



Utvärdering och känslighetsanalys av kustzonsmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar.

Jonny Svensson, Thalassos Computations, Eleonor Marmefelt

**Utvärdering och känslighetsanalys
av kustzonsmodellen för norra
Östergötlands och norra Bohusläns
skärgårdar.**

Jonny Svensson, Thalassos Computations, Eleonor Marmefelt

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut S-601 76 NORRKÖPING Sweden		Report number/Publikation Oceanografi Nr. 75	
		Report date/Utgivningsdatum December 2003	
Author (s)/Författare Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt			
Title (and Subtitle)/Titel Utvärdering och känslighetsanalys av kustzonsmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar.			
Abstract/Sammandrag Valideringen visar att Kustzonsmodellen simulerar temperaturen väl i alla områden. Övriga parametrar simuleras något sämre. Speciellt konstateras att fosfathalten, men även i viss mån nitrathalten, har dålig överensstämmelse med uppmätta data. Känslighetsanalysen visar att: • Modellen förbättras om beskrivningen av sundens tvärsnittsytor bättre anpassas till faktiska förhållanden • Den del av tryckgradienten som används för att accelerera vattnet i sunden, ALFA, påverkar vattenutbytet i sunden i hög grad. • En ökad djupvattenblandning inte påverkar modellresultaten • Då bottenpoolen av fosfat och nitrat är i jämvikt, simuleras fosfat-, nitrat- och syrgashalter i vattenmassan på ett nöjaktigt sätt i Östergötlands norra skärgård • Då utsjöns randvärden av detritus och djurplankton förbättras på Västkusten, förbättras även fosfathalten i vattenmassan i Gullmaren. • Modellen är känslig för hur randvärden i utsjön beskrivs. Modellens resultat skulle förbättras avsevärt om bättre randvärden fanns tillgängliga för alla variabler i SCOBİ modellen.			
Key words/sök-, nyckelord Kustzonsmodell, utvärdering, känslighetsanalys			
Supplementary notes/Tillägg		Number of pages/Antal sidor 54	Language/Språk Svenska
ISSN and title/ISSN och titel 0283-7714 Oceanografi			
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden Eller www.smhi.se			

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Bakgrund	5
Förslag till utveckling av modellen	7
Utvärdering av befintlig Kustzonsmodell	8
Syfte	8
Metodik	8
Korrelationskoefficient	8
Medelfel	9
Standardavvikelse för skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde	9
Bedömningar	9
Norra Bohuslän	10
Bassäng B04, närmast den öppna gränsen mot utsjön	11
Gullmaren (Saltkällefjorden)	14
Idefjorden	20
Norra Östergötland	24
Slätbaken	24
Inre Bråviken	27
Kärrfjärden	30
Statistik	33
Slutsatser	35
Temperatur	35
Salthalt	35
Syrgas	35
Nitrat	35
Fosfat	35
Känslighetsanalys	37
Betydelsen av beskrivningen av sundens tvärsnittsytor	37
Friktionens påverkan på transporterna genom sunden	40
Djupvattenblandningens betydelse i de inre bassängerna.	42
Fosfatbelastningen från sedimenten	43
Slätbaken	43
Utsjödrivningens påverkan	46
Gullmaren	46
Slätbaken	50
Referenser	54

Sammanfattning

Överensstämmelsen mellan uppmätta värden och modellberäknade storheter har bedömts subjektivt utgående från de figurer från Bohuslän som visas här samt figurer från Norra Östergötland i rapporten Kustzonsmodell för norra delarna av Östergötlands skärgård. Resultat för perioden 1985-2000, Håkan Olsson.

Det konstateras att temperaturutvecklingen i modellen, både när det gäller ytvärden och temperaturer på en något djupare nivå fungerar väl. Modellens instrålningsrutin och blandningsbeskrivning fungerar bra.

I bassänger som har öppen förbindelse med kusthavet, t.ex. **B04** i Bohuslän är den simulerade salthalten mindre bra på grund av problem med att ge rätt salthalt som randvärde. Samma problem kan konstateras då det gäller syrgashalt och nitrat- och fosfathalt. Även randvärdena av växtplankton och djurplankton samt halten detritus bör tas från mätvärden eller från *en väl fungerande* utsjömodell.

Bassängerna i Bohuslän har för stor horisontell utsträckning dvs. de omfattar ett område med interna gradienter i salthalt, syrgashalt och säkert också i växtplankton.

Mindre bra överensstämmelse mellan uppmätt och beräknad nitrat-, fosfat- och syrgashalt i Gullmaren beror på antingen för stort vattenutbyte eller på för låg omvandling av detritus till organiska ämnen i vattenmassan.

Modellens simulerade halt av växtplankton är vanligen betydligt lägre än vad mätningar visar i t.ex. Slätbaken, Gullmaren och Kosterfjorden. Först när man har visat att de fysiska förutsättningarna för planktonblomningar simuleras korrekt i modellen bör man angripa processerna som styr den biologiska utvecklingen.

Som komplement till den subjektiva bedömningen av överensstämmelsen mellan uppmätta och beräknade värden ges tre statistiska mått på samstämmighet: korrelationskoefficient, standardavvikelse och medelfel. Endast simulerad temperatur uppfyller ett rimligt strängt kriterium på statistiskt samband mellan uppmätt och beräknat värde. De statistiska måtten kan också användas i framtiden för att konstatera om en viss modellmodifiering resulterar i bättre överensstämmelse.

Känslighetsanalysen av modellsystemet visar att simuleringen med triangulärt tvärsnitt i sunden in till Slätbaken inte är speciellt känsligt för sundets form vad avser hydrografen. Däremot påverkas biogeokemin i större grad av att ansätta ett triangulärt tvärsnitt i stället för ett rektangulärt. Även i Gullmaren påverkas den modellerade biogeokemin mer av tvärsnittets form än hydrografen. ***Sund som har tydligt triangeltvärsnitt bör simuleras med triangeltvärsnitt.***

Resultatet av simuleringen med varierande friktion i sunden in till Slätbaken innebär en kraftig förändring av in- och utströmmen genom t.ex. sundet vid Stegeborg. ***Värdet på friktionsparametern ALFA är således av vikt och man måste noga överväga vilket värde som åsätts ALFA i varje sund.*** En simulering där friktionen minskats i sunden in till Ållanöfjärden, **B05**, och Svensksundsviken, **B07**, visar att flödet genom dessa sund ökar måttligt. ***Bassänger med liten volym och stor sundarea är mindre känsliga för ändringar av ALFA.***

En fördubbling av djupvattenblandningen påverkar inte resultatet i Gullmarens djupvatten i nämnvärd grad.

En noggrann studie har genomförts för att förbättra salthalt, temperatur och syrgashalt i Gullmarens djupvatten till att bättre motsvara mätningarna än tidigare visade simuleringar. Följande åtgärder har vidtagits för att ge den önskade effekten:

Initialiseringen av salt, temperatur och syrgashalt inne i Gullmaren har förbättrats till att mer efterlikna ett typiskt fjordförhållande med ett ytlager och ett djupvattenlager.

Drivdata från utsjön tillåts att effektivt påverka de yttre bassängerna **B01-B04**.

Under mars 1996 används inte det kalla, tunga vatten som uppträder i station P2 utan istället används drivdata från utsjön som liknar mätningarna i Å16 på 30-50 m djup. Dessa förändringar motiveras av ingående studier av drivdataserien.

Utsjödrivdata för syrgashalten på 30-50 m i mars-april 1996 har minskats med omkring 2 ml/l, vilket kan betecknas som en kalibrering för bra simuleringsresultat av syrgas i Gullmaren.

En av de allvarligaste invändningarna mot tidigare visade modellresultat var att fosfathalten i djupvattnet i t.ex. Slätbaken eller Gullmaren blev mycket för låg. Slutsatsen av nu genomförda experiment är att simuleringen kan nå rätt storleksordningen för de i djupvattnet uppmätta fosfatkoncentrationerna om man för Slätbaken använder *ett korrekt initialvärde för halten fosfor och kväve i bottenpoolen*, och om man *ansätter en starkare temperaturpåverkan på regenereringen av näringsämnen från botten*. I Gullmaren är enligt modellen fosfathalten i bottenpoolen låg. Fosfathalten i vattenmassan påverkas därför i lägre grad av regenereringshastigheten från botten. Istället genereras rätt koncentration av fosfat i djupvattnet genom att man i randvärdena från havet föreskriver en högre halt av dött organiskt material, sk. detritus.

Experiment med att driva kustzonsmodellen med dygnsvärden från utsjömodellen PROBE-Baltic visar på betydelsen av att koppla kustzonsmodellen till en utsjömodell. Främst på grund av man härigenom kan erhålla randvärden för alla modellvariabler och slipper på så sätt göra antaganden om flöden av de modellvariabler som ej ingår i mätprogrammen, så som djurplankton och detritus, samt att man undviker problemet med att finna representativa utsjödata. Vid längre simuleringar som sträcker sig från mitten av 80-talet, stöter man ofta på problemet att med brutna tidsserier. Mätprogrammen ändras, stationer flyttas etc. Variationen av modellerade hydrografiska variabler i utsjön, däremot, varierar främst på längre tidskalor. Genom att extrahera ut månadsdata från en dygnsbaserad PROBE-Baltic serie förloras enbart en liten del information från utsjön. Det bör påpekas att satellitmätningar av temperatur har visat att det flera gånger per år förekommer uppvällning av kallt, tungt vatten i kustområdet. Om modellen PROBE-Baltic vidareutvecklas till att simulera dessa vinddrivna fenomen skulle effekten i de inre kustordena med största sannolikhet påverkas mer av en dygnsbaserad utsjödrivning.

Bakgrund

SMHI förfogar över en marin, biokemisk, numerisk modell SCOBİ som utgör kärnan av SMHIs kustzonssystem. För att kunna modellera näringsämneskoncentrationer och klorofyllkoncentration med variation i djupled har SCOBİ-modellen kopplats samman med en 1-dimensionell hydrodynamisk modell (PROBE), som beräknar de vertikala fysiska transporterna i ett havsområde. Den horisontella fördelningen av ämnen fångas i kustzonsmodellen genom att koppla samman flera boxar, som var för

sig får representera ett havsområde. Med detta modellkoncept blir dock den horisontella fördelningen homogen i varje enskild box. Den kopplade SCOBI-PROBE modellen benämns också kustzonsmodellen. Kustzonssystemet i sin helhet är ett integrerat biogeokemiskt modellsystem som kopplar samman transporter av näringsämnen i atmosfär och vattendrag med en kustzonsmodell.

Kustzonsmodellen har använts för simuleringar av ett tiotal år i norra Östergötlands skärgård samt också i norra Bohusläns skärgård (Sahlberg och Olsson, 2000, och Olsson et al., 2003).

I denna rapport presenteras resultaten från en utvärdering av Kustzonsmodellen. Uppdraget är indelat i två delar:

1. att fastställa kvalitén på modellerad salthalt, temperatur, syrgashalt, nitrathalt samt fosfathalt hos befintligt modellsystem
2. att genomföra en känslighetsanalys av kustzonsmodellen.

Grunden till ekologisk modellering är att koppla den ekologiska modellen till en god fysikalisk modell, eftersom biogeokemin i havet är så starkt styrd av de rådande hydrografiska förhållanden. Utgångspunkten av valideringen av det befintliga modellsystemet har därför varit att i förstör studera modellens salthalt- och temperaturfält. Först sedan man uppnått nöjaktiga salt- och temperaturfält kan man förvänta sig att en ekologisk modell skall kunna beskriva syrgas- och näringsämnesdynamiken. Därefter koncentreras valideringen således på de av SCOBI producerade variablerna syrgas, nitrat och fosfat. I simuleringarna för Bohuslän där det finns mätdata för klorofyll (växtplanktonkoncentration) kan man även utvärdera den beräknade växtplanktonhalten.

Känslighetsanalys av modellresultaten har fokuserats på nedanstående studier, vilka identifierats som de känsliga punkterna i modellkonceptet:

1. Känslighetsstudie av transporterna genom sunden vad avser sundens tvärsnittsytor och friktion.
2. Känslighetsstudie av förändrad djupvattenblandning och dess betydelse i de inre bassängerna
3. Utvärdera utsjödrivningens betydelse för hydrografen i de inre bassängerna
4. Känslighetsstudie av fosfatbelastningen från sediment.

I samband med att den senare delen av denna utvärdering har genomförts, den sk. känslighetsanalysen, har SMHIs forskning och utvecklingsenhet, FoU, genomfört en grundlig genomgång av programkoden. Man har då upptäckt felaktigheter i programkoden i modellen som rör beskrivningen av detritus sjunkhastighet och flödet av fosfat från bottenarna. Dessa felaktigheter har åtgärdats. Dessutom har beskrivningen av bottenprocesserna formulerats om, vilket har fått till följd att bottenpoolen av näringsämnen påverkar vattenmassans näringsämnesinnehåll i högre grad. Eftersom dessa förbättringar av modellen bedömdes vara av sådan betydande karaktär har vi i denna utvärdering beslutat att basera känslighetsanalysen på den nya, upprättade koden, trots att detta medför att den simulering som i känslighetsanalysen betecknas som referenssimulering inte överensstämmer med den simulering som valideringen baseras på.

Förslag till utveckling av modellen

Modellresultaten skulle förbättras om man kunde ge modellen randvärden från havet med stor tidsupplösning och med god precision. Mätdata (dygnsvärden) från många nivåer av både de fysikaliska och de biologiska parametrarna skulle vara önskvärt. Alternativt skulle data från en annan numerisk modell av tex. Östersjön eller Skagerrak/Kattegatt kunna användas. Utsjömodellen skall ge data med god precision för såväl hydrografiska parametrar som de biogeokemiska. Utsjömodellen skall också vara anpassad till att simulera de vinddrivna språngskiktsrörelser som tidvis påverkar drivningen för vattenytbyten i fjordar och vikar vid kusten.

Inblandning av djupvatten i det inflödande tunga bottenvattnet i en bassäng s.k. medrivning, har testats i Slätbaken med gott resultat. Efter en förändring av programkoden försvåras programmeringen av medrivning, men man bör ta fram en metod för att införa medrivning i alla bassänger. Inflödande, små mängder av tungt bottenvatten kommer då att blanda in omgivande vatten med lägre densitet och härigenom inlagras på en högre nivå i bassängen än vad modellen för närvarande ger. Detta kommer att förbättra modellens djupvattenegenskaper.

Stora framsteg har gjorts under utvärderingens gång för att få näringsämnena i modellen att överensstämma med uppmätta data. Framstegen har bestått i rättningar av fel i programkoden, variation av parametrar samt av noggrann utformning av randvillkoren i havet. Modellens utformning av utbytet av näringsämnen mellan sedimentet och vattenmassan bör emellertid ytterligare studeras. Om man använder modellen för att förutsäga resultatet av en reningsåtgärd är det synnerligen viktigt att balansen mellan sedimentets innehåll av näringsämnen och vattenmassans innehåll är rätt beskrivet. Det finns ofta stora lager av näringsämnen i sedimentet som måste ”konsumeras” innan en förbättring av vattnets egenskaper kan mätas. Omvänt kommer ett ökat/minskat utsläpp inte att märkas i vattenmiljön eftersom överskott av näringsämnen under lång tid magasineras i sedimenten.

Utvärdering av befintlig Kustzonsmodell

Syfte

Studiens syfte är att gå igenom resultaten av modellsimuleringarna för Norra Östergötland och Norra Bohuslän, att undersöka överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta data samt att identifiera eventuella generella problem och delar där modellen bör förbättras.

Vad är kvalitet? En god kvalitet innefattar att modelldata skall samvariera med uppmätta data. Om detta inte är för handen kan man kritiskt granska modelluppbyggnaden och drivningen för att få en uppfattning om varför överensstämmelsen inte är god samt eventuellt få idéer till förbättringar.

Om modelldata stämmer någorlunda med uppmätta data kan man använda ett statistiskt kriterium för att fastställa ”avvikelse”. Om data ser okorrelerade ut måste man dessutom kommentera dem på annat sätt genom att använda sin subjektiva bedömning. Ett statistiskt mått på överensstämmelse får man genom att beräkna korrelationskoefficienten för uppmätta data och samtidigt beräknade värden. Koefficienten presenteras tillsammans med medelfelet och standardavvikelsen för att ge en allsidig bild av samvariationen.

Metodik

Korrelationskoefficient

Ett statistiskt mått, korrelationskoefficienten ρ_{xy} beräknas med följande formel:

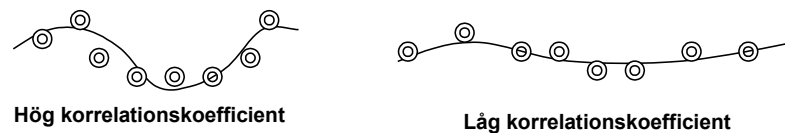
$$\rho_{xy} = \frac{\text{COV}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad -1 \leq \rho_{xy} \leq 1$$

$$\text{COV}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{m_x})(y_i - \overline{m_y}),$$

där n är antalet värden, där $\overline{m_x}$ och $\overline{m_y}$ är medelvärden. Korrelationskoefficienten kan beräknas i ett EXCEL-ark med funktionen CORREL.

Koefficienten skall ha ett värde nära 1 för att bevisa att de två serierna har ett statistiskt samband. God överensstämmelse indikeras med koefficienter över 0.9.

Brus runt den korrekta tidsserien påverkar korrelationen så att ett visst brus runt en korrekt tidsserie med stora, långsamma svängningar (t.ex. årsvariationer) ger en hög korrelation, medan samma brus runt en nästan konstant tidsserie ger en låg korrelation.



Figur 1. Schematisk jämförelse mellan hög korrelationskoefficient och låg.

Medelfel

Medelfelet beräknas genom att man tar medelvärde av skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde. En skillnad på +1.5 enhet under hela tidsserien ger medelfelet +1.5 men ett fel som varierar mellan +1.5 och -1.5 kan ge ett medelfel på noll. När medelfelet ges kompletterat med standardavvikelsen kan man få en klar bild av avvikelsen.

Standardavvikelse för skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde

Standardavvikelse beräknas enligt följande formel:

$$SD = \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n y_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n y_j \right)^2}{n^2}},$$

vilket också kan skrivas:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n y_j^2 - n * m_y^2}{n}}$$

Där y_j är skillnaden mellan uppmätt och beräknat värdet och m_y betecknar medelavvikelsen. Antalet värden betecknas n . En skillnad mellan uppmätt och beräknat värde på 1.5 enheter under hela tidsserien ger standardavvikelsen 0. Om skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde varannan gång är +1.5 och varannan gång är -1.5 blir standardavvikelsen +1.5.

Formeln för standardavvikelsen har hämtats från Microsoft-Excel. Standardavvikelsen kan beräknas i ett EXCEL-ark med funktionen STDEVP.

Bedömningar

För tidsserier med låg korrelation har en bedömning av kvaliteten gjorts med subjektiva metoder. Detta är det viktigaste redskapet i utvärderingen och har tillämpats för flertalet tidsserier i Bohuslän och för N. Östergötland.

Norra Bohuslän



Figur 2. Karta över området för uppsättning av kustzonsmodellen i Norra Bohuslän. Området omfattar 30 kustvattenbassänger från Idefjorden (B05) i norr till Gullmarsfjorden (B27) i söder. (Delar av kartan är gjord med underlag från GSD-Röda kartan. Medgivande från Lantmäteriet 1996. Dnr: 507-96-3757.)

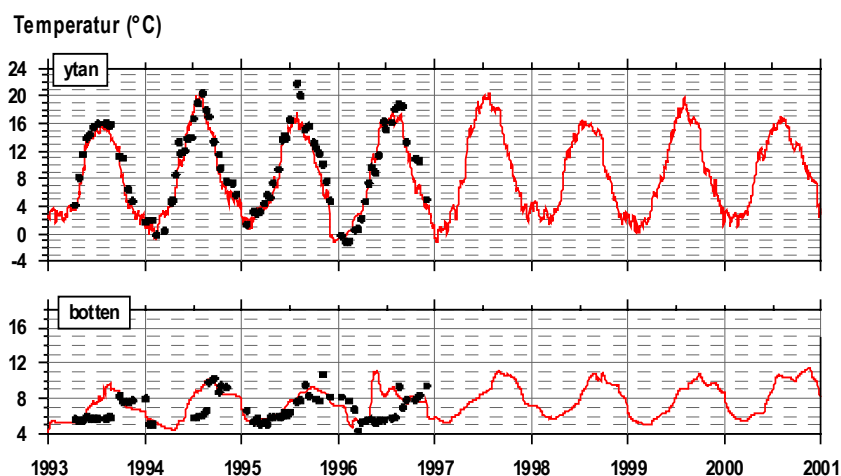
Bassäng B04, närmast den öppna gränsen mot utsjön

Modellens variationer i salthalt, nitrathalt, fosfathalt etc. drivs med mätdata från utsjön. För parametrarna temperatur och syrgashalt tillkommer tillskott eller avgång till atmosfären vilket ger en viss ändring av ytnära värden jämfört med värdena i utsjön. Det finns inga mätdata för djurplankton och detritus, utan dessa värden antas ha samma värden i inflödet som modellen beräknar för bassängen. Vid botten styrs alla parametrar, utom djurplankton och detritus, av de *givna mätvärdena* vid randen mot utsjön samt givetvis det *beräknade vattenutbytet* med utsjön över den stora tvärsnittsytan.

