

FORSKNING och FRAMSTEG

1974

1



Innehåll

- 1 FORSKNING OCH FRAMSTEG I SAMHÄLLSUTVECKLINGEN**
- 3 VÄRLDENS PROTEINBRIST KAN LINDRAS OM KVÄVEFIXERINGEN UTNYTTJAS BÄTTRE**
av docent Ulf Granhall
- 8 NEDRUSTNING OCH KEMISKA VAPEN**
av överingenjör Johan Lundin och avd-chef Lars-Erik Tammelin
- 14 KRIG MED KEMIKALIER** *av redaktör George Strachal*
- 17 FRÅN MENDEL TILL GRÖNA REVOLUTIONEN** *av byrådirektör Göran Friborg*
- 20 ATMOSFÄREN SEDD OVANIFRÅN** *av docent Eric Dyring*
- 27 DET LEVANDE LUFTHAVET** *av professor Bert Bolin*
- 34 VÄDERVIRVLARNA** *av professor Erik Palmén*
- 42 TROPISK ORKAN** *av docent Hilding Sundqvist*
- 48 TROMBER OCH ANDRA »DEVILS»** *av professor Theodore Fujita*
- 58 VÄRLDSBANK FÖR KÄRNDATA** *av tekn dr Henri Condé*
- 60 NYTT FRÅN RÅDEN**

FORSKNING och FRAMSTEG

- **Redaktion:** Eric Dyring, Ann Charlott Molin, George Strachal. Illustrationer: Nils Peterson. Layout: Leif Flink.
- **Postadress:** Drottninggatan 102, Box 45 143, 104 30 STOCKHOLM 45. Tel: 08/20 06 01.
- **Abonnemang** inkl varuskatt (8 nr): 45 skr. Årgångsmapp 8 skr. Postgiro 18 19 00-2, Redaktionstjänsten/NFR, Box 23 136, 104 35 Stockholm 23. Tel: 08/15 15 80 »Beställningar».
- Författare som medverkar med artiklar och debattinlägg i FoF representerar endast sig själva och inte den organisation eller myndighet där de är anställda. Det osignerade materialet som FoFs intressenter publicerar återfinns under Nytt från råden och ger uttryck för resp myndighets eller organisations ståndpunkter. Övrigt material är framtaget av redaktionen.
- Text och illustrationer i FORSKNING och FRAMSTEG får fritt användas för publicering under förutsättning att resp författare lämnat tillstånd. Källan skall anges och ett exemplar av publikationer sändas till FORSKNING och FRAMSTEG. Redaktionen står till tjänst med upplysningar.
- **Utgivare:** Sällskapet för forskningsinformation • **Ansvarig utgivare:** Tekn dr Martin Fehrm • **Intressenter:** Försvarets forskningsanstalt, Ingenjörsvetenskapsakademien, Kungl Vetenskapsakademien, Statens råd för atomforskning, Statens naturvetenskapliga forskningsråd, Statens medicinska forskningsråd, Statens råd för samhällsforskning, Statens råd för skogs- och jordbruksforskning och Styrelsen för teknisk utveckling • **Styrelse:** Tekn dr Martin Fehrm (ordf), Prof Mårten Bendz, Prof Carl Gustaf Bernhard, Prof Per Brinck, Prof Arne Engström, Prof Bengt Gustafsson, Prof Lamek Hulthén, Prof Torsten Hägerstrand, Prof Karl Gustav Luning, Gen dir Torsten Magnusson, Plan dir Jan Uhler, Civ-ing Bengt Arne Vedin • **Redaktionskommitté:** Prof Arne Engström, Doc Anders Johnsson, Doc Göran Löfroth, Doc Einar Mattsson, Bitr prof Göran Möller, Prof Erling Norrby, Bitr prof Sune Rosell, Prof Kai Siegbahn

Forskning och framsteg i samhällsutvecklingen

Statsverkspropositionen 1974 – den »nådiga luntan» – har kommit. Alla som är direkt beroende av statliga anslag för sin verksamhet studerar nu med spänning hur nådig finansministern varit denna gång. Eller, som han själv väl kommer att uttrycka det i finansplanen, hur nådig han kunnat vara med hänsyn till internationell konjunktur, arbetslöshet, oljekris, inflation och andra av högre makter oss pådyvlade besvärigheter, som är svåra att prognostisera.

Vad gäller anslag till forskning och utveckling kommer på nytt flertalet berörda att känna sig djupt besvikna, om än inte överraskade. Forskningsråden får ökning på 10–15 % i kronor räknat, alltså relativt litet i realvärde, STU något mera. Ingen får dock tillnärmelsevis vad som i petitasammanhang presenterats som nödvändigt. En närmare kommentar beträffande konsekvenserna för berörda organ inom FoFs intressekrets kommer i nästa nummer.

Behovet av resurser har underbyggts i långa motiveringar i respektive petita, utdelningen kommenteras i statsverkspropositionen med några korta oprecisa meningar. Det som slår mig mest i detta sammanhang är inte anslagets storlek i och för sig utan nyssnämnda tecken på bristerna i kommunikation mellan

politiker och forskare eller planerare och beslutsfattare å ena sidan och forskare å den andra. Det finns många fler och än allvarligare tecken på denna brist.

Alla tycks vara överens om att det mesta av vår nuvarande levnadsstandard är baserad på kunskaper som tillkommit genom FoU. Likaså att en huvudpart av de missgrepp som begåtts i utvecklingen av denna levnadsstandard beror på avsaknad av kunskaper eller att befintliga kunskaper inte använts eller använts felaktigt.

Det rör sig här om kunskaper inom ett vidsträckt fält från grundläggande sådana av naturvetenskaplig, beteendevetenskaplig eller annan art till sociala och tekniska tillämpningsmöjligheter.

Betydelsen av ett rationellt kunskapsflöde från forskare till samhället i övrigt, alltifrån den vanliga medborgaren på olika platser i samhället till de politiker dessa väljer har framhållits många gånger. Liksom även betydelsen av att individens och samhällets behov av kunskaper når fram till forskaren. Här är forskaren, politikern och andra överens.

Men ändå fungerar informationsprocessen illa, trots alla beredningar, kommittéer och trots massmedia, litteraturutbud och utbildningsvä-

sendets stora utbyggnad. Utbildningsväsendet är i detta sammanhang väsentligt och där sker naturligtvis ett omfattande informationsflöde från forskningen till de studerande – även fortsättningsvis i direkt kontakt på de högre nivåerna får man hoppas.

Men även i detta sammanhang, dvs utbildningen, kan man vid sidan av den yrkesinriktade specialistutbildningen se mycket litet av studier av informationsprocessens betydelse för att ge allmän världsbildsinformation och förståelse för utvecklingsprocesserna och deras konsekvenser.

När det gäller samhället i övrigt finns knappast någon inträngande analys av problemen kring; om vad, hur och vem som skall informeras för att uppnå sådana väsentliga mål som förståelse för samverkan människor sinsemellan och mellan människor och natur – vårt samhälles ekologi i vidsträcktaste bemärkelse. Eller för att få kännedom om de möjligheter och begränsningar i vårt kunnande som väsentligt påverkar samhällsutvecklingen.

Det bästa sättet att utbyta information är naturligtvis att åstadkomma personkontakt. Detta kan ske endast i mycket begränsad omfattning i vår komplicerade samhällsstruktur.



Det är därför ett samhällsintresse av största vikt att olika informationsmedia kan utnyttjas rationellt för att förmedla information kring forskningens resultat, dess villkor och arbetsmetoder till alla dem inom samhället som är beroende av dess resultat vare sig det är frågan om allmänt intellektuellt välbefinnande eller viktigare delar av deras plane-

ring och beslutsprocess. Likaså är det viktigt att information om samhällets behov kan nå forskarna. Det är emellertid inom det förra problemområdet som FoF ser sin plats. FoF når en relativt begränsad läsekrets och täcker naturligtvis också en relativt liten del av kunskapsområdet. Vi vet också mycket lite om vad FoF betyder i de här berörda sam-

manhangen, dels därför att vi själva kanske gjort för lite för att analysera vår position, dels och framför allt därför att det överhuvudtaget saknas en grundläggande analys av problemen kring forskningsinformation till de i samhället verksamma. Alltså problemställningen: vad, hur och till vem beträffande forskningen.

Martin Fehrm

FORSKNINGEN I STATSBUDETEN

	Anslag 73/74 tkr	Äskat 74/75 tkr	I prop 74/75 tkr	Förändring ¹ %
Försvarets forskningsanstalt	111 000	126 860	127 000 ²	+ 14
Ingenjörsvetenskapsakademien	700	1 240	745 ³	+ 6
Kungliga vetenskapsakademien	4 980	7 411	5 430	+ 9
Statens råd för atomforskning (inkl CERN II)	24 360	35 160	30 245 ⁴	+ 24 ⁴
Statens naturvetenskapliga forskningsråd (exkl rymdforskning)	55 610	91 760	62 705	+ 13
Rymdforskning	6 870	7 413	7 425	+ 8
Statens medicinska forskningsråd	51 530	81 000	58 015	+ 13
Statens råd för samhällsforskning	12 230	17 500	13 600	+ 11
Statens humanistiska forskningsråd	10 790	15 300	11 915	+ 10
Statens råd för skogs- och jordbruksforskning	11 925	14 500	13 745	+ 15
Styrelsen för teknisk utveckling	157 100	243 500	191 000	+ 22

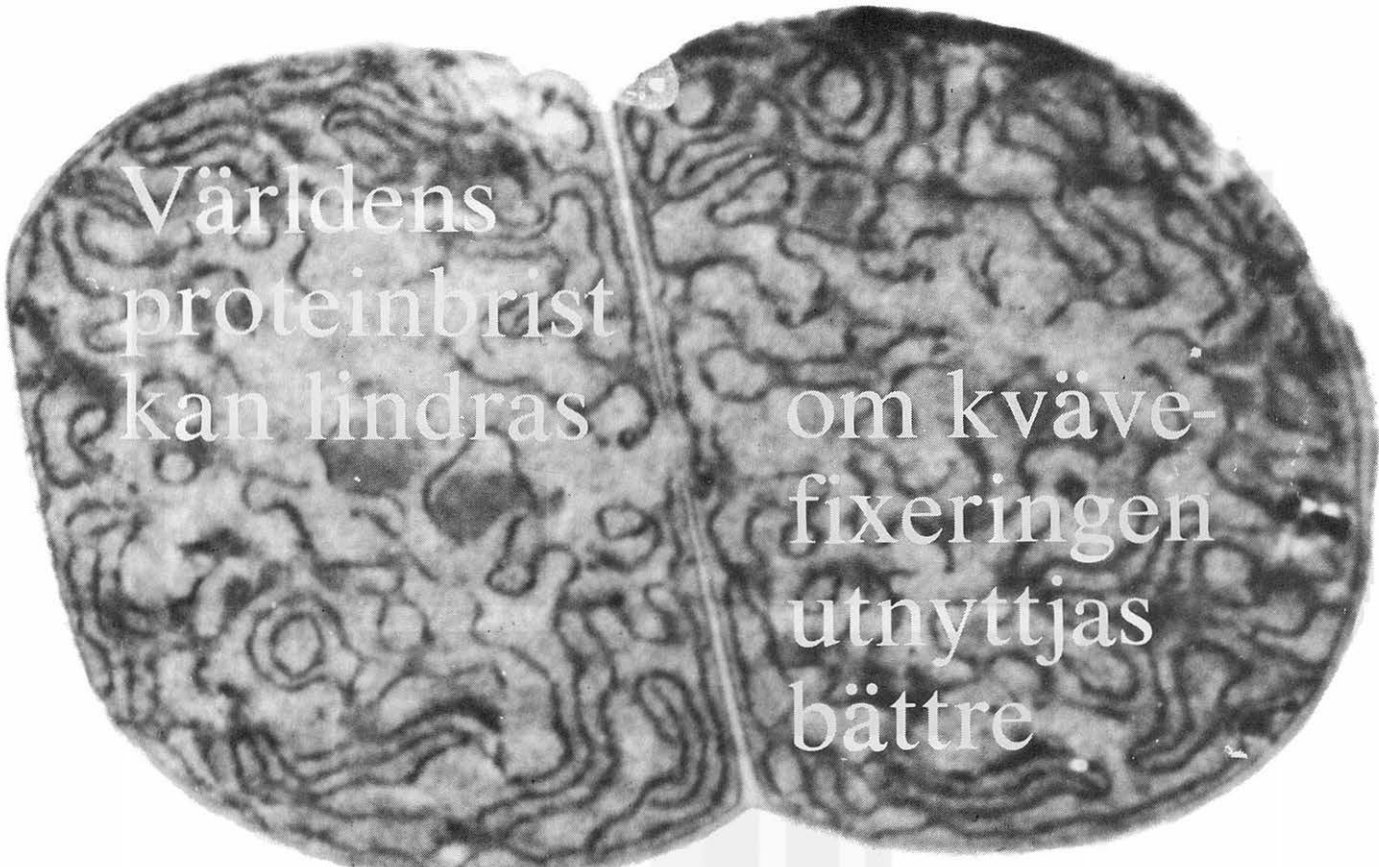
¹ Dessa ökningar skall framför allt kunna täcka avtalsmässiga löneökningar samt en ökning av lönekostnadspålägget från 26 till 29 %.

² Detta belopp är preliminärt och kan komma att ändras på grund av den förestående omorganisationen av Försvarets forskningsanstalt.

³ Ingenjörsvetenskapsakademien har dessutom ett anslag på 500 tkr för forskarutbyte med Östeuropa och Kina.

⁴ En stor del av denna ökning avser det internationella konventionsbundna åtagandet angående CERN II (300 GeV-acceleratorn).

Forskningsanslag för budgetåret 1974/75 enligt statsverkspropositionen. FORSKNING och FRAMSTEGs nästa nummer, 2/74, kommer att innehålla en utförligare redogörelse för forskningen i statsverkspropositionen och närmare förklaringar till vad som gömmer sig bakom siffrorna.



Världens proteinbrist kan lindras om kväve- fixeringen utnyttjas bättre

AV ULF GRANHALL

Kvävefixering är vid sidan av fotosyntes en av de mest fundamentala processerna för upprätthållandet av liv i naturliga miljöer. Den totala årliga fixeringen beräknas uppgå till ca 100 miljoner ton kväve. Den proteinbrist som råder världen över visar dock att vi inte till tillnärmelsevis lärt oss att utnyttja processens potentiella möjligheter för proteinframställning och inte heller de miljöer där den förekommer.

Vid Internationella Biologiska Programmet, IBP, nyligen avslutade möte i Dundee, Skottland, framlades en rad uppseendeväckande forskningsresultat, som klart antyder möjligheterna att förbättra proteinsituationen i världen, genom ett bättre tillvaratagande av kvävefixeringen.

Bland de framsteg och nya möjligheter som framkommit kan nämnas:

- **Acetylenreduktionsmetoden för bestämning av kvävefixeringen**

Den revolutionerande metod för beräkning av kvävefixeringen som nu används världen över bygger på en-

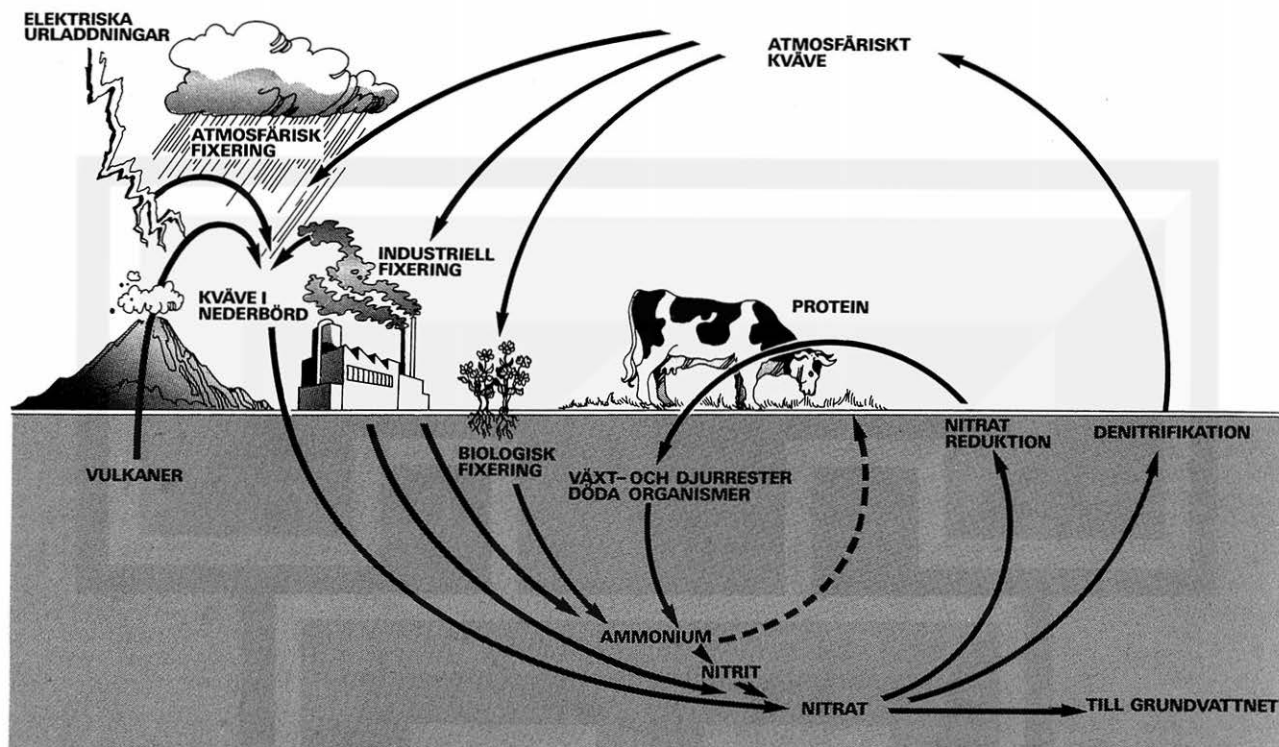
zymsystemet nitrogenas' förmåga att reducera även andra substanser än kvävegas. Vid reduktion av t ex acetylen bildas fritt gasformigt etylen, vilket kan detekteras i oerhört små mängder (miljondels miljondels mol) genom gaskromatografi.

Ett resultat av denna metod är att

man kunnat biokemiskt förklara processen och i fält kunnat studera dygnsvariationer och klimatiska faktors inverkan.

- **Kvävefixerande system hos högre växter**

Ett antal, tidigare okända, kvävefixerare bland högre växter har upptäckts. Kvävefixerande förmåga, genom symbios med mikroorganismer förekommer efter allt att döma inom ett stort antal växtfamiljer och ordningar av mossor, lavar, ormbunkar, gymnospermer och angiospermer, dvs inom hela växtsystematiken. Nya sådana associationer kan förväntas uppstå spontant eller via mänskliga ingrepp.



Kvävets kretslopp.

För att inte alltid sätta de välkända baljväxterna först, kan nämnas att trädslaget al kan fixera upp till 150 kg kväve per ha och år i ordinära trädbestånd.

Beträffande baljväxterna kan konstateras att de årliga fixeringsvärdena som rapporterats varierar mellan några kilo och flera hundra kilo kväve per ha för t ex lusern, vilket visar på de mycket stora möjligheter som finns att öka skörden genom adekvat bakterieinymning i kombination med lämpligt användande av konstgödsel. Den på allt flera platser nyintroducerade sojabönan t ex är för sin utveckling helt beroende av samtidig inymning med lämplig *Rhizobium*stam.

I Indien odlas ätliga baljväxter på 22 miljoner ha åkermark (jordnötter och sojabönor undantagna), vilket

motsvarar 1/6 av härför lämplig mark. I laboratorieförsök har ökade skördar erhållits vid inokulering (ympning av utsädet) med *Rhizobium*bakterier. Tyvärr är det dock svårt att erhålla samma resultat i fält beroende dels på vattenbrist, dels på att de inympade bakterierna får konkurrens av naturliga ineffektiva stammar. Ett förbättrat resultat kunde visas vid fosfortillsats.

Australiska försök har visat att ett tillskott av 75 kg kväve per ha i form av konstgödsel ökade baljväxtskörden med 70 % utöver vad som erhöles med enbart inymning. Tillskott av moderat mängd kväve är således nödvändigt för optimalt utnyttjande av symbiosen.

I Uruguay påbörjades 1960 ett intensivt program för att öka animalieproduktionen. Fosforgödsling

och högproduktiva ympade baljväxter utnyttjades i områden som till 2/3 bestod av tunna, steniga eller dåligt dränerade jordar, olämpliga för lantbruk. Försöket har haft oöverträffad framgång, och mellan 300 000 och 350 000 ha har kunnat tas i bruk varje år. Kött- och ullproduktionen i de nya områdena ligger över den hos de ursprungliga gräsmarksområdena. Ett omfattande utbildningsprogram föregick försöket för att delge bönderna kunskap om transport och lagring av ympat utsäde, ympningsteknik och sådd.

• Miljöfaktorernas inverkan på baljväxternas kvävefixering

Mycket stora områden i tropikerna kan för nuvarande inte utnyttjas för jordbruk på grund av låg naturlig produktivitet eller erosionsproblem.

Huvuddelen av dessa jordar är sura, näringsfattiga och har toxiska nivåer av utbytbara aluminium- och manganjoner. Om dessa faktorer förändrades skulle baljväxter kunna odlas här. I Brasilien har tex de enorma områden som kallas »cerrados» börjat utnyttjas till odling av baljväxter med gott utbyte efter korrigering av begränsande näringsfaktorer (fosfor, kalium, zink).

• Världsbank för Rhizobium

En världskatalog och världsbank av Rhizobiumkulturer har påbörjats. Hittills har inkommit data om ca 3 000 Rhizobiumstammar isolerade från 430 värdväxter i 29 länder. Detta arbete skall fortgå i FAOs regi.

• Genetiska aspekter på kvävefixeringen

Den biokemiska likheten mellan kvävefixerande enzym från rotknölar och från fritt levande blågröna alger och bakterier tyder på att den genetiska koden (nif-generna) för denna förmåga är mer eller mindre identiska hos flertalet kvävefixerande organismer. I de flesta system hämmar ammoniumjoner funktionen av dessa gener. Olika mutanter med skilda egenskaper har isolerats. Under de allra senaste åren har det blivit möjligt att överföra gener mellan kvävefixerande organismer och tom till organismer som annars saknar denna förmåga. Man har tex lyckats överföra nif-generna till Koli-bakterier. Det har alltså blivit möjligt att göra människans tarmbakterier, som också är de mest undersökta bakterierna i världen, självförsörjande vad gäller kväve!

Icke-kvävefixerande mutanter har

isolerats och sensationellt nog även sk derepressade mutanter, dvs sådana som inte hämmas av ammoniak. Här öppnar sig möjligheter att agrikulturellt utnyttja exempelvis sådana Rhizobiumstammar som tolererar ett kraftigt tillskott av kväve utan att förlora sin värdefulla förmåga att svara för biologisk kvävetillförsel.

• Kvävefixerande fritt levande bakterier

Kvävefixeringen är en mycket energikrävande process. En mol sukros kan utnyttjas för fixering av ca 300 mg kväve, så som sker i baljväxtknölna. Effektiviteten hos fritt levande bakterier är avsevärt mindre, varför dessa organismer är betydelsefulla endast i speciella miljöer, exempelvis rotzonen hos en del högre växter. En skillnad är också att fritt levande bakterier huvudsakligen kvarhåller kvävet tills de dör, varför det kan ta lång tid innan det blir tillgängligt för de högre växterna. I rotknölar överförs det fixerande kvävet nästan omedelbart till värdväxten.

Genetiska möjligheter att selektera fram gräsarter (i framtiden kanske också ris, majs och vete) med en naturligt förekommande rhizosfärflora av kvävefixerande bakterier tycks goda. Det nuvarande växtförädlingsarbetet har ofta gått ut på motsatsen, dvs att få fram snabbt växande plantor som kan utnyttja stora mängder konstgödsel. Det finns tom nya svenska baljväxtstammar som inte längre kan infekteras med Rhizobium. Tillbaka till naturen!

Andra viktiga aspekter på fritt levande kvävefixerande bakterier är att de ofta är de första organismerna som koloniserar döda växtdelar. De

berikar härigenom substratet varigenom svampar och andra bakterier kan attackera det och mineralisera det till för växterna upptagbara ämnen.

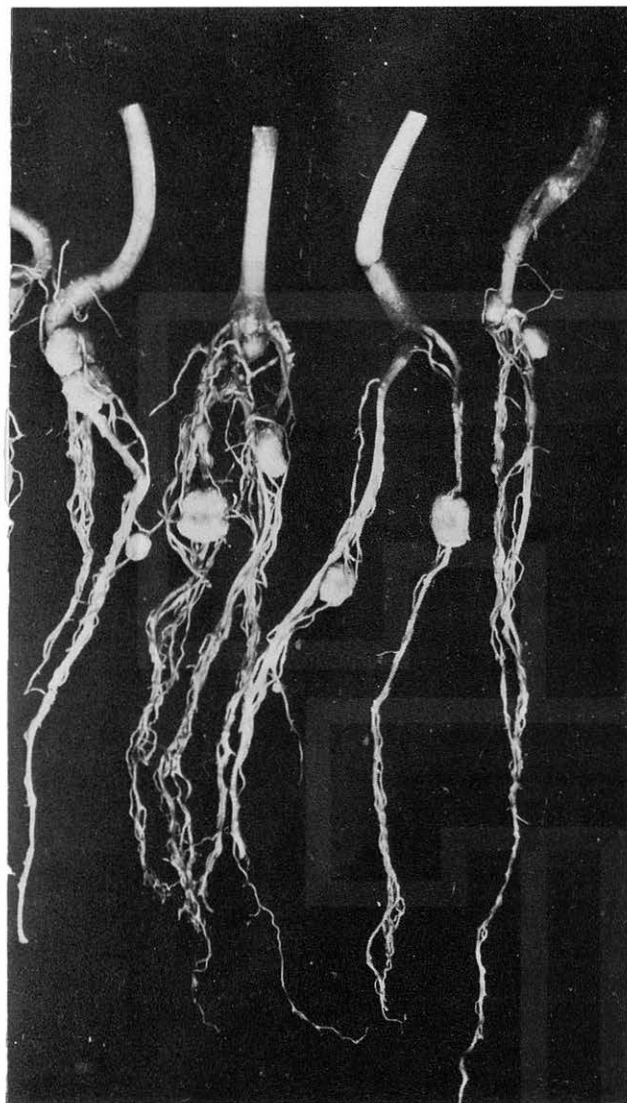
• Kvävefixerande blågröna alger

Kvävefixerande blågröna alger förekommer i en mängd naturliga miljöer. De har rapporterats fixera 3–30 kg kväve per ha och år i sjöar, ca 40 kg i hav och 5–100 kg i jordar. Kunskapen om och förståelsen för dessa organismers betydelse har ökat kraftigt tack vare IBP. De är särskilt betydelsefulla i tropiska risfält, tempererade sjöar, marina områden och kuster liksom i arktiska och subarktiska områden.

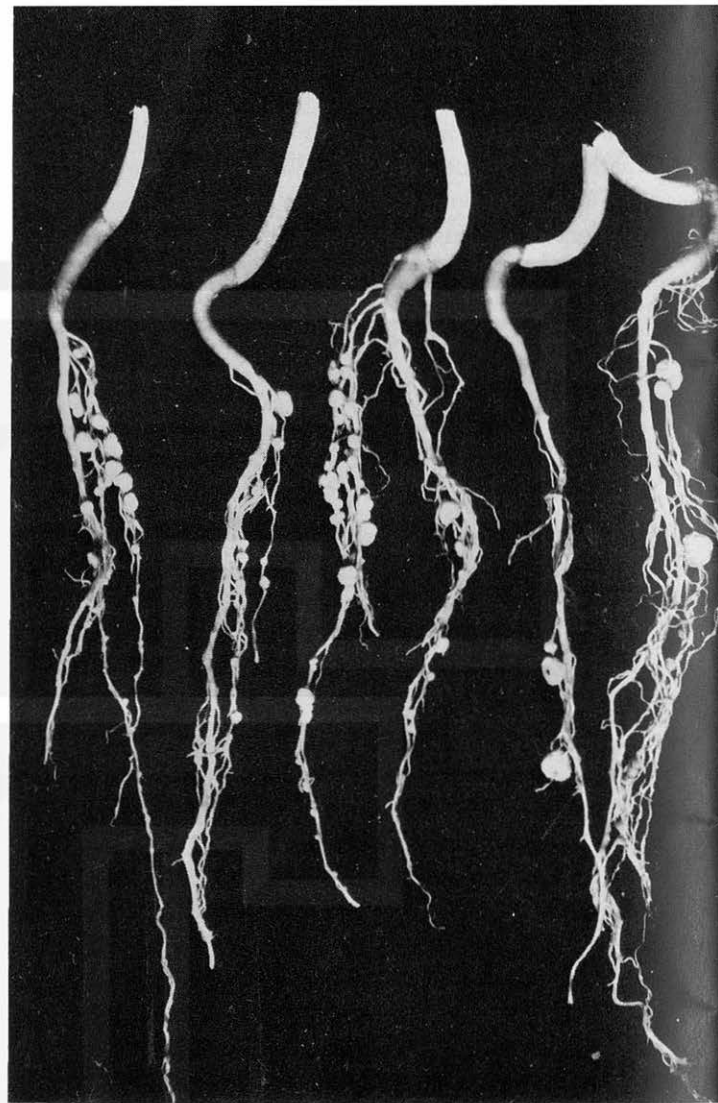
Flera års studier i Alaska, Antarktis och norra Sverige (Abisko) har klarlagt att kvävefixering via dessa alger är det viktigaste kvävetillskottet inom dessa ekosystem.

I jordar förekommer dessa blågröna alger särskilt i sanddyner, gräsmarker, mossor, ler- och kalkrika jordar, samt som primärkolonisatorer på stenar, klippor, frilagda jordytor och vulkaniskt material. De viktigaste miljöfaktorerna är fuktighet, temperatur, ljus, pH och näringsämnen (som fosfor). Svenska undersökningar har visat att deras kvävefixering i jordar kan uppgå till 30 kg kväve per ha och år, i speciellt näringsrika mossor över 90 kg per ha och i sjöar (Erken) till 30 kg, (den totala kvävetillförseln via fixering var nära 3–4 gånger så stor som tillförseln från andra källor).

I Indien inympas dessa alger i risfälten med gott resultat. De är också det viktigaste kvävetillskottet i torra och ökenartade områden i bl a Australien, Marocko och USA. Nä-



*Kraftiga, kvävefixerande
rotnölar hos lupin som ympats
med en effektiv bakteriestam.*



*Lupin ympad med
ineffektiv bakteriestam.*

nas bör också att vissa blågröna alger är utmärkta som födoämnen.

En nyhet som presenterades var en nyligen funnen encellig blågrön alg som kan fixera kväve i luft. Vanligtvis sker detta endast hos trådlånga former och i speciella celler med starkt reducerande förhållanden. Syre (O_2) verkar nämligen hämmande på de flesta kvävefixerande organismer. Därför har olika organismer utvecklat skilda system för

att skydda sig mot syre, t ex rotnölbildning, slembildning, speciella celler med mekaniskt skydd eller hög metabolisk aktivitet.

I indonesiska risfält förekommer en liten vattenormbunke rikligt som har intercellulära kvävefixerande blågröna alger. Denna rapporterades kunna fixera flera hundra kilo kväve per ha och år.

Sammanfattningsvis kan sägas att kvävefixerande organismer förekom-

mer i alla naturliga miljöer och om de identifierades och studerades skulle man många gånger bättre kunna tillvarata deras potentiella möjligheter. Ett nästan hundra procentigt utnyttjande av fixerat kväve sker inom ekosystemen. Som jämförelse kan nämnas att endast 1/3 av kvävet utnyttjas vid maximala konstgödselgivor. Större delen av konstgödselkvävet hamnar förr eller senare i dräneringsvattnet, brunnar



Lupin ympad med icke infektiiv bakteriestam.

och vattendrag med välkända förgiftningsfall, igenväxning av sjöar etc som följd.

• Framtida perspektiv

Den sista sessionen vid mötet i Dundee ägnades åt sådana spektakulära framtida perspektiv som:

a) hur man får nya kulturväxter exempelvis majs och ris att bilda kvävefixerande symbioser med mikroorganismer.

Detta kan ske genom att man utnyttjar och förbättrar ursprungliga arter som redan har dessa organismer i rotzonen. Man har också funnit en icke-baljväxt som kan infekteras med *Rhizobium* och förmodligen finns det många fler. I »nakna» cellkulturer och tumörer kan man lätt infektera flera växter med *Rhizobium*. Dessa »nakna» celler kan sedan fås att sammansmälta till nya hybrider exempelvis tomat-potatisplantor, »päpple» etc. Sådana hybrider med baljväxter borde sedan kunna infekteras med *Rhizobium* bakterier och fås att utveckla en symbios. Återkorsningar kan härvid bli nödvändiga. Dock krävs att effekten är bestående, dvs att den finns kvar under hela växtens tillväxt och delning. Här menar kritikerna att gränsen till science fiction går. Försök pågår dock, och det vore värt Nobelpris om man lyckades.

b) hur man överför nitrogenaset från blågröna alger till kloroplaster av högre växter.

De högre växternas kloroplaster anses ha uppstått från encelliga blågröna alger i evolutionens barndom. Genom att utnyttja den tidigare nämnda encelliga kvävefixerande blågröna algen tror man att det kan bli möjligt att överföra denna förmåga till växtceller enligt ovan. Experimentella provrörssystem med kloroplaster och nitrogenas från blågröna alger fungerar utmärkt!

c) hur man inympar depressade mutanter av kvävefixerande bakterier i tarm- och matsmältningsapparaten hos gräsätare.

Detta är en annan fantastisk möjlighet att förbättra världens proteintillgång. Mutanterna finns redan och undersökningar av förutsättningarna

för deras fixering hos får har bl a skett vid lantbrukshögskolan i Uppsala. Framtiden får utvisa om vi kan avvara de dyrbara foderproteinerna och framställa animalt protein via exempelvis cellulosa.

d) hur man utnyttjar icke-biologiska system för att framställa ammoniak direkt på åkern vid normala temperaturer och gastryck.

Sådana system finns utarbetade och fungerar, dock inte ännu ekonomiskt.

FN-vädjan

Samtidigt som dessa sensationella framtidsperspektiv kommit fram avslutas det internationella samarbetet inom IBP och anslagen dras in eller reduceras kraftigt. FNs miljöprojekt och FAO vädjar dock till alla länder och till det internationella MAB-projektet (Människan och biosfären) att anslå medel för att fortsätta forskningen för att kunna applicera den grundvetenskapliga kunskapen i praktiskt lantbruk.

