



Modellering av Svealandskustens skärgårdsområden och dess närsaltsbelastning

– Ett BEVIS-delprojekt

av

Anders Engqvist



Modellering av Svealandskustens skärgårdsområden och dess närsaltsbelastning – Ett BEVIS-delprojekt

av Anders Engqvist

Rapportdatum: 2008-01-31

Sammanfattning

En uppsättning av tre sammankopplade numeriska modeller har utvecklats för att kunna beräkna vattenutbytet för Svealandskusten med Stockholms skärgård som central del. Upplägget är att en relativt grovskalig tredimensionell (3D-) modell (bAS3D) med griddsidlängd motsvarande 2' x 2' (distansminuter) kopplar via ett geometriskt enkelt rektangulärt gränssnitt till en mesoskalig bättre horisontellt upplöst (0.5' x 0.5') 3D-utsjömodell (Arch3D), vilken i sin tur ansluter via geografiskt irreguljärt spridda sundpassager till en i hydrauliskt kopplade diskreta bassänger (engelska: Coupled Discrete Basins) upplöst (CDB-) modell av inre fjärdar och vikar. För Stockholms skärgård motsvarar detta i stort sett mellan- och innerskärgårdsområdena. De två 3D-modellerna samt CDB-modellen har körts för 15 årsperioden 1990 t.o.m. 2004 och validerats mot oceanografiska data (temperatur och salinitet) insamlade under samma period inom Stockholms skärgård av Stockholm Vatten AB. Valideringen uppvisar påfallande goda korrelationer mellan simulerade och uppmätta data. En betydande del av arbetet har varit att bereda och implementera drivnings- och närsaltsdatafiler till modellen. Närsalstillsförseln har separerats i ett antal källkategorier från vattendrag, avloppsreningsverk, industrier, enskilda avlopp m.m. Dataunderlag för luftdeposition av kväve och utläckning från botten saknas dock. Modellen har utformats så att dessa källor kan enkelt manipuleras individuellt för de tre sektorer i vilka kustområdet är indelat i förhållande till den nominella belastning som ägde rum år 2004.

1. Kort historik

De tredimensionella (3D) modellerna som har använts i detta projekt har utvecklats avseende oceanografin och numeriken av Dr. Oleg Andrejev och programmerats av Alexander Sokolov (Andrejev & Sokolov, 1990). Denna generiska modell 'AS3D' har därefter tillämpats inte bara för hela Östersjön utan även på många av dess delområden. I det följande benämns denna storskaligare Östersjömodell, **bAS3D**-modellen. Den första applikation rörande modellering av den svenska Östersjökusten med två kopplade sådana 3D-modeller gällde Öregrundsgrepen med en högupplöst grid med 0.1 distansminuter (=0.1') sidlängd, sammankopplad med en Östersjömodell med dåvarande upplösning av 5' x 5' (Engqvist & Andrejev, 1999). Baserat på detta utvecklingsarbete kunde samma ansats göras för Stockholms skärgård (Engqvist & Andrejev, 2003) med en 0.5' x 0.5' grid. Därefter utvidgades SKVVF:s intresseområde till att omfatta kuststräckan från Bråviken i Söder till Karholmsfjärden i norr, varvid motsvarande expansion av kustmodellen måste göras. Denna modellvariant benämns **Arc3D**-modellen. Samtidigt ersattes den tidigare Östersjögriddens med en förbättrad 2' x 2' horisontell upplösning.

Den i dagsläget föreliggande modellvariant av CDB-typ (engelska: Coupled Discrete Basins) har döpts till **CouBa** och har en motsvarande utvecklingshistoria. Från Fig. 1 framgår den succesiva utvecklingen under perioden 1992-2000 med ett ökande antal bassänger och sundförbindelser. I två samtidiga projekt, båda finansierade av MISTRA, kunde en radikal omläggning av modellansatsen genomföras i form av övergång från fastlagd vertikal lagerstruktur till lagerbaserad dito, vilket medger en avsevärt mer realistisk modellering av den vertikala skiktningen (Engqvist & Andrejev, 2003). Sedan 2002 har modellutvecklingen finansierats av Svealands Kustvattenvårdsförbund (SKVVF) och Regionplane- och trafikkontoret (RTK). De första åren i form av forskningssamarbete och fr.o.m 2004 inom Interreg IIIa projektet ” Ett gemensamt beslutstödsystem för effektiva vattenskyddsåtgärder i skärgårdarna Åboland-Åland-Stockholm” (BEVIS). Under denna tid har CDB-modellen inte bara utvecklats avseende lagerstruktur utan även genomgått en radikal förbättring rörande sundutbytesformuleringarna (Engqvist & Stenström, 2004). Denna ansats har utvärderats för vattenutbytet för Himmerfjärden (Engqvist & Stenström, 2008). Speciellt hade modellen anpassats för att ge underlag för utläckningen från botten för att nå fram till ’empiriska ekologiska relationer’. Detta tidskrävande arbete slutfördes i oktober 2004 och det visade sig sedermera att det då beklagligtvis var för sent (Ulf Larsson, pers. medd.) för att genomföra det planerade efterföljande ekologiska analysarbetet av detta framtagna dataunderlag. Av denna anledning har bottenläckageprocesser inte kunnat tillföras de nedan presenterade modellversionerna.

Under arbetet med BEVIS-projektet har en omfattande databeredning och körning av 15-årsperioden 1990 t.o.m. 2004 dock hunnits med. Först under 5-månaders perioden maj–september 2007 har heltidsutveckling av **CouBa**-modellen kunnat utföras, vilket har resulterat i den utfästa valideringen mot Stockholm Vatten AB:s temperatur- och salinitetsdata från motsvarande period. En grafisk framställning av projektets fortskridande visas i Fig. 2, vilken tillsammans med översikten (Tabell 1) visar utvecklingsanknytningen för den nuvarande **CouBa**-modellen med dess tidigare förlagor.

2. Databeredning

Databeredning representerar en omfattande del av hela modelleringsarbetet och skärgårdmodellering utgör inget undantag. Snarare accentueras denna del genom att redan för att beskriva området krävs ett avsevärd mängd basdata. En genomgående modelleringspolicy har varit att basera de rekonstruerade tidsserierna företrädesvis på s.k. persistensantagande, innebärande att (uppmätta- eller modellberäknade-)värden från ett tidigare datum anses gälla fram till nästa tillfälle när nya datauppgifter föreligger. Undantag från denna policy kommer att kommenteras.

Batymetri och hypsografi

Batymetriska data för Östersjömodellen, **bAS3D**, härrör från Warnemünde Oceanografiska Institut (http://www.io-warnemuende.de/research/en_iowtopo.html) och täcker hela Östersjön från 9°00' to 15°10' Öst och from 53°30' to 56°30' Nord, Fig. 3. Dess upplösning är approximativt 4 (sfäriska) distansminuter med avseende på longitud, and 2 distansminuter i zonal (latitud) ledd. Detta motsvarar en gridd med approximativt 2 distansminuters sidlängd.

Utsjömodellen (Arc3D) har utvidgats från att ursprungligen endast ha omfattat Stockholms skärgård till att nu omfatta i stort sett hela Svealandskusten (Fig. 4). Den nuvarande DEM:en (Digital Elevation Model) har beräknats av Petter Stenström utgående från Sjöfartsverkets digitala sjökort. Denna gridd gavs genom övervägande av det sammanhörande numeriska beräkningsarbetet en horisontell upplösning av $0,5 \times 0,5$ distansminuter specificerade i sfäriska koordinater WGS84 (sweref 99 long lat ellh) med bivillkoret att för att räknas som en våt gridcell, måste åtminstone 50 % av en gridcells yta motsvaras av vatten.

Även CDB-modellen (CouBa) har expanderat m.a.p. hypsografiska basdata för såväl bassängerna som sundsnitten, se Fig. 5. För område A har dessa data beräknats med GIS-metoder utgående från Sjöfartsverkets digitala sjökort av Jonas Bergstedt. Rörande område B har såväl GIS-beräkningar av digitala sjökortsuppgifter använts tillsammans med egna sjömätningar och andra datakällor. För de utanföriggande områdena har data från Svenskt vattenarkiv (SVAR, 2003), undantagandes några bassänger i Forsmarksområdet för vilka oberoende hypsografiska data föreligger.

Meteorologiska data

För samtliga tre modeller har s.k. Mueller (Lars Mueller, SMHI) geostrofiska väderdata använts. Dessa data är organiserade månadsvis och innehåller förutom uppgifter om vindfart och vindriktning även uppgifter om lufttemperatur, lufttryck samt data rörande precipitation, nebulositet (molnighetsgrad) och instrålning av vilka dock endast vinddata används i den nuvarande versionen av **CouBa**-modellen eftersom värmeövergångarna genom vattenytorna föreskrivs genom andra data rörande ytvattentemperaturen. Data finns för hela 15-årsperioden. För de år som dessa data tidigare saknades (fr.o.m. 2001 och framåt) ersattes de temporärt av Mesan-data, vilket omvandlingsarbete sedermera visade sig endast temporärt behövt när den Muellerska dataserien (pers. medd. Marcus Flarup, SMHI) återupptogs på nytt år 2006.

Vattenståndsdata för Östersjömodellen

För att driva Östersjömodellen krävs att utbytet över modellens rand mot Skagerrack baseras på uppmätta vattenstånd på ömse sidor om detta snitt (Fig. 6). Data finns för hela 15-årsperioden.

ZTS-data

För de långa gränssnitten omkring utsjöområdet mot den egentliga Östersjön i öst och söder samt Bottenhavet i norr räknar **bAS3D**-modellen för Östersjön fram vattenståndet (Z), temperaturfältet (T) och saliniteten (S) för varje tidsteg (normalt 1 timme), varav akronymen 'ZTS'.

Initialiseringsdata

Initialiseringsdata för salinitets- och temperaturfälten har åstadkommit genom att med utgångspunkt från uppskattade klimatologiska salinitets- och temperaturdata iterativt köra december månad 1989 ett antal gånger med de bästa tillgängliga data för den fysiska drivningen för denna månad. Denna metod bygger på att det termohalina initialtillståndet under en månad simulering påverkas i riktning mot att harmoniera med framför allt randdrivningen. Därefter har samtliga tre modeller körts konsekutivt för samliga år 1990 t.o.m. 2004.

Yttemperatur och isdata

Data avseende isläggningen och islossningen har främst erhållits från Sjöfartsverkets och SMHI:s digitala data (Fig. 7a). Detta dataunderlag levererades mot slutet av december 2005. Tillgången av vintertemperaturdata är speciellt värdefull eftersom mätningar från vintertid i stort saknas helt i den databas som tidigare tillskapats inom SKVVF:s regi. I princip är dessa data griddade (med en horisontell upplösning av c:a 1 distansminut för isdata och dubbla detta värde för ytvattentemperaturdata). Avvikelser från en strikt griddning och andra förekommande inkonsekvenser i datamaterialet t.ex att isläggning anges över hela Svealandskusten 1990-05-10 samtidigt som ytvattentemperaturen avges till 8-10 °C, har krävt omfattande systematiska kontroller. Dessa data har vidare kompletterats med samtliga ytvattentemperaturer som finns att tillgå i den databas som Systemekologiska institutionen vid Stockholms universitet har lagt upp och där även alla data från Stockholm Vattens mätningar ingår (pers. medd. Jakob Walve). Tidsupplösningen för isdata är ett dygn och den horisontella upplösningen en distansminut. Detta dataset har interpolerats i det tvådimensionella rummet och tiden utnyttjande Laplaciansk överrelaxationsmetod. En sammanställning av beräkningsresultatet framgår av Fig. 7b. Beräkningsgången från rådata till indata till DB-modellen återges i Fig. 8.

Avrinningsdata

De avrinningsdata krävs för Östersjömodellen är tillskapade som medelvärde av tillrinningen för två decennier men därefter proportionerade så att medelavrinningen för hela Östersjön överensstämmer med uppmätta dito för varje år, se Tabell 2. Motsvarande uppgifter för vilka vattendrag som ingår i utsjö- och CDB-modellerna framgår av Tabell 3. För CDB-modellen har de avrinningsdata utnyttjats som ställts till förfogande av länsstyrelserna. Beräkningsschemat för sammanställda avrinnande volymflöden med sammanhörande närsaltskoncentrationer visas i Fig. 9 och en översikt (med logaritmiska skalor) för vattendragens volymflöden återges i Fig. 10. Data föreligger för hela 15-årsperioden för merparten av dessa belastningskällor.

Våta närsaltsdata (d.v.s. sådana som är kombinerade med avrinningsdata)

Data för närsaltsbelastningen av modellområdet samlades till en databas av Malin Qviberg och huvudelen av arbetet var klart i slutet av augusti 2005 med vissa kompletteringar som tillkom några månader senare. Täckningsgraden av insamlade data för perioden 1990 t.o.m. 2004 varierade. Dessa data mottogs i excel-format och grupperades i fem kategorier: vattendrag (RIV) industrier (IND), fiskodlingar (FIF), avloppsreningsverk (STP) samt våtmarker (WET), där de källkategoribeteckningar som används i **CouBa**-modellen är angivna inom parentes. Som förberedelse för dataläsning omvandlades samtliga filer till csv-format efter eliminering av ett antal dublettfiler. Det största problemet var att för vattendragen saknades data om volymflöden helt. Avrinningsdata från länsstyrelserna blev dock tillgängliga i början av år 2006 (D-län i mitten av januari 2006, därefter från C-län i mitten av februari och slutligen från AB-län i början av mars). Från X-län har inga data erhållits. Nästan samtliga av dessa data är grundade på data beräknade med den s.k. PULS-modellen och merparten hade en tidsupplösning av en vecka. Till dessa kommer data för Norrstöm och tappningen av Mälaren genom Södertälje genom såväl kulvert som sluss. Formatet för inkommande data varierar med respektive datakällas konventioner. Beredningen av dessa data lades upp så att först organiserades samtliga till medelflöden för kalenderveckor, varav det går 52 veckor per år, utom för år som är jämnt delbara med 6 vilka har en extra 'skottvecka'. Därefter interpolerades mellan

mittpunkterna i dessa data för att få fram ekvivalenta dagsflöden. Mellan de irreguljära koncentrationsmätningarna för närsalterna (TN, DIN, TP och DIP) utfördes motsvarande interpolationer för att få fram dagliga koncentrationer, vilka kan därefter paras ihop med motsvarande flöden för att erhålla belastningen.

Detta förfarande bedöms som det mest rättvisande sättet att tillföra den 'våta' belastningen via vattendrag till modellen, men är inte invändningsfri eftersom falska korrelationer och systematiska fel kan uppstå när tidsserier med olika tidsupplösning paras ihop (Engqvist, 1990). Resultatet av dessa sammanställningar av flöden och sammanhörande närsaltskoncentrationer visas i Fig. 11 i form av transportflöden (volymflöden \times koncentration) för vattendragen. En karta över lokaliseringen av övriga 'våta' källor som finns förtecknade i Tabell 4 återges i Fig. 12 och motsvarande transportflöden finns i Fig. 13. Dessa data föreligger för i stort sett hela 15-årsperioden med förbehållet att bl.a. för några av källorna saknas närsaltsdata i början av perioden. Beräkningsgången från rådata till färdigberedda indatafiler i grafisk framställning är samma som tidigare framställts grafiskt i Fig. 9. Fiskodlingar är ett gränsfall. Denna kategori är uppenbart 'våt' men eftersom belastningen inte kan sammankopplas med ett vattenflöde måste den ändå behandlas som en 'torr' källa, dvs koncentrationen i den mottagande vattenmassan ökas så att den precis motsvarar den tillförda mängden närsalter utan att motsvarande vattenvolym påverkas.

Torra närsaltsdata (d.v.s. sådana utan sammanhörande avrinningsdata)

I Fig. 14a och 14b har källbidrag från mindre enskilda källor och mindre reningsverk presenterats. Dessa data härrör från SMED-databasen som ställts till förfogande via Gunnar Anéer vid Länsstyrelsen i AB-län. Sammantaget faller inom CDB-området 140 sådana mindre källor varav 11 st. utgörs av de mindre kustförlagda reningsverk som sammanställts i Tabell 5. Data avser egentligen 2005, då uppgifter från 2004 inte har varit möjliga att uppbringa. Dessa data motsvarar dels en kompletterande källkategori mindre avloppsreningsverk (STP) samt vad som kan betecknas som en diffus (DIF) källkategori och de föreligger alltså endast för det sista modelleringsåret.

Luftdeposition

Bästa tillgängliga data (Liljergren, 2005) kan inte med någon grad av konfidens anses täcka in Svealandskusten och av detta skäl har i samråd med Bengt Fladvad beslutats att denna närsaltskategori får anstå till dess att ett avsevärt bättre och mer heltäckande dataunderlag föreligger. När så sker är modellen förberedd för att även ta in denna källkategori som givits beteckningen 'AIR'. En komplikation som har beaktats vid utformningen av AX-modellen inom samma BEVIS-projekt, är att under islagd tid måste luftdeponerat material undanhållas ytvattnet tills dess isen smälter.

Bottenutläckning

Denna viktiga källkategori saknas helt p.g.a. att de ekologiska processformuleringarna inte blivit utförda som planerats och att vikarierande data inte gått att få fram i tid. Modellen är dock förberedd för denna källkategori när data och/eller processformuleringar i framtiden blir tillgängliga. Det finns all anledning att tro att denna interna belastningskategori är av synnerlig betydelse för strävandena att åstadkomma en rättvisande modellering av närsaltdynamiken i skärgårdsområdena.

3. Modellutveckling

Östersjömodellen (bAS3D)

En egenskap som **bAS3D**-modellen delar med andra 3D-modeller är att vertikala skiktningar visar sig svåra att upprätthålla på längre tidsskalor. Av detta skäl har en mild form av dataassimilering utformats av Oleg Andrejev för att vidmakthålla en densitetsskiktning som överensstämmer med den observerade (Fig. 15). Denna modell beräknar och sparar undan i komprimerad form randvärdena utmed de långa, öppna geometriskt enkla (rektangulära) ränderna mellan Östersjö- och utsjömodellerna i form av s.k. ZTS-filer.

Utsjömodellen (Arc3D)

Det mest omfattande utvecklingsarbetet har rört utformningen av gränssnitten till CDB-modellen. Det krävdes att 40 st. randsundöppningar identifierades m.a.p. deras definierande griddkoordinater samt att vid efterföljande körningar ett vägt genomsnitt av salinitets- och temperaturdata i dessa snitt sparades tillsammans med ett likaså beräknat medelvattenstånd över detta snitt. Dessa undansparade data har därefter svarat för den vattenstånds- och densitetsbetingade drivningen av **CouBa**-modellen för dess randanslutningar mot utsjön, vilket återges i Fig. 16 och Tabell 6.

CDB-modellen (CouBa)

Det förändringsarbetet av **CouBa**-modellen vid omformning till en strikt lagerbaserad vertikal skiktningstruktur uppföljdes av förnyade konceptuella formuleringar av sundutbytesmekanismer (Engqvist & Stenström, 2004) utgående från en s.k. funktionalansats (Dalziel, 1992) som kompletterades med hantering av flerlagerproblematik och s.k. aspirationsmekanismer. Dessa teoretiska formuleringar implementerades i en valideringsstudie baserad på salinitets- och temperaturdata från södra kustområdet (Engqvist & Stenström, 2008). Denna ansats ger approximativt samma valideringsprecision som de tidigare studierna (Engqvist & Omstedt, 1992; Engqvist, 1996), men den horisontella upplösningen i bassänger är c:a fyra gånger bättre än för de tidigare studierna. Utbytesprocessformuleringarna är baserade på primära strömningsfysikaliska principer och saknar därför parametrar som kräver kalibrering för att bestämmas, vilket gav förstärkt tillförsikt för att kunna överföra denna lokala modell till att omfatta hela det utökade modellområdet utan omfattande kalibreringsarbete. Framtagandet av ytvattentemperaturens dynamik över modellområdet och i tiden har gjort att en detaljerad delmodellering av värmeöverföring genom vattenytorna har kunnat undvikas, men upplösningen har dock blivit tveksam för vissa områden och tidsperioder.