Stämmer då de beräknade värdena i denna yttre bassäng med uppmätta data i bassängen? Det finns för **B04** vissa möjligheter till jämförelse eftersom station Tröskeln, som ligger inne i **B04**, månadsvis besöktes av Argos under åren 1993-96. Station Tröskeln ligger i skärgården utanför Lysekil i bassäng **B04** men nära gränsen mot bassäng Gullmaren. Djupet på mätplatsen är 60-65 m. Bassäng **B04** är över 90 m djup i sina djupaste, yttre delar. När vi jämför mätningarna från Tröskeln med beräknade värden jämför vi mätningar tagna nära botten i ett delvis instängt vattenområde med beräkningar på en mellannivå (resultat på 65 m i en 98 m djup bassäng) i modellens öppna vattenmassa. Detta är inget unikt problem för station Tröskeln utan återkommer vid varje jämförelse med mätdata.

Temperatur

I figur 3 visas figurer av uppmätta och beräknade temperaturvärden. Figuren visar att simulerad temperatur stämmer bra med uppmätta värden inne i bassängen.



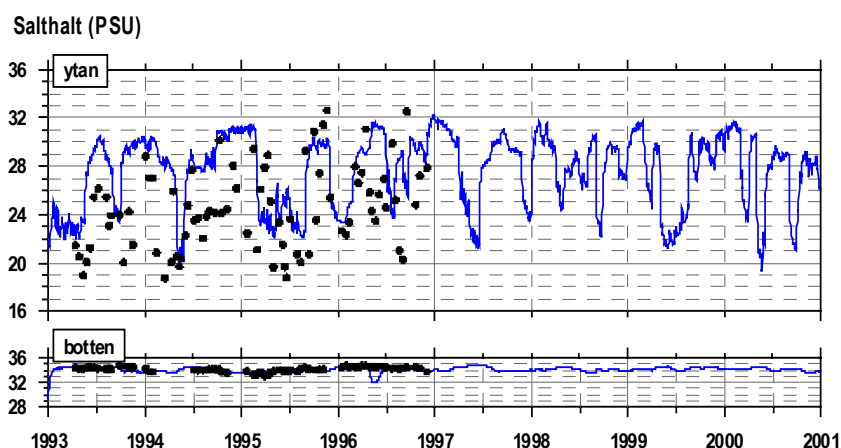
Figur 3. **Temperatur i utsjön utanför Gullmaren.** Mätvärden från station Tröskeln visas med svarta punkter. Mätstationen ligger på gränsen till Gullmaren och har ett maxdjup på 65 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 65 m djup (totalt 98 m). Indata till utsjön tas från andra stationer P2 och Å16 (Å13).

I tabell 1-4 ges statistiska nyckeltal som ger ett objektiva mått på överensstämmelsen vid mättillfällena. **B04** visar hög korrelation för temperatur. Standardavvikelsen visar att differensen mellan beräkningarna och mätvärdena i medeltal är ± 1.27 eller $\pm 1.31^{\circ}\text{C}$. Medelfelet vid ytan är positivt vilket indikerar att modellen ger för låga ytemperaturer.

Salthalt

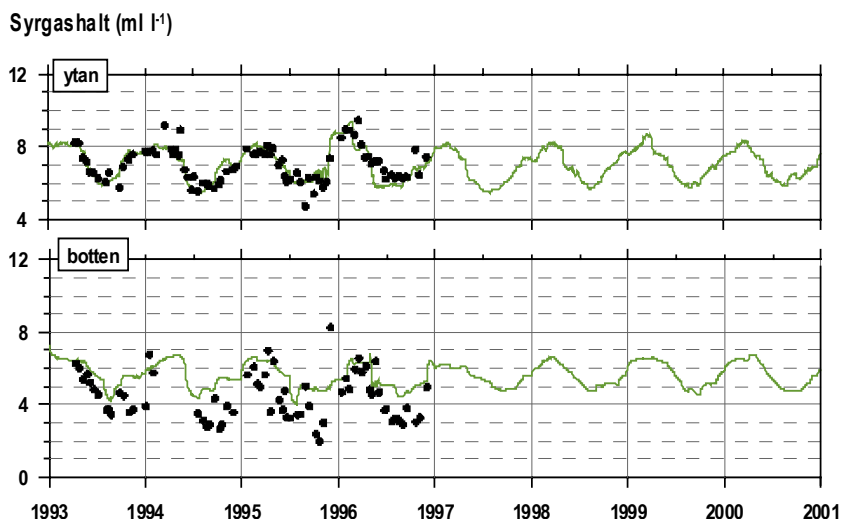
Figur 4, som visar uppmätt och modellerad salthalt visar på stora fluktuationer i ytan, och betydligt mindre variationer i bottenvattnet, vilket man kan förvänta. Figuren visar också att modellen initialiseras med för låg salthalt i djupvattnet men att modellen under första månaden anpassar sig till rätt salthaltsnivå.

Korrelationen för salthalt är låg och man kan inte med statistikens hjälp bevisa att det finns något samband mellan de beräknade värdena och mätningarna, trots att vi med ögat uppfattar ett tydligt sådant samband. Detsamma gäller för alla de andra bassängernas salthaltskorrelation; det finns inget statistiskt samband mellan beräknade och uppmätta salthaltsvärden.



Figur 4. **Salthalt i utsjön utanför Gullmaren.** Mätvärden från station Tröskeln visas med svarta punkter. Mätstationen ligger på gränsen till Gullmaren och har ett max djup på 65 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 65 m djup (totalt 98 m).

Syrgas



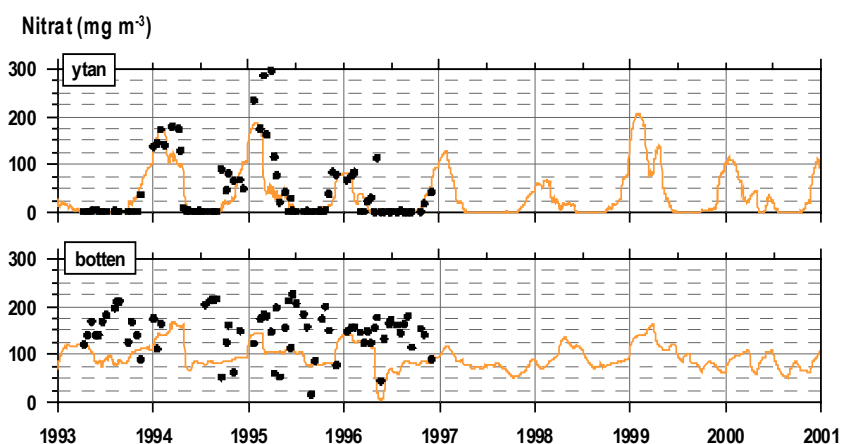
Figur 5. **Syrgas i utsjön utanför Gullmaren.** Mätvärden från station Tröskeln visas med svarta punkter. Mätstationen ligger strax utanför Gullmaren och har ett max djup på 65 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 65 m djup (totalt 98 m).

Studerar man syrgashalten mätt i station Å16, som ger indata från utsjön till **B04**, visar det sig att syrgashalten mycket sällan är under 5 och aldrig under 4 ml/l. De beräknade halterna i **B04** har alltså ingen möjlighet att visa så låga värden som mäts vid botten i station Tröskeln. Om man skall kunna nå större överensstämmelse mellan beräkningar och lokala mätningar vid Tröskeln måste man ha flera bassänger (bättre upplösning i horisontell led) mellan den yttre bassängen (B04) och Gullmaren (B27). Då kan t.ex. syrgashalten successivt minska genom syrgaskonsumtion och begränsning av de horisontella utbytet mellan bassänger. Närsalthalten kan öka genom utlösning från relativt grunda bottnar i de mera kustnära bassängerna.

Beräknade syrgashalter i ytvattnet uppvisar den korrekta variationen som styrs av syrgasens löslighet i vatten med sommar och vintertemperaturer. Vid botten är de beräknade syrgashalterna för höga, vilket tyder på att modellen importerar vatten med för hög syrgashalt från utsjön. Vidare påverkar de relativt höga beräknade syrgashalterna på 40-50 m nivå i bassäng **B04** systemet till att ge för höga syrgashalter i det vatten som strömmar in i Gullmaren vid ett vattenutbyte.

Nitrat

Den beräknade nitrathalten visar korrekt årsvariation vid ytan och rimlig storleksordning på värdena vid botten.



Figur 6. **Nitrat i utsjön utanför Gullmaren.** Mätvärden från station Tröskeln visas med svarta punkter. Mätstationen ligger på gränsen till Gullmaren och har ett max djup på 65 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 65 m djup (totalt 98 m).

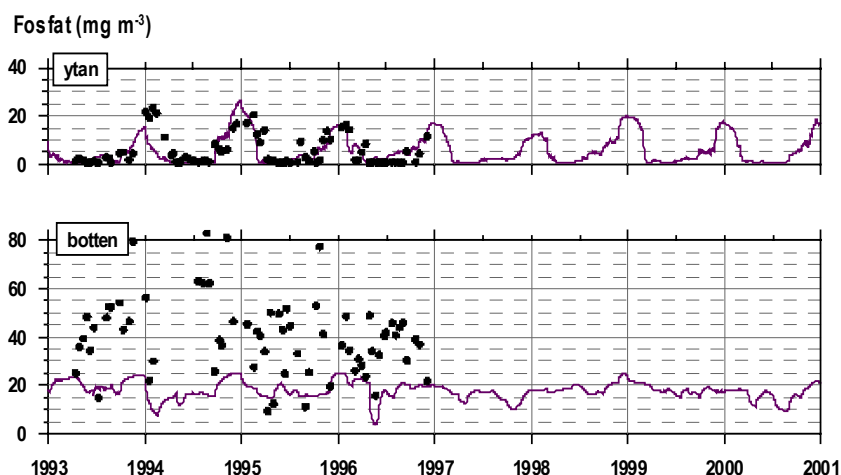
Korrelationen för nitrat vid ytan visar på värden på 0.7, se tabell 4. Korrelationen vid botten är liten, 0.08.

Fosfat

Även den beräknade fosfathalten visar korrekt årsvariation i ytan. Däremot bortsett är den beräknade halten i djupvattnet betydligt lägre än den uppmätta halten.

Korrelationen för fosfat ger också värden under 0.7. Avvikelserna mellan uppmätta och simulerade halter vid botten är oacceptabelt höga. Flera möjliga förklaringar finns till modellens avvikelse. Är inte mätningarna vid station Tröskeln representativa för **B04**? Station Tröskeln ligger alltför långt in och påverkas av Gullmaren. En möjlig förklaring kan vara att modellens biogeokemiska dynamik i bassängen är felaktigt beskriven (framförallt utbytet mellan vattenmassan och

bottensedimenten) eller också att näringsämneshalten av inströmmande vatten från utsjön är för låg. Mycket tyder på att de alltför låga beräknade värdena huvudsakligen beror på mätvärdena från utsjön, bla därför att fosfatavgången från sedimenten sker vid lägre syrgashalter än vad som observerats i djupvattnet vid station Tröskeln. Mätvärden från utsjön tas på nivåer långt från botten. I verkligheten bör bottenvattnet på sin väg in till positionen för station Tröskeln blanda upp näringsämnen från bottensediment.



Figur 7. **Fosfat i utsjön utanför Gullmaren.** Mätvärden från station Tröskeln visas med svarta punkter. Mätstationen ligger på gränsen till Gullmaren och har ett max djup på 65 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 65 m djup (totalt 98 m).

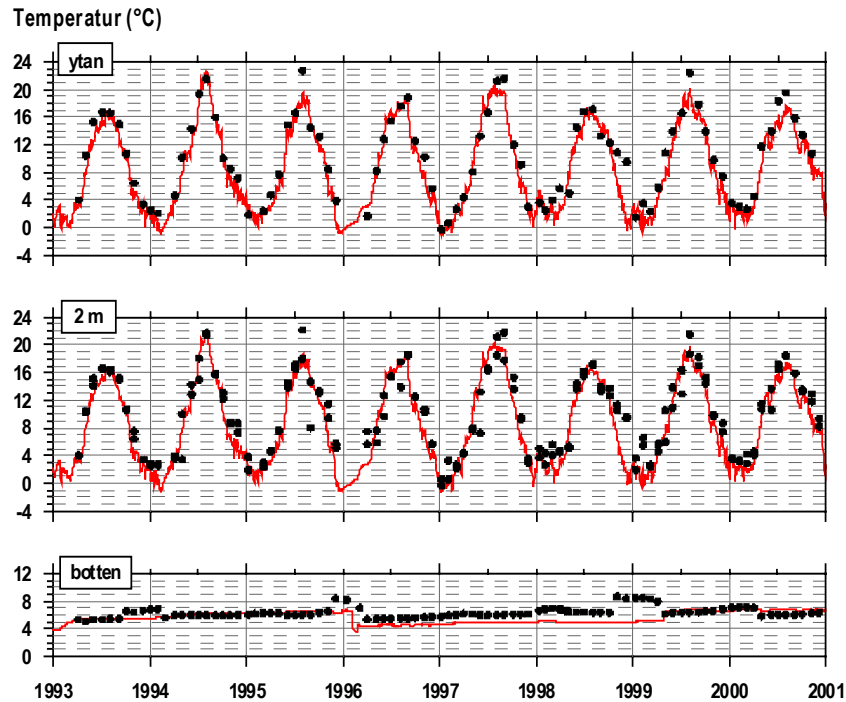
I **B04** simuleras temperaturen och salthalterna bra medan syrgashalten, nitrat- och fosfathalten skulle stämma bättre om man hade bättre indata från utsjön samt flera bassänger mellan utsjön och positionen Tröskeln.

Gullmaren (Saltkälleffjorden)

Temperatur

Vi kan jämföra beräknade värden i Gullmaren med mätningar vid Björkholmen innanför Bornöarna. Djupet vid Björkholmen är omkring 60 m, medan bassäng B27, Gullmaren, har ett största djup på 110 m. Björkholmen ligger nära Örekilsälvens utlopp i inre Saltkälleffjorden och vi kan förvänta att sötvattenutflödet tidvis påverkar mätningarna i ytan vid Björkholmen. Vi väljer därför att jämföra mätningarna vid Björkholmen på en meters djup med simuleringen i B29, Saltkälleffjorden. Mätningarna vid Björkholmen på 2 meters djup jämförs med simuleringarna i ytlagret på bassäng B27, Gullmaren. Det finns också mätningar från station Alsbäck vid Gullmarens djupaste del. Dessa mätningar gör man endast från 50 m och ner till botten. Vi visar jämförelser mellan mätningar vid Alsbäck på 90 m djup och simuleringar i B27, Gullmaren från samma nivå.

När vi går in med yttemperaturen uppmätt vid Björkholmen och yttemperaturen beräknad i Saltkälleffjorden vid samma tidpunkt får vi en korrelationskoefficient på 0.97, ett medelfel på 1.11 grader och en standardavvikelse på 1.60 grader. Jämförelsen mellan uppmätt temperatur på 2 m och simuleringen i Gullmarens ytlager ger samma höga korrelation.



Figur 8. **Temperatur i Gullmaren.** Mätvärden från station Björkholmen visas med svarta punkter. Mätstationen ligger strax utanför Saltkälle fjorden och har ett max djup på 60 m. Beräknade värden visas med heldragen linje. Bottenvärdena är hämtade från modellens lager 66 på 64 m djup (totalt 110 m).

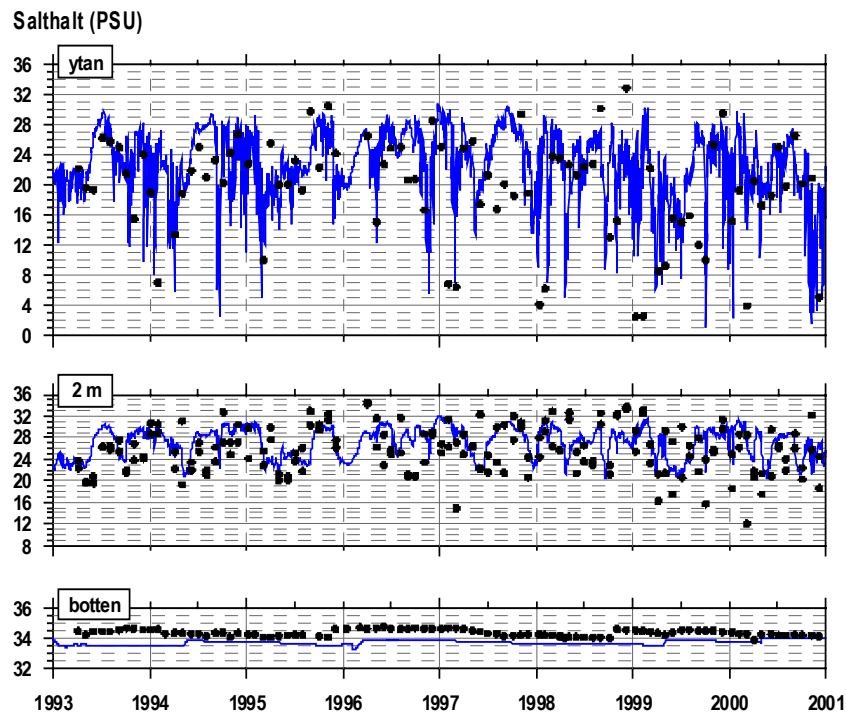
Temperaturberäkningen följer mätningarna i ytan bra. De stora årsvariationerna gör att vi, trots ett medelfel på mer än en grad, får en mycket hög korrelation. Standardavvikelsen visar att differensen mellan beräkningarna och mätvärdena i medeltal är 1.5°C . Det faktum att medelfelet är nästan lika stort som standardavvikelsen visar att felet inte slumpartat svänger mellan ”för högt” och ”för lågt”, medelfelet skulle då ha blivit $= 0$. Medelfelet är för Saltkälle fjorden 1.11°C och för Gullmaren -1.22°C . Modellen ger alltså något för låga yttemperaturer i Gullmaren och något för höga i Saltkälle fjorden.

På 90 m djup fås en till synes katastrofalt dålig korrelation (0.05) mellan uppmätta och beräknade temperaturer. Mätvärdena ligger hela året mellan 4 och 8°C med en liten årsvariation, vilket ger låg korrelation om inte mätning och beräkning stämmer mycket bra överens. Standardavvikelsen på 1.50°C är ungefär densamma som vid ytan. Medelfelet är 0.58°C .

Man måste dra slutsatsen att modellen klarar att simulera temperaturen i vattenmassan. Instrålningsrutinerna bedöms ha hög kvalitet. Den turbulenta omblandningen är tillräckligt liten för att inte erodera skiktningen. Slutsatsen blir att turbulensens storleksordning är korrekt.

Salthalt

Det framgår av figuren att den beräknade salthalten i Gullmarens ytlager och i Saltkällefjorden följer de uppmätta ythalterna vid mätstation Björkholmen. I Saltkällefjorden ger modellen ibland mycket låga salthalter som förmodligen hör samman med stor avrinning från Örekilsälven. Mätningarna på 1 m visar också låga salthalter om än inte vid exakt samma tidpunkt. Detta kan förklaras av mätpunktens läge utanför Saltkällefjorden dit det tar något längre tid för sötvattnet att nå. Många observationer av extremt låg salthalt ligger något senare än modellens beräkning (se t.ex. våren 1995).



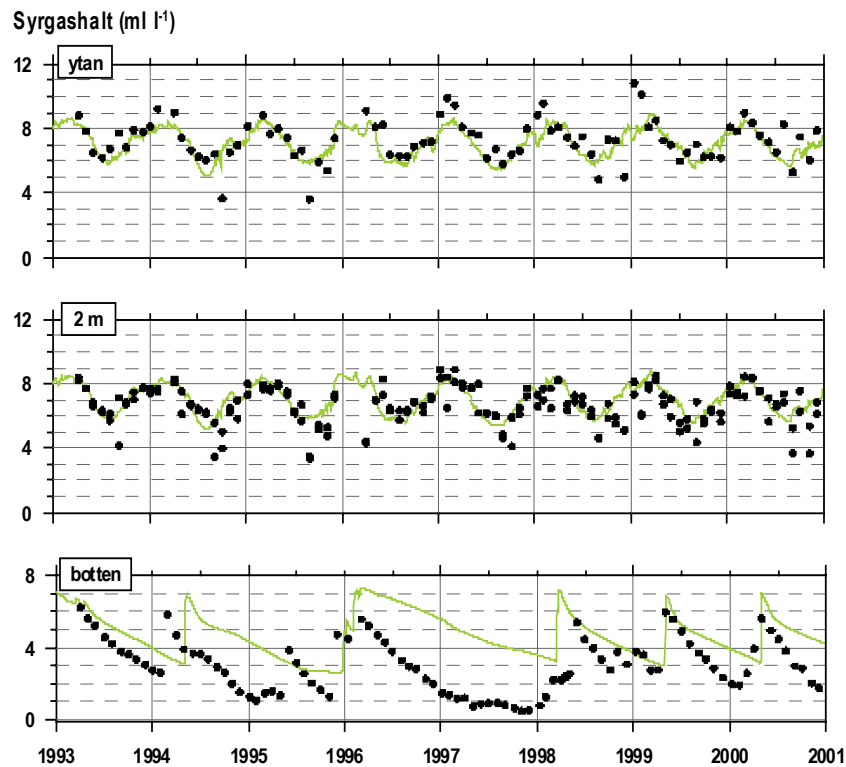
Figur 9. **Salthalt i Gullmaren.** Mätvärden från station Björkholmen visas med svarta punkter. Mätstationen ligger strax utanför Saltkällefjorden och har ett max djup på 60 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 66 m djup (totalt 110 m).

