SMHI OCEANOGRAFI
Nr 1, 1985

EN HYDRODYNAMISK MODELL FÖR SPRIDNINGS– OCH CIRKULATIONSBERÄKNINGAR I ÖSTERSJÖN

Slutrapport

SMHI OCEANOGRAFI
Forsknings- och utvecklingssektionen

Nr 1, 1985

EN HYDRODYNAMISK MODELL FÖR SPRIDNINGS– OCH CIRKULATIONSBERÄKNINGAR I ÖSTERSJÖN

Slutrapport

Lennart Funkquist

EN HYDRODYNAMISK SPRIDNINGS- OCH CIRKULATIONSMODELL FÖR ÖSTERSJÖN

av Lennart Funkquist

Slutrapport för SNV-projekt:

1982/83 kontrakt nr 5312142-2
1983/84 5312143-0
1984/85 5312014-3

INNEHÅLL

Sida

Sammanfattning 1

Bakgrund 2

Projektets utformning, metodik 3

Resultat 4

Slutsatser 5

Referenser 6

Bilaga 1 7

Figurerna 1 - 7

SAMMANFATTNING

- En modell för beräkning av föroreningars spridning i Östersjön har utvecklats vid SMHI.

- Modellen behandlar spridning såväl horisontellt som vertikalt och kan användas för spridningsstudier i en tidsskala från timmar till år.

- Biokemiska förlopp kan utan svårighet inkluderas i modellen.

- Modellen är ett lämpligt redskap för studier av pågående utsläpp, katastrofutsläpp och i samband med industrilokalisering.

- Kustområden med återkommande uppvällning kan identifieras med hjälp av modellen.

- Cirkulationsmodellen ger ett värdefullt bidrag till den allmänna kunskapen om Östersjöns dynamik.

BAKGRUND

Östersjön kan anses som relativt hårt belastad ur föroreningssynpunkt, och samtidigt med att samhället får bukt med gårdagens utsläpp dyker hela tiden nya substanser med alarmerande hög toxicitet upp. Det är emellertid svårt att överföra kunskap om vissa ämnens spridningsförlopp till helt nya okända ämnen. Det vore därför önskvärt att ha tillgång till en generell teknik för spridningsstudier, som på ett enkelt sätt kan appliceras på olika tidsskalor och där de viktigaste biokemiska och fysikaliska processerna enkelt kan inkluderas.

För detta ändamål har SMHI utvecklat en modell, som är en kombination av en cirkulationsmodell och en modell för den turbulenta spridningen samt biokemiska och mekaniska förlopp. Tekniken är lämplig för varierande typ av utsläpp som exempelvis punktvisa industriutsläpp, diffusa utsläpp från läckande bottensediment eller ledningar samt vid katastrofutsläpp av olja eller starkt giftiga ämnen. Den kan också ingå som ett värdefullt element i miljövårdsprojekt av tvärvetenskaplig natur som exempelvis eutrofieringsprojektet. Den regelbundna miljöövervakningen i form av PMK och andra monitoringprogram kan ges en bättre representativitet, om modellstudier används vid bestämning av kontrollpunkters lägen.

Cirkulationsmodellen i sig bidrar till en höjning av kunskapen om Östersjöns dynamik och kan användas tillsammans med satellitbilder för identifiering och studier av uppvällningsområden längs Östersjö-kusten.

PROJEKTETS UTFORMNING, METODIK

Projektet kan i stort indelas i två faser. Den första fasen kan struktureras i tre delar, varav de två första bestått i att utveckla de var för sig fristående modellerna av cirkulationen resp. den turbulenta spridningen inkl. biokemiska förlopp och sedimentation. Den tredje delen har bestått i att upprätta en meteorologisk databas innehållande 6-timmars tryckfält, som fungerar som den externa drivningen i modellen i form av vindskjuvkraft och direkt tryckeffekt på vattenytan. I den andra fasen har modellen använts för att simulera uppvällning, och jämförelser har gjorts med ytvattentemperaturer erhållna med hjälp av satellitbilder.

Modellen är utförligt beskriven i Funkquist och Gidhagen (1984). Cirkulationsmodellen är tredimensionell med fasta nivåer vid 0, 5, 10, 25, 40, 60 meter och bottnen. Den horisontella upplösningen är 10 km. Spridningsmodellen är av Monte-Carlo-typ, d v s det turbulenta bidraget fås slumpmässigt ur en viss fördelning, vars intervall bestämts av empiriska värden på det turbulenta utbytet. I horisontell led är den turbulenta spridningen isotrop, medan den i vertikal led regleras av den vertikala densitets- och strömfördelningen. I spridningsmodellen adderas sedan den advektiva transporten från cirkulationsmodellen med det turbulenta bidraget. I detta skede kan lämpliga biokemiska förlopp inkorporeras liksom sedimentation.

