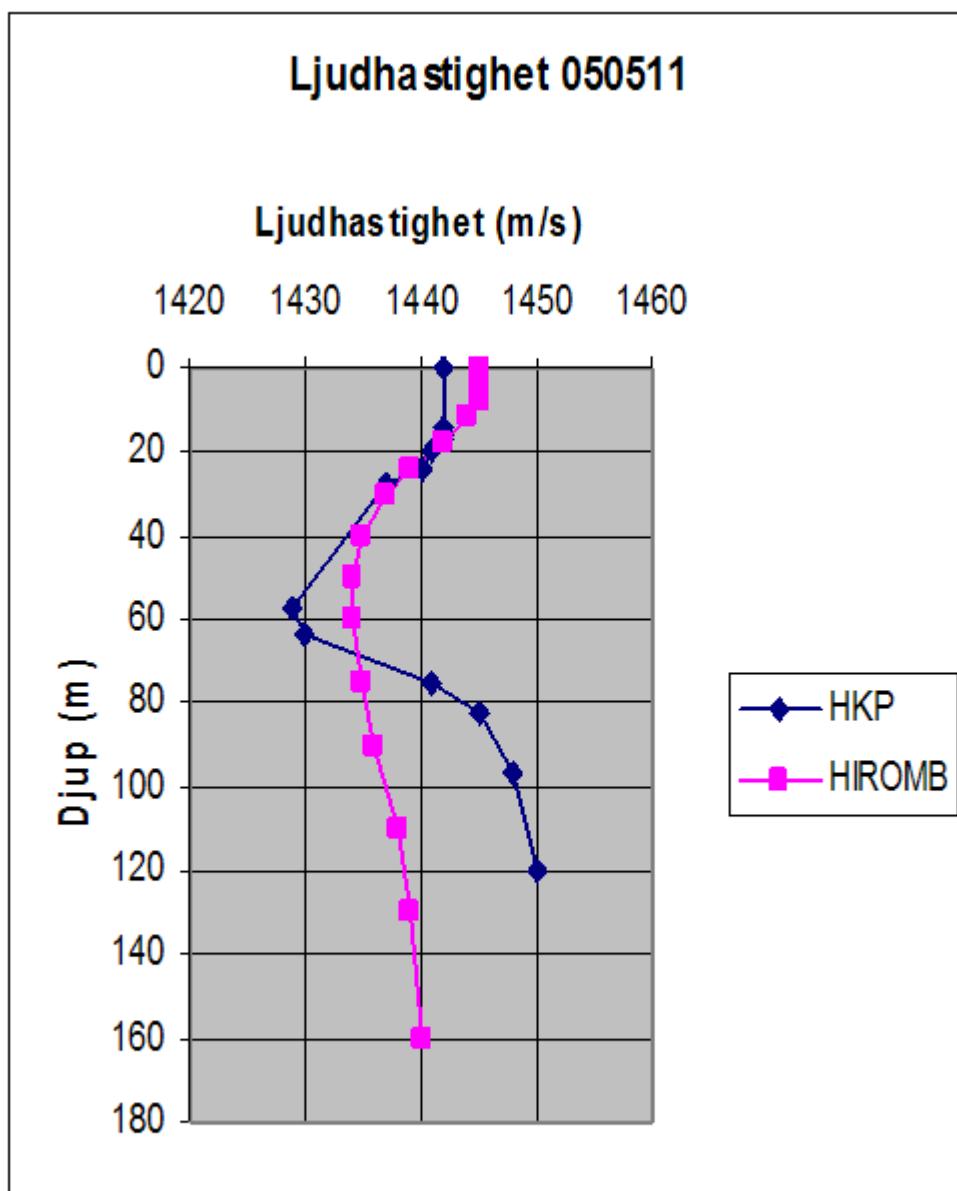


Oceanografiska modeller: rekommendationer för Försvarmakten

Robert Sigg



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Systemteknik
164 90 Stockholm

Tel: 08-555 030 00
Fax:08-555 033 97

www.foi.se

Oceanografiska modeller:
rekommendationer för Försvarsmakten

Utgivare FOI - Totalförsvarets Forskningsinstitut Systemteknik 164 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1671--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år Juni 2005	Projektnummer E60701
	Delområde 43 Undervattenssensorer	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Robert Sigg	Projektledare Robert Sigg	
	Godkänd av Monica Dahlén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Sandra Lindström	
Rapportens titel Oceanografiska modeller: rekommendationer för Försvarmakten		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>En översikt görs av två angreppssätt vad gäller oceanografisk modellering. Den första metoden bygger på endimensionell modellering och exemplifieras här av programmet Probe. Den andra metoden är en tredimensionell modell och exemplifieras av programmet MITGCM. Genom deltagande i ett flertal marina övningar har det framkommit att behovet av oceanografisk information är tvåfaldig hos Försvarmakten. Dels finns ett behov av oceanografiska prognoser för taktisk planering av operationer och dels finns ett behov av att kunna konstruera miljömodeller för till exempel taktikutveckling efter genomförda övningar.</p> <p>Utifrån de för- och nackdelar som Probe och MITGCM innehar rekommenderas följande: Som första steg implementeras Probe i ett taktiskt stödsystem som kallas COMBIS där fokus framför allt är utbildning av operatörer. Sedan sätts MITGCM upp för ett skärgårdsområde där modellen körs med både förenklad och tidsvarierande randvillkor. Avslutningsvis fokuseras arbetet på att köra modellens dataassimilationsdel. För att möta Försvarmaktens behov på oceanografiskt stöd i internationella insatser modifieras modellerna så att om indata finns tillgängligt skall modellerna kunna köras för ett godtyckligt område.</p>		
Nyckelord Oceanografi, 1-D-modell, 3-D-modell, Probe, MITGCM		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 21 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-164 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--1671--SE	Report type Base data report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year June 2005	Project no. E60701
	Subcategories 43 Underwater Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Robert Sigg	Project manager Robert Sigg	
	Approved by Monica Dahlén	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Sandra Lindström	
Report title (In translation) Oceanographic models: recommendations for the Swedish Armed Forces		
Abstract (not more than 200 words) <p>An overview concerning two approaches in oceanographic modelling is presented. The first one is one-dimensional modelling while the other one is a full three-dimensional model. The columnmodel is represented with Probe and the three-D model with MITGCM. The need for oceanographic information in the Royal Swedish Navy (RSwN) can be described as two-fold: In the planning of operations, oceanographic forecasts are needed to determine the tactical behaviour. After naval exercises there is a need to establish a recognized environmental picture.</p> <p>From the advantages and the disadvantages with the two model approaches the following is recommended: As a first step Probe will be implemented in a tactical decision aid called COMBIS. The main purpose with this software is to contribute to the education of sonar operators. The second step is to implement the three-D model MITGCM and run the model for both simplified and varying boundary conditions. The last step is to study the data assimilation scheme in order to improve the establishment of recognized environmental pictures. In order to meet the requirement of the RSwN to use oceanographic support during international operations the models are modified in such a way that if boundary data is available it should be possible to run the models over arbitrary areas.</p>		
Keywords Oceanography, one-D model, three-D model, Probe, MITGCM		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 21 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1.	Introduktion – Behovet av oceanografiska modeller	5
2.	Endimensionell modellering	7
2.1	Beskrivning av Probe-modellen	7
2.2	För- och nackdelar med endimensionell modellering	9
3.	Tredimensionell strömningsmodellering	10
3.1	Beskrivning av MITGCM-modellen	11
3.1.1	Topografisk representation	11
3.1.2	Dataassimilation	12
3.2	För- och nackdelar med tredimensionella modeller och MITGCM	13
4.	Erfarenheter och slutsatser från marina övningar	15
5.	Probe eller MITGCM? – Rekommendationer	17
6.	Förslag på tidplan för tillgång på oceanografiska modeller	18
	Referenser	20