I avvaktan på resultat av denna vädjan kan endast starkt begränsande åtgärder föreslås:

- ☐ praktiska jordbrukskurser och konferenser för utvalda lantbrukselever i u-länderna
- ☐ ökning av baljväxtarealen
- ☐ planterandet av alträd i skogar. ■



Kvävefixerande blågröna alger sedda genom elektronmikroskop.

Nedrustning och kemiska vapen

AV JOHAN LUNDIN OCH LARS-ERIK TAMMELIN

Sedan Genève-protokollets upprättande 1925 har det enligt folkrätten varit förbjudet att använda gifter i vapenladdningar. Det har dock visat sig att förbudet inte är någon fullständig garanti. I Etiopien-kriget på 30-talet användes senapsgas, i Vietnam tångaser och växtutrottningsmedel samt i Jemen på 60-talet troligen senapsgas. Det vore givetvis säkrare om användningsförbudet kunde utvidgas till nedrustning dvs förbud mot innehav av kemiska stridsmedel. Sedan några år pågår i Genève förhandlingar om sådan nedrustning. En del resultat har nåtts. Svårigheterna är till stora delar lokaliserade och beskrivna men trots det går det mycket långsamt.

Orsakerna till långsamheten är många men alla bottnar i den allmänna osäkerheten om motståndarens definitiva avsikter. Det förefaller säkrare att rusta mot rustningar, att ha kärnvapen mot kärnvapen och, vilket är mindre känt, ha kemiska stridsmedel mot kemiska stridsmedel, se tabell 1. Att stå utan kemiska stridsmedel är nämligen en stor nackdel mot någon som använder sådana. Endast ett omfattande skydd, som visserligen inte är kostsamt i anskaffning men som är krångligt att sköta, kan hjälpligt kompensera denna nackdel men inte helt. Alla förluster kan inte undvikas med dagens teknik. Överraskande angrepp med kemiska stridsmedel mot oskyddade mål ger mycket stor verkan, se tabell 2. Å andra

sidan skulle användning av kemiska stridsmedel mellan offensivt och skyddsmässigt lika rustade parter endast öka förlusterna och skapa hinder för rörligheten. Man är dessutom psykologiskt mer inställd på att slå hårt mot fienden än att själv behöva träla med en massa stridshämmande skyddsteknik och skydd som måste kostas på även civila. Mycket få länder har ansett sig ha råd med ett civilförsvar som ger ett effektivt skydd mot kemiska stridsmedel. Kan då teknik och vetenskap jämna vägen mot en nedrustningsöverenskommelse? Ja, säkerligen. Däremot kanske man inte kan lösa alla förtroendefrågor. I fortsättningen ges exempel på problem och problemlösningar som rör nedrustning av kemiska stridsmedel och där naturve-

tenskapliga överväganden är av betydelse.

AVTALSTEKNIK: Definitioner

Många begrepp inom toxikologin, kemin och vapentekniken är sådana att man måste vara överens om definitioner för att förstå de ord som är avsedda att beskriva begreppen. Det vore bra om någon kunde upplösa orden giftig och giftverkan i en del lättare definierbara ord. Nu är man t ex på grund av vagheten i tidigare definitioner inte överens om tångaser och växtbekämpningsmedel är kemiska stridsmedel även om definitionerna i FNs expertutredning (1) säger att de är det, *nota bene* om de kan anses ha giftverkan.

Kemiska stridsmedel antas i rapporten vara kemiska ämnen – aningen i form av gas eller vätska eller i fast form – som skulle kunna utnyttjas på grund av sina direkta giftverknings på människor, djur och växter.

Växtutrottningsmedel är giftiga för växter, och förstöring av grödor i krig medför svält. Tångaser är tårretande och hostretande i så låga koncentrationer i förhållande till sin akuta toxicitet att de måste betraktas som relativt ofgiftiga. Blir man instängd i höga koncentrationer under lång tid kan dock lungskador av allvarlig karaktär uppstå. Vid polisbruk i fred kan detta undvikas. I krig där även andra vapen används kanske till och med just mot människor som drivs upp med tångas ur sina skydd är situationen en annan. Växtbekämpningsmedel och tångaser skall alltså falla under FNs definition av kemiska stridsmedel.

Avslutningsvis kan nämnas att gränsen mellan kemiska och biolo-

giska stridsmedel bör gå mellan toxiner och virus. Allt vore väl om det bara funnits en definition av toxiner och om inte många militära instruktioner räknade toxiner till biologiska stridsmedel.

Behovet av kontroll

Om världen helt godtagit Genèveprotokollets förbud mot användning av kemiska stridsmedel och dessutom kommit överens om att inte utveckla, tillverka eller anskaffa och lagra kemiska stridsmedel är avtalen i sig ett hinder mot avtalsbrott. De politiska förlusterna skulle mycket väl kunna omfatta förlust av sympatisörer och t o m allierade vid avtalsbrott. Ett så kraftigt och omfattande förbud skulle bättre än nuläget klargöra att bruk av kemiska stridsmedel i krig är mot folkrätten. Det är alltså viktigt att kunna kontrollera anklagelser för användning av kemiska stridsmedel och beskyllningar för utveckling, tillverkning, inköp och lagring.

Det är billigt och riskfritt att avväpna sin potentiella motståndare med nedrustning om man bara inte blir lurad och överraskande angripen med just de vapen som nedrustningsfördraget gäller. Det är alltså riskabelt att nedrusta vapen som kunde bli krigsavgörande om det inte sker öga för öga och tand för tand (jfr kärnvapen). Därför bör avtal kunna kontrolleras. Frågan är hur vattentät kontrollen skall behöva vara.

Kontrollerbara avtal

Det är troligt att kontrollmetoder kan åstadkommas men det gäller naturligtvis också att göra avtalet så kontrollerbart som möjligt.

Det finns kemikalier som är myc-

Tabell 1. Dödande kemiska stridsmedels kemiska egenskaper, tillstånd och giftighet.

Stridsmedel	Approximativ löslighet i % i vatten vid 20°C	Flyktighet vid 20°C i mg/m ³	Fysikaliskt aggregations-tillstånd vid 20°C	Ungefärlig varaktighet av förväntad fara vid markbelägg, °C, soligt, lätt bris	Förlustvållande dosering (dödande eller allvarligt prestationsnedsättande verkan)
Sarin dödande (nervgas)	100	12 100	vätska	1/4–4 tim	> 5 mg–min/m ³
VX dödande (nervgas)	1–5	3–18	vätska	3–21 dagar	> 0,5 mg–min/m ³
Cyanväte dödande (allmänförgiftande)	100	873 000	vätska	några minuter	> 2 000 mg–min/m ³
Klorcyan dödande (allmänförgiftande)	6–7	3 300 000	gas	några minuter	> 7 000 mg–min/m ³
Fosgen dödande (lungskadande)	sönderdelas	6 370 000	gas	några minuter	> 1 600 mg–min/m ³
Senapsgas dödande (hudskadande)	0,05	630	vätska	2–7 dagar	> 100 mg–min/m ³ (¹)
Botulinumtoxin A dödande	lösligt	försumbar	fast form	–	0,001 mg (oralt)

(¹) En droppe senapsgas som väger några få mg kan åstadkomma en allvarlig blåsa på huden som blir prestationsnedsättande om den hindrar en individs normala aktivitet.

Ur BC-Vapen, en FN-rapport i svensk översättning utgiven av Folk och Försvar och Utrikesdepartementet, Stockholm 1969.

ket giftiga och som har civil användning t ex fosgen och cyanväte. I detta fall blir förbud mot tillverkning som *syftar* till kemisk krigföring aktuell. Kontrollen av militärt bruk av sådana kemikalier som har civil användning och samtidigt du-ger som laddning i kemiska stridsmedel blir besvärlig. En liknande

svårighet medför binära kemiska vapen (2, 3). Sådana vapen innehåller inga stridsmedel med giftverkan förrän de avskjutits. De innehåller två ofarliga ämnen som när de blandas på väg mot målet bildar en verk-sam substans. I båda dessa fall kan nedrustningsavtalet förbjuda en av-sikt eller en vapenkonstruktion. Båda

är svåra att kontrollera. Avsikten är abstrakt och vapen troligtvis undan-dragna inspektion på platsen. Det har ifrågasatts om ämnen med både civil och militär användning kan omfattas av ett tillverkningsförbud och något liknande gäller binära vapen (4, 5). Å andra sidan skulle ett förbud som inte hejdar binära vapen få mycket begränsad effekt och alls inte hindra lagring av vapen för kemisk krigföring.

Tabell 2. Dödande kemiska stridsmedels allmänna egenskaper.

Typ	Mekanism	Tid innan verkan framträder	Exempel
Nervgas G	hindrar överföringen av nervimpulser	mycket snabbt vid inandning (några få sekunder)	tabun, sarin, soman
Nervgas V	hindrar överföringen av nervimpulser	mycket snabbt vid inandning (några få sekunder); re-lativt snabbt via huden (några mi-nuter till några timmar)	VX
Hudskadande stridsmedel	cellgift	blåsbildningen dröjer timmar till dagar; ögonskador upp-står tidigare	senapsgas, kväve-senapsgas
Lungskadande stridsmedel	skadar lungorna	omedelbart till mer än tre tim-mar	fosgen
Allmänför-giftande stridsmedel	hindrar cellandning	snabbt (några få sekunder eller minuter)	cyanväte
Toxin	neuromuskulär förlamning	varierande (tim-mar eller dagar)	botulinum-toxin

Ur BC-Vapen, en FN-rapport i svensk översättning utgiven av Folk och Försvar och Utrikesdepartementet, Stockholm 1969.

KONTROLLTEKNIK:

Kontrolltaktik

Hundraprocentigt effektiv kontroll av internationella avtal kan mycket sällan tänkas och faktiskt inte alls när det gäller kemiska stridsmedel. Inte ens om man fick tillfälle att i alla länder inspektera vapen, fabriker och lager samt den militära under-visningen kunde man vara säker på att ha fått se allt. Den som kräver fullständig kontroll omöjliggör där-med de facto nedrustning om han med fullständig menar teoretiskt osviklig. Kan man däremot godta att kontrollen inte är helt perfekt är man på mer realistisk mark. Det blir då istället svårt att förklara samman-hangen slagkraftigt, ty de kräver viss statistisk pedagogik. Användning av ett flertal kontrollmetoder mot ett flertal objekt kan dock komma att utgöra ett avsevärt hinder mot ett avtalsbrott (6). Det är inte uteslutet att man genom att tillämpa användning av ett flertal kontrollmetoder mot ett flertal objekt kan finna en politiskt accepterad lösning på kon-trollproblemet.

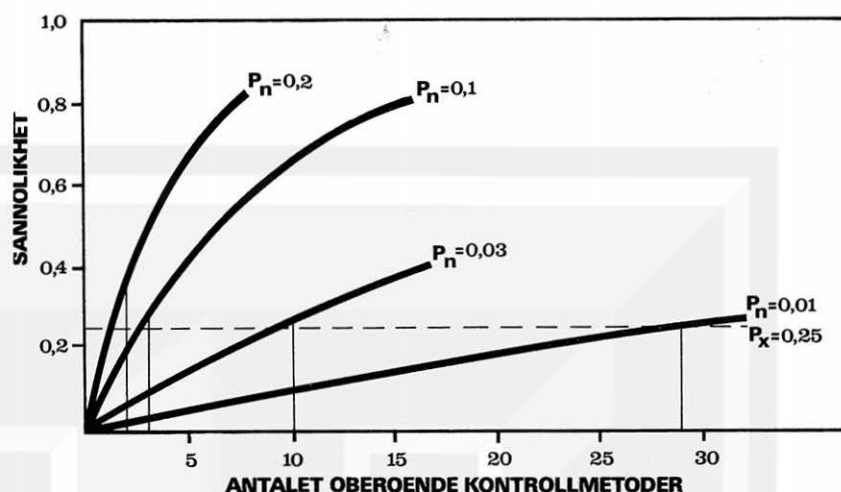
Ett stort antal av varandra obero-ende kontrollmetoder, som inte krän-ker nationell suveränitet, kan var för

sig ha låg trolighet för effektivitet men tillsamman tagna kan de ändå resultera i en mycket större trolighet för att ett avtalsbrott skall kunna upptäckas, se bild 1. Man kan t ex tänka sig att studera militära instruktioner, vetenskaplig litteratur, handelsstatistik och – varför inte – attityder till nedrustningsfrågor osv.

Kontroll av användning

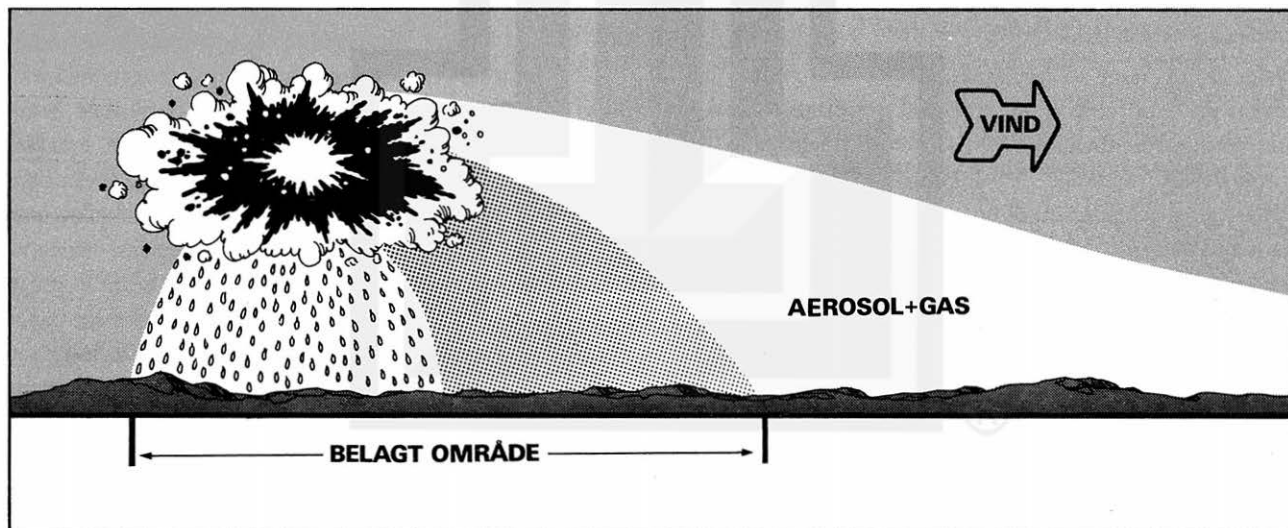
Att visa att kemiska stridsmedel används eller har använts och finns kvar i terrängen är uppgifter för den militära skyddstjänsten mot dessa vapen och för civilförsvaret. Därför finns en hel del tekniker utvecklade för indikering av kemiska stridsmedel (7).

Vissa metoder bygger på engångsprincipen, andra på automatiska och i tiden mer eller mindre kontinuerliga metoder. De giftiga ämnena kan uppfångas i luften och koncentreras på silikagel som är färglös och tillåter bruk av färgreaktioner. Andra sådana metoder bygger på reagenspapper som ger utslag för droppar eller vätska på mark och föremål, se bild 2.



1. Teoretiskt kan den totala (»förstärkta») sannolikheten P_x att ett brott mot ett avtal skall bli avslöjat genom kontroll betraktas som en funktion av antalet (n) av varandra oberoende kontrollmetoder med en sannolikhet P_i att kunna avslöja delaktiviteter, som täcks av avtalet. Den streckade linjen vid $P_x = 0,25$ anger för varje P_i -kurva den skär antalet (närmast högre heltal av n) kontrollmetoder för delaktiviteter, som skulle behöva användas för att man skulle uppnå en total sannolikhet $P_x = 0,25$ för att avslöja ett brott mot avtalet. (Ur FOA Reports 7, 1973, 1.)

2. Verkan av kemisk projektil vid luftexplosion.



Man kan t ex påvisa nervgaser i mängder, som understiger de toxiska doserna, med en enzymreaktion. En zoofysiologisk (8) och jämförande fysiologisk ansats ledde till upptäckt av det för nervgaser hittills känsligaste enzymet, ett kolinesteras från rödspättemuskler. Med utnyttjande av mikrobiologiska metoder har enzymet kunnat lösgöras från muskelvävnaden och framställas i stor skala. Olika metoder har sedan utvecklats för dess användning i utrustningen för påvisning av nervgaser. Det är för övrigt också användbart för påvisning av en del insektsdödande kemikalier vilka, som nervgaserna, angriper enzymet kolinesteras i insekter lika väl som i människor, se tabell 3.

Indikeringsmedel av den typ som beskrivits och som finns nu i världens krigsmakter skulle kunna användas av FN-observatörer, rödakorspersonal och supermakter som ju ofta är närvarande på något sätt. Man får i dessa sammanhang inte glömma att symtom hos skadade och undersökningar av prover från skadade och döda kan ge upplysningar om vad som förekommit.

Litteratur och statistik

Delar av de faser av vapenanskaffningar man nu strävar att förbjuda kan möjligen kontrolleras med »icke inträngande» metoder. Utveckling, tillverkning och/eller inköp av färdiga kemiska stridsmedel eller komponenter till dessa återspeglas eventuellt i uppgifter i öppen teknisk och vetenskaplig litteratur eller sätter möjligen spår i en avtalsbrytande nations handelsstatistik.

Beträffande utveckling visar all hittillsvarande erfarenhet att de ursprungliga upptäckterna och tillämp-

Kolinesteras hämmare	PiChE AChE	PiChE BuChE	PiChE: Kolinesteraspreparation från rödspätta AChE: Kolinesteraspreparation från röda blodkroppar BuChE: Kolinesteraspreparation från hästserum ** organiska fosforföreningar *** 37-SN ⁺ kan påvisas i koncentration lägre än $6 \cdot 10^{-11}$ M
Eserin	10	12	
Sarin**	5	12	
37-SN+***	100	200***	
DFP**	630	5	

Tabell 3. Förhållandet för känsligheten för hämmare mellan olika kolinesteraser.

ningarna nästan alltid härrör från samhällets civila sektorer. Det torde således finnas möjligheter att av öppen litteratur dra slutsatser om eventuell pågående utveckling eller möjligheter härtill.

På motsvarande sätt kan förmodligen under vissa förutsättningar, t ex storleken av den tänkta insatsen i förhållande till annan kemisk verksamhet, slutsatser dras från handels- och produktionsstatistik från ett land huruvida man är i färd med att producera någon militärt signifikant potential av kemiska stridsmedel.

Spaning och underrättelsetjänst

Med anknytning till en artikel i FoF 6/73 om användningen av satelliter för kärnvapenkontroll kan nämnas att satellitkontroll diskuteras också beträffande kemiska vapen. Det förefaller t ex vara teoretiskt möjligt att fastställa eventuell utprovning eller användning av C-stridsmedel genom registrering av

den passiva infrarödstrålningen med satellitburen utrustning.

Satellitkontroll accepteras av stormakterna som en tillåten nationell metod att kontrollera motståndarens faktiska positioner och betraktas inte som spioneri – vilket t ex höghöjdsfotografering med flygplan över främmande territorium gör. Man skall å andra sidan inte glömma bort att s k spioneri och teknisk underrättelseverksamhet måste anses vara mycket viktig för en nation i kontrollsammanhang, då dess resultat kan underkänna eller bekräfta resultat som vunnits med mera öppna, eventuellt internationella, metoder.

Kontrollmätningar

Det största problemet är hur man skall arrangera för att provtagning alls skall bli tillåten på en nations territorium. Det politiska problemet får dock ej hindra att den behövliga tekniken studeras.

Det är inte alltid som man kan påvisa de aktuella nervgaserna, tex i närheten av en industri. De kan i stället avslöjas genom förekomst av nedbrytningsprodukter. Nedbrytningsprodukter kan uppkomma när substans läckt från eventuellt korroderad ammunition och i avfallsvatten efter produktion samt efter fältförsök. För att lösa sådana problem kan man naturligtvis använda gaskromatografi kopplad med masspektrometer. Denna tunga utrustning börjar nu finnas på många håll och det gäller att finna lämpliga uppsamlingsmetoder.

Vill man gå något enklare till väga kan man ta fasta på att nervgaserna är praktiskt taget ensamma om att innehålla en direkt bindning mellan fosfor och en kolatom. Detta återfinns inte hos de organiska fosforföreningar som används som insektsdödande ämnen. Utarbetande av ett lämpligt anriknings- och kemiskt bearbetningsförfarande i mikroskala skulle möjliggöra påvisning av P-C-bindningen i prover från en misstänkt miljö.

Avvakta bättre kontroll?

Man kan konstatera att många av de teknisk-vetenskapliga kontrollmetoder, som här nämnts, har motsvarande tillämpningar för helt andra ändamål, tex vid arbete med insektsdödande medel, narkotikaspaning och analys av läkemedels ämnesomsättning för att bara nämna några områden.

Kemiska stridsmedel är som redan sagts utomordentligt verksamma stridsmedel inte minst om de sätts in mot oskyddade mål. De har också karakteristiska verkningar på individen. Kontroll av brott mot använd-

ningsförbudet kan därför göras av åsina vittnen och förstärkas med en hel uppsättning kända kemiska påvisningsmetoder.

Kontroll av att nedrustning verkligen sker efter ett nedrustningsavtal, är ett helt annat problem. Uppenbarligen skulle en kontroll utförd av i någon mening objektiva kontrollanter på platsen dvs i militära skolor, i ammunitionslager, på fabriker och i kemikalielager vara tekniskt enkel. I praktiken skulle de få kämpa med problemet att verkligen få se alla viktiga ställen. Politiskt förefaller dessutom hela atmosfären behöva ändras så radikalt i gynnsam riktning, för att sådan inskränkning

i den nationella suveräniteten skulle kunna tillåtas, att en så närgående kontroll kanske bara kan införas när den inte behövs. Det har därför visat sig intressant att studera mera indirekta metoder av det slag som här antytts och diskuterats och som i ett samspel politik-vetenskap troligen kan förbättras avsevärt. Den stora aktuella frågan rörande kemiska stridsmedel i nedrustningsförhandlingarna i Genève är om man på kort sikt skall åstadkomma ett partiellt avtal med liten nedrustningseffekt för att öppna vägen för sådana kontrollstudier eller om man skall vänta på bättre kontrollmetoder för att få ett effektivare avtal. ■

Litteraturreferenser

1. Folk och Försvar och Utrikesdepartementet. BC-Vapen. En FN-rapport i svensk översättning. Stockholm 1969.
2. SIPRI, Stockholm International Peace Research Institute: The Problem of Chemical and Biological Warfare. Stockholm 1971-1973.
3. Larsson, L: Binära C-vapen. FOA-tidningen 11 (1973) no 4.
4. Lundin, J: Concerning the Scope and Control of Chemical Disarmament Treaties Particularly with Regard to Binary Chemical Weapons. Cooperation and Conflict 3/4 (1973).
5. Lundin, J: Tekniskt underlag från FOA utnyttjas vid Genèveförhandlingarna. FOA-tidningen 11 (1973) no 4.
6. Lundin, J: Considerations on a Chemical Arms Control Treaty and the Concept of Amplified Verification. FOA Reports 7 (1973) no 1.
7. FOA orienterar OM Luftföroreningar. 10 (1969). Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm.
8. Lundin, J: Studies on Cholinesterases in Fish Muscle with Special Regard to a Cholinesterases from Plaice (*Pleuronectes Platessa*). FOA Reports 2 (1968) no 3.



KRIG med kemikalier

AV GEORGE STRACHAL

Krig med kemikalier har idag två former. Den ena är det direkta kriget där vapnen riktas direkt mot människan. Den andra är det indirekta kriget där vapnen riktas mot människans livsmiljö. Det indirekta kriget kallas också för det ekologiska kriget. Namnet lanserades av amerikanska forskare som var motståndare till USAs krigsföring i Indokina. De önskade att detta namn skulle orsaka en kraftigare reaktion hos folk än det gamla, kanske slitna, begreppet kemisk krigsföring. Det ekologiska kriget har drivits i största skala i Indokina men det har också förekommit rapporter om att Portugal för ett ekologiskt och kemiskt krig i sina kolonier i Afrika. Samma år, 1969–70, som rapporterna om det ekologiska kriget i Angola och Mozambique började dyka upp så fyrfaldigades USAs export av växtbekämpningsmedel, herbicider, till Portugal. I Indokina upphörde officiellt den ekologiska krigsföringen 1971.

De kemikalier som använts i Indokina är av typen hormonliknande herbicider. Främst har det varit fenoxiättiksyror 2,4,5-T, 2,4-D samt monoazinet pikloram. Mot odlingar har i de flesta fall använts blandningar med en organisk arsenikförening; kakodylsyra, vars långtidseffekter inte är närmare undersökta.

De hormonliknande herbiciderna fungerar ungefär som ett i växter naturligt förekommande tillväxt-

hormon; 3-indolyättiksyra. Normalt kan växterna reglera halten av detta tillväxthormon men saknar förmåga att effektivt bryta ned herbiciderna. Detta gör att herbiciderna får effekt.

När en växt besprutas med hormonliknande herbicider uppträder störningarna i växten först när herbiciden anrikats i cellerna. Följden blir en abnorm tillväxt, sprängning av vävnader och förstöring av kärlsträngarna så att växten till slut dör.

Vid civil växtbekämpning försöker man få en selektiv verkan dvs att endast de störande växterna dör. Detta innebär att det måste ske en noggrann beräkning innan ett område besprutas. Vid besprutning i Sverige användes följande mängder fenoxiättiksyror 1970: på 1 300 000 ha åkerjord ca 2 200 ton herbicider och på 100 000 ha skogsmark ca 250 ton herbicider. I krig beräknas mängderna per hektar vara 10–15 gånger större.

Mellan 1962 och 1967 besprutades 1,5 miljoner hektar av Syd-Vietnams yta med omkring 50 000 ton herbicider, intensivast 1967. De amerikanska herbiciderna är ungefär tre gånger så starka som de svenska och mängderna per hektar var cirka 13 ggr större än de i USA tillåtna.

Vid den militära användningen blandas herbiciderna ofta ut med mineraloljor; fotogen eller dieselolja. Dessa oljor ger herbiciderna bättre förmåga att fastna på växter. Även oljan i sig själv fungerar som en herbicid genom att den tränger in i bladvävnaderna och dödar växten.

Pikloram har en mycket lång nedbrytningstid. Vid den amerikanska arméns försöksfält i Puerto Rico visade det sig att områden var helt

döda två år efter besprutning. Pikloram används bara i mindre omfattning i Sverige.

Effekter i Syd-Vietnams natur

Mekongdeltat i Syd-Vietnam växte en gång fram ur mangroveträsk och har kallats för Asiens risskål. Mangroveskogarna har också varit en viktig källa för bl a timmer och träkol.

Mangrovefröna driver med flodvattnet tills de till slut fastnar i den bördiga flodleran. Efter 5–6 år har de slagit rot och vuxit upp. Med tiden dras övrig växtlighet till området och efter ytterligare flera år så har träskområdet förvandlats till land. Det land som växer fram ur mangroveträskan är mycket bördigt men på samma gång mycket känsligt för störningar.

Mangrove-träskan ger ett mycket gott skydd åt gerilla-grupper. Därför hade cirka 50 procent av Syd-vietnams mangrove-träsk vid kusterna blivit besprutade med herbicider fram till slutet av 1970. Den amerikanske biologen Fred Tschirley kom vid sina undersökningar fram till att en besprutning räcker för att döda 90 procent av ett mangrovebestånd. Samme forskare säger också att det tar minst tjugo år innan beståndet har återuppstått. Detta under förutsättning att jordförhållandena inte har förändrats av besprutningen.

En risk vid besprutning av regnskogar är att man dödar de stora träden, åtminstone om flera besprutningar av samma område förekommer. Då kan skogen förvandlas till savann. Det har visat sig att bambu, som är ett ogräs, gärna drar in i områden som besprutats. Kommer bam-

bun har andra mer känsliga växter ingen chans att repa sig. Vidare kan upprepade besprutningar medföra att vissa arter försvinner helt och hållet från floran, eftersom växten kanske inte hinner fröa.

Givetvis har herbicidbesprutningarna effekt på djurlivet. Det finns uppgifter på att sim- och vadarfåglar helt försvunnit från områden i Mekong-deltat. Dör insekterna efter besprutning kan stora delar av floran försvinna eftersom pollineringen inte kan genomföras.

Herbicider verkar inte med en gång, i »bästa» fall tar det ett par dagar innan träden fällt sina löv, det kan också dröja månader. Denna metod är alltså inte användbar vid snabba krigsoperationer.

Besprutning av åkerjord

Till december 1970 hade cirka 2 000 km² åkerjord i Syd-Vietnam besprutats med herbicider enligt en uppgift från AAASs herbicid-kommission (AAAS=Amerikan Association for the Advancement of Science). Denna besprutning ingick i ett program där amerikanska armén tänkte sig att svälta ut FNL-trupperna.

Effekten av detta har blivit att civilbefolkningen lidit nöd och tvingats samman i läger eller in i städerna. Uppgifter från AAAS talar om att omkring 600 000 människor, på grund av krigföringen med herbicider, frantagits sina försörjningsmöjligheter. Studier utförda av den amerikanska armén visade att 99 procent av tillgången på föda i vissa provinser, förstördes genom besprutning.

Rubber Research Institute of Viet Nam gjorde 1967–68 en rundresa till mer än 200 gummiplantager och

fann då att drygt 4 000 hektar med gummiträd hade avlövsats helt genom besprutning med herbicider. Mellan 1960 och 1967 sjönk tillgången på rågummi i Syd-Vietnam med nära hälften, från 77 560 ton till 42 510 ton. Orsaken till att gummiplantagerna skadades var att den amerikanska armén inte tog hänsyn till vinddriften vid besprutning från luften. En senare undersökning som gjordes i Kambodja 1969, av en internationell grupp, visade att 10 000 hektar med gummiträd hade skadats svårt av herbicider.

Den organiska sammansättningen i jorden i dessa områden är mycket känslig. Den vegetativa biomassan i jordarna på norra halvklotet väger några tusen kilo per hektar medan den i Syd-Vietnam kan väga uppåt 300 000 kilo per hektar. Mikroorganismer i jorden kan efter en besprutning med herbicider till största delen ställa om sig till ändrade miljöförhållanden men om herbicider med lång nedbrytningstid använts kan det få långtgående konsekvenser för jordbruket.

2, 4, 5-T innehåller en förorening, dioxin, som har förmåga att ackumuleras i jorden. Pikloram, med en nedbrytningstid på mer än två år, har använts främst vid besprutning av risfält.

Många herbicider upplagras i växternas frön och i andra reproduktionsorgan. Detta har visat sig kunna ge skador på växternas efterföljande generationer. Herbicider med lång nedbrytningstid kan bli dåliga bakningsegenskaper i brödspannmål. När herbicider använts militärt (stora doser) kan man räkna med att det finns kvar stora restmängder i de produkter som går att skörda.

Från Angola har det förekommit rapporter som talar om att kassavaodlingar blivit besprutade med herbicider. Kassava är ett viktigt födoämne för befolkningen i dessa områden. Det tar tre år från planteringen innan kassava-roten kan skördas.

Effekt på människor

Herbiciden 2,4,5-T är, enligt den amerikanske biologiprofessor Arthur Galston, en av de mest teratogena (fostermissbildande) kemikalier som finns. I USA förbjöds 1969 den civila användningen av 2,4,5-T på de flesta områden efter en mängd alarmerande rapporter. Enligt Galston så gav ett intag av 2,4,5-T på 4,6 milligram per kilo kroppsvikt till resultat förstörd lever på experimentdjur. Ett intag av 113 milligram per kilo kroppsvikt orsakade till 100 procent abnorma födselar. Den teratogena substansen i 2,4,5-T är föroreningen dioxin. Det finns ännu inte helt dioxinfritt 2,4,5-T.

I Sverige gjordes 1966 experiment med 2,4-D på grisar. Det visade sig att ett intag på 25–50 mg/kg kroppsvikt orsakade fosterhämningar. Vid obduktion konstaterades att 2,4-D passerat placenta och anrikats i fostervävnaderna. (Erne, Björklund).

Det finns också rapporter om att människor begått självmord genom att inta 2, 4-D och den dödliga dosen för en människa uppges ligga mellan 50 och 100 mg/kilo kroppsvikt (Di Palma).

Människor som råkat befinna sig i ett område under besprutning har fått flera symptom på förgiftning; ögonsveda, illamående, kräkningar och det har även rapporterats fall av allergi och nervskador.

Efter de massiva besprutningarna 1967 började Saigon-tidningarna rapportera ett ökat antal abnorma födselar. Det finns inget som säger att herbiciderna var orsaken, men tidningarna förbjöds sedermera att rapportera sådana födselar. ■

Litteraturlista

FOA 1 Rapport A 1519-31 September 1970: Översikt rörande kemiska bekämpningsmedels civila och militära användning och effekter.

The Geneva protocol of 1925: Hearings before the Committee on foreign relations United States Senate, ninety-second congress, first session, March 5, 16, 18, 19, 22, and 26 1971.

Ecology of devastation: Indochina, John Lewallen, a Penguin special Original.

Defoliation, Thomas Whiteside, Ballantine/Friends of the Earth Book.

Genocide in the Portuguese colonies, Stockholms Afrika-grupp.

Mozambique Revolution nr 52–72, FRELIMO:s tidning.

Bulletin of peace proposals, vol 4 1973, Universitetsforlaget, Oslo.

Från Mendel till Gröna revolutionen

AV GÖRAN FRIBORG

I mitten av 1960-talet gjorde det amerikanska försvarsdepartementet ett försök under namnet »Hindsight» att utvärdera det ekonomiska utfallet av departementets satsningar på forskning och utvecklingsarbete. En slutsats som därvid drogs var att naturvetenskapen hade betytt föga för utveckling av de innovationer som därvid analyserades. Eftersom detta resultat avgjort inte stämmer med beprövad erfarenhet, initierade National Science Foundation hösten 1967 en undersökning, som haft till uppgift att närmare utreda förhållandet.

Denna nya undersökning kallad TRACES (Technology in Retrospect and Critical Events in Science) gav ett helt annat resultat än Hindsight-projektet. Av den för innovationerna nödvändiga forskningen ligger 70 % inom området icke målbunden naturvetenskaplig forskning. Felet med Hindsightundersökningen var att den endast gick 15 år tillbaka i tiden medan National Science Foundation-projekt spårat forskningen så långt tillbaka i tiden som möjligt. Dessa två undersökningar tillsammans visar på att inkubationstiden för ett fullt utnyttjande av grundforskningens resultat är mycket lång.

De innovationer som analyserades i TRACES-undersökningen var p-piller, matrisisolering (spektroskopi), videobandspelare, magnetoferriter samt elektronmikroskopet. Se vidare artikel i Forskning och Framsteg 3/69.

