

JORDENS LUFTHAV OG DET GEOFYSISKE ÅR

Af statsmeteorolog *Johannes Olsen*

En af de vigtigste opgaver i det geofysiske år går ud på at studere den nærmere sammenhæng mellem processer på Solen og de reaktioner, der derved opstår i lufthavet omkring Jorden. Danmarks indsats her foregår især i Grønland, og selv om den naturligvis må blive beskeden i forhold til de store nationers, får den øget værdi, fordi Grønland i flere henseender har en gunstig beliggenhed med hensyn til de undersøgelser, der her er tale om.

Som en usynlig bræmme ligger lufthavet omkring Jorden og strækker sig fra jordoverfladen indtil 1000 km ud i verdensrummet. Luften - dette lunefulde element, som snart stryger over Jorden som en blid brise, men som til andre tider raser gennem rummet som en orkan, der får store skibe til at vippe på havet som nøddeskaller, omtumlet af kræfter, som sættes igang af Solen. Thi skønt Jorden kun er et fnug i det vældige univers og - set fra Solen - kun synes som en knappe-nålsspids betragtet i armlængdes afstand fra øjet, sender solen den dog så megen varme, at den opvarmes næsten 300 grader over verdensrummets laveste temperatur, og det er den stærke opvarmning af Jorden ved ækvator og den svage ved polerne, som sætter vejrprocesserne i gang.

Dog er det ikke alt sollyset, som trænger ned til Jorden gennem lufthavet. Som radiosendere kan sende både lange og korte radiobølger, sender også Solen lys af meget forskellig bølgelængde. Foruden det langbølgede synlige lys udsender den også usynligt kortbølget lys - det ultraviolette lys - som dog for størstedelen forsvinder på vejen ned igennem lufthavet, fordi det i en højde af 100 til 400 km over Jorden slår luftmolekyler itu og derved selv går til grunde. Ved denne proces spaltes luftens molekyler i negative elektroner og positive molekylerester, og der dannes herved et elektrisk ledende lag - *ionosfæren* - som muliggør radiotelegrafering over oceanerne. Radiostråler, der sendes skråt op i vejret fra Europa, rammer dette ledende lag, der virker som et elektrisk spejl, som tilbagekaster dem, så de f. eks. havner i Amerika og kan opfanges på modtagere der.



Vesuv i udbrud.

Når Solens blanke skive ved aften nærmer sig horisonten, ser det ud, som om forholdene på Solens overflade var den rene idyl. Dette er dog en misforståelse. Når måneskiven under en total solformørkelse dækker solskiven helt i et kort øjeblik, ser man ofte ildsøjler, der slynges ud fra Solens rand hundredtusinder af kilometre ud i verdensrummet. Disse mægtige vulkanske udbrud kan i dag iagttages på selve solskiven, når denne betragtes gennem særlige kikkerter, og de forekommer i solpletområderne, de mørke pletter, som undertiden viser sig på solskiven, og som nogle astronomer opfatter som kraftige stormcentre. De ledsages af radiostøj fra Solen, som røber, at det drejer sig om elektrisk ladede smådele, der slynges ud i verdensrummet

som en byge med en fart på op til 500 kilometer i sekundet.

Når et sådant udbrud finder sted på solmidten, har smådelene retning mod Jorden, og i de fleste tilfælde vil Jorden snart få virkningen heraf at føle. Et døgn efter bryder nordlysene frem over store dele af Jorden. I samme nu, som nordlysene tændes, begynder kompasnålene hele Jorden over at svaje hastigt frem og tilbage. Der er udbrudt „en magnetisk storm“. I polaregnene bliver langdistance-radio umulig ofte flere dage igennem, og selv på sydligere bredder holder radioforstyrrelserne sig mange timer igennem.