1. Introduktion – Behovet av oceanografiska modeller

Kännedom om den oceanografiska miljön har stor betydelse för kunskapen om akustisk och elektromagnetisk vågutbredning i vattnet. Östersjön är ett utmanande område att försöka prognostisera då säsongsväxlingarna starkt påverkar Östersjöns tillstånd samt att det är ett relativt grunt hav. Variationen i vattnets egenskaper är således hög både tidsmässigt och rumsligt. På bara några sjömils avstånd och på bara några timmar kan vattenstrukturen ändras.

Behovet av oceanografi inom Försvarmakten gäller framför allt möjligheten att i förväg kunna veta hur ljudutbredningen ser ut. Den som har god kännedom om oceanografien och variationen hos denna har ett informationsöverläge. Det är framför allt i planeringsprocessen som förhandsinformation om det oceanografiska läget är värdefullt då detta bidrar till utformningen av ett gott taktiskt uppträdande till sjöss. När sonaren sedan används bör fokus vara riktat mot hur söktaktiken skall modifieras med hänsyn till hur verkligheten ter sig. Med god insikt om det oceanografiska läget redan från början bör operatören mycket snabbare kunna dra slutsatser om förändrad ljudutbredning utifrån planerat underlag och uppmätt verklighet.

Ett annat stort behov som är kopplat till förmågan att kunna prognostisera oceanografien är förmågan att efter en övning kunna fastställa en så god miljömodell som möjligt. Denna miljömodell används sedan för taktikutvärdering och taktikutveckling. Här är den huvudsakliga frågeställningen att kunna bedöma om kontakt med undervattensobjekt var möjligt eller inte. Denna bedömning underlättas avsevärt om en god miljömodell erhålls till utvärderingsfasen.

De som har ansvaret inom Försvarmakten att kunna svara på frågor av oceanografisk karaktär är Försvarmaktens vädertjänst. Inom kort kommer Försvarmaktens vädertjänst ersättas av ett meteorologiskt och oceanografiskt centrum (METOC Centrum) där de oceanografiska aktiviteterna på ett tydligare sätt framhålls. Avsikten är att den dagliga verksamheten även kommer att omfatta det oceanografiska läget för svenska farvatten. I dagsläget kommer denna verksamhet baseras på en prognosmodell som heter HIROMB (High Resolution Oceanographic Model for the Baltic) som körs på SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut). Även mätningar kommer att analyseras när sådana är tillgängliga. Ansvaret för taktikutveckling ligger på Sjöstridsskolan vilken är huvudintressent i framtagandet av miljömodeller i samband med övningar. Intresset för utveckling av oceanografiska modeller är således gemensamt för METOC Centrum och Sjöstridsskolan och de resonemang som förs i denna rapport är i huvudsakligen riktade mot dessa (huvudintressenterna).

Fokus inom Försvarmakten idag är mot internationella insatser. På den marina sidan står till exempel den internationella korvettstyrkan beredd att kunna rycka ut till krishärdar där sjöområden måste säkras. Det är givetvis att föredra att de modeller som utvecklas kan användas i de operationsområden som gäller för stunden. Ur ett oceanografiskt perspektiv är det inte något problem då de fysikaliska lagarna är desamma var vi än befinner oss på klotet. Begränsande faktorer är tillgången på högupplöst bottendata,

tillgång på data från storskaliga oceanografiska modeller och kännedom om variationerna i vattenstrukturen i området. Om dessa parametrar är kända går det att flytta oceanografiska modeller i princip var som helst. Därför utvecklas de modeller som föreslås i denna rapport för Östersjön men avsikten är att de skall kunna köras över ett godtyckligt område då ovan nämnda data finns tillgänglig

Syftet med rapporten är att beskriva principen bakom endimensionell (1-D) och tredimensionell (3-D) oceanografisk modellering. Dessa två typer av modellansatser har möjlighet att möta Försvarets behov medan tvådimensionell modellering adresserar mer akademiska problem och kan framför allt användas som randdata till en tredimensionell modell (vattenstånd). Därför avgränsas denna rapport att endast behandla de två förstnämnda metoderna. Utifrån de för- och nackdelar som en- och tredimensionell modellering besitter i relation till de behov som existerar kommer sedan rekommendationer ges för vilken väg som bör väljas vad gäller oceanografisk modellering inom Försvarets makt. Slutligen föreslås en tidplan med aktiviteter. Denna aktivitetsplan beskriver även hur kommunikationen med huvudintressenterna bör ske.