Ytterligare en undersökning har initierats av National Science Foundation och utförts av Battelle Columbus Laboratories (Contract NSF-C667). En nyhet i denna är att man försöker analysera också de socioekonomiska samt företagsekonomiska faktorer som varit av betydelse för innovationerna.

Urval

Tidsperspektivet är även denna gång tillräckligt väl tilltaget. Man drar gränsen ungefär vid år 1900. Samtidigt som man fördjupat analysen för tre av de innovationer som redan var med i TRACES-undersökningen: p-piller, magnetoferriter och videobandspelare, har man tagit med fem nya ej tidigare analyserade innovationer: hjärtstimulatorn, hybridsäd, elektrofotografi, ekonometriska input/output-tekniken samt organfosforinsekticider. Urvalet har gjorts

utifrån att innovationerna skall vara av påtaglig betydelse för individer och samhälle och att de skall representera så skilda forskningsfält som möjligt. Sålunda kommer en av de fem nya innovationerna från det samhällsvetenskapliga forskningsområdet, en från jordbruksforskningen, en inom området medicinsk teknologi, en med stor betydelse för miljövårdsområdet samt en med förankring i fysiken.

Av den nya undersökningen framgår, att bland de faktorer som spelat en avgörande roll för utvecklingen av dessa innovationer, har möjligheten att uppnå en rent teknisk förbättring spelat den största rollen. Men också motivet att svara mot marknadsbehov har varit av stor betydelse.

På sjätte plats rankas den individuella projektledaren, och först på tolfte plats de som bevakar forskningsnyheterna för att fånga in sådant som kan bearbetas till framgångsrika innovationer. På tionde plats finns motivet att kunna utvinna ny kunskap.

I botten på listan finner man de allmänna externa faktorerna såsom ekonomiska, politiska, sociala och miljövårdsfaktorer.

Dynamiska projektledare

I tabell 1 visas åtta faktorer som i litteraturen om innovationsprocesser varit särskilt diskuterade. För de tio innovationerna har dessa faktorer särskilt analyserats. I tabellen har markerats med (X) i de fall några av dessa åtta karaktäristiska faktorer varit av betydelse och med (–) om de har saknat betydelse för innovationerna ifråga. Dynamiska projektledare har varit av väsentlig betydelse för nio av de tio innovationerna. I tre av innovationerna har t o m projektledarna ifråga satt sig över marknadsanalyser som pekat i klart negativ riktning.

Tidiga indikationer på marknadsbehov har varit av betydelse för nio av de tio innovationerna. Ett adekvat ekonomiskt stöd är som synes väsentligt. Det oplanerade sammanförandet av tekniska landvinningar förekommer i sex av innovationerna. I de övriga fyra förekommer det i form av planerat samarbete. En slutsats som dras i undersökningen är att sådant sammanförande inte skall lämnas åt slumpen utan medvetet bör stödjas med resurser till interdisciplinär forskning. Den mycket omtalade självständiga uppfinnaren har varit av betydelse endast för tre av dessa tio innovationer.

Diagram 1 visar den ackumulerade procenten av antalet signifikanta forsknings- och utvecklingsresultat fram till innovationstidpunkten. Det äldre Hindsightprojektets alltför korta perspektiv bakåt i tiden (15 år) har markerats i diagrammet. Av detta framgår att 80% av, de för innovationerna nödvändiga, grundforskningsresultaten gjorts tidigare än 15–20 år före innovationstidpunkten. Samtidigt återstår 80% av

Tabell 1

Karaktäristiska faktorer för innovationerna

av betydelse
utan betydelse

Innovation	Karaktäristiska faktorer							
	Tidig indikation på marknadsbehov	Självständiga uppfinnare	• Projektledare	Externa forskningsresultat	Statliga anslag	Informell kunskapsöverföring	Kompletteringsforskning	Oplanerat sammanförande av teknologier
Hjärtstimulatorn								
Hybridmajs								
Hybrida hermafrodita sädesslag								
Gröna revolutionsvetet								
Elektrofotografi					a			
Ekonometriska input-output-tekniken								
Organfosforinsecticider			b					
P-piller								
Magnetoferriter								
Videobandspelare								

- a** Indirekt, begränsat statligt stöd till näraliggande utvecklingsarbete
b Externt, enär American Cyanamid p g a andra världskriget kunde marknadsföra innovationen före I G Farben.

utvecklingsarbetet att göras i det korta intervallet 15–20 år före och fram till innovationstidpunkten.

Diagram 1 sammanfaller nästan helt med motsvarande diagram från den tidigare TRACES-undersökningen. I den nya undersökningen, omfattande de tio innovationerna enligt ovan, har identifierats 533 signifikanta forsknings- och utvecklingsresultat. Av dessa avser 180 grundforskning, 199 tillämpad forskning, 138 utvecklingsarbete och 16 annan aktivitet.

Den tidsmässiga spännvidden från den första idén till själva förverkligandet av innovationen har inte blivit kortare så långt man kan utläsa från dessa tio innovationer. Detta motsäger en ofta förekommande uppfattning. Den genomsnittliga spännvidden är ca 19 år och varierar från 6 till 32 år för de tio innovationerna.

Hybridsäd

Slutligen visas i diagram 2 utvecklingen av en av de mera intressanta innovationer som undersökningen omfattat, nämligen utforskningen av hybridsäden fram till den s k Gröna revolutionen. Undersökningen visar att det i denna utveckling är involverat tre innovationskedjor på sätt som framgår av diagrammet nedan, nämligen hybridmajs, hybridisering av hermafrodita sädeslag respektive Gröna revolutionsvetet.

För hela utvecklingen av denna innovation har i undersökningen registrerats 58 signifikanta forsknings- och utvecklingsresultat, alltifrån exempelvis Johannsens i Danmark isolering år 1903 av genetiskt »rena linjer» i bönor till Borlaugs växtförädlingsarbeten i Mexiko under 1950-talet. De 58 signifikanta resultaten spänner i och för sig över

en vidare tidsperiod från Mendels arbeten år 1866 till Zubers år 1971. Här finns inte utrymme att i detalj redovisa hela detta mönster. Istället hänvisas till den fullständiga rapporten med titeln »The Interactions of Science and Technology in Innovative Process: Some Case Studies», National Science Foundation 1973. ■

Diagram 1

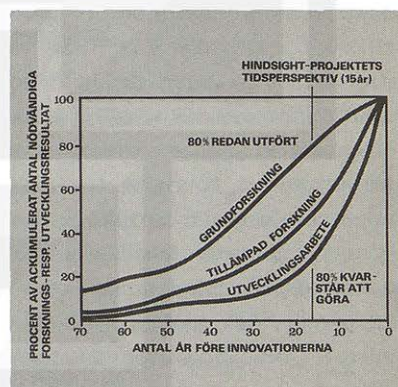
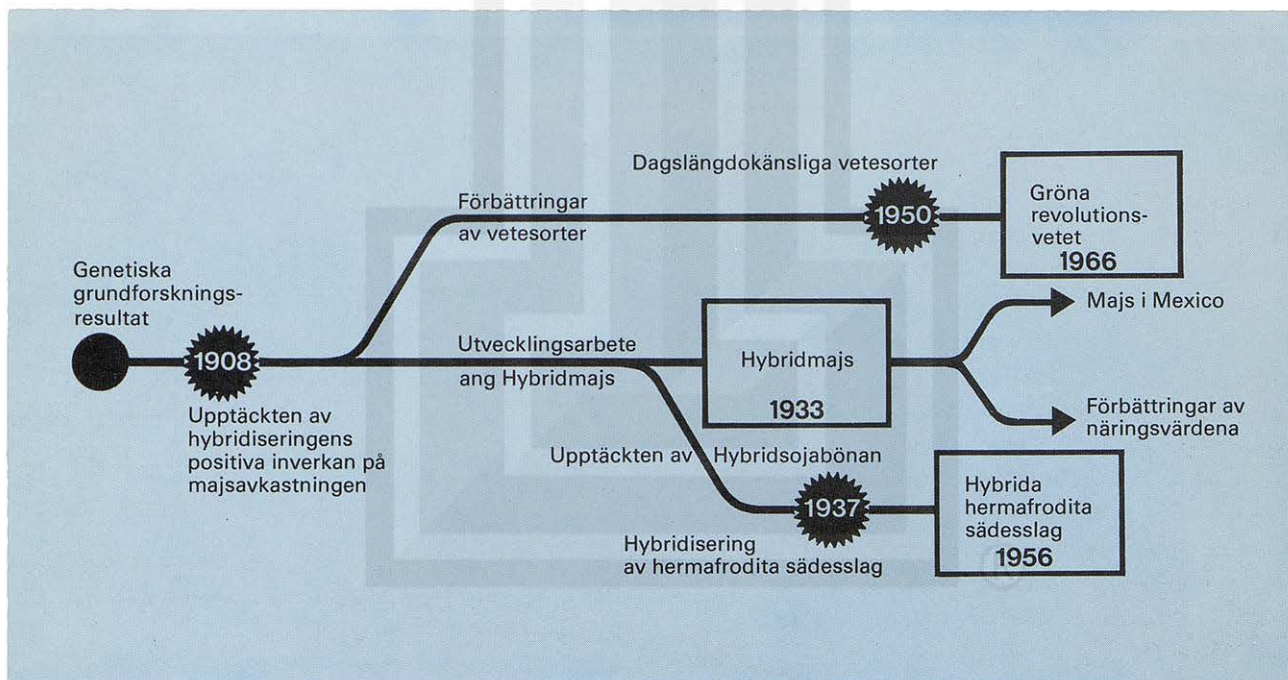


Diagram 2



Bilder på moln- och vädersystem tagna från satelliter har under 60-talet medfört en revolution inom meteorologin. Sondering av temperatur, fuktighet, tryck och vind i atmosfärens olika nivåer med hjälp av satellitburen spektral teknik kommer att under 70-talet ytterligare öka våra möjligheter att förstå och förutsäga atmosfärens och vädrets växlingar. Tekniken erbjuder också möjligheter till sondering av atmosfärens kemiska struktur, viktigt bl a för övervakningen av luftföroreningar.

I detta nummer av FoF behandlas i några artiklar atmosfärens virvelspektrum. En stor del av bildmaterialet består av molnbilder tagna från olika typer av satelliter. Tekniken att studera atmosfären och dess vädersystem *ovanifrån*, istället för att som tidigare vara hänvisad till markobservationer eller ballongburna mätinstrument, har radikalt förändrat våra möjligheter att följa de storskaliga mönstren. Satelliterna och datatekniken med dess möjligheter att handha och analysera de stora mängder mätvärden och komplicerade ekvationssystem, som kännetecknar den moderna meteorologin, har de senaste 10–20 åren gett meteo-

rologerna möjligheter att studera atmosfären i ett globalt perspektiv.

Meteorologerna, liksom militärerna, var också de första att inse satellit teknikens möjligheter. Från ett överlägset upphöjt perspektiv kunde atmosfärens vädersystem, utbredning och rörelser, studeras såväl i stort som i detalj. Detta är nästan omöjligt att göra ur ett markbundet perspektiv. Redan två år efter uppsändningen av Sputnik 1 1958 hade amerikanerna den första vädersatelliten Tiros 1 uppe i april 1960. Denna har sedan i snabb takt följts av hela serier av vädersatelliter: Tiros, Itos, ATS, ESSA, NOAA etc.

Vädersatelliterna har liksom mi-

litärernas spaningssatelliter, se FoF 6/73, och kommunikationssatelliterna redan hunnit lämna experimentstadierna och fått operativ status, dvs de utför observationer inom ett rutinsystem.

Det internationella arbetet med att samordna ett globalt observationssystem, Global Atmospheric Research Program (GARP), bl a byggt på satellitövervakning, har beskrivits i FoF 3/69 av B Bolin.

Översikts- och detaljobservationer

Man kan i princip uppdelat vädersatelliterna i två typer: de som gör översiktliga observationer och de som är inriktade på systematisk avbildning av atmosfären i detalj. De förra satelliterna kallas för geostationära, då de från en höjd av ca 36 000 km följer med jorden i dess rotation. De ligger stilla över en och samma punkt över ekvatorsområdet och kan med sina instrument täcka nästan halva jorden. Exempel på så-

Atmosfären sedd ovanifrån

AV ERIC DYRING

dana bilder finns på sidan 26, 41, 44.

De geostationära satelliterna gör det framför allt möjligt att i detalj övervaka vädret och klimatet i de tropiska områdena, som är ganska dåligt kända.

Den amerikanska ATS-serien (Applications Technology Satellites) består av sådana satelliter, den första uppsänd 1966. I tur att sändas upp står nu NASA:s SMS (Synchronous Meteorological Satellite), som i sin tur är en föregångare till den första operativa geostationära vädersatelliten GEOS (Geostationary Operational Environmental Satellite).

Vädersatelliter inriktade på systematisk detaljbildning av atmosfären har i regel en nästan polär bana på en höjd av 1 000–2 000 km. De täcker som regel hela jorden en eller några gånger per dygn. Den senast uppsända operativa amerikanska satelliten är NOAA-2, som täcker jorden två gånger per dygn från en höjd av ca 1 400 km. Dess

bilder används dagligen av olika länders väderlekstjänster, till exempel Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI).

Bildteknik

Hittills har vädersatelliterna till största delen varit utrustade med TV-kameror för avbildning av jordytan och molnsystemen. TV-tekniken kan endast användas under dagen då de i huvudsak registrerar reflekterad solstrålning inom det synliga området. Upplösningen är av storleksordningen 3 km. Nedtagningen av bilderna sker per radio.

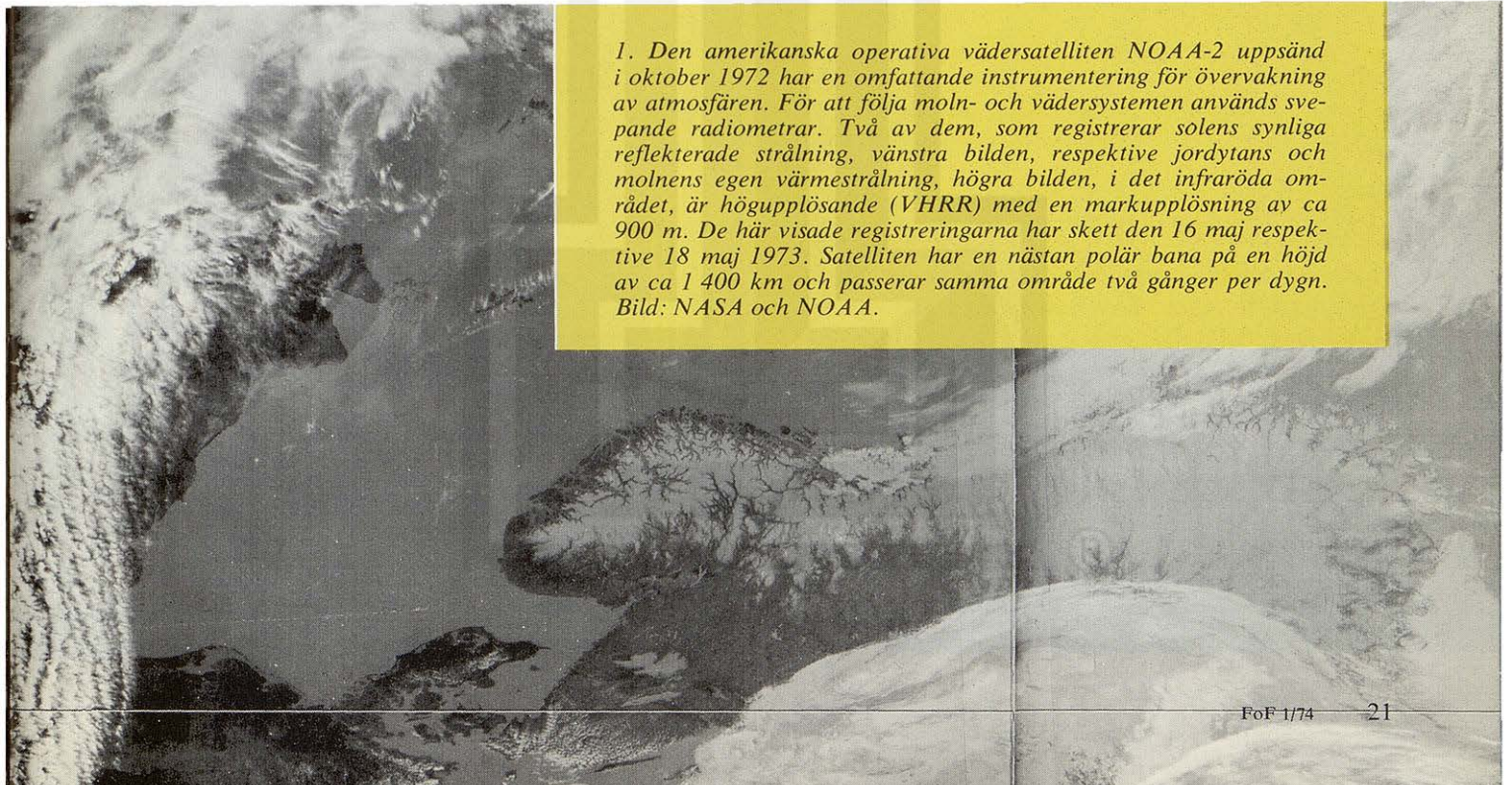
Utvecklingen går dock mot att ersätta TV-systemen med svepande radiometrar, som ger större möjligheter att registrera utanför det synliga ljusets område. NOAA-2 har inga TV-kameror utan använder sig enbart av svepradiometrar, en som registrerar i det synliga området och en som registrerar värmestrålning från markytan och moln i det infraröda området. Värmerregistreringen gör

avbildning möjlig även under nattetid, vilket är speciellt viktigt i områdena med lång polarnatt.

I NOAA-2 finns dessutom högupplösande radiometrar (VHRR) som arbetar i de båda våglängdsbanden. Med dessa erhålles bilder med en markupplösning på 900 m. Endast militärernas vädersatelliter kan uppvisa bättre bilder, upplösning ca 500 m.

Tredimensionell sondering av atmosfären

Även om vädersatelliternas viktigaste uppgift är att följa vädersystemens utbredning och rörelser så pågår sedan några år en intensiv utveckling för att från satellit undersöka atmosfärens egenskaper i olika nivåer. Detta experimentarbete har till stor del skett med den amerikanska experimentella vädersatellitserien NIMBUS. Dessa satelliter har en nästan polär bana på en höjd av ca 1 100 km. Den femte NIMBUS sän-



1. Den amerikanska operativa vädersatelliten NOAA-2 uppsänd i oktober 1972 har en omfattande instrumentering för övervakning av atmosfären. För att följa moln- och vädersystemen används svepande radiometrar. Två av dem, som registrerar solens synliga reflekterade strålning, vänstra bilden, respektive jordytans och molnens egen värmestrålning, högra bilden, i det infraröda området, är högupplösande (VHRR) med en markupplösning av ca 900 m. De här visade registreringarna har skett den 16 maj respektive 18 maj 1973. Satelliten har en nästan polär bana på en höjd av ca 1 400 km och passerar samma område två gånger per dygn. Bild: NASA och NOAA.

des upp under vintern 1972–73 och fler står i tur.

NIMBUS-satelliterna är utrustade med en rad sofistikerade registreringsinstrument. I detta sammanhang är det framför allt registreringarna av markens, atmosfärens och molnens egen värmestrålning som är av intresse.

Den värmestrålning som jordytan avger sträcker sig från våglängden $3\ \mu\text{m}$ i det infraröda området långt ut i mikrovågornas cm-område. Maximum ligger på $10\text{--}12\ \mu\text{m}$. I det infraröda området kan jordytans strålning komma igenom atmosfären endast när det är molnfritt och då bara inom speciella våglängdsband. Sådana »fönster», som släpper igenom strålning, finns i banden $3\text{--}4$, $8\text{--}9,5$ och $10\text{--}12,5\ \mu\text{m}$. Framför allt $10\text{--}12,5\ \mu\text{m}$ utnyttjas till temperaturkartläggning av jordytan och molnens översida. Tekniken gör det möjligt att kartlägga molnsystemens höjd, vilket visas i

bilderna på sidan 41 och 44.

I andra delar av det infraröda spektrumet absorberas mer eller mindre värmestrålning av de olika gaser som atmosfären är uppbyggd av, se bild 2 och 3.

Olika gaser påverkar värmestrålningen olika, vilket i princip kan utnyttjas till att kartlägga atmosfärens kemiska sammansättning. Denna spektrala teknik kan också användas för att mäta upp och kartlägga utbredningen av olika meteorologiska parametrar, såsom temperatur och fuktighet, i atmosfärens olika skikt.

Så t ex kan man utnyttja våglängdsbandet kring $6,7\ \mu\text{m}$, där den atmosfäriska vattenångan i höjdsiktet $5\text{--}10\ \text{km}$ absorberar strålningen kraftigt. Man får därvid bilder som visar strömningsförhållanden, t ex jetströmmar, som är osynliga i bilder framtagna i bandet $10\text{--}12\ \mu\text{m}$ och i det synliga området, se bild 4 och 5.

Atmosfärens koldioxid (CO_2), som är jämnt fördelad i atmosfären

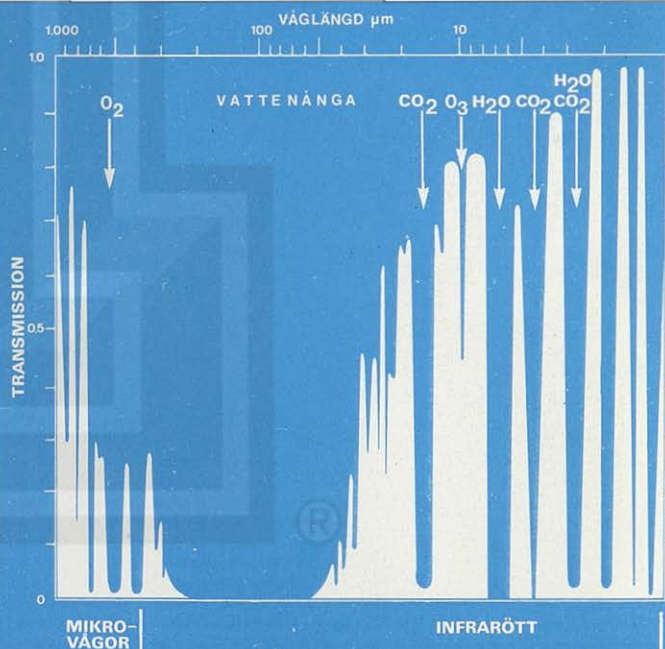
och vars mängd antas hålla sig nästan konstant under satelliternas livslängd, absorberar strålning i bandet $13\text{--}18\ \mu\text{m}$. Dessa egenskaper kan utnyttjas till att mäta temperaturprofiler genom atmosfären. Man spaltar upp CO_2 -bandet i t ex 6 kanaler och tillsammans med en jämförelsekanal i »fönstret» $10\text{--}12\ \mu\text{m}$ och en i H_2O -bandet kring $19\ \mu\text{m}$, kan temperaturens variation med höjden räknas fram. Metoden har sedan några år bevisat sin effektivitet i NIMBUS-satelliterna och används nu i den operativa satelliten NOAA-2.

Mikrovågor

I slutet av 1972 sköts NIMBUS 5 upp. Den utgör en fortsättning på utvecklingsarbetet med att sondera atmosfären med spektral teknik. Antalet våglängdsband har utökats och utsträcks in i mikrovågområdet, våglängder i cm-området.

Värmestrålning i mikrovågområdet erbjuder en rad intressanta möjligheter, trots att strålningen är myc-

2. Atmosfärens påverkan av strålning inom det infraröda området, $1\text{--}500\ \mu\text{m}$, och submillimeterdelen av mikrovågområdet, $500\text{--}1\ 000\ \mu\text{m}$. Man har antagit att atmosfären innehåller $1\ \text{mm}$ vattenånga. De olika gaser, som atmosfären är uppbyggd av, absorberar och sänder ut strålning i specifika våglängdsband. Utsändning av egenstrålning sker i huvudsak i mikrovågområdet. Några viktiga gasers påverkan är markerade.



ket svag. Registreringen sker med antenner och förfinad elektronik. Liksom i det infraröda området är registrering av värmestrålning inte en renodlad temperaturmätning. Den strålning ett föremål utsänder beror dels på dess temperatur, dels på dess elektriska egenskaper, se FoF 7/71. Föremålets *ekvivalenta* (eng brightness) temperatur registreras, dvs den temperatur en kropp, som absorberar all strålning den belyses med (en svart kropp), skall ha för att stråla med samma intensitet. Två föremål med exakt samma temperatur men med olika materialegenskaper kan alltså utsända strålning med mycket olika intensiteter. Just i mikrovågområdet är dessa egenskaper speciellt framträdande.

Atmosfärens olika gaser absorberar och sänder ut värmestrålning i vissa våglängdband. Vattenånga och syre har karaktäristiska band inom mikrovågområdet. Flytande vatten påverkar mikrovågorna kraftigt. I stort på-

verkas de dock inte av vädret, bl a tränger de igenom moln utan regn.

NIMBUS 5 har två mikrovågexperiment ombord. NEMS (Nimbus E Microwave Spectrometer) som mäter i tre våglängdsband kring 0,5 cm (53,7, 54,9 och 58,8 GHz) där syre har ett utpräglat resonansband. Dessa tre band används för att mäta upp temperaturprofiler genom atmosfären, även genom moln. Två andra band ligger kring 1,35 cm (22,1 och 31,4 GHz) och används för registrering av vattenånga och atmosfäriskt vatten över hav.

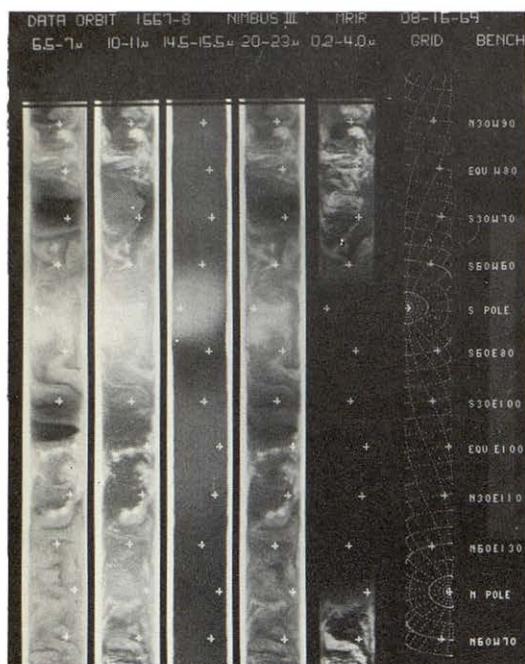
Det andra experimentet är ESMR (Electrically Scanning Microwave Radiometer) som arbetar i våglängdsbandet 1,55 cm (19,35 GHz). I motsats till NEMS är ESMR en svepradiometer, där antennen sveper vinkelrätt mot satellitbanan. Den avbildar jorden i mikrovågor med en bästa upplösning av 25 km. Med hjälp av denna teknik kan atmosfärens vattenånga och regnområden

över haven kartläggas, bild 6 och 7. Den registrerade strålningen påverkas också av markytans fuktighet, snö och is. Bl a har polarområden med ny respektive flerårig snö och is kunnat kartläggas.

Framtiden

Den spektrala teknikens möjligheter att tredimensionellt observera atmosfärens olika parametrar från satellit öppnar oanade perspektiv för framtidens meteorologi liksom även för andra områden, t ex miljövården. Bl a finns det möjligheter att få global övervakning av atmosfärens föroreningar och hur dessa varierar från tid till tid. Denna tekniks genombrott kommer säkert under 70-talet. Man är redan en bra bit på väg.

1977 skall NIMBUS 7 sändas upp för att bl a mäta luftföroreningar. Lasrar i olika våglängder skall mäta atmosfärens molekylstruktur. Gaser som SO₂, CO och NO₂, koncentration och utbredning skall observeras. ■



3. Den amerikanska experimentella vädersatelliten NIMBUS 3 är bl a utrustad med en radiometer (MRIR – Medium Resolution Infrared Radiometer). NIMBUS 3 går i en polär bana på 1 100 km höjd. Bilden visar dess registrering i fem våglängdsband under ett varv kring jorden.

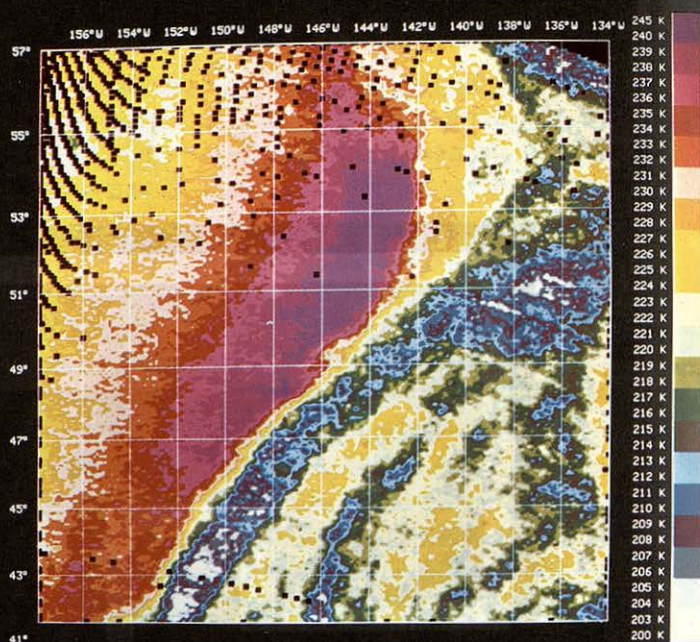
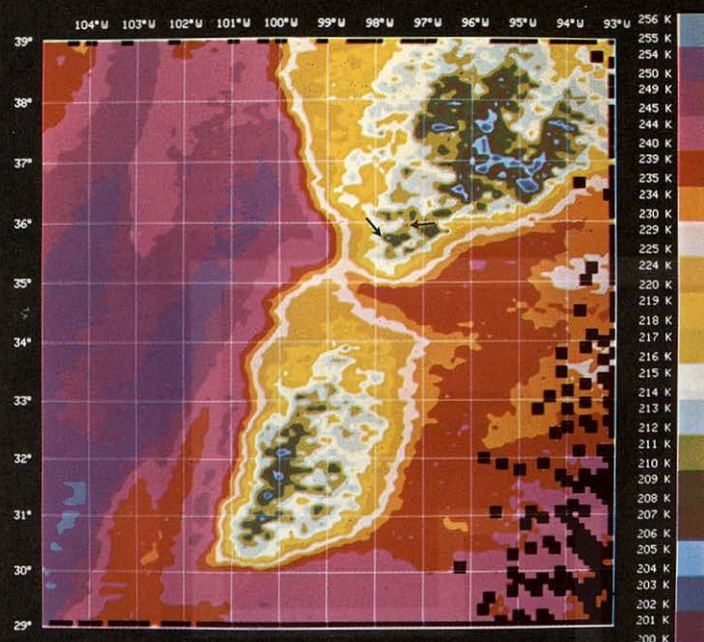
6,5–7,0 μm Vattenånga i höjdskiktet 5–10 km absorberar strålningen. Bandet ger bl a information om vattenångans utbredning i detta höjdskikt.

10–11 μm Atmosfären släpper igenom strålning i detta band. Det ger information om molnutbredning och molnhöjd.

14,4–15,5 μm Atmosfärens koldioxid (CO₂) absorberar effektivt all strålning. Bandet visar stratosfärens strålning och används för att studera bl a årstidsvariationerna i stratosfären.

20–23 μm Vattenångan absorberar strålning. I motsats till bandet 6,5–7,0 informerar det om vattenångan i den lägre atmosfären.

0,4–4,0 μm Registrerar till 99 % den mot jordytan och atmosfären reflekterade solstrålningen. Natt och dag framträder därför tydligt.

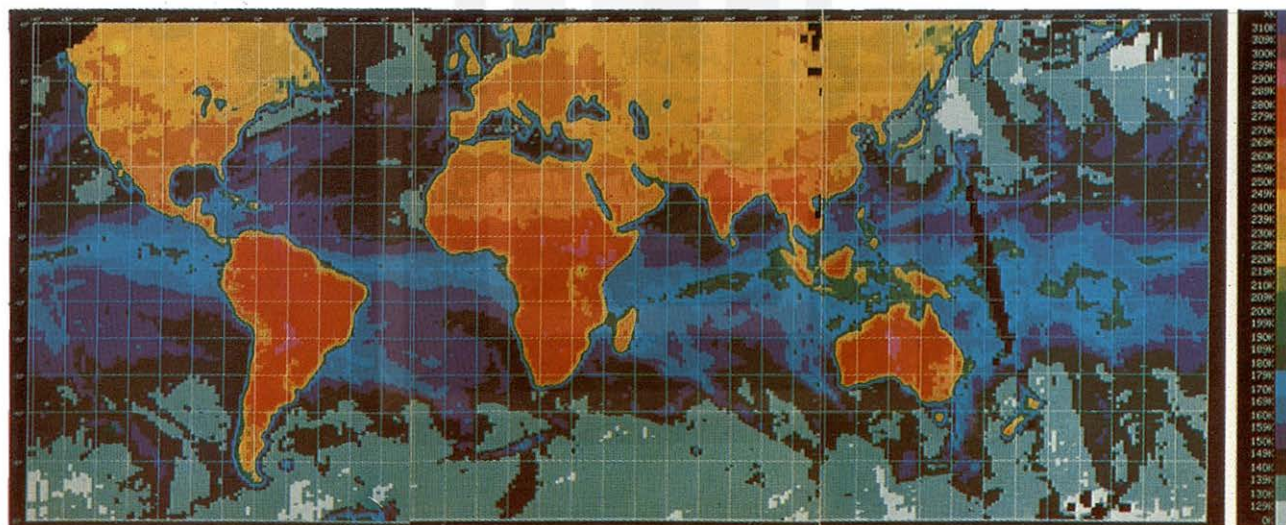


6. Jordens värmeinstrålning den 12–16 januari 1973, registrerad i mikrovågområdet (1,55 cm) av NIMBUS 5 radiometer ESMR (Electrically Scanning Microwave Radiometer) från 1 100 km höjd. Bilden är uppbyggd av 50 satellitpassager och registreringarna har färgkodats i dator. Kontinenterna har kraftigare mikrovågsändning än oceanerna, högre ekvivalent-temperatur, vilken beror

på såväl föremålets temperatur som dess fysiska egenskaper. Heta, semiarida områden med vegetation, såsom i Sydamerika, Afrika och Australien, har den största emissionen; kodat i rött. Haven har låg emission, som dock ökar när det förekommer vattenånga, moln och regn i atmosfären. Regnområden, lågtryck etc, framträder i grått och vitt, se t ex lågtrycket väster om England

på Atlanten. Längs ekvatorn går en zon med hög fuktighet, ljust blått, den sk intertropiska konvergens-zonen.

