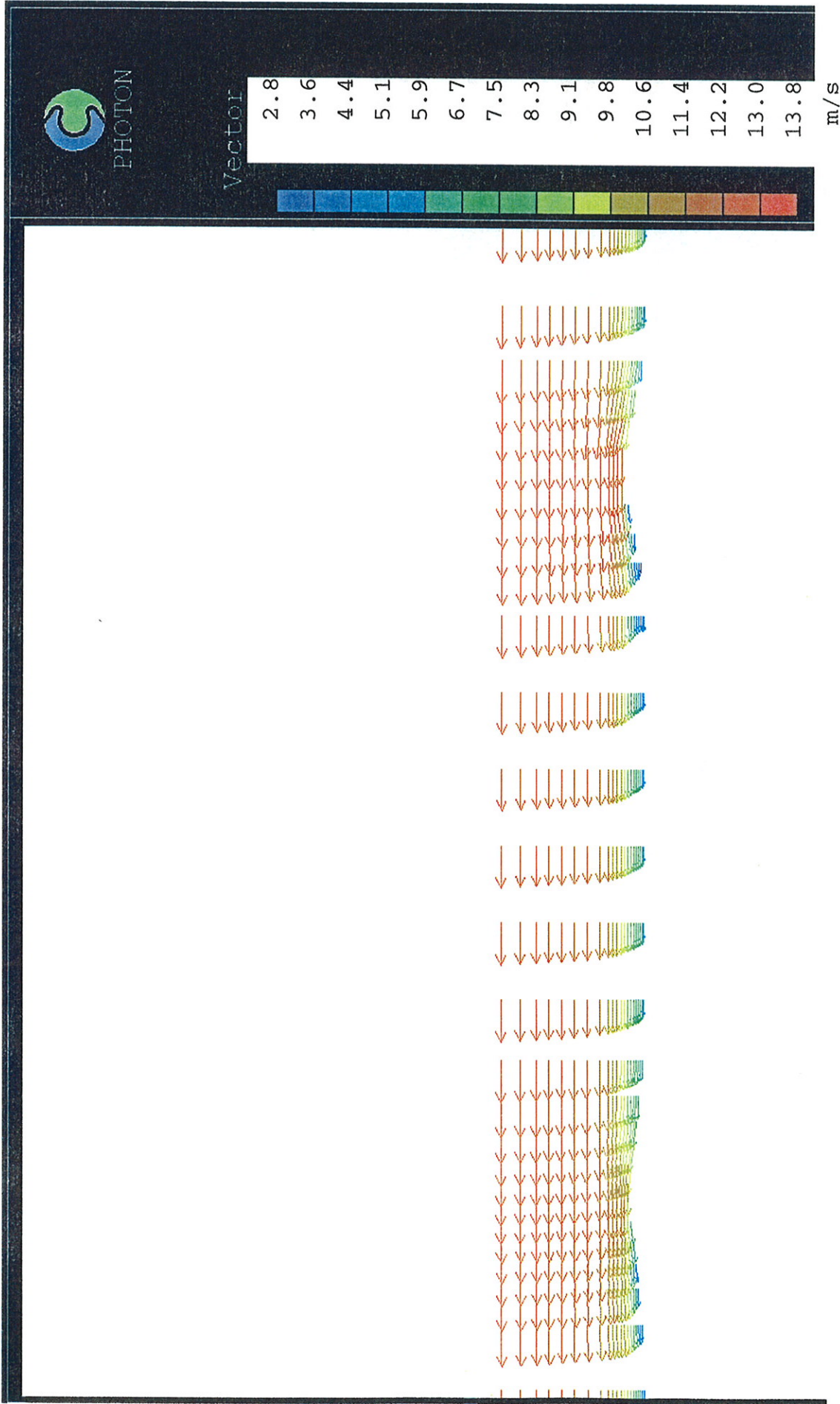
Figur 19. Vindstrømning over sandryggene ved Verket, visualisert i nivå 0-100m.
 Nordre sandrygg 25m.
 Vind fra nord.