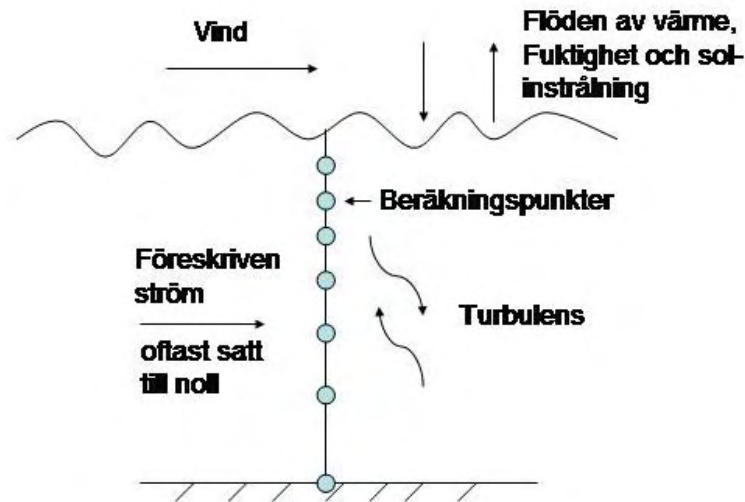
2. Endimensionell modellering

Endimensionell modellering är ett enkelt och effektivt sätt att få en första bild över ett visst skeende. Grunden för denna typ av modelleringen är att en modell med hög upplösning i vertikal led sätts upp (Figur 1). Den grundläggande approximationen är att allt horisontellt vattenutbyte försummas och att modellen endast drivs av lokala vädervariationer. Beräkningskonceptet kan dock utökas genom en indelning av ett område i mindre delar där delområden tillåts att kommunicera med omgivande delområden på ett förenklat sätt. I varje delområde beräknas sedan en 1-D lösning som får influeras av det horisontella vattenutbytet. Eftersom kommunikationen mellan delområdena är förenklad kan dock ingen detaljerad horisontell struktur beräknas. Denna så kallade bassängmodellering har hittills varit grundverktyget för studier av vattenutbyte i komplicerade miljöer såsom Stockholms skärgård (Engqvist 1996). Skälet till detta är att det är relativt enkelt att sätta upp en sådan modell samt att modellen inte är särskilt beräkningstung.

2.1 Beskrivning av Probe-modellen

För att närmare beskriva hur ett prognosverktyg där 1-D ansatsen används kommer fokus att läggas på den så kallade Probe-modellen som används av SMHI (Svensson 1998). Formuleringen av modellen innebär att de ekvationstermer som beskriver rörelser i horisontell led är borttagna. Endast en föreskriven horisontell ström kan användas i beräkningen. Tanken är således att prognostisera hur en vattenkolumn utvecklar sig i tiden med givna randvillkor.

Vid endimensionell modellering är den stora frågeställningen hur det vertikala vattenutbytet skall beskrivas. Vattenutbytet i vertikal led utgörs framförallt av småskaliga rörelser som med ett annat ord kallas för turbulens. Dessa rörelser är så småskaliga att Probe-modellen inte kan simulera rörelserna direkt utan de måste beskrivas via en rad antaganden. Antagandena bygger på att relatera de småskaliga rörelserna till medelflödet. I Probe-modellen finns två stycken sådana delmodeller implementerade. Delmodellerna bygger på att turbulent rörelseenergi används som prognostisk variabel (Sigg 2000). Man försöker alltså prognostisera den turbulenta intensiteten och utifrån denna beräkna hur mycket vertikalt utbyte som sker. Ett vanligt sätt att sluta turbulensproblemet är att införa en längdskala som är föreskriven av flödet och på så sätt eliminerar obekanta termer (Cuxard et al., 2000). Kort kan man uttrycka det som att ju större längdskala som föreskrivs desto större potential för ett mer turbulent utbyte existerar. Två typer av drivkrafter påverkar det turbulenta utbytet; vind- och konvektionsdriven turbulens. Med ökad vinddrivning från atmosfären ökar överföringen av vindenergi till vattnet och därmed ökas det turbulenta utbytet. Den andra effekten är just påverkan av stabilitet där en instabil situation genererar så kallad konvektion och på så sätt ökar det turbulenta utbytet i vertikal led. Detta sker till exempel då vattenytan kyls av och vattnet närmast ytan blir tyngre än omgivande vatten och börjar sjunka ner i djupet. Stabila situationer motverkar istället turbulens och dämpar det vertikala utbytet.



Figur 1: Illustration av en 1-D-modell. Relativt många beräkningspunkter finns representerade i vertikal led. Fokus är att kunna beskriva den turbulenta omblandningsprocessen så bra som möjligt utifrån de randvillkor som sätts.

I Probe finns dessutom effekter medtagna av vertikalt utbyte som sker genom så kallade interna vågor och Langmuir cirkulation (Axell 2002). Dessa fenomen beskrivs inte av den turbulenta rörelseenergin utan beräknas separat från denna. Dessa effekter gör att det vertikala utbytet ökar och blandningslagret kan bli djupare än vad annars skulle ha prognostiserats.

En viktig komponent i all modellering är vilka randvillkor som sätts (Nycander och Döös 2001). I denna typ av 1-D-modell är drivningen från atmosfären den viktigaste påverkan. Randvillkor som måste sättas är vind samt utbyte av värme och fuktighet (nederbörd). Dessa komponenter kommer att bestämma hur mycket vindenergi som överförs till vattnet, om vi får uppvärmning/avkyllning och om avdunstning eller tillförsel av vatten sker. Randvillkoren i Probe kan sättas både till konstanta värden eller tillåtas att variera i tiden. Indata till modellen sätts i form av listor och om varierande randvillkor används läses dessa från en fil.

Modellen Probe har använts till fallstudier inom grundläggande flödesdynamik, oceanografi, hydrologi och även meteorologi. De mest intressanta ur Försvarets perspektiv är studier av; Ekmanskiktet, blandningsskiktets utveckling under stabila förhållanden, dagliga cykeln hos termoklinen, utvecklingen av en årstidsbunden termoklin, utbytet av vattenmassor mellan två bassänger och diverse studier av isbildning samt isdrift.

2.2 För- och nackdelar med endimensionell modellering

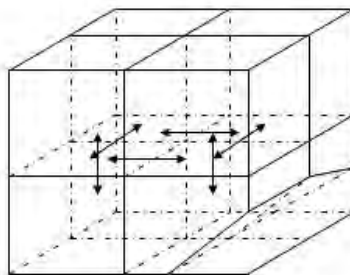
Fördelen med 1-D-modellering är att modellen inte blir speciellt beräkningstung och att hög upplösning i vertikal led erhålls. Modellen passar perfekt för snabba beräkningar kopplat till ett taktiskt stödsystem. En tillämpning skulle kunna vara att operatören för det taktiska stödsystemet lägger in förväntat väder under dagen och att modellen sedan snabbt räknar ut hur profilen (sista uppmätta profil) för det specifika området förväntas att modifieras under dagen. Denna kan sedan användas som underlag till nya räckviddsberäkningar. På så sätt kan oceanografiska beräkningar starkare kopplas till stödsystemen och operatören kan direkt få en idé om eventuella förändringar i redan beräknade räckvidder. Detta förfarande antar att det horisontella vattenutbytet är litet och att den dominerande drivningen kommer från atmosfären.