Bild: NASA.

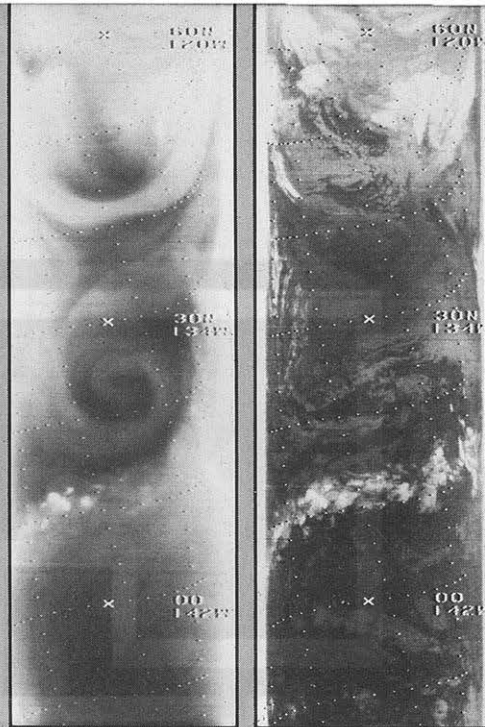


4. Två färgkodade registreringar av NIMBUS 4 vattenångband (6,5–7,0 μm). Till vänster två hjärtformade områden med omfattande åsk- och bymoln. Färgserien gult-grönt-blått markerar ökande molnhöjd. Rött och violett markerar molnfria områden. Pilarna visar två tromber nordväst om Oklahoma City den 30 april 1970, som även registrerats med radar. Till höger en jetström över Alaska golfen den 17 mars 1971, som sträcker sig från bildens nedre vänstra hörn snett upp mot mitten; färgkodad i mörkrött. Området har låg luftfuktighet på 5–10 km höjd. Det omfattande området till höger om jetströmmen är ett mäktigt molnsystem med mer vattenånga i atmosfären.

Bild: NASA.

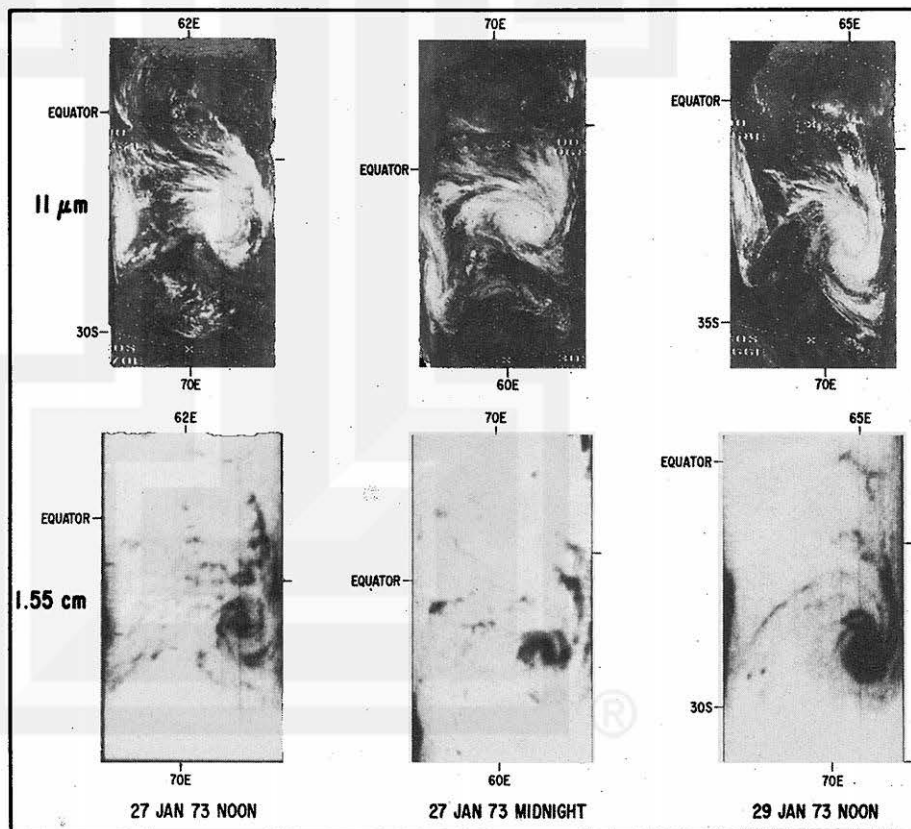
5. Registrering av NIMBUS 4 radiometer (THIR – Temperature Humidity Infrared Radiometer), som registrerar i banden 6,5–7,0 μm , t v, (vattenången absorberar strålning), och 10,5–12,5 μm , t h, (släpper igenom strålning). I det senare bandet framträder molnen i vitt. Vattenångbandet ger information om höjdsiktet 5–10 km. Observera det subtropiska lågtrycket på 5 km höjd, den markanta virveln på 20–25° N och jetströmmen på 40–50° N. Detta syns inte i det andra bandet.

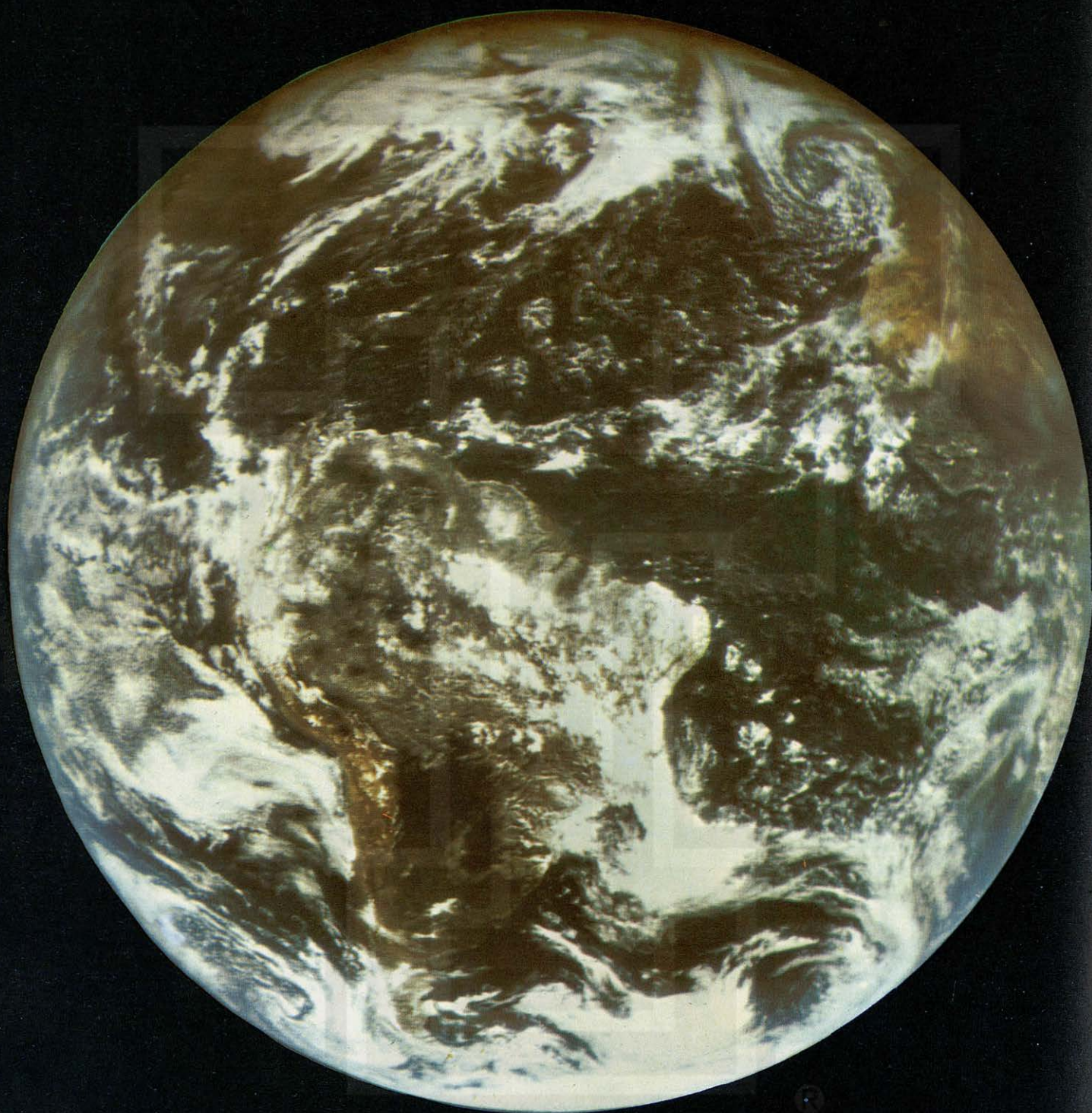
Bild: NASA



7. En tropisk orkan i Indiska oceanen registrerad 1973 av NIMBUS 5 i värmestrålning, dels i infrarödbandet 11,5 μm , dels i mikrovågbandet 1,55 cm. Det förra ger molnuttbredning och molnhöjd medan det andra bandet visar orkanens regnområde, som framträder i svart.

Bild: NASA.





Sydamerika, delar av Nordamerika och Afrika samt Atlanten
sedda från den geostationära vädersatelliten ATS-III den 19 november 1967.
Tre TV-kameror har registrerat i var sin färg.
Bild: NASA.

Det levande lufthavet

AV BERT BOLIN

Den bild vi får av lufthavets rörelser genom att studera vindarnas växlingar och molnens rörelser inom den lilla del av atmosfären som vi kan se med egna ögon är förvirrande. Vi noterar att nordan ofta är byig, att stormarna är intensivare under hösten och vintern, men det är svårt att finna ett system i vindarnas växlingar. Först när vi kan knyta samman väderleksobservationer från ett större område med hjälp av kartor över samtidiga observationer blir det möjligt att skönja regelbundna mönster på skalor över 10 à 100 km. Detaljerade studier av vindar över slätter, skog och till havs har givit oss kunskap om virvlar på mindre skala, kring träen, ja kring grässtrån och löv. Vi börjar förstå de samband som knyter samman processer på dessa olika skalor.

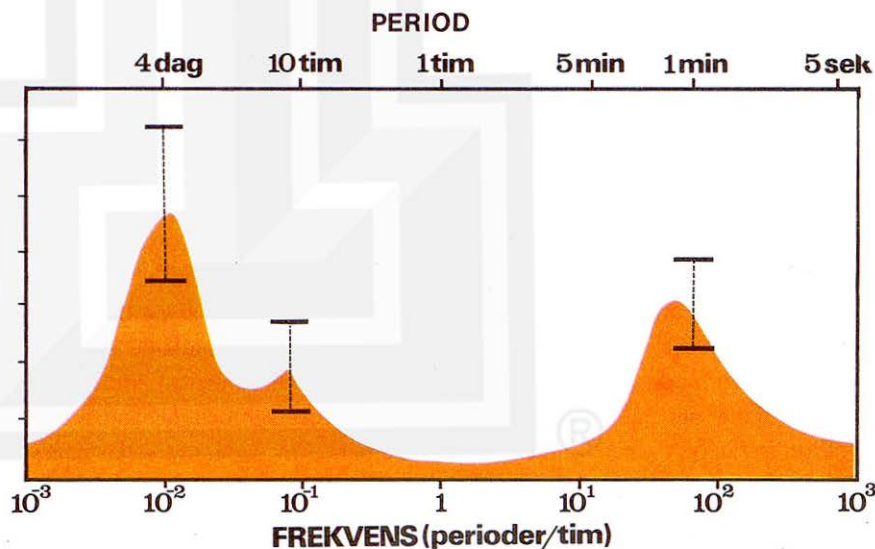
Den elektromagnetiska strålningsenergin kan beskrivas som en funktion av frekvens eller våglängd. Det är möjligt att beskriva energin i lufthavets rörelser som en funktion av den geometriska skala över vilken

fenomenet spänner. Principiellt är detta synsätt inte nytt utan går tillbaka till de kända engelska hydrodynamikerna Richardson och Taylor vid tiden för första världskriget. Men det är först under senare år som

systematiska försök gjorts att kvantitativt bestämma lufthavets turbulenta energispektrum. Bild 1 visar resultaten av sådana beräkningar där energin är angiven som en funktion av frekvensen eller perioden.

Vi ser hur den helt övervägande delen av lufthavets rörelseenergi är knuten till dels de stora vindsystem, som sveper runt hela jorden med en period på ca 4 dagar motsvarande en skala på flera tusentals eller tiotusentals kilometer, dels vindarna i samband med stormar i västwindbältet på våra breddgrader med en period på 10 à 15 timmar, dvs med en skala på något tusental kilome-

1. Energin i de atmosfäriska rörelsesystemen som funktion av karaktäristisk tidsskala (eller frekvens) hos vindvariationerna observerade på ca 100 meters höjd. Observera att vertikalskalan i diagrammet är energin multiplicerad med frekvensen och att diagrammet ej yt-troget återger den totala energin. De stora virvlarerna, som har en karaktäristisk tidsskala på ett eller några dygn innehåller den övervägande delen av atmosfärens kinetiska energi.



Virvel	Radie	Vindmax	Höjd för vindmax	Omloppstid	Vertikal mäktighet	Ungefärligt energiinnehåll (kWh)
Cirkumpolära västvindsvirveln	ca 5 000 km	30–80 m/s	10–12 km	10–15 dagar	ca 15 km	$3 \cdot 10^{13}$
Cykloner i västvindsbältet	500–2 000 km	2–50 m/s	10–12 km	10–100 timmar	ca 15 km	10^{12}
Tropisk orkan	200–1 000 km	30–60 m/s	ca 1 km	5–40 timmar	ca 15 km	$3 \cdot 10^{11}$
Åskmolnets cirkulationshjul	5–10 km	ca 10 m/s	ca 5 km	0,5–1 timme	5–15 km	10^7
Virvlar och vågor i lä av bergskedjor	2–20 km	ca 10 m/s	1–2 km	10 min–1 timme	1–5 km	10^5
Tromb	10 m–1 km	30–100 m/s	ca 1 km	1–10 min	ca 1 km	10^2
Virvlar i det turbulenta luftskiktet närmast jordytan	1–500 m	ca 10 m/s	ca 0,5 km	1 s–1 min	1–500 m	1
Virvlar som transformerar rörelseenergi till värme	0,1–1 mm	0,1–1 cm/s	–	0,01–0,1 s	–	10^{-17}

Tabell 1. Data om atmosfärens olika virveltyper. Som jämförelse kan nämnas att $3 \cdot 10^{13}$ kWh motsvarar ca 30 års energiförbrukning i Sverige på 1973 års nivå.

ter. Vi noterar också ett andra maximum i detta virvelspektrum med en period på ca 1 min dvs en skala av hundratal meter och att ett utpräglat minimum skiljer dessa två toppar i energispektrum.

Medan det inom den elektromagnetiska vågrörelseläran i stort sett är möjligt att diskutera varje del av spektrum oberoende av andra delar är detta inte fallet för virvelspektrum. Energin i de virvlar som för löv och damm upp i lufthavet kommer från de kraftigare vindar som råder några tiotal meter ovan

markytan. Energin i vindarna på denna höjd är i sin tur intimt kopplade till exempelvis det större cirkulationshjul som ett åskmoln utgör och detta kan endast utvecklas i samspel med energin i vädersystem på en än större skala. Detta samspel mellan luftvirvlar på olika skalor i lufthavet är fundamentalt. Det är därför inte möjligt att isolera enskilda processer och behandla dem oberoende av varandra. Den engelske fysikern Richardson har målande beskrivit detta samspel i följande lilla vers;

Big whirls have little whirls
that feed upon their velocity
and little whirls have lesser whirls
and so on to viscosity

Viskositeten (viscosity) ombesörjer den slutliga energitransformationen till ordnade *molekylära* rörelser, dvs värme.

Tre artiklar i detta nr av FoF behandlar mer i detalj vad som karakteriserar några av de mest framträdande slagen av virvlar som vi fin-

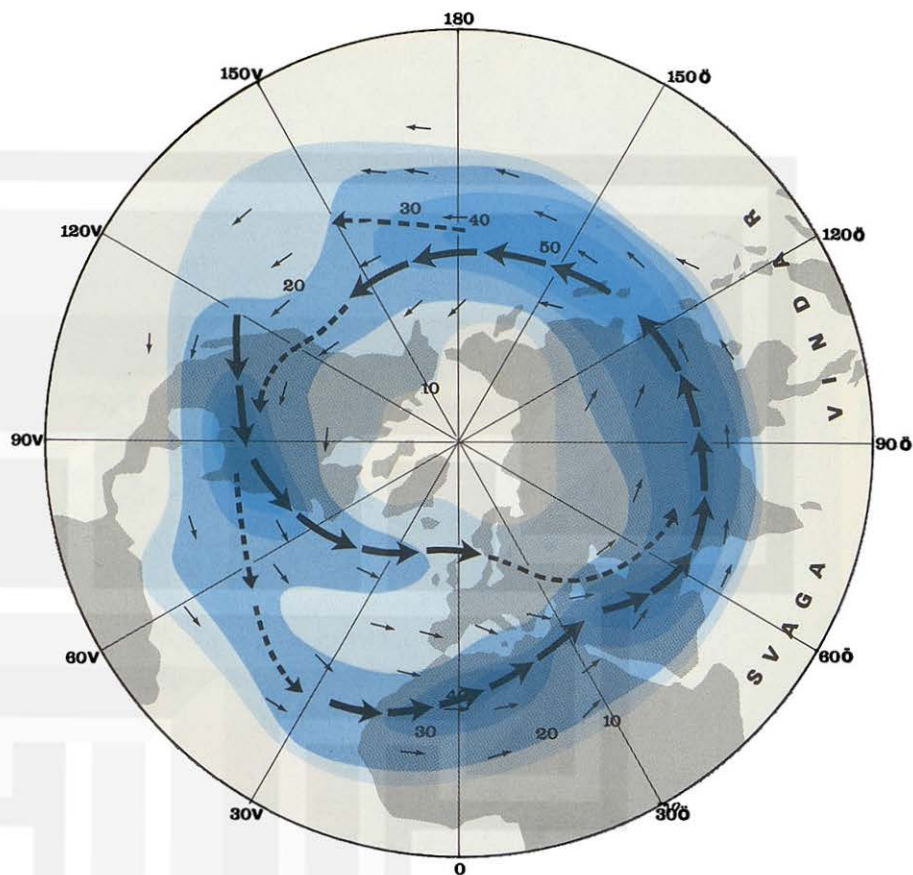
ner i lufthavet. Det är virvlarna kring lågtrycken som vi känner väl till från den dagliga väderkartan i tidningarna eller på TV-skärmen, det är de tropiska stormarna som har en något mindre dimension men i gengäld kan vara så mycket mer intensiva och det är slutligen de små intensiva virvlar på hundratals meter eller några kilometer som vi känner som tromber och med en fruktansvärd destruktiv kraft. Tabell 1 ger en rad karaktäristiska data om de olika slags virvlar, som förekommer i atmosfären.

I denna inledande artikel ska vi dels söka beskriva något mer i detalj också andra virvlar, dels söka binda samman och beskriva samspelet inom det turbulenta energispektrum som lufthavet uppvisar.

Cirkumpolära virvlar

Runt vår planet sveper ständigt band av västliga och östliga strömmar som har karaktären av stora cirkumpolära virvlar. Vi finner kraftiga västliga jetströmmar på mellanbredderna på såväl norra som södra halvklotet och en svagare östlig ström dominerar i tropikerna. Maximal styrka når dessa strömmar på ca 12 kilometers höjd över jordytan. Bild 2 visar medelvindarna på denna höjd på norra halvklotet under vintern. Medeljetströmmarnas läge framgår av de grova pilarna.

Denna dominerande luftcirkulation kring jorden beror på ett samspel mellan jordens rotation och den olikformiga uppvärmningen av jordytan med överskott av värme i tropiska områden och ett underskott i arktiska och antarktiska områden. Det vågmönster som finns överlagrat på dessa i huvudsak zonala ström-



2. Medelvindarnas riktning och styrka vintertid på norra halvklotet på ca 12 kilometers höjd. De heldragna linjerna sammanbinder punkter med samma vindstyrka.

mar är huvudsakligen betingat av att den underliggande jordytan inte är homogen. Luftströmmarna påverkas av de stora bergskedjorna på såväl den amerikanska som den eurasiska kontinenten och skillnaden i värmekapacitet mellan land och hav har likaså ett inflytande på deras läge och intensitet.

Cyklonvirvlar

Något förenklat kan vi säga att det är det kraftiga ost-västliga vindband som har formen av cirkumpolära virvlar som skapar och som för med

sig fram över jordytan de lågtryck och virvlar på mindre skala som vi känner igen från väderlekskartan. Den dominerande västvinden från Atlanten för den in över Europa och Skandinavien. Mer i detalj beskrivs dessa vindmönster i Erik Palméns artikel.

På låga latituder är de tropiska orkanerna ett på motsvarande sätt framträdande fenomen på väderlekskartan. Deras väg över varma tropiska hav in mot den nordamerikanska sydkusten, de japanska öarna eller södra Asiens folkrika stränder



3 a. Virvelgata i lä av ön Guadelupe utanför Mexikos Stillahavs kust. Denna typ av virvlar är ofta benämnda von Karman-virvlar efter den kände aerodynamikern, som verksamt bidrog till flygteknikens utveckling i början av 1900-talet. Foto: NASA från Gemini XII, 13 november 1966.

bestäms av det ostliga vindbälte som dominerar tropikerna under den aktuella årstiden. Den våldsamma energiomvandling som skapar dem under eftersommaren och den tidiga hösten är möjlig genom att solstrålningen under årets varmaste tid byggt upp lufthavets potentiella och inre energi. Hilding Sundqvist berättar mer i detalj om dem.

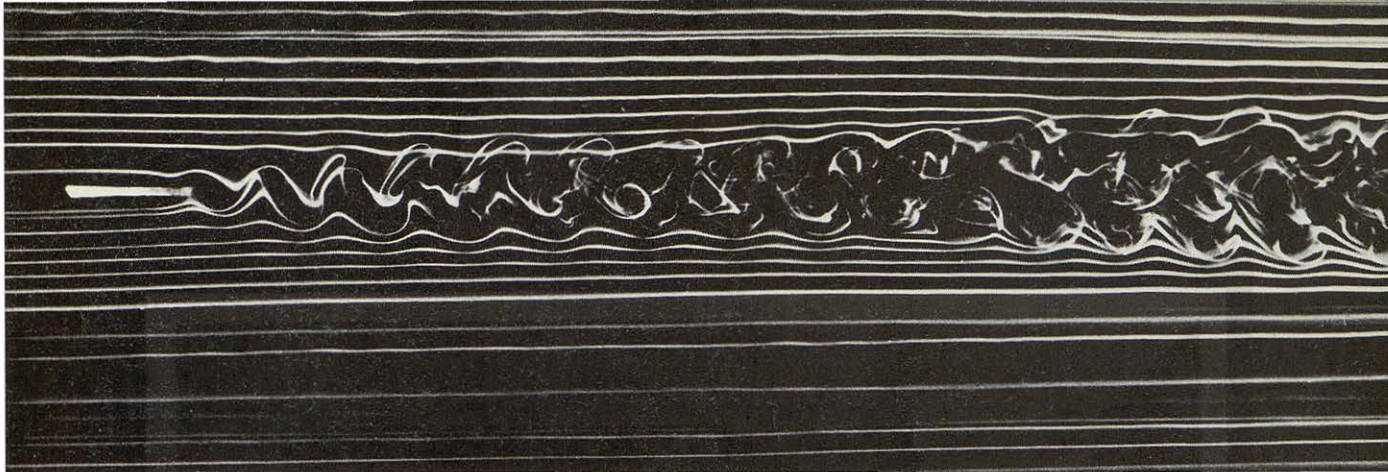
Mellanskalans virvlar

De vindsystem och rörelsemönster som vi beskrivit i det föregående har en skala på hundratals eller tusentals kilometer. Vi återfinner dem på väderlekskartan. De bär med i sig mindre virvlar av skiftande intensi-

tet. Genom lokala förhållanden vid jordytan, som motsättningar mellan sjö och land och mellan skog och slättland, i lä av bergskedjor etc, utbildas lokala vindmönster. Åskmolnet och tromben har också sina karaktäristiska cirkulationsmönster. När vi närmare ser på dessa virvlar av olika slag är det viktigt att uppfatta dem som detaljer i de stora rörelsemönstren och att deras struktur och intensitet beror härav.

Vågor och virvlar bildas i lä av berg. Detta är välbekant för en segelflygare som med framgång utnyttjar dem för att flyga till stora höjder. Men det är lika viktigt att undvika de ofta kraftiga nedvindarna

som man finner strax i lä av bergen, som att ta vara på uppvindarna på lovartsidan av bergen och inom stackar av moln långt bort i lä av bergen. Bergstopparna förorsakar också svängningar och virvlar i horisontellt led. Fotografier från Gemini visar exempelvis som bild 3 a en tydlig virvelgata i lä av bergen på ön Guadelupe utanför den mexikanska kusten. Molnmönstret som vi kan se i bilden påminner på ett slående sätt om de virvelbildningar som flygingenjörerna är förtrogna med från stadier av virvelbildning kring vingprofiler och som man kunnat studera i detalj i vindtunnlar, bild 3b. Genom bergen överförs



3 b. Periodisk virvelavlösning bakom en tunn stötta i strömmande luft.
Foto: Flygtekniska försöksanstalten.

alltså energi från de storskaliga vindmönstren till virvlar som skapas av detaljer i jordytans konfiguration och ett energiflöde sker från större till mindre skala i det turbulensspektrum som visas i bild 1.

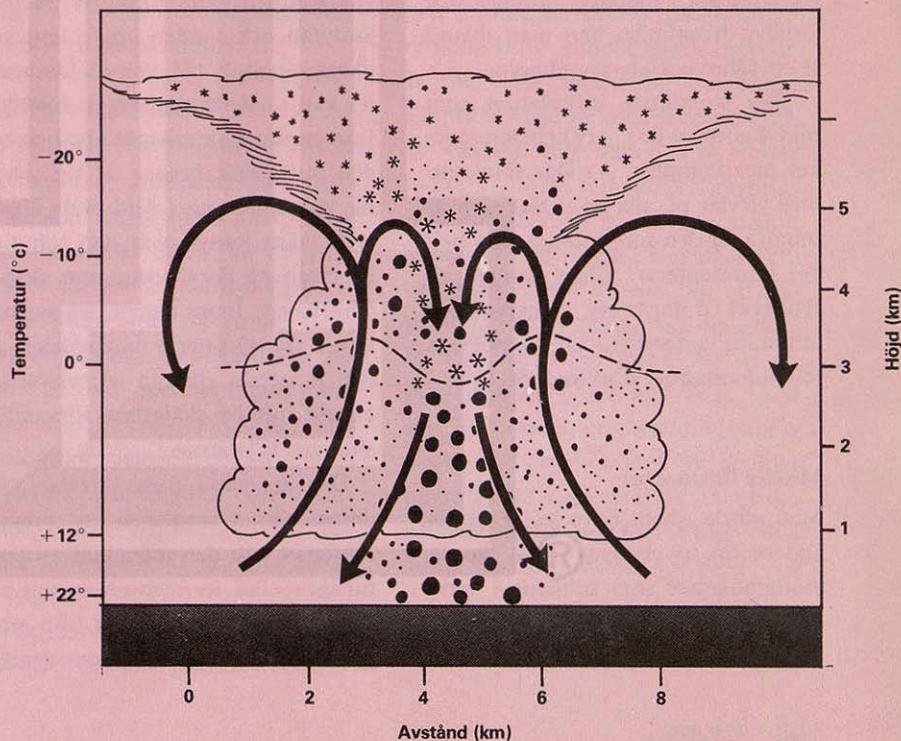
Även en inre instabilitet i luftens struktur kan innebära en energitransformation mellan olika skalor i luftens rörelsemönster. Om luften i de lägsta skikten av atmosfären blir tillräckligt uppvärmd så att den under rörelse mot högre höjder förblir varmare än den omgivande luften utbildas konvektiva celler, cumulusmoln och cumulonimbusmoln. Åskmolnen uppvisar ett mycket karaktäristiskt cirkulationsmönster. Inom ett relativt litet område bildas en intensiv uppström med uppvindar på mer än 10 m/s, vilken först på åtskilliga kilometers höjd, kanske först i närheten av tropopausen på 10–12 kilometers höjd, breder ut sig. En svag nedåtgående strömning bildas i omgivningen och är orsaken till att ett välutbildat åskmoln dämpar konvektionen i sin närmaste omgivning. Ett vertikalt tvärsnitt genom en åskmolncell visar med all tydlighet den toruslik-

nande virvelbildning som ett åskmoln i verkligheten är (bild 4).

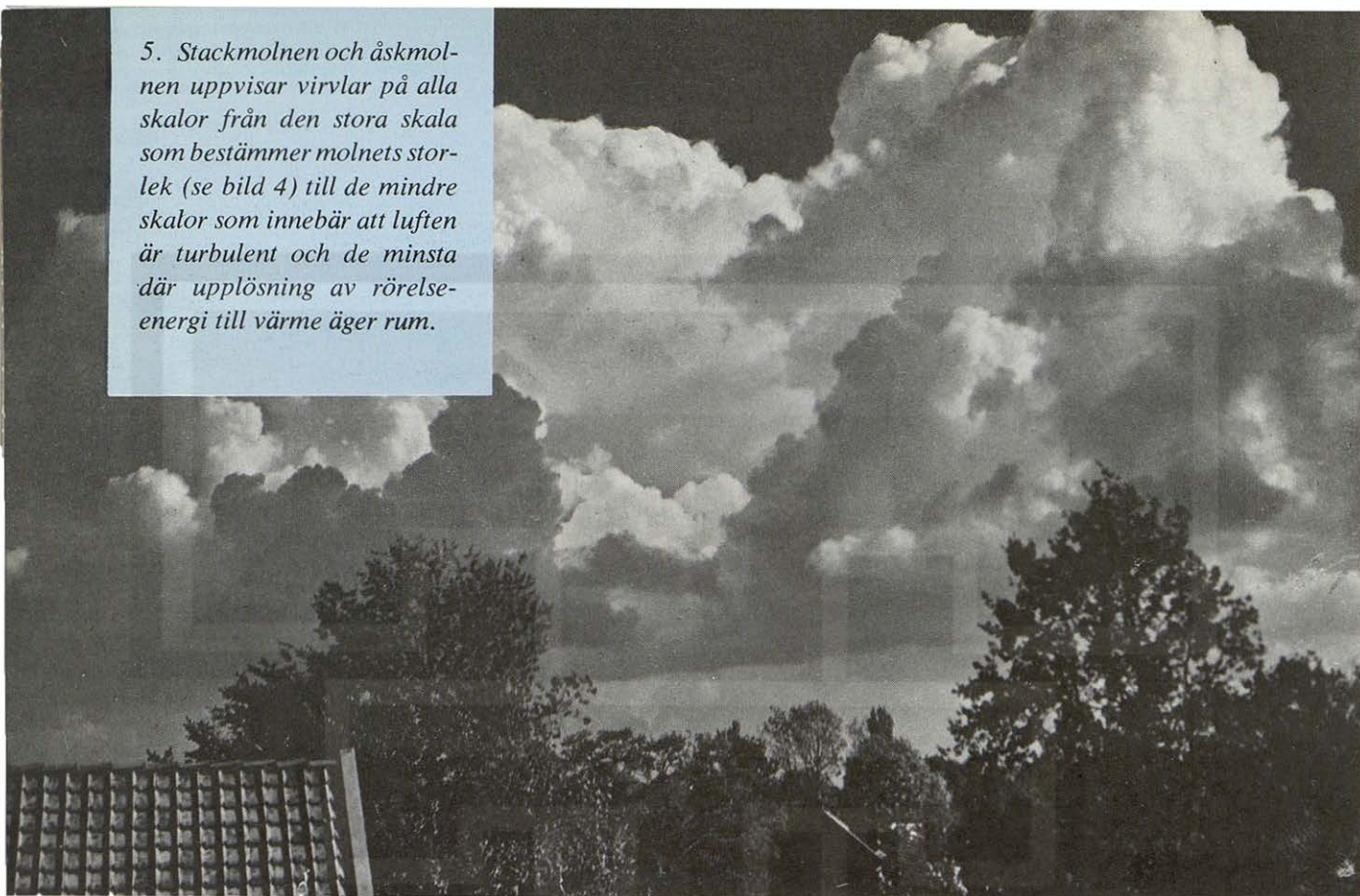
När regn börjar falla och avdunstning (och därmed avkylning av luften) sker inom det centrala området

med hög regnintensitet så stryper åskmolnet sig självt och uppvindarna dämpas. I stället utbildas ofta en kraftig nedåtgående luftström som breder ut sig när den når jordytan.

4. Schematisk bild av cirkulationen i ett åskmoln i ett sent skede av dess utveckling. En kraftig fallvind har utbildats i nära anslutning till en kärna av uppåtgående luftström, som bygger upp molnet i initialfasen.



5. Stackmolnen och åskmolnen uppvisar virvlar på alla skalor från den stora skala som bestämmer molnets storlek (se bild 4) till de mindre skalor som innebär att luften är turbulent och de minsta där upplösning av rörelseenergi till värme äger rum.



En kallfront i miniatyr utbildas och i själva frontlinjen kan man ibland se ett välutvecklat »virvelmoln».

Den storstilade cirkulation som bild 4 antyder är i verkligheten mycket mer komplex. — Där förekommer virvlar på alla de skalor som är mindre än den som molnet i sin helhet representerar, vilket ju med all tydlighet framgår av stackmolnens (cumulus congestus) och åskmolnens (cumulonimbus) struktur, bild 5.

Mindre luftrörelser

Men »little whirls have lesser whirls and so on to viscosity». De skarpa vindgradienter som utbildas i virvlarna på mellanskalen föder nya virvlar av mindre dimension. Den

vindgradient som utbildas mellan jordytan och vinden högre upp ger likaså upphov till virvelbildningar. Vi kan se detta på hur en rökplym från en skorsten svänger upp och ner och successivt breder ut sig. Denna virvelbildning i lufthavets lägsta skikt nära jordytan är den ständiga bromsen på de rörelser som skapas i lufthavet. Inom denna del av lufthavet transformeras huvuddelen av den kinetiska energin successivt till en allt mindre skala och förvandlas slutligen till värme.