Om modellen skall användas för kortare tidsskalor, d v s från timmar upp till någon månad, används aktuella väderdata. För längre tidsskalor blir emellertid detta tillvägagångssätt alltför resurskrävande ur datorsynpunkt, och istället används en metod, som bygger på representativa vädertyper. Resultatet blir en spridningsbild, som skall tolkas som ett utfall med en viss sannolikhet. Detta diskuteras också utförligare i Funkquist och Gidhagen (1984).

RESULTAT

Spridningsmodellen har tillämpats på utsläpp i såväl Bottenhavet som egentliga Östersjön. Simuleringarna har genomförts för en period på två år och med kontinuerligt utsläpp i ytlagret. Ett exempel på en simulering visas i figurerna 1 - 4. Efter att utsläppet i närheten av Gävle startat i början på våren, visar figur 1 fördelningen i ytlagret (0 - 5 m) efter sommaren. Ytterligare ett halvår senare visas i figur 2 hur ytlagret i hela Bottenhavet är påverkat. Figurerna 3 och 4 visar fördelningen i de två lagren ovanför haloklinen, som tillsammans representerar en tjocklek på 40 m och innefattar en stor del av kustbottnarna. Varje partikel har i dessa simuleringar behandlats som helt passiv och kan tänkas motsvara en bestämd mängd av en substans.

Projektet har framkallat ett annat värdefullt bidrag i form av medelbilder av cirkulationen i Östersjön. Dessa har framräknats både årstidsvis och helårsvis ur de strömfält, som erhållits från cirkulationsmodellen och lagrats för var 6:e timme. Som exempel visar figur 5 den vinddrivna medelcirkulationen i ytlagret för hela året.

Cirkulationsmodellen har också visat sig kunna återskapa kustnära uppvällning på ett realistiskt sätt. Figurerna 6 och 7 visar ett exempel från Funkquist (1985a) med beräknad uppvällning och uppmätt ytvattentemperatur utanför Blekingekusten den 28.9.1983.

Spridnings- och cirkulationsmodeller är svåra och framförallt kostsamma att verifiera. Cirkulationsmodellen har verifierats mot punktvisa strömmätningar med tillhörande energispektra (Funkquist, 1985b) och under förenklade antaganden mot analytiska lösningar (Funkquist, Gidhagen och Rahm, 1985) och har visat sig ge tillfredsställande resultat. För spridningsmodellen har ingen verifiering kunnat ske på grund av bristande underlag. Däremot har en stor strömdatabank för Östersjön

analyserats med metoder, som har resulterat i realistiska värden på de utbyteskoefficienter, som används i spridningsmodellen (Gidhagen, Funkquist och Murthy, 1985).

SLUTSATSER

Projektet har visat på möjligheten att använda numeriska modeller i det tillämpade miljövårdsarbetet vad gäller recipientkontroll och planering/lokalisering av miljöfarliga utsläpp. Modellresultaten visar också, att medelströmmarna i Östersjön är mer komplicerade än vad det hittills använda materialet, baserat på fyrskeppsmätningar, antyder. Det förekommer att enkla metoder baserade på medelbilder används, men det bör påpekas, att i verkligheten är spridningen kring medelcirkulationen relativt stor, och detta kan för vissa perioder ge helt andra spridningsbilder. I de flesta fall är det därför nödvändigt att använda den i projektet utvecklade modellen i sin helhet.

För att man skall få ett mått på modellens förmåga att simulera ett verkligt utsläpp vore det intressant att genomföra en intensivmätning vid ett lämpligt utsläpp och därefter jämföra med modellens resultat. Detta skulle också bättre åskådliggöra modellens användbarhet och stimulera till dess användning för den aktiva miljövårdsarbetaren i kommuner, länsstyrelser och industrier.

REFERENSER

Funkquist, L., and Gidhagen, L. (1984)
A model for pollution studies in the Baltic Sea.
SMHI Rapporter, RHO nr 39

Funkquist, L. (1985a)
Studies of upwelling in the Baltic Sea with a numerical model.
SMHI FoU-Notiser nr 45

Funkquist, L. (1985b)
Verification of a numerical circulation model: comparison with observations in the Baltic Sea.
SMHI FoU-Notiser nr 46

Funkquist, L., Gidhagen, L., and Rahm, L. (1985)
Verification of a numerical circulation model: comparisons with some idealized cases.
SMHI FoU-Notiser nr 47

Gidhagen, L. (1984)
Coastal upwelling in the Baltic.
SMHI Rapporter, RHO nr 37

Gidhagen, L., Funkquist, L., and Murthy, R. (1985)
Calculation of horizontal turbulent exchange coefficients using Eulerian time series current meter data from the Baltic Sea.
SMHI Rapporter, RO nr 1