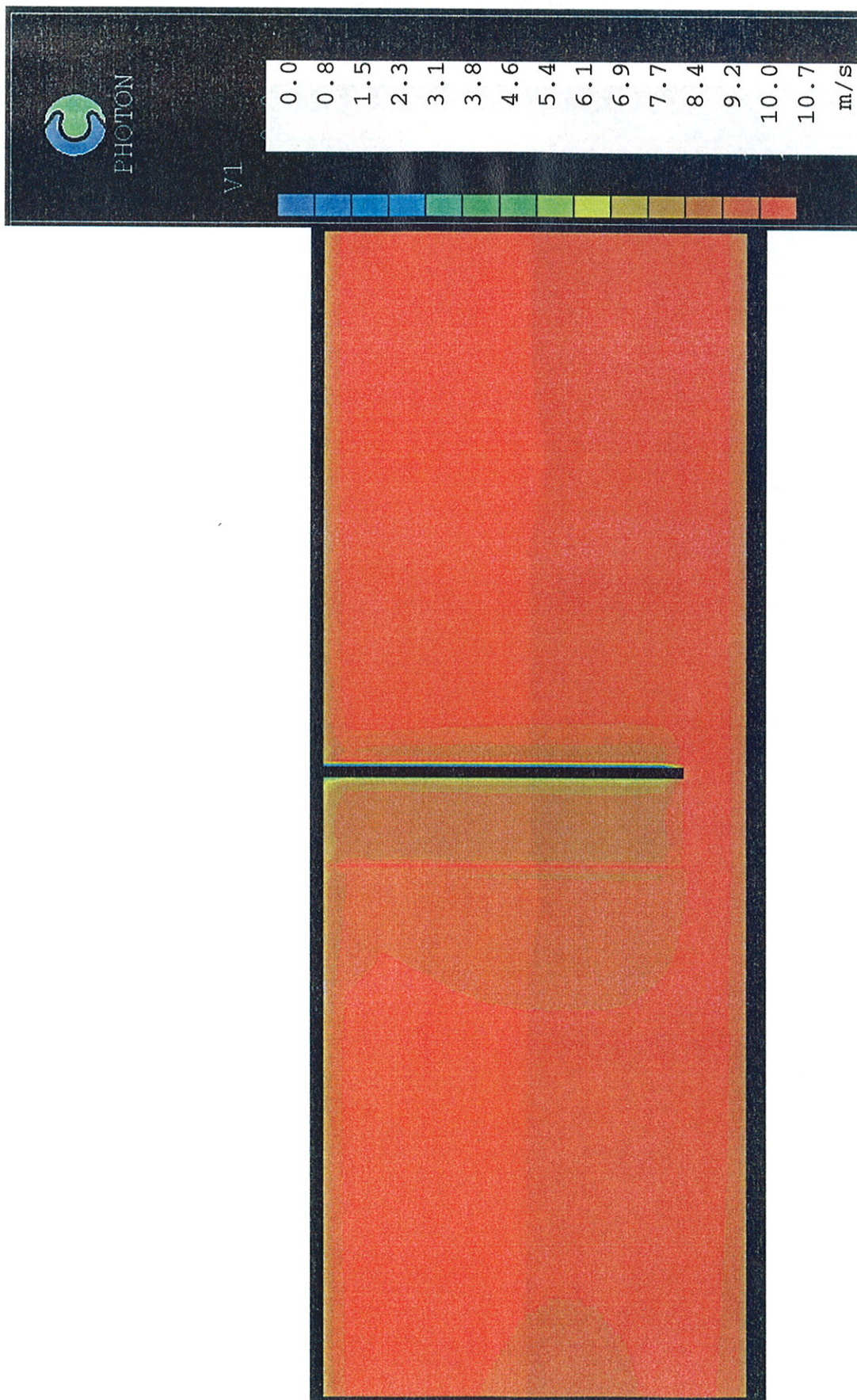
Figur 20. Konturlinjer av vind i fjordretningen 10 m over havflaten.
 Nordre sandrygg 25m.
 Vind fra nord.