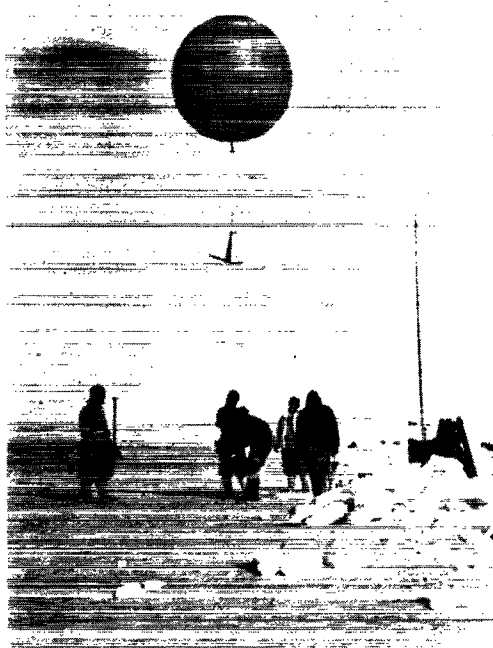
Hvad er der sket? Bygen, der startede fra Solen, er hastet fremad nedad mod Jorden. Men vejen er lang - 150 millioner kilometer. Et lyntog ville bruge 170 år, Sputnik kunne klare det på 7 måneder. Den elektriske byge klarer sig med ca. et døgn. Når bygen nærmer sig Jorden, påvirkes den af dennes magnetisme. Bygen deler sig i to. Den ene søger mod den nordlige magnetiske pol, den anden mod den tilsvarende i sydpolaregnene. Samtidig slår de ned i den yderste del af lufthavet. De hastige elektriske partikler virker som projektiler, der slår luftmolekylerne itu og får dem til at lyse som luften i forretningernes reklamerør. Polarlysene tændes i den arktiske nat. Der dannes nye ledende lag under det elektriske spejl, og radiomodtagning svigter. I ionosfæren opstår der stærke elektriske strømme, desto stærkere jo mere nordlysene sitrer; - over Sydgrønland kan der

løbe strømme på en million ampere i en højde af 100 til 150 km over Jorden. Det er de magnetiske kræfter fra disse strømme, der får magnetnålene til at svaje frem og tilbage.

Jordens lufthav kan altså opfattes som et mægtigt laboratorium, hvor Solen selv er den store eksperimentator. Dens mangeartede stråling spiller på hele Jordens lufthav fra pol til pol på een gang. Skal man forstå processerne i lufthavet til bunds - og det er både radioforskere og meteorologerne naturligvis interesseret i - må man derfor følge forholdenes udvikling i hele lufthavet samtidigt over hele Jorden. Før det geofysiske år var der en mængde forskellige stationer - meteorologiske, jordmagnetiske, nordlystationer og ionosfærestationer, hvor man

studerede lufthavets forskellige områder. Men disse stationer var ulykkeligvis meget ujævnt fordelt Jorden over. Mens den nordlige halvkugle var forholdsvis velforsynet, var der få på den sydlige halvkugle, og i Sydpolarlandet, som er 7 gange så stort som Grønland, var der slet ingen. Derfor enedes over 60 lande om i fællesskab at gøre et mægtigt videnskabeligt fremstød i det geofysiske år, hvor man 18 måneder igennem fra 1. juli 1957 til 31. December 1958 observerer lufthavets ændringer på et net af stationer, der er jævnt fordelt Jorden over. Dette samarbejde respekterer hverken jerntæpper eller bambustæpper, idet både Sovjetrusland og flere andre østeuropæiske lande er med. På disse stationer foretager man dagen igennem observationer på samme klokkeslet hele Jorden over og får derved en række øjebliksbilleder af atmosfærens tilstand og dens ændringer hele det geofysiske år igennem. Samtidig følger man nøje processerne på Solen, som bliver fotograferet flere gange i døgnet. Når Solen forsvinder ud af de europæiske stationers synsfelt, tager amerikanerne fat, og når Solen synker ned bag Stillehavets flade, er de australske og de japanske astronomiske observatorier parat til at overtage observationerne.

Det mægtige materiale, der bliver resultatet af disse anstrengelser, bliver behandlet statistisk på moderne elektronregnemaskiner, som regner ufatteligt hurtigt. Man håber derigennem at finde lovene for den dybere sammenhæng mellem pro-



Radiosonde opsendes fra Thule.

cesserne på Solens overflade og de tilsvarende reaktioner i lufthavet. I det lange løb bør dette kunne føre til bedre vejrforudsigelser og til en sikrere forudsigelse af, hvilken bølgebredde en langdistanceradiosender bør benytte på et bestemt sted på Jorden til et givet tidspunkt.

Der er flere grunde til, at man netop har valgt året 1957-58 til det internationale geofysiske år. Som magister Lundbak har nævnt i sine artikler, er dette år et jubilæumsår for tilsvarende foretagender i årene 1882-83 og 1932-33. Desuden er Solen netop i år særlig aktiv, fordi antallet af solpletter er særlig stort, et forhold, der gentager sig med ca. elleve års mellemrum. Den vigtigste grund er dog den, at teknikken i de 25 år siden 1932-33 har gennemløbet en rivende udvikling, så forskerne netop nu råder over det nødvendige værktøj til studiet af atmosfærens forskellige lag.