Bilaga 1

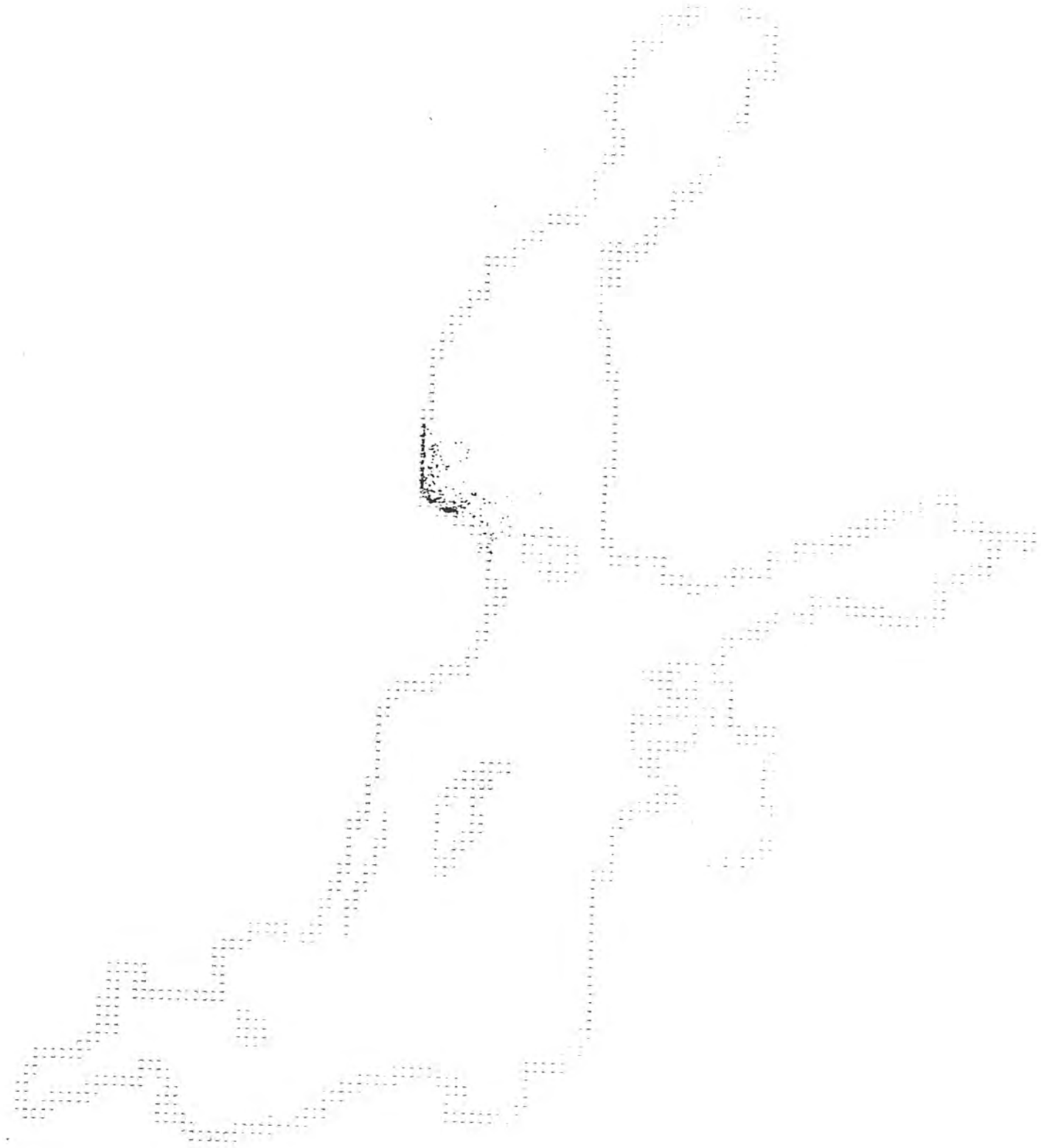
FÖRTECKNING ÖVER RAPPORTER SOM PRODUCERATS INOM PROJEKTET

Funkquist, L., and Gidhagen, L. (1984)
A model for pollution studies in the Baltic Sea.
SMHI Rapporter, RHO nr 39