Den stora nackdelen är att lite eller i princip ingen information ges om horisontella strukturer. I ett typiskt operationsområde om 20x20 km finns många gånger stora variationer i profilstrukturen vilket i sin tur påverkar ljudutbredningen. Med en 1-D-modell beräknas endast den vertikala strukturens utveckling i en punkt medan den rumsliga variationen är viktig att förstå om korrekta räckvidder skall kunna beräknas. Det huvudsakliga syftet är prognoser på den korta tidsskalan med hänsyn taget till de väderförändringar som sker under den närmaste tiden. Den korta tidsskalan kan dock variera mellan olika regioner såsom i Öresund där förhållanden kan ändras på bara 10 minuter till det egentliga Östersjön där modellen kan användas upp till ett dygn framåt i tiden. För att inte tala om regionen under salthaltssprångsskiktet i Östersjön där tidsskalan på vattenutbytet är på årsbasis. Det är alltså med stor försiktighet som denna typ av angreppssätt kan användas eftersom giltigheten i tid kan variera så pass mycket mellan olika regioner samt beroende på vilket djup man befinner sig.

3. Tredimensionell strömningsmodellering

Det som skiljer en 3-D mot en 1-D-modell är att även den horisontella strukturen beskrivs på ett adekvat sätt (Figur 2). Det är upplösningen som bestämmer hur väl den horisontella strukturen kan beskrivas. Principen som gäller är att ju högre upplösning desto mindre rörelsefenomen kan beskrivas. Detta gäller både horisontellt och vertikalt. Två exempel på tredimensionella strömningsmodeller är HIROMB och RCO (Rossby Center Oceanographic model). Båda modellerna körs på SMHI varav HIROMB är den operationella prognosmodellen och RCO (Meier et al., 1999) används i klimatforsknings-sammanhang. Den operationella modellen HIROMB körs en gång om dygnet där vattenstrukturen prognostiseras 48 timmar framåt i tiden. Modellen HIROMB drivs av den atmosfäriska modellen HIRLAM (High Resolution Limited Area Model, Källén, 1996). Detaljer om HIROMB finns att läsa i Hagman (2004) där även en diskussion förs om vilken prestanda HIROMB har.

I dagsläget körs HIROMB med en högsta horisontell upplösning på en sjömil. Detta är en relativt hög upplösning men inte tillräcklig om detaljerade oceanografiska strukturer inom fjärdar eller andra skärgårdsområden skall studeras eller prognostiseras. Dessutom kan inte upplösningen på HIROMB ökas till att kunna beskriva hur småskaliga fenomen som helst då modellfysiken innehåller sådana approximationer att dessa fenomen inte kan beskrivas. Se kapitel 3.1 för en mer detaljerad diskussion. Då både HIROMB och RCO är modeller som beskriver rörelserna på den större skalan uppfyller modellerna bara delvis Forsvarsmaktens behov av kunskaper om den oceanografiska situationen. Därför kommer denna rapport att avhandla en annan 3-D-modell som heter MITGCM (MIT General Circulation Model, <http://mitgcm.org>).



Figur 2: Åtta delvolymerna av hela representationen. Pilarna indikerar hur volymerna kommunicerar med varandra i alla tre dimensionsriktningar. Detta görs på ett dynamiskt konsistent sätt och det går att bestämma den horisontella strukturen. Lägg även märke till hur delvolymerna kan beskäras och att man på så sätt kan skapa en godtycklig geometri.

3.1 Beskrivning av MITGCM-modellen

I mitten av 90-talet utvecklades en oceanografisk global cirkulationsmodell på MIT (Massachusetts Institute of Technology), den så kallade MITGCM-modellen. Det är en 3-D-modell som bygger på Navier-Stokes ekvationer med antagande om inkompressibilitet. De ekvationer som beskriver havets rörelser är: rörelseekvationerna, kontinuitets-ekvationen, värme och salttransport samt tillståndsekvationen som förbinder densiteten med temperatur, salthalt och tryck.

Traditionellt görs ett antagande om så kallad hydrostatisk balans vilket innebär att den vertikala accelerationstermen försummas. På detta sätt ges de vertikala rörelserna som en rest av alla andra beräkningar och detta är många gånger tillräckligt för att modellerna skall kunna beskriva storskaliga rörelser. Dessa skalor är vanligtvis givna av atmosfäriska vindsystem (hög- och lågtryck) som verkar på 100 till 1000 km. Den operationella modellen HIROMB gör en sådan ansats och för Östersjön som till stora delar är vinddriven är det inte ett dåligt antagande. Då MITGCM-modellen utvecklades var detta något som man tänkte på och ambitionen var att tillverka en så generell modell som möjligt. Därför utvecklades modellen att i första hand kunna beskriva så kallade icke-hydrostatiska effekter (Marshall et al., 1997a). Detta innebär att den vertikala accelerationstermen inte försummas. Dessa effekter är vanligt förekommande vid till exempel konvektionsdrivna fenomen. Ett krav var också att när den hydrostatiska gränsen närmades skulle lösningen asymptotiskt närma sig en hydrostatisk modellösning.

För att utröna om MITGCM modellen på ett tillfredställande sätt kunde beskriva rörelser på olika skalor sattes tre experiment upp: ”laboratorieexperiment” för småskalig roterande konvektion, instabiliteter i det oceanografiska övre blandningsskiktet och storskalig global oceanografisk cirkulation. Det visade sig att modellen kan beskriva dessa rörelsetyper och att lösningen betedde sig bra i gränslandet mellan hydrostatiska och icke-hydrostatiska rörelser. En generell modell hade tagits fram vilket gör det lätt att sätta upp modellen för både storskaliga cirkulationsstudier och högupplöst cirkulation i skärgårdsfjärdar. Modellen är dessutom parallelliserad vilket innebär att ett större område kan delas upp i mindre delområden och att varje processor löser modellekvationerna för just sitt tilldelade område (Marshall et al., 1997b). Detta är en förutsättning för att kunna få någorlunda snabba beräkningar.