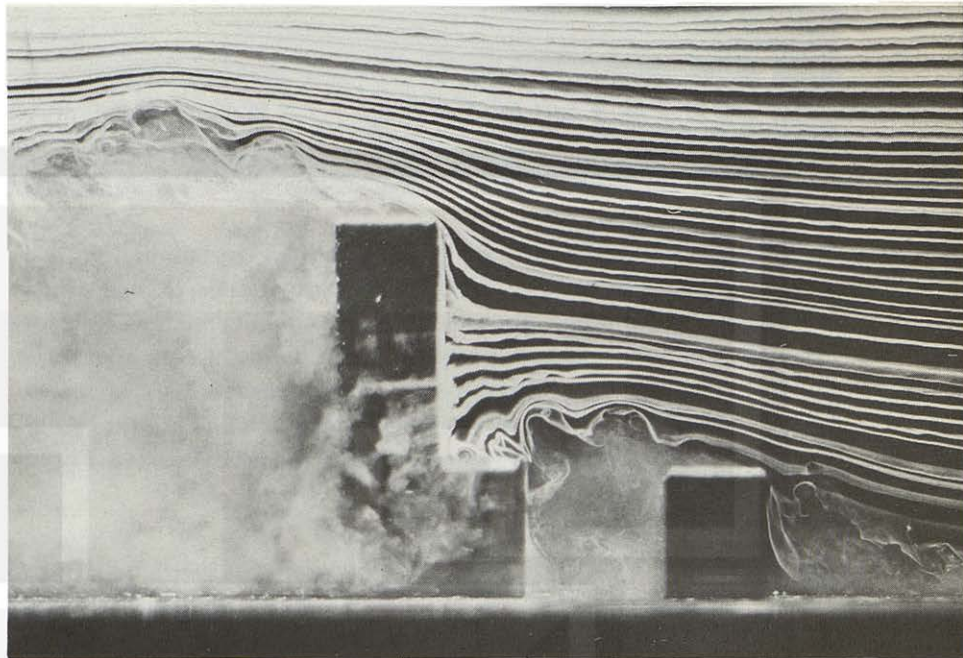
Det är också dessa virvlar som ombesörjer transporten av värme, fuktighet och den mångfald av »naturliga» eller av människan emitterade föroreningar till eller från jordytan. De näringsämnen som vegeta-

tionen behöver och som i viss utsträckning tas från lufthavet transporteras med virvlar på allt mindre skala in till klyvöppningarna på löv, barr och gräs. Först i det skikt som finns närmast den assimilerande ytan och som endast är bråkdelen av en millimeter tar molekylära processer över. Bladets olika delar är därför inte lika verksamma i att tillföra växten näring från lufthavet. Luftens virvlar kommer bäst åt att blanda om luften intill bladytan i närheten av kanterna.

Markytans karaktär är avgörande för turbulensen i marknära skikt. Över en jämn snö- eller isyta bildas endast små virvlar i de lägsta skikten och vindens byighet är liten. Enstaka träd och byggnader bidrar i hög



6 a. Virvel bildad i lovart om höghus. Höghuset orsakar att höjdvinden dras ner till fotgängarnivå. Foto: Flygtekniska försöksanstalten.



6 b. Ett steg på höghuset förhindrar höjdvindens nedslag till fotgängarnivå. Foto: Flygtekniska försöksanstalten.

grad till virvelbildningen i marknära skikt. Vegetationen omskapar i viss mån vindklimatet, något som är välkänt för skogsfolk. Påkänningarna på träden i ett skogsbryn är betydligt större än inne i en skog. Därom vittnar mängden av vindfällda träd i anslutning till kalhyggen, där människan förändrat vindklimatet.

Alltför liten uppmärksamhet har ägnats frågan om vindklimatet i bebyggelse. Vi känner väl alla till hur lätt en otrivsamt situation kan skapas inom öppna områden mellan höghus. De stora virvlar som byggnaderna skapar för ner stormvindar från högre höjd till i närheten av jordytan där vi som människor vistas och får känna av dem (bild 6). Vindens byghet kring hörn och i

prång blir ytterst påtaglig och dess kraft många gånger destruktiv.

Stort forskningsområde

Förståelsen av atmosfärens virvelspektrum och samspelet inom det samma har vuxit fram först under senare decennier, även om vi givetvis känt till en hel del om dynamiken för olika typer av virvlar långt tidigare. Modern turbulenteori har funnit en rad tillämpningar inom meteorologin och omvänt har meteorologiska mätprogram på ett betydelsefullt sätt bidragit med information om verkligheten till de teoretiker som, ägnat sig åt detta forskningsfält.

Varje fenomen i atmosfären som är utsatt för en påverkan av virvlar

och turbulenta rörelser på en mindre skala är av grundläggande betydelse för varje försök till numeriska kvantitativa prognoser. För prognos av väderkartans vågor och virvlar måste vi förstå hur dessa samspelar med turbulensen på mindre skalor, vilken vi inte i detalj kan observera och som därför är omöjlig att explicit ta med i beräkningarna annat än i en förenklad form. Än vet vi bara mycket grovt hur detta skall ske. Ett intensivt forskningsarbete pågår runt om i världen för att lösa några av de mest centrala teoretiska problemen på detta område, vilka också har stor praktisk betydelse. ■

Vädervirvlarna

Nordens klimat kännetecknas av mycket stora vädervariationer, såväl mellan de olika årstiderna som över kortare tidsperioder. De vandrande lågtrycken – cyklonerna – är vårt klimats mest dominerande väderfenomen. Med sina omfattande nederbördsområden och molnsystem präglar de vårt väder. Cyklonerna är stora virvlar som främst uppträder i gränsområdet mellan varma vindar från den subtropiska zonen och kall luft från polartrakterna. Norden befinner sig speciellt under vinterhalvåret ofta i detta gränsområde.

Värmebalansen i atmosfären förutsätter en ständig transport av värme från tropikerna, med deras överskott av strålningsvärme, mot högre bredder karakteriserade av strålningsunderskott. Denna värmetransport har helt olika karaktär på olika breddgrader. I tropikerna sker den främst genom en storstilad vertikalcirkulation med uppåstygande luft i ekvatorbältet och sjunkande luft i de subtropiska bältena. Härvid förs den varma ekvatorialluften som en höjdströmning mot högre breddgrader och som en återvändande något avkyld strömning närmare jordytan tillbaka mot ekvatorn. Under inverkan av jordrotationens avlänkande kraft, corioliskraften, uppkommer härvid den kända passadcirkulationen, se bild 1.

I närheten av 30° N och 30° S sätter corioliskraften en definitiv gräns för denna form av värmetransport. Här övergår cirkulationen i en helt annan form karakteriserad av en oregelbunden växling mellan varma och kalla luftströmmar av stor vertikal mäktighet. Denna form av luftutbyte, som innebär en mot polerna riktad netto-

transport av värme, har liknats vid en sorts »storturbulens». Inom detta storturbulenta strömningssystem stiger de varma lufttungorna i genomsnitt uppåt, medan de kalla lufttungorna sjunker, främst till följd av skillnaden i densitet. Denna process innebär i sin tur att rörelseenergi (kinetisk energi) alstras på bekostnad av atmosfärens potentiella energi.

Både i tropikerna och längre mot polerna verkar cirkulationen sålunda som en termodynamisk maskin, genom vilken värmeenergi transformeras till kinetisk energi. Maskineriets verkningsgrad är dock synnerligen låg, uppskattad till endast 1–2 procent av den inkommande strålningsvärmens. Detta är viktigt att beakta när man diskuterar olika möjligheter att industriellt utnyttja andra energiresurser än fossilt bränsle och kärnenergi och härvid ofta hänvisar till vindkraften och solstrålningen. De atmosfäriska energiprocesserna talar avgjort till förmån för ett direkt utnyttjande av strålningsvärmens, medan däremot ett utnyttjande av vindenergin i större skala ekonomiskt sett ter sig minst sagt tveklaktigt.

Polarfrontteorin

På norra halvklotet avlänkas de varma sydliga luftströmmarna i genomsnitt mot NÖ och de kalla nordliga luftströmmarna mot SV som en följd av corioliskraften. Inom gränsområdet mellan luftmassor av subtropiskt och polärt ursprung sker samtidigt en koncentration av temperaturkontrasten. I närheten av jordytan får denna ofta karaktären av en diskontinuitet i temperatur- och vindfältet, en s k front, medan processen däremot i den fria atmosfären närmast leder till uppkomsten av ett mer mindre utpräglat övergångsskikt.

Frontbegreppet infördes i meteorologin omkring år 1920 av den berömda Bergenskolan under ledning av norrmannen Vilhelm Bjerknes. Särskilt uppmärksammades fronten mellan luftmassor av subtropiskt och polärt ursprung, den s k polarfronten. I denna är en betydande del av den normala temperaturskillnaden mellan låga och höga breddgrader koncentrerad. Detta innebär en extrem anhopning av den del av atmosfärens potentiella energi, som under lämpliga förutsättningar kan omvandlas till kinetisk energi, vilket i sin tur är en viktig förutsättning för uppkomsten av kraftiga virvelstörningar, cykloner–lågtryck.

Under inverkan av jordrotationen uppvisar polarfronten en svag lutning mot horisontalplanet, mestadels av storleksordningen 1/50–1/200, med den kalla och tyngre luften under den varma. Polarfronten bör dock inte uppfattas som en sammanhängande gränssyta runt hela jorden. Snarast består den av avsnitt åtskilda av frontfria områden, genom vilka polarluften under gradvis uppvärmning kan strömma ut i passadbältet,

främst som en strömning i atmosfärens understa skikt. Härigenom uppnås balans i luftutbytet mellan subtroperna och polarområdena.

Enligt polarfrontteorin bildas flertalet kraftiga cykloner som vågartade initialstörningar i polarfronten. En sådan vågstörning rör sig med den förhärskande varmluftströmningen längs fronten. Härvid växer störningens, dvs vågens, amplitud, samtidigt med att den kallare och tyngre luften gradvis omsveper den varmare luften inom vågens centrala delar för att slutligen helt avsnöra denna från jordytan. Detta kallas att cyklonen »ockluderar». Den övergår samtidigt i en intensiv virvel av kallluft. Såväl virvelbildningen som tryckfallet i cyklonens centrum kan betraktas som en nödvändig konsekvens av jordrotationen. I en icke-roterande atmosfär kan inga väder-virvlar av nämndvärd intensitet uppkomma.

Längs ett givet avsnitt av polarfronten bildas i regel en hel serie cykloner, en s k cyklonfamilj, i vil-

ken den östligaste nått längst i utveckling medan nybildningen sker i den västra delen av fronten. Under cyklonernas transformation från vågstörningar till virvelstörningar i samband med ocklusionsprocessen sker den väsentliga energiutvecklingen och fördjupningen. Sedan cyklonen ockluderat är dess energikälla i stort sett uttömd och degenerationsstadiet vidtar, som leder till att cyklonen dör ut.

Vågor i västvindbältet

Självfallet har den senare utvecklingen inom meteorologin högst väsentligt modifierat den ursprungliga polarfrontteorin. Av fundamental betydelse för cyklonteorin blev den av Carl-Gustaf Rossby utvecklade teorin för vågorna i troposfärens, den lägre delen av atmosfären, mellansta och övre skikt.

Utanför tropikerna karakteriseras cirkulationen av en förhärskande västvind, som till följd av att temperaturen avtar mot polerna, tilltar med höjden ända till tropopausnivån på ungefär 9–12 km höjd, dvs gränsskiktet mellan troposfär och stratosfär. Detta innebär att den nedre atmosfärens mer eller mindre slutna virvelstörningar med ökad höjd närmast får karaktären av öppna vågor i västvindbältet. Rossby påvisade existensen av två skilda kategorier av sådana vågor, nämligen »långa vågor» och »korta vågor».

De långa har en våglängd motsvarande längden av enskilda polarfrontavsnitt, medan de korta vågorna i den fria atmosfären har sin motsvarighet i de enskilda cyklonerna närmare jordytan. Bild 2 visar schematiskt detta sammanhang. Här antas existensen av fyra polarfront-

avsnitt med respektive cykloner på olika utvecklingsstadium.

Bild 3 visar mer realistiskt sambandet mellan polarfrontstörningar vid marken och i troposfärens mellanskikt än den starkt schematiserade framställningen i bild 2. Här ser vi olika typer av våg- och virvelbildningar i västvindbältet i deras relation till frontcykloner nära jordytan.

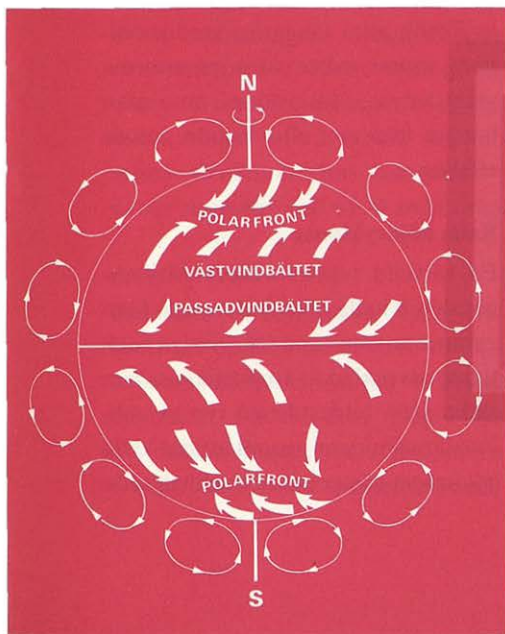
Sambandet mellan utvecklingen av en enskild cyklon och den därtill hörande vågen på ungefär 5 km höjd illustreras i bild 4. Samtidigt med markcyklonens ocklusion växer höjdvågens amplitud. Emellanåt utvecklas ur vågdalen en slutna kall höjdcyklon, en process som antyds i bilderna och som senare kommer att beskrivas mera i detalj; bilderna 7–8.

Jetströmmar

Då vindökningen med höjden är nära proportionell längs en horisontell yta mot den horisontella temperaturgradienten, dvs temperaturens avtagande normalt mot vindriktningen, är vindökningen särskilt extrem inom polarfrontzonen. Ovanför denna observeras därför ofta vid tropopausnivån ett strålförmigt bälte med vindhastigheter, som i extrema fall uppmätts till mellan 80 och 120 meter per sekund. Detta vindfenomen kallas jetström (egentligen strålström).

Bild 5 visar i schematisk form sambandet mellan en utpräglad front med dess karakteristiska temperaturfördelning i ett vertikalsnitt och den därtill hörande jetströmmen och tropopausen. Begreppet jetström infördes i meteorologin år 1947 av en grupp meteorologer, som arbetade under Rossbys ledning vid University of Chicago.

1. Atmosfärens allmänna cirkulation.

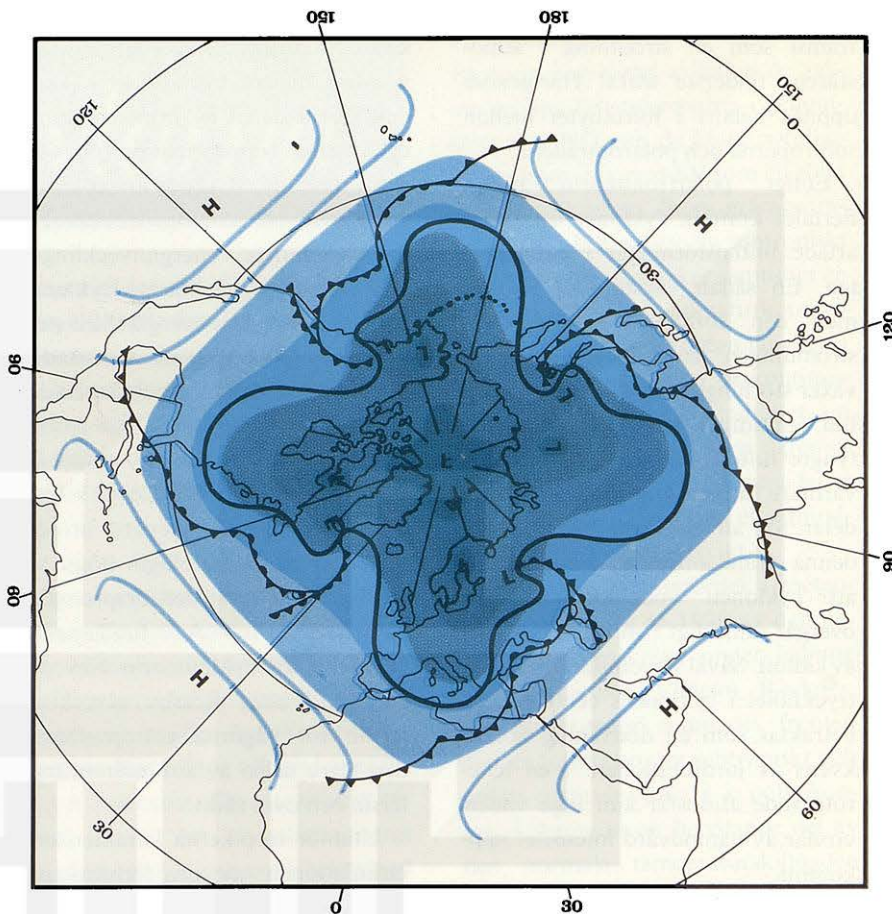


2. Schematisk och idealiserad bild av sambandet mellan polarfronter och atmosfärens långa vågor och enskilda cykloner och motsvarande korta vågor på ca 5 km höjd markerade. Frontsymbolerna gäller marknivån medan den tjocka linjen antyder polarfronten på 5 km höjd. De olika blåfärgade nivåerna visar ytor med samma tryck.

Jetströmmen representerar den mest utpräglade koncentration av kinetisk energi som kan observeras i atmosfären. Redan därför är dess betydelse för utvecklingen av väder-
virvlarna avsevärd, men den är ännu inte helt klarlagd. För luftkommunikationerna, särskilt så länge flygningen främst sker på nuvarande nivåer, är det av största vikt att ta hänsyn till jetströmmarna, i synnerhet som de ofta karakteriseras av kraftig turbulens.

Energiutvecklingen i cykloner

Som redan tidigare framhållits alstras kinetisk energi under en cyklons aktiva utvecklingsstadium genom att den varma och lättare luften stiger uppåt medan den kalla luften sjunker. I princip innebär detta en sänkning av hela systemets tyngdpunkt, varvid potentiell energi övergår i kinetisk energi. Skillnaden mellan väder-
virvlarnas horisontella och vertikala utsträckning innebär emellertid att luftströmningens storstilade vertikalkomponent i genomsnitt endast uppgår till 1/100–1/1000 av horisontalkomponenten. Med den nuvarande observationstekniken är det svårt, ja oftast omöjligt att direkt mäta vindens vertikalkomponent.



I bild 6 görs ett försök att tredimensionellt beskriva luftens rörelser i en cyklon under dess aktiva utvecklingsfas. Inom den uppåtstigande varmluften sker en kraftig kondensation av vattenånga, varvid stora mängder latent värme frigörs. Frigörelsen av latent värme inom varmluften och den potentiella energin inom polarfronten utgör de viktigaste energikällorna för den fortsatta utvecklingen.

Genereringen av kinetisk energi i kraftiga cykloner har uppskattats till värden av storleksordningen 10^8 megawatt, medan frigörelsen av latent värme i vissa fall kan uppgå till 10^9 megawatt. Det kan vara av intresse att jämföra dessa värden med

den industriella världsproduktionen av energi, som för år 1970 har uppskattats till omkring 8×10^6 megawatt. Med dessa jämförelsetal i minnet är det lätt att inse, varför varje försök att i väsentlig grad modifiera vädret måste stöta på enorma svårigheter, åtminstone om man bortser från mer eller mindre lokala effekter.

Kalla höjdcykloner

En särskild typ av väder-
virvar utgör de s k kalla höjdcyklonerna. Som namnet antyder är dessa virvar kraftigast utvecklade i troposfärens övre skikt. Ofta bildas denna typ av cyklonala störningar genom att det kalla höjdråget väster om det ockluderade

3. Samma som bild 2 men denna representerar en verklig vädersituation.

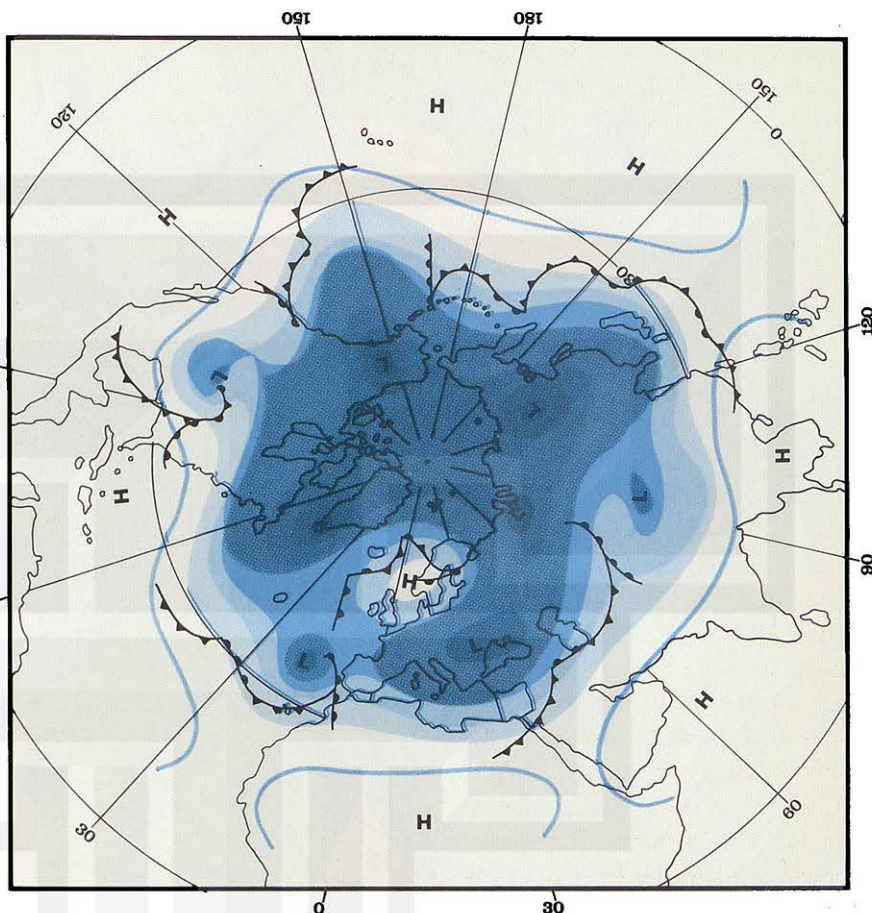
lågtrycket avskärs från sin ursprungliga kallluftreservoar i norr av omgivande varmare luftmassor. Bild 3 visar ett exempel på sådana kalla höjdcykloner i 500 mb-nivån.

Exempel på strukturen hos en höjdcyclon ges i bilderna 7 och 8. Den förra visar höjdkurvorna för 500 mb-ytan (motsvarande ungefär isobarerna på 5 km-nivån) samt de motsvarande isotermerna, medan den senare återger den termiska strukturen i ett vertikalsnitt genom cyclonens centrum, som just då råkade ligga över Stockholm.

Vertikalsnittet visar hur tropopausen i samband med vivelbildningen sugits ned till en höjd av närmare 4 km (610 mb). Som en följd härav framstår den undre delen av virveln som kall, medan den övre, stratosfäriska delen har en relativt varm kärna förorsakad av adiabatisk uppvärmning i samband med subsidensen, sänkningen, i denna del av virveln. Den utpräglade tropopausfördjupningen är en nödvändig följd av virvelbildningens dynamik. Den representerar en direkt analogi till »ögat» i tropiska orkaner, se Sundqvists artikel sid 42, medan den termiska strukturen hos orkanerna i övrigt uppvisar helt avvikande drag.

Anticyklonala virvlar

Eftersom de cyklonala vädervirvlarna ger upphov till de mest dramatiska väderfenomenen, har vi främst uppehållit oss vid dem. Några ord bör dock tillfogas om anticyklonerna – högtryck – som i allmänhet karak-

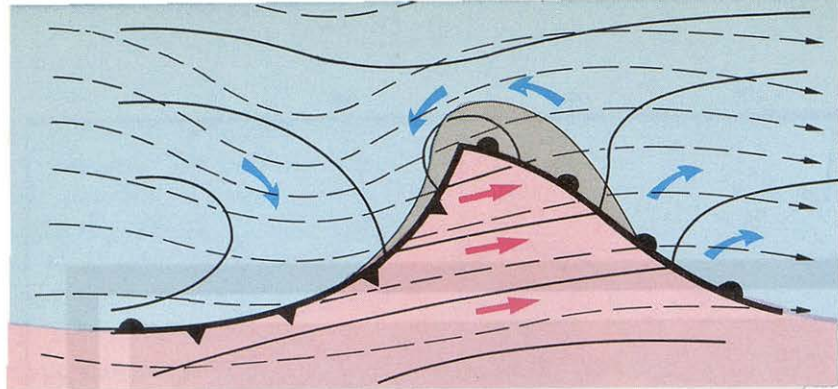


teriseras av stabilt och vackert väder med svaga vindar.

De anticyklonala vädervirvlarna kan i stort sett indelas i två olika typer. En typ bildas mellan två successiva cykloner, där kalluften sjunker och utbreder sig anticyklonalt i atmosfärens undre skikt, jämför bild 6. Dessa kalla anticyklonala virvlar är, åtminstone i den nedre troposfären, uppbyggda av kall polarluft och uppvisar i regel en relativt snabb rörelse i likhet med de närliggande cyklonerna. Den andra mer permanenta typen av anticyklonala virvlar bildas som utlöpare från subtropernas varma högtrycksbälte. De karakteriseras därför också av hög temperatur. Under den kalla årstiden uppvisar de

dock ofta över land rätt låga temperaturer i atmosfärens allra lägsta skikt, som en följd av den starka utstrålningen av värme vid mestadels klar himmel. Under den varma årstiden däremot ger den intensiva instrålningen i samband med svag subsidens inom systemet mycket höga marktemperaturer.

Ofta inleder en dylik framstöt från det subtropiska högtrycksbältet en så kallad blockering av den förhärskande västströmningen. En sådan blockering kan härvid emellanåt för en längre tid effektivt hindra den normala cyklonaktiviteten och sålunda inleda en långvarig period av stabilt högtrycksväder. Orsakerna till en sådan blockering är ännu rätt okända.



4. Två utvecklingsstadier av en cyklon. Linjer som sammanbinder punkter med samma tryck (isobarer) är markerade med tunna linjer. Fronter markeras med tjocka vågformade linjer och höjdströmningen med streckade linjer.

För väderprognoser på längre sikt vore det av största betydelse att bättre förstå de termodynamiska processer, som inleder och upprätthåller dylika blockeringar i medelbreddernas västvindbälte.

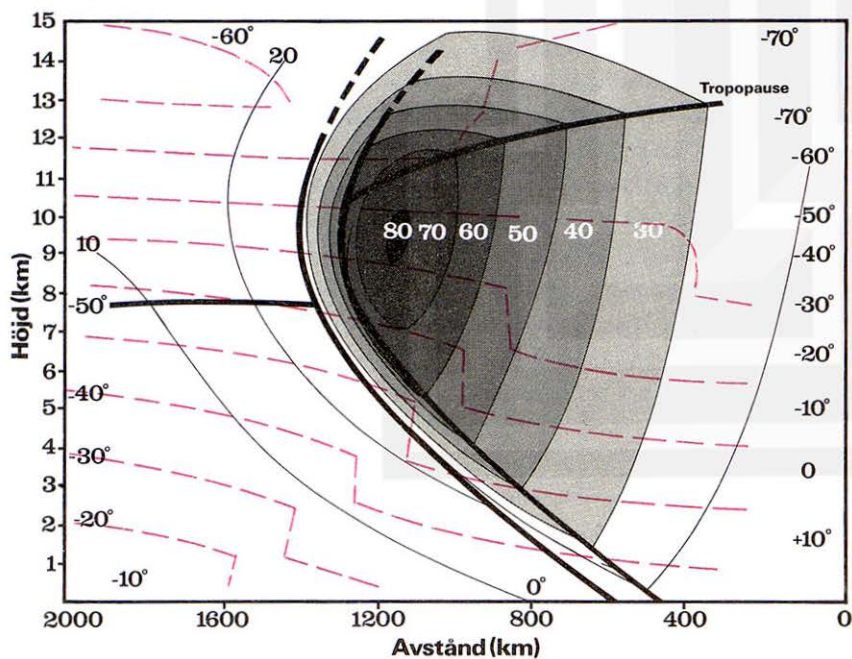
Satellitbilder

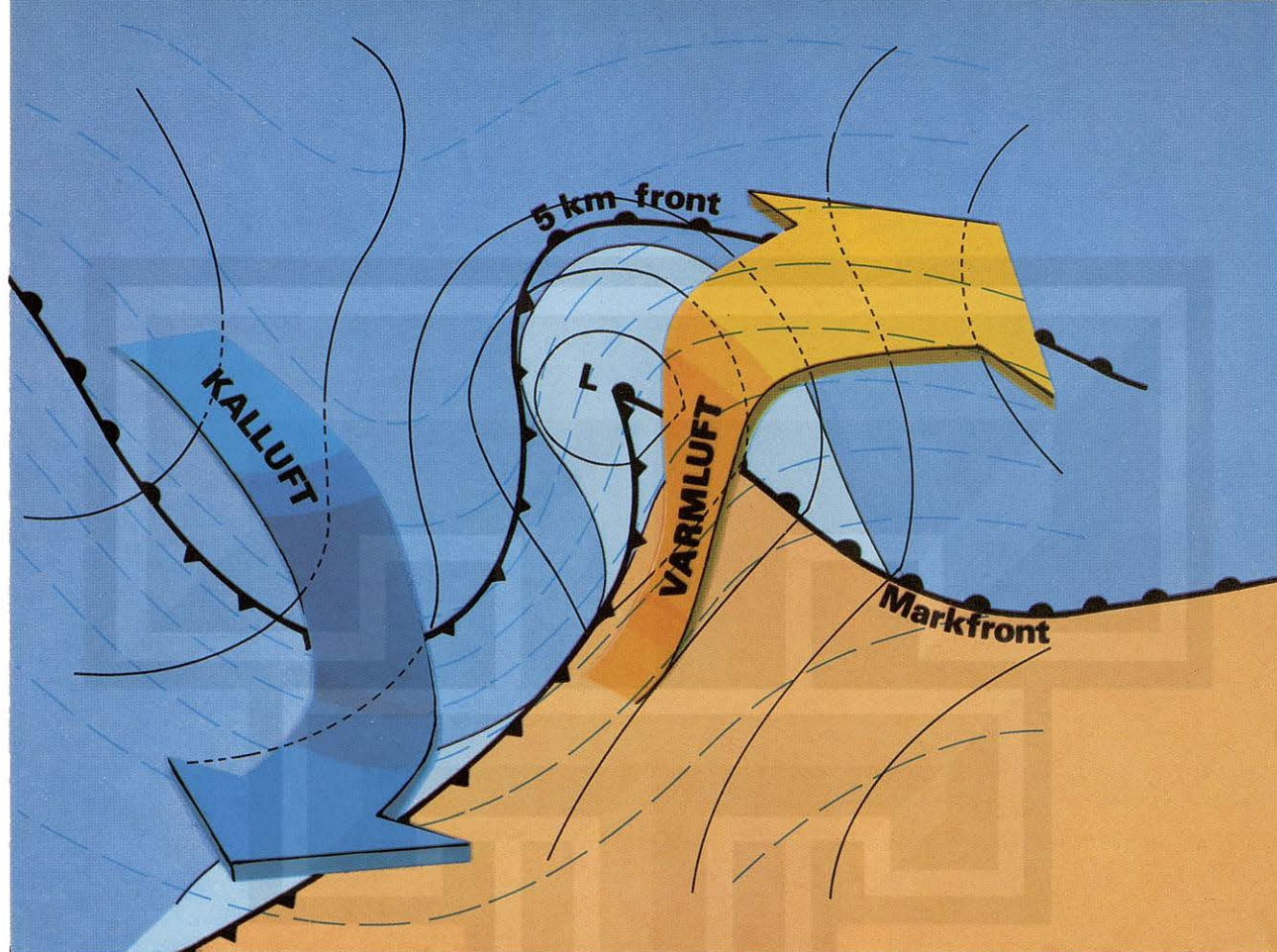
Den moderna satellittekniken ger en unik möjlighet att överblicka molnstrukturen och delvis också luftcirkulationen inom olika väderstörningar.

En typisk polarfront över Atlanten med två cykloner visas i bild 9. En dag senare har de helt transformerats till ockluderade cykloner, bild 10. Fotografierna ger en rätt god illustration av molnformationerna längs polarfronten och dess enskilda cykloner samt av den typiska förändring som inträder i samband med störningarnas förvirvling.

En mer detaljerad bild av en cyklon under stark utveckling och med utpräglad temperatursymmetri ges i bild 11. Här framträder både varmfrontens bredare och kallfrontens något smalare molnsystem tydligt.

5. Schematisk bild av sambandet mellan en jetström och polarfronten i ett vertikalsnitt. Områden med samma vindstyrka markeras med samma blåton. Ju mörkare blått desto kraftigare vind. Temperaturstrukturen markeras med streckade linjer. Polarfrontens läge markeras av de tjocka gränslinjerna.





▲
6. Tredimensionell representation av den kalla och varma luftens rörelser i en cyklon. Den kalla luften rör sig söderut under ständig nedsjunkning från högre höjd mot markvinån, medan den varma luften från marken stiger uppåt längs svagt lutande banor. Den uppåstigande varmluften medför en kraftig kondensation av vattenånga, varvid stora mängder latent värme frigörs. Detta är den viktigaste energikällan tillsammans med den potentiella energin inom polarfronten för cyklonens fortsatta utveckling.

Mätning av värmestrålning i det infraröda området (5–15 μm) från den övre molnytan eller, vid frånvaro av moln, från jordytan ger oss möjlighet att bestämma strålningsytans temperatur och följaktligen också molnens höjd. Ett exempel från Nordatlanten ges i bild 12. Mätningar av den infraröda, utgående strålningen ger möjlighet till en mer detaljerad analys av olika molntyper än den som är möjlig med hjälp av vanliga molnfotografier.