I syfte att ytterligare förhöja realismen har vidare anpassning till bassänginlagringsdynamiken för de avgränsade fjärdar som definierar skärgårdsområdet utformats. En parameterisering av den vertikala omblandningen baserades på Stigebrandt (1985) men utformades mot att vara tillämpbar på bassänger med ändlig horisontell utsträckning. Även plyminlagringsdynamiken för de reningsverk för vilka sådana uppgifter (mynningsdjup, mynningsdiameter, antal dyshål etc.) föreligger har tillfogats. Det utsträckta geografiska området har krävt att vinddrivningen baseras på samma Mueller-data som för de övriga två 3D-modellerna, vilket i sin tur har medfört att även **CouBa**-modellen måste utformas med strikt månadsuppdelade etappkörningar.

Mest problematiskt har dock varit att förse CDB-modellen med adekvata närsaltsdata för randsunden. Mätdataunderlaget som består av data från tre mätstationer är glest i såväl tid som rum. Denna brist har temporärt lösts genom att dela in kusten i tre sektioner med en mätstation i vardera, vilken får representera hela den motsvarande kustsektionen (Fig. 16). Denna lösning skall uppfattas som ett nödtvunget provisorium, och detta centrala problem diskuteras senare i Avsitt 5. Problematiken avspeglas tydligt i Fig. 17. För att möjliggöra körningar av hela 15-årsperioden 1990-2004 trots att närsaltsdata avseende de inledande 14 åren saknas för Norra Randen- och NO Möja-stationerna, har dessa ersatts av B1-data för denna period.

4. Validering

Av Christer Lännergren, Stockholm Vatten AB erhöles deras samtliga salinitets- och temperaturdata som finns att tillgå fr.o.m. 1990 t.o.m. 2004. Dessa data föreligger dels på de kontrollstationer där profiler tas med ungefärlig månatlig tidsupplösning, dels på s.k. ”fiskare punkter” där endast ytvattenvärden mäts. Dessa data omformades så att varje mät datum anger enhetliga mätdjup. I de fall då en modellbassäng omfattar flera mätstationer valdes den mest centralt i bassängen belägna av dessa. Därefter överfördes datum- och djupinformationen för dessa mätningar till **CouBa**-modellen som programmerades till att extrahera modellberäknade salinitets- och temperaturvärden för motsvarande tid, plats och djup (Fig. 18). Från dessa data utvaldes de 25 stationerna med flest mät punkter sammantaget. Deras geografiska fördelning framgår av Fig. 19. Därefter utfördes en korrelationsberäkning för temperaturdata (Fig. 20) och salinitetsdata (Fig. 21)

För en klar majoritet av dessa 25 bassänger är korrelationskoefficienten (ρ) för temperaturjämförelserna nästan genomgående på 0,9-nivån, vilket innebär att ungefär 80 % av varianserna förklaras. Undantagen är de södra fjärdarna framför allt Baggensfjärden ($\rho=0,56$) samt den grunda och avsnörpta Kyrkviken. För ytvattenstationen Växlet är det uppenbart att modellen har en allmän tendens att underskatta de uppmätta temperaturerna.

Avseende saliniteten för de stationer som ligger närmast Norrströms mynningsområde så underskattar modellen salinitetsvärdena mot ytan. Detta beror sannolikt på att den vertikala primärinblandningen förorsakad av Stockholms Ströms turbulenta inblandning inte är i tillräcklig grad tagen hänsyn till för dessa bassänger. En annan bassäng som tydligt avviker från den ideala (i Fig. 20 och Fig. 21 med grön färg återgivna) linjen, är ytvärden för Baggensfjärden som modellen tilldelar alltför låga salinitetsvärden.

Det är värt att framhålla att dessa resultat är framtagna helt utan några kalibreringar eller *ad hoc* korrigeringar, utan visar på ett övertygande sätt att denna modelleringsansats har en god potential att gestalta vattenutbytet i skärgårdar. Det måste bedömas som sannolikt att om separata modelljusteringar tillåts, så kan dessa anförda tillkortakommanden relativt enkelt rättas till.

Att salinitets- och temperaturprofilerna med några undantag uppvisar en god överensstämmelse är en bra utgångspunkt, men är långt från tillräckligt. Flödena i de olika sunden måste också bedömas om de på ett realistiskt sätt överensstämmer med uppmätta flöden och att de balanserar varandra så att vattenståndsfluktuationerna i de

olika fjärdarna även är realistiska. En första översikt av vattenståndsfluktuationerna i form av ett ”ryamatta”-diagram över hela 15-årsperioden visas i Fig. 22. Vattennivåerna visar sig variera i stort sett unisont beroende på de föreskrivna (av utsjömodellen framräknade) nivåerna i de 40 randsunden, vilket betyder att vattenståndsdynamiken inte kan påvisas vara inkonsistent. Små skillnader i vattennivåer mellan randsunden ger givetvis upphov till laterala strömningar inom modellområde1.

För att ytterligare i detalj skärskåda **CouBa**-modellens vattenståndsgestaltning valdes Trälhavet ut som testbassäng. En överblick av Trälhavets utbyte med anslutna grannbassänger framgår av Fig. 23a. Nettovolymflödet (summan av undansparade dagliga positiva och negativa medelflöden med tecken) tillsammans med avbördningen från den till Trälhavet mynnande Åkerströmmen visas i Fig. 23b. Summan av dessa nettoflöden återges i Fig. 23c, vilket säkerställer att vattenbalansen på lång sikt (5 år i diagrammet) upprätthålls med övertygande precision.

Dessa positiva resultat är en bra början men modellvalideringsarbete pågår fortsatt för att pröva modellens realism och grad av onoggrannhet. För närvarande finns det blott ett begränsat antal perioder med tillgång till synoptiska ström- och näringsämnesmätningar som primärt kan utnyttjas. En modells känslighet för variationer i indata är vidare en viktig men tidskrävande del av modelleringsarbetet som även måste systematiskt bör undersökas, vilket tyvärr inte funnits tillräcklig tid att utföra inom denna projektfas.

5. Diskussion

Samtliga ursprungligen formulerade mål med modellutvecklingen har realiserats i och med de i dagsläget aktuella versionerna. **CouBa**-modellen kan hantera belastande näringsämneskällor av samtliga förekommande typer och följa deras effluenter tills de lämnar modellområdet. Modellen är tillfredsställande numeriskt stabil – vilket stöds av 15-års körningarna – och baserad på bästa tillgängliga oceanografisk teori som har numeriskt implementerats med robusta algoritmer. Förutom den grundläggande utformningen med lagerbaserad skiktning och regimuppdelad sundutbytesdynamik har de framträdande avancerade modellegenskaperna listats i Tabell 7. Även 3D-modellerna kan betraktas som mogna varianter med en lång meritlista av aktuella tillämpningar för Östersjön och dess delområden (t.ex. Andrejev et al. 2004a; 2004b; Engqvist et al. 2006 och Döös & Engqvist, 2007). Trots att modellerna redan idag fungerar tillfredsställande bör de säkert uppdateras och utvecklas även i framtiden. Modellkörningar och nya valideringar kan blottlägga hittills okända brister samtidigt som de tekniska förutsättningarna till mera avancerad modellering utvecklas.

Modeller kan rankas efter tre kriterier: realism (i), precision (ii) samt upplösning (iii). Dessa egenskaper är inte oberoende utan måste avvägas mot varandra. Endast den fysiska verkligheten kan uppvisa höga poängtal för samtliga tre av dessa egenskaper, medan för denna modelleringsansats —baserad på tre separata men kopplade modeller— har avvägningen gjorts till fördel för realismen på bekostnad av den rumsliga upplösningen. Den senare har ursprungligen bestämts av att stå i relation till rumsligt upplöst tillgång och frekvens av ekologiska mätdata. Från denna utgångspunkt måste modellen även i sin nuvarande utformning betraktas som adekvat i och med att den upplöser skärgårdsområdet samt ger fullt tillfredsställande valideringsresultat med parametrar som bestämts *a priori* utan någon kalibrering mot mätdata. Från en kustocyanografisk utgångspunkt och med de ADCP-mätningar som

genomförts (Lager, 2001), föreligger ytterligare möjligheter för validering med avseende på vattenutbytet mellan bassängerna. Erfarenhetsmässigt och grundat på observationer vid sådana mätningar råder inget tvivel om att för korta tidsskalor påverkas utbytet direkt och påtagligt av den lokala vinden. Detta gör det efterstävansvärt att i syfte att förhöja realismen även tillföra denna utbytes-befrämjande mekanism, men detta har tvingats anstå för att inom de knappa tidsramarna uppnå övriga projektmål med högre prioritet.

Detta är ett av flera tänkbara exempel på hur realismen för CDB-modellen kan förbättras. I syfte att underlätta eventuella framtida förhandlingar om fortsatt modellutveckling genomgås i nästa avsnitt förslag till möjliga sådana utvecklingslinjer.

6. Framtida utveckling

En översyn av hela modellansatsen samt konsolidering av programkoden är en välrekommenderad första åtgärd innan direkta, nya utvecklingsalternativ förverkligas. Sådan revision bör innefatta för **CouBa**-modellens vidkommande en uppsnabbning av beräkningshastigheten, vilket kan göras genom att fördela integrationstidstegen olika över modellområdet utgående från tidskonstanterna för de olika barotropa sundutbytena. Vidare kan de omfattande kontrollrutiner som redan från början integrerats i modellen successivt lyftas ut i takt med att modellens ådagalagda numeriska stabilitetsegenskaper ger fortsatt anledning till tilltro.

Komplettering av källkategorier som utelämnats av brist på dataunderlag

Det är uppenbart att närsaltskällkategorier luftdeposition och bottenutläckning måste tillföras modellerna så snart sådana data föreligger. För utsjömodellen har metodiken för tillförsel (inkluderade deposition på isen under islagda perioder) redan implementerats (Engqvist, 2007), för CDB-modellen har detta principiellt lösts och manifesterats i en tidigare modellstudie (Engqvist, 1996).

Utökad artikulation av den horisontella upplösningen

Östersjömodellen är mogen för att nyttiggöra den förbättrade upplösning som redan finns tillgänglig. Det ökade numeriska arbetet och dubblerat omfång för ZTS-filer bedöms kunna hanteras av den utökade dator- och kommunikationskapaciteten sedan nuvarande versioner formulerades. Vinsten är förbättrad upplösning av mesoskaliga kustprocesser (Engqvist & Andrejev, 2007). Även upplösningen för utsjö-modellen **Arc3D** borde genomföras så att den blir i paritet med den upplösning som BEVIS-modellen utformats med, d.v.s. med en sidlängd av en kvarts i stället för en halv distansminut. Motsvarande förbättring för **CouBa**-modellen är att parametrisera det graderade vattenutbytet i öanhopningar eller s.k. subarkipelager av typ Yxlöområdet eller öarna omkring Skagsfjärden. Detta lämpar sig dock mer som en renodlad akademisk forskningsuppgift.

Två-vägs utbyte med utsjömodellen

I dagsläget tar CDB-modellen in närsaltsdata från utsjömodellen, men det som lämnar CDB-modellen kommer inte tillbaka till utsjön (Fig. 24). Detta gör att kustområdet inte fungerar som en kopplad enhet. Det skulle innebära en radikalt förbättrad realism om närsaltskällor inom regionen kunde tillåtas gå ut i utsjön för att påverka närsaltsbelastningen även för andra CDB-bassänger inom den sammantagna modelldomänen

utmed Svealandskusten. Ett sådant två-vägsutbyte kan genomföras idag; de principiella och numeriska problemen kan anses lösta. I samband med ett sådant uppdrag bör även utsjömodellen **Arc3D** föras med en sådan närsaltskälldynamik som utvecklats inom BEVIS-projektet för den mesoskaliga AX-modellen. Samtidigt kan vindskjuvnings-effekter som måst utelämnas tillföras modellen. För det barotropa utbytet innebär detta arbete främst att sunden och bassängernas ytrelaterade tyngdpunkter måste koordinatsättas. Tillförande av denna mekanism innebär ett förväntat storskaligt (eddy-)diffusionsliknande utökat vattenutbyte mellan bassängerna.

Användarorienterade utvecklingslinjer

För att öka användarnas nytta av och intresse för användande av detta modellpaket borde datafilshanteringen utformas enklare och de grafiska gränssnitten göras användarvänligare för att minska på behovet av tillgång till expertassistans. Eftersom sådana spörsmål inte har tagits upp tidigare finns det goda möjligheter att tillgodose rimliga krav. Samtliga programmeringsverktyg för analys och presentation (inklusive animeringar) som utvecklats kan också omformas till portabel kod förutsatt att man är beredd att betala för en (1) central licens och det omformningsarbete som krävs. Därefter kan koden exporteras till ett obegränsat antal användare. Inte heller representerar önskemålet att åstadkomma standardiserade fortsättningskörningar för modellår framåt eller tillbaka i tiden några oöverstigligena problem. Uttag från emissionsdatabasen kan göras standardiserade. Oceanografiska gränssnittsdata kan göras tillgängliga likt de som framräknats för åren 1990 t.o.m. 2004 efter överenskommelse. Modellerna kan strömlinjeformas medelst körfiler (s.k. skript) och en viktig synpunkt som måste vägas in är att om ovana personer hanterar skript ovarsamt kan detta leda till svårbemästrade konsekvenser. Erfarenheten från försök till inskolning av rutinerade användare av AX-modellen har inte heller ökat tilltron att detta är den lämpligaste metoden att nyttiggöra dessa modeller. Med standardiserat utdataformat kan i stället användaren överföra analys- och presentationsarbetet till programvara som denna behärskar.

Övriga synpunkter är av mer övergripande karaktär och presenteras i punktform:

- a) Uppehållstidsuppskattningar tillfogas
- b) Tillförsel av sedimentationsprocesser
- c) Tillförsel av syredynamik
- d) Tillförsel av biologiska omvandlingar

Av dessa punkter är a) redan avklarad i form av s.k. Average Age (AvA)-dynamik. Rörande punkt b) kan naturligtvis omgående enkla standardformuleringar med konstanta sedimentationshastigheter läggas till dynamiken. Frågan är hur realistiska sådana formuleringar blir och om inte alternativa formuleringar bör hellre övervägas. Punkt c) är avhängig formuleringen av b) och vidare är c) och d) kopplade till varandra. Om biologer/ekologer kan formulera de dominerande mekanismerna och deras beroende av omvärldsfaktorerna t.ex. temperaturen, kan dessa med stor konfidens även tillföras modellerna i form av kompletterande programkod. Med de krafter som satts i rörelse för att försöka återställa Östersjöns ekologiska balans till ett önskvärt fortvarighetstillstånd som ansetts råda under tidigare stadier inom den dokumenterade närhistorien, har man anledning att förvänta att sådana eftersökta processsamband kommer att kunna formuleras inom en överskådlig framtid.

7. Erkännande av hjälp och stöd

De som har hjälpt till med dataåtkomst och andra stödjande och entusiasmerande tjänster har omnämnts i texten. Dessutom önskar jag framföra mitt varma tack till Lars Gustafsson och Lars Niklasson utan vilkas kunnande om datavärldens intrikata konventioner detta arbete inte hade varit möjligt att slutföra under de hårt pressande tidsramarna. Ett stort tack även till Johanna Mattila som läst detta manus i korrektur och som givit synpunkter och rekommendationer till förbättring av läsbarheten.

8. Referenser

- Andrejev O & Sokolov A (1990)** 3D baroclinic hydrodynamic model and its applications to Skagerrak circulation modelling. 17th Conf. of the Baltic Oceanographers, Proc., 38-46, **23**, 280-287.
- Andrejev, O., Myrberg, K and Lundberg, P. (2004a)** Age and renewal time of water masses in a semi-enclosed basin - application to the Gulf of Finland, *Tellus*, **56A**, 548-558.
- Andrejev, O., Myrberg, K., Alenius, P. and Lundberg, P. (2004b)** Mean circulation and water exchange in the Gulf of Finland - a study based on three-dimensional modelling. *Boreal Env. Res.*, **9**, 1-16.
- Dalziel S B (1992)** Maximal exchange in channels with nonrectangular cross sections. *J. Phys. Oceanogr.*, **22**, 1188-1206.
- Döös K & Engqvist A (2007)** Modelling water mass exchange through a Baltic coastal region with tracers and Lagrangian trajectories. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, **74**, 585-597.
- Engqvist A (1996)** Self-similar multi-layer exchange flow through a contraction. *J. Fluid Mech.* **328**: 49-66
- Engqvist A (1997)** Water exchange estimates derived from forcing for the hydraulically coupled basins surrounding Äspö island and adjacent coastal water. SKB report TR-97-14. 44 pp.
- Engqvist A (1999)** Estimated retention times for a selection of coupled coastal embayments on the Swedish west, east and north coasts. Swedish EPA (NV) report 4910. ISBN 91-620-4910-0. 47 pp.
- Engqvist, A (2001)** Slutrapport till MISTRA-projektet (Dnr 97371). 10 sid.
- Engqvist A (2002)** Grafisk översikt av årsgenomsnittligt vattenutbyte i Stockholms skärgård. SKVVF-rapport. 16 sid.
- Engqvist A (2007)** Den svenska modelleringsinsatsen. I: (T Kohonen & J Mattila, red.) Mesoskaliga vattenkvalitetsmodeller som stöd för beslutsfattande i skärgårdsregionerna Åboland-Åland-Stockholm. Forskningsrapporter från Husö Biologiska Station. No. 118. sid. 20-62.
- Engqvist A & Omstedt A (1992)** Water exchange and density structure in a multy-basin estuary. *Continental Shelf Res.*, **12**, 1003-1026.
- Engqvist A & Andrejev O (1999)** Water exchange of Öregrundsgrepen. A baroclinic 3D-model study. SKB report TR-99-11. 59 pp.
- Engqvist A & Andrejev O (2000)** Sensitivity analysis with regard to variations of physical forcing including two possible future hydrographic regimes for the Öregrundsgrepen. A follow-up baroclinic 3D-model study. SKB report TR-00-01. 44 pp.
- Engqvist A & Andrejev O (2003)** Water exchange of the Stockholm archipelago - A cascade framework modelling approach. *J. Sea Res.*, **49**, 275-294.
- Engqvist A & Stenström P (2004)** Archipelago Strait Exchange Processes – An overview. *Deep Sea Research II*, **51**, 371-392.

- Engqvist A, Döös K & Andrejev O (2006)** Modeling water exchange and contaminant transport through a Baltic coastal region. *AMBIO*, **XXXV**(8), 435-447.
- Engqvist A & Andrejev O (2007)** Validation of two nested 3D-models against costal oceanographical near-shore measurement data assessed at the Forsmark area during a whole-year cycle starting April 2004. SKB report TR-07-XX, under tryckn.
- Engqvist A & Stenström P (2008)** Flow regimes and long-term water exchange of the Himmerfjärden estuary. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, under tryckn.
- Gill A (1986)** Atmosphere and ocean dynamics. Academic Press. NY. 662 pp.
- Graham L P (1999)** Modeling runoff to the Baltic Sea. *Ambio* **28**, 328-334.
- Lager K (2001)** Analys av ADCP-mätningar i relation till strömningsdrivande omvärldsfaktorer i Stockholms skärgård. Examensarbete vid avd. för Vattenbyggnad, KTH. 22 sid.
- Liljergren, A (2005)** Övervakning av luftföroreningar I Stockholms län. Rapport från IVL Svenska Miljöinstitutet AB. 38 sid.
- Omstedt A, Elken J, Lehman A & Piechura J (2003)** Baltex Phase I, 1993-2002, State of the art Report, Chapter 3. sid. 22.
- Sokolov A, Andrejev O, Wulff F & Rodriguez-Medina M (1997)** The data assimilation system for data analysis in the Baltic Sea. *Systems Ecology contributions* No. 3. 66 pp.
- Stigebrandt A (1985)** A model for the seasonal pycnocline rotating system with application to the Baltic proper. *J. Phys. Oceanogr.*, **15**, 1392-1402.
- Stigebrandt A (1990)** On the response of horizontal mean vertical density distribution in a fjord to low-frequency density fluctuations in the coastal water. *Tellus* , **42A**, 605-614.

Tabell 1. Översikt av de tre ingående kustmodellerna med aktuella parametrar angivna. Notera de två särskiljbara modelltyperna '3D' resp. 'CDB' samt benämningen av de program som redogörs för och som direkt anger om de tillhör den första kategorin.