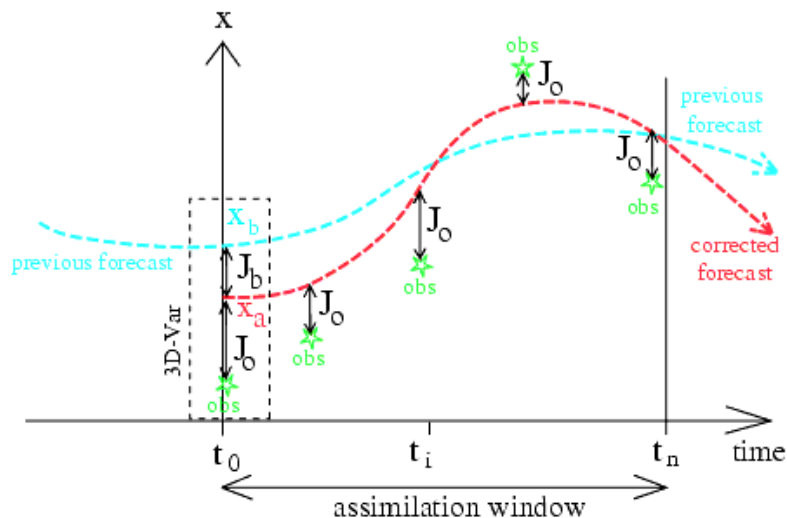
3.1.1 Topografisk representation

Ett annat område som utvecklades var representationen av topografi i modellen. Det är allmänt vedertaget att topografins betydelse för strömningen i havet är av mycket stor betydelse. Det är därför mycket viktigt att topografen finns representerad på ett bra sätt i modellen. Kopplat till topografen är även valet av vertikalkoordinat. De vertikalkoordinater som används idag inom oceanografen är terrängföljande och/eller konstanta djupytter. Terrängföljande koordinater följer topografen medan konstanta djupytter är på ett konstant djup och varierar inte horisontellt. De har båda sina för- och nackdelar men inom MITGCM valde man att använda konstanta djupytter som vertikalkoordinat och för att förbättra vissa nackdelar utvecklades möjligheten att inom en beräkningsvolym variera topografen (Adcroft et al., 1997). Många av dagens modeller

sätter endast ett medelvärde eller något annat konstant värde i sina beräkningspunkter. Detta gäller även HIROMB vilket gör att i beräkningspunkten som representerar ett område på cirka $2000 \times 2000 \times 20 \text{ m}^3$ sätts bottenjupet till ett konstant värde vilket innebär att diskontinuiteter uppstår. Vi får helt enkelt en trappstegsliknande utseende på topografin. Det innebär att artificiella gravitationsvågor kan bildas i modellen och att lösningen blir ofysikalisk. Detta gäller speciellt om vi ökar upplösningen i modellen. I MITGCM-modellen används dessutom en teknik med finita volymer där variablerna representerar en volym istället för en punkt (Figur 2). Genom att kunna representera topografin på ett mer trovärdigt sätt är det således enklare att implementera modellen för högupplösta tillämpningar.

3.1.2 Dataassimilation

Inom meteorologin har det under de senaste årtionden utvecklats tekniker som gör det möjligt att uppskatta det atmosfäriska tillståndet utgående från modelldata och observationer. Tekniken kallas dataassimilation och har varit en av hörnstenarna till bättre väderprognoser. Prognosen är beroende av att vi har ett så bra starttillstånd som möjligt och felet i prognoserna beror många gånger på att starttillståndet inte beräknats på ett bra sätt.



Figur 3: Denna illustration visar principen bakom 4D VAR. Bilden är hämtad från en kurs i data assimilation som ges på ECMWF (European Center for Medium Wave Forecast). Den blå linjen visar en föregående prognos som avviker en hel del från observerade värden (gröna stjärnor). Med utgångspunkt från dessa avvikelser itereras en ny lösning fram vilken här representeras av den röda linjen.

Inom oceanografin har användningen av dataassimilation inte kommit lika långt. På SMHI tillsammans med FOI implementeras ett dataassimilationsschema som bygger på statistisk interpolation i HIROMB. Ett skäl till att dataassimilationstekniker hittills inte har använts speciellt mycket är den dåliga tillgången på bra observationer eftersom det är

dyrt med mätutrustning till havs. Dock ökar behovet av bra prognoser av havet. För MITGCM-modellen har det tagits fram ett av de kraftfullaste data assimilationsverktygen (Marotzke et al., 1999). Verktöget kallas fyradimensionell variationell dataassimilation (4-D-VAR). Se illustration i Figur 3.

Tekniken bygger på att modellen kan köras både fram- och baklänges. Låt oss säga att modellen startar från ett utgångsläge som inte är helt känt och att ett antal observationer har inkommit under en viss period. Modellresultatet kommer mest sannolikt att avvika från observationerna och ett modellfel har uppstått. Nu är utmaningen att kunna hitta ett starttillstånd som gör att modellfelet (avvikelsen modell och observationer) minimeras. Vi tar modellfelet och propagerar tillbaka det till utgångspunkten med hjälp av en baklängesmodell som bygger på framlängesmodellen. Med hjälp av denna information kan vi sluta oss till hur starttillståndet skall modifieras så att modellfelet blir mindre nästa gång framlängesmodellen körs. Denna iteration pågår tills vi är nöjda med resultatet. Resultatet av detta är en modellanpassning till verkligheten som sker både i tid och rum på ett dynamiskt konsistent sätt. Det är ett mödosamt arbete att ta fram baklängesmodellen men för MITGCM existerar redan baklängesmodellen vilket är en stor fördel. Med hjälp av MITGCM har denna teknik använts för att karaktärisera världsoceanernas tillstånd och för att uppskatta osäkerheterna i starttillståndet samt dess betydelse för värmetransporten (Stammer et al., 2002). Tekniken kan också användas för att hitta områden där störningar kan växa till och på så sätt påverka flödet.

3.2 För- och nackdelar med tredimensionella modeller och MITGCM

Fördelen med att använda en 3-D-strömningsmodell är att informationen om den horisontella strukturen beräknas på ett dynamiskt konsistent sätt jämfört med 1-D-modellering. Priset för detta är att modellen måste sättas upp på relativt avancerade datorkluster vilket försvårar kopplingen till taktiska stödsystem. Handhavandet av modellkörningarna görs av kunnig personal och resultatet är framför allt avsett för METOC-personal som har möjlighet att tolka prognoserna. En annan fördel med 3-D-modellen är möjligheten att göra prognoser på längre sikt jämfört med 1-D-fallet. Eftersom 3-D-modellen måste ha drivning från atmosfären är det möjligt att köra en oceanografisk modell upp till mellan 5 till 10 dygn då de flesta atmosfäriska modeller sträcker sig så långt. Användningen av en 3-D-modell skulle därför passa väldigt bra i planeringssyfte.