Vissa låga salthalter uppträder också bland mätvärdena på två meters djup, huvudsakligen på vintrarna, då man kan anta att Gullmaren i verkligheten, men inte i modellen, är islagd i sina inre delar (se vintern 1997). Statistiska beräkningar visar en mycket svag korrelation mellan uppmätt och beräknad ytsalthalt. Korrelationskoefficienten är 0.15 – 0.20. Medelfelet är som väntat negativt, modellen ger alltså för höga salthalter.

På större djup vid mätnivån, 90 m, i mätstation Alsbäck är korrelationen 0.46, medelfelet +0.67 PSU och standardavvikelsen 0.19 PSU. Modellen ger något för låga salthalter, det finns nästan inga långperiodiska svängningar i serierna varför korrelationen blir låg trots en till synes god samstämmighet. Slutsatsen blir att den beräknade salthalten inte tillräckligt väl överensstämmer med mätningarna. Tester med bättre indata från utsjön och andra förutsättningar för inflöde genom Gullmarens mynning bör göras.

Syrgas

I Gullmaren är den beräknade syrgashalten i djupvattnet generellt alltför hög. Vattenutbytet i Gullmarens djupare delar sker inte varje år, vilket modellen klarar att simulera (se åren 1996-1997). Trots vissa diskrepanser måste man säga att modellen förutsäger syrgashalten i denna instängda bassäng bra, om man betänker den komplicerade händelsekedja som leder fram till en beräknad syrgashalt i bottenvattnet.



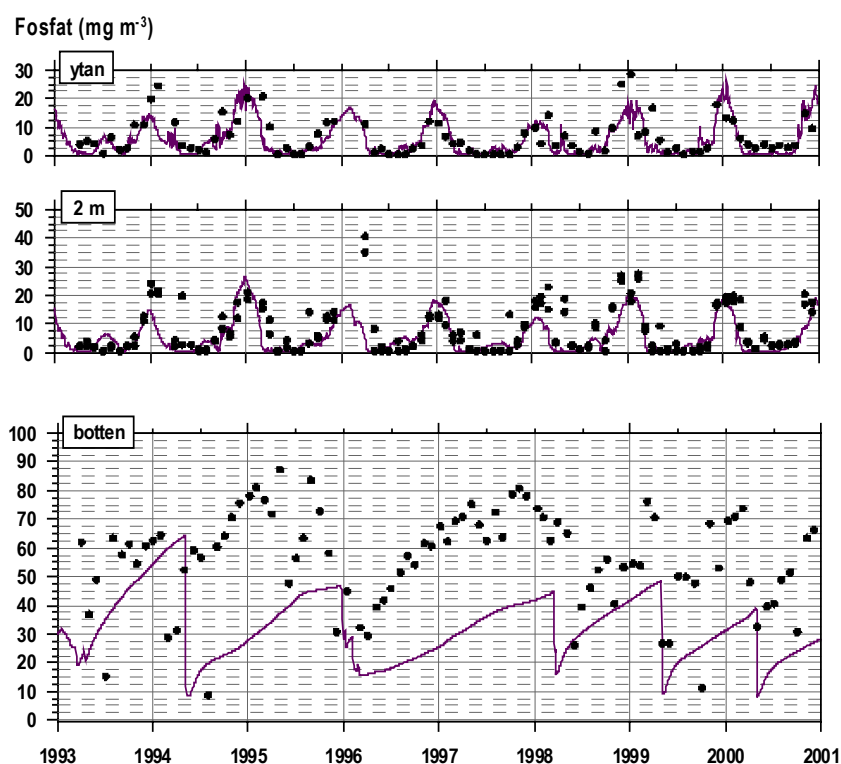
Figur 10. **Syrgas i Gullmaren.** Mätvärden från station Björkholmen visas med svarta punkter. Mätstationen ligger strax utanför Saltkälleffjorden och har ett max djup på 60 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 66 m djup (totalt 110 m).

I ytvattnet upprätthålls en balans mellan syrgastillförsel från luften och konsumtion. Vattnet är vanligen mättat med syrgas. Mättnadshalten varierar med vattentemperaturen. I Gullmarens bottenvatten visar statistiken inget signifikant samband mellan uppmätt och beräknad syrgashalt. Medelfelet är -2.6 ml/l. Som tidigare påpekats har det vatten, som i modellen rinner in i Gullmaren vid ett inflöde från kustbassängen, redan vid inträdet i Gullmaren en för hög syrgashalt och felet i syrgashalt kan alltså delvis sökas utanför Gullmaren. **B04** har ett medelfel på -1.41 ml/l. Eventuellt kan alltför stort utbyte av vatten vid botten ge för hög syrgashalt i modellen.

Fosfat

Även den beräknade fosfathalten visar korrekt årsvariation i ytan. Däremot är den beräknade halten i djupvattnet betydligt lägre än den uppmätta halten.

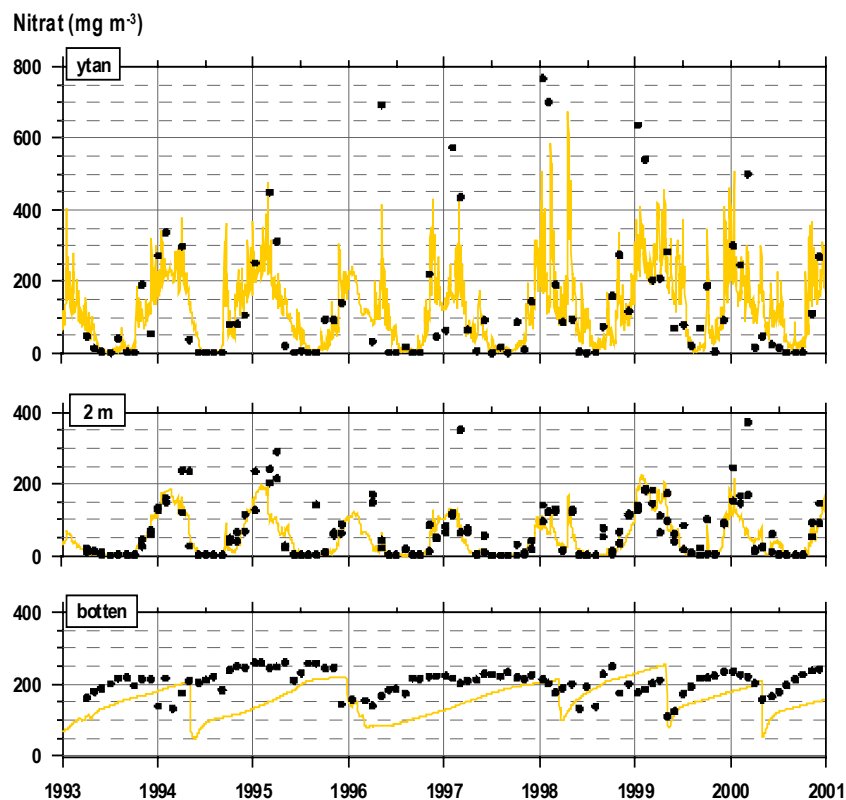
Avvikelse mellan uppmätta och simulerade fosfathalter vid botten är oacceptabelt höga. Flera möjliga förklaringar finns till modellens avvikelse. Om den beräknade syrgashalten vore lägre, lika med den uppmätta halten, skulle fosfatavgång från sedimenten accelereras. En mera realistisk simulerad syrgashalt skulle medföra högre fosfathalter i bottenvattnet. Det kan också vara så att modellens biogeokemiska dynamik i bassängen är felaktigt beskriven (framförallt utbytet mellan vattenmassan och bottensedimenten) eller också att näringsämneshalten av inströmmande vatten från **B04** är för låg.



Figur 11. **Fosfat i Gullmaren.** Mätvärden från station Björkholmen visas med svarta punkter. Mätstationen ligger strax utanför Saltkälleffjorden och har ett max djup på 60 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 66 m djup (totalt 110 m).

Nitrat

Den beräknade nitrathalten visar korrekt årsvariation vid ytan och rimlig storleksordning på värdena vid botten.

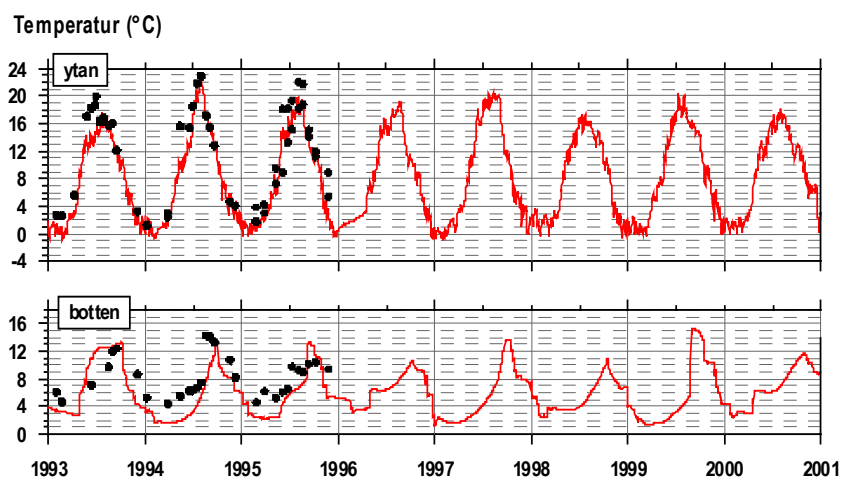


Figur 12. **Nitrat i Gullmaren.** Mätvärden från station Björkholmen visas med svarta punkter. Mätstationen ligger strax utanför Saltkälle fjorden och har ett max djup på 60 m. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 66 m djup (totalt 110 m).

Idefjorden

Temperatur

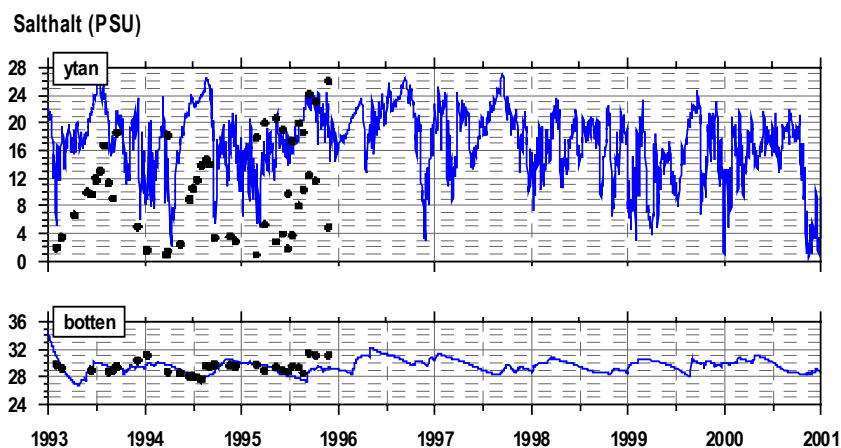
Mätserien är relativt kort. Det finns endast 28 mättillfällen tagna under åren 1993-95 att jämföra med. Korrelationen vid ytan och vid botten är mycket hög tack vare att årsfluktuationerna återfinns med relativt stor amplitud även vid botten. Standardavvikelsen visar att differensen mellan beräkningarna och mätvärdena i medeltal är 1.76-1.79 grader. Medelfelet är positivt; modellen ger alltså för låga temperaturer. Idefjordens temperatur simuleras bra, men kanske ett för stort vattenutbyte med utsjön sänker ytemperaturen.



Figur 13. **Temperatur i Idefjorden.** Mätvärden från station Ringdalsfjorden visas med svarta punkter. Mätstationen ligger i Idefjordens norra del, nära den norska kusten. Mätningarna närmast botten är på 32-40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 41 m djup.

Salthalt

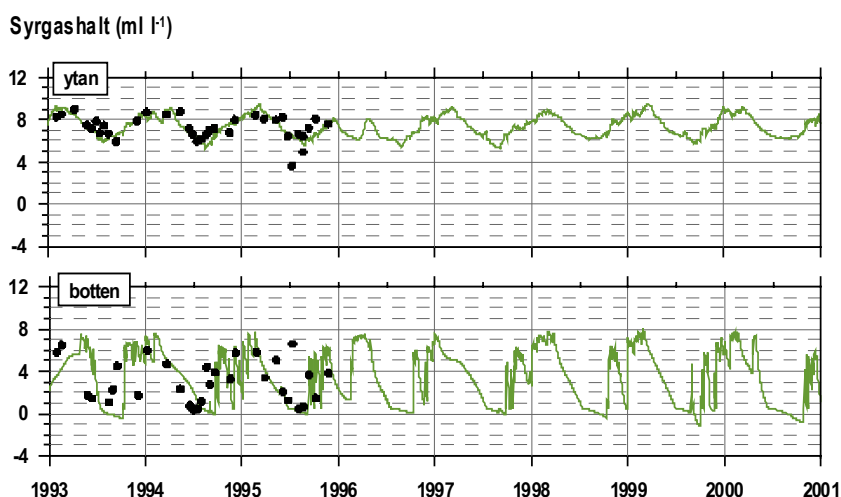
Korrelationerna vid både ytan och botten är låga. Standardavvikelsen visar att differensen mellan beräkningarna och mätvärdena i medeltal är 6.89 PSU vid ytan och nästan ingen avvikelse (0.79 PSU) vid botten. Medelfelet är negativt vid ytan; modellen ger alltså alltför höga salthalter där. Det förefaller som om vattenutbytet med utsjön är för stort i ytan. Man bör testa en mindre tvärsnittsarea och/eller större friktion.



Figur 14. **Salthalt i Idefjorden.** Mätvärden från station Ringdalsfjorden visas med svarta punkter. Mätstationen ligger i Idefjordens norra del, nära den norska kusten. Mätningarna närmast botten är på 32-40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 41 m djup.

Syrgas

Tidsvariationerna för uppmätt och beräknad syrgashalt är desamma. Syrgasbrist i Idefjordens djupvatten uppträder varje år i beräkningarna liksom i mätningarna på sensommaren-hösten. Vattenutbytet som medför hög syrgashalt infaller inte alla år vid rätt tidpunkt i modellen.



Figur 15. **Syrgas i Idefjorden.** Mätvärden från station Ringdalsfjorden visas med svarta punkter. Mätstationen ligger i Idefjordens norra del, nära den norska kusten. Mätningarna närmast botten är på 32-40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 41 m djup.

Statistiken visar för Idefjordens djupvatten dock en låg korrelation (0.36). De stora årsvariationerna där modellen följer med bra borde ge en högre korrelation. Om vi utesluter det första året, då överensstämmelsen är dålig troligen beroende på felaktiga initialvärden, får vi också en högre korrelationskoefficient (0.86).

Tabell 1. Statistik temperatur.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Gullmaren/ Saltkällefjorden	0.97		1.60		1.11	
Gullmaren/Björkholmen	0.97		1.53		1.22	
Gullmaren/Alsbäck		0.05		1.50		0.58
Idefjorden/Ringdalsfj.	0.97	0.91	1.76	1.82	1.81	1.40
B04 /Tröskeln	0.97	0.66	1.27	1.31	1.19	-0.33

Tabell 2. Statistik salthalt.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Gullmaren/ Saltkällefjorden	0.20		7.01		-4.97	
Gullmaren/Björkholmen	0.15		7.06		-7.67	
Gullmaren/Alsbäck		0.46		0.19		0.67
Idefjorden/Ringdalsfj.	0.33	0.64	6.57	0.77	-6.98	0.35
B04 /Tröskeln	0.48	0.36	3.35	0.40	-2.91	0.00

Tabell 3. Statistik syrgashalt.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Gullmaren/ Saltkällefjorden	0.65		1.00		0.21	
Gullmaren/Björkholmen	0.68		0.96		0.24	
Gullmaren/Alsbäck		0.43		1.47		-2.61
Idefjorden/Ringdalsfj.	0.69	0.36	0.65	2.18	0.30	-1.15
B04 /Tröskeln	0.77	0.68	0.60	0.97	-0.11	-1.41

Tabell 4. Statistik nitrathalt.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
B04 /Tröskeln	0.73	0.08	3.54	3.53	1.14	3.9

Vi har inte beräknat någon statistik för nitrat för Gullmaren och Idefjorden. Tidsserierna visar att korrelationen är dålig.

Statistik för fosfathalt har inte tagits fram. Tidsserierna visar att korrelationen är dålig i djupvattnet.

Statistiktabellerna är uppställda så att det skall vara möjligt att jämföra t.ex. korrelationen för temperatur i de olika bassängerna.

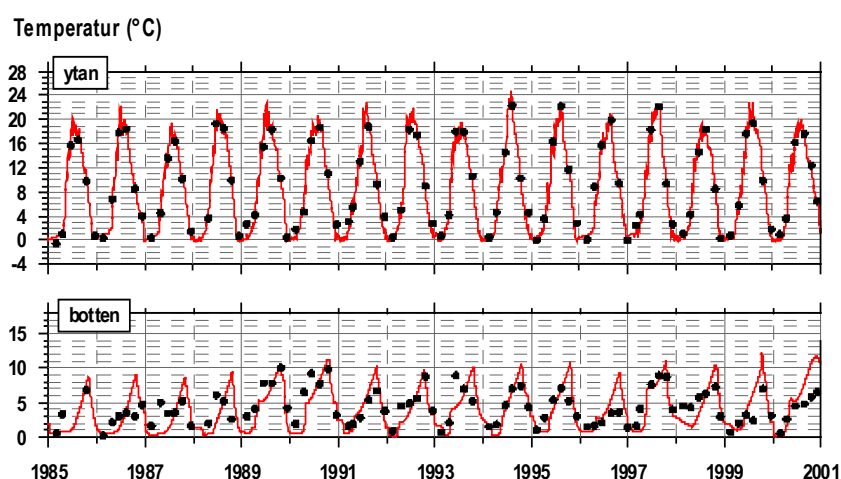
Norra Östergötland



Figur 16. Karta över Östergötlands norra skärgård. Delbassängerna är markerade med bassängsnumren B1 – B18. De röda punkterna visar platser för vattenkemisk provtagning inom recipientkontrollen som samordnas av Motala ströms vattenvårdsförbund.

Slätbaken

Temperatur



Figur 17. **Temperatur i Slätbaken.** Mätvärden från station Slätbaken visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i Slätbaken. Mätningarna närmast botten är på 40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens djupaste lager (50 m)

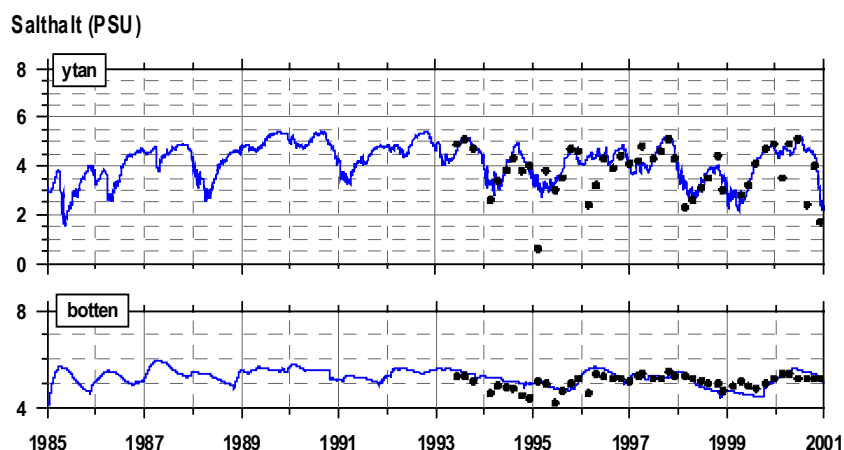
Temperatursimuleringen följer de kraftiga årstidsvariationerna i ytemperatur i det närmaste perfekt. Korrelationskoefficienten blir också mycket hög (0.99). Standardavvikelsen och medelfelet blir små. Djupvattentemperaturen visar också stora årtidsvariationer som simuleringarna klarar. Det blir relativt hög korrelation och små avvikelser när man jämför med temperaturvärdena.

Strålningsrutinen i modellen klarar av att beräkna temperaturen i denna från utsjön nästan avstängda bassäng.

Salthalt

Salthaltssimuleringarna har variationer med en period på flera år. Denna variation är kopplad till en periodicitet i tillrinningen. Korrelationen mellan uppmätt och beräknad salthalt blir hög (kanske inte i statistisk mening men jämfört med de korrelationer som vi beräknar för salthalt i andra bassänger). Standardavvikelse och medelfelen är små.