	Modell- typ	Program- namn	Aktuell version	Horisontell upplösning [distans- minuter]	Vertikal upplösning antal lager	Antal gridceller		Antal	
						öst- väst	nord- syd	Bas- sänger	sund
Östersjömodell	3D	bAS3D	1tG	2	40	316	363	-	-
Utsjömodell	3D	Arc3D	4e4	0.5	40	225	293	-	-
Inomskärsmo- dell	CDB	CouBa	4g3	-	100-200 lager	-	-	110	180

Tabell 2. Avrinningsdata för Östersjömodellen **bAS3D**. Tabellen visar medeltillrinningen för de angivna vattendragen medelvärdesbildade under två decennier 1975 t.o.m. 1995. Dessa medelvärden har proportionerats under simuleringsperioden 1990 t.o.m. 2004 så att totaltillrinningen överensstämmer med bästa tillgängliga uppskattningar. Plustecken anger att några omkringliggande vattendrag inkluderats. Beteckningen 'Danmark' sammanfattar alla bidragen från detta landområde.

Namn	Månader												Medel
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	
Kymijoki	201	167	148	191	1874	1784	1077	876	752	636	415	273	699
Oulu	424	415	391	368	819	800	687	682	608	503	446	424	547
Kemi	85	78	76	138	706	549	394	326	278	240	169	107	262
Kokemäki	154	153	145	177	397	222	214	209	189	182	177	158	198
Kalix	299	287	259	321	986	1073	704	607	511	466	400	325	520
Lule	37	35	33	82	324	123	72	74	75	85	74	48	88
Pite	460	474	441	439	791	678	501	460	432	458	479	462	506
Skelefte	506	509	484	536	1088	890	575	545	558	590	570	516	614
Ume+	182	183	184	264	658	350	241	247	267	257	233	199	272
Vindel	339	347	367	506	735	450	327	364	396	409	410	367	418
Ångerman	205	199	230	366	333	145	85	91	115	118	181	227	191
Indal	280	278	317	431	359	199	131	125	133	149	211	263	240
Ljungan+	1340	1335	1318	1358	935	622	492	609	748	926	1178	1337	1016
Dalälven	432	424	400	309	203	150	137	146	167	225	315	407	276
Norrstr	460	473	477	853	624	419	369	360	398	475	577	508	499
Svartån	458	454	460	1136	981	422	320	352	410	540	672	587	566
Neva	422	422	389	591	963	402	267	364	397	454	496	472	470
Narva	488	476	397	595	2720	1316	693	608	717	815	674	550	837
Est_riv	641	731	849	862	693	558	503	496	449	443	504	598	611
Daugava	1018	1194	1623	1967	1295	1095	962	934	753	822	945	1051	1138
Pärnu	198	231	291	267	262	265	162	147	146	136	140	133	198
Vistula	1599	1623	1829	2615	3059	3073	2966	2876	2793	2739	2565	1873	2468
Venta	347	331	382	1128	936	546	431	405	418	469	520	430	529
Neman	128	80	120	452	192	57	45	62	111	168	217	202	153
Pregel	526	418	690	3072	1635	608	434	432	501	641	736	628	860
Odra	108	71	113	406	172	56	51	63	110	153	186	170	138
Rugen	161	137	255	446	121	57	54	69	102	152	221	260	170
GötaÄlv	487	534	890	1517	743	480	396	415	402	491	604	579	628
Danmark	182	190	257	302	133	79	87	86	98	128	167	200	159

Tabell 3. Avrinningsdata för år inom modellområdet. De som faller inom den markerade ramen ingår i CDB-modellen. De som är utanför men används i utsjömodellen (**Arc3D**) har markerats med kryss i avsedd kolumn. Data härrör från Länsstyrelserna i AB, C, D samt X-län, men har ursprungligen beräknats av SMHI. För Buskån finns inga data men tillrinningen har uppskattats genom att proportionera i förhållande till avrinningsområdenas storlek med tillrinningen för Marsviken.

Flödesdata 1990-2004	Qf AcronymData-		Tids- Upplösn.	3D- Model	Mynnar i	
	IDnr	ID			Källa	IDnr
Testeboån		SMHI	månad		-	Yttrefjd
Gavleån		SMHI	månad		-	Yttrefjd
Dalälven		SMHI	månad	X	-	Skutskärsfjärden
Tämnaån	1	TÄMNA	Som 3		B096	Karlholmsfjd
Strömarån	2	STRÖM	PULS	vecka	B096	Karlholmsfjd
Forsmarksån	3	FORSM	PULS	vecka	X B095	Kallrigafjd
Olandsån	4	OLAND	PULS	vecka	X B095	Kallrigafjd
Tulkaströmmen	5	TULKA	PULS	vecka	B092	Edeboviken
Skeboån	6	SKEBO	PULS	vecka	B092	Edeboviken
Bodaån	7	BODAÅ	PULS	vecka	B104	Björköfjd
Broströmmen	8	BROST	PULS	vecka	B106	Norrtäljeviken
Norrtäljeån	9	NORRT	PULS	vecka	X B106	Norrtäljeviken
Penningbyån	10	PENNI	PULS	vecka	B034	Ylxaområdet
Bergshamraån	11	BERGS	PULS	vecka	B058	Bergshamraviken
Åkerströmmen	12	ÅKERS	PULS	vecka	X B018	Trälhavet
Norrström	13	NORRS	PULS	vecka	X B001	Sthlms ström
Tyresån	14	TYRES	PULS	vecka	B054	Kalvfjd
Åvaån	15	ÅVAÅN	Som 16		B054	Kalvfjd
Vitsån	16	VITSÅ	PULS	vecka	B046	Horsfjd
Muskån	17	MUSKÅ	PULS	vecka	B046	Horsfjd
Kagghamraån	18	KAGGH	Som 20		B074	N Kaggfjd
Fitunaån	19	FITUN	PULS	vecka	B073	S Kaggfjd
Moraån	20	MORAÅ	PULS	vecka	B075	Stafsbofjd
Mälarens utflöde (Maren)	21	MÄLAR	SVAB	dygn	B077	N Hallsfjd
Kvarnbäcken	22	KVARN	Som 16		B086	Nynäsviken
Trosaån	23	TROSA	PULS	vecka	B079	Trosafjd
Kilaån	24	KILAÅ	PULS	vecka	B087	Stadsfjärden
Nyköpingsån	25	NYKÖP	PULS	vecka	X B087	Stadsfjärden
Sjösaån (=Svärtaån)	26	SJÖSA	PULS	vecka	B089	Sjösafjd
Buskån	27	BUSKÅ	Som 25		B084	Marsviken
Motala ström			månad	X	-	Inre Bråviken

Tabell 4. Avrinningsdatafiler för samtliga 50 st. 'våta' närsaltskällor som tillförs tillbassänger inom **CDB**-modellområdet. Närsaltsdata har sammanställts av Systemekologiska institutionen. Flödesdata härrör från Länsstyrelserna i AB, C, D samt X-län, men har ursprungligen beräknats av SMHI. Ytterligare nio källor från samma databas faller inom 3D-modellområdet.

no	Kategori	Filnamn	BasinID	Fjärdnamn
1	RIV	Tämna_QX_1d_9004b.txt	B096	Karholmsfjd
2	RIV	Ström_QX_1d_9004b.txt	B096	Karholmsfjd
3	RIV	Forsm_QX_1d_9004b.txt	B095	Kallrigafjd
4	RIV	Oland_QX_1d_9004b.txt	B095	Kallrigafjd
5	RIV	Tulka_QX_1d_9004b.txt	B092	Edeboviken
6	RIV	Skebo_QX_1d_9004b.txt	B092	Edeboviken
7	RIV	Bodaå_QX_1d_9004b.txt	B104	Björköfjd
8	RIV	Brost_QX_1d_9004b.txt	B106	Norrtäljeviken
9	RIV	Norrt_QX_1d_9004b.txt	B106	Norrtäljeviken
10	RIV	Penni_QX_1d_9004b.txt	B034	Yxlaomr
11	RIV	Bergs_QX_1d_9004b.txt	B058	Våmfjd
12	RIV	Åkers_QX_1d_9004b.txt	B018	Trälhavet
13	RIV	Norrs_QX_1d_9004b.txt	B001	Strömmen
14	RIV	Tyres_QX_1d_9004b.txt	B054	Kalvfjd
15	RIV	Åvaån_QX_1d_9004b.txt	B054	Kalvfjd
16	RIV	Vitså_QX_1d_9004b.txt	B046	Horsfjd
17	RIV	Muskå_QX_1d_9004b.txt	B046	Horsfjd
18	RIV	Kaggh_QX_1d_9004b.txt	B074	N. Kaggfjd
19	RIV	Fitun_QX_1d_9004b.txt	B073	Kaggfjd
20	RIV	Moraå_QX_1d_9004b.txt	B075	Stavbofjd
21	RIV	Mälar_QX_1d_9004b.txt	B078	N. Hallsfjd
22	RIV	Kvarn_QX_1d_9004b.txt	B086	Nynäsviken
23	RIV	Trosa_QX_1d_9004b.txt	B079	Trosafjd
24	RIV	Kilaå_QX_1d_9004b.txt	B087	Stadsfjd
25	RIV	Nyköp_QX_1d_9004b.txt	B087	Stadsfjd
26	RIV	Sjösa_QX_1d_9004b.txt	B089	Sjösafjd
27	RIV	Buskå_QX_1d_9004b.txt	B084	Marsviken
28	STP	Almst_QA_1d_9004a.dat	B099	Ortalaviken
29	STP	Bromm_QA_1d_9004a.dat	B001	Strömmen
30	STP	Halls_QA_1d_9004a.dat	B092	Edeboviken
31	STP	Henri_QA_1d_9004a.dat	B001	Strömmen
32	STP	Himme_QA_1d_9004a.dat	B072	Himmerfjd
33	STP	Käppa_QA_1d_9004a.dat	B005	Askrikefjd
34	STP	Karlh_QA_1d_9004a.dat	B096	Karholmsfjd
35	STP	Lindh_QA_1d_9004a.dat	B106	Norrtäljeviken
36	STP	Loudd_QA_1d_9004a.dat	B002	Fjäderholmsomr
37	STP	Nykop_QA_1d_9004a.dat	B087	Stadsfjd
38	STP	Nynas_QA_1d_9004a.dat	B047	Mysingen
39	STP	Ostha_QA_1d_9004a.dat	B103	Östhammarsfjd
40	STP	Trosa_QA_1d_9004a.dat	B079	Trosafjd
41	FIF	Fogdö_QF_1d_9004a.dat	B101	Singöfjd
42	FIF	Åkers_QF_1d_9004a.dat	B032	Norrfjd_mid
43	FIF	Åland_QF_1d_9004a.dat	B110	Tjocköfjd
44	IND	Astra_QI_1d_9004a.dat	B078	N_Hallsfjd
45	IND	Halls_QI_1d_9004a.dat	B092	Edeboviken
46	IND	Idbäc_QI_1d_9004a.dat	B087	Stadsfjd
47	IND	Karli_QI_1d_9004a.dat	B096	Karholmsfjd
48	IND	Nynäs_QI_1d_9004a.dat	B047	Mysingen
49	WET	Nynas_QW_1d_9004a.txt	B047	Mysingen
50	WET	Trosa_QW_1d_9004a.txt	B079	Trosafjd

Tabell 5. Belastning i form av 11 mindre kustförlagda reningsverk ur SMED-databasen som direkt kan kopplas till **CDB**-delområden. Endast ett av dessa utsläpp tillkommer 3D-modellområdet för utsjön. Endast årsbelastningsuppskattningar föreligger.

Modell	TP belastn.	TN belastn.	
Bassäng	[kg/a]	[kg/a]	Namn
8	140	19000	Norra Vaxholmsfjärden
9	357	19000	Torsbyfjärden
10	25	1924	Solöfjärden
10	43	3274	Solöfjärden
20	24	1997	Östra Saxarfjärden
29	32	4617	Kanholmsfjärden
36	6	592	Skatfjd
37	151	15879	Baggensfjärden
41	345	2456	Nändöfjärden
47	690	462	Mysingen
47	13	1023	Mysingen
3D	35	2885	Utsjö

Tabell 6. Förteckning av de 44 randsunden som förbinder de (under kolumnen 'från') angivna modellbassängerna med de (under kolumnen 'till') 40 externa randbassängerna, vars fysiska oceanografiska data beräknats av utsjömodellen. Fyra av dessa randsund har gemensamma randbassänger. Maxdjupet för dessa gränssnittssund är 53 m, vilket uppnås för Jungfrufjärden. Motsvarande datakällor med avseende på den externa närsaltsdrivningen anges i den sista kolumnen.

	SundID	från Bassängnamn	BassängIDnr	till Randbassäng	max djup [m]	Randområde m.a.p. närsalter
1	S161	Karholmsfjd	96	Rand_Basin-1	7	Norra
2	S160	Kallrigafjd	95	Rand_Basin-2	7	Norra
3	S159	Ängsfjd	102	Rand_Basin-3	11	Norra
4	S158	Ängsfjd	102	Rand_Basin-4	4	Norra
5	S157	Norrfd_norr	98	Rand_Basin-5	7	Norra
6	S156	Singöfjd	101	Rand_Basin-6	11	Norra
7	S155	N_Lidöfjd	105	Rand_Basin-7	21	Mellersta
8	S154	N_Lidöfjd	105	Rand_Basin-8	27	Mellersta
9	S152	Tjocköfjd	110	Rand_Basin-9	21	Mellersta
10	S153	N_Lidöfjd	105	Rand_Basin-9	27	Mellersta
11	S151	Tjocköfjd	110	Rand_Basin-10	39	Mellersta
12	S150	Långfjd	109	Rand_Basin-11	4	Mellersta
13	S042	Yxlaomr	34	Rand_Basin-12	11	Mellersta
14	S041	Blidösund	33	Rand_Basin-13	16	Mellersta
15	S044	Skatfjd	36	Rand_Basin-14	16	Mellersta
16	S012	Edö-Örsöfjd	22	Rand_Basin-15	7	Mellersta
17	S017	Träsköfjd3	25	Rand_Basin-15	20	Mellersta
18	S092	Gälnan	35	Rand_Basin-15	15	Mellersta
19	S037	Möja_Västerfjd	31	Rand_Basin-16	32	Mellersta
20	S031	Möja_Söderfjd	30	Rand_Basin-17	27	Mellersta
21	S030	Möja_Söderfjd	30	Rand_Basin-18	4	Mellersta
22	S029	Kanholmsfjd	29	Rand_Basin-19	7	Mellersta
23	S028	N_Nämdöfjd3	48	Rand_Basin-20	51	Mellersta
24	S112	Nämdöfjd	41	Rand_Basin-21	7	Mellersta
25	S062	Kalkkobbsfjd	44	Rand_Basin-22	21	Mellersta
26	S102	Nämdöfjd	41	Rand_Basin-23	3	Mellersta
27	S056	Jungfrufjd	43	Rand_Basin-24	53	Mellersta
28	S057	Jungfrufjd	43	Rand_Basin-25	51	Mellersta
29	S067	Mysingen	47	Rand_Basin-26	7	Södra
30	S066	Mysingen	47	Rand_Basin-27	4	Södra
31	S065	Mysingen	47	Rand_Basin-28	51	Södra
32	S144	Gårdsfjd	81	Rand_Basin-29	33	Södra
33	S143	Dragfjd	88	Rand_Basin-30	21	Södra
34	S113	Asköfjd	64	Rand_Basin-31	21	Södra
35	S114	S_Svärdsfjd	65	Rand_Basin-31	3	Södra
36	S115	Fifångsdjupet	67	Rand_Basin-32	5	Södra
37	S142	Hällsviken	82	Rand_Basin-33	30	Södra
38	S140	Tvären	90	Rand_Basin-34	11	Södra
39	S139	Ringsöfjd	91	Rand_Basin-35	7	Södra
40	S138	Ringsöfjd	91	Rand_Basin-36	4	Södra
41	S137	Kräkfjd	83	Rand_Basin-37	12	Södra
42	S136	Sjösafjd	89	Rand_Basin-38	4	Södra
43	S135	Aspafjd	80	Rand_Basin-39	14	Södra
44	S134	Marsviken	84	Rand_Basin-40	7	Södra

Tabell 7. Översikt av vid vilket år tillförseln av avancerade modellegenskaper ägt rum. Egenskaper som ej är tillämpliga har markerats med '-' och sådana som kan och bör implementeras vid fortsatt utveckling har markerats med '+'.

	Svealandskustens modellensemble		
	bAS3D	Arc3D	CouBa
Inlagringsnivå för utsläppsplymer (reningsverk)	-	-	2004
Griddning och batymetri baserade på GIS-data	-	2004	2005
Assimilation av S-&T mätdata	2006	-	-
Belastningsdata från databas	-	+	2006
Isdata systematiskt baserade på observationer	-	+	2006
Ytvattentemp. systematiskt baserade på mätdata	-	-	2006
Mueller-/Mesan-väderdata alt. format	2005	2005	2007
Närsaltsbelastning via modellränderna	-	+	2007
Närsaltsbelastning med separata källkategorier	-	+	2007
Extraktion av valideringsdata och jämförelse	-	-	2007
Geografiskt uppelade belastningskoefficienter	-	-	2007

Figurbilaga till slutrapport: Modellering av Svealandskusten skärgårdsområden och dess närsaltsbelastning - ett BEVIS-delprojektet.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Orefjärden	Hallsfjärden	Sth inre skg	Vaxholms omg.	BG	Aspöfjärden	Trälhavet	Östergöt. skg	Himmerfjärden	Ångermanfj.	Yxlömrådet
	1 bassäng	2 bassänger	8 bassänger	9 bassänger	14 bassänger	5 bassänger	14 bassänger	18 bassänger	12 bassänger	11 bassänger	10 bassänger
	1 sund	2 sund	11 sund	15 sund	19 sund	7 sund	19 sund	25 sund	16 sund	13 sund	14 sund
	1 år	1 år	5 år	1 år	1 år	1 år	1 år	12 år	16 år	3 år	1 år
	2	4	95	24	33	12	33	516	448	72	24
Dec92	(SAL)ORE1										
Dec93	OREO (Dec93)	OREO (Dec93)									
Oct94		HAL10 (Okt'94)									
Oct94		HAL40 (Okt'94)									
Nov94			ARC10 (Nov94)								
Aug95			ARC49 (Aug'95)	ARC49 (Aug'95)							
Apr96											
May96			VAX20 (Maj'96)	VAX20 (Maj'96)							
Jul96			ARC50 (Jul'96)								
Aug96			ARC66 (Aug'96)	>	ARC66 (aug'96)	>	>	ARC66 (aug'96)			
Nov96					BEG0 (Nov96)						
Jan97					BEG27 (Jan97)	BEG27 (Jan97)	BEG23 (Jan97)				
Feb97					GAM27 (Feb97)						
Jun97						SKB23 (Jun97)					
Aug97						SKB28 (Aug97)	V				
Dec97							TRE23 (Dec97)				
Dec97							TRE32 (Dec97)	V			
Feb98								ARK68 (Feb'98)			
May98					ORG28 (May'98)						
Aug98								ARK111 (Aug'98)	ARK111 (Aug'98)		
Oct98									HFJ112 (Okt'98)		
Nov98									HFJ125 (Nov'98)	HFJ125 (Nov'98)	
Jan99										ANG126 (Jan99)	
Apr99										ANG140 (Apr99)	ANG140 (Apr99)
Jul99										V	YXL140 (Jul99)
Sep98										V	ANG143 (SEP99)
Oct99											YXL160 (Aug99)
Nov99			ARC68 (Nov99)						HFJ126 (Oct99)		
Feb00									HFJ1129 (Nov'99)		
Apr00									HFJ137 (Feb00)		
									HFJ148 (Apr00)		

Fig. 1 Sammanställning av den drygt decennielånga utvecklingen av elva CDB-modeller med start 1990 och fram till 2000 då övergången påbörjades från fasta lagertjocklekar till sådana med varierande lagertjocklek som bestäms av den vertikala positionen. En annan väsentlig och intensiv utvecklingsperiod ägde rum under BG (BedömningsGrunder)-projektet då uppehållstider för en stor del av den svenska kustens delbassänger beräknades på ett rationellt och så likartat sätt som det föreliggande dataunderlaget medgav (Engqvist, 1999).