För just MITGCM kan man konstatera att modellen har utformats för att klara av att modellera olika skalor vilket gör att modellen kan användas för högupplöst modellering över fjärdar eller skärgårdsområden. Den har en behandling av topografin som också medför att modellen beter sig på ett bra sätt vid komplexa geometrier. Modellen har således stor potential att kunna implementeras i för marinen intressanta övningsområden och bidra med ökad kunskap om den oceanografiska miljön.

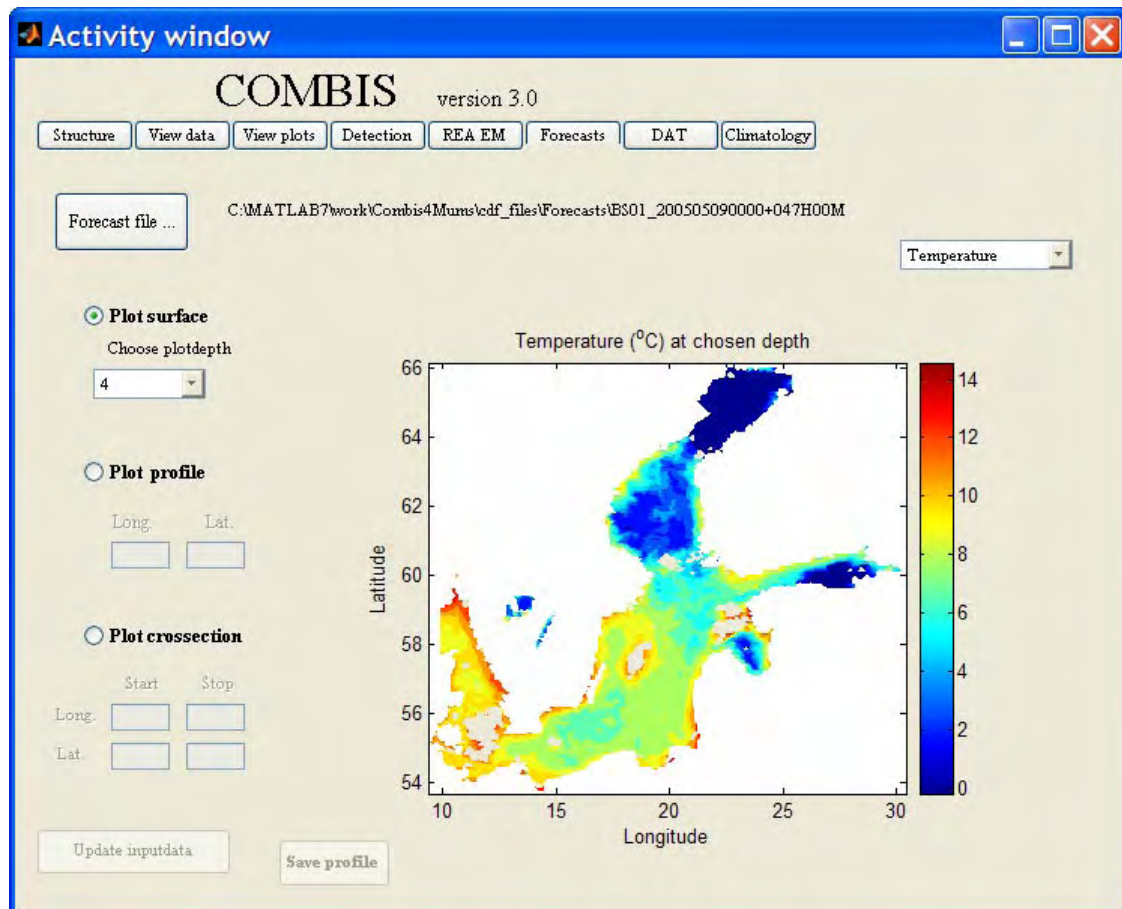
En mycket intressant egenskap som MITGCM har är att en baklängesmodell finns tillgänglig. Det betyder att modellsystemet kan användas för att analysera den

oceanografiska situationen utifrån de mätningar som görs. Efter övningar skulle modellen kunna användas för att ta fram en erkänd miljömodell över övningsområdet. Denna miljömodell skulle vara dynamiskt konsistent eftersom hänsyn tas till både rums- och tidsskalan. Detta skulle kunna få stor betydelse för taktikutvecklingen där kännedom om miljön är av stor betydelse. En 1-D-modell inte skulle kunna användas för detta syfte.

Slutligen kan det konstateras att MITGCM har utvecklats vid stora institut såsom MIT och WHOI (Woods Hole Oceanographic Institute). Dessutom vidareutvecklas modellen hela tiden. I Sverige har modellen använts på Meteorologiska Institutionen vid Stockholms Universitet (MISU) och därmed finns kompetens inom landet på hur modellen fungerar.

4. Erfarenheter och slutsatser från marina övningar

Sedan sommaren 2003 har det pågått en oceanografisk testverksamhet vid större marina övningar såsom vid Sammarin 2003, v. 19 2004 och Blue Shark 2005. Gruppen som arbetat med detta har bestått av prognosmeteorologer och deltagare från FOI. Under övningarna har prognoser från den operationella modellen HIROMB använts som underlag tillsammans med observationer för att kunna prognostisera det oceanografiska tillståndet vid övningsområdet. Erfarenheterna visar att HIROMB ger ett någorlunda bra första underlag men att variationerna i vattenstrukturen inte blir lika stora som i verkligheten. Ett exempel på hur en prognos ser ut visas i Figur 4.



Figur 4: Prognos av ytvattentemperaturen som visualiserats med hjälp av COMBIS (COmbined Maritime Background Information System, Sigg och Schiöld, 2003 samt 2004). Prognosen är tagen från HIROMB och användes som underlag till oceanografisk prognos vid den marina övningen Blue Shark, 2005.