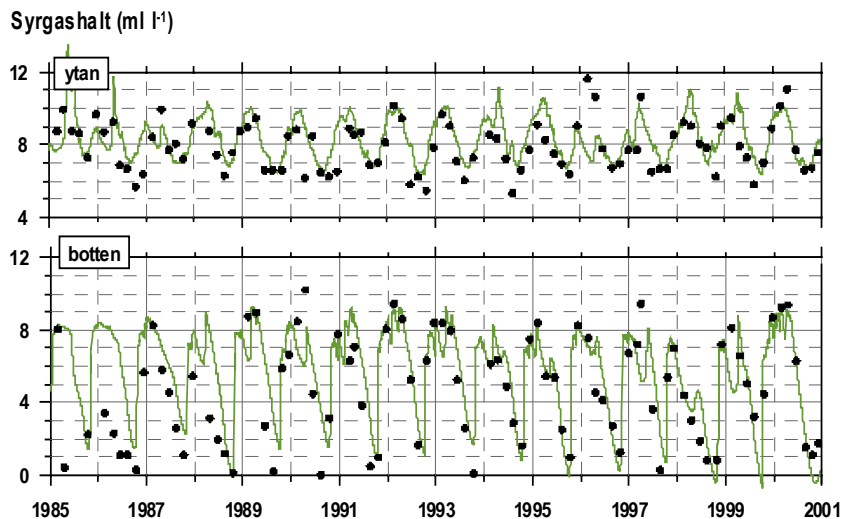
I denna bassäng, där salthalten inte påverkas mycket av Östersjön på grund av det smala inloppet, ger tillflödena och blandningen, inklusive medrivningen korrekta salthalter i modellen.



Figur 18. **Salthalt i Slätbaken.** Mätvärden från station Slätbaken visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i Slätbaken. Mätningarna närmast botten är på 40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens djupaste lager (50 m).

Syrgashalt

Även den beräknade syrgashalten visar förhållandevis hög korrelation till mätt syrgashalt. Avvikelse i form av standardavvikelse och medelfel är relativt små. De negativa syrgasvärden som uppträder i modellen från 1996 kan mycket väl vara realistiska svavelväteperioder som mätningarna inte fångat.

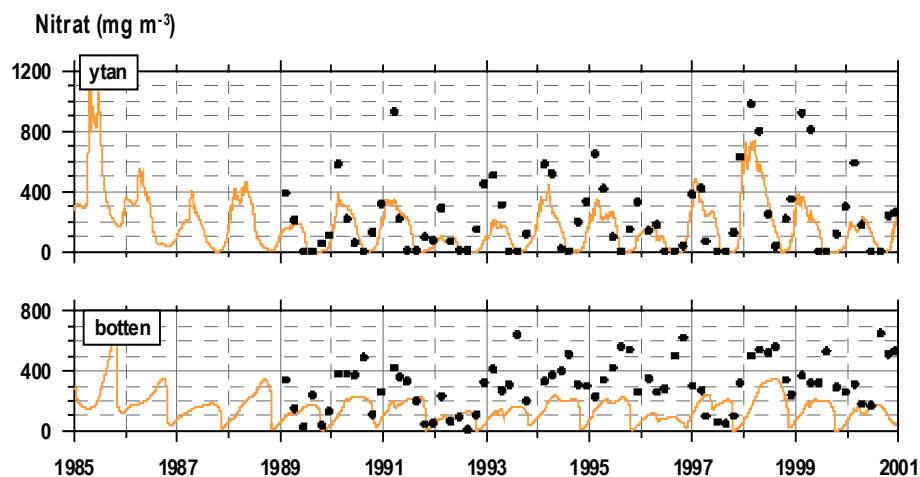


Figur 19. **Syrgas i Slätbaken.** Mätvärden från station Slätbaken visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i Slätbaken. Mätningarna närmast botten är på 40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens djupaste lager (50 m).

Nitrathalt

Nitrathalten vid ytan uppvisar i mätningarna mycket stora fluktuationer från sommar till vinter. Svängningarna bör bero på varierande tillförsel (ökning av halten) och tillväxt av växtplankton (minskning/begränsning av halten). Modellens planktontillväxt ger inte samma höga halter som mäts. Modellens nitrathalter har dock samma storleksordning på årstidsfluktuationerna som mätningarna, vilket också visar sig i hög korrelationskoefficient, 0.79, för nitrat i ytan.

I bottenvattnet ger modellen för låga nitrathalter.



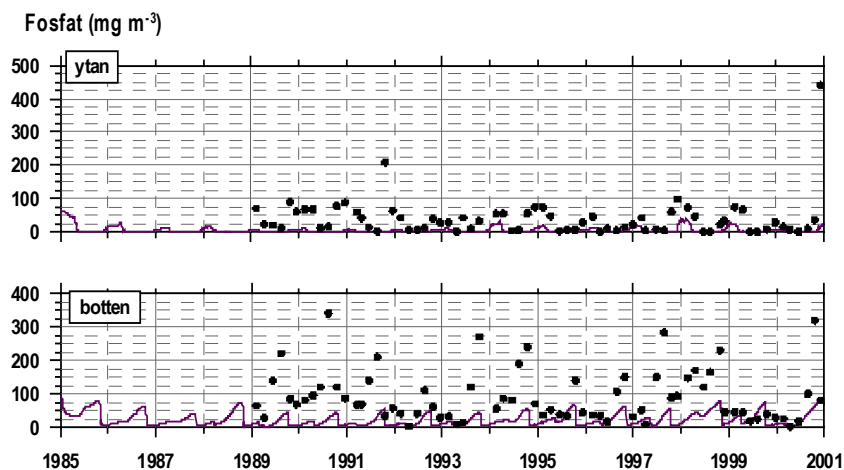
Figur 20. **Nitrat i Slätbaken.** Mätvärden från station Slätbaken visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i Slätbaken. Mätningarna närmast botten är på 40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens djupaste lager (50 m).

Fosfat

Modellen ger generellt för låga koncentrationer av fosfat i ytan. Även vid botten missar modellen de höga koncentrationer som regelbundet mäts upp på sensommaren/hösten. I diskussionen om fosfathalter i Gullmaren skyldes avvikelser i fosfatkoncentration på felaktigt höga simulerade syrgashalter. I Slätbaken klarar modellen att simulera de låga syrgashalter (stillastående bottenvatten) som förekommer varje höst och borde alltså kunna få till hög fosfathalt. Fosfor löses ut effektivt i modellen vid låga syrgashalter och det fosfat som löses ut ur sedimenten borde stanna kvar oförbrukat i bottenvattnet. Ur fosfatkurvan i figur 21 kan man inte se någon dramatisk effekt av hög utlösning t.ex. år 98 och 99 då modellen har extremt låg syrgashalt.

Fosfatavgången från sedimenten är också i modellen temperaturberoende. Temperaturen i modellens djupvatten är korrekt simulerad och felaktig fosfathalt kan inte skyllas på temperatur.

Det kan vara så att modellens biogeokemiska dynamik är felaktigt beskriven (framförallt utbytet mellan vattenmassan och botten sedimenten) och att utlösningen av fosfat skall accelerera kraftigare när syrgashalten antar låga värden.

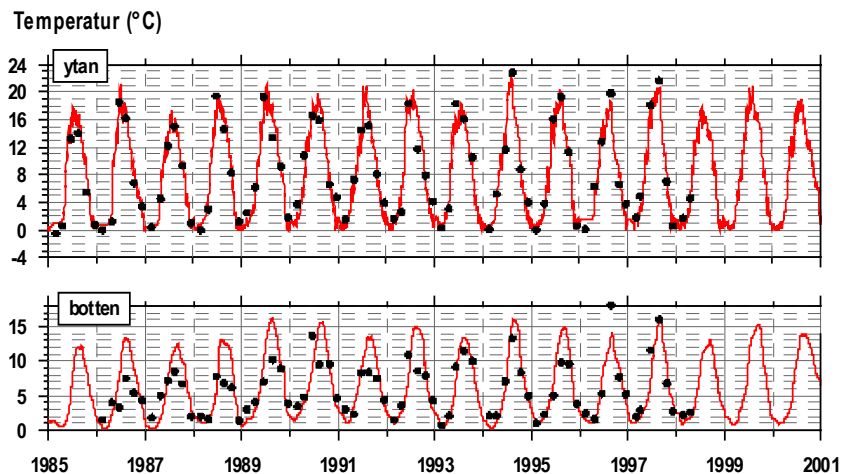


Figur 21. **Fosfat i Slätbaken.** Mätvärden från station Slätbaken visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i Slätbaken. Mätningarna närmast botten är på 40 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens djupaste lager (50 m).

Inre Bråviken

Temperatur

Temperatursimuleringen följer de kraftiga årstidsvariationerna i ytemperatur i det närmaste perfekt. Korrelationskoefficienten blir också mycket hög (0.98). Standardavvikelsen och medelfelet blir små. Djupvattentemperaturen visar också stora årstidsvariationer som simuleringarna klarar med korrelationskoefficienten 0.86.



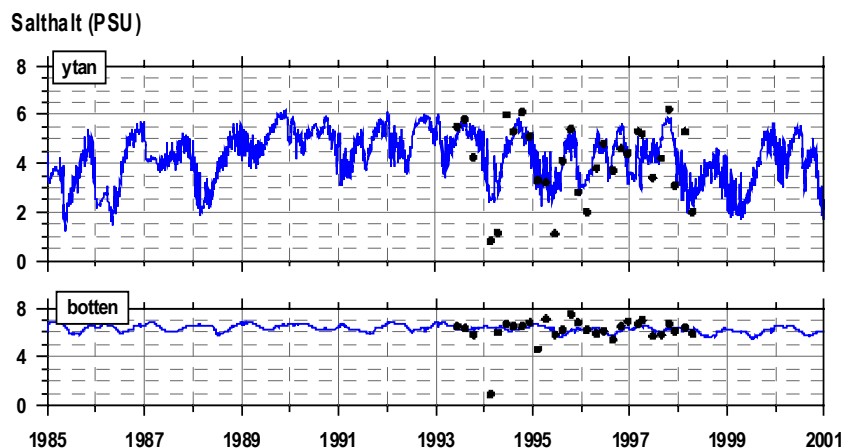
Figur 22. **Temperatur i inre Bråviken.** Mätvärden från station GB20 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 13-17 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 17 m djup.

Salthalt

Korrelationen mellan uppmätt och beräknad salthalt blir hög i ytan (kanske inte i statistisk mening men jämfört med de korrelationer som vi beräknar för salthalt i andra bassänger). Standardavvikelseerna och medelfelen är små.

Under vissa vintrar uppmäts låga salthalter som modellen inte klarar att simulera. Detta beror förmodligen på att Bråviken var islagd med mycket låg omblandning som följd. I modellen dämpas inte omblandningen under sådana förhållanden.

I denna bassäng, där salthalten påverkas mycket av utflödet genom Motala Ström, ger tillflödena och blandningen korrekta salthalter i modellen.

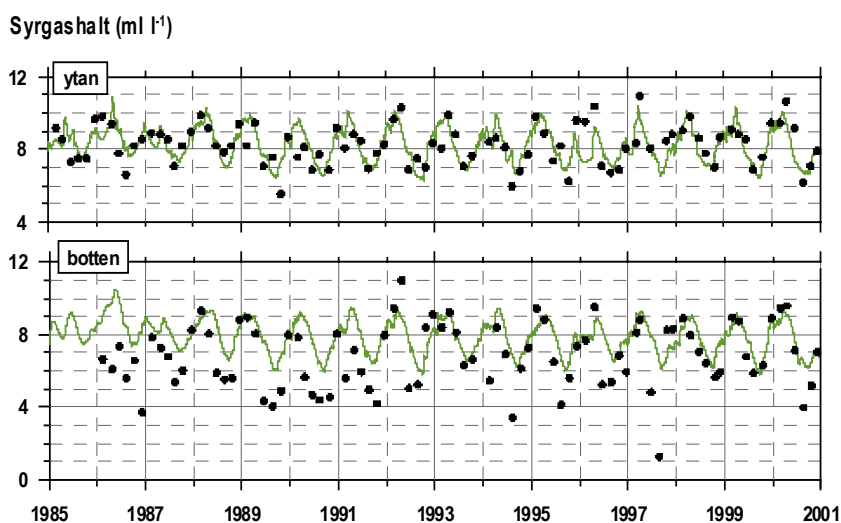


Figur 23. **Salthalt i inre Bråviken.** Mätvärden från station GB20 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 13-17 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 17 m djup.

Syrgas

Den beräknade syrgashalten visar hög korrelation till mätt syrgashalt i ytvattnet. Vid botten ger modellen dock för höga syrgashalter. De låga sommarhalterna finns inte i

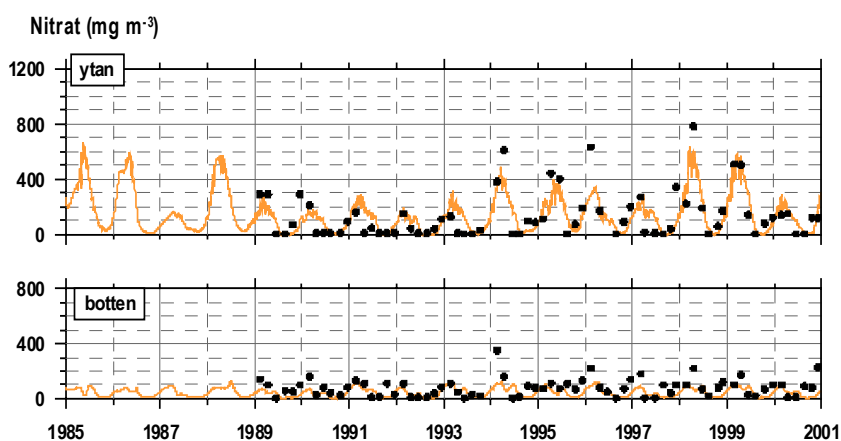
simuleringen vilket tyder på för stort vattenutbyte och/eller för liten syrgaskonsumtion.



Figur 24. **Syrgas i inre Bråviken.** Mätvärden från station GB20 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 13-17 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 17 m djup.

Nitrat

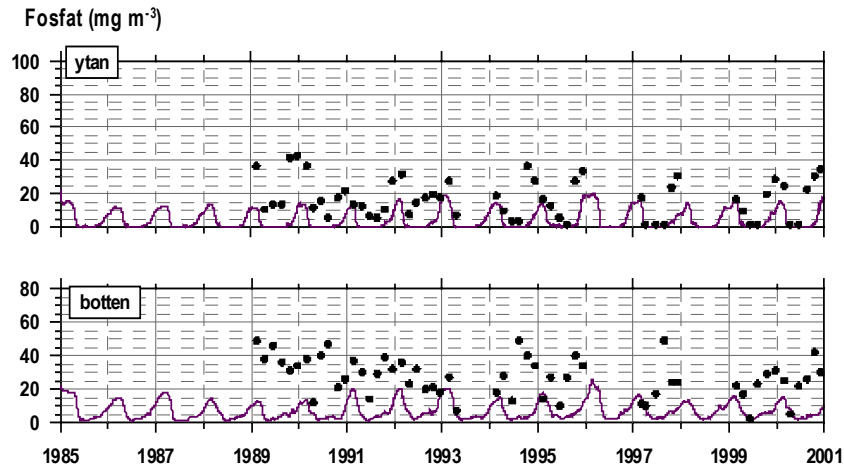
Beräknade och uppmätta nitrathalter stämmer bra överens. Under vintern tillförs nitrat från Motala ström, vilket medför höga halter i Bråviken. Under sommaren konsumeras nitrat av plankton och tillförseln från Strömmen är liten. Mätningarna i bottenvattnet visar inte som i Slätbaken extremt höga halter utan nitrathalten är lägre vid botten än i det bräckta vattnet från Motala ström. Av alla studerade bassänger har Inre Bråviken den högsta korrelationskoefficienten; 0.80 i ytan och 0.28 vid botten.



Figur 25. **Nitrat i inre Bråviken.** Mätvärden från station GB20 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 13-17 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 17 m djup.

Fosfat

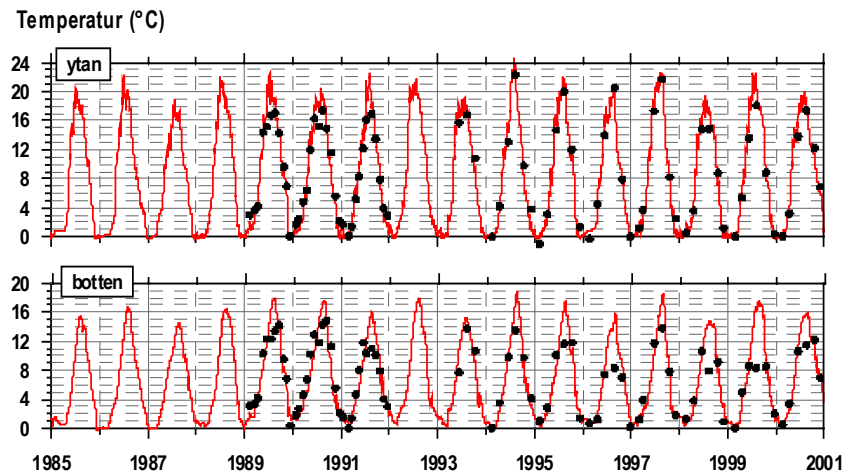
Den uppmätta fosfathalten i djupvattnet var hög 1997 och 1994 då låga syrgashalter uppmättes. År 1999 var den uppmätta fosfathalten måttlig vilket sammanfaller med ett år med relativt hög syrgashalt. Modellen klarar inte av att simulera de låga syrgashalterna 1997 eller 1994 och den beräknade fosfathalten blir följdriktigt för låg. Trots riktigt simulerad syrgashalt 1999 blir modellens fosfathalt ändå för låg.



Figur 26. **Fosfat i inre Bråviken.** Mätvärden från station GB20 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 13-17 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 17 m djup.

Kärrfjärden

Temperatur



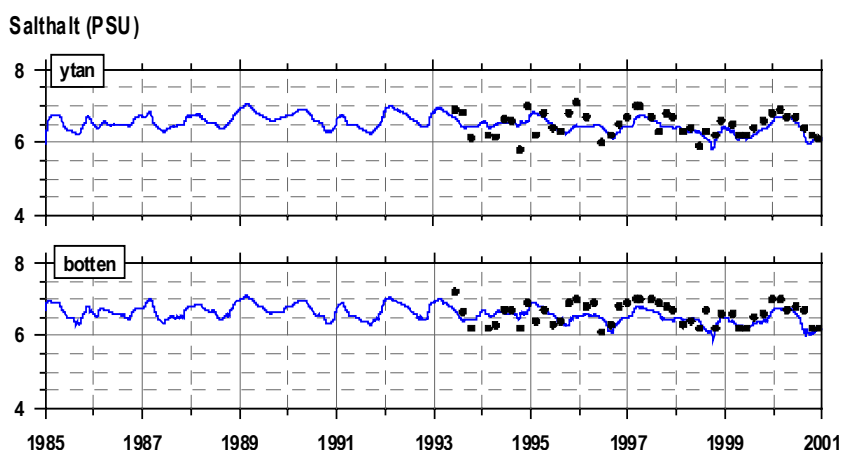
Figur 27. **Temperatur i Kärrfjärden.** Mätvärden från station SÖ14 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 15-30 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 30 m djup.

Temperatursimuleringen följer de kraftiga årstidsvariationerna i ytemperatur perfekt. Korrelationskoefficienten blir mycket hög (0.99). Standardavvikelsen och medelfelet blir små. Djupvattentemperaturen visar också stora årstidsvariationer som simuleringarna klarar med korrelationskoefficienten 0.89. Modellens något för höga

sommartemperatur beror antingen på för kraftig instrålning eller på för stort vattenutbyte med den utanförliggande bassängen.

Salthalt

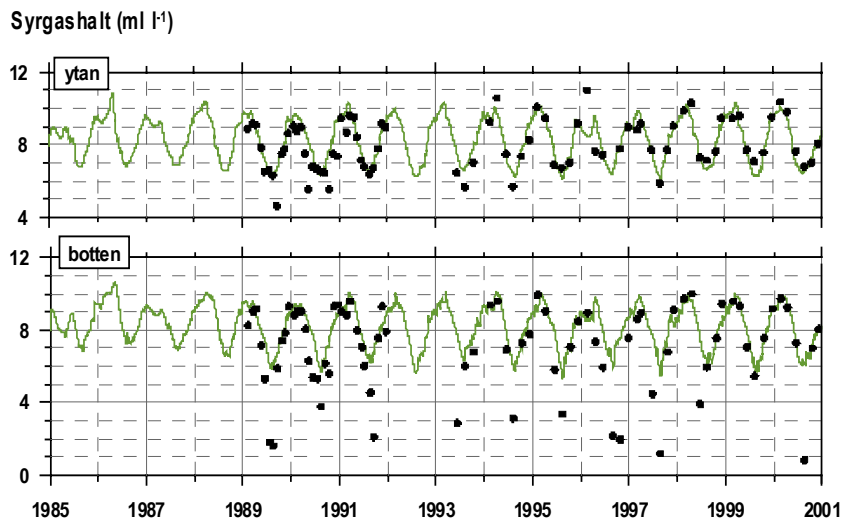
Korrelationen mellan uppmätt och beräknad salthalt beräknas till 0.39 resp 0.42 vilket statistiskt inte bevisar något samband mellan uppmätt och beräknad salthalt. Salthalten varierar inte mycket utan styrs till stor del från utsjön. En så svag variation ger alltid låg korrelation om inte överensstämmelsen är mycket god. Medelfelet är vid ytan endast -0.02 PSU och vid botten 0.0 PSU.