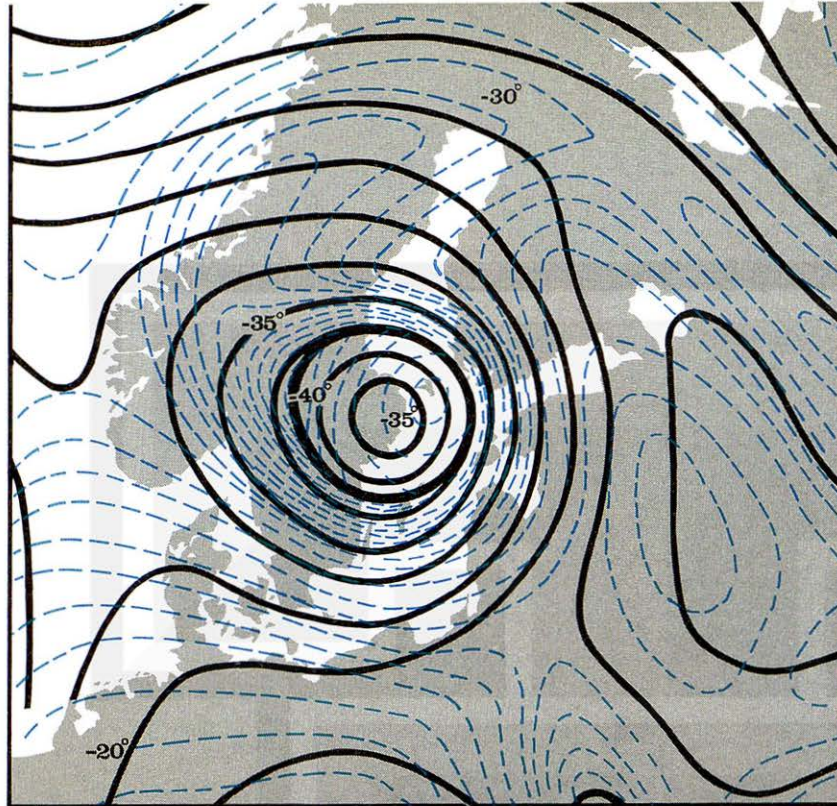
Varför uppkommer vädervirvlarna?

Trots att vi erfarenhetsmässigt idag rätt detaljerat kan beskriva utvecklingsförloppet hos vädervirvlarna i västvindbältet, råder fortfarande en

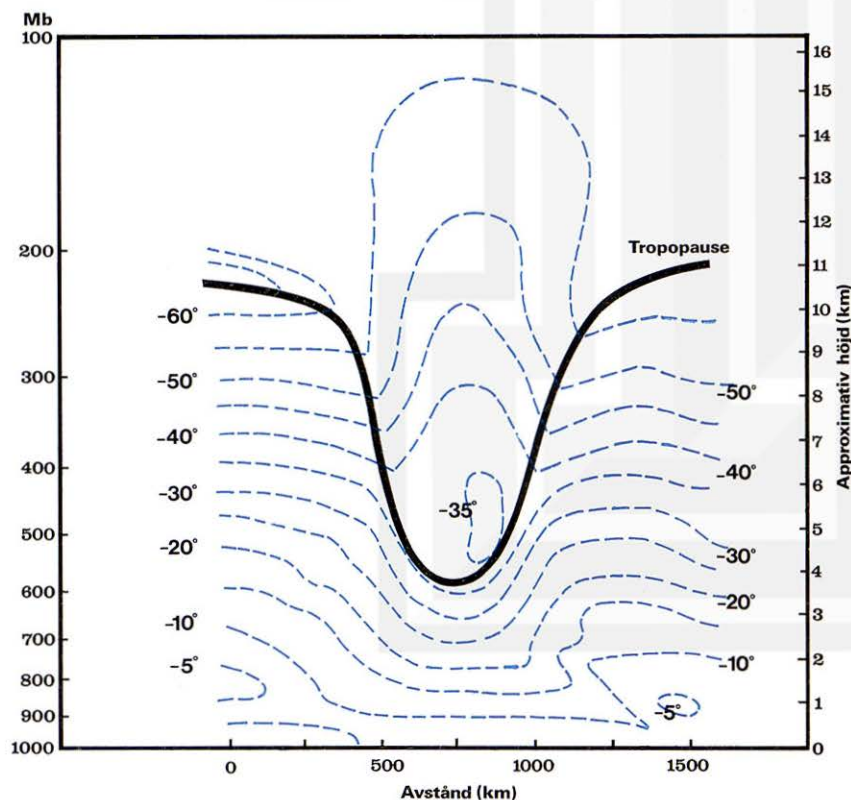
viss osäkerhet om den allmänna teorin för detta fundamentala atmosfäriska fenomen. Svårigheten sammanhänger åtminstone delvis med fenomenens komplexa natur. Den teori, som kanske vunnit det mesta beaktandet, utgår från begreppet baroklin instabilitet.

Atmosfären är baroklint skiktad när ytor med samma temperatur och densitet inte är parallella med utan skär atmosfärens tryckytor. Baroklin atmosfär har alltså en utpräglad horisontell temperaturgradient.

I västvindbältet avtar temperaturen i stort mot högre breddgrader och västvinden tilltar med stigande höjd genom atmosfären. Detta skapar baroklin instabilitet, som möjliggör, under vissa förhållanden, att



7. En højdcyclon den 18 november 1959 med centrum över Stockholm. Kartan visar höjdkurvorna för tryckytan 500 mb (ca 5 km höjd) och den termiska strukturen.



potentiell energi överförs i kinetisk. Ju kraftigare baroklinitet desto större är atmosfärens potentiella energi. Teoretiska beräkningar visar att om vissa gränsvärden överskrides kan små störningar av en viss kritisk våglängd snabbt utvecklas så att amplituden hos vågen växer tillsammans med den kinetiska energin. Ett lågtryck har fötts. Lågtryckets utveckling och intensitet beror på en rad faktorer men framför allt på mängden energi som finns tillgänglig.

Man har funnit att den kritiska våglängden hos initialstörningen ganska väl överensstämmer med våglängden hos polarfrontscykloner under deras första utvecklingsfas. Den omständigheten att de kraftigaste cyklonerna främst bildas i samband med tydliga polarfronter, där barokliniteten är särskilt kraftig, stöder också teorin.

På grund av matematiska svårigheter kan teorin för baroklin instabilitet inte utsträckas till att omfatta vädervirvlarnas senare utveckling. Genom numeriska experiment med hjälp av datorer har det däremot varit möjligt att simulera cyclonutvecklingen i en baroklin atmosfär. Experimenten visar att små initialstörningar i en baroklin atmosfär efter förloppet av en tillräckligt lång tidrymd faktiskt leder till virvelstörningar, av samma typ som i den verkliga atmosfären trots att de numeriska experimenten självfallet inte hittills helt förmått simulera det mycket komplexa skeendet i atmosfären. ■

◀ 8. Ett tvärsnitt genom højdcyklonen i bild 7 som visar temperaturstrukturen.

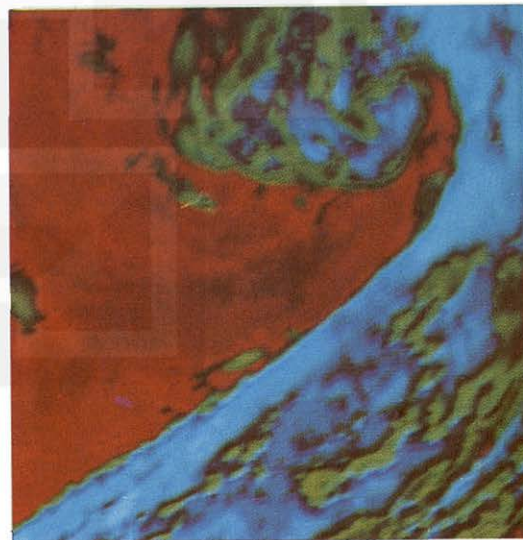
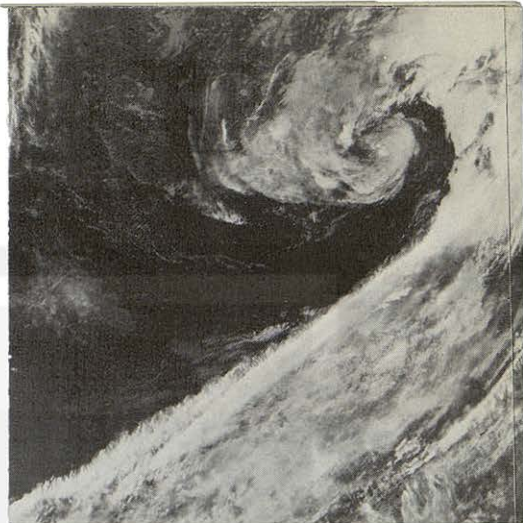
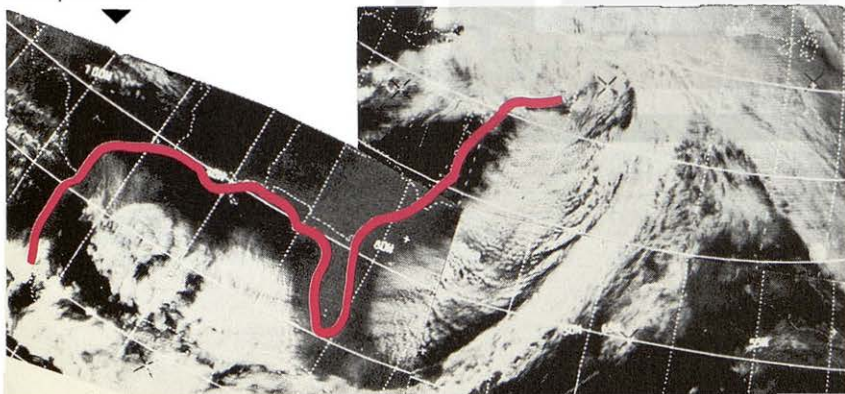


9. Norra halvklotet med en typisk polarfront över Nordatlanten avbildad av den amerikanska vädersatelliten ATS-III:s TV-kameror. På polarfronten syns två välutvecklade cykloner med vågkaraktär. Bild: 22 sept 1969, NASA.



10. Samma vy från ATS-III en dag senare. De båda cyklonerna har ockluderats. Bild: 23 sept 1969, NASA.

11. Cyklon på Amerikas ostkust i kraftig utveckling den 4 mars 1971. Bilden är tagen från vädersatelliten ESSA och är sammansatt av 3 bilder. Här framträder varmfrontens bredare och kallfrontens smalare molnsystem tydligt. Den innersta delen av varmsektorn är fylld av täta moln medan de yttre delarna är nästan molnfria. Av speciellt intresse är molnformationerna väster om kallfronten. Den kalla luften är molnfri över den amerikanska kontinenten. Så fort luften strömmat ut över den varma Golfströmmen bildas genom luftens uppströmning av sk konvektiva moln, som i sina streckmönster visar luftens strömningsriktning. Bild: NASA och NOAA.



12. En cyklon avbildad med den av NOAA-2:s radiometrar som registrerar havsytans, markens och molntopparnas värmestrålning i det infraröda området, 5–15 μm . Tekniken gör det möjligt att bestämma strålningssytans temperatur och således också molnens höjd. Genom att färgkoda värmestrålning i den svartvita bilden och presentera resultaten genom en färg-TV-monitor görs bilden mera lättläst. Rött markerar molnfria områden där havsytan har ungefär 10°C. Gröna färgtoner motsvarar temperaturen hos medelhöga moln medan blått representerar temperaturen, -40° till -50°C, hos de allra högsta molnen, cirrusmoln, på flera km höjd. Bild: NASA och NOAA.

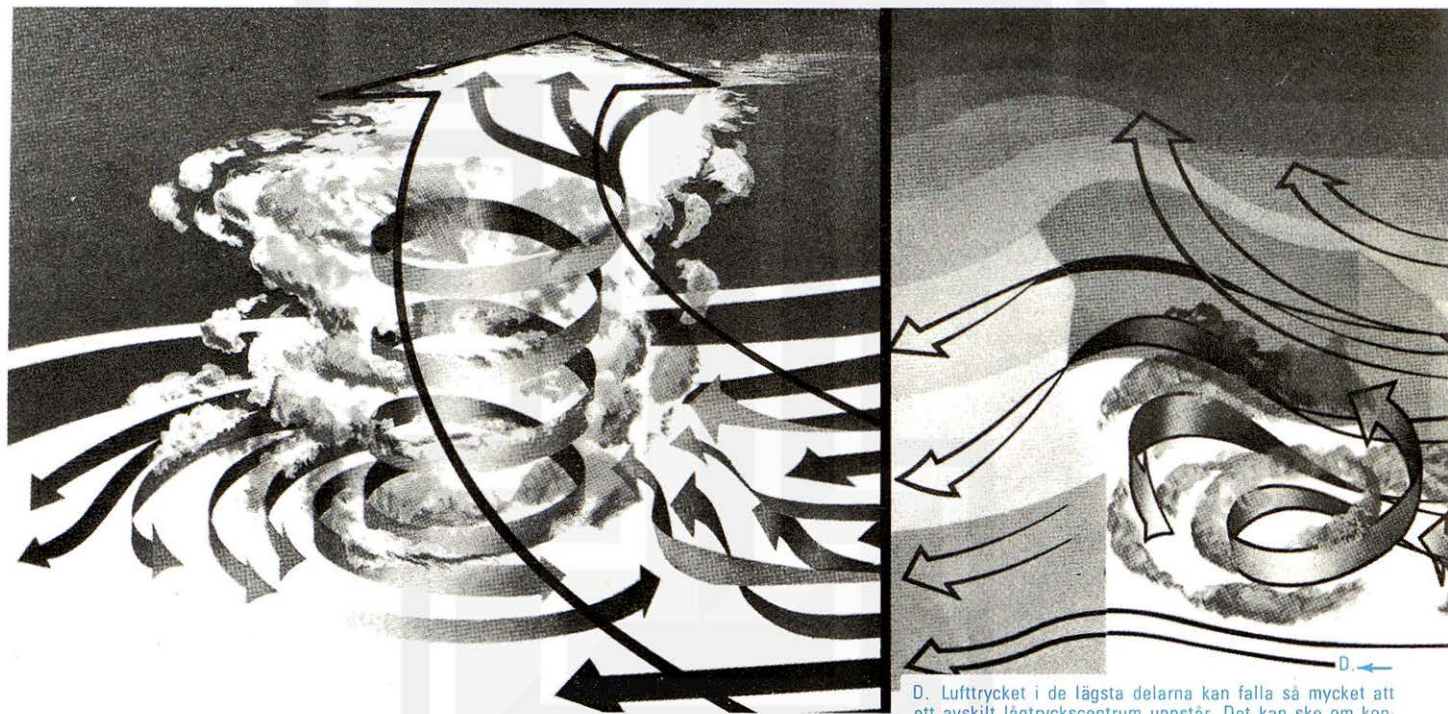
Tropisk ORKAN

AV HILDING SUNDQVIST

De tropiska orkanerna orsakar varje år stor skadegörelse när de drar fram över bebyggda områden. Vindstyrkan uppgår ofta till mer än 50 m/sek. I Ostasien kallas de tropiska orkanerna *taifyn* (tyfon) och i Västindien *hurricane*. De tropiska orkanerna bildas över haven i ekvatorsområdet vid gynnsamma termodynamiska förhållanden. De färdas mot väster och deras banor avböjes senare mot polerna. Kommer de in över land försvagas virveln snabbt och dör ut på grund av ökad friktion och minskad tillförsel av energi.

De tropiska orkanerna är distinkta virvlar inom atmosfärens virvelspektrum. Den utpräglade virvelrörelsen hos orkanerna finns inom en radie på 150–250 km. Den typiska orkanen är uppåt hundra gånger större än tornadon och tre till fem gånger mindre än den på våra breddgrader vanliga utomtropiska cyklonen (lågtryck), vilka beskrivs i separata artiklar i detta nummer av FoF. De tropiska orkanerna har tidigare beskrivits i FoF 5/72. Där redogjordes detaljerat för deras geografiska utbredning, uppkomstsätt, termodynamiska liv etc. Här skall vi betrakta den tropiska orkanen från satellitnivå.

Schematiskt sett kan de tropiska orkanerna ses som relativt småskali-



Efter hand som vindarna blir intensivare och cirkulationen bättre organiserad framträder alltmer den tropiska orkanens karaktäristiska drag; en utpräglad virvelrörelse, i de lägsta lagren spiralformig, gående in mot centrum. I sina översta delar (14–17 km) är förvirvlingen ofta mer diffus. Den nödvändiga borttransporten av massa från stormens centrala delar sker här i samverkan med den tropiska och subtropiska atmosfärens mera storskaliga cirkulationssystem.

D. Lufttrycket i de lägsta delarna kan falla så mycket att ett avskilt lågtryckscentrum uppstår. Det kan ske om konvektionen förstärks – genom att vågstörningen kommer över en varmare havsytta – och samtidigt strömningen på stor höjd (10–15 km) är sådan att luften där effektivt transporteras bort från området. En moturs cirkulation, med en viss avlänkning in mot centrum, utbildas. Resultatet blir att konvergensen av fuktig luft och därmed konvektionen förstärks. Detta ger möjligheter för fortsatt tryckfall och en accelererande cirkulation. När betingelserna för detta är speciellt goda leder utvecklingen till en fullt utbildad tropisk orkan.

ga virvlar i den atmosfäriska strömningen över de tropiska områdena, 25°N–25°S. De driver med i den dominerande ostströmningen, som hänger samman med nordost- och sydostpassaderna på norra respektive södra halvklotet. En typisk förflyttningshastighet är 10–20 km/tim. För en observatör vid jordytan upplevs den tropiska orkanen som en mycket påtaglig virvel. Under någon eller några timmar uppträder orkanvindar, mer än 34 m/sek, först från en riktning, för att sedan – efter passagen av orkanens centrum (öga), vilket sker under loppet av en halv till en timme och varvid nästan vindstilla råder – komma från rakt motsatt riktning.

Den tropiska orkanen är en väl-

definierad virvel, som sträcker sig ända upp till 15 à 17 km höjd. Ovanför denna höjd återstår bara ca 10 % av en luftpelares totala massa. Från dynamisk synpunkt innebär detta bl a att de väldiga värmemängder, som frigörs genom kondensation i virvelns centrala delar, genom vertikalcirkulationen i virveln, transporteras till stor höjd. Härigenom får atmosfären ett väsentligt bidrag till uppbyggnaden av sin potentiella energi, vilken sedan på högre latituder utgör drivkällan för vanliga cykloner (lågtryck) på våra breddgrader.

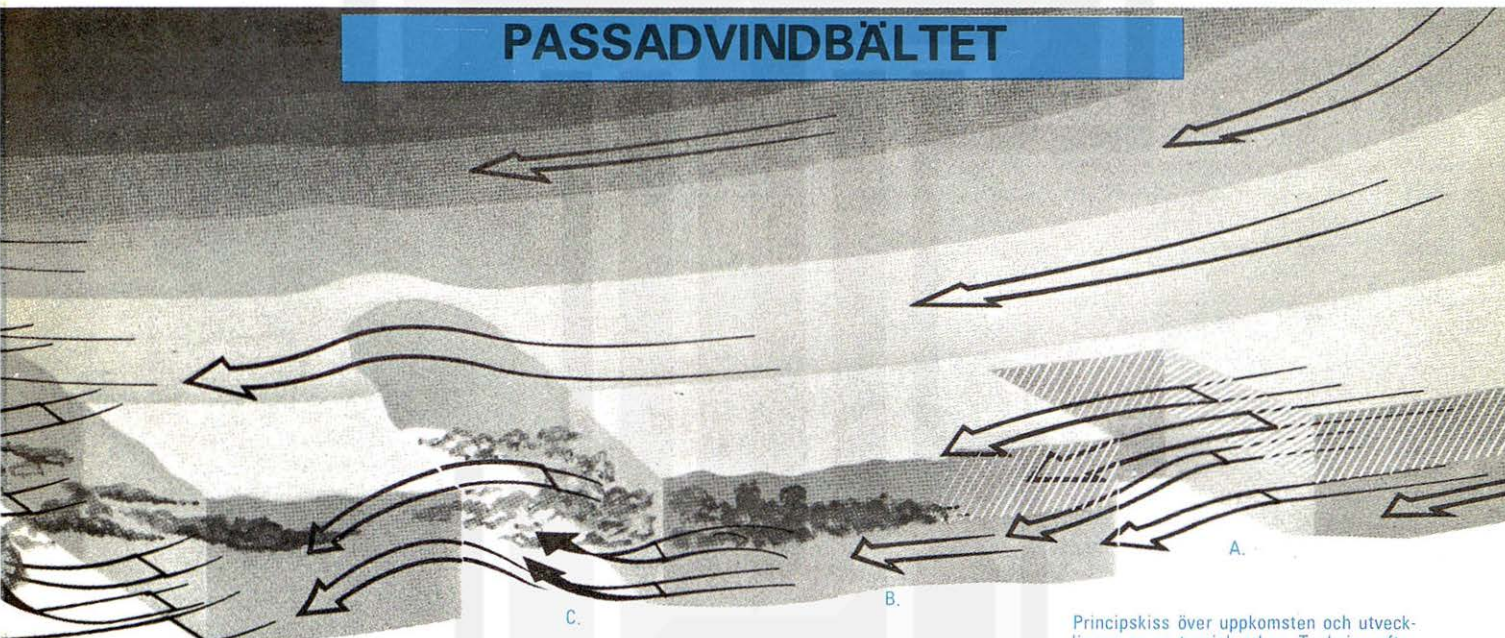
Satellitbilder har radikalt ökat våra möjligheter att observera och studera rörelsesystem inom de tropiska områdena. Man kan nu exem-

pelvis följa en tropisk cyklon, allmän benämning på lågtryck över tropiska områden, under hela dess livstid; från det att den bildas som ett svagt lågtryck över Afrika eller strax ovanför dess västkust, till dess att den som en fullt utvecklad orkan antingen går in över nordamerikanska kontinenten och dör ut eller når så höga latituder att den under vissa förutsättningar övergår till att bli en utomtropisk cyklon. Cykloner som intensifierats till orkaner existerar huvudsakligen över de västligaste delarna av de tropiska haven.

Modern fjärranalysteknik, där man utnyttjar olika våglängdsband, gör det möjligt att få information om den vertikala strukturen hos orkanen.

Forts ►

PASSADVINDBÄLTET

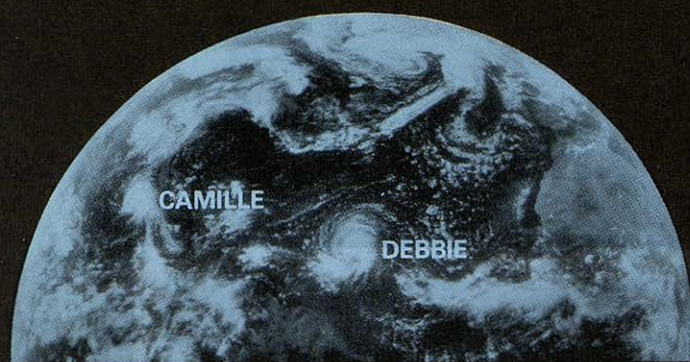


C. Strömningen uppvisar en vägrörelse även åt vänster. Det lägsta trycket (tråg) längs en given latitudcirkel finner man kring den linje (trågaxel) där vinden vrider från SÖ till NÖ. Den typiska vertikalfördelningen av vinden medför en konvergens i strömningen i de lägsta, fuktiga luftlagren öster om trågaxeln. I detta område kan därför uttalad konvektion – åska och häftiga regnskurar – uppträda. Väster om trågaxeln existerar då som regel en nedåtgående och molnupplösande vertikalarörelse. Vågstörningar av denna typ vandrar ofta tusentals kilometer västerut utan att deras intensitet förändras nämnvärt.

B. Under rörelsen västerut blir det undre skiktet gradvis mera labilt, genom den ständiga värmeförseln underifrån. Turbulensen blir allt intensivare, vilket gör att inversionen försvagas och att konvektionen (stackmolnsbildningen) till allt större höjder kommer igång (passadvindscumuluss).

Principskiss över uppkomsten och utvecklingen av en tropisk orkan. Teckning efter NOAA-publikationen Hurricane.

A. Karakteristiskt för det ostliga passadvindbältets vertikalkonstruktion är ett relativt tunt (1–2 km) skikt av fuktig luft under ett tjockare lager av varm, torr luft. Skikten åtskiljs av en temperaturinversion, dvs ett tunt skikt inom vilket temperaturen ökar med höjden. Vertikalutbytet mellan de två skikten hindras härigenom effektivt. Den värme och vattenånga (latent värme) som avges från den varma havsytan, ackumuleras i det lägre skiktet.



1. Två tropiska orkaner, Debbie (mitt i bilden) på väg åt NV över Atlanten mellan Afrika och Sydamerika samt Camille (t v i bilden) över Västindien på väg norrut in över Florida, avbildade med den amerikanska geostationära vädersatelliten ATS III:s TV-kameror kl: 15 internationell tid (UT) den 16 augusti, 1969 från 36 000 km höjd. Bilden ger ett bra exempel på de tropiska stormarnas storlek och var de uppträder. Bild: NASA.

BILD 2

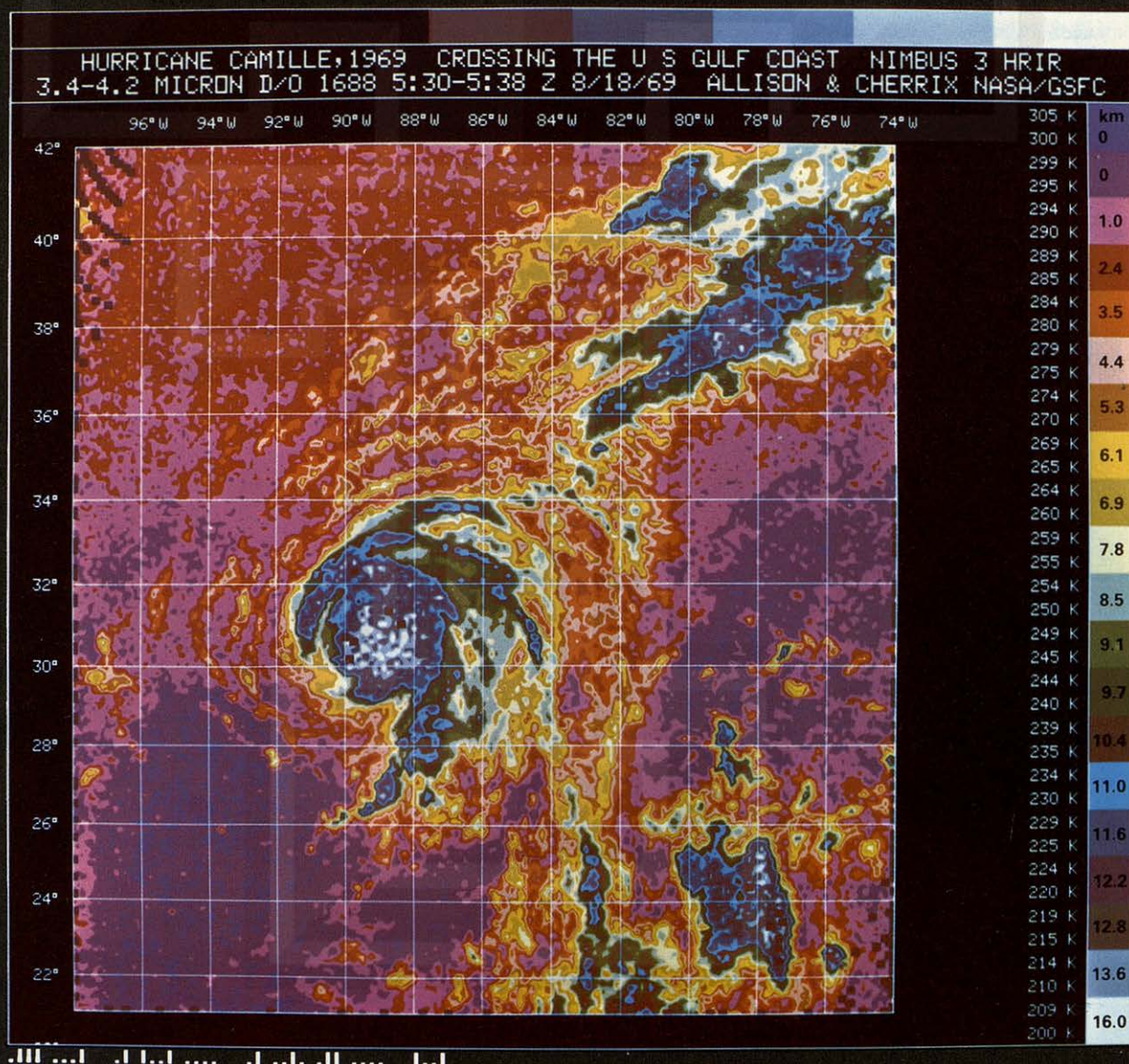
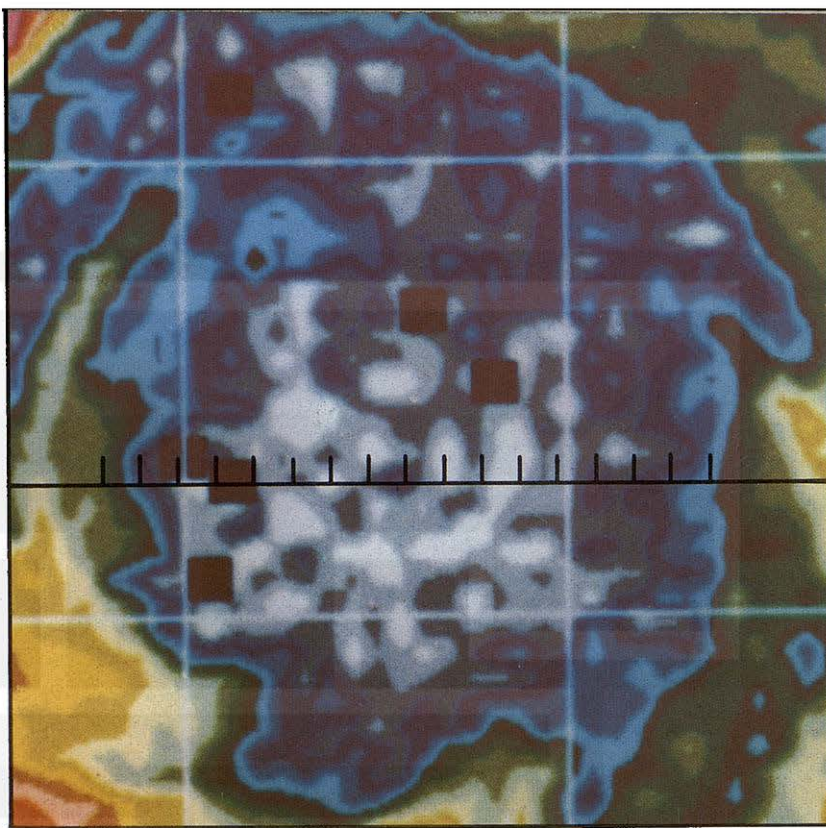


Bild: Allison & Cherrix, NASA/GSFC

2. Orkanen Camille registrerad i det infraröda våglängdsbandet 3,4—4,2 μm (värmestrålning) från satelliten NIMBUS 3 kl: 05.30 UT, den 18 augusti, 1969. Mätvärdena ger ett mått på temperaturen på molnens översidor, eller på markytan i molnfria områden. Temperaturerna har färgkodats i en färg-TV-monitor så att en bildmässig presentation av mätresultaten möjliggörs. Bilden har en upplösning i temperaturintervall om 5°K över en total spännvidd på 100°K . De uppmätta temperaturerna kan vidare tolkas i höjder med hjälp av klimatologiska data över den vertikala temperaturfördelningen under orkansäsongen. De mot de olika färgerna svarande temperaturerna och höjderna finns angivna i skalan till höger i bilden. Dessa data gör det möjligt att tredimensionellt åskådliggöra molnförhållandena i orkanen.

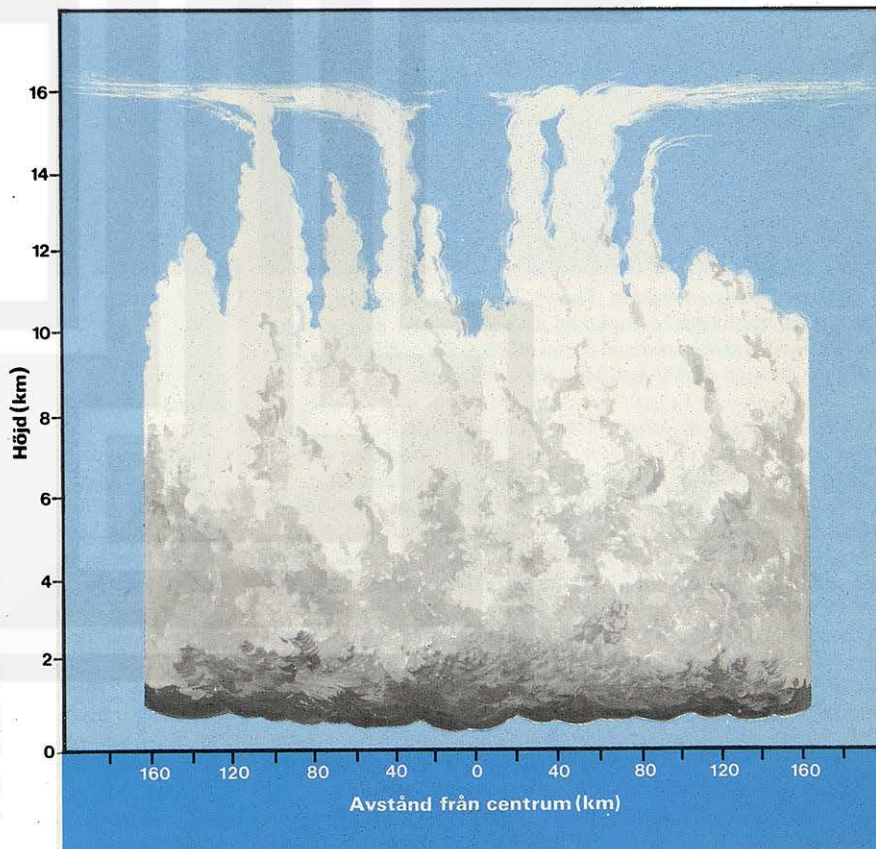
De mäktigaste bymolnen – som har topparna på 13–16 km höjd – är koncentrerade till de centrala delarna inom en ungefärlig diameter på 150 km (1 latitudgrad = 111 km). Som tidigare påpekats finns på dessa nivåer och ut till stort avstånd från centrum, cirrusmoln. De framträder dock inte på bilden på grund av att deras låga täthet ger en alltför svag mätsignal jämfört med den som kommer från de underliggande, mera kompakta molnen. Däremot syns bandstrukturen hos molnsamlingen mycket klart och därmed även den på låga nivåer spiralformade rörelsen, som påpekats tidigare. Med molntapparnas höjdfördelning som utgångspunkt kan man ange att det område, inom vilket orkanen i det närmaste är symmetrisk, har en diameter på 350–400 km.



3.

Bildtexter nästa sida.

4.