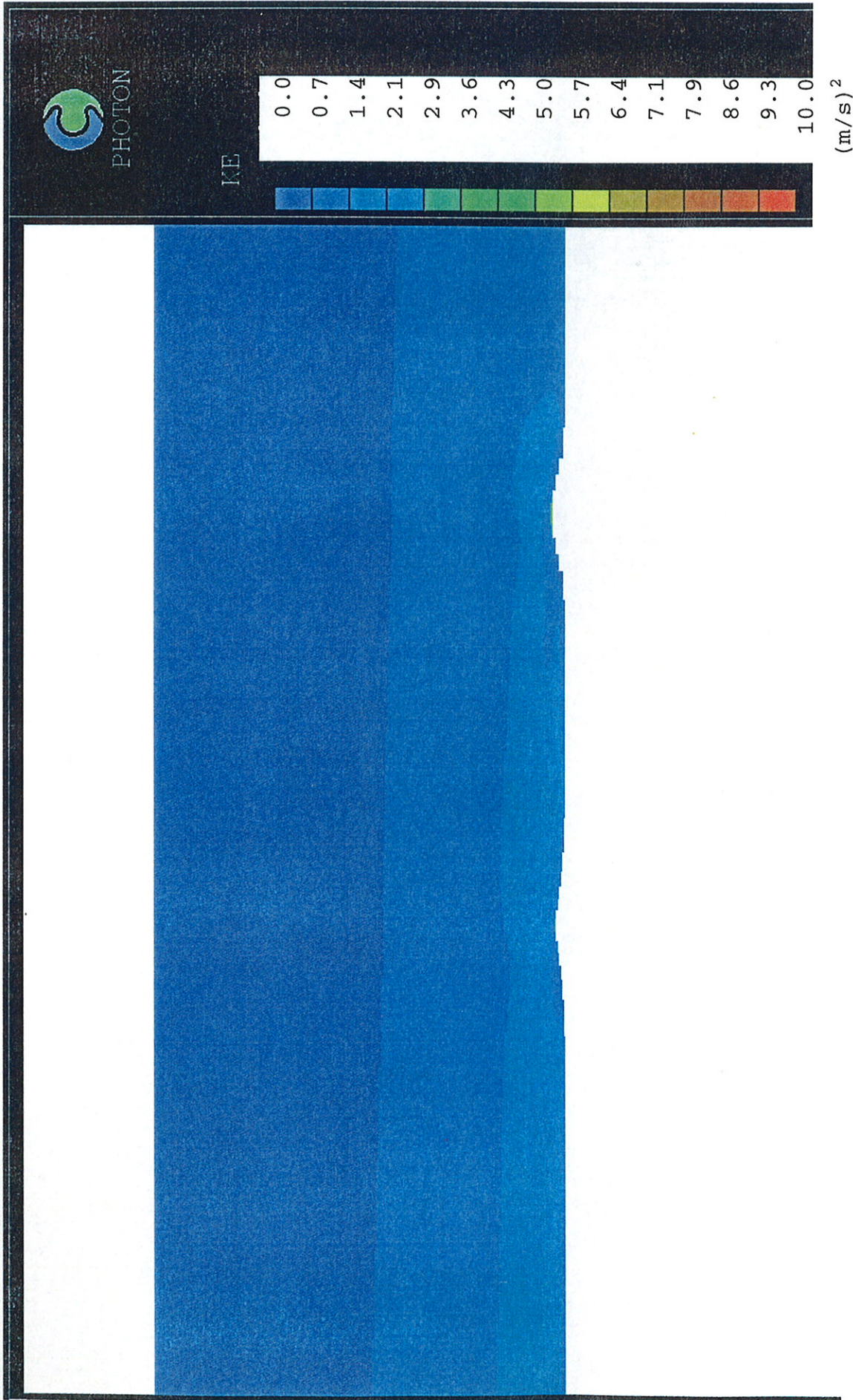
Figur 21. Turbulent kinetisk energi i et vertikalsnitt langs fjordens midtlinje. Nordre sandrygg 25m. Vind fra nord.



Figur 22. Vindstrømning over sandryggene ved Verket, visualisert i nivå 0-100m. Nordre sandrygg 10m. Vind fra sør.



Figur 23. Konturlinjer av vind i fjordretningen 10 m over havflaten.
 Nordre sandrygg 10m.
 Vind fra sør.



Figur 24. Turbulent kinetisk energi i et vertikalsnitt langs fjordens midtlinje. Nordre sandrygg 10m. Vind fra sør.