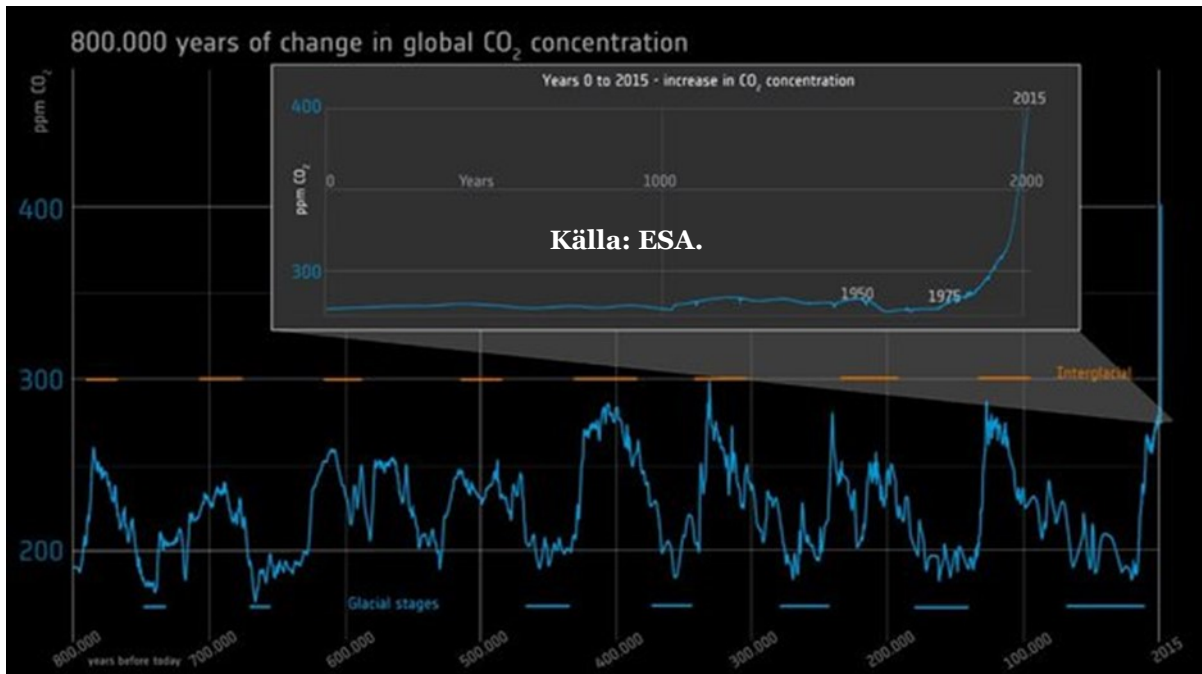


Flyg och rymd mäter temperatur

De tio hetaste åren sedan man började mäta globala temperaturer mot slutet av 1800-talet inträffade under det senaste decenniet. Förra året var det näst varmaste, som någonsin har uppmätts. År 2016 var ändå värre. För att konstatera detta förlitar sig väderobserverande organisationer på en mängd instrument, bland annat satelliter. Från sin unika utsiktspunkt ger satelliter nyckelinformation för att förstå komplexiteten på vår planet och för att övervaka miljöfrågor.



Jordens klimat har alltid förändrats på grund av naturliga processer. Under de senaste miljon åren har det lagt sig i regelbundna svängningar mellan varma perioder och istider, som varar tiotusentals år, utlösta av periodiska skiften i Jordens bana runt solen.

Under de senaste 800 000 åren har koncentrationerna av koldioxid i atmosfären fluktuerat som svar på glaciala och interglaciala perioder, men har inte överskridit 300 ppm. Under det senaste århundradet har emellertid koldioxidkoncentrationerna ökat i en oöverträffad takt på grund av industrialisering och förbränning av fossila bränslen och överstiger nu 400 ppm, se bilden ovan.

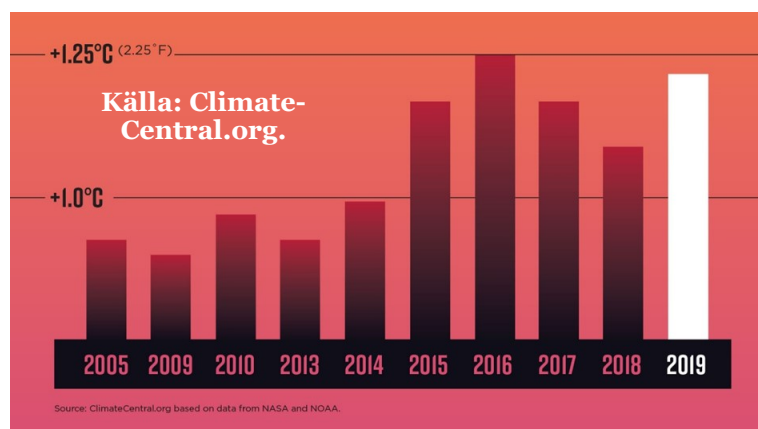
Jordens klimat värms upp på grund av den ökande koncentrationen av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären. Mellanstatliga panelen för klimatförändringar IPCC drar slutsatsen i sin specialrapport: global uppvärmning av 1,5 °C, att "människt inducerad uppvärmning nådde cirka 1 °C (över preindustriella nivåer) 2017 och ökade med cirka 0,2 °C per decennium". Mängderna av snö och is på planeten har minskat och havsnivåhöjningen accelererar (WMO-uttalande om tillståndet för det globala klimatet, 2019).