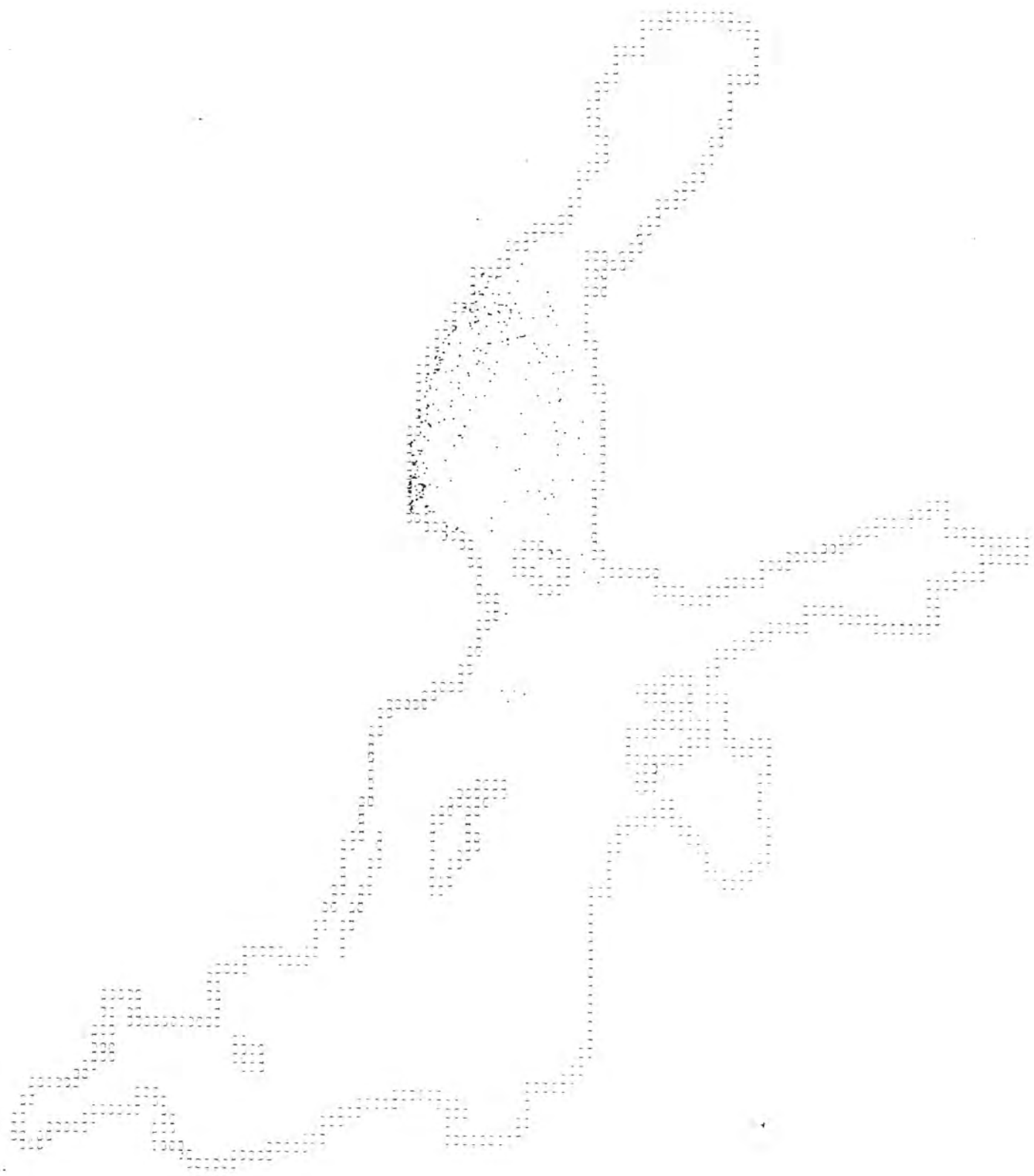
Funkquist, L. (1985)
Studies of upwelling in the Baltic Sea with a numerical model.
SMHI FoU-Notiser nr 45

Funkquist, L. (1985)
Verification of a numerical circulation model: comparison with observations in the Baltic Sea.
SMHI FoU-Notiser nr 46