Modellering av Svealandskusten

(planeringsstatus per 071111/AE)

Ekologiska Empiriska Relationer:

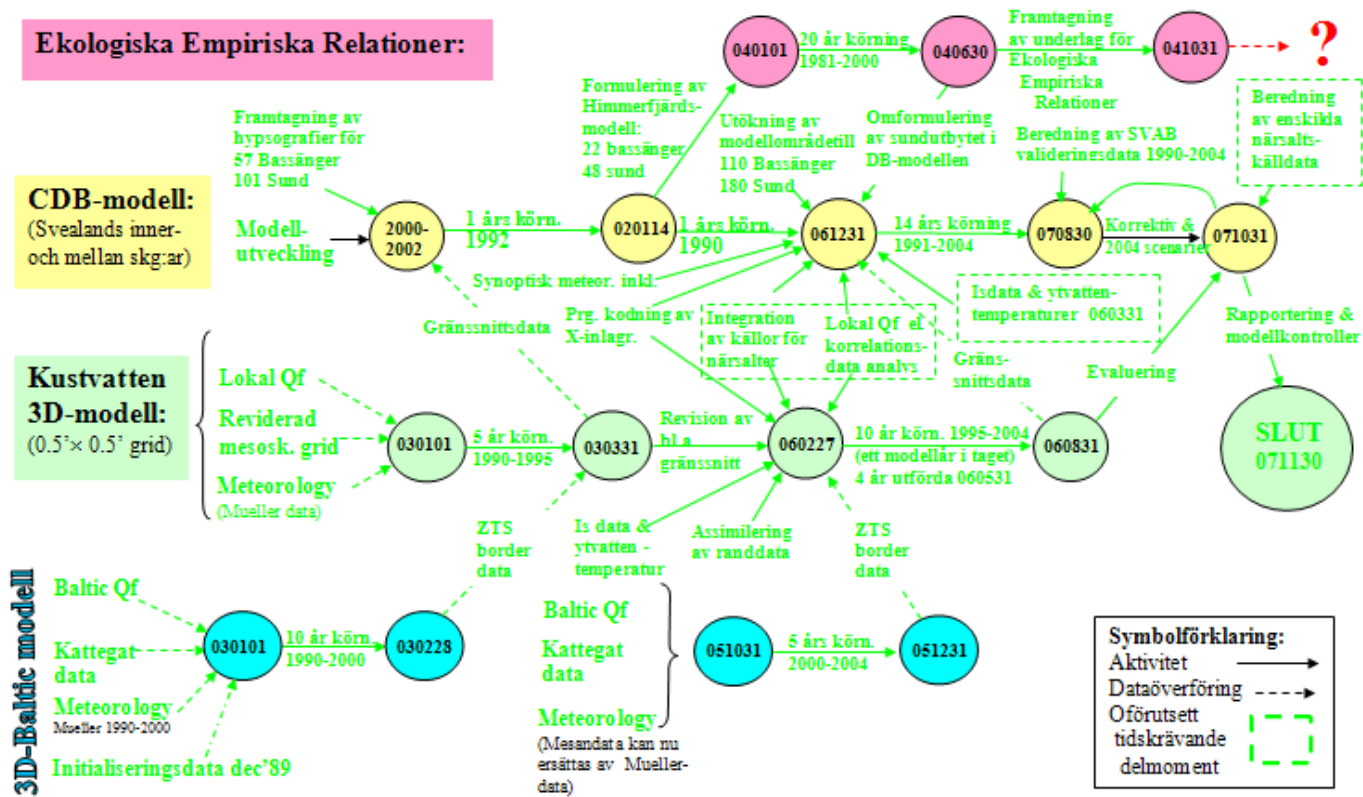


Fig. 2 Grafisk framställning av hur den svenska modelleringsverksamheten har fortskridit. Cirklarna avser uppnådda delatapper och pilarna aktiviteter. Den datamässiga kopplingen mellan de olika modellerna har angivits med streckade pilar som ritas med grön färg för avklarade aktiviteter.

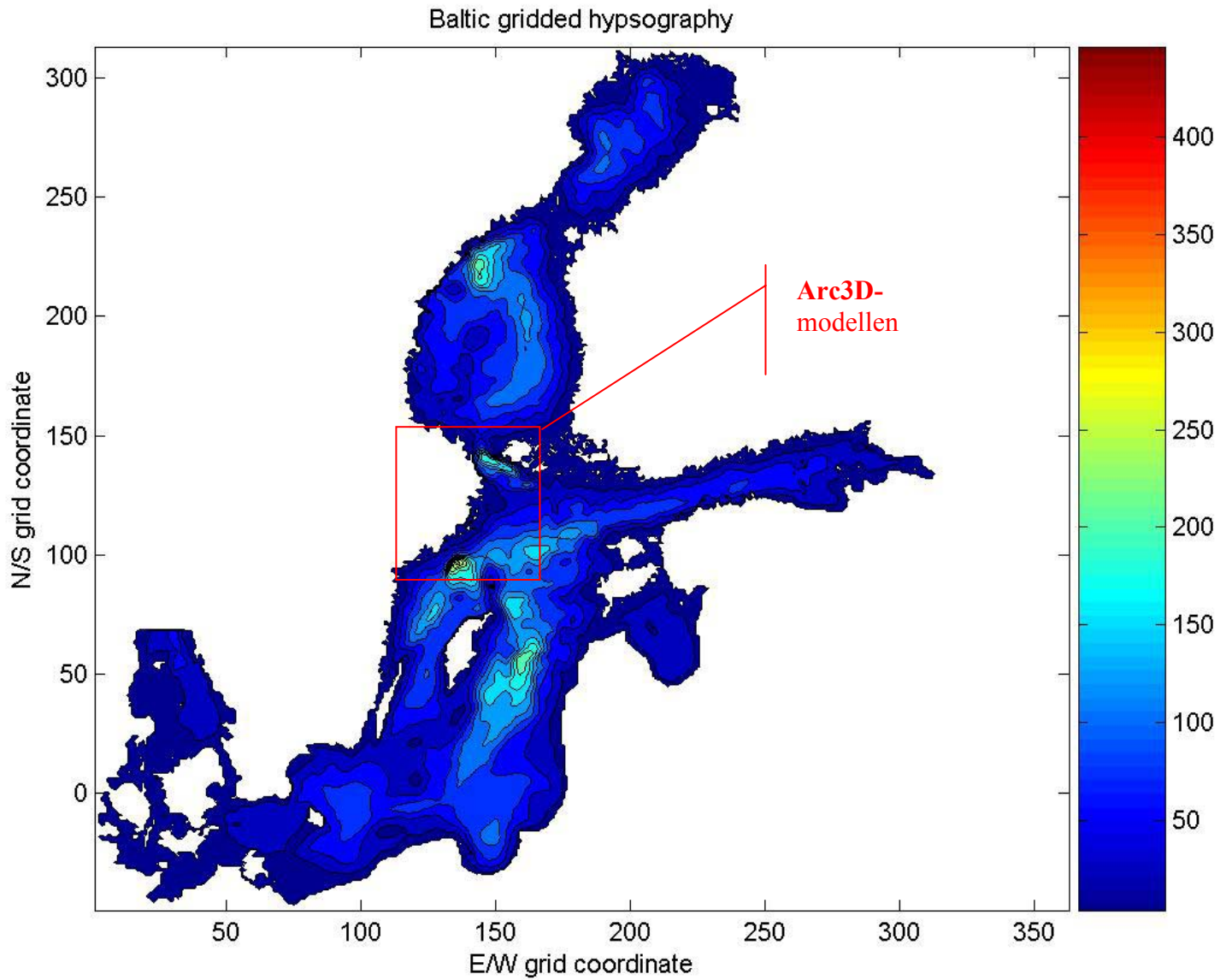


Fig. 3 Östersjögriddan med griddkoordinaterna (316×363 gridceller) angivna liksom Arc3D-modelldomänen över Svealandskustens utsjö vars ungefärliga position markerats med en röd rektangel.

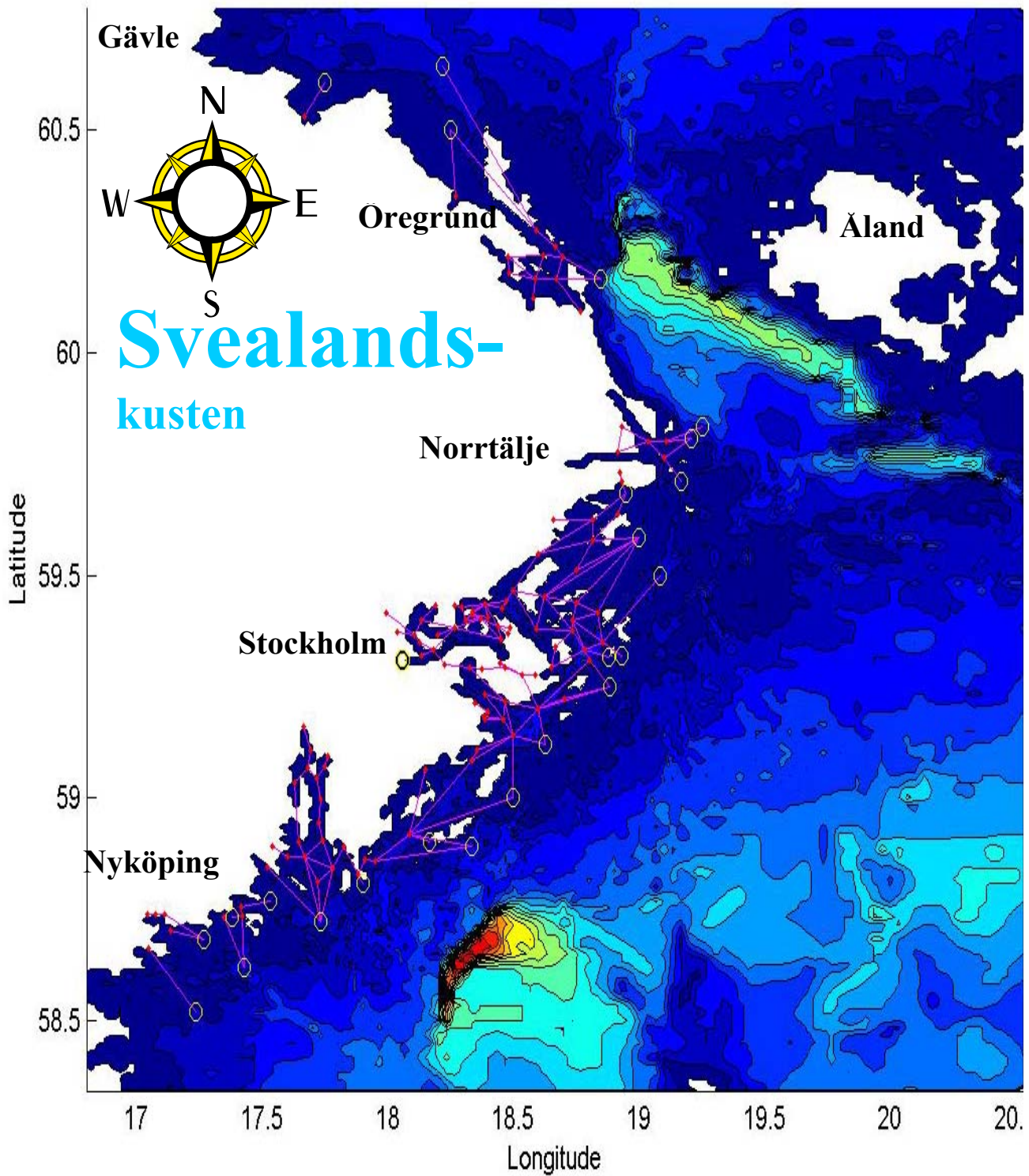


Fig. 4 Hela det utökade utsjömodellområdet (225×293 gridceller) från Bråvikens mynningsområde i söder till Gävlebukten i norr med några mellanliggande geografiska referenser angivna. Av numeriska skäl har såväl Landsortsdjupet som djuphålan mellan Svealandskusten och Åland förlagts inom modellområdet, därför att ha dessa på eller alltför nära ränderna innebär oönskade numeriska förvecklingar.

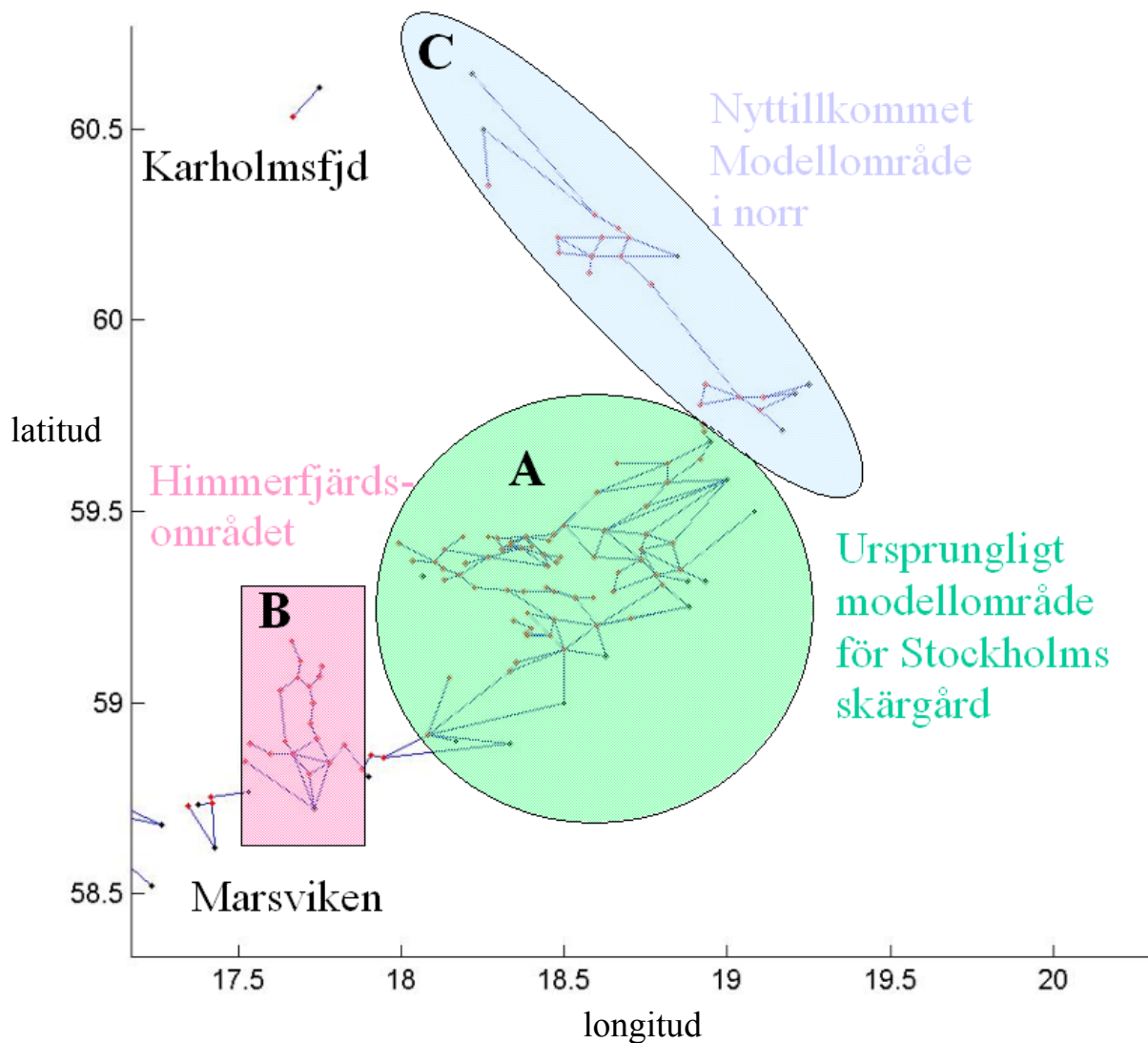


Fig. 5 Utvidgningen av det ursprungliga modellområdet (A) innebar att Himmerfjärdsområdet (B) inkluderades tillsammans med söderliggande fjärdar t.ex. Nyköpingsområdet. Slutligen tillfördes även bassängen norr om Stockholms skärgård fr.o.m. Nortäljeviken (C). Dessa områdesbokstäver sammanfaller i stort med motsvarande länsavgränsningar.

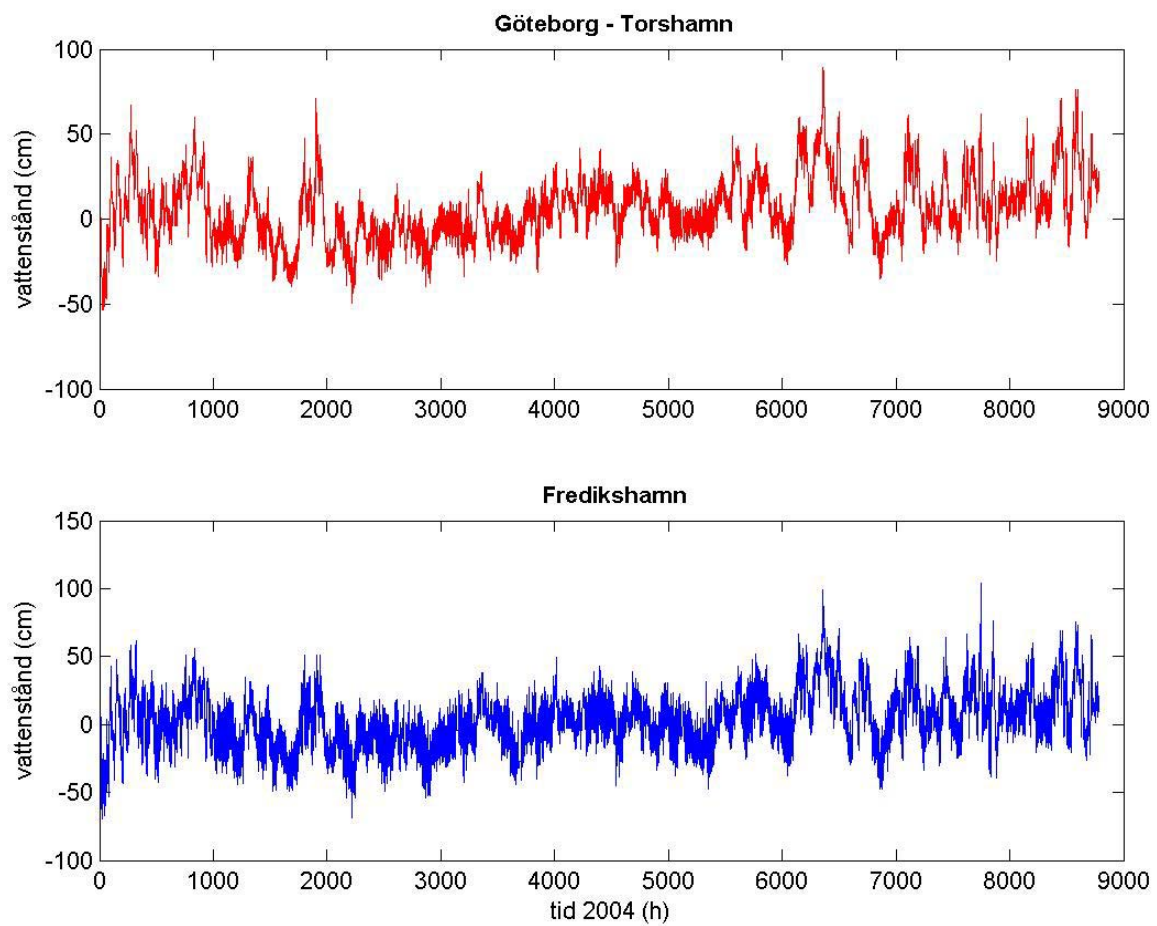


Fig. 6 Vattenstånden i modellens randsnitt mot Skagerack under modellperiodens slutår 2004. Samvariationen mellan dessa data är synbarligen hög men det är de små avvikelserna som avgör den geostrofiska balansen för hur utbytet över detta snitt gestaltar sig.