Klimatförändringarna har redan negativa effekter på naturliga och mänskliga system. Dessa inkluderar negativa effekter på mark- och marina ekosystem, minskad skördeavkastning och förändrade hydrologiska system, som påverkar vattenresurserna. Även våra socioekonomiska system som hälsa och välfärd är sårbara för klimatförändringar och klimatrelaterade katastrofer (IPCC Fifth Assessment Report, 2014).

För att ta itu med klimatförändringarna har länder enligt FN:s ramkonvention om klimatförändringar kommit överens om att stabilisera

växthusgaskoncentrationerna i atmosfären på en nivå, som förhindrar farlig störning av klimatsystemet. Paris avtalet syftar till att hålla den globala temperaturökningen under 2 grader Celsius över den förindustriella nivån.

Man är snabbt på väg dit. De tio hetaste åren har inträffat sedan 2005, enligt diagrammet nedan, som visar hur mycket uppvärmningen var för varje år i förhållande till en referensperiod 1881 till 1910.



Flyg och rymd mäter temperatur 2

För att kontrollera temperaturen använder man bland annat elektriska termistorer och konventionella termometrar på land och till sjöss, **Taking the Temperature on Temperature**. Ett fokus på planetens yta är förstäligt med tanke på att det är där människor bor, grödor växer, havsisar smälter eller fryser och så vidare. Dessa data är bara en del av en kaskad av miljoner mätningar samlade av sensorer spridda runt vår planet. Temperaturer mäts under havets vågor liksom i atmosfären med flygplan och väderballonger. Satelliter tillhandahåller fjärrmätningar av både yt- och atmosfärstemperaturer. Resultaten är överlappande och sammanställs till både kortvariga väderprognoser och långsiktig klimatövervakning och modellering. Som det visar sig, är alla dessa oberoende och relaterade meteorologiska informationer överens med varandra och stöder varandras giltighet.

Jämfört med fartyg, som tenderar att samlas i kommersiella farleder och närmare kuster, har bojar enormt utökad räckvidden för kvalitetstemperaturdata över världens hav sedan de började sättas ut på 1980-talet. Ett sådant bojätverk är Global Tropical Moored Buoy Array, bestående av cirka hundra bojar utplacerade som tre separata matriser i ekvatorialhaven.

Dataöverföringen förlitade sig tidigare på de sju, polar-kretsande Argos-satelliterna, som ursprungligen drevs av NASA och CNES, den franska rymdbyrån och som sändes upp i slutet av 1970-talet. Uppgifterna vidarebefordrades till väder- och klimatmodeller på land, när satelliterna kom i sikte, mellan sex och åtta gånger om dagen. I dag överför de flesta bojarna data varje timme via Iridium NEXT konstellationen bestående av 66 satelliter.

En liknande övergång från Argos till Iridium har ägt rum för ett separat nätverk av havstermometrar ombord på de 4 000 Argo-flottörerna, så kallade för att de mäter havets ythöjd via de amerikansk-europeiska Jason-satelliterna, uppkallade efter karaktären i grekisk mytologi, vars skepp var Argo.

Där Jason hittar stigande hav vill man veta hur mycket detta beror på varmare vatten under ytan. För att få reda på det, låter man en meterlång cylinder driva under ytan och stiga upp med



intervaller genom att pumpa olja från en inre behållare till en yttre. Vid ytan skickar varje flottör upp data till satelliter. Övergången till Iridium har varit en välsignelse, för nu måste flottörerna bara stanna kvar på ytan i minuter istället för timmar. Det minskar deras exponering för ytströmmar och havsväxter. Argo-nätverket ger täckning ner till tusentals meter och från Arktis till Antarktis.

Satelliter kan naturligtvis göra mycket mer än bara ta emot klimatdata från sensorer. De två vanligaste temperaturmätningssatelliterna från omloppsbana är radiometrar, som mäter infraröd strålning som utsänds från havs- och landtytor, och mikrovågor som släpps ut av gaser i den nedre atmosfären.

Det polära satellitsystemet JPSS, som går tillbaka till 1960, har båda typerna av instrument och även andra. JPSS är ett samarbete mellan amerikanska National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) och NASA.

De två JPSS-satelliterna följer en solsynkron bana så att de går norrut över ekvatorn tidigt på eftermiddagen (cirka 13:30 lokal tid) totalt 14 gånger under 24 timmar. På dessa tidiga eftermiddagsbanor samlar de avläsningar för hela planeten två gånger om dagen. För att omedelbart få tillgång till de insamlade uppgifterna för väderprognosmodeller har satelliterna nedlänkar till antennparker nära polerna. En sådan

station är på norska Svalbard.

Det faktum att de två JPSS-satelliterna är i identiska banor med bara 15 minuters mellanrum och har samma generation sensorer hjälper till att hantera banddrift, en viktig kalibreringsutmaning vid känslig klimatövervakning. När en satellits bana ändras, förändras dess korsningstider över specifika platser, vilket gör att man inte mäter temperaturen vid samma tid på dagen.

Kommersiella flygplan fungerar som en annan kritisk datakälla för lokala och regionala väderprognosmodeller. Alla långdistans passagerar- och lastflygplan skickar temperatur, tryck, luftfuktighet och andra meteorologiska avläsningar av intresse. I synnerhet starter och landningar ger detaljerad information om den vertikala strukturen i atmosfären, som i sin tur hjälper till att mäta sannolikheten för t ex åskväder.

Med coronapandemin, som ställt in upp till 90% av flygningarna i världen, har meteorologer varit oroliga för negativ påverkan på väderprognoser. Amerikanska NOAA har börjat lansera fler väderballonger och har nu närmare 200, men deras mätningar kan inte kompensera