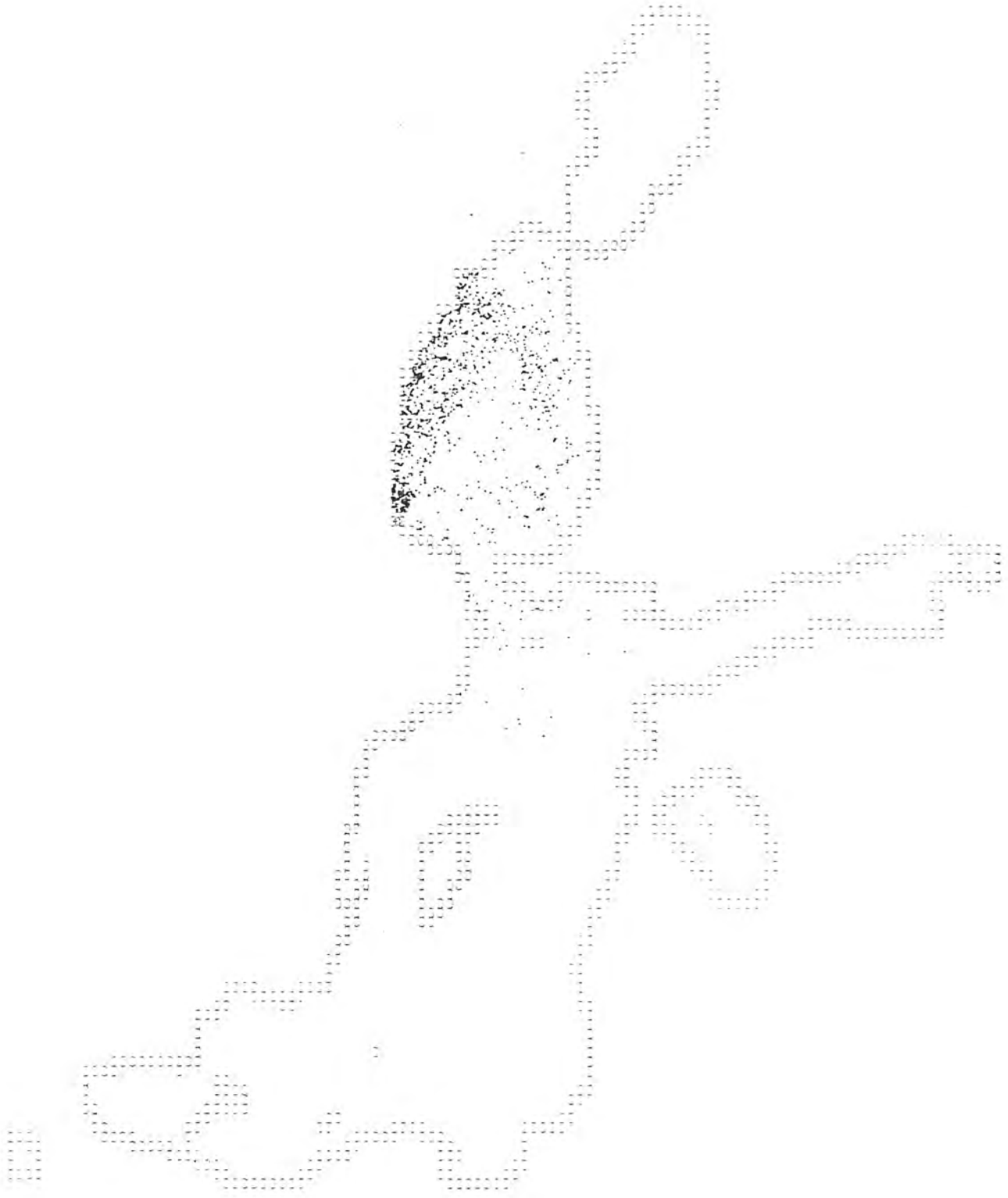
Funkquist, L, Gidhagen, L., and Rahm, L. (1985)
Verification of a numerical circulation model: comparisons with some idealized cases.
SMHI FoU-Notiser nr 47