Figur 28. **Salthalt i Kärrfjärden.** Mätvärden från station SÖ14 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 15-30 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 30 m djup.

Syrgas

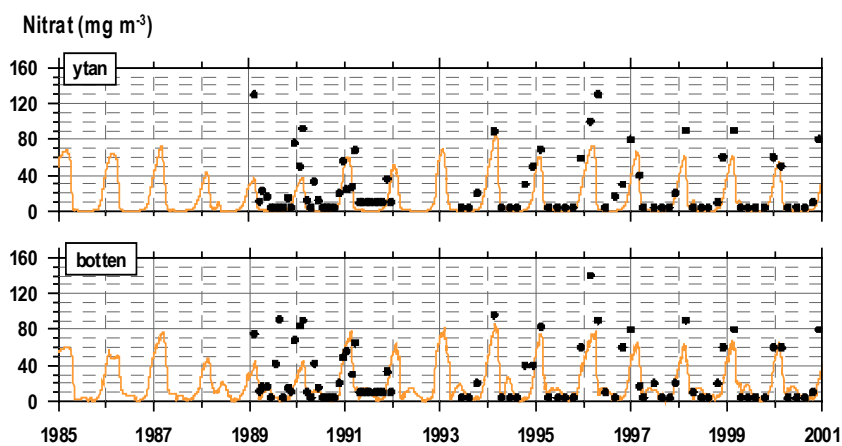
Den beräknade syrgashalten visar hög korrelation till mätt syrgashalt i ytvattnet. Vid botten ger modellen dock för höga syrgashalter. De ibland mycket låga sommarhalterna finns inte i simuleringen vilket tyder på för stort vattenutbyte och/eller för liten syrgaskonsumtion. Alltför stor turbulens kan heller inte uteslutas som orsak.



Figur 29. **Syrgas i Kärrfjärden.** Mätvärden från station SÖ14 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 15-30 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 30 m djup.

Nitrat

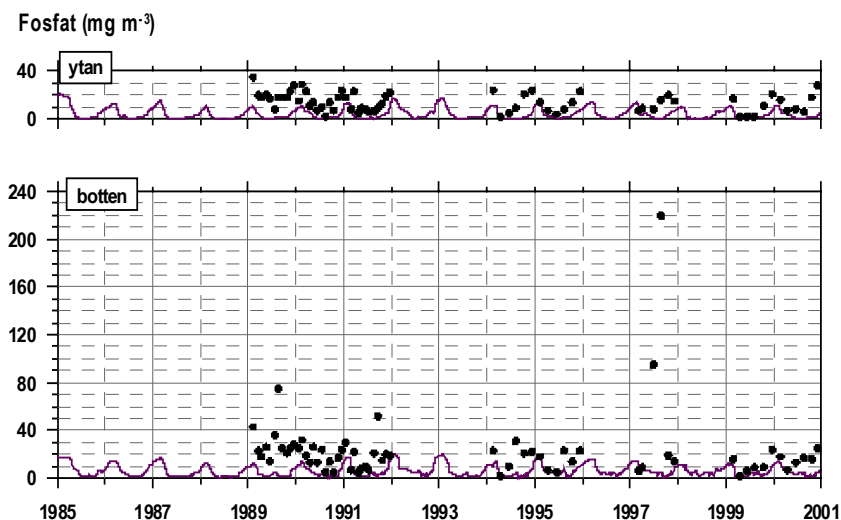
Beräknade och uppmätta nitrathalter stämmer bra överens. Under 1996 inträffar en topp i nitrathalten som dock inte alls är så hög som i Bråviken. Under sommaren konsumeras nitrat av plankton. Mätningarna i bottenvattnet visar inte som i Slätbaken extremt höga halter utan nitrathalten är ungefär densamma vid botten som vid ytan. Modellens resultat följer mätningarna men ger ofta något för låga maxvärden under vintern.



Figur 30. **Nitrat i Kärrfjärden.** Mätvärden från station SÖ14 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 15-30 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 30 m djup.

Fosfat

I Kärrfjärden är den beräknade fosfathalten vid ytan av rätt storlek vilken förklaras med fjärdens öppna rand mot utsjöbassängen B2. Kärrfjärden måste ha ett stort vattenutbyte med ytvattnet i B2 där värdena styrs av mätvärden i havet.



Figur 31 **Fosfat i Kärrfjärden**. Mätvärden från station SÖ14 visas med svarta punkter. Mätstationen ligger centralt i bassängen. Mätningarna närmast botten är på 15-30 m djup. Beräknade värden visas med heldragen linje och är hämtade från modellens lager på 30 m djup

Vid botten ligger också fosfatvärdena på nästan rätt nivå. Generellt borde värdena ligga något högre. Ett antal mätvärden skiljer sig dock från beräkningsresultatet; värdena hösten 1989, 1991 och framför allt 1997. En jämförelse med uppmätta syrgashalter visar att syrgasvärdena ligger vid eller under 2 ml/l åren 1989, 1991, 1996 och 1997, under 1997 så lågt som 1 ml/l. Jämförelsen bekräftar tidigare slutsats att låg syrgashalt resulterar i hög fosfathalt. Undantaget är år 2000 då syrgashalter på under 1 ml/l uppmättes tillsammans med låga fosfathalter.

Statistik

Tabell 5. Statistik temperatur.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Slätbaken/Sö06	0.99	0.60	1.01	2.10	0.34	1.05
Kärrfjärden/Sö14	0.99	0.89	1.24	2.17	-0.39	0.00
Bråviken/GB20, Esterön	0.98	0.86	1.54	2.30	-0.01	-0.40

Tabell 6. Statistik salthalt.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Slätbaken/Sö06	0.74	0.51	0.64	0.31	-0.09	-0.03
Kärrfjärden/Sö14	0.39	0.42	0.30	0.28	-0.02	0.00
Bråviken/GB20, Esterön	0.72	0.09	1.00	0.54	-0.12	0.01

Tabell 7. Statistik syrgashalt.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Slätbaken/Sö06	0.43	0.86	1.39	1.72	-0.28	1.43
Kärrfjärden/Sö14	0.85	0.81	0.72	1.61	-0.24	-1.06
Bråviken/GB20, Esterön	0.63	0.68	1.17	1.38	0.03	-0.60

Tabell 8. Statistik nitrathalt.

Område	Korrelation		Standardavvik.		Medelfel	
	Ytan	Botten	Ytan	Botten	Ytan	Botten
Slätbaken/Sö06	0.79	0.06	158.59	156.96	79.74	196.09
Kärrfjärden/Sö14	0.66	0.59	24.15	25.51	14.80	8.02
Bråviken/GB20, Esterön	0.80	0.28	104.94	63.77	14.69	30.82

Statistik för fosfathalt har inte tagits fram. Tidsserierna visar att korrelationen är dålig i djupvattnet.

Statistiktabellerna är uppställda så att det skall vara möjligt att jämföra t.ex. korrelationen för temperatur i de olika bassängerna.

Slutsatser

Temperatur

Modellens strålningsrutin kan tillsammans med blandningsbeskrivningen återskapa korrekt temperaturfält. Detta visar sig speciellt i instängda bassänger, Slätbaken, Idefjorden, där inflytandet från randvärdena är litet.

Salthalt

Ytsalthalten i instängda bassänger i Östergötland, där salthalten styrs huvudsakligen av tillrinningen, simuleras bra, se Bråviken, Slätbaken. Även salthalten i djupvattnet, som här inte varierar mycket, är bra. I bassänger som har öppen förbindelse med kusthavet, d.v.s i stort sett alla Bohusbassängerna, är den simulerade salthalten mindre bra på grund av problem med att ge rätt salthalt som randvärde.

Syrgas

Syrgashalten i mot kusthavet öppna bassänger i Bohuslän är mindre bra se **B04**. Orsakerna är:

1. Bassängen har för stor geografisk utsträckning och försöker greppa ett stort skärgårdsområde med interna gradienter.
2. Det är också problem med att hitta användbara, tidsvariabla randvärden. Syrgashalterna i inre bassänger störs av de mindre bra beräknade syrgashalterna i yttre bassänger.
3. Man kan också konstatera att syrgashalten i Gullmarens bottenvatten är för hög, vilket kan bero på för låg syrgaskonsumtion i vattenmassan men orsaken kan lika gärna vara för stort vattenutbyte med utsjön.

Nitrat

Den simulerade nitrathalten är oftast för låg. I Östergötland förekommer ofta häftiga pikar i kurvan för observerad nitrathalt som tyder på utsläpp som inte tillförs modellen. Dessa "utsläpp" kan alternativt vara av karaktären vinduppslamning från grunda bottenar. En annan förklaring kan vara att man vid provtagningstillfället råkat slå i provtagaren i botten och på så sätt fått med uppslammat material från botten i sin provtagning. I Slätbaken, Gullmaren och i **B04** i Bohuslän är modellens halt av nitrat för låg. I bassängen **B04** tillförs för låg halt från randvärdena. Problemen i Gullmaren och Slätbaken kan ha samband med för låg utlösning från sjunkande detritus och från sediment (i samband med för låg syrgaskonsumtion).

Fosfat

Modellens fosfatvärden är speciellt vid botten för låga. Eftersom fosfatutlösningen från sedimenten ökar med minskande syrgashalt har vi för Inre Bråviken och Gullmaren skrivit kommentaren att den felaktigt höga simulerade syrgashalten kan medföra den låga fosfathalten. I Slätbaken simuleras syrgashalten (och temperaturen) korrekt men fosfathalten blir ändå mycket för låg i modellen. Slutsatsen blir då att modellens biogeokemiska dynamik är felaktigt beskriven (framförallt utbytet mellan

vattenmassan och bottensedimenten) och att utlösningen av fosfat skall accelerera kraftigare när syrgashalten antar låga värden.

Generellt kan man säga att skiktningen från utsjön finns dåligt uppmätt och indata till modellen ger inte goda förutsättningar. Vattenutbytet mellan bassängerna bör studeras och eventuellt korrigeras. Modellens vertikalupplösning och/eller blandningsintensitet ger ofta för svag densitetsskiktning nära ytan, vilket i sin tur medför en svag planktonblomning.

Känslighetsanalys

Betydelsen av beskrivningen av sundens tvärsnittsytor

I Kustzonsmodellen antas sunden mellan bassängerna ha ett rektangulärt tvärsnitt. Det finns också möjligheten att ansätta ett triangulärt tvärsnitt. I Sahlberg och Olsson (2001) visas hur sundens bredd varierar med djupet i norra Östergötland. Det visas att de flesta sund har ett tvärsnitt med bred, platt botten som låter sig approximeras av en rektangel. Vissa sund t.ex. Ettersundet **S19** och Stegeborg **S20** har breda sektioner på djupen 0 till 2 m och betydligt smalare sektion på djupare vatten, vilket gör att de bättre approximeras av ett triangulärt tvärsnitt. Gullmaren i norra Bohuslän har ett smalt inlopp på 35-42 meter medan sektionsarean på djupen 0-7 meter är mycket större.

I det följande jämförs simuleringar med samma tvärsnittsarea men med olika form på tvärsnittet för sunden in till Slätbaken samt för Gullmaren för att konstatera om tvärsnittets form påverkar beräkningsresultatet i betydande grad.

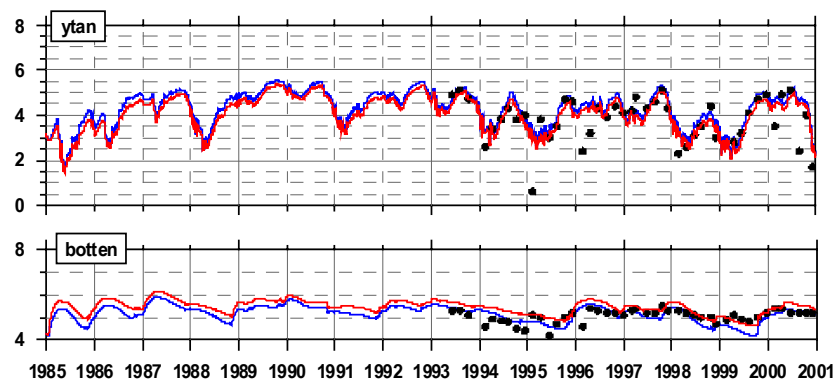
Simuleringen med triangulärt tvärsnitt i sunden in till Slätbaken visar att modellens simulering av hydrografen inte är speciellt känsligt för sundets form. Triangelformen medför något högre salthalter i Slätbakens bottenvatten, vilket stämmer något bättre med andra halvan av mätperioden men något sämre under den första halvan, se figur 32. Skillnaden är dock marginell, eftersom den enbart rör sig om några tiondels PSU.

En detaljstudie av inflödet av varmt, salt vatten under hösten 95 visar på följande skillnader: Den triangulära profilen ger den 28 oktober 1995 ett inflöde av djupvatten. Den rektangulära profilen ger en något högre salthalt vid botten under hösten. Vattenutbytet kommer, med rektangulär profil, tre dygn senare vilket bl.a. ger kallare ”nytt” vatten vid botten. En av svårigheterna i Slätbaken har varit att få inbrottet av vatten på hösten att ske sent så att vattentemperaturen i det nya bottenvattnet blir så låg som mätningarna visar. Man kan alltså dra slutsatsen att simuleringen med rektangulärt tvärsnitt vintern 1995 stämmer något bättre med mätningarna men att skillnaden är mycket liten.

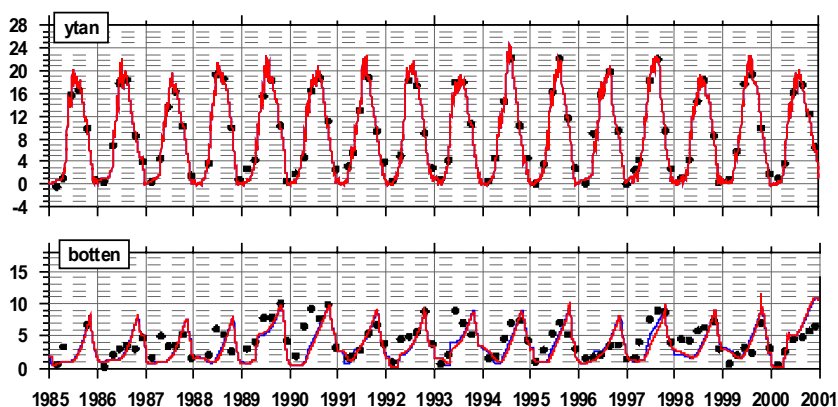
För syrgashalten i Slätbaken är dock skillnaden större. Ett triangulärt tvärsnitt innebär att modellen klarar av att simulera betydligt lägre syrgashalter på höstarna, vilket stämmer bättre överens med mätdata.

Figur 33 visar att Gullmaren påverkas väldigt lite av hur formen på sundens tvärsnittsytta beskrivs. Någon liten skillnad i salthalt och temperatur fält går möjligen att skönja, men de är av obetydlig karaktär. Slutsatsen från experimenten i Slätbaken kan upprepas. Tvärsnittets form påverkar inte de hydrografiska beräkningsresultatet i någon betydande grad. På samma sätt som i Slätbaken påverkas också biogeokemin i Gullmaren mer av tvärsnittets form än hydrografen, dock är skillnaden avsevärt mindre. Slutsatsen är trots allt **att sund som har tydligt triangeltvärsnitt bör simuleras med triangeltvärsnitt.**

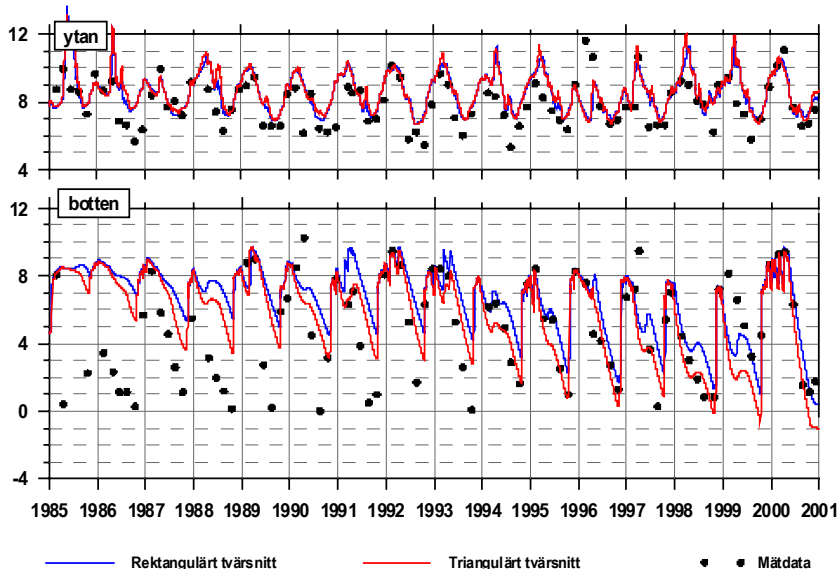
Salthalt (PSU)



Temperatur (°C)

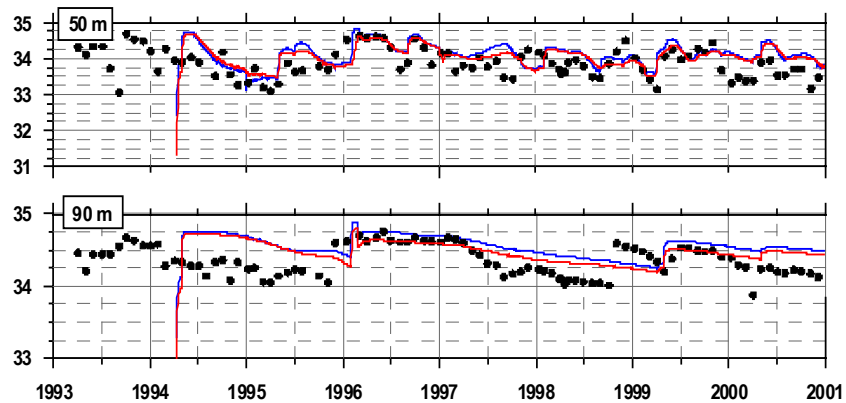


Syrgashalt (ml l⁻¹)

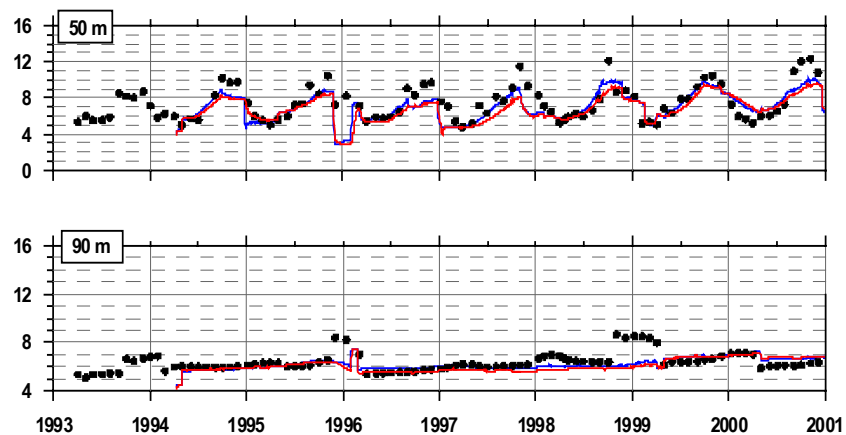


Figur 32. Test av tvärsnittsytnas betydelse för inre Slätbaken. Simuleringar där resultat med rektangulärt tvärsnitt (blå linje) vid Stegeborg kan jämföras med triangulärt tvärsnitt (röd linje). Mätdata anges av de svarta prickarna.

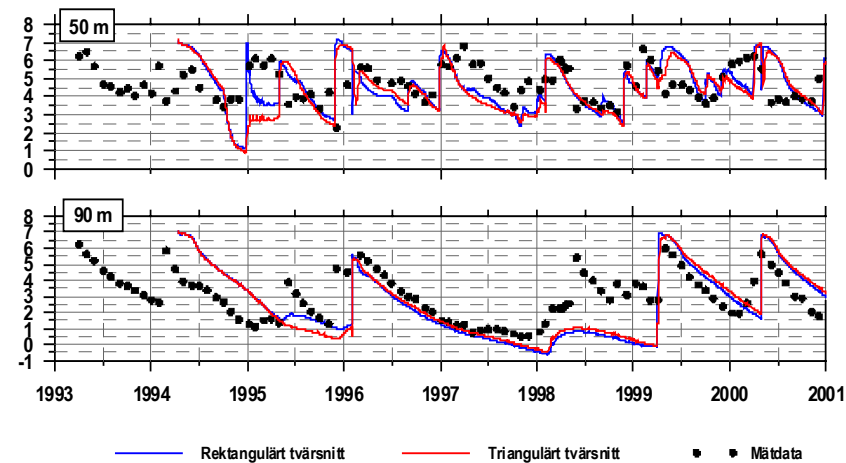
Salthalt (PSU)



Temperatur (°C)



Syrgas (ml l⁻¹)



Figur 33 **Test av tvärsnittsytnas betydelse för Gullmaren.** Simuleringar där resultat med rektangulärt tvärsnitt (blå linje) vid Gullmarens mynning mot utsjön kan jämföras med triangulärt tvärsnitt (röd linje). Mätdata från station Alsbäck visas med de svarta prickarna.