Vi tager meteorologernes indsats først: Solens lysende stråler går næsten uhindret gennem lufthavet - bortset fra det lys, som tilbagekastes af skyerne, - og træffer så Jorden, som de opvarmer stærkt ved ækvator, mindre stærkt ved Jordens poler. Den opvarmede jord opvarmer så igen lufthavet nede fra, ganske som gassen opvarmer vandet i en gryde, der er sat over ilden. Den forskellige opvarmning, Jorden over, sætter en omrøring i gang i hele lufthavet, og derved skabes det lokale vejr. Men mens lufthavet som helhed strækker sig op til 1000 km's højde over Jorden, når denne omrøring kun op til ca. 12 km's højde på vore breddegrader, fordi de opstigende luftstrømme, som i denne højde er afkølet til 60 graders frost, heroppe ligesom støder på et loft af luft med konstant temperatur, som hindrer yderligere opstigning. Dette ses tydeligt på det første billede, som viser Vesuv i udbrud. Man ser dampskyen stige lodret til vejrs, for dernæst foroven i billedet, når den møder loftet, at brede sig ud, så den får form som en paddehat. Det samme fænomen er årsagen til den paddehat, der er resultat af en atom-bombes eksplosion.

Medvirkende til meteorologiens fremskridt har den raketagtige udvikling af flyvning som trafikmiddel været. Hele den nordlige halvkugle, polaregnene indbefattet, er nu dækket af et trafiknet, som af hensyn til sikkerheden kræver et nøje kendskab til de meteorologiske forhold. Samtidig har de højtgående maskiner givet meteorologerne oplysninger, der har kastet et uventet lys over processerne i lufthavet. Under bombemaskinernes togt over Atlanterhavet under sidste verdenskrig oplevede flyvere, der fløj vest på, undertiden, at flyvemaskinerne ligesom stod stille i luften. Maskinen kom ingen vegne. Den var havnet i en jetstrøm, som susede mod øst med en fart på indtil 300 km i timen. Disse jetstrømme er kilometerdybe floder af luft med bredde op til flere hundrede kilometer, som raser mod øst i en højde af en halv snes kilometer over Jorden. Siden da er de nøje studeret ved

hjælp af radiosonder, små radiosendere, som sendes til vejrs med balloner til højder på 20 km eller mere. På vejen op sender de radiomeddelelser ned om tryk, temperatur, fugtighed og vindstyrke i de forskellige højder, og disse meddelelser opfanges af en modtager på Jorden.

Denne slags undersøgelser har vist, at jetstrømmene er særlig stærke lidt syd for 60 graders nordlige bredde og lidt nord for 30 grader nord. Af hidtil uopklarede grunde antager jetstrømsområderne undertiden et stærk bugtet forløb, som med en udstrækning på op til 6000 km bestemmer fordelingen af godt og dårligt vejr over store dele af Jorden. Man er herved blevet klar over, at vejrprocesserne Jorden over i højere grad, end man før tænkte sig, udgør en helhed. Derfor venter man sig store resultater af det geofysiske år, hvor et jævnt stationsnet dækker Jorden. Der er lagt tre forskningskæder fra pol til pol langs meridianerne 75° vest (Amerika og Grønland), 10° øst (Skandinavien, Mellemeuropa og Afrika) og 140° øst. Desuden er der en kæde rundt om Jorden i ækvatorområdet. 650 af stationerne - deraf 100 arktiske og 20 i sydpolarområdet - vil indtil 4 gange dagligt til eet og samme tidspunkt sende radiosonder op til 20 km's højde eller derover og derved skabe et samlet billede af, hvorledes tryk, temperatur, fugtighed og vindstyrke varierer med højden Jorden over i et og samme øjeblik.

Da Grønland med sine udstrakte ismarker har stor betydning for Europas klima, er det i forvejen så godt forsynet med meteorologiske stationer, at en udvidelse af nettet i det geofysiske år ikke har været nødvendigt. Observationerne derfra vil imidlertid få øget værdi, fordi de kan sammenholdes med observationerne under tilsvarende klimatiske forhold i sydpolaregnene det geofysiske år igennem.

Meteorologerne kunne sagtens. Deres område lå så nær ved Jorden, at de kunne sende balloner op med instrumenter, der direkte kunne hente resultaterne ned. Anderledes med lufthavets højere dengang utilgængelige højder. Forskerne måtte her hjælpe sig med instrumenter, som anbragt ved jordoverfladen dog skulle kunne afsløre, hvad der skete deroppe. Netop i den retning har opfindsomheden fejret triumfer i løbet af den sidste menneskealder. Ofte blev en tilfældig iagttagelse udgangspunktet for en ny teknik.