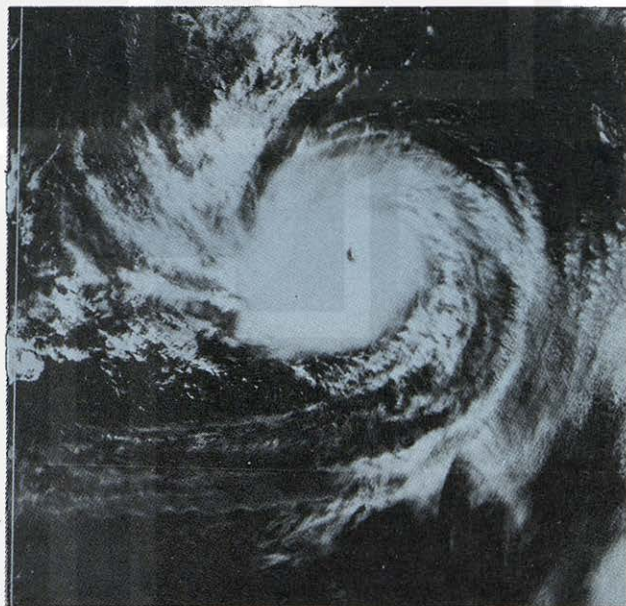
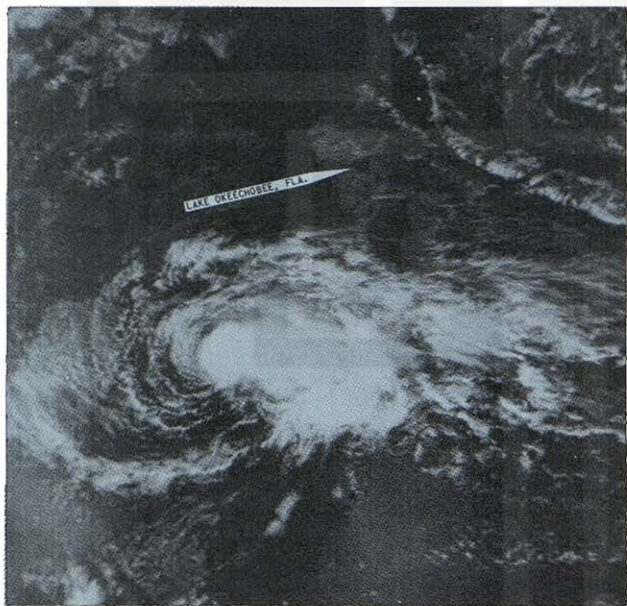
3. För att tydligare belysa molnstrukturen har vi gjort en delförstoring (5 ggr) av molnområdets centrala delar. Av denna framgår hur anmärkningsvärt liten procentuell del av ytan det är som täcks av de verkligt aktiva cumulonimbusmolnen, vilka på bilden framträder som små områden där molntopparna ligger betydligt högre än i den omedelbara omgivningen. Detta bekräftar kvalitativt de upp-

skattningar, som gjorts på annat sätt, och som pekar på att ungefär 5 % av den horisontella ytan i de inre delarna av en orkan täcks av aktiva bymoln.

På bilden, liksom i bild 2, syns också orkanens öga – ett litet område i centrum med ringa molnighet, eller i många fall ingen alls. Ögat är en följd av att det i orkanen finns en nedåtgående – och därmed molnupplösande – luftro-

relse i centrum. Av bild 2 framgår att ögat i den här aktuella situationen är väl utvecklat ned till en nivå, som är åtminstone 5 km lägre än de omkringliggande molntopparna.

4. En tecknad rekonstruktion av molnstrukturen, molnens höjder och utbredning, i ett tvärsnitt genom orkanen Camille. Den är framtagen ur bilderna 2 och 3.



5. Den tropiska orkanen Laura den 17 november, 1971 över den mexikanska bukten, avbildad med den experimentella amerikanska vädersatelliten NIMBUS 4 TV-kamera från ca 1 000 km höjd. Bild: NASA.

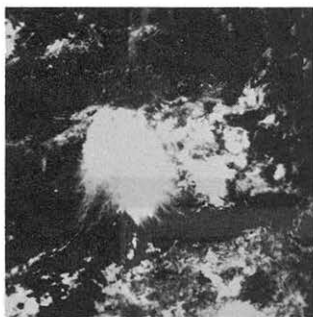
6. Den tropiska orkanen Ava i östra Stilla havet avbildad i synligt ljus kl: 05 UT den 7 juni, 1973 med den amerikanska operativa vädersatelliten NOAA-2 högupplösande svepradiometer från 1 400 km höjd. Detta är den hittills bästa satellitbilden av en tropisk orkan. Bild: NOAA

De ljusaste partierna av molnansamlingarna i bild 5 och 6 härrör från moln med kraftig vertikal mäktighet, dvs cumulonimbus- eller bymoln med basen på 500–1 000 m höjd och toppar på 10–15 km. Partierna med en svag gråton i är relativt tunna molnslöjor, cirrus, på ungefär samma höjd som bymolntopparna. Existensen av bymoln tyder på att det i de lägsta luftlagren råder en mot de centrala delarna konvergerande rotationsrörelse (motsols på norra halvklotet). Av kontinuitetsskäl måste då luften i de centrala delarna röra sig uppåt för att sedan på stor höjd – i nivå med molntopparna – strömma utåt, bort från centrum.

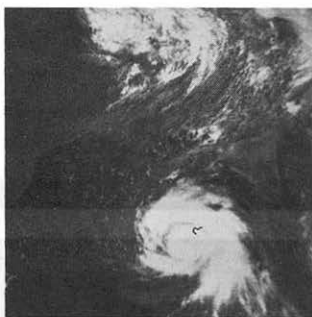
Naturligtvis kan vi inte, från ögonblicksbilder av detta slag, få kvantitativa besked om vindens riktning och styrka i virvlarna. Erfarenhetsmässigt kan dock en kvalitativ information om virvlarnas tillstånd erhållas från bilderna. Både bild 5 och 6 uppvisar en markant koncentration av bymoln, vilket beror på att dessa vuxit upp från de lägsta luftlagren där konvergens råder. Cyklonen på bild 6 framträder som en mera distinkt virvel är den som syns på bild 5. Detta hänger samman med att den förra cyklonen är en fullt utvecklad orkan, Ava, 1973, medan den senare har klart lägre intensitet. Den maximala vindstyrkan var vid fotograferingstillfället knappt 30 m/s. Bild 6 visar också att Ava i detta skede har ett välutbildat öga – det lilla mörka området mitt inne i molnmassan.

Vidare framgår det att cirrusmoln existerar på stort avstånd från den egentliga molnmassan. Som tidigare nämnts måste en divergent luft rörelse råda i nivåerna kring bymolntopparna och cirrusmolnen. Bilderna antyder att virvelrörelsen i cyklonernas omgivning på dessa höjder har, som man dynamiskt kan vänta sig, övergått till medsols riktning. Virvlarnas diameter är i båda fallen ca 600 km.

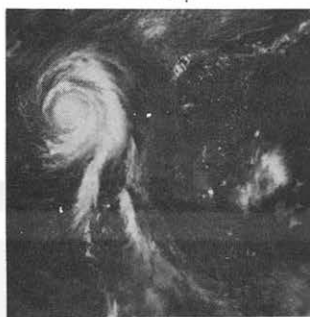
11 AUG



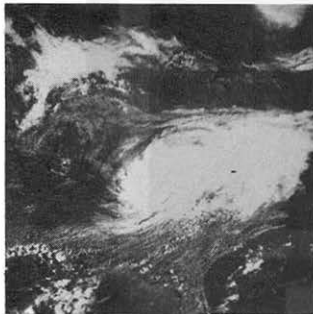
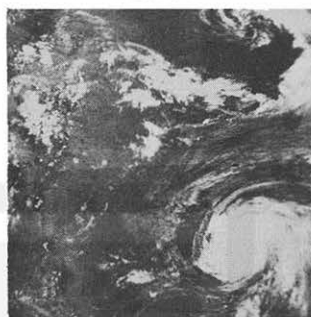
16 AUG



17 AUG



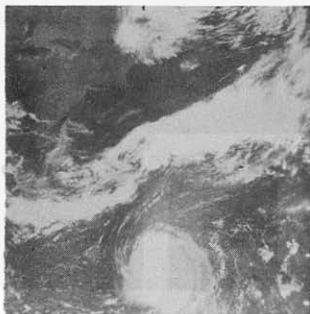
18 AUG



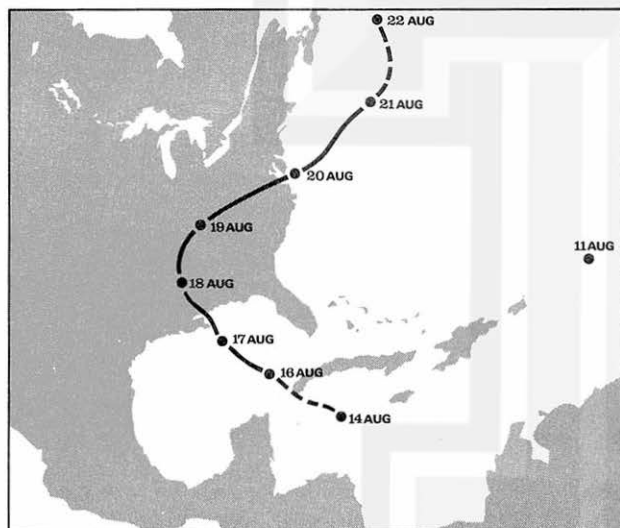
19 AUG



20 AUG



21 AUG



7. Orkanen Camilles utveckling under tiden 11–22 augusti 1969 sedd genom vädersatelliten NIMBUS 3 TV-kameror. Bild: NASA.

Den atlantiska orkanen Camille, 1969, krävde i USA över 250 människors liv och förorsakade förstörelse för över 1,42 miljarder dollar, vilket är ungefär en kvarts miljon dollar mera än skadorna genom orkanen Betsy 1965.

Det lågtryck med tillhörande molnsystem, som senare intensifierades till orkanen Camille, kunde följas med hjälp av satellitbilder från den 5 augusti, då det befann sig över Dakar på Afrikas västkust. Det var dock inte förrän mellan den 14 och 15 augusti, som cyklonen antog orkanstyrka. Övergången skedde då snabbt, såsom ofta är fallet. På mindre än 24 timmar växte den maximala vindstyrkan från 25 m/s till 50 m/s. Molnsystemet den 11 augusti uppvisar visserligen en viss koncentration

men ingen antydning om någon nämnvärd virvelrörelse. Den 16 däremot, då orkanen nått mycket stark intensitet, vindar på åtminstone 70 m/s, vittnar satellitbilden om att en utpräglad virvelrörelse råder. Detsamma gäller också för den 17, då i stort sett de yttre betingelserna för systemet är desamma som dagen före.

Till den 18 augusti har de yttre betingelserna emellertid väsentligt förändrats för cyklonen. Den har just kommit in över den nordamerikanska kontinenten, vilket medför att det direkta flödet av värme och framför allt vattenånga från underlaget, som regel havsytan och det lägsta luftlagret, kraftigt reduceras. Då den helt dominerande energikällan för orkanen utgörs av den latent värme, som frigörs vid vattenångans kondensation – molnbildningen, medför en reduktion av vattenångeflödet från underlaget att cyklonens intensitet praktiskt taget omedelbart avtar. Dessa förändringar börjar synas på satellitbilden redan samma dag. Jämfört med de två föregående dagarna är nu koncentrationen och organisationen mindre uttalad hos cyklonens molnsystem, vars utseende också indikerar att virvelrörelsen är mindre utpräglad. Den maximala vindstyrkan har i detta skede gått ned till omkring 40 m/s.

Bilderna av Camille från de två påföljande dagarna, 19 och 20 augusti – då stormen fortfarande befann sig över land – visar hur de för den fullfjädrade orkanen karaktäristiska dragen alltmera suddas ut. När cyklonen den 20 åter kom ut över Atlanten var den maximala vindstyrkan omkring 15 m/s.

Väl ute över havet sker under det påföljande dygnet en viss intensifiering av cyklonen samtidigt som den övergår till att bli en ordinär utomtropisk frontalcyklon. Den får förnyad energi vid polarfronten. Förhållandena framträder på bilden från den 21 augusti. Molnbandet, som sträcker sig snett över bildrutan, hör samman med det frontsystem med vilket cyklonen i fråga associerat sig. Molnsystemet vid nedre kanten på bilden tillhör nästa tropiska orkan, Debbie se även bild 1.



1. En svart tromb. Foto: Lantz.

TROMBER OCH ANDRA 'DEVILS'

AV THEODORE FUJITA

En virvelvind är en roterande pelare av luft. Det finns flera olika slag av virvelvindar men den mest kända och fruktade är tromben. Med diametrar på 10–1 000 m, och vindstyrkor, som i extrema fall kan nå upp till mer än 100 m/s, orsakar tromber årligen, framför allt i USA, stora materiella skador.

Översättning och bearbetning:
Eric Dyring

Tromben har länge ansetts som ett typiskt amerikanskt meteorologiskt fenomen. Det är från USA rapporterna om stora skadegörelser kommer när tromber, framför allt under sensvåren och försommaren, svept fram på den amerikanska kontinenten. Alltefter som man mer systematiskt börjat studera fenomenet har trombens amerikanska image suddats ut. Tromber uppträder över allt på jorden i ett bälte mellan 20°–60° latitud på båda sidor av ekvatorn. De uppträder t ex i Japan och Europa. Det är endast ekvatorzonen och polarkrakterna som slipper dem.

Tromben tillhör »familjen» virvelvindar och ett försök till klassificering görs i tabell 1. I familjen ingår t ex stoft-, rök- och lövvirvlar, vilka uppträder delvis på annat sätt än tromben. Den avgörande skillnaden är att tromben och dess motsvarighet över vatten, skydraget, nästan alltid hänger samman med och växer ut från ett åsk- eller bymoln medan de andra virvlarna, som på engelska kallas »devils» eller »whirls» inte behöver detta sk modermoln för att bildas. Att försöka klassificera dessa småskaliga virvlar efter t ex vindstyrka eller diameter är omöjligt. 1972 uppträdde t ex i North Carolina en tromb med en skadegöra på endast 15 m², där den slet upp ett träd och förstörde trädgårdsmöbler. Å andra sidan finns det exempel på virvlar som är starkare än huvudparten av de tromber som är observerade.

Tromben har ett mycket karaktäristiskt utseende och är därför lätt att känna igen, bild 1. Den växer ut från sitt modermoln, ett intensivt åsk- och bymoln, som likt en slang böljande sträcker sig mot marken. Denna molnslang är roterande luft och be-



2. En vit tromb i Montana. Foto: Strandlund.

står av mycket små kondenserade vattendroppar, vilka gör virveln synlig. Den framträder antingen mörk, bild 1 eller vit, bild 2, beroende på bakgrunden.

De virvlar som inte hänger samman med ett modermoln är transparenta och blir synliga först när stoft, rök eller löv dras upp från markytan.

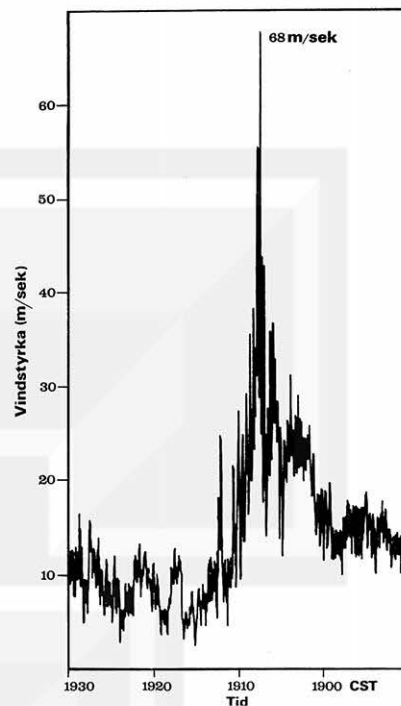
Mörker och kraftig nederbörd vid åska gör det svårt att direkt observera tromben. Även om den inte syns så hörs den. Tromben dånar ungefär som förbipasserande lastbilar eller som jättelika bisvärmar.

Tromben har många lokala benämningar. I USA och England kallas den *tornado*, i Ryssland *smycher*

Tabell 1. Schematisk uppdelning av olika typer av småskaliga virvlar upp till tromb med karaktäristiska data.

Man skiljer på två huvudgrupper. Virvlar som utvecklas från och hänger samman med ett modernmoln – stora åsk- eller bymoln – samt virvlar som uppkommer på grund av kraftig termisk aktivitet vid markytan. Redan under 40-talet gjorde norrmännen en liknande uppdelning i stor- och småtromber.

Namn Den engelska benämningen inom parentes	Modernmoln och molnslang (funnel)	Var virvlarna uppträder	Maximal vindstyrka m/s
Tromb (Tornado)	Ja	Över land	100–140
Skydrag (Waterspout)	Ja	Över vatten	70–110
Molnslang	Ja	I luften över land och vatten	—
Stoftvirvlar (Dust devil)	—	Över land	50–90
(Mountain devil)	—	Över land	30–70
(Steam devil)	—	Över land och vatten	20–50
Brandvirvlar (Fire devil)	—	Över land och vatten	30–70
Rökvirvlar (Smoke devil)	—	Över land och vatten	30–70



3. Vindregistrering av en tromb i Tecumseh, Michigan, USA den 11 april, 1965. Vindhastighetsmätaren klarade av registrering upp till 68 m/s. Registrering av University of Michigan.

och i Japan *tatsumaki* (drakvind). Den karaktäristiska molnslangen har också många öknamn: *snake*, *rope* och *elephant trunk* på engelska, *hose* på tyska, *manga* på spanska, *vi-shap* på ryska. I Kina och Japan kallas molnslangen för drake.

Det som gör tromben så speciell som meteorologiskt fenomen är dess intensitet med mycket höga vindstyrkor och dess begränsade verkningsyta. När en tromb närmar sig ökar vindhastigheten snabbt och det

typiska dånet tilltar. Trombens vindstyrka kan dock variera mycket kraftigt. Ett exempel på vindregistrering av en ovanligt kraftig tromb ses i bild 4. Registrerat vindmaximum är 68 m/sek men under ca 20 sekunder räcker inte instrumentskalan till. Dessa 20 sekunder är tillräckliga för att tromben skall orsaka total förstörelse. Bild 5 visar en förstörd skog, där träden ryckts upp med roten av en tromb.

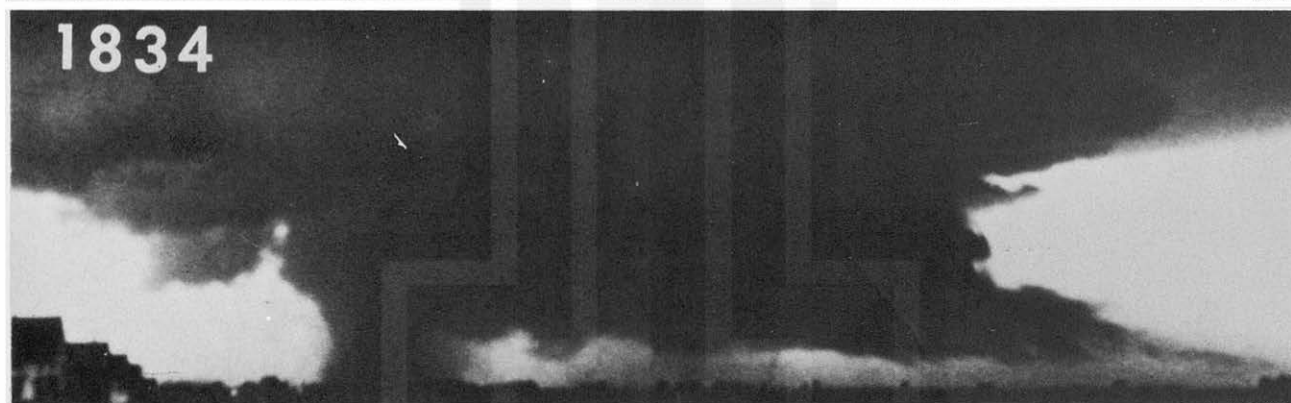
Vissa tromber uppvisar ett kom-

plicerat vindmönster, vilket kan studeras med hjälp av flygfotografier tagna över öppna fält. Tromberna sveper fritt över fält och efterlämnar olika spår på marken, bild 6.

Virvlarnas uppkomst

För att virvlar skall uppkomma krävs en mycket instabil atmosfär i de lägre luftlagren, t ex att luftskiktet närmast jordytan kraftigt värms upp. Det kan ske antingen genom kraftig solstrålning eller när kvarva-

4. Trombutveckling under 17 min från en roterande åskby nära Fargo i North Dakota, USA den 20 juni 1957.
Foto: Stenerson, Jennings och Littke.





5. Skog skövlad av tromb den 11 april, 1965 i Michigan, USA. Observera trädstammarnas orientering.

rande varmt vatten eller mark exponeras mot inströmmande kylig luft. Denna stiger då uppåt, konvektion, och mäktiga åsk- och bymoln växer snabbt upp. Situationen känns säkert igen från varma sommark dagar här i Sverige.

Tromben hänger intimt samman med åsk- och bymolnens bildning och utveckling. I det virvelsystem som åskmolnet utgör kan en horisontell rulle bildas i molnets utkant

och ur denna kan en vertikal roterande molnslang växa ner mot marken. Ibland stannar den upp innan den når ner till marken.

Modermolnet (åsk- eller bymoln) roterar oftast moturs på det norra halvklotet och medurs på det södra. Trombernas rotation överensstämmer i regel med modermolnets. Statistiskt sett roterar 90 % av alla tromber på norra halvklotet mot-sols.

Klassificering av tromber

Även om det förekommer extremt våldsamma tromber är de flesta tämligen beskedliga. Det finns behov av ett enhetligt klassificeringssystem för tromber och flera försök att konstruera ett sådant har gjorts.

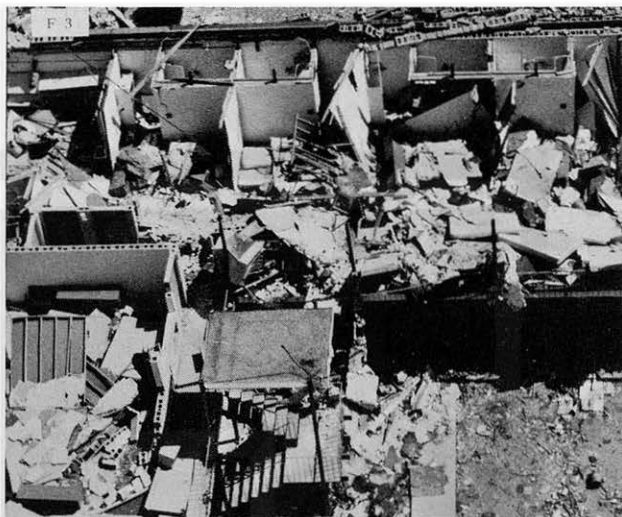
Sedan 1971 har den s k Fujita-Pearson (FPP) skalan provats. Den är utarbetad för att så gott som alla förekommande tromber skall kunna beskrivas med skalan. Den upptar



6. En tromb i Indiana den 11 april, 1965 har lämnat spår i marken som visar hur dess bana gått nästan i spiralform.

7. Skador orsakade av tromber. Fotografierna används av den amerikanska väderlektjänsten för att beräkna trombens vindstyrka, F-skalan.

Skala	Vindstyrka (m/s)	Skador
F0	<32	lätta
F1	33-50	måttliga
F2	51-70	omfattande
F3	71-92	svåra
F4	93-116	mycket svåra
F5	117-143	ödeläggande



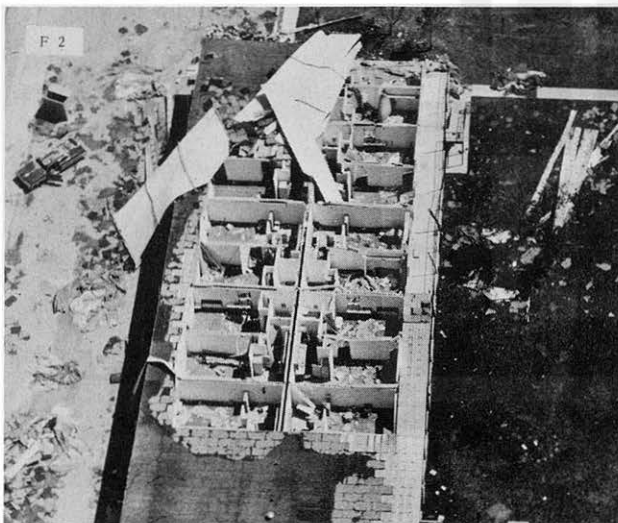
F3



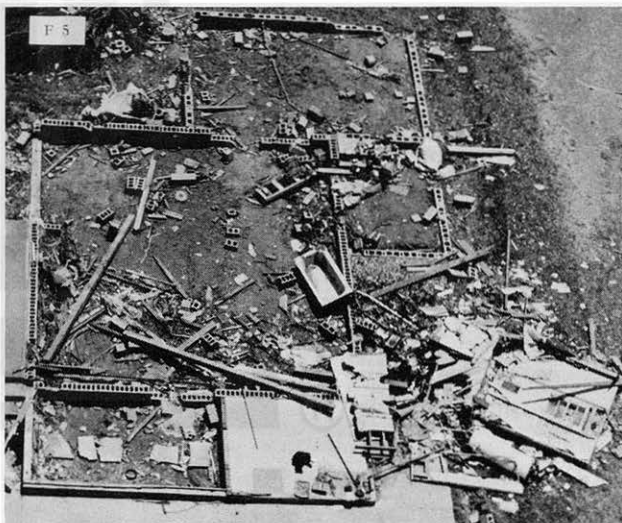
F1



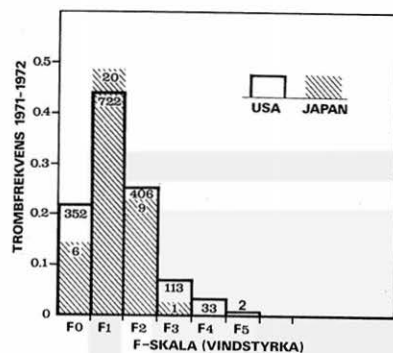
F4



F2



F5



8. Frekvens av tromber klassificerade enligt vindstyrka, F-skala, åren 1971-72 i USA och Japan. Det totala antalet tromber är enligt statistiken i USA 1 628 men endast 41 i Japan, vilket gör den japanska statistiken osäker.

9. Uppskattning av trombförekomsten under en 4-årsperiod. Kartan visar mycket få tromber i de ekvatoriella områdena. De förekommer främst vid latitudområdet 20°-60° på båda sidor om ekvatorn.

tre parametrar: vindstyrkan (V), banlängden (P_l) och banbredden (P_w), tabell 2. P_w är medelvärde av bredden av det skadade området, mätt vinkelrätt mot trombens bana.

För att underlätta uppskattningen av vindstyrkan enligt F-skalan använder den amerikanska väderlektionen bilder på trombskador, bild 7.

Bild 8 visar trombstatistiken enligt F-skalan för åren 1971-72 i USA och Japan. Flertalet tromber (ca 90 %) finns inom F0-F2, dvs vindstyrkorna är uppskattade till 70 m/s.

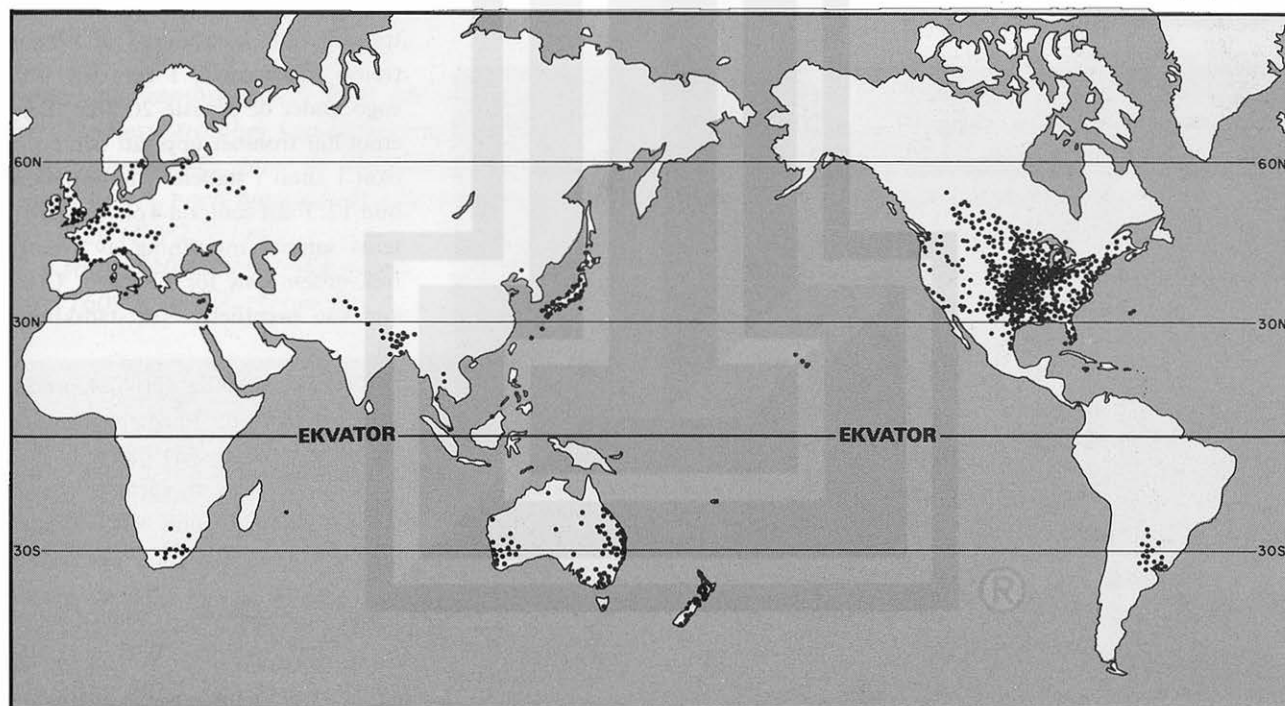
Enstaka tromber blir dock enormt intensiva. En av de allra kraftigaste tromber som observerats är *Tri-State Tornado* den 18 mars 1925, vars banlängd var 35 mil och hastighet 100 km/tim. 689 människor dödades och 1 980 skadades av tromben. De materiella skadorna blev enorma.

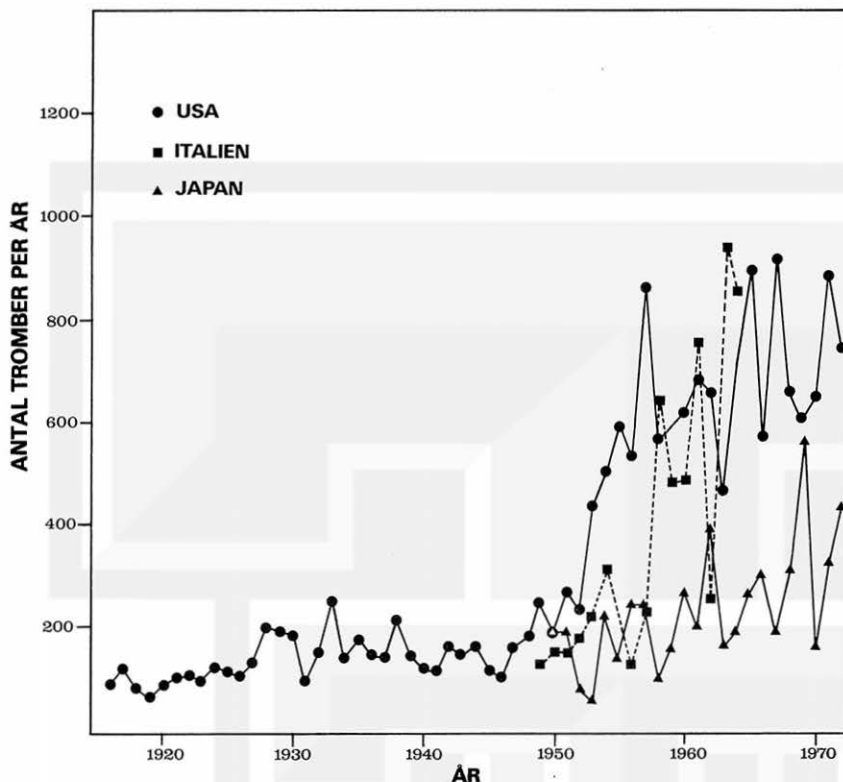
Sverige i trombzonen

Som tidigare nämnts förekommer tromberna inom ett latitudbälte 20°-60° N respektive S. Hela Europa inklusive södra och mellersta Sverige ligger inom trombzonen. I Sverige rapporteras emellanåt enstaka tromber. Dessa är i regel svaga och vi slipper de våldsamma virvlar, som kan uppträda i t ex USA.

Under åren 1963-66 har i flera länder förts statistik över trombförekomster. I USA rapporterades 2 659 tromber, i England 98, på Nya Zeeland 60, i Japan 45 och i Uruguay 6 stycken. Statistiken är dock inte komplett i alla länder. En uppskattning av trombförekomsten i världen under en 4-årsperiod framgår av bild 9.

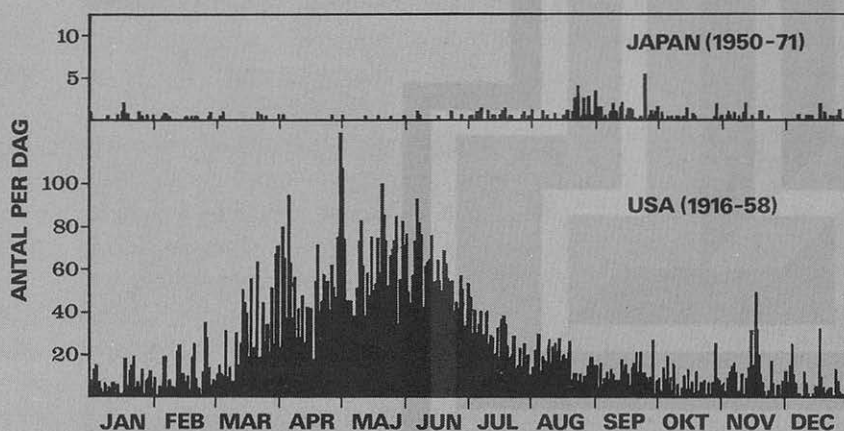
Det finns inte något internationellt rapportsystem för tromber i dag, beroende på att fenomenet uppträder mycket lokalt. Trots detta går utvecklingen mot ett systema-





10. Årlig trombfrekvens i USA, Japan och Italien.

11. Daglig trombfrekvens i Japan, 1950–71, och USA, 1916–58.



tiskt rapportering och flera länder har sedan 1950-talet lämnat rapporter, se bild 10.