Att variationerna är missvisande beror sannolikt på att HIROMB inte är kapabelt att beskriva den småskaliga variabilitet som existerar. Därför finns det ett behov av att kunna köra högupplösta modeller, speciellt i kustnära områden där geometrin är komplex. Erfarenheter från övningarna visar att operatörerna ombord på plattformarna framför allt behöver planeringsunderlag. Då de befinner sig i den skarpa övningsituationen finns det

ingen tid för att hantera stora datamängder eller att laborera med olika typer av prognosmaterial. Det som behövs är alltså en god planering där man redan på förhand vet hur utbredningsförhållandena troligen ser ut. Då kan man på plats mäta och dra slutsatser om prognosen verkar vara acceptabel. Om så är fallet är det bara att agera efter den taktiska plan som satts upp. Annars behöver taktiken modifieras. Ett annat behov som uttalats vid övningarna är möjligheten att skapa en erkänd miljömodell som kan användas vid taktikutveckling efter avslutad övning. I dagens läge används några enstaka profilmätningar som får tjänstgöra som miljömodell. Det finns tekniker för att förbättra detta avsevärt. Det oceanografiska behovet är alltså större än att bara producera prognoser.

5. Probe eller MITGCM? - Rekommendationer

Vilken väg skall då väljas? Å ena sidan kan en 1-D modell tas fram vilken i så fall kopplas till ett taktiskt stödsystem. Operatören kan själv producera sin egen prognos och på så sätt få en uppfattning om hur räckvidderna ändras under de närmaste timmarna. Detta prognosverktyg blir i högsta grad beroende av att rätt indata till modellen ges vilket kräver viss skicklighet av operatören. Eftersom det i övnings- eller stridssituationen dessutom inte finns mycket tid till databehandling och alltför många överväganden är det dock stor risk att ett sådant prognosverktyg blir oanvänt. Dessutom är det svårare att använda prognosinstrumentet i planeringssyfte på lite längre sikt då man endast kan förvänta sig att modellen gör bra ifrån sig på den kortare tidsskalan. Denna typ av prognosverktyg kan inte heller användas till att möta behovet av att tillverka miljömodeller för efteranalys. Den stora fördelen är dock att prognosverktyget snabbt kan tillverkas och att det krävs lite beräkningskraft för att kunna köra modellen. En annan situation där en 1-D-modell skulle vara riktigt bra att ha är i utbildningssammanhang. I utbildningen av operatörer skulle tid finnas för att köra en 1-D-modell och på så sätt kan operatören skaffa sig kunskap om hur väderfaktorn styr havets utveckling. Sedan kan operatören relatera denna kunskap till verkligheten och snabbt få en intuitiv känsla för vad som händer med räckvidder när vädret är på väg att ändras.

Den andra möjligheten är att satsa på en 3-D-strömningsmodell. Idag finns det en sådan modell som någorlunda väl kan beskriva den storskaliga strömningen i Östersjön, HIROMB. Däremot saknas möjligheten att modellera fjärdar och skärgårdsområden på ett adekvat sätt. En lovande modell som skulle kunna möta det behovet är den så kallade MITGCM-modellen. Den är utformad för att kunna beskriva småskaliga fenomen och har dessutom en bra behandling av topografin som lämpar sig för modellering i komplexa geometrier. Den skulle kunna möta behovet av att leverera oceanografiskt planeringsunderlag men eftersom den är en avancerad modell bör modellen både skötas och tolkas av experter (till exempel METOC-personal). Dessutom finns en så kallad baklängesmodell tillgänglig vilket gör att modellen inte bara kan användas i prognossammanhang utan även som analysverktyg. Därmed kan en dynamisk konsistent miljömodell tillverkas för taktikutveckling.

Eftersom MITGCM-modellen är avancerad behövs tillgång till mycket datorkraft och det är inte trivialt att sätta upp modellen. Modellen är dock fritt tillgänglig och kan laddas ner med instruktionsmanualer och användarhandböcker från Internet. Kompetens kring hur modellen fungerar finns dessutom i landet (MISU).

Rekommendationen blir därför att utvecklingen och användningen av 3-D-modeller är att föredra. Vad gäller MITGCM är det en modell som redan existerar och vidareutvecklas av några av de främsta i världen på detta område. Därför finns stora möjligheter att implementera denna modell i ett prognosystem som möter Försvarmaktens behov på ett kostnadseffektivt sätt.

6. Förslag på tidplan för tillgång på oceanografiska modeller

Vi föreslår att utvecklingen vid FOI sker i två steg. Först implementeras Probe i COMBIS där ett användargränssnitt utvecklas för att kunna ge indata till modellen. Ett sådant verktyg kan relativt snabbt komma ut till utbildning av operatörer. Nästa steg blir att sätta upp MITGCM-modellen och metodiskt gå igenom följande steg:

1. Sätta upp modellen över Hårsfjärdenområdet och köra den med konstanta randvillkor.
2. Koppla modellen till att ta vind, temperatur, fuktighet och nederbörd från HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) samt annan randdata från HIROMB.
3. Undersöka modellens prestanda både i en syntetisk miljö och jämföra med verklig data.
4. Att kunna köra baklängesmodellen samt undersöka modellens data-assimilationsegenskaper
5. Skapa en miljömodell utifrån verkliga data.
6. Göra modellen flyttbar till områden definierade av Forsvarsmakten.

2005	2006	2007	2008	2009
	Probe i COMBIS			
1.	MITGCM med konstant drivning			
	2.	MITGCM med väderdrivning		
		3.	Utvärdering	
		4-6.	Dataassimilationsarbete med MITGCM	

Figur 5: Tidsuppskattning för de aktiviteter som föreslås bli den utstakade vägen beträffande oceanografisk modellutveckling vid FOI under de närmaste åren.

Tidplanen för genomförandet av det föreslagna programmet sträcker sig över flera år (Figur 5) vilket gör det viktigt att hålla kontakten med användarna under tiden för pågående verksamhet. I och med att Probe implementeras i COMBIS kommer utbildningen av operatörerna stödjas och förbättras. I COMBIS finns redan idag ett

förenklat dataassimilationsverktyg vilket skall modifieras så att verktyget kan användas vid framtagning av miljömodeller för taktikutveckling. Detta verktyg kan på ett förbättrat sätt stödja de efteranalyser som görs i samband med övningar idag. Då MITGCM-modellen är redo för att kunna köras i semi-operationell mod (steg 2 och 3 i punktlistan) skulle modellen kunna utvärderas tillsammans med METOC-centrum för någon marin övning. Detta kan ske 2007-2008. Sedan när MITGCM-modellens dataassimilationsprogram fungerar bör ånyo en gemensam utvärdering göras med fokus på oceanografi för taktikutveckling. Då bör både Sjöstridsskolan och METOC-centrum delta. Vi uppskattar att denna utvärdering kan påbörjas 2009.