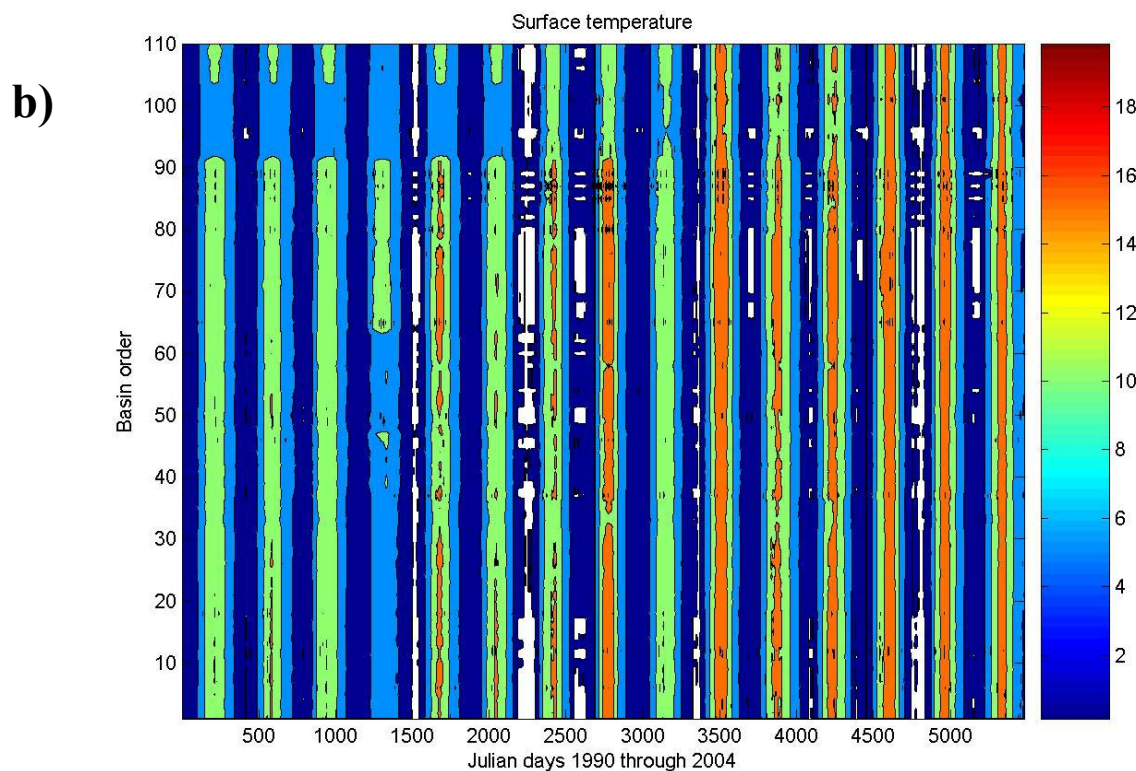
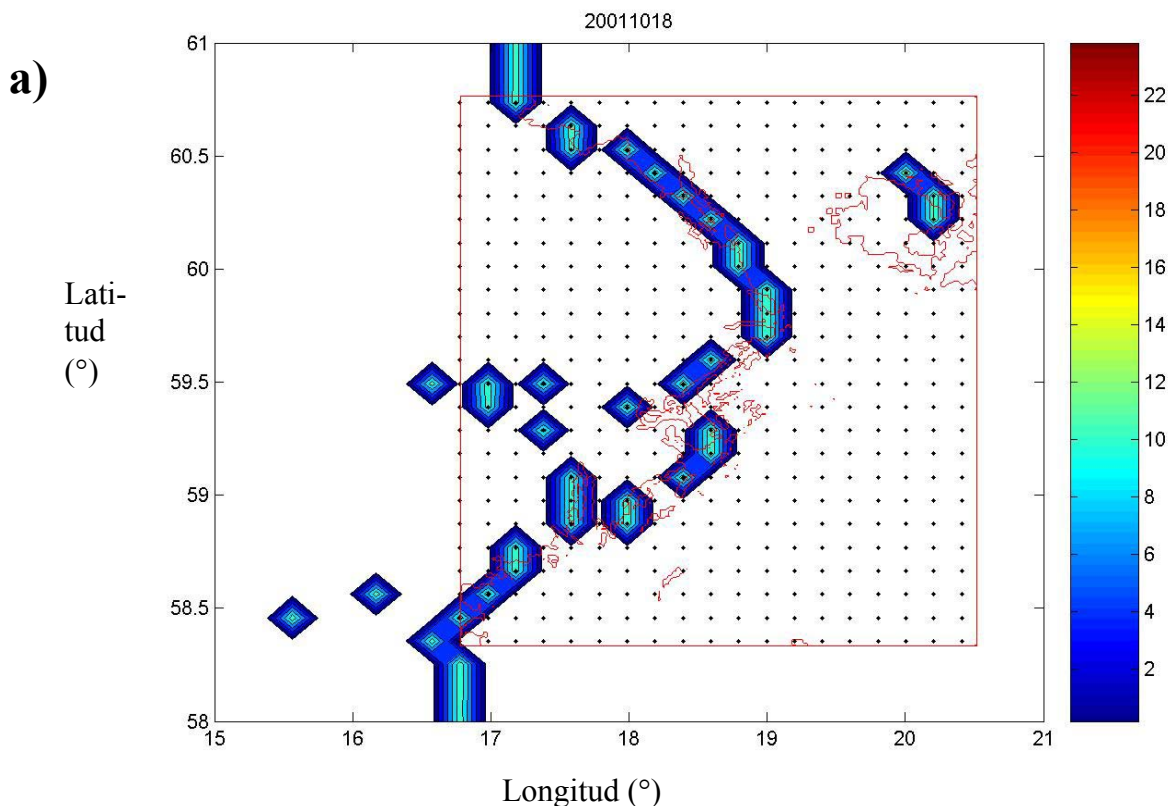


Fig. 7a) Exempel på isdata rörande observationer 2001-10-18 erhållna från SMHI och Sjöfartsverket. Griddnätet visar upplösningen med kustkonturerna i rött.

7b) Sammanställning av ytvattentemperaturdata interpolerade från samtliga data i databanken och motsvarande uppgifter från isstatistiken som främst avser mätningar kring tiden för isläggning och islossning. Den vertikala axeln utgörs av bassängernas ordningsnummer så att de nedersta 57 avser A-området i Fig. 5, medan de däpå följande 30 utgör B-området och de översta 20 ungefär motsvarar C-området. Den kalla vintern 95/96 syns tydligt liksom de gradvis allt varmare sommartemperaturerna.

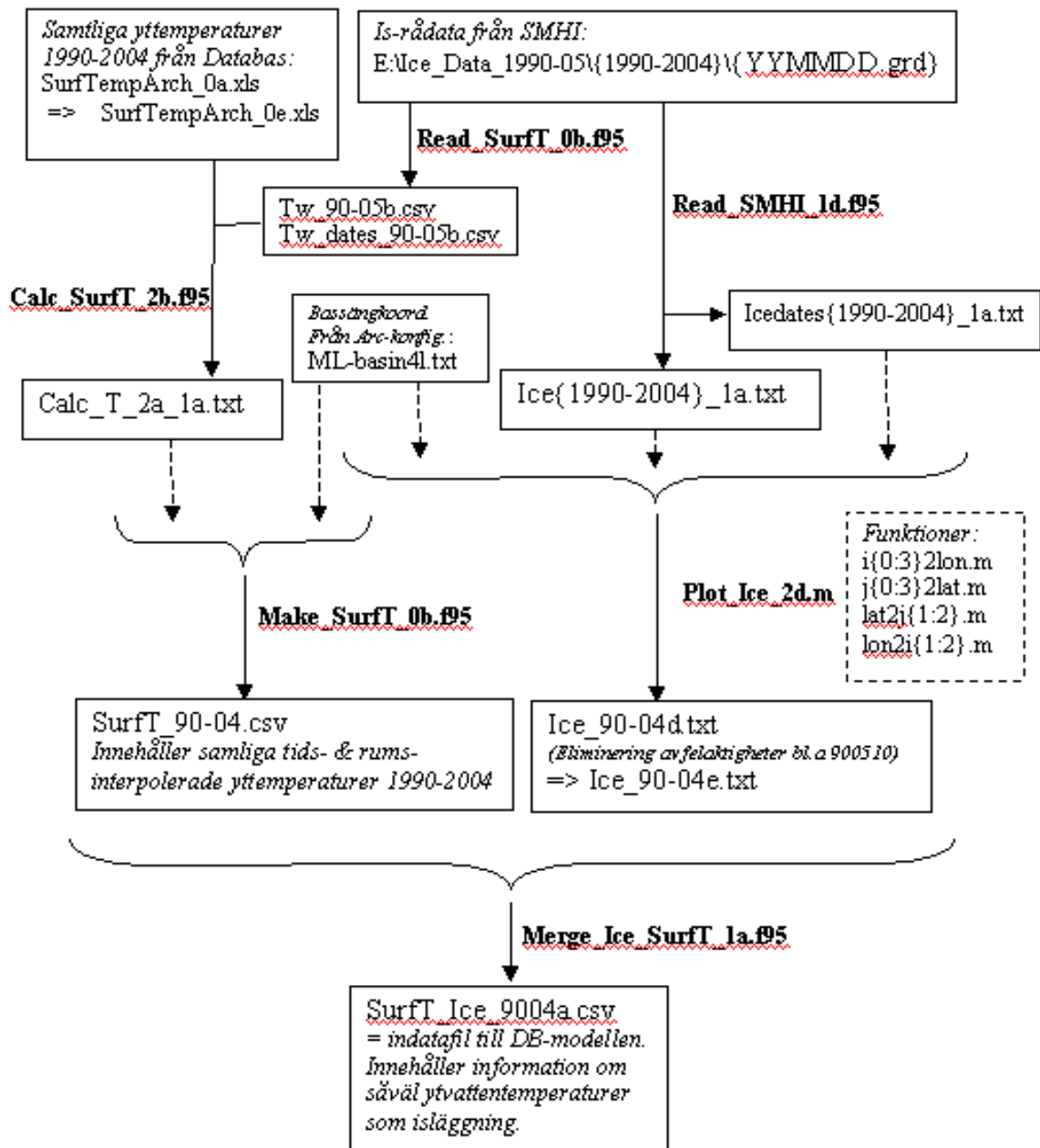


Fig. 8 Beräkningsschema för att åstadkomma ytvattentemperaturer för samtliga delbassänger samt den tillförda nödvändiga informationen om isläggningsperioderna utgående från erhållna rådata från SMHI och Sjöfartsverket. Heldragna pilar motsvarar databehandling med de i **fet stil** angivna programmen, streckade pilar motsvarar dataöverföring.

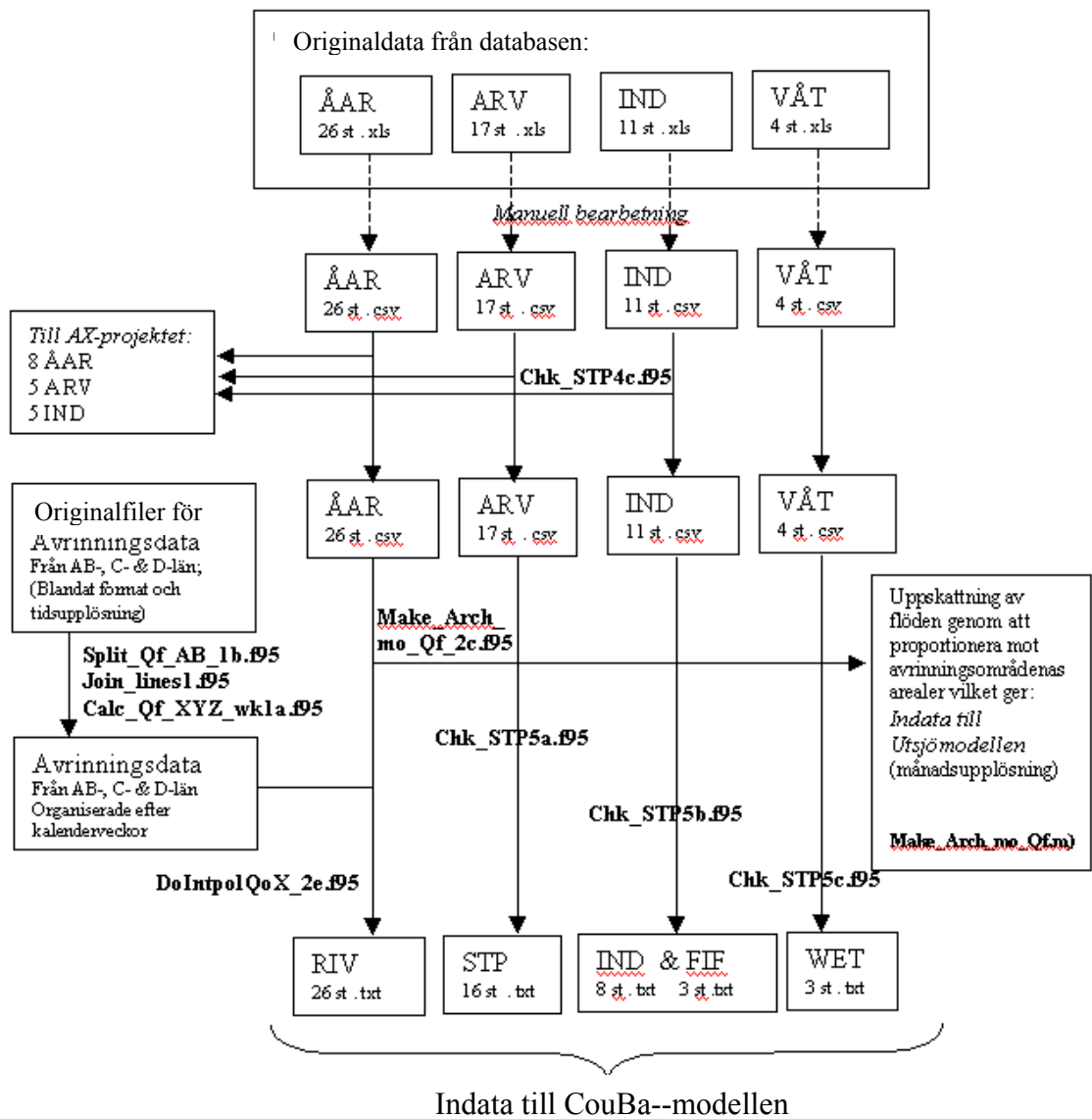


Fig. 9 Beräkningsschema för att extrahera formaterade datafiler för såväl avrinnigen som sammanhörande koncentrationer för kategorierna år, reningsverk (ARV resp. STP), industrier inkluderande fiskodlingar (tre stycken) samt våtmarker. Några av dessa visar sig falla utanför CDB-modellområdet.

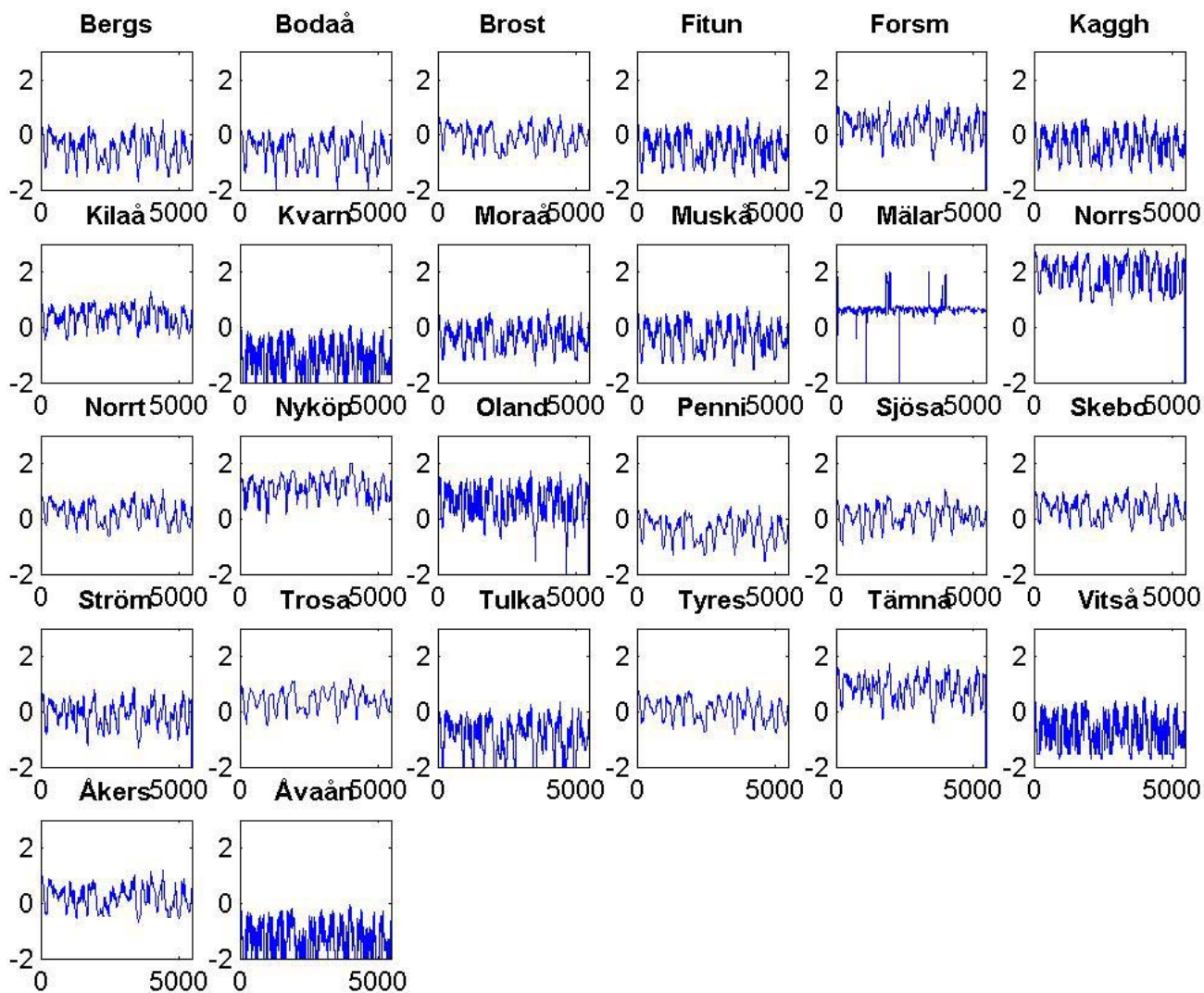


Fig. 10 Översikt av avrinningsdata för CDB-modellen med vattendragsförkortningarna angivna enligt Tabell 3. Den horisontella axeln motsvarar kalenderdagar 1990 t.o.m. 2004. Den vertikala skalan är logaritmisk och dimensionslös (aktuellt flöde dividerat 1 [m^3/s]) för att medge samma presentationsformat för samtliga vattendrag trots deras inbördes avsevärda relativa skillnader i storlek. 'Mälar' motsvarar tappningen vid Södertäljeutloppet medan det via Stockholm betecknas med kortformen för Norrström d.v.s. 'Norrström'.