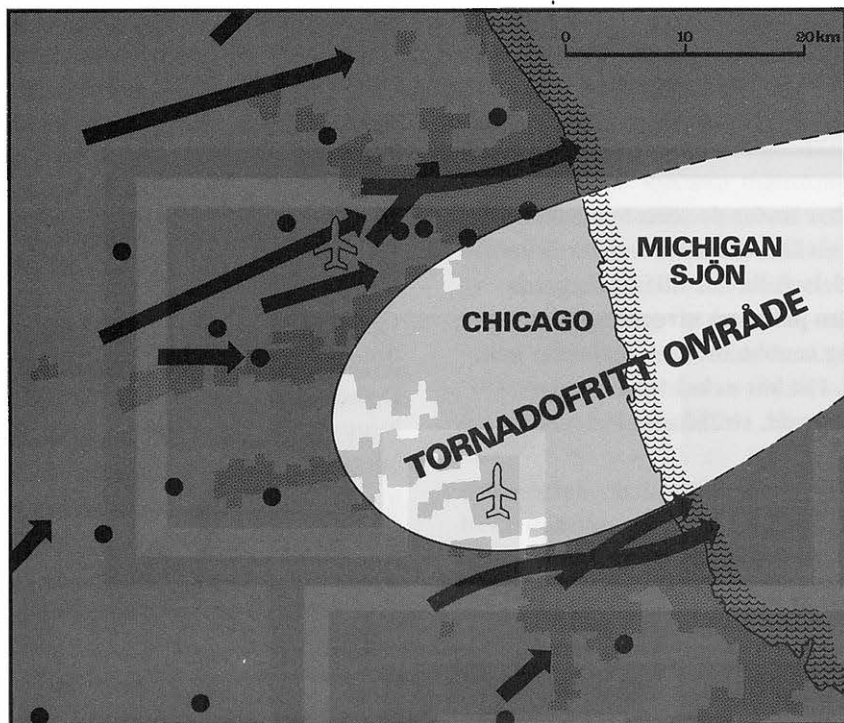
Säsongsbundna tromber

Tromber kan uppträda när som helst under året men är som regel säsongsbundna. I USA, bild 11, uppträder de under mars–augusti med ett maximum i maj. I Japan däremot tycks de sammanfalla med vintermonsunen och säsongen för de tropiska orkanerna. För Europas del börjar säsongen i maj och varar in i augusti. På Nya Zeeland och i Australien tycks tromberna vara jämnt spridda över året.

Storstaden stoppar tromber

Tätbefolkade områden är naturligtvis speciellt sårbara för tromber. Äldre historia kan berätta om trombförekomster i Chicago, St Louis, Tokyo och London. Det är därför intressant att konstatera, att ingen tromb förekommit i centrala Chicago under de senaste 20 åren. Däremot har tromber uppträtt och t o m ökat i antal i stadens ytterområden, bild 12. Från centrala Tokyo rapporteras samma minskning av trombfrekvensen som för Chicago. Orsaken kan eventuellt vara stadsklimatet.

Den av mänsklig aktivitet producerade värmen (husuppvärmning, industriella processer) bidrar till att det kan bildas en sk värmeö över de stora städerna. Denna värmeö minskar möjligheterna för uppkomsten av tromber genom att den varma luften stiger över staden, driver bort från centrum och sjunker nedåt i de kallare ytterområdena. Denna effekt



12. Chicagos stadskärna har under de senaste 20 åren inte upplevt någon tromb medan omgivningarna utsatts för fenomenet.

Tabell 2. Trombskalan F, P, P, som används för klassificering av tromber. De flesta tromber kan klassas mellan 0,0,0 och 5,5,5. Högre värden kan användas när detta är nödvändigt. Värdena för vindhastighet (V), banlängd (P_L) och banvidd (P_w) är framräknade ur följande ekvationer: $V = 6,30 (F + 2)^{3/2}$ i m/s, $L = 1609 \times 10^{1/2} (P_L - 1)$ i meter och $W = 1609 \times 10^{1/2} (P_w - 5)$ i meter.

Klass	Maximal vindhastighet i m/s, benämning: F	Banlängd i km. Benämning: P_L	Banbredd i km. Benämning: P_w
0	< 32,6	< 1,6	< 0,016
1	32,7 – 50,3	1,7 – 5,0	0,017 – 0,050
2	50,4 – 70,3	5,1 – 16,0	0,051 – 0,160
3	70,4 – 92,5	16,1 – 50,8	0,161 – 0,490
4	92,6 – 116,6	50,9 – 160	0,500 – 1,5
5	116,7 – 142,5	161 – 508	1,6 – 5,0

tycks uppstå när stadens befolkning överskrider 4 miljoner, enligt en grov uppskattning.

Brandtromb och rökvirvlar

En sällsynt vädersituation uppträdde i Tokyo i samband med jordbävningen den 1 september 1923, då 142 000 människor omkom. Staden började brinna helt okontrollerat och branden skördade fler människoliv än vad skaket gjort.

Röken och värmen från bränderna steg uppåt och skapade stora bymoln, som orsakade häftiga regn. Samtidigt uppträdde tromber från bymolnens undersida. Några av dessa var så intensiva att de tillhörde klass F2, se tabell 2. Observatörer berättar t ex att ett hus med åtta personer slets upp av en tromb. Omkring 120 tromber och rökvirvlar uppträdde i Tokyo under en 24-timmars-period efter jordskaket.

Internationellt observationssystem

Tromber och virvlar utgör alltså ett vittomfattande och varierande meteorologiskt fenomen. När de är som intensivast kan ingenting stå emot deras framfart.

Det är nödvändigt att vi lär oss mer om dessa virvlars natur, geografiska spridning och frekvens. För detta krävs ett internationellt, sammanbundet observationssystem.

Ökade kunskaper om virvlarnas fysik ger oss möjlighet att utveckla en byggnadsteknik, som kan förebygga skadeverkningarna. Allmänna byggnader måste skyddas i speciellt utsatta områden. Atomkraftverk måste förläggas och konstrueras så att eventuella tromber inte kan orsaka skador med åtföljande strålningsrisker. ■

Världsbank för kärndata

Kärnfysik och kärnfysikaliska metoder har under de senaste decennierna fått stora och vidsträckta tillämpningar såväl inom naturvetenskap som inom teknologi och medicin. Mest betydelsefulla har tillämpningarna inom kärnenergiteknologin varit. Här kan pekats på utvecklingen av termiska reaktorer och forskningen kring snabba breeder-reaktorer och, i ett längre perspektiv, fusionsreaktorer. Hit hör också forskningen kring reaktorsäkerhet inkluderande strålskydd, strålskadeeffekter, hantering av utbränt reaktorbränsle etc.

Dessa tillämpningar har medfört ett behov av kärnfysikaliska datareaktionssannolikheter, sönderfallskonstanter, spektra m m. De största samlade insatserna har gjorts på neutrondataområdet, något som är förklarligt på grund av kärnenergiteknologins stora betydelse.

Upptäckten av neutronen och fissionsprocessen under 30-talet ledde till insikten att en energikälla av dittills okända mått kunde erhållas genom förbränning av uran; där förbränningen består i klyvning av uranatomer i en kontrollerad eller okontrollerad kedjereaktion. Under 40- och första delen av 50-talen bedrevs hemligstämplad forskning inom stormakterna kring neutron- och fissions-data. Inom USA bedrevs denna verksamhet som en del av Manhattan-projektet.

FNs konferenser i Genève 1955 och 1958 över den fredliga användningen av atomenergin innebar milstolpar i det att mycket av kärndatainformation från stormakterna deklassificerades och presenterades. Härigenom lades grunden till ett internationellt samarbete inom neutrondataområdet.

Internationellt samarbete

Mätningar av neutrondata är många gånger ekonomiskt krävande. Sålunda behövs oftast tung experi-

mentell apparatur, såsom reaktorer och accelerators, för att utföra mätningar liksom tillgång till separerade isotoper, datorer m m. Att sammanställa – kompilera – tillgängliga experimentella data och att med hjälp av dessa sammanställningar utvärdera – evaluera – exempelvis bästa neutrondata för en viss isotop ställer också stora kunskapsmässiga krav.

I syfte att inom OECDs ram främja samarbetet på kärndataområdet bildades 1959 en kommitté: European-American Nuclear Data Committee (EANDC). EANDC har årligen återkommande möten vid vilka nationella forskningsprogram granskas och rekommendationer ges till multinationellt samarbete.

Ett världsvitt samarbete inleddes i och med att FNs atomenergiorgan i Wien, IAEA, 1968 uppsatte en rådgivande kommitté i kärndatafrågor »International Nuclear Data Committee» (INDC).

Inom neutrondataområdet har

dessa kommittéer etablerat vissa rutiner för det internationella utbytet av information, rekommenderat uppsättandet av datacentra och anordnat symposier och konferenser.

Datacentra

Neutrondata kompileras och distribueras av fyra samarbetande centra, National Neutron Cross Section Center (NNCSC), Brookhaven, USA; NEA Neutron Data Compilation Centre (CCDN), Saclay, Frankrike; IAEA Nuclear Data Section (NDS), Wien, Österrike; USSR Nuclear Data Information Centre, Obninsk, USSR. Dessa fyra centra, av vilka två, CCDN och NDS, är internationella centra och två nationella, ansvarar vardera för sitt geografiska område. NNCSC förmedlar data inom USA och Kanada, CCDN inom OECD-länderna i Västeuropa samt Japan, Obninsk inom USSR och NDS inom övriga delar av världen.

Neutrondatacentrum för Sverige är därför CCDN i Saclay, Frankrike. Detta centrum sattes upp av European Nuclear Energy Agency inom OECD 1964 på rekommendation av EANDC för att utgöra en fokuspunkt i Europa för kompilering och distribution av neutrondata. Från CCDN kan erhållas experimentella neutrondata och kopior av databibliotek med utvärderade neutrondata. I samarbete med de tre andra neutrondatacentra upprätthålles ett internationellt index till neutrondatalitteraturen (CINDA).

Detta publiceras av IAEA på de fyra centras vägnar och innehåller för närvarande över en miljon referenser.

Neutrontatabehov

För att möjliggöra en kontakt mellan användare och producenter av neutrontadata har man både på nationell och internationell nivå valt att sammanställa sk request-listor, dvs av användarna sammanställda listor över önskade neutrontatamätningar. Önskemålen prioriteras med hänsyn till betydelsen för respektive lands kärnenergiprogram. Önskemålen har också granskats av nationella och internationella data-kommittéer med hänsyn till mättekniska svårigheter.

Den senaste sammanställningen av önskemålen på neutrontatamätningar publicerades som en INDC-rapport kallad WRENDA (World Request List. INDC (SEC)-27 »L») och innehöll 1 411 requests. Det stora antalet önskade mätningar, motsvarande tusentals månårs arbete utgör för närvarande ett problem. En reducering av listans längd synes nödvändig med utpekande av endast de mätningar som är av central betydelse.

Rapportering

För det internationella informationsutbytet har rapporterna över neutrontadataaktiviteter i olika länder haft en stor betydelse. Dessa rapporter utkommer i regel årligen och innehåller information om pågående kärndatamätningar, anskaffning eller omändring av tyngre mätapparatur som partikelacceleratorer, försöksreaktorer och isotopseparatorer. De innehåller också information om utvärderingsarbeten.

Konferenser

Såväl INDC som EANDC har initierat och stött ett stort antal konferenser och symposier genom åren. Medan EANDC i huvudsak initierat symposier över speciella mättekniska problem och väl avgränsade dataområden har INDC även initierat stora internationella konferenser angående kärndata för reaktorer och andra tillämpningsområden. Den senaste konferensen över kärndata för reaktorer hölls 1970 i Helsingfors och besöktes av ca 200 deltagare från 32 länder och internationella organisationer.

Kärndata – icke neutrontata

Vid sidan av neutrontatabehovet för konstruktionsberäkningar på fissionsreaktorer och strålskydd har dataönskemål kommit fram för beräkningar inom områden som tex bränslekontroll (safeguards), hantering av utbränt bränsle och av radioaktivt avfall. Dataönskemålen har också framförts för beräkningar på hypotetiska fusionsreaktorer.

På icke-kärnenergisidan har databehov diskuterats för aktiveringsanalys, dosimetri och användning av radioaktiva isotoper inom medicin, biologi, materialforskning och miljöforskning. Dessa dataönskemål omfattar förutom neutrontata även kärnreaktionsdata och sönderfallsdata men även vissa atomfysikaliska data.

Arbete pågår därför att på både nationell och internationell nivå organisera dataservicen även för dessa områden på ett liknande sätt som för neutrontatasektorn. Man syftar till att knyta samman redan existerande datacentra och att samordna ett flertal punktvisa, personliga insatser inom detta område.

Svensk kärndataverksamhet

Vid Försvarets forskningsanstalt och AB Atomenergi organiserades kärndatagrupper i slutet av 50-talet. Verksamheten vid dessa båda grupper har huvudsakligen varit orienterad mot mätningar av data för tekniska tillämpningar. Mätningar som varit inriktade mot neutron- och fissionsfysik har i huvudsak utförts vid Van de Graaff-laboratoriet i Studsvik. AB Atomenergi har dessutom sammanställt ett kärndatabibliotek för reaktorberäkningar (SPENG) med utvärderade och delvis bearbetade neutrontata.

I slutet av 60-talet uppkom tanken på en utvidgning av det samarbete, som funnits mellan FOA och AE. En utredning om problemställningarna genomfördes under 1971 vari också beaktades behovet från tillämpningsområden vid sidan av reaktorområdet. Resultaten blev ett betänkande, som bl a rekommenderade bildandet av en kärndatakommitté. En kärndatakommitté (KDK) konstituerades vid ett första sammanträde den 15 december 1972 och har för närvarande 10 medlemmar, representerande förutom AE och FOA även Asea-Atom, CTH, KTH, LTH, Statens Strålskyddsinstitut och Statens Vattenfallsverk.

Kommittén kommer att verka för samordning av arbeten inom kärndataområdet, spridande av information speciellt beträffande internationella kärndatainsatser och vara rådgivande organ i kärndatafrågor. Den kommer årligen att ge ut sammanställningar över kärndatabehov inom olika tillämpningsområden och experimentella insatser på dataområdet. ■

nytt från	SFR		SFR	Statens råd för samhällsforskning
FOA	SJFR	FOA Försvarets forskningsanstalt	SJFR	Statens råd för skogs- och jordbruksforskning
IVA	NFR	IVA Ingenjörsvetenskapsakademien	NFR	Statens naturvetenskapliga forskningsråd
KVA	AFR	KVA Kungliga Vetenskapsakademien	AFR	Statens råd för atomforskning
STU	MFR	STU Styrelsen för teknisk utveckling	MFR	Statens medicinska forskningsråd

IVA

Fusionsreaktorn

– en realistisk
och miljövänlig
energikälla
år 2000?

Fusionsenergins möjligheter och problem var temat vid novembersammanträdet med IVAs avd VII.

Professor Bo Lehnert, som leder den enda grupp i Sverige som bedriver experimentell fusionsforskning, inledde med en bred översikt över principer för fusionsprocessen och fusionsforskningens nuläge. Mer ingående diskuterade han sedan de olika experimenten där inneslutningen av den heta fusionsgasen, plasmata, sker med hjälp av starka magnetiska fält. Han ansåg det vara för tidigt att säga vilket eller vilka experiment som kommer att visa sig bäst lämpade för en framtida reaktor och att därför en bred forskning är nödvändig. Från bl a denna synpunkt är Sveriges bidrag till den internationella fusionsforskningen ingalunda marginellt. Den svenska linjen, inre ringströmsprincipen, skiljer sig fördelaktigt från flertalet utländska experiment, där sk Tokamakmaskiner används.

Professor Hans Wilhelmsson, sammankomstens andra föredragshållare, är specialist på interaktionen mellan elektromagnetiska vågor och plasman och har med denna utgångspunkt speciellt intresserat sig för laserinducerad fusion. Idén baseras på att en mycket kort jättelaserpuls får träffa fusionsbränslet i form av en frusen deuterium-tritium-kula och heta upp denna. Enligt några nyare teoretiska beräkningar skall vid lämplig pulsform kulan då komprimeras så kraftigt att tändtemperatur uppnås. Wilhelmsson påpekade att det idag tyvärr inte finns lasrar och annan ex-

perimentell utrustning för att testa teorierna. Överhuvudtaget har de fenomen som sker vid energikopplingen mellan laserstrålen och plasmata en icke-linjär natur och är till stor del okända. Han berörde också en ny intressant utvecklingslinje, där man undersöker om en kraftig elektronstrålepuls istället för en laserpuls kan tänkas upphetta plasmata.

Trots att självgenerering för fusionsprocessen ännu ej uppnåtts görs relativt ingående studier av den framtida prototypen för fusionsreaktorn. Docent Rolf Pauli, AB Atomenergi, redogjorde för de tekniska problem som måste lösas gällande t ex bränsleinsprutning, magnetfältsalstring m m. Den viktigaste rollen intar manteln som omsluter reaktionskammaren. Den skall omvandla fusionsneutronernas rörelseenergi till kemisk sådan, avskärma magnetlindningarna samt tjäna som bas för en litium-neutronreaktion. I den senare processen alstras tritium som utvinnes ur det flytande litiet i manteln. Speciellt problematiskt kommer mantelns inre vägg att bli. Den skall klara värmeflöden på flera MW/m² och det väggmaterial som för närvarande tycks lämpa sig bäst är niob. I en tabell visades slutligen hur mycket radioaktivitet som alstras från fusionsreaktorn. Det kommer dels från radioaktivt tritium som i små mängder läcker ut under normal drift, dels från aktiverat väggmaterial som måste lagras sedan det tjänat ut. Om den radioaktiva biologiska risken som användningen av denna reaktor medför, jämförs med

Öst-väst institutet studerar tekniksamhällets problem

bidraget från en motsvarande brydreaktor, finner man på nuvarande kunskapsnivå att fusionsreaktorer är att föredra.

Professor Torbjörn Westermarck avslutade den inledande översikten med att identifiera några i sammanhanget viktiga forskningsområden. Diffusionen av tritium måste studeras mera ingående, då det bl a är viktigt att hålla nere läckaget till omgivningen. En mängd potentiellt farliga plasmamiska processer är möjliga vid plasmats neutralgasskikt mot väggarna och måste också studeras närmare.

Fil dr Sigvard Eklund gav sedan en kompletterande redovisning av det internationella atomenergiorganets verksamhet på fusionsforskningens område.

I den efterföljande diskussionen manifesterades stor enighet om uppfattningen att svensk fusionsforskning (Lehnerts grupp) borde få årliga forskningsanslag på åtminstone 3 Mkr, vilket innebär en fördubbling av det nuvarande anslaget. Debatten vidgades snabbt till att omfatta även andra energikällor och deras problem, speciellt fissionsreaktorerna. Flera talare underströk att det finns ett stort informationsbehov om energiteknik och dess konsekvenser och menade att forskarna här har en stor uppgift.

Det framgick klart att inte bara fusionsforskningen utan även annan långsiktig målriktad energiteknisk forskning idag saknar naturliga anslagsgivare i Sverige. ■

Dr Andrej Bykov från International Institute for Applied Systems Analysis (ofta kallat Öst-väst institutet) beläget i slottet Laxenburg nära Wien, informerade om organisationen och dess verksamhet vid ett möte på IVA den 21 november 1973.

IIASA, bildades den 4 oktober 1972 i London. Det har som mål att fungera som en internationell, autonom, vetenskaplig institution med uppgift att understödja och bedriva forskning kring problem hos det moderna samhället, vilka har sin grund i den teknisk-vetenskapliga utvecklingen.

IIASA har bakom sig vetenskapsakademier från tolv länder från såväl väst- som östvärlden: Bulgarien, Kanada,

Tjeckoslovakien, Östtyskland, Frankrike, Italien, Japan, Polen, Sovjetunionen, Storbritannien, Förenta Staterna och Västtyskland. Till chef har utsetts dr H Raiffa, professor of Managerial Economics vid Harvard University, IIASAs ordförande är dr D M Gvisjani, USSR, tillika vice ordförande i Sovjetunionens statliga kommitté för vetenskap och teknik, GKNT.

Institutets årliga budget är 3,5 miljoner dollar för de tre första verksamhetsåren. Förenta Staterna och Sovjetunionen bidrar med 1 miljon dollar vardera och de övriga tio staterna med resterande 1,5 miljoner dollar, som delas lika mellan dem.

För närvarande är ca 100 personer, varav 30-35 forskare,

verksamma vid IIASA. Vid slutet av 1974 beräknas motsvarande siffror vara 200 respektive 70-90. Åtminstone 2/3 av forskarna kommer från deltagarländer.

Dr Bykov nämnde ett antal forskningsområden för institutet: Metodologisk forskning inom systemanalys, operationsanalys och företagsledning. Tillämpade studier inom energi, ekologi, vattenvård, medicin och biologi.

Verksamheten avses bestå i att

- ☐ bedriva forskning inom institutet
- ☐ initiera och koordinera samarbete med andra institutioner
- ☐ fungera som internationell kontaktpunkt
- ☐ anordna konferenser ■

Enzymer och framtidens industri

IVAs nämnd för kemiteknik ordnade den 23 november 1973 ett symposium i enzymteknologi för att informera svensk kemisk industri om de stora möjligheter som användning av bundna enzymer ger.

Genom att man numera lärt sig binda enzymer till fasta bärare kan dessa återvinna efter varje process och varje enzym kan följaktligen användas flera gånger. Detta medför att enzymer nu börjar bli intressanta inte bara för livsmedels- och läkemedelsindustrin utan även för annan kemisk industri. Enzymer har den för-

delen framför andra katalysatorer att de är mycket specifika, dvs ger inte så många biprodukter, och kan utnyttjas vid låga temperaturer och normala tryck.

Under symposiet redovisades flera olika användningsområden för bundna enzymer. Bl a redogjorde docent H Neujahr vid Kungl tekniska högskolan för försök att bryta ner bl a fenoler med hjälp av bundna enzymer.

Professor C-G Hedén, Karolinska institutet, talade om enzymer och framtidens industri. Några tänkbara tillämpningar är framställning av

stärkelse ur cellulosa och hopkoppling av polypeptider ur aminosyror. Möjlighet finns dessutom att utnyttja enzymer för en selektiv eliminering av vissa miljögifter (cyanid, fenol etc) och till att tillgodose en rad speciella produktbehov. Detta gäller bl a inom medicinen, där enzymteknologin inte bara kommer att underlätta framställningen av nya läkemedel (exempelvis semisyntetiska antibiotika) utan även möjliggöra nya typer av diagnostiska rutiner och artificiella organ. ■

nytt från	SFR
FOA	SJFR
IVA	NFR
KVA	AFR
STU	MFR

SFR

2,5 miljoner till samhällsforskning

Statens råd för samhällsforskning beslutade vid sammanträden i november 1973 att dela ut 152 anslag på tillsammans 2 505 000 kronor. Till rådet hade inkommit 264

ansökningar på tillsammans 14 440 000 kronor. Sökta och utdelade anslags fördelning på rådets tre sektioner framgår av tabellen.

	socialvetenskapliga sektionen (i 1 000 kr)		rättsvetenskapliga sektionen (i 1 000 kr)		sektionen för psykologi och pedagogik (i 1 000 kr)	
	sökt	utdelat	sökt	utdelat	sökt	utdelat
Tidigare understödda projekt	2 691	639	159	71	1 294	471
Nya projekt	7 042	551	391	179	2 830	594
Summa	9 733	1 190	550	250	4 124	1 064

KVA

Energy in Society

Under titeln Energy in Society arrangerade Vetenskapsakademien den 18 december förra året ett internationellt symposium som från olika aspekter behandlade energifrågorna.

Professor Dean Abrahamson redogjorde för tillgängliga energiteknologier och sammanfattade med att vi behöver övergå till att använda mer miljövänliga teknologier än vad som hittills varit fallet. Abrahamson konstaterade också att kärnkraften än så länge inte motsvarar de miljökrav som ställs. På den punkten blev han motsagd av

generaldirektören i International Atomic Energy Agency (IAEA) fil dr Sigvard Eklund, som ansåg att de stora problemen med utnyttjandet av kärnkraften är lösta.

Professor Georg Borgström gick i sitt föredrag till angrepp mot det moderna jordbrukets slöseri med energi. Han redogjorde för hur lite vi »får ut» trots det stora användandet av konstgödsel och insektsbekämpningsmedel. Vi måste bryta den nuvarande utvecklingen och finna nya vägar om vi ska kunna intensifiera jordbruket, konstaterade Borgström.

SFR

Forskartjänster om inläring

Två nya forskartjänster tillsattes av rådet i november 1973. Ämnesområdena är utvecklingspsykologi, särskilt barns utveckling, samt vuxnas studie- och inlärnings-situation. De två innehavarna, docenterna Bengt-Erik Andersson och Ference Marton, är verksamma vid pedagogiska institutionen vid Göteborgs universitet.

Bengt-Erik Andersson skall studera hur olika företeelser i skolan påverkar elevernas utveckling på det sociala och personliga området. Han vill finna möjligheter för att skapa inläringssituationer som ger eleverna praktisk övning och

träning av sådana sociala egenskaper som samarbetsförmåga, tolerans, ansvarstagande och självkänsla m m. Vidare tänker han studera generationsmotsättningar och deras uppkomst samt hur unga människor glider in i vuxenrollen.

Ference Marton intresserar sig för själva inlärningsprocessen. Han skall studera förvärv av kunskaper genom läsning och undersöka de faktorer som gör att läsningen lyckas. En text kan fungera som en barriär mot ökad kunskap. Marton avser att pröva hur olika metoder, tex ändring av text men inte innehåll, påverkar inläringen. ■

Kol, olja och solenergi var teman för föredrag av professor Arthur M Squires, professor Abdel K Aal respektive professor Abdou Moumouni. Symposiet avslutades med ett anförande om energisituationen i Sverige hållet av fil lic Mats Höjeberg, huvudsekreterare i energiprognosutredningen.

Vetenskapsakademins engelskspråkiga tidskrift om miljöforskning, AMBIO, utkom samtidigt med symposiet med ett temanummer om energifrågorna. ■

Universums minsta partiklar studeras i världens största forskningsinstrument

Rubriken kan låta paradoxal men är inte desto mindre sann, vilket framkom när ett antal svenska atomforskare den 5 december 1973 hade samlats i Wenner-Gren Center i Stockholm för att vid en informationskonferens med representanter för förvaltning, näringsliv, universitet och massmedia presentera den europeiska kärnforskningsorganisationen CERN och berätta om Sveriges deltagande i denna organisation.

Sverige är ett av CERNs tolv medlemsländer och CERN är en av de största internationella forskningsorganisationerna med en årlig budget på ca 800 Mkr och med drygt 4 000 anställda. Det unika med CERN är att man där ägnar sig uteslutande åt ren grundforskning. Det var därför också det svenska organet för grundforskning inom kärnfysikområdet, statens råd för atomforskning, AFR, som hade arrangerat konferensen.

Rådets ordförande, landshövding Mats Lemne, poängterade redan i sitt inledningsanförande att även om kärnforskningen vid CERN verkar exklusiv och verklighetsfrämmande så är det viktigt att hålla i minnet att vad som idag är spekulativ grundforskning kan i morgon vara just den sakkunskap som behövs för att lösa de problem som mänskligheten då kan stå inför.

Forskningen vid CERN syf-

tar till att förstå hur materien är uppbyggd och den har därför självklara anknytningspunkter till en rad andra naturvetenskaper, men även till humanistiska vetenskaper som logik och filosofi.

Elementarpartiklarnas egenskaper och kraftspelet mellan dem var det centrala temat vid konferensen. Frågan ställdes om man har hittat materiens minsta beståndsdelar eller om de partiklar som nu studeras är uppbyggda av andra, ännu mindre enheter.

En del forskare tror att det finns ännu mer grundläggande partiklar än vad som nu kallas elementarpartiklar och har t o m redan givit namn åt dessa; kvarkar.

Vid CERN pågår för närvarande uppbyggnad av en ny stor accelerator som kallas superprotonsynkrotron (Super-CERN), som är ett av världens största forskningsinstrument. Det består av en cirkel-

formig tunnel djupt under markytan med en diameter av 2,2 km. Tunnelns inre diameter är 4 meter. I ett tunt vacuumrör inne i tunneln skall partiklarna accelereras och genom att fylla tunneln med kraftiga magneter tvingar man partiklarna att gå runt varv efter varv och nå allt högre hastigheter innan de kolliderar med sitt mål.

Med hjälp av denna nya superaccelerator hoppas forskarna kunna få ett entydigt svar på frågan om materiens minsta enheter.

Svenskar på CERN-poster

Landshovding Mats Lemne, ordförande i AFR, valdes vid CERNs ordinarie sammanträde den 19-20 december 1973 till ordförande i CERNs finanskommitté. Samtidigt omvaldes professor Gösta Ekspång till ordförande i CERNs kommitté för vetenskaplig planering.

Anslag till skogsforskning

Ansökningar om anslag för budgetåret 1974/75 skall vara rådet tillhanda senast den 1 mars 1974 för att kunna behandlas vid ordinarie vårsammanträde.

Blanketter och anvisningar jämte PM rörande rådets synpunkter på angelägna forskningsområden kan rekvideras från rådets kansli men finns även att tillgå på skogshögskolans kansli.

Närmare upplysningar kan erhållas från skogssektionens kansli

Drottninggatan 95 B, Box 6806, 113 86 Stockholm, tel 08/30 21 05.

Forskartjänster

Forskartjänster avseende budgetåret 1974/75 har ledigförklarats inom följande områden: alkohol- eller narkotikaforskning, arbetsforskning (yrkesmedicin), socialmedicin, medicinsk sociologi, näringsforskning, toxikologi, försvarsmedicinsk grundforskning, medicinsk handikappforskning, forskning rörande vårdbehov och värdeeffektivitet, geriatrik, odontologisk forskning, medicinsk beteendeforskning, psykosomatisk medicin, klinisk farmakologi, försöksdjurskunskap, tropikmedicin.

Rådet har vidare beslutat ledigförklara särskild forskartjänst inom ämnesområdet infektionsimmunologi.

Nordiskt miljöskydd

Nordiska miljöskyddskommittén har presenterat ett utkast till en konvention, som skall reglera det miljöpolitiska samarbetet över de nordiska nationsgränserna.

I utkastet slås bl a fast att den enskilde får samma rätt att skydda sig mot miljöskadlig verksamhet vare sig skadan orsakats av en anläggning i det egna landet eller i grannlandet. Denna princip skall – om utkastet godtas av de nordiska miljöministrarna vid deras sammanträde i Stockholm i februari – tillämpas bl a vid prövning av tillåtligheten av miljöskadlig verksamhet.

Den föreslagna konventionens tillämpningsområde avses i princip vara begränsat till användning av mark eller vatten på en bestämd plats – i regel en fast anläggning – på sätt som kan medföra störningar för omgivningen. Hit hör bl a byggande av väg, flygfält, elektrisk anläggning och atomreaktor.

Dumpning eller oljeutsläpp från fartyg omfattas således inte av konventionen, liksom inte heller regler för bil- eller flygtrafik eller spridning av bekämpningsmedel.

I förslagets artikel 13 slås fast att konventionen skall vara tillämplig på respektive lands kontinentalsockelområde.

Vid prövning av tillåtlighet av miljöskadlig verksamhet skall den miljöstörning som verksamheten medför i grannlandet likställas med störning i det egna landet. Detta kräver att miljöskyddsreglerna i de olika länderna är tämligen likartade. Konventionen förutsätter att miljöskyddsbestämmelserna kommer att utvecklas någorlunda parallellt även i framtiden.

Enligt förslaget skall varje stat utse en särskild bevakningsmyndighet, som skall ta till vara allmänna miljöskyddsintressen i landet i samband med störning från miljöskadlig verksamhet i annat nordiskt land.

Bevakningsmyndigheten skall kunna föra talan hos eller bli hörd av vederbörande domstol eller administrativ myndighet i stat. Den som anslutit sig till fördraget skall också kunna överklaga domstols eller myndighets beslut, enligt den ordning som råder i det aktuella landet. ■

Fackspråk på franska



Franska sektionen vid kungl tekniska högskolan bildades 1971 som en försöksverksamhet. Syftet var att ge teknologerna vid högskolan möjlighet att förbättra sina franska språkkunskaper inom det egna fackområdet. Så småningom vidgades elevkretsen till att omfatta även ingenjörer och övriga yrkesgrupper inom näringsliv och offentlig förvaltning. Språkkurserna är inriktade mot kunskaper i teknisk, medicinsk och merkantil franska. Med anledning av den allt större betydelse denna verksamhet fått, beslöt konsistoriet höstterminen 1973 att inrätta ett språkcenrum, där franska sektionen skulle ingå som första sektion.

Verksamheten syftar till att berika och stimulera samarbetet mellan Sverige och Frankrike och andra fransktalande länder. Detta sker genom att anordna:

- ☐ kurser för teknologer och yrkesverksamma grupper inom näringsliv och offentlig förvaltning
- ☐ »skräddarsydda» studiekurser för grupper inom företag
- ☐ studieresor till Frankrike och andra fransktalande länder
- ☐ symposier, utställningar, seminarier, etc
- ☐ rådgivning till dem som önskar praktik i Frankrike och andra fransktalande länder
- ☐ kontakter med högskolor, betydande industrier och organisationer i Frankrike och andra fransktalande länder
- ☐ utförande av översättningar

Under vårterminen blir det kurser i affärsfranska och teknisk franska. Dessutom startar karolinska institutet i samarbete med franska sektionen en kurs för medicinskt utbildad personal. Denna kurs vänder sig främst till de läkare som deltar i kongresser med franska som arbetsspråk eller som för sitt arbete på annat sätt kan ha intresse av att förstå och uttrycka sig på franska, muntligt eller skriftligt. Kursen kommer också att vara lämplig för personal som är verksam inom området för medicinsk teknik.

Fullständig information om kurserna lämnas av franska sektionen, tel 08-23 65 20 ank 2192. ■

Författare i FoF 1/74

BERT BOLIN, professor, meteorologiska institutionen, Stockholm.

HENRI CONDÉ, laborator, försvarets forskningsanstalt, 4, Stockholm.

GÖRAN FRIBORG, byrådirektör i kommittén för forskningsorganisation och forskningsekonomi, Stockholm.

THEODORE FUJITA, professor i meteorologi, University of Chicago.

ULF GRANHALL, docent, institutionen för mikrobiologi, lantbrukshögskolan, Uppsala.

JOHAN LUNDIN, överingenjör, försvarets forskningsanstalt 1, Stockholm.

ERIK PALMÉN, professor emeritus, meteorologiska institutionen, Helsingfors universitet.

HILDING SUNDQUIST, docent, meteorologiska institutionen, Stockholm.

LARS-ERIK TAMMELIN, avdelningschef, försvarets forskningsanstalt 1, Stockholm.

Omslagsbilden

Den 7 mars 1969 fotograferade APOLLO 9 detta stormcentrum med utpräglade virvelrörelser ca 200 mil norr om Hawaii. Virvlar i atmosfären beskrivs i ord och bild på sidorna 20–57. Foto: NASA