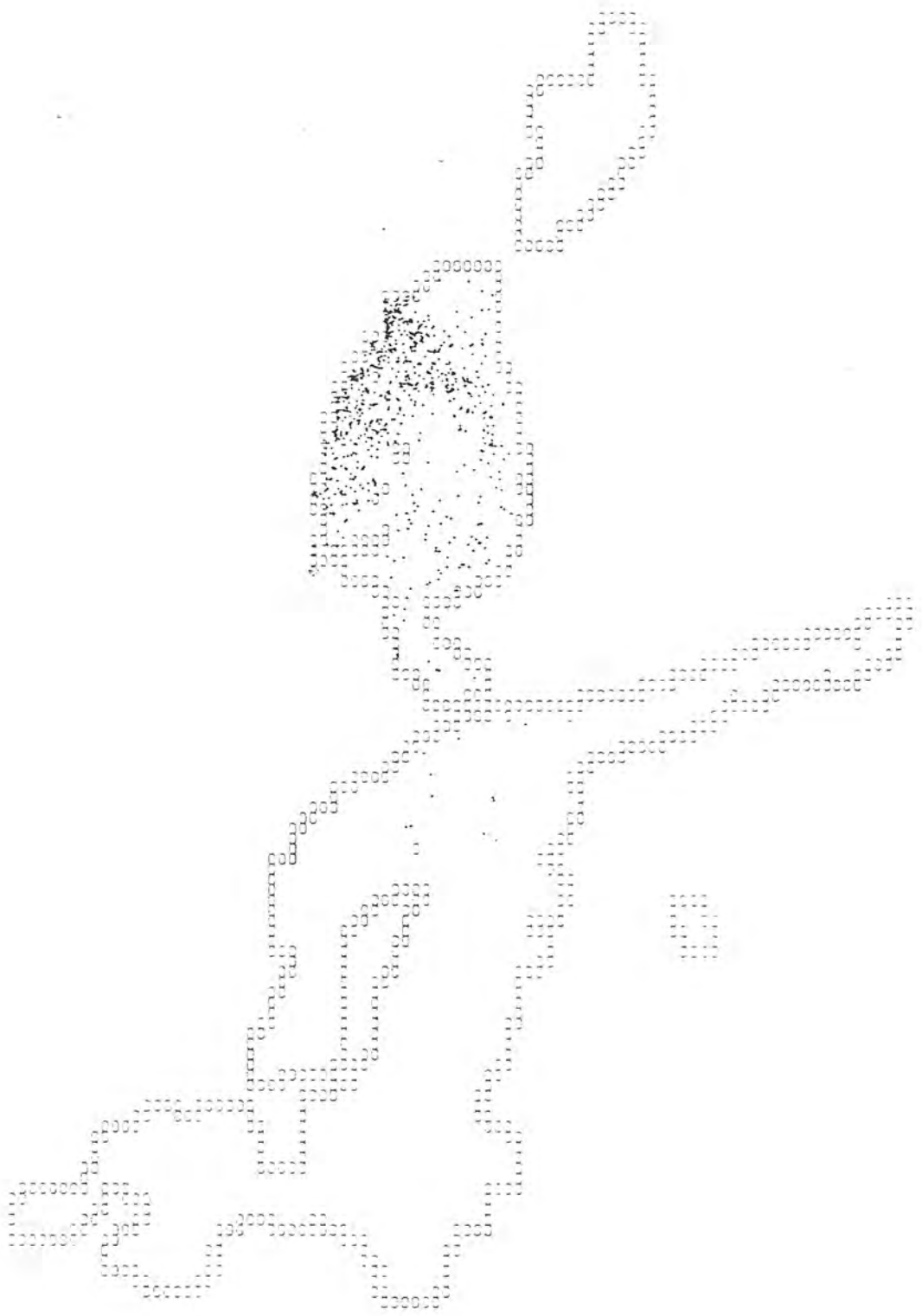
Figur 1. Partikelkoncentration i lager 1 (0-5 m) efter ett halvårs kontinuerligt utsläpp vid Gävle.



Figur 2. Partikelkoncentration i lager 1 (0-5 m) efter ett års kontinuerligt utsläpp vid Gävle.



Figur 3. Partikelkoncentration i lager 4 (20-40 m) efter ett års kontinuerligt utsläpp vid Gävle.



Figur 4. Partikelkoncentration i lager 5 (40-60 m) efter ett års kontinuerligt utsläpp vid Gävle.

SMHI
Hydrologiska/
Oceanografiska
avdelningen
kuy/L/SCR

HB-RAPPORTER

Nr Titel

1 Hydrologiska undersökningar i Kassjöåns representativa område
Meddelande nr III: Vattenomsättningen i Lilla Tivsjöns område 1966/67 - 1972/73
av A Waldenström
Stockholm 1974

2 Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område
Meddelande nr IV: Nederbörd och vattenomsättning
av M Persson
Stockholm 1974

3 Oceanografiska observationer i Östersjön 1973 med kustbevakningens båtar samt från isbrytare
av U Ehlin och B Juhlin
Stockholm 1974

4 Oceanografiska undersökningar i Ålands hav
Meddelande nr 1: Mätningar juni - september 1973
av U Ehlin och C Ambjörn
Stockholm 1974

5 SMHI-rapport
Verification of heated water jet numerical model by James G Weil
Stockholm 1974

6 Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område
Meddelande nr V: Markvattenstudier
av T Milanov
Stockholm 1975

7 Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område
Meddelande nr VI: Vattenomsättningen 1968-73 med feluppskattning
av M Persson
Stockholm 1975

8 Hydrologiska undersökningar i Kassjöåns representativa område
Meddelande nr IV: Snötaxering 1974 och vattenomsättning 1969-73
av A Waldenström
Stockholm 1975

9 Snösmältningen i en punkt som funktion av meteorologiska data
av S Jönsson
Stockholm 1975

10 Oceanografiska undersökningar i Ålands hav
Meddelande nr 2: Mätningar okt-dec 1973 och juli - sept 1974
av U Ehlin och C Ambjörn
Stockholm 1975

11 Oceanografiska observationer i Östersjön 1974 med kustbevakningens båtar samt från isbrytare
av U Ehlin och B Juhlin
Stockholm 1975

12 Vattenomsättning och flöde i Stormyra-området
av L Liljequist och L Sterner
Stockholm 1975

13 Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område
Meddelande nr VII: Avrinningen och dess variationer inom området
av M Persson
Norrköping 1976

14 Vattenomsättningsstudier m m i Velens och Kassjöåns representativa områden
av A Waldenström
Norrköping 1976

15 Strömmätningar i sundet mellan Värmlandssjön och Dalbosjön, Vänern
Vänerundersökningen. Meddelande nr 1
av B Carlsson och M Brandt
Norrköping 1976