Referenser

Adcroft, A.J., Hill, C.N., och J. Marshall, 1997: Representation of topography by shaved cells in a height coordinate ocean model. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2293-2315

Axell L.B., 2002: Wind-driven internal waves and langmuir circulations in a numerical ocean model of the southern Baltic Sea. *J. Geophysical Res.*, **107**(C11), 3204, doi: 10.1029/2001JC000922, 2002

Cuxard, J., P. Bougeault, J., och L. Redelberger, 2000: A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **126**, 1-30.

Engqvist A., 1996: Long-term nutrient balances in the eutrophication in the Himmerfjärden estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **42**, pp. 483-507.

Hagman M., 2004: HIROMB. HIgh Resolution Operational Model Baltic. En sammanfattning. Diarienummer HKV 11 400:71447.

Källén E., (ed), 1996: HIRLAM documentation manual, level 2-5 (Kan erhållas från SMHI).

Marotzke, J, Giering, R., Zhang, K.Q., Stammer, D., Hill, C., och T. Lee, 1999: Construction of the adjoint MIT ocean general circulation model and application to Atlantic heat transport variability. *J. Geophysical Res.*, **104**(C12), 29,529-29,547.

Marshall, J., C. Hill, L. Perelman, och A. Adcroft, 1997a: Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling. *J. Geophysical Res.*, **102**(C3), 5733-5752.

Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman, och C. Heisey, 1997b: A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers. *J. Geophysical Res.*, **102**(C3), 5753-5766.

Meier, M.H.E, R Döscher, A.C. Coward, J Nycander, och K Döös, 1999: RCO – Rossby Centre regional Ocean climate model: model description (version 1.0) and first results from the hindcast period 1992/93. Serie RO (Kan erhållas från SMHI).

Nycander J. and K. Döös, 2001: Open boundary conditions for barotropic waves. Stockholm, FOI. *Vetenskaplig rapport*, FOI-R--0078--SE. ISSN 1650-1942

Sigg, R., 2000: Use of pseudoadiabatic adjustment of turbulence for a simplified night-time stratocumulus case; a one-dimensional study. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2317-2328.

Sigg, R. and J. Schiöld, 2003: COMBIS – version 2.0. Stockholm FOI. *Teknisk rapport*. FOI-R--0947--SE. ISSN 1650-1942.

Sigg, R. and J. Schiöld, 2004: COMBIS – version 3.0. Stockholm FOI. *Användarrapport*. FOI-R--1349--SE. ISSN 1650-1942.

Stammer D., C. Wunsch, R. Giering, C. Eckert, P. Heimbach, J. Marotzke, A. Adcroft, C.N. Hill, och J. Marshall, 2002: Global ocean circulation during 1992-1997, estimated from ocean observations and a general circulation model. *J. Geophysical Res.*, 107(C9).

Svensson U.,1998:PROBE An Instruction Manual. Serie RO (Kan erhållas från SMHI)

Utökad sammanfattning – Oceanografiska modeller

Behovet av oceanografi inom Försvarsmakten gäller framför allt möjligheten att i förväg kunna veta hur ljudutbredningen ser ut. Förhandsinformation om det oceanografiska läget är värdefullt då detta bidrar till utformningen av ett gott taktiskt uppträdande till sjöss. Ett annat stort behov som är kopplat till förmågan att kunna prognostisera oceanografien är förmågan att efter en övning kunna fastställa en så god miljömodell som möjligt. Denna miljömodell används sedan för taktikutvärdering och taktikutveckling. Syftet med rapporten är att beskriva principen bakom endimensionell (1-D) och tredimensionell (3-D) oceanografisk modellering och vilka typer av behov som dessa modeller kan möta.

För att närmare beskriva hur ett prognosverktyg där 1-D ansatsen används kommer fokus att läggas på den så kallade Probe-modellen som används av SMHI. Den grundläggande approximationen är att allt horisontellt vattenutbyte försummas och att modellen endast drivs av lokala vädervariationer. Den stora frågeställningen är hur det vertikala vattenutbytet skall beskrivas. Vattenutbytet i vertikal led utgörs av framförallt småskaliga rörelser som med ett annat ord kallas för turbulens. Fördelen med 1-D-modellering är att modellen inte blir speciellt beräkningstung och att hög upplösning i vertikal led erhålls. Modellen passar perfekt för snabba beräkningar kopplat till ett taktiskt stödsystem. Den stora nackdelen är att lite eller i princip ingen information ges om horisontella strukturer.

Det som skiljer en 3-D mot en 1-D-modell är att även den horisontella strukturen beskrivs på ett adekvat sätt. Två exempel på tredimensionella strömningsmodeller är HIROMB och RCO (Rossby Center Oceanographic model). Båda modellerna körs på SMHI varav HIROMB är den operationella prognosmodellen. Då både HIROMB och RCO är modeller som beskriver rörelserna på den större skalan uppfyller modellerna bara delvis Försvarsmaktens behov av kunskap om den oceanografiska situationen. Därför avhandlas en annan 3-D-modell som heter MITGCM (MIT General Circulation Model). För MITGCM kan man konstatera att modellen har utformats för att klara av att modellera olika skalor vilket gör att modellen kan användas för högupplöst modellering över fjärdar eller skärgårdsområden. Den har en behandling av topografien som också medför att modellen beter sig på ett bra sätt vid komplexa geometrier. En mycket intressant egenskap som MITGCM har är att modellsystemet kan användas för att analysera den oceanografiska situationen utifrån de mätningar som görs. Efter övningar kan modellen användas för att ta fram en erkänd miljömodell över övningsområdet för taktikutveckling.

Vi föreslår att den oceanografiska utvecklingen vid FOI sker i två steg. Först implementeras Probe i COMBIS där ett användargränssnitt utvecklas som kopplas till modellen. Ett sådant verktyg kan relativt snabbt komma ut till utbildning av operatörer. Därefter sätts MITGCM-modellen upp och länkas till att ta vind, temperatur, fuktighet och nederbörd från HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) samt oceanografisk randdata från HIROMB. Vi föreslår att MITGCM utvärderas tillsammans med METOC-centrum och Sjöstridsskolan för lämpliga marina övningar. En uppskattning är att en första utvärdering av modellen kan ske 2007-2008. Idag är fokus inom Försvarsmakten internationella insatser och därför är avsikten att modellerna skall kunna köras över ett godtyckligt område då väderdata och oceanografisk randdata finns tillgängliga.