Friktionens påverkan på transportererna genom sunden

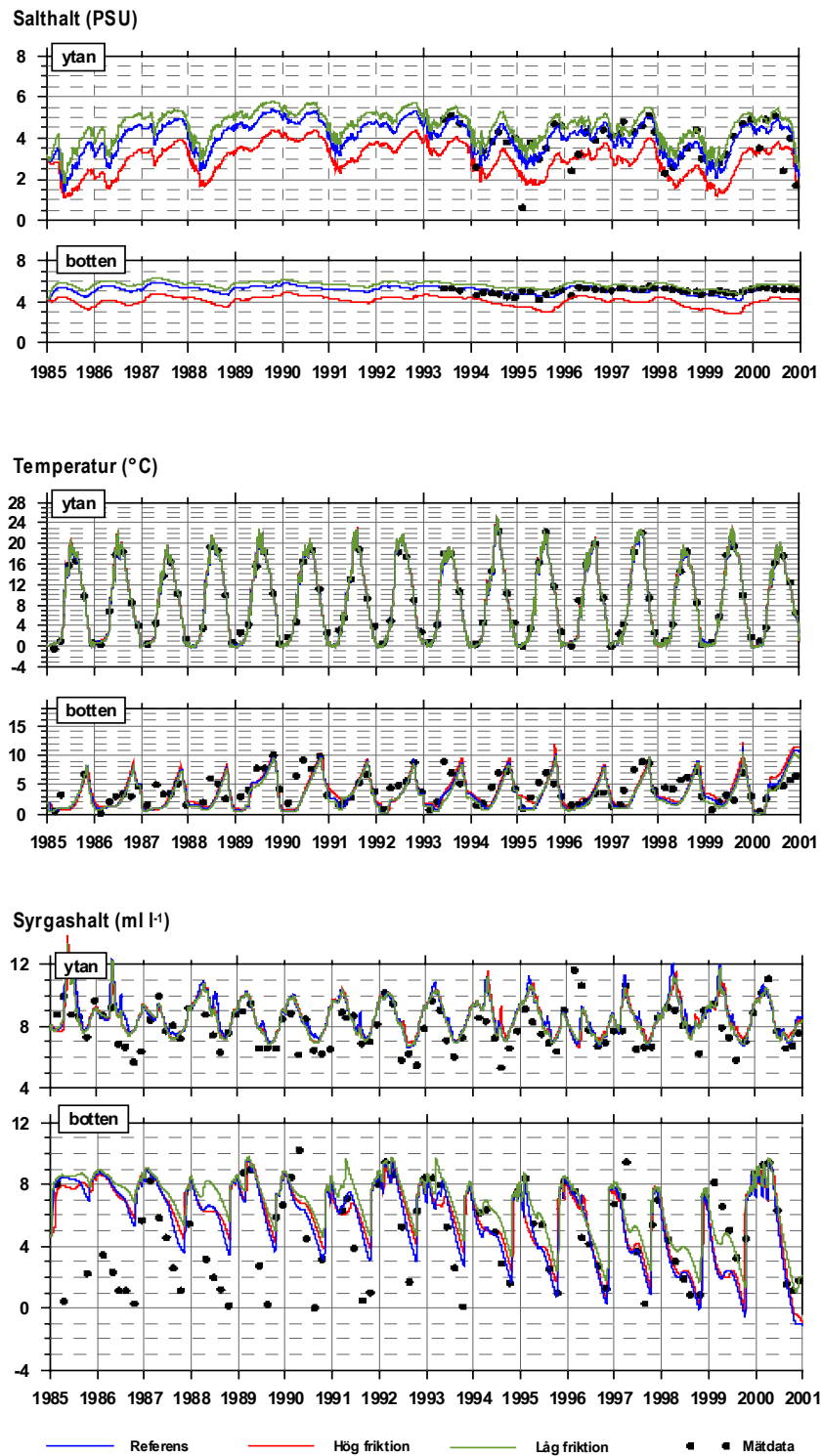
För att avgöra om friktionen genom sunden har någon avgörande betydelse för beräkningsresultatet har simuleringar av Norra Östergötlands skärgård genomförts med olika värden på koefficienten ALFA. I referenssimuleringen, liksom i rapporten (Sahlberg och Olsson, 2000) har ALFA fått värdet 0.4 i alla sund. Dessutom kördes modellen med $ALFA = 0.1$, hög friktion, i Ettersundet **S19** och Stegeborg **S20**, $ALFA = 0.2$ i **S18**, **S17** och **S15**. Friktionen har alltså ökat rejält i de sund som leder in till Slätbaken. En simulering genomfördes också med $ALFA = 0.9$, låg friktion, i Ettersundet **S19** och Stegeborg **S20**, **S18**, **S17** och **S15**.

ALFA används i subrutinen BERN0 för beräkning av flödet genom sunden. ALFA betecknar enligt programkoden: *fraction of pressure gradient used to accelerate water over sound, order of magn. 0.1-0.9*. I BERN0 används kvadratroten (SQRT) av ALFA vid beräkning av flödet. En minskning av ALFA från 0.4 till 0.1 betyder alltså en minskning av $SQRT(ALFA)$ med 50 % och borde innebära en minskning av flödet med 50 %. Resultatet är att summan av flödet genom sunden för hela simuleringsperioden minskar med 46 % ungefär som förväntat.

Om man ökar ALFA från 0.4 till 0.9 ökar $SQRT(ALFA)$ med 50%. Resultatet av denna simulering är att summan av flödet genom sunden för hela simuleringsperioden ökar med 37 %. Varför ökar inte flödet med 50%? Förklaringen kan vara att vid stora flöden minskar efter några dagar den drivande densitetsgradienten eftersom salthalt och temperatur i en inre bassäng snabbt antar värdena som råder i det inströmmande vattnet. Trots att "motståndet mot inströmning" minskat med 50 % ökar inte intransporten med 50 % eftersom drivningen avtar när ett stort vattenutbyte ändrar vattenegenskaperna.

Resultatet av simuleringen med varierande ALFA i sunden in till Slätbaken innebär en kraftig förändring av in- och utströmmen genom t.ex. sundet vid Stegeborg. Värdet på ALFA är således av vikt och man måste noga överväga vilket värde som sätts ALFA i varje sund. Figur 34 visar att ALFA för t.ex. Slätbaken är en viktig kalibreringsparameter.

En simulering där ALFA ökas från 0.4 till 0.9 i sunden in till Ållånöfjärden, **B05** och Svensksundsviken **B07** visar att flödet genom dessa sund endast ökar med 30%. Bassänger med liten volym och stor sundarea är mindre känsliga för ändringar av ALFA.



Figur 34. **Resultat från Slätbaken med varierande friktion i sunden.** Simuleringarna visar att värdet på ALFA (friktionen) har stor betydelse för vattenutbytet i Slätbaken. Sundens form rektangulärt. Blå linje referenssimulering, röd linje hög friktion, grön linje låg friktion samt svarta punkter visar mätdata från Slätbaken.

Djupvattenblandningens betydelse i de inre bassängerna.

Djupvattenblandningen kan ändras i subrutinen EDDY. Konstanten ASTIG kan minskas. Konstanten EMDMIN (= 0.2) i formeln för EMDEEP kan minskas. Dessa två konstanter åsätts värden i subrutin EDDY. Om man genomför beräkningar i djupvattnet där densitetsgradienten vanligen är mycket svag blir Brunt-Väisälä-frekvensen ett litet tal och EMDEEP= EMDMIN (= 0.2). Vill man minska omblandningen i djupvattnet ger det störst effekt att minska konstanten 0.2 (EMDMIN i vissa programversioner).

Nästa konstant, EMTMIN, spelar en roll i språngskiktet där konstanten ser till att blandningen inte blir alltför låg. Denna konstant åsätts värden på två ställen i programsystemet! I subrutin PROBE97 sätts EMTMIN= $1 \cdot 10^{-6}$, vilket dock skrivs över i subrutin BASIN1 där EMTMIN får värdet 0.01. Om man vill tillåta mindre värden på omblandningen i språngskiktet kan EMTMIN i BASIN1 minskas.

Slutligen är PRSCNU ett Prandtl/Schmidt-tal som beräknas i PROBE97_BAL. Prandtl/Schmidt-tal anger förhållandet mellan turbulent momentumblandning och t.ex. saltblandning. Momentum brukar antas blandas mera effektivt än koncentrationer. Man skulle kunna ge modellen ett konstant Prandtl/Schmidt-tal.

Två simuleringar visar att **en fördubbling av djupvattenblandningen inte påverkar resultatet i Gullmarens djupvatten i nämnvärd grad**. I början av år 1995 har djupvattnet och vattnet på nivån 50 m i modellen legat orört, utan tydliga saltvatteninbrott sedan våren 1994. Salthalten i referenssimuleringen var då i modellen på 50 m nivån som lägst (1995-05-01) 33.46 PSU. Salthalten i simuleringen där ASTIG och EMDMIN fördubblades blev vid samma tid som lägst (1995-05-02) 33.41 PSU. Ändringen från 34.7 PSU på ett år är 4 % större med den högre blandningen. Om man kan påvisa att djupvattenblandningen bör ökas med en tiopotens skulle detta kunna ha betydelse för djupvattnets egenskaper. Detta har dock inte visats, utan värdena på ASTIG och EMDMIN i modellen följer vad som är rekommenderat i litteraturen.

Fosfatbelastningen från sedimenten

Utlösning av fosfat från sedimenten beräknas i subrutin PHOS och i subrutin REGENR. I REGENR finns två koefficienter ABT och BBT som påverkar regenereringen av näringsämnen från bottenpoolen. I BIOPAR.DAT ges konstanterna värden. ABT, som anger storleken på mineraliseringen vid temperatur 0°C, har i dagsläget ett rekommenderat värde på 0.001 per dygn, medan BBT, som anger storleken på temperaturens påverkan på remineraliseringen, har ett rekommenderat värde på 0.03°C⁻¹.

ABT = 0.0025 per dygn, BBT = 0.15°C⁻¹ har tidigare använts om syrgashalten i bottenvattnet >0.5 ml/l samtidigt som ABT = 0.00025 per dygn, BBT = 0.15°C⁻¹ om syrgashalten <0.5 ml/l. Denna minskande utlösning vid låga syrgashalter anses nu felaktig. Istället används i PHOS en formel som ger högre utlösning av fosfor vid låga syrgashalter.

I subrutin PHOS justeras den bentiska fosfatregenerering R som beräknats i REGENR med en formel $R=R(1-\omega)$, där formeln för ω ger 0.77 för syrgashalten 8 ml/l och $\omega=0.1$ för syrgashalten 1 ml/l, vilket alltså ger en kraftig ökning av utlösningen av fosfat vid låga syrgashalter.

Om modellsystemet inte klarar av att beräkna rätt syrgashalt i bottenvattnet kan man inte heller förvänta att fosfathalten (utlösningen av fosfat från botten) blir den rätta. Det är inte möjligt att utvärdera formlerna för fosfatutlösning eller göra känslighetsanalyser av fosfatutlösningen från sediment om inte modellens syrgashalter ligger nära de uppmätta halterna. Ett av huvudsyftena med denna utvärdering av Kustzonsmodellen är att försöka klargöra varför de beräknade fosfathalterna i bottenvattnet (Slätbaken se figur 35 samt Gullmaren figur 37) inte stämmer med de uppmätta halterna. Vi har därför lagt ner ett omfattande arbete på att

1. få de beräknade syrgashalterna i Gullmarens djupvatten att stämma med mätningarna.
2. analysera fosfathalterna i Slätbaken.

Arbetet med syrgashalten i Gullmaren beskrivs under rubriken Utsjödrivningens betydelse för hydrografi i de inre bassängerna.

Slätbaken

De höga uppmätta fosfathalterna i ytan år 1991 och år 2000 beror inte på kraftig vind (och extrem uppslamning från grunda bottnar). Vindhastigheten vid de två provtagningsstillfällena var måttlig. De höga halterna vid botten 19900816, 19931012, 19941012, 19970825, 19981025 och 20001019 uppmättes vid måttliga vindstyrkor med undantag av 1990 och 1994 då vindhastigheten var över 10 m/s före provtagningen. Höga halter av fosfat verkar inte ha något samband med hög vindhastighet.

De höga fosfathalterna vid botten uppmäts alltid tillsammans med årets lägsta, uppmätta syrgashalt vid botten. Höga fosfathalter i Slätbaken har samband med låga syrgashalter eller kanske svavelväteförekomst vid sedimentytan.

Simuleringen i Slätbaken ger korrekta låga syrgashalter men referenssimuleringen visar ändå på mycket för låga fosfatvärden vid botten, figur 35.

Utlösningen av fosfat från botten beror på värdet av koefficienterna ABT (storleken på remineraliseringen vid temperatur 0°C) och BBT (remineraliseringens temperaturberoende) men också av koncentrationen fosfat i bottenpoolen. Om vi antar att en konstant mängd fosfat regnar ner från vattenmassan så medför låga koefficienter att en stor pool av fosfat samlas vid botten. När en balans inträder, vilket kan ta ett tiotal år, mellan tillförd och utlöst fosfat har poolen hög koncentration. Om samma konstanta mängd fosfat regnar ner och vi använder de höga koefficienterna inträder samma balans mellan tillförd och utlöst fosfat (all tillförd fosfat löses ut) men poolens koncentration blir betydligt mindre och uppnås efter ett fåtal år. Koefficientvärdena har alltså inte betydelse för långsiktig utlösning av fosfat till vattenmassan. Däremot är koefficienterna av betydelse för hur snabbt en förändring i t.ex. tillförd mängd fosfat från flodvatten slår igenom på fosfathalt i djupvattnet. Med de små koefficienterna ändras bottenpoolens koncentration under 10-tals år innan en ny jämvikt inträder. Om vi väljer att använda de större koefficienterna inträder den nya jämvikten efter kortare tid.

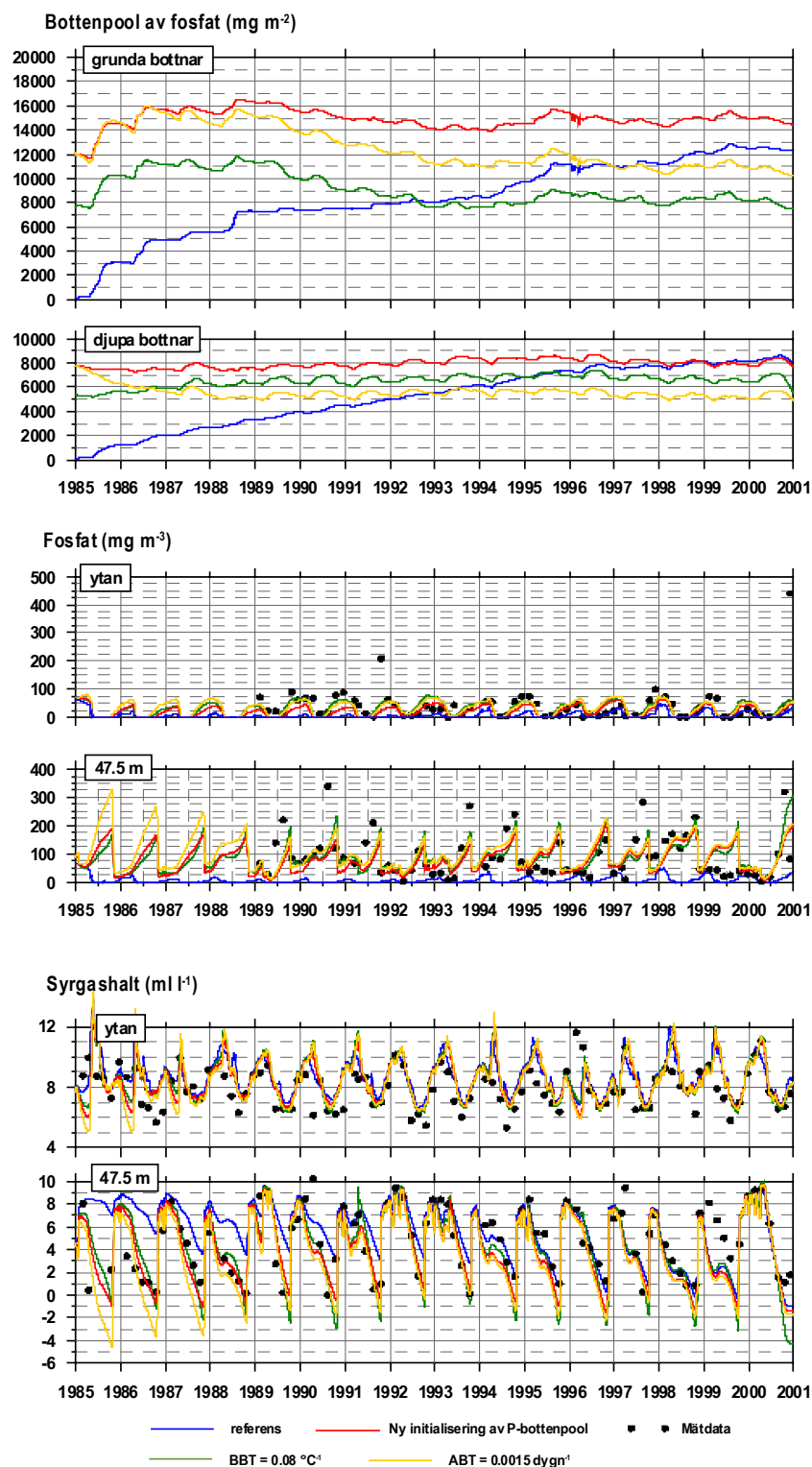
Resultatet av modellstudien är beroende av att vi har rätt initialvärde på bottenpoolen. Initialvärdena skall vara olika beroende på om vi använder de höga eller låga koefficienterna. Det är inte vår avsikt att studera uppbyggnaden av bottenpoolens koncentration utan vi vill att poolen redan efter något år skall fungera i balans med tillförd fosfatmängd. Vi studerar tidsutvecklingen av bottenpoolens fosfatkoncentration i Slätbaken i figur 35.

När nu fosfathalten i bottenvattnet enl. observationerna varierar kraftigt mellan sommar och vinter kan vi anta att bottenpoolens koncentration varierar mellan sommar och vinter både på grund av variabel utlösning av fosfat samt på grund av vårblomning och vårflod. I modellen kan tillförseln av fosfat från botten till djupvattnet variera kraftigt under året om de större koefficienterna används medan årsvariationen blir utjämnad med de små koefficienterna.

Det är av betydelse för syrgashalten i bottenvattnet att också initialkoncentrationen av kväve N-bent är i balans med utlösningen av kväve från botten. Kväveutlösningen påverkas också av ABT. Den ursprungliga initialkoncentrationen för N-bent har ändrats så att denna balans existerar.

En sista test kan göras för att belysa hur förändringar av koefficienten BBT påverkar resultatet. Om $BBT = 0.03^{\circ}\text{C}^{-1}$ ökar faktorn $e^{BBT \cdot T^{\circ}\text{C}}$ från 1 till 1.35 när temperaturen ökar från 0 till 10°C. Om $BBT = 0.15^{\circ}\text{C}^{-1}$ ökar faktorn från 1 till 4.48 när temperaturen ökar från 0 till 10°C. Eftersom fosfattopparna i djupvattnet uppträder vid höga temperaturer bör olika värden på BBT testas. I figur 35 (grön kurva) visas resultatet när BBT ökas från $0.03^{\circ}\text{C}^{-1}$ till $0.08^{\circ}\text{C}^{-1}$. Denna förändring av BBT medför en positiv påverkan på fosfattopparna. Däremot påverkas syrgashalterna vid samma tidpunkt som fosfattopparna inträffar till att anta alldeles för låga värden, speciellt vid slutet av simuleringsperioden.

Om man istället ändrar värdet på ABT från 0.001 till 0.0015 per dygn, påverkas även då maximala halterna på fosfattopparna positivt. Även i detta experiment påverkas syrgashalterna avsevärt, figur 35 (gul kurva) men denna gång främst i början av simuleringsperioden. Studerar man samtidigt bottenpoolen under denna inledande period ser man att mycket fosfat ackumuleras i bottenpoolen för att senare avta igen. Detta tyder på att jämvikt i bottenpoolen inträder efter några år och syrgashalterna anpassar sig därefter.



Figur 35 Resultat från experiment med fosfatpoolens påverkan på vattenmassan i Slätbaken. Fosfatkoncentrationen i bottenpoolen vid ytan och på 47.5 m djup i Slätbaken samt syrgashalten på samma djup. Blå kurva visar referenssimuleringen. Den röda kurvan ger resultatet efter att bottenpoolen av fosfat ökas initialt. Grön kurva visar resultaten med ny initialisering av bottenpoolen samt ett nytt högre värde på BBT. Den röda kurvan representerar ny initialisering samt högre värde på ABT.