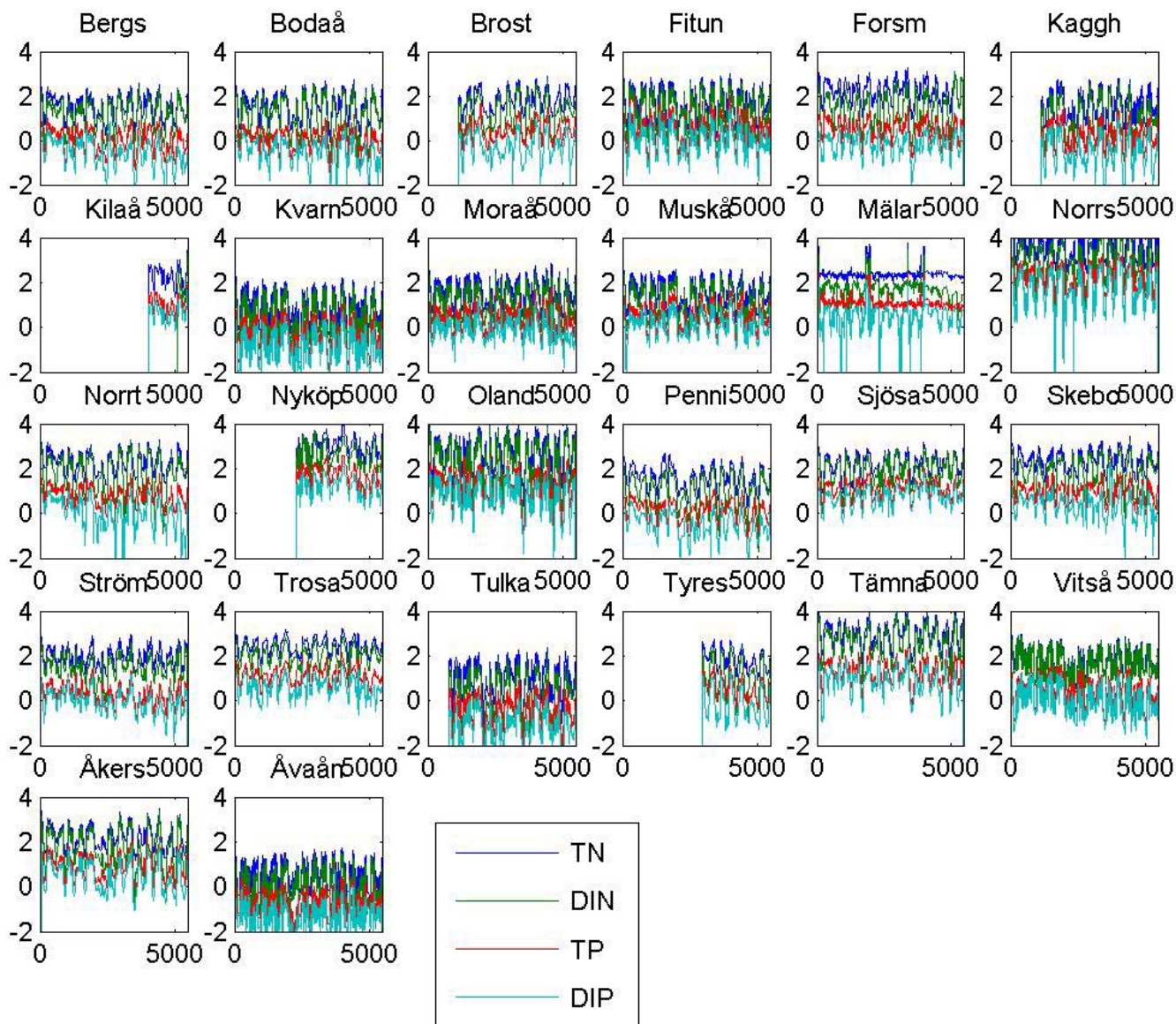


Fig. 11 Översikt av närsaltstillförseln via vattendrag (med de förkortade beteckningar angivna i Tabell 2) för tillförda flöden av TN, TP, DIN och DIP som åstadkommits genom att multiplicera volymflöden med koncentration. Den horisontella axeln motsvarar kalenderdagar 1990 t.o.m. 2004. Den vertikala axeln är logaritmisk och betecknar en dimensionslös kvot mellan aktuell transport och ett normerat dito.

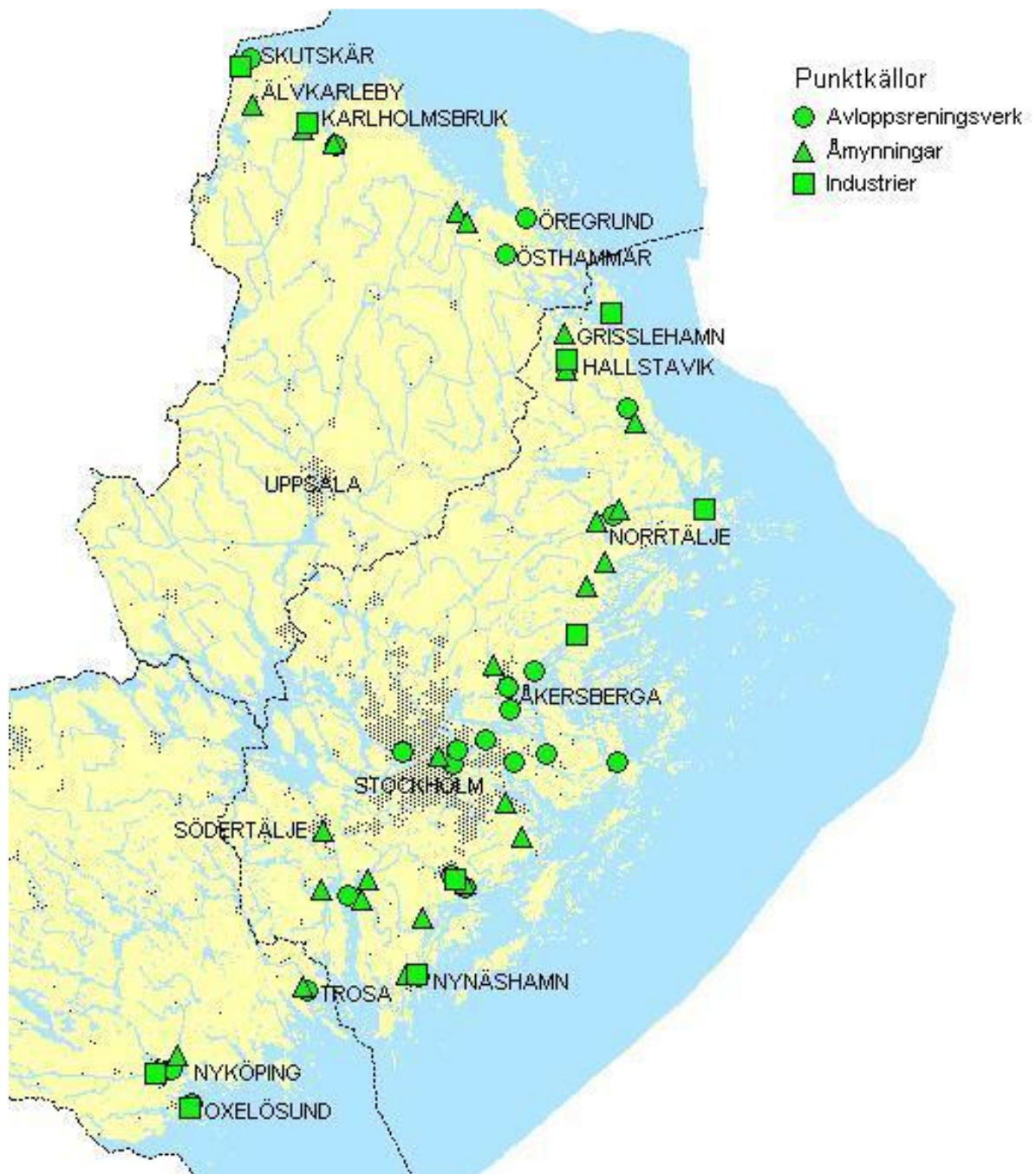


Fig. 12 Översikt av de olika källkategoriernas (RIV, STP och IND) lokalisering över modellområdet. Kartan framställd av Jakob Walve, Systemekologiska inst., Stockholms Universitet.

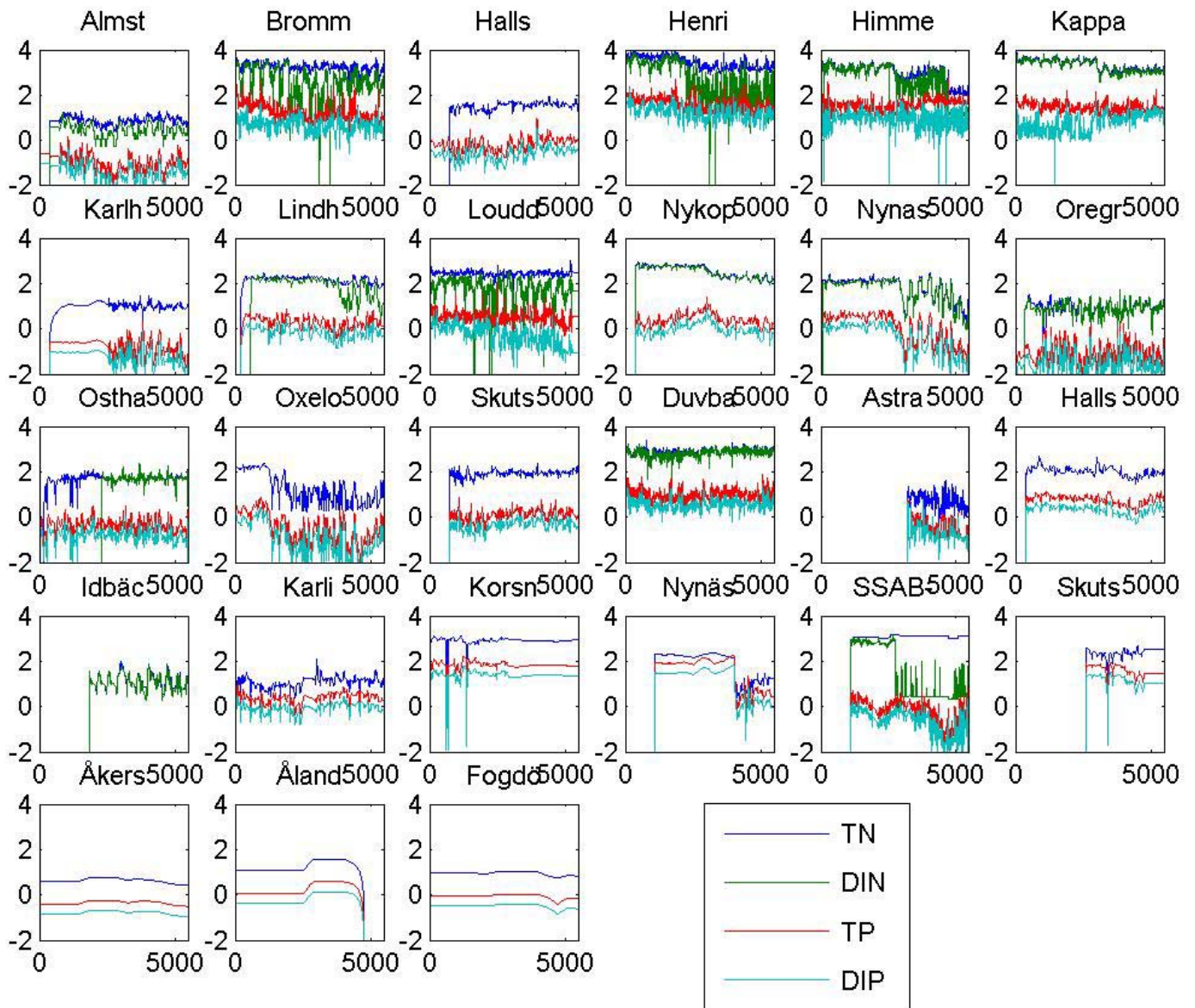
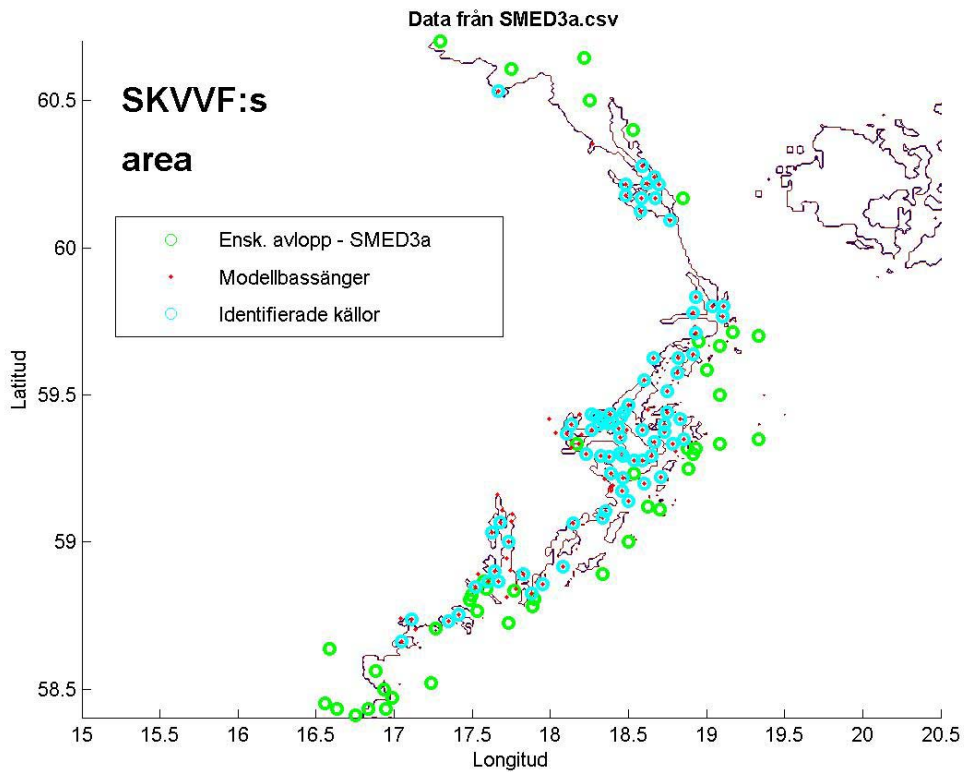
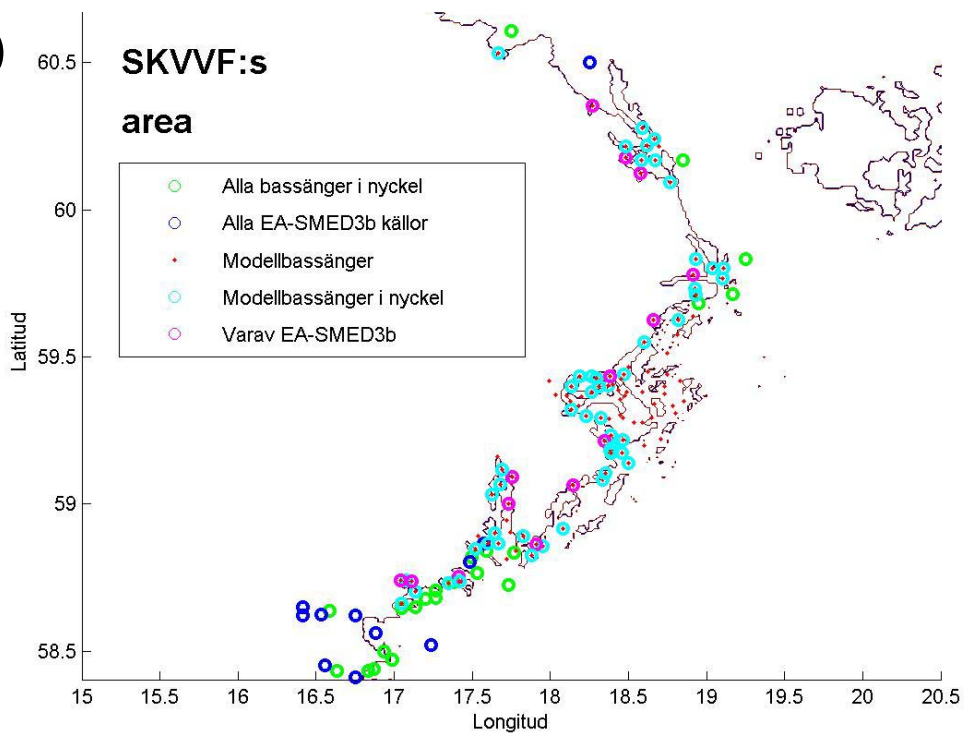


Fig. 13 Översikt av närsaltstillförseln via reningsverk och industrier (med de förkortade beteckningar angivna i Tabell 2) för tillförda flöden av TN, TP, DIN och DIP som åstadkommit genom att multiplicera volymflöden med koncentration. De tre nedersta delrutorna motsvarar fiskodlingar vars belastningsbidrag har uppskattats utan att vara sammankopplat med ett vattenflöde. Den horisontella axeln motsvarar kalenderdagar 1990 t.o.m. 2004. Den vertikala axeln är logaritmisk och betecknar en dimensionslös kvot mellan aktuell transport och ett normerat dito.

a)



b)



- Fig. 14 a) Exempel på kategorien 'torra' enskilda källor som inte direkt är sammanlänkade med en bassäng. Av de 381 enskilda källorna inom hela modellområdet faller 81 inom CDB-bassängerna. Sammankopplingen har gjorts med hjälp av datanycklar.
- 14 b) Torra enskilda källor som är primärt sammankopplade med CDB-modellområdet. Det föreligger 75 st. inom hela modellområdet varav 48 st. hänförs till CDB-området och många av dessa mynnar till samma delbassäng. Till denna kategori kan även räknas de 11 mindre reningsverken enligt Tabell 5.

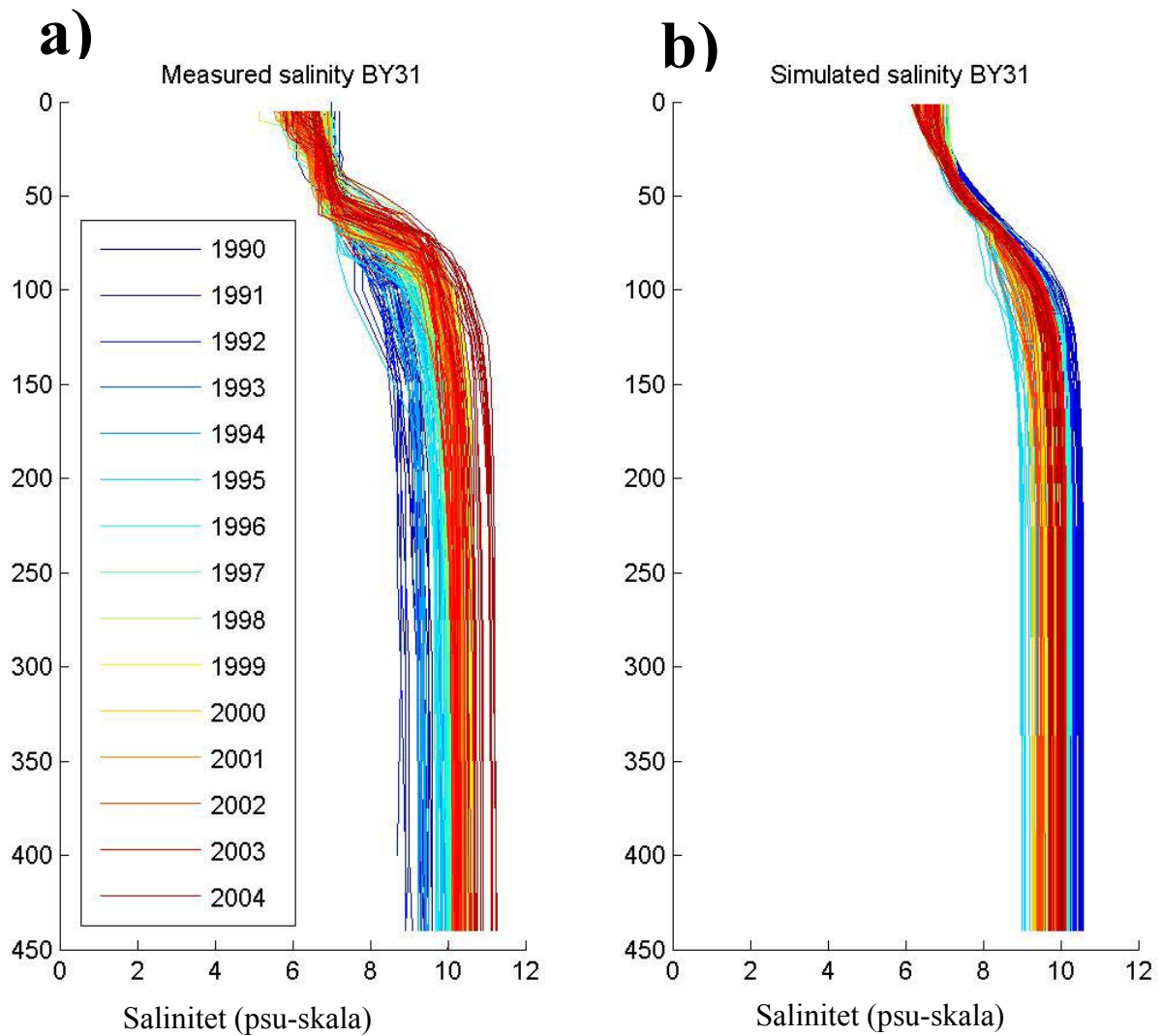


Fig. 15 a) Salinitetsprofiler uppmätta i Landsortsdjupet 1990 t.o.m. 2004

15 b) Salinitetsprofiler samplade från bAS-modellen motsvarande Landsortsdjupet och vid motsvarande tidpunkter som mätningarna utförts. Variabiliteten i tid är större för mätningarna än för simuleringarna, men den huvudsakliga skiktningens profilutformningen har genom dataassimilationsförfarandet bringats att överensstämma på ett godtagbart sätt.