16 Oceanografiska observationer i Östersjön 1975 med kustbevakningens båtar samt från isbrytare
av U Ehlin och B Juhlin
Norrköping 1976

17 Oceanografiska undersökningar i Ålands hav 1975
Meddelande nr 3. Mätningar 1974-75. Vattentransporter
av U Ehlin och C Ambjörn
Norrköping 1976

18 Tillämpning av HBV-2 modeller på regleringsmagasin i Ångermanälven
av S Bergström och S Jönsson
Norrköping 1976

19 Grundvattenståndsmätningar i Ångermanälvens övre tillrinningsområde
av T Milanov
Norrköping 1976

20 Beräkning av frekvenser av torrår
av L Gottschalk
Norrköping 1976

21 Hydrografi och sandsugning
av M Brandt
Norrköping 1976

22 Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område
Meddelande nr VIII: Vattenomsättning och avdunstning under perioden 1968-76
av M Persson
Norrköping 1976

23 Oceanografiska observationer i Östersjön 1976 med kustbevakningens båtar
av U Ehlin och B Juhlin
Norrköping 1977

24 Oceanografiska undersökningar i Ålands hav
Meddelande nr 4: Mätningar 1975-76, vatten-, värme- och materialtransportberäkningar
av U Ehlin och C Ambjörn
Norrköping 1977

25 Ström- och vattentransportstudier i norra Öresund, sydöstra Kattegatt och i Skälderviken
av M Brandt
Norrköping 1977

26 Strömmätningar i Himmerfjärden 1976
av E Bergstrand
Norrköping 1977

27 Oceanografiska observationer i Östersjön 1977 med kustbevakningens båtar
av U Ehlin och B Juhlin
Norrköping 1978

28 Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Velens representativa område
av A Waldenström
Norrköping 1977

29 Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Kassjöåns representativa område
av A Waldenström
Norrköping 1977

30 Oceanografiska undersökningar i Ålands hav
Meddelande nr 5: Mätresultat 1977, vatten- och materialtransportberäkningar ur 1974 och 1975 års mätningar
av C Ambjörn
Norrköping 1978

31 Basnät för vattentemperatur
Stationsförteckning 1978-01-01
av O Cabelis och A Moberg
Norrköping 1978

32 Operational Hydrological Forecasting by Conceptual Models
av S Bergström, M Persson och B Sundqvist
Norrköping 1978

33 Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område
av M Persson
Norrköping 1978

34 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar
av U Ehlin och B Juhlin
Norrköping 1979

35 Utvärdering av 1979 års vårflödesprognoser
av S Bergström och S Jönsson
Norrköping 1979

36 Oceanografiska observationer i Osterjön 1979 med kustbevakningens båtar
av U Ehlin och B Juhlin
Norrköping 1980

37 Vårflödesvolymsprognoser baserade på analys av nederbördskartor
av S Jönsson
Norrköping 1980

38 Resultat och erfarenheter av försöksverksamhet med utökad vattenprovtagning från kustbevakningens båtar
av B Juhlin och B Carlsson
Norrköping 1980

39 Sedimenttransport i svenska vattendrag 1979
av M Brandt
Norrköping 1980

40 Sluttransport till Miljödatanämnden över projekt MI - 01:2. Systemutredning rörande samordnade uttag av information ur MI och SMHIs maskinella register
av T Milanov och B Sundqvist
Norrköping 1980

41 Användning av vädersatellitdata för att studera ytvattentemperatur
av G Wennerberg
Norrköping 1980

42 Nordisk hydrologi i utveckling. Tillägnad Ragnar Melin
av A Forsman, J Otnes, M Falkenmark, E Kuusisto, R Lemmelä och J Lundager-Jensen
Norrköping 1980

43 Beräkning av en föroreningstransport och blandning i en grund istäckt sjö
av U Ehlin, I Bork och J Svensson
Norrköping 1980

44 Utvärdering av 1980 års vårflödesprognoser
av S Bergström, M Häggström och M Persson
Norrköping 1980

45 Mätningar av sjötemperatur vid SMHI
av A Moberg
Norrköping 1981

46 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar 1980
av B Juhlin
Norrköping 1981

47 Temperaturmätningar vid Visby
av B Broman
samt
Spridning av utsläppt vatten
av B Vasseur
Norrköping 1981

48 Användning av satellitdata från Landsat för studium av vattengrumlingar
av G Wennerberg
Norrköping 1981

49 Utvärdering av 1981 års vårflödesprognoser
av S Bergström, M Häggström och M Persson
Norrköping 1981

50 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar 1981
av B Juhlin
Norrköping 1982