Slutsatsen av alla experiment med ABT och BBT är att simuleringen kan nå storleksordningen för de i djupvattnet uppmätta fosfatkoncentrationerna om man använder ett korrekt initialvärde för halten fosfor och kväve i bottenpoolen, och om man för Slätbaken använder $ABT = 0.0015$ per dygn. Däremot bör man inte ändra värdet på BBT.

Utsjödrivningens påverkan

Densitetsskiktningen i havet fortplantar sig in över trösklarna till inre bassänger. Om tungt vatten tillfälligt, under något dygn, uppträder nära ytan kan detta innebära att djupvattenmassan i t.ex. Slätbaken eller Gullmaren byts ut och får nya egenskaper som kan ligga kvar under flera år. Man skulle önska att det fanns dagliga mätningar av egenskaperna i utsjön som kunde användas för drivning av modellerna. Sådana mätningar planeras utanför Bohuslän. I väntan på perfekta mätningar använder vi månatliga mätningar på två stationer P2 och Å13/16 för att driva Bohusmodellen och månatliga mätningar från station BY31 för Östgötaskärgården.

Man skulle också kunna använda resultat från en Östersjömodell eller Skagerrakmodell för att driva kustzonmodeller.

Gullmaren

Hur kan man få salthalt, temperatur och syrgashalt i Gullmarens djupvatten att bättre motsvara mätningarna?

Figur 36 visar att initialsalthalten i Gullmarens djupvatten kan förbättras. Skiktningen antas av modellsystemet vara linjär från ett ytvärde till ett bottenvärde. I Gullmaren passar det bättre att låta ytvärdet representera 0-40 m och bottenvärdet representera 41-115 m.

Figuren visar också att salthalten i djupvattnet är för låg efter t.ex. inbrott av nytt vatten vintern 95/96. En kontroll av salthalten i bassängen **B04** utanför Gullmaren visar att inte heller där fanns vatten med tillräckligt hög densitet på tröskelnivån 35-40 m under vintermånaderna 95/96. Mätdata från utsjön som ges som drivdata till modellen innehåller emellertid denna höga densitet på rätt nivå! Vattenutbytet från utsjön in till yttersta bassängerna i modellsystemet styrs bl.a. av parametern H (H_4 i bassäng **B04**). Parametern betecknar en lagertjocklek hos utsjöns ytlager och hade i simuleringen till figur 34 värdet 20 m. Man kan emellertid betrakta H som en kalibreringsparameter vilken kan ökas tills man får ett vattenutbytet mellan utsjön och yttersta bassängerna som man är nöjd med. I **B04** finns mycket stor tvärsnittsarea mot utsjön och densitetsförändringar i utsjön bör fullt ut slå igenom till **B04**. Flödet från utsjön är beroende av storleken på H i kvadrat. Genom att kraftigt öka värdet på H , ökar man flödet in från utsjön så drastiskt att man i nära nog flyttar in utsjöns egenskaper i de yttersta kustboxarna. Om H_4 sätts till 100 får man ett sådant omedelbart genomslag.

Under februari -96 uppträder i station P2 på nivå 30-50 m vatten med temperatur 2.3°C . Detta kalla, tunga vatten förs in i modellens Gullmarsfjord, vilket inte stämmer med mätningarna där vattentemperaturen håller sig över 5°C hela vintern, se figur 36. Det kalla, tunga vattnet uppträder inte i station Å16. Låt oss anta att det kalla tunga vattnet inte når Gullmarsområdet. Vi tar alltså bort registreringen från drivdata.

Den återstående drivdataserien innehåller relativt hög syrgashalt (6.2 ml/l) i det vatten som ligger på tröskelnivå 35-40 m. För att testa hur fosfatutlösningen från sediment fungerar i Gullmaren då rätt syrgashalt simuleras tillåter vi oss att temporärt under mars-april 1996 sänka syrgashalten på 30-50 m i drivdata från 6.2 till 4.5 ml/l.

Ändringar i drivdata har alltså gjorts enl. följande: Initialiseringen av salthalt och temperatur har förbättrats. Drivdata tillåts att effektivt påverka de yttre bassängerna **B01-B04**. Under mars 1996 används inte det kalla, tunga vatten som uppträder i station P2 utan istället används drivdata som liknar mätningarna i Å16 på 30-50 m djup. Dessa förändringar motiveras av ingående studier av drivdataserien. Dessutom har drivdata för syrgashalten på 30-50 m i mars-april 1996 sänkts med omkring 2 ml/l, vilket kan betecknas som en kalibrering för bra simuleringsresultat för syrgas i Gullmaren.

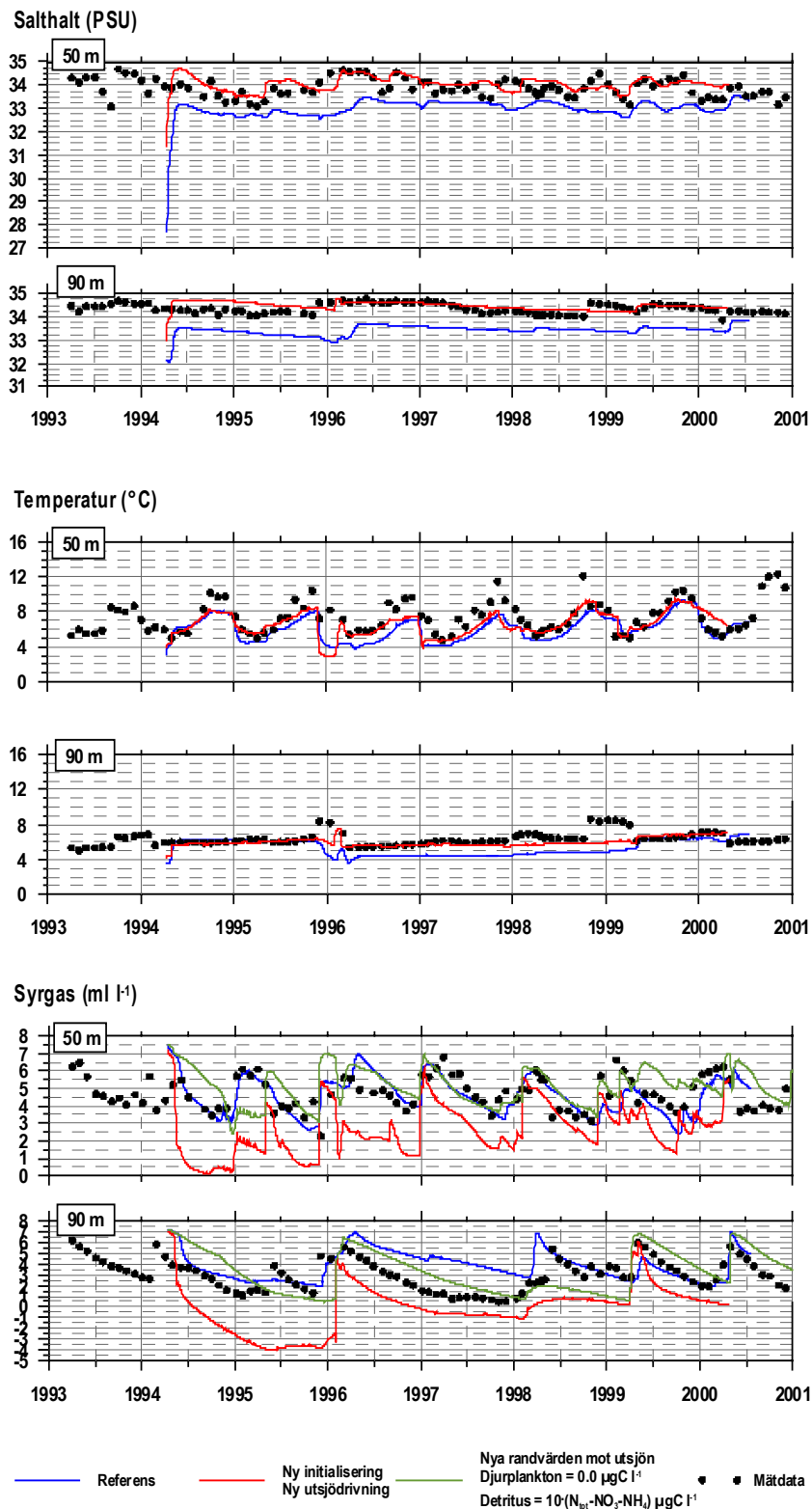
Simuleringsresultatet, figur 37, för salthalt och temperatur visar att användningen av månatliga mätdata är tillräckligt för att få en god överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade salthalter och temperaturer i *djupvattnet*. Vattenutbytet på nivån 30-50 m kan vara underskattat.

Syrgashalten, figur 37, och halten fosfat, figur 38, i djupvattnet blir fortfarande otillfredsställande efter inflödet av nytt djupvatten i januari -96, då initialtillståndet mister sin effekt. Felet kan bero på att halten detritus i det inströmmande djupvattnet är för låg. Detritushalten mäts inte i havet och halten i vattnet som strömmar från havet in till **B04** har satts till samma halt som redan finns inne i **B04** (0-gradient). Djurplankton behandlas på samma sätt.

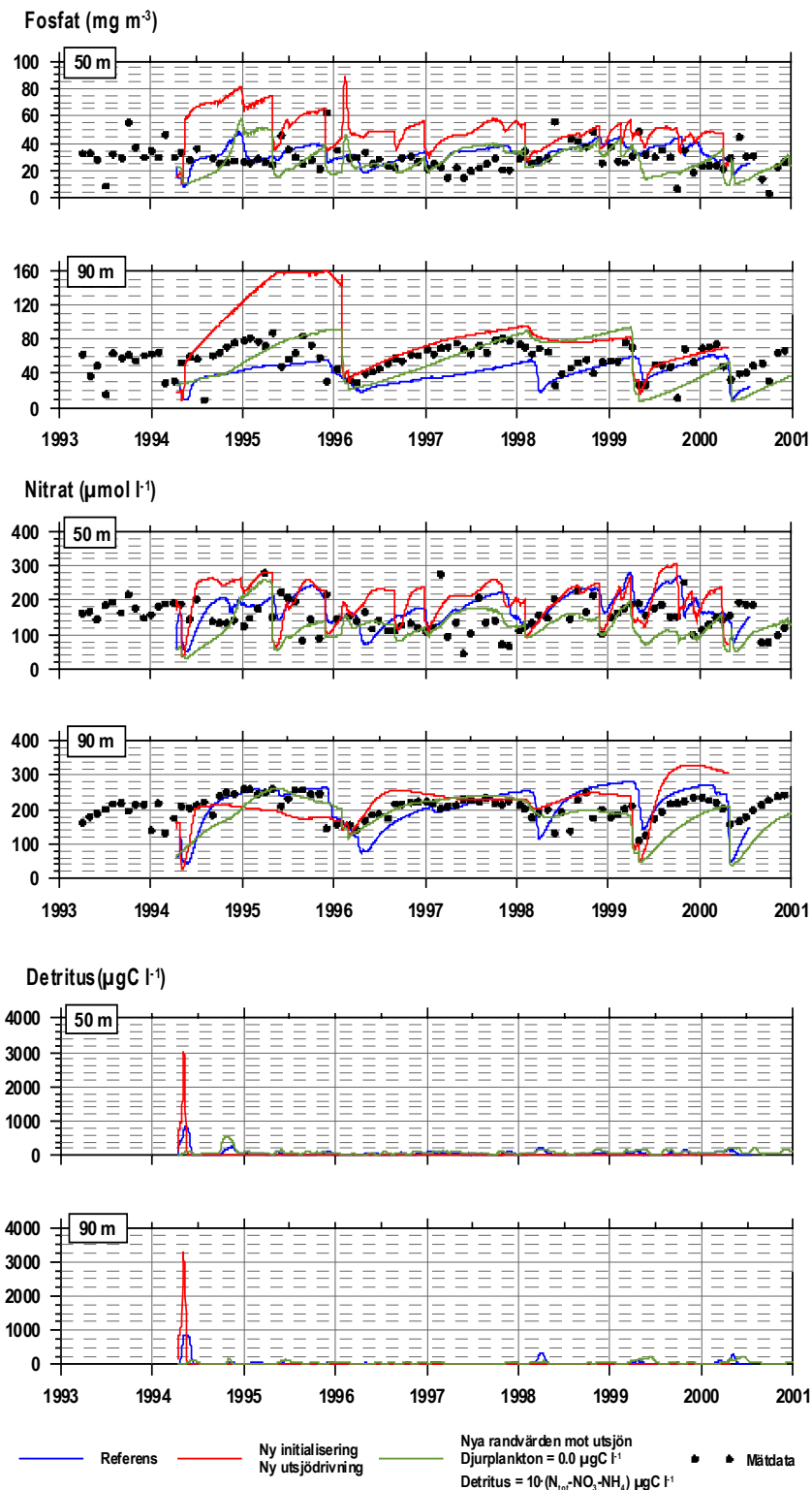
Ett annat sätt att definiera halten detritus i havet är att ta hjälp av den uppmätta totalkvävehalten. Om emellertid detritushalten sätts till en bestämd proportion av ($N_{\text{tot}} - \text{NO}_3\text{-N} - \text{NH}_4\text{-N}$) växer halten djurplankton i **B04** ohejdat och konsumerar det mesta detritus så att nästan inget återstår vid vatteninbrott till Gullmaren. En nytt antagande om halten djurplankton i havet, djurplankton = 0.0 $\mu\text{g C/l}$ i det vatten som strömmar in i **B04** (och **B01**, **B02** och **B03**) från havet, råder bot på den häftiga tillväxten av djurplankton och på överkonsumtionen av detritus i **B04**.

De nya randvillkoren för djurplankton och detritus i havet sätts efter ett antal tester till: djurplankton = 0.0 $\mu\text{g C/l}$, detritus = $10 \cdot (N_{\text{tot}} - \text{NO}_3\text{-N} - \text{NH}_4\text{-N}) \mu\text{g C/l}$. Omvandlingsfaktorn från $\mu\text{mol N}$ till $\mu\text{g C}$ ($1/\text{CNIT}$) är 79.5, om faktorn 10 används består totalkväve till ungefär en åttondel ($10/79.5$) av detritus, resten är växtplankton m.m.

Med dessa nya randvillkor för detritus och djurplankton i havet blir detritushalten i Gullmarens djupvatten något högre, figur 37. Speciellt innehåller det inflödande vattnet i januari -96 en detritushalt på 60 (föret 40) $\mu\text{g C/l}$ vilket genom nedbrytning får PO_4 halten att öka under -96 i den takt som mätningarna visar. Nedbrytningen av detritus konsumerar syrgas. De simulerade syrgashalterna visar nu en mycket god överensstämmelse med uppmätta syrgashalter i djupvattnet, figur 37. Möjligen kan man invända att den kombinerade effekten av de nya randvillkoren i havet och den här använda initialiseringen ger alltför höga fosfathalter och låga syrgashalter.



Figur 36. **Initialiseringens betydelse för salthalt, temperatur och syrgashalt i Gullmaren.** Blå kurva visar referens simuleringen, röd kurva simulering med ny initialisering av salthalt och temperatur, samt H4=100m i utsjön. Grön kurva visar hur syrgashalten påverkas av ändrade randvärden av djurplankton och detritus i utsjön (i övrigt identisk med den röda kurvans simulering. De svarta prickarna visar mätdata från station Alsback.



Figur 37. **Utsjödrivningens betydelse på biogeokemin i Gullmaren.** Blå kurva visar referenssimulering, röd kurva ny fjordliknande initialisering i Gullmaren samt ny hydrografisk drivning i utsjön samt grön kurva (samma som röd kurva) + nya randvärden i utsjön av djurplankton ($0 \mu\text{g C/l}$) samt detritus. Svarta prickar visar mätvärden från station Alsback.

Slätbaken

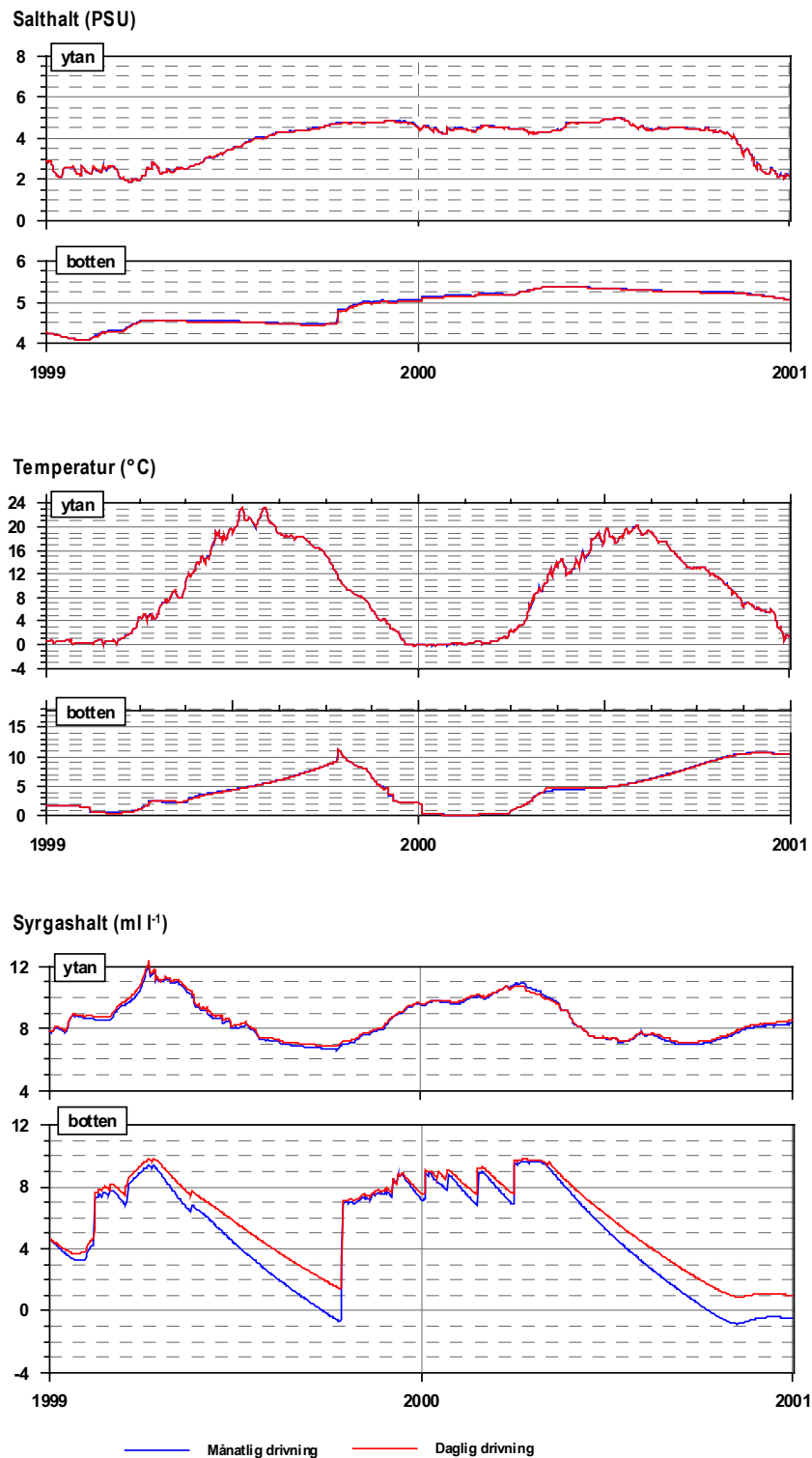
Ett experiment för att utvärdera betydelsen av att driva kustmodellen med utsjödata som varierar dag för dag har lagts upp på följande sätt. Modellen PROBE-Baltic beräknar för perioden 1999-01-01—2000-12-30, som rutinsimulering på SMHI, alla de modellvariabler som behövs för att driva Kustzonsmodellen i norra Östergötland. Det är emellertid ibland så att resultatet från PROBE-Baltic inte är överens med mätningarna i t.ex. BY31, vilket innebär att vi inte kan jämföra simuleringar drivna av PROBE-Balticberäkningar direkt med simuleringar drivna med månadsmätningar från BY31. Istället har vi kört simuleringar drivna med månadsvärden *extraherade* ur PROBE-Baltics resultat och jämfört denna simulering med en simulering som drivs med beräknade dygnsvärden. I simuleringen med dygnsvärden får modellen varierande, beräknade randvärden även för variabler som detritus och djurplankton medan dessa variabler ansätts samma värde som i de yttersta bassängerna i utsjön i simuleringen med extraherade månadsvärden för att efterlikna drivning med mätvärden (där det inte finns mätningar för t.ex. detritus och djurplankton).