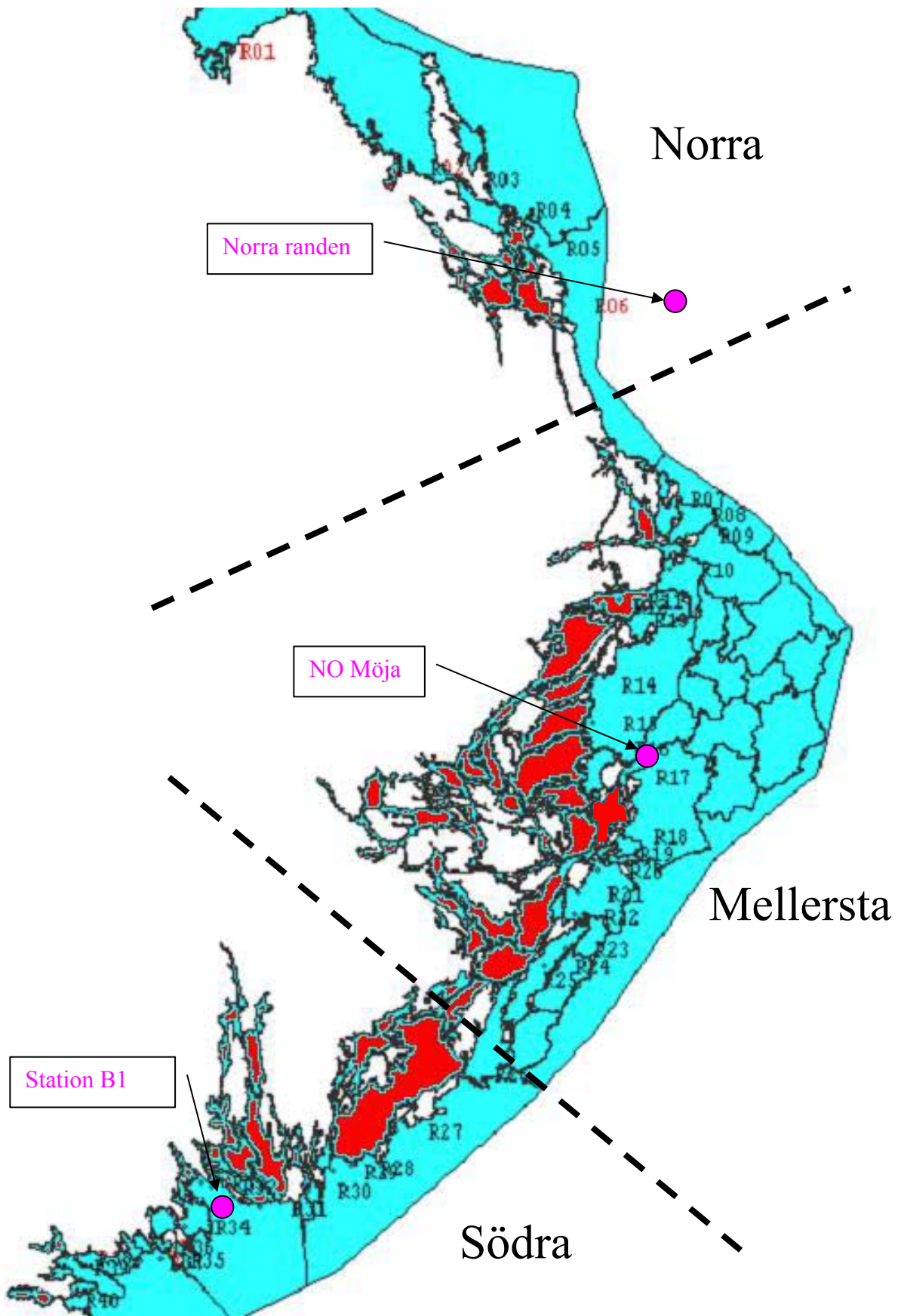


Fig. 16 Gränssnitten mellan **Arc3D** (ljusblå färg)- och **CouBa** (röd färg)-modellerna med randbassängernas (R1-R40) positioner utmed Svealandskusten angivna. Demarkationslinjerna (streckade) visar uppdelningen av kusten i de tre sektionerna samt vilka mätpunkter som dessa representerar i avvaktan på att närsaltdynamiker tillåts ingå i 3D-modellen över utsjön.

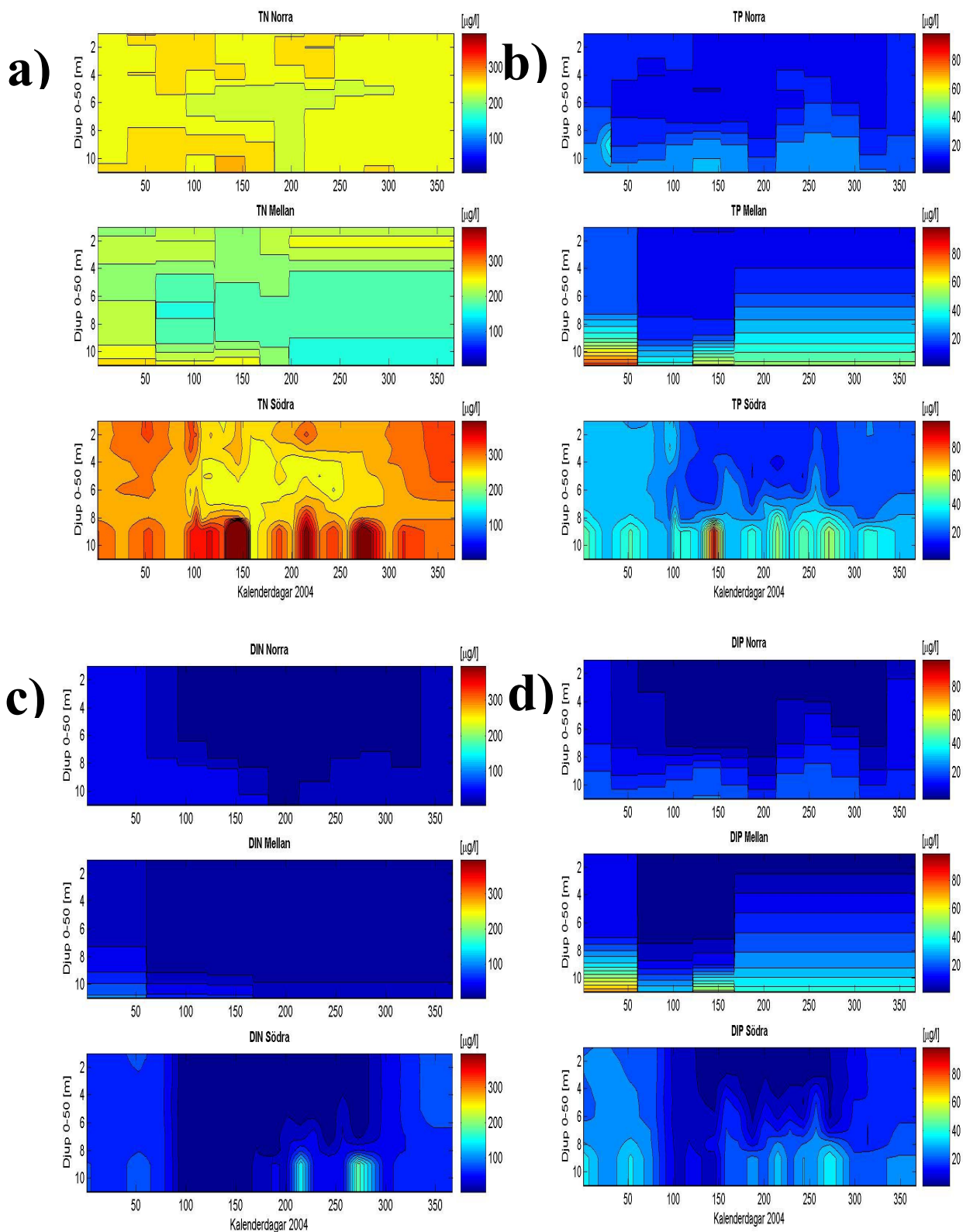
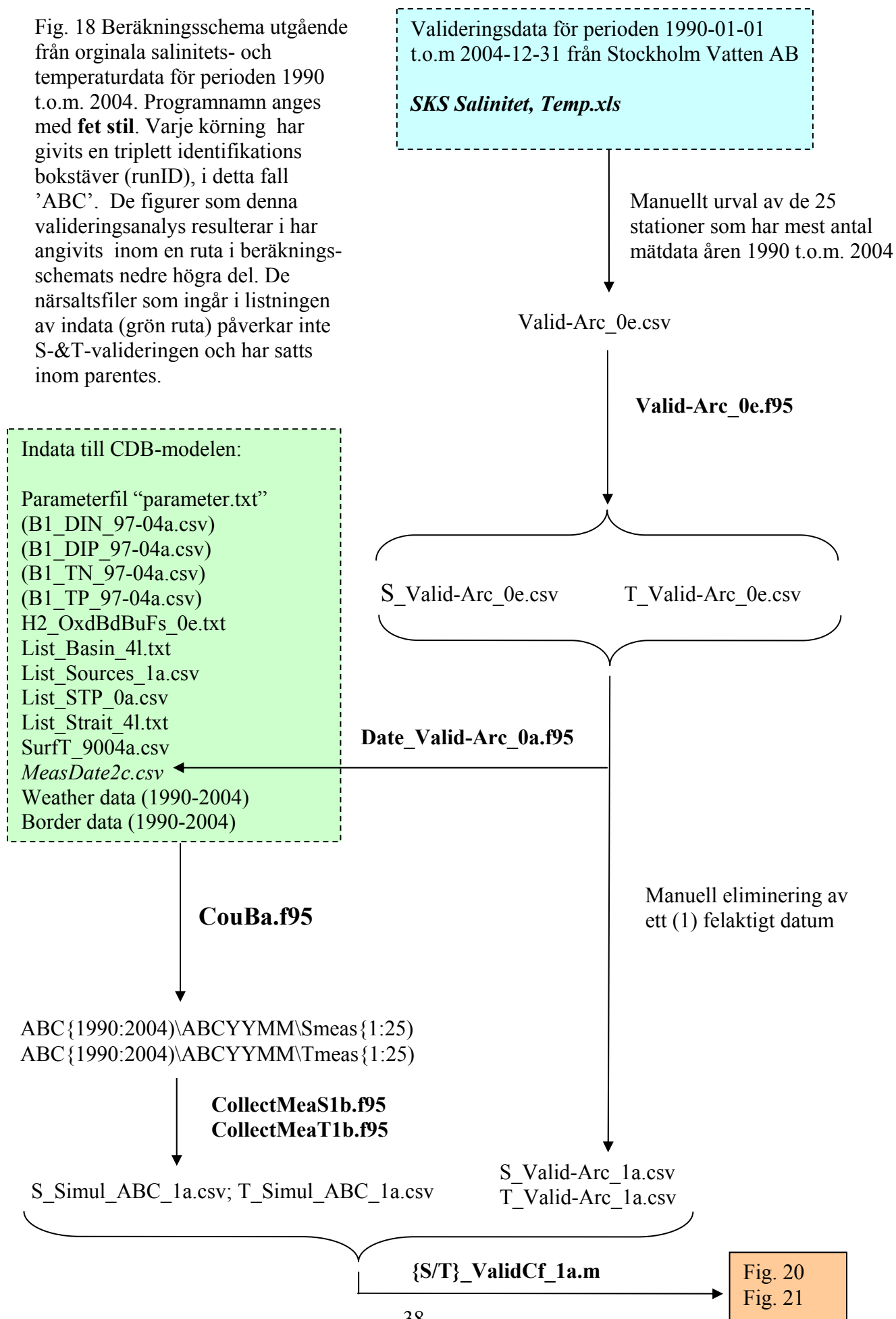


Fig. 17 a) TN konturering 2004 för de tre mätstationerna.
 17 b) TP konturering 2004 för de tre mätstationerna.
 17 c) DIN konturering 2004 för de tre mätstationerna.
 17 d) DIP konturering 2004 för de tre mätstationerna.

För samtliga delfigurer har den södra stationen den högsta tidsupplösning och den mellersta den lägsta och dessutom inga värden efter juli månad 2004. För TN och DIN uppvisar den södra mätstationen de högsta koncentrationerna, medan för TP och DIP föreligger de högsta koncentrationerna för den mellersta stationen.

Fig. 18 Beräkningsschema utgående från originala salinitets- och temperaturdata för perioden 1990 t.o.m. 2004. Programnamn anges med **fet stil**. Varje körning har givits en tripplett identifikations bokstäver (runID), i detta fall 'ABC'. De figurer som denna valideringsanalys resulterar i har angivits inom en ruta i beräkningsschemats nedre högra del. De närsaltsfiler som ingår i listningen av indata (grön ruta) påverkar inte S-&T-valideringen och har satts inom parentes.



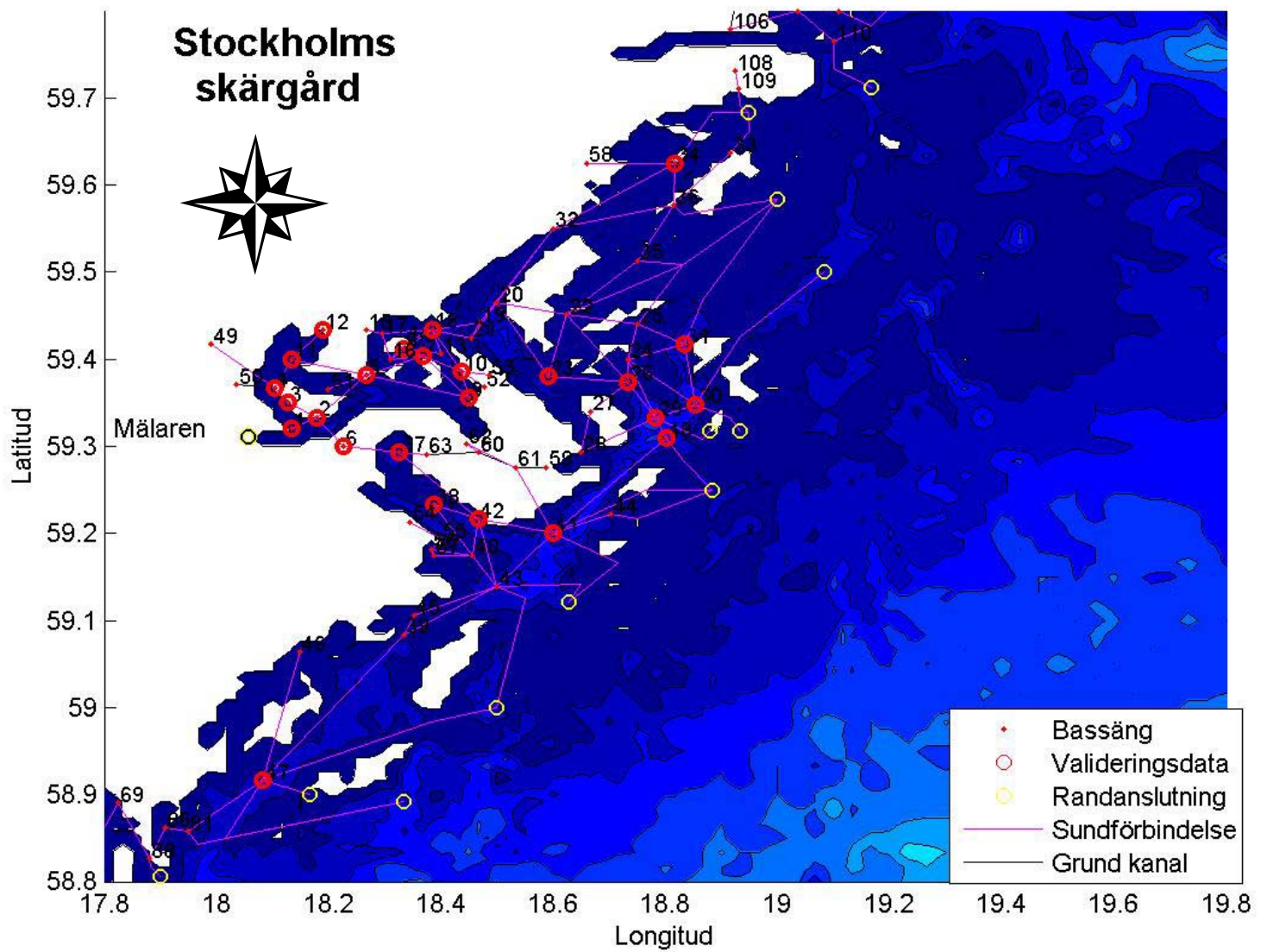


Fig. 19 De 25 mätstationer som utvalts utgående från kriteriet att erhålla det största möjliga antalet mätpunkter att utföra valideringen mot. Den geografiska täckningen motsvarar i stort sett hela Stockholm Vatten AB:s undersökningsområde.

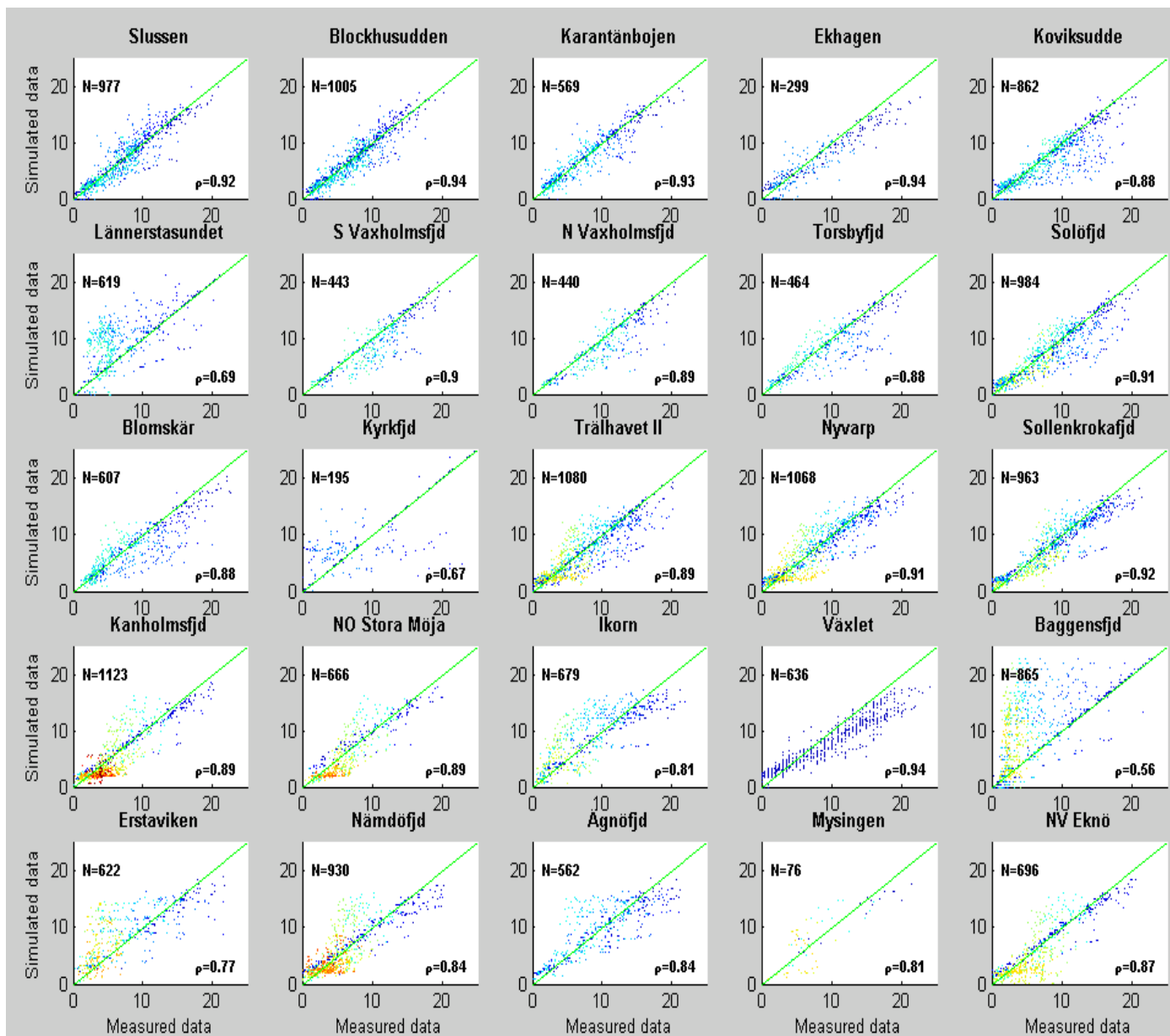


Fig. 20 Korrelationsdiagram för temperaturvalideringen med mätdata avsatta på den horisontella axeln och simulerade data på den vertikala. Den ideala linjen motsvarande perfekt överensstämmelse (korrelationskoefficienten $\rho=1$) är utritad med en grön linje. Färgskalan för de individuella punkterna är att mörkblå motsvarar ytvärden (jfr. t.ex. fiskarepunkten Vaxlet) medan röd motsvarar 100 m djup vilket föreligger endast för de riktigt djupa bassängerna Kanholmfjärden, NO Stora Möja samt Nämdöfjärden. För en klar majoritet av dessa 25 bassänger är ρ c:a 0.9 vilket innebär att 80% av varianserna förklaras. Undantagen är de södra fjärdarna framför allt Baggensfjärden för vilken ρ är 0.56, samt den grunda och avsnörpta Kyrkviken. För ytvattenstationen Vaxlet är det uppenbart att modellen tenderar att underskatta sommartemperaturerna.