51 Sedimenttransport i svenska vattendrag 1980
av M Brandt
Norrköping 1982

52 The areal precipitation index method - A simple method to forecast the spring flood volume
by M Häggstrom
Norrköping 1982

53 Vågdata från svenska kustvatten 1981
av J Svensson
Norrköping 1982

HO-RAPPORTER

1 Metod för homogenitetskontroll av meteorologiska och hydrologiska observationsserier
av Sven-Erik Westman
Norrköping 1982

2 Utvärdering och modellsimulering av grundvattenmätningarna i Ångermanälvens övre tillrinningsområde
av G Sandberg
Norrköping 1982

3 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar 1982
av B Juhlin
Norrköping 1983

4 Utvärdering av 1982 års vårflödesprognoser
av M Häggström och M Persson
Norrköping 1983

5 Vågdata från svenska kustvatten 1982
av Jonny Svensson
Norrköping 1983

6 The new harbour in Landskrona - oceanographic investigations
by Jonny Svensson
Norrköping 1983

7 Operational hydrological forecasting in Sweden
by Magnus Persson
Norrköping 1983

8 Vattenutbyte mellan Bottniska Viken och Östersjön
av Cecilia Ambjörn
Norrköping 1983

9 Var vintern 1982/83 extrem? En jämförande studie av vattentemperatur i några mellansvenska sjöar
av Gun Zachrisson
Norrköping 1983

10 Sedimenttransport i svenska vattendrag 1981. Resultat från sedimenttransportnätet
av Maja Brandt
Norrköping 1983

11 Försök med automatisk vattenprovtagning i Marviken
av Bo Juhlin
Norrköping 1983

12 Värmeuttag ur Helgasjön - Möjligheter och konsekvenser
av Gun Zachrisson och Barry Broman
Norrköping 1984

13 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1983
av Bo Juhlin
Norrköping 1984

14 Åtgärder mot försurning i Velen. Erfarenheter från utförd behandling med kalk och soda samt förslag till fortsatta åtgärder. En utredning för Töreboda kommun
av Ingemar Holmström
Norrköping 1984

15 Vågdata från svenska kustvatten 1983
av Jonny Svensson
Norrköping 1984

16 Beräkning av daglig vattenföring vid Ulvå kvarn i Fyrisån 1951-82
av Magnus Persson och Sven-Erik Westman
Norrköping 1984

17 Utvärdering av 1983 års vårflodesprognoser
av Martin Häggström och Magnus Persson
Norrköping 1984

18 Vattenståndsprognoser för Hammarsjön - Helge å. En utredning för Kristianstad län
av Barbro Johansson

19 Utvärdering av 1984 års vårflödesprognoser
av Martin Häggström
Norrköping 1984

20 Svenskt Sjöregister - Uppdatering
av Torbjörn Lindkvist och Christina Thoms-Hjärpe
Norrköping 1984

21 Snömätning med flygburen gammaspektrometer i Kultsjöns avrinningsområde 1980 - 1984
av Sten Bergström och Maja Brandt

22 PROBE - An Instruction Manual
by Urban Svensson
Norrköping 1984

23 Kartläggning av ytvattentemperaturen med satellitdata
av Thomas Thompson
Norrköping 1985

24 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med Kustbevakningens fartyg
av Bo Juhlin
Norrköping 1985

25 Vindförluster vid mätning av snönederbörd med SMHI-nederbördsmätaren
av Bengt Carlsson
Norrköping 1985

26 Svenskt Vattendragsregister
av Torbjörn Lindkvist
Norrköping 1985

27 Svenskt Sjöregister
av Kurt Ehlert (projektledare)
Norrköping 1983

28 Aplicación del modelo HBV a la cuenca del Lago de Arenal en Costa Rica
av Barbro Johansson, Magnus Persson, Göran Sandberg och Edgar Robles (ICE)
Norrköping 1985

29 Beräknat markvattenunderskott i Simlångens avrinningsområde 1934-83
av Gun Grahn, Barbro Johansson och Barbro Norlander
Norrköping 1985

30 Beräknat markvattenunderskott i Emåns avrinningsområde 1934-83
av Gun Grahn, Barbro Johansson och Barbro Norlander
Norrköping 1985

31 Application of the HBV-model to pilot basins in Burma
av Ohn Gyaw och Magnus Persson
Norrköping 1985

32 Vattenbalanskartor över Sverige - månadsmedelvärden för 1931 - 1960 av nederbörd, avdunstning och avrinning
av Todor Milanov
Norrköping 1985

33 Vågdata från svenska kustvatten 1984
av Jonny Svensson
Norrköping 1985

H-RAPPORTER

1 Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena
av Bengt Carlsson
Norrköping 1985

O-RAPPORTER

1 En hydrodynmisk modell för spridnings- och cirkulationsberäkningar i Östersjön
av Lennart Funkquist
Norrköping 1985

SMHI
Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.