Resultaten där drivningen är PROBE-Baltics dygnsvärden är nästan identiska med resultaten för månadsvis drivning för både salthalt och temperatur, figur 38, vilket är föga förvånande om man studerar drivfälten från utsjön, se figur 40. Fälten med daglig drivning skiljer sig inte nämnvärt åt från de månatliga serierna. En jämförelse av flödet in genom sundet vid Stegeborg in till Slätbaken i de två simuleringarna stärker denna uppfattning då det totala inflödet under 1999-2000 med månadsvärden som drivning är 10071 m³. Motsvarande inflöde med dygnsvärden som drivning är 10064 m³. Flödet av vatten genom det långt in belägna sundet vid Stegeborg påverkas således nästan inte alls av den ändrade drivningen.

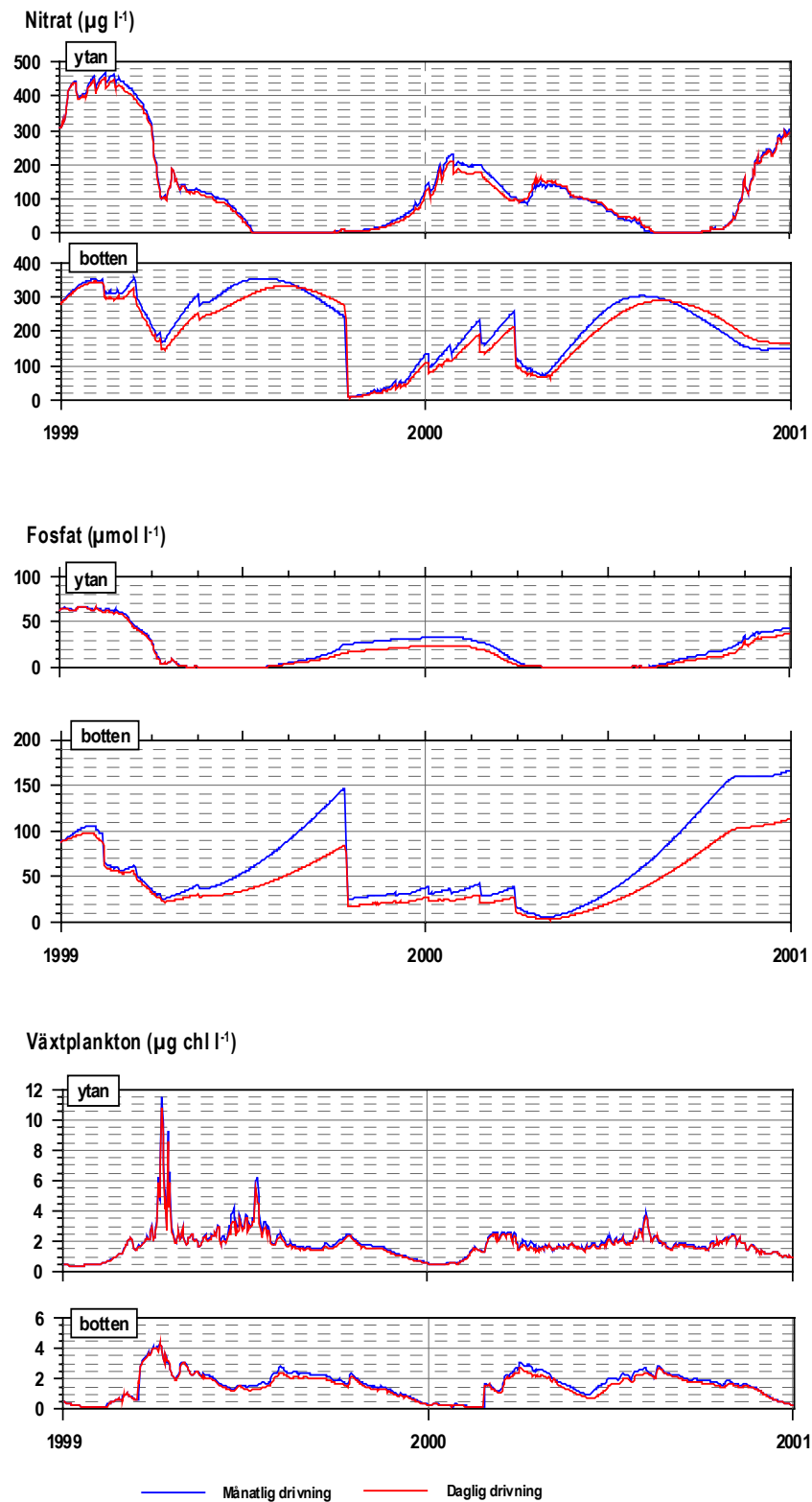
Notabelt är dock att näringsämneshalterna vid botten påverkas avsevärt mer av randvillkoren, figur 39, trots att näringsämnesserierna i utsjön inte skiljer sig nämnvärt åt. Det samma gäller syrgas. Orsaken hänger troligen samman med att detritushalten och djurplanktonhalten i utsjön behandlas så olika i de båda simuleringarna på motsvarande sätt som experimentet med utsjödrivningen i Gullmaren visat att fosfathalten så väl som syrgashalten i djupvattnet påverkas av de randvärden som ansätts för detritus och djurplankton.

Halten växtplankton är dock densamma i simuleringen driven av månadsvärden som i den simulering som drivs av dygnsvärden. Vilket tyder på att säsongsdynamiken hos växtplanktonen i de inre kustzonsbassängerna är ett lokalt fenomen vars tillväxt i de inre bassängernas ytvatten inte är känslig för olika yttre randvärden.

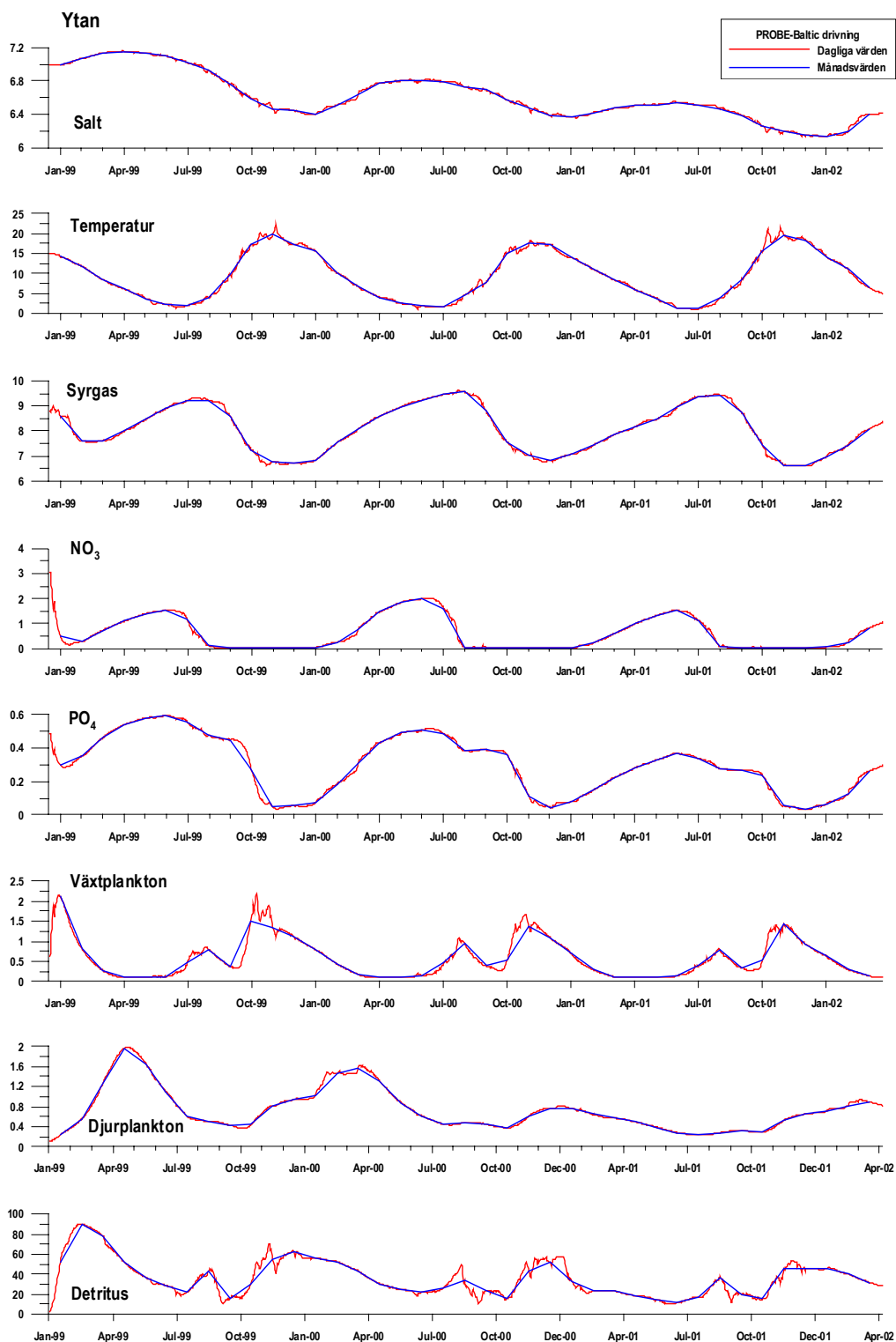
Det bör påpekas att satellitmätningar av temperatur har visat att det flera gånger per år förekommer uppvällning av kallt, tungt vatten i kustområdet. Det är också tydligt att mätdata av framförallt salthalt i inre Slätbaken tidvis uppvisar betydligt snabbare variationer i djupvattnet än vad kustzonsmodellen förmår simulera. För att modellen PROBE-Baltic skall utgöra en bättre drivning av kustzonssystemet krävs det en utveckling av modellen till att även ta hänsyn dessa vinddrivna och avsevärt snabbare fenomen än vad de månatliga observationerna har möjlighet att fånga.



Figur 38. **Jämförelse mellan månatlig och dygnsbaserad utsjödrivning i Slätbaken.** Resultat från simuleringen av perioden 1999-2000 där drivningen med månadsvärden från PROBE-Baltic modellen kan jämföras med drivning med dygnsvärden. Blå kurva visar drivning med månatliga utsjövärden medan röd kurva visar drivning med dagliga utsjövärden.



Figur 39 **Jämförelse mellan månatlig och dygnsbaserad utsjödrivning i Slätbaken.** Resultat från simuleringen av perioden 1999-2000 där drivningen med månadsvärden från PROBE-Baltic kan jämföras med drivning med dygnsvärden. Blå kurva visar drivning med månatliga utsjövärden medan röd kurva visar drivning med dagliga utsjövärden.



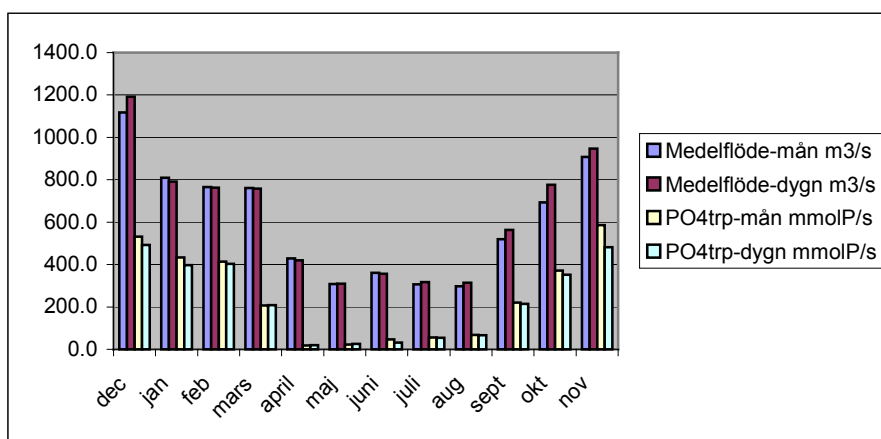
Figur 40. Beräknade utsjövärden av PROBE-Baltic modellen. Blå kurva visar drivning med månatliga utsjövärden medan röd kurva visar drivning med dagliga utsjövärden.

Det är alldeles tydligt att signalen från den dagliga utsjödrivningen har en begränsad betydelse för flödena i de trånga sund som leder in till Slätbakens inre. Är förhållandena de samma även i det yttre kustzonsområdet? Hur utfaller en jämförelse om vi väljer att analysera ett yttre sund t.ex. sundet **S03** in till yttre Bråviken? I figur 41 presenteras flödena.

De olika drivningarna resulterar i varierande transportsumma för sundet **S03**. Vissa månader är ger dygnsdrivning större transport av vatten men mindre transport av fosfat (99-12). Andra månader ger dygnsdrivning mindre transport av vatten men större transport av fosfat (00-01).

Medelutflöde under 1999-2000 med månadsvärden som drivning: 681.0 m³/s.

Medelutflöde med dygnsvärden som drivning: 678.2 m³/s.



Figur 41 **Transport av vatten och fosfatfosfor från yttre Bråviken, B03, ut till Bråvikens mynningsområde, B01, genom sund S03 i dec-99 till nov-00.** Text – mån innebär drivning med månadsvärden, text –dygn innebär drivning med dygnsvärden.

Referenser

Marmefelt E, B.Håkansson, A. C. Erichsen och I. Sehestedt Hansen (2000). Development of an Ecological Model System for the Kattegat and the Southern Baltic. SMHI Rapport Oceanografi Nr 29,

Olsson H., Marmefelt E. och Svensson J (2003). Kustzonssystemet för norra Bohuskusten. SMHI Manuskript version 2003-07-08.

Sahlberg J. och Olsson H (2001). Kustzonsmodell för norra delarna av Östergötlands skärgård. SMHI Oceanografi Nr 69

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|--|
| 1 Lennart Funkquist (1985)
En hydrodynamisk modell för spridnings-
och cirkulationsberäkningar i Östersjön
Slutrapport. | 11 Cecilia Ambjörn (1987)
Spridning av kylvatten från Öresundsverket |
| 2 Barry Broman och Carsten Pettersson.
(1985)
Spridningsundersökningar i yttre fjärden
Piteå. | 12 Bo Juhlin (1987)
Oceanografiska observationer utmed sven-
ska kusten med kustbevakningens fartyg
1986. |
| 3 Cecilia Ambjörn (1986).
Utbyggnad vid Malmö hamn; effekter för
Lommabuktens vattenutbyte. | 13 Jan Andersson och Robert Hillgren (1987)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen
1986. |
| 4 Jan Andersson och Robert Hillgren (1986).
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen
perioden 84/85. | 14 Jan-Erik Lundqvist (1987)
Impact of ice on Swedish offshore ligh-
touses. Ice drift conditions in the area at
Sydostbrotten - ice season 1986/87. |
| 5 Bo Juhlin (1986)
Oceanografiska observationer utmed sven-
ska kusten med kustbevakningens fartyg
1985. | 15 SMHI/SNV (1987)
Fasta förbindelser över Öresund - utredning
av effekter på vattenmiljön i Östersjön. |
| 6 Barry Broman (1986)
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla Vär-
tan. | 16 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
(1987)
Undersökning av vattenmiljön vid utfyllna-
den av Kockums varvsbassäng.
Slutrapport för perioden
18 juni - 21 augusti 1987. |
| 7 Bo Juhlin (1986)
15 års mätningar längs svenska kusten med
kustbevakningen (1970 - 1985). | 17 Erland Bergstrand (1987)
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön. |
| 8 Jonny Svensson (1986)
Vågdata från svenska kustvatten 1985. | 18 Stig H. Fonselius (1987)
Kattegatt - havet i väster. |
| 9 Barry Broman (1986)
Oceanografiska stationsnät - Svenskt Vat-
tenarkiv. | 19 Erland Bergstrand (1987)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling
1986. |

- 20 Kjell Wickström (1987)
Bedömning av kylvattenrecipienten för ett
kolkraftverk vid Oskarshamnsverket.
- 21 Cecilia Ambjörn (1987)
Förstudie av ett nordiskt modellsystem för
kemikaliespridning i vatten.
- 22 Kjell Wickström (1988)
Vågdata från svenska kustvatten 1986.
- 23 Jonny Svensson, SMHI/National Swedish
Environmental Protection Board (SNV)
(1988)
A permanent traffic link across the
Öresund channel - A study of the hydro-en-
vironmental effects in the Baltic Sea.
- 24 Jan Andersson och Robert Hillgren (1988)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1987.
- 25 Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund
(1988)
Kylvattnet från Ringhals 1974-86.
- 26 Bo Juhlin (1988)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1987.
- 27 Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling
1987.
- 28 Cecilia Ambjörn (1989)
Spridning och sedimentation av tippat ler-
material utanför Helsingborgs hamnområde.
- 29 Robert Hillgren (1989)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1988.
- 30 Bo Juhlin (1989)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1988.
- 31 Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson
(1989)
Samordnade kustvattenkontrollen i Öster-
götland 1988.
- 32 Cecilia Ambjörn (1989)
Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i
samband med kylvattenutsläpp i Tromme-
kilen.
- 33a Cecilia Ambjörn (1990)
Oceanografiska förhållanden utanför Ven-
delsöfjorden i samband med kylvatten-ut-
släpp.
- 33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson
(1990)
Numerical circulation models for the
Skagerrak - Kattegat. Preparatory study.
- 34 Kjell Wickström (1990)
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i
havet - slutrapport.
- 35 Bo Juhlin (1990)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1989.
- 36 Bertil Håkansson och Mats Moberg (1990)
Glommaälvens spridningsområde i nord-
östra Skagerrak
- 37 Robert Hillgren (1990)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1989.
- 38 Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - the gateway to the North Sea.
- 39 Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
- 40 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
(1990)
Spridningsundersökningar i norra Kalmar-
sund för Mönsterås bruk.
- 41 Cecilia Ambjörn (1990)
Strömningsteknisk utredning avseende ut-
byggnad av gipsdeponi i Landskrona.
- 42 Cecilia Ambjörn, Torbjörn Grafström och
Jan Andersson (1990)
Spridningsberäkningar - Klints Bank.
- 43 Kjell Wickström och Robert Hillgren
(1990)
Spridningsberäkningar för EKA-NOBELs
fabrik i Stockviksverken.
- 44 Jan Andersson (1990)
Brofjordens kraftstation - Kylvattensprid-
ning i Hanneviken.
- 45 Gustaf Westring och Kjell Wickström
(1990)
Spridningsberäkningar för Höganäs kom-
mun.

- 46 Robert Hillgren och Jan Andersson (1991)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1990.
- 47 Gustaf Westring (1991)
Brofjordens kraftstation - Kompletterande simulering och analys av kylvattensspridning i Trommekilen.
- 48 Gustaf Westring (1991)
Vågmätningar utanför Kristianopel - Slutrapport.
- 49 Bo Juhlin (1991)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1990.
- 50A Robert Hillgren och Jan Andersson (1992)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1991.
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander, Bertil Håkansson, Bertil Brusmark, Anders Carlström, Anders Gustavsson, Eva Cronström och Olov Fäst (1992).
BEERS -92. Final edition.
- 51 Bo Juhlin (1992)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1991.
- 52 Jonny Svensson och Sture Lindahl (1992)
Numerical circulation model for the Skagerrak - Kattegat.
- 53 Cecilia Ambjörn (1992)
Isproppsförebyggande muddring och dess inverkan på strömmarna i Torneälven.
- 54 Bo Juhlin (1992)
20 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningens fartyg (1970 - 1990).
- 55 Jan Andersson, Robert Hillgren och Gustaf Westring (1992)
Förstudie av strömmar, tidvatten och vattenstånd mellan Cebu och Leyte, Filippinerna.
- 56 Gustaf Westring, Jan Andersson, Henrik Lindh och Robert Axelsson (1993)
Forsmark - en temperaturstudie. Slutrapport.
- 57 Robert Hillgren och Jan Andersson (1993)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1992.
- 58 Bo Juhlin (1993)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1992.
- 59 Gustaf Westring (1993)
Isförhållandena i svenska farvatten under normalperioden 1961-90.
- 60 Torbjörn Lindkvist (1994)
Havsområdesregister 1993.
- 61 Jan Andersson och Robert Hillgren (1994)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1993.
- 62 Bo Juhlin (1994)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1993.
- 63 Gustaf Westring (1995)
Isförhållanden utmed Sveriges kust - isstatistik från svenska farleder och farvatten under normalperioderna 1931-60 och 1961-90.
- 64 Jan Andersson och Robert Hillgren (1995)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1994.
- 65 Bo Juhlin (1995)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1994.
- 66 Jan Andersson och Robert Hillgren (1996)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1995.
- 67 Lennart Funkquist och Patrik Ljungemyr (1997)
Validation of HIROMB during 1995-96.
- 68 Maja Brandt, Lars Edler och Lars Andersson (1998)
Översvämningar längs Oder och Wisla sommaren 1997 samt effekterna i Östersjön.
- 69 Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan Olsson, Länsstyrelsen, Östergötland (2000).
Kustzonsmodell för norra Östergötlands skärgård.
- 70 Barry Broman (2001)
En vågatlas för svenska farvatten.
- 71 *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
- 72 Fourth Workshop on Baltic Sea Ice Climate Norrköping, Sweden 22-24 May, 2002 Conference Proceedings
Editors: Anders Omstedt and Lars Axell

- 73 Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert, Jenny Andersson, Anders Gyllander (2003)
Djupdata för havsområden 2003
- 74 Håkan Olsson, SMHI (2003)
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen Östergötland
Kustzonssystemet i regional miljöanalys



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping
Tel 011 -495 80 00 · Fax 011-495 80 01