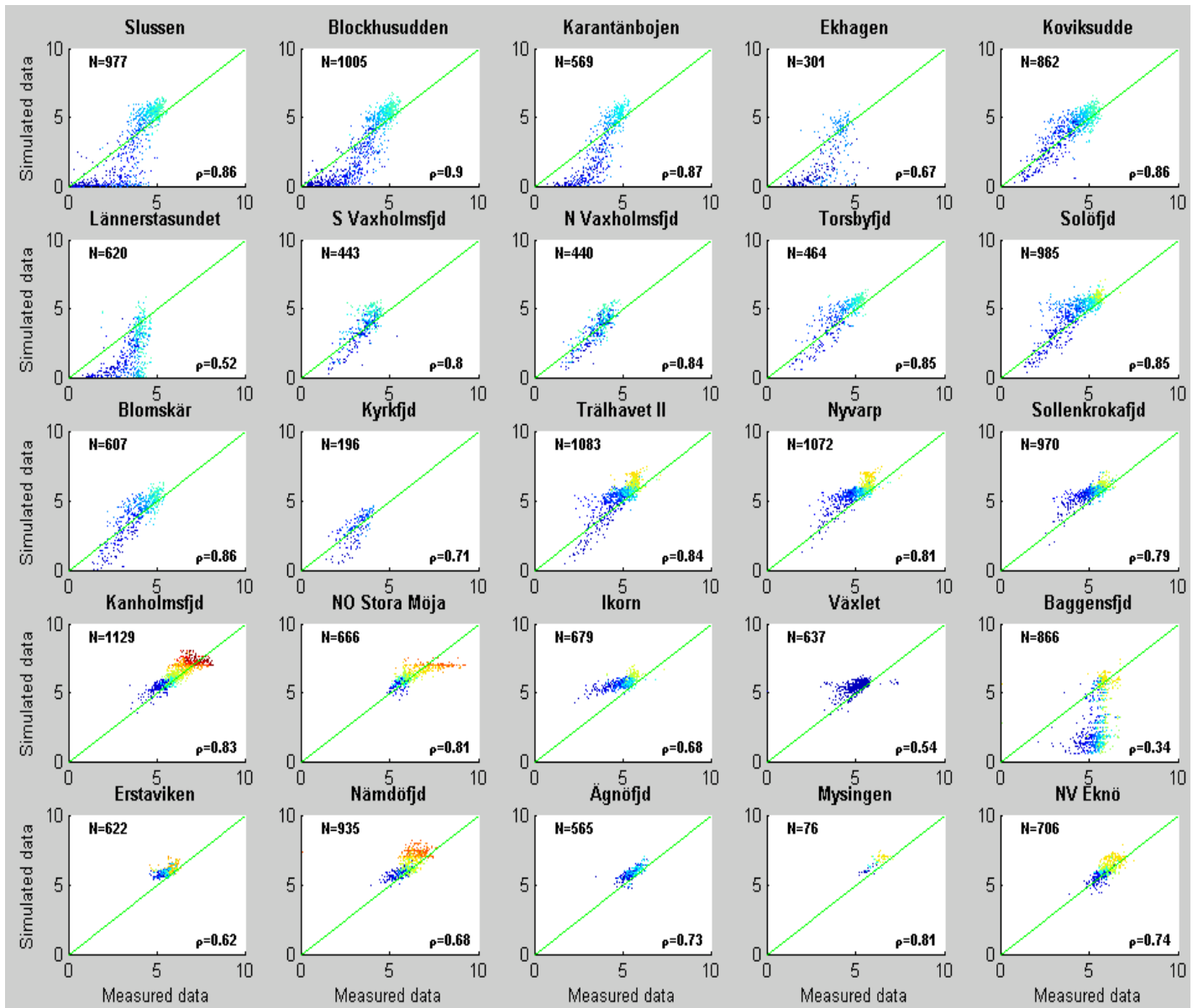


Fig. 21 Korrelationsdiagram för salinitetsvalideringen med mätdata avsatta på den horisontella axeln och simulerade data på den vertikala. Den ideala linjen motsvarande perfekt överensstämmelse (korrelationskoefficienten $\rho=1$) är utritad med en grön linje. Färgskalan för de individuella punkterna är att mörkblå motsvarar ytvärden (jfr. t.ex. fiskarepunkten Växlet med enkom värden från ytan) medan röd motsvarar 100 m djup vilket föreligger endast för de riktigt djupa bassängerna Kanholmfjärden, NO Stora Möja samt Nämdöfjärden. För de stationer som ligger närmast Norrströmsmynningsområde underskattar modellen saliniteten mot ytan, vilket sannolikt beror på att den vertikala primärinblandningen inte är i tillräcklig grad tagen hänsyn till för dessa bassänger. Den bassäng som tydligt avviker från den ideala linjen är Baggensfjärdens ytvärden som modellen tilldelar för låga salinitetsvärden.

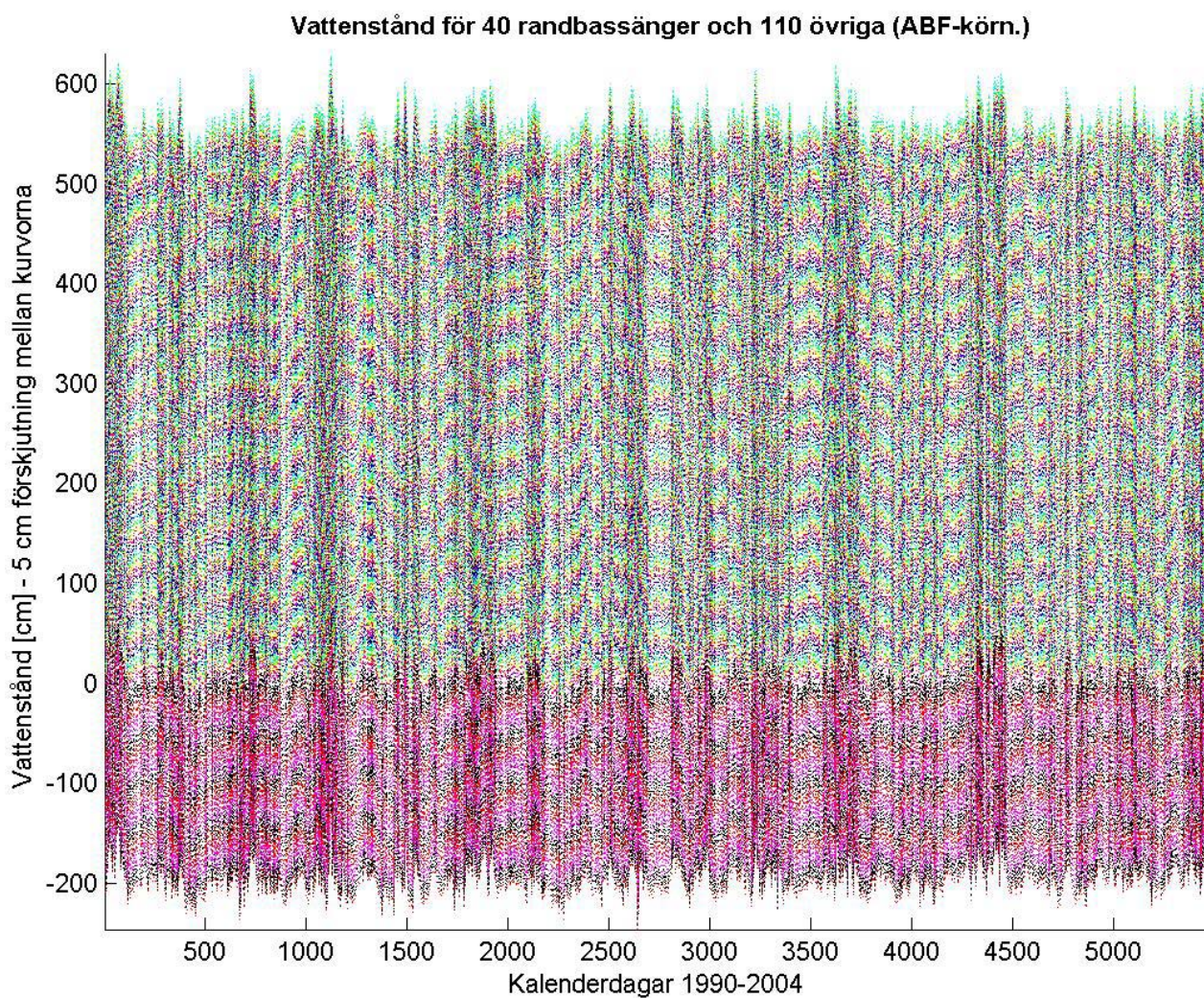
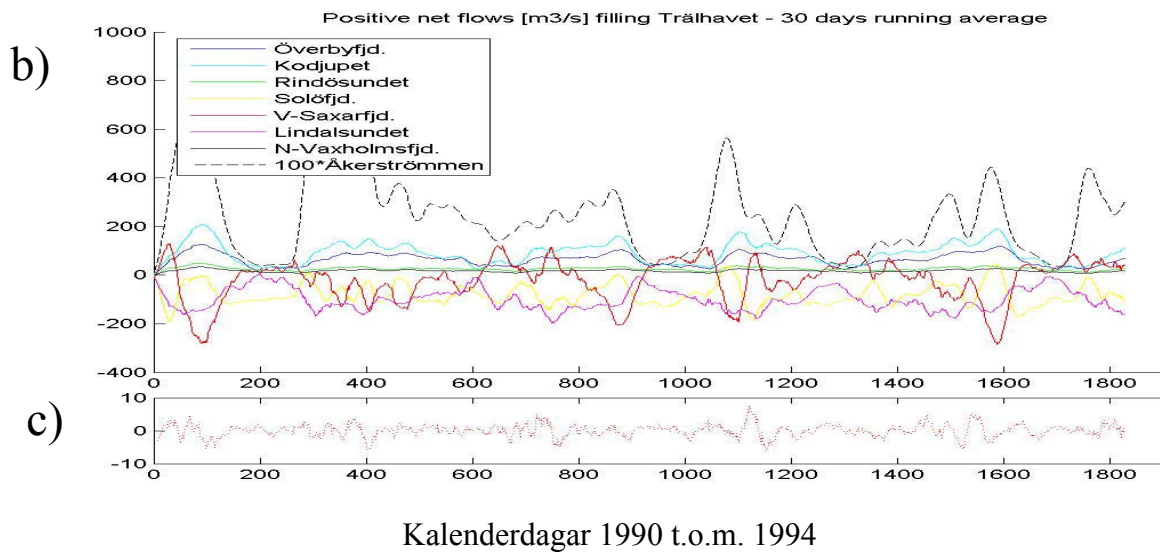
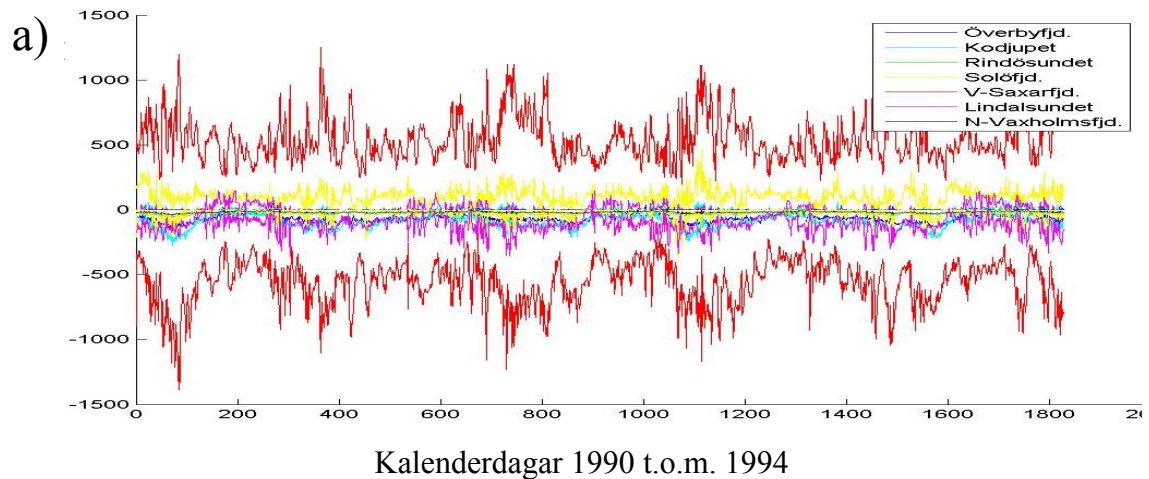


Fig. 22 Dagliga vattenstånd under hela den 15 år långa simuleringsperioden med vattenstånden för de 40 randsunden återgivna nederst (med en palett med företrädesvis rödare färger) och grafiskt separerade i vertikal led (y-axeln) med 5 cm förskjutning, vilket har valts som en buffertzona för att minska utsuddande överskrivningar vid snabba fluktuationer. Därefter följer vattenstånden för de 110 modellbassängerna i nummerordning nerifrån och uppåt. De omväxlande perioderna mellan snabba och långsamma förändringar ger upphov till det veckade intrycket detta ”ryamatta”-diagram förmedlar. Samvariationen mellan bassängerna inom den angivna marginalen framstår som fullt acceptabelt konsistent.



- Fig. 23 a) Ofilterade dagliga sundflöden avseende Trälhavet. Tecknen för dessa flöden följer modellkonventionen att som ett positivt flöde räknas det som går från en bassäng med högre bassängID-nummer till en med ett lägre. Det i särklass största utbytet sker med Västra Saxarfjärden.
- 23 b) Medelst löpande medelvärde filterade dagliga nettosundflöden (summan av positiva och negativa flödena med tecken enl. Fig. 23a) för Trälhavet och med ändrade tecken så att positiva(negativa) flöden verkar fyllande(tömmande). Åkerströmmens flöde har även lagts till men uppförstorat 100 gånger för att synas.
- 23 c) Summan av samtliga till- och frånflöden till Trälhavet (inkl. Åkerströmmen) visar att den långsiktiga vattenbalansen är nära noll som den skall vara.

I samtliga deldiagram är den vertikala axeln: Volymflöde uttryckt i $[m^3/s]$.

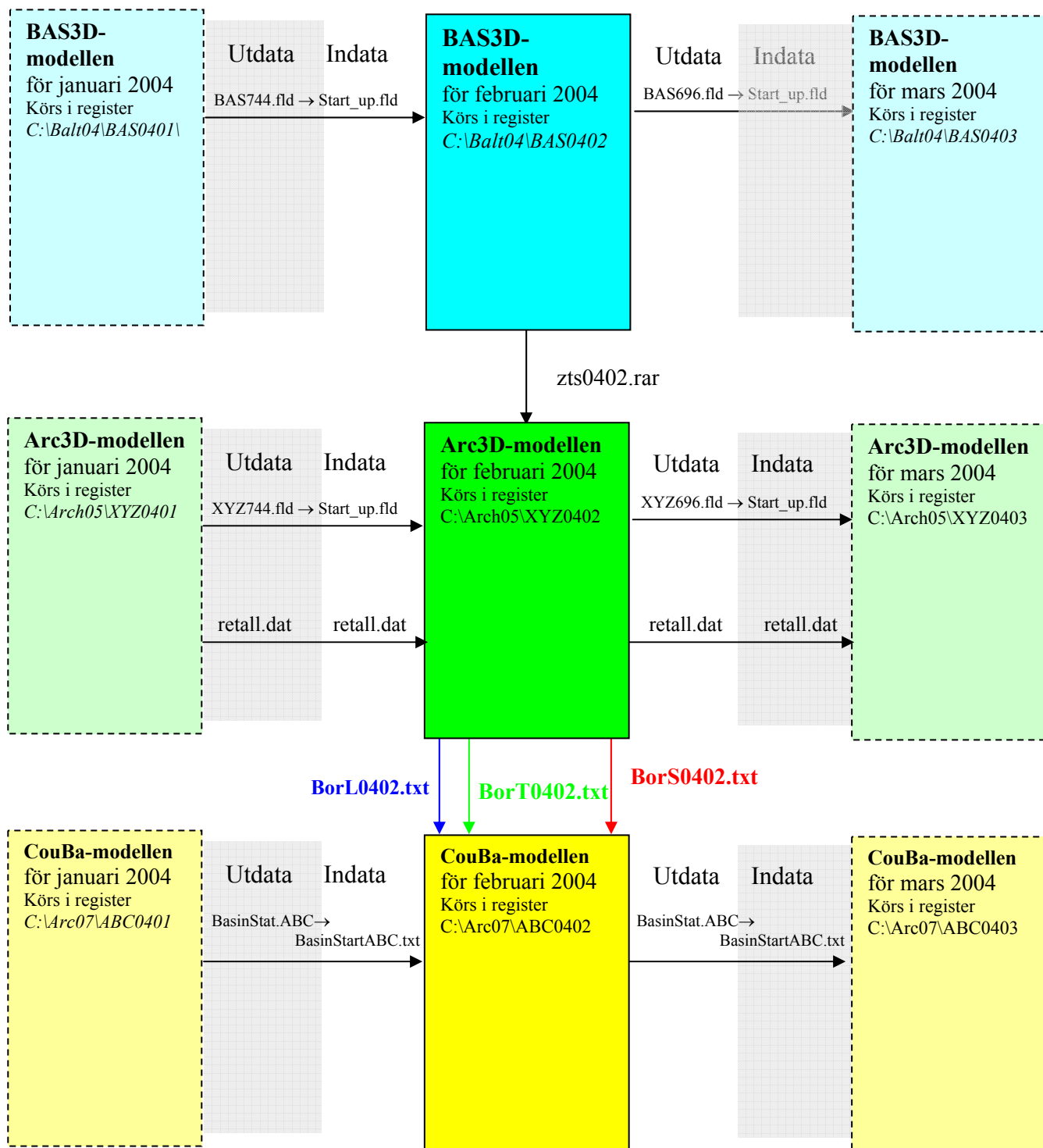


Fig. 24 Successionsövergångar mellan de tre första månadslånga körningarna 2004. För att kunna garantera bevarandet av kontinuiteten mellan körningarna överförs sluttillståndet i föregående månads körning. Den nuvarande utformningen av dataöverföringen går från de överliggande modellerna och nedåt vilket framgår av de vertikala pilarna är enkelriktade nedåt i figuren. På sikt är det rekommendabelt att åtminstone de tre överföringarna mellan Arc3D- och CouBa-modellerna utformas dubbelriktade, vilket givetvis även bör gälla framtida närsaltstransaktioner.