Ved dronning Victorias begravelse i London 1901 affyrede man en salut med tre små kanoner. Normalt skulle lyden herfra kun kunne opfanges inden for Londons område, men det viste sig, at den var hørt langt nord for London. Under første verdenskrig oplevede man flere gange en lignende unormal udbredelse af lyden, idet kanontorden fra vestfronten hørtes langt op i England. Efter krigen undersøgte man så disse forhold systematisk, idet man opfangede lyden af stærke kunstige eksplosioner med mikrofoner opstillet i ringe i voksende afstand fra eksplosionsstedet. Resultatet var overraskende. Mens mikrofonerne inden for de

første 100 km alle reagerede, kom der en tavshedsperiode for mikrofonerne 100 til 200 km fra eksplosionen, mens lyden så opfangedes igen af mikrofoner i 200 til 300 km's afstand. Disse resultater tvang forskerne til at antage, at mens luften i blot 12 km's højde over Jorden var afkølet til 60 graders frost, så måtte der - i en højde af 50 til 60 km over Jorden - findes et luftlag, som havde en temperatur der var 60 til 80 grader højere altså ligeså høj som ved Jordens overflade. Det var dette varme lag, der tilbagekastede lyden og sendte den ned til Jorden igen i stor afstand fra eksplosionsstedet. Denne forbløffende kendsgerning blev kort efter bekræftet ved studiet af stjernes kud, som brænder op i lufthavet i et hundrede kilometers højde over Jorden.

Jorden skal jo en hel omgang omkring Solen i løbet af et år, og derfor suser den gennem verdensrummet med en fart på 30 km i sekundet. Men verdensrummet er ikke tomt. Det gennemstreges af smålegemer - universets vagabonder - hvoraf de fleste kun har en størrelse som et sandskorn. Når Jordens lufthav under sin fart møder et sådant, ser man et stjernes kud drage sin lysende bane hen over nathimlen. Det hele ser ud af så meget, men er dog så lidt. Et stjernes kud, der lyser som en kraftig stjerne, fremkaldes af en partikel på størrelse med et stort knappenålshovede. Den store lysstyrke skyldes den store fart gennem luften - 40 km i sekundet i gennemsnit, - som får sandskornet til at gløde og fordampe ud i rummet. Dampmolekylerne virker som projektiler. Ved sammenstødet med luften slås der elektroner ud af molekylerne, og de giver sig til at lyse. Det er altså en glødende dampsky uden om sandskornet, man ser.

Hvis man nu fotograferer et og samme stjernes kuds vej mellem stjernerne med to særligt indrettede fotografiapparater anbragt ca. 30 km fra hverandre og i indbyrdes telefonisk forbindelse, kan man af fotografierne beregne stjernes kuddets højde over Jorden, partiklens bremsning i banen og lysvariationen langs denne. Man fandt, at stjernes kuddene tændes ca. 120 km over Jorden og slukkes i 85 km's højde, og ud fra måleresultaterne kunne man så beregne lufttrykket i disse store højder. Dette tryk kunne imidlertid beregnes på en anden måde. Da man fra radiosondeopsendelser kender tryk og temperatur (-60°) i 12 km's højde, er det en let sag at beregne, hvor stort trykket må være i 100 km's højde, hvis temperaturen holder sig konstant på 60 graders frost helt op til denne højde. Det herved fundne tryk kunne bruges som kontrol på trykket målt ved stjernes kuddene. Det viste sig umuligt at få de to tryk til at stemme overens, med mindre man indførte den antagelse, at der et sted mellem 12 km og 100 km fandtes det varme lag, som man havde fundet ved lydmålingerne.

I de sidste 25 år udviklede også radioforskere en hel ny teknik. Da det i 1901 lykkedes for Marconi at radiotelegrafer fra England til Amerika var det en



Den nye ionosfærestation i Godhavn.

verdenssensation. Og med rette. Som lyset går radiobølger retlinet frem, men da Jorden er krum går den rette linie fra England til Amerika lige gennem Jorden, som ingen radiobølge kan gennemtrænge. Allerede året efter kom forklaringen, som jeg nævnte i indledningen, at der højt oppe i luften ligger et ledende lag, der virker som et elektrisk spejl, der hjælper radiobølgerne over havet. Men det direkte bevis på lagets eksistens manglede. Det kom, da man i 1925 fik den dristige tanke at sende et kortvarigt radiosignal - som et lysglimt - lodret til vejrs for at se, hvad der ville ske. 1/1500 sekund efter kom signalet tilbage og blev opfanget af en modtager på Jorden. Da radiobølger ligesom lyset løber 300.000 km i sekundet, måtte radiosignalet være kastet tilbage fra et ledende lag - et elektrisk spejl - 100 km over Jorden. Der er her tale om en slags elektrisk ekko, der ligner det ekko, lyden giver ved tilbagekastning fra en udstrakt mur. Det opdagede lag kaldes E-laget; senere har man opdaget endnu tre lag: D-laget i 80 km's højde, F1 og F2-laget i henholdsvis 200 og 300 km's højde over Jorden. De nederste af disse lag dannes af Solens ultraviolette lys og dens røntgenstråler.

En ny epoke i ionosfæreforskningen var hermed indledet. Ionosfærestationerne opstod. Endnu inden det geofysiske års begyndelse var der oprettet 100 af disse kostbare stationer, især på den nordlige halvkugle. 6-8 gange i timen måler disse stationer automatisk højden til disse ledende lag og tillige, hvor elektriske de er. Dette har betydet en revolutionerende udvikling for langdistanceradio. Den bølgebredde, en europæisk radiostation skal anvende for at række Amerika i et givet



En raket parat til opsendelse.

øjeblik, afhænger nemlig af ionosfærens elektriske tilstand mellem stationerne. På dette punkt famlede man tidligere i blinde. Nu kan ionosfærestationer oplyse, hvorledes den elektriske tilstand normalt varierer i dagens løb, i årenes løb og fra sted til sted. Derfor kan man nu til en vis grad forudsige, hvilken radiobølgebredde en given station skal bruge i et givet øjeblik.

Men også kun til en vis grad. Når vulkanske udbrud på Solen får nordlysene til at flamme op, svigter radioforbindelserne. Men fænomenet er lunefuldt. Nogle forbindelser svigter totalt, andre er ret upåvirkede. To radiostationer i sydpolaregnene i blot 400 km's

afstand fra hinanden kunne i efteråret ikke korrespondere direkte under en sådan situation, men opnåede kontakt gennem en tredje station 5000 km nordligere. Det er disse indviklede forhold, det jævne stationsnet skal kaste lys over i det geofysiske år. Danmark driver en ionosfærestation i Julianehåb distrikt og een i Godhavn. Denne sidste er særlig interessant, fordi de elektriske forhold i ionosfæren over Godhavn afviger stærkt fra sydligere stationers, sandsynligvis fordi den ligger nord for nordlyszonen. Nu vil der blive lejlighed til at sammenligne disse resultater med nyoprettede stationers med en lignende beliggenhed.

Som slutsten på denne udvikling kom så raketterne, som tyskerne opfandt under anden verdenskrig. Med disse blev også de højere luftlag tilgængelige. Amerikanerne har senere sendt raketter op til 250 km's højde forsynet med instrumenter, som har målt tryk, temperatur og vindstyrke på vejen op og radiofoneret resultaterne ned til modtagere på Jorden. Det hele lyder så enkelt, men er dog en stor bedrift. En stor raket koster 200.000 kr. Forberedelsen af en raketopsendelse tager 6 måneder; og 7 minutter efter opsendelsen falder den ned igen. Målingerne i de 7 minutter skal altså betale alle de anstrengelser, der gik forud. Ikke desto mindre er teknikken nu så fin, at måleresultaterne fra forskellige raketter stemmer godt overens.

Hvordan aftager lufttrykket så med højden? Op til 100 km's højde aftager trykket til $1/10$ for hver 16 km, man stiger til vejrs. Allerede i 32 km's højde er trykket altså kun $1/100$ af trykket ved Jorden. I 100 km's højde er trykket kun en million-

tedel, altså som trykket i en elektrisk pære, som fabrikanten betegner som lufttom. I 200 km's højde er trykket kun en milliardtedel af trykket ved Jorden, d. v. s. det tryk, der fås i et rum, der pumpes lufttomt ved anvendelse af de bedste moderne pumper. Alligevel er det i disse højder, vi ser de pragtfulde nordlys, og det er i disse tynde luftlag, det elektriske spejl dannes, der tilbagekaster radiobølgerne.

Raketmålingerne bekræftede den høje temperatur i 50 km's højde, som var fundet ved lydmålingerne. Højere oppe synker temperaturen igen og er ca. 70 grader frost i 80 km's højde. Derefter stiger temperaturen igen opefter og er 350° i 200 km's højde. Dette betyder dog ikke, at man ville brænde op, hvis man blev anbragt i luften der, da luften er alt for tynd til at kunne varme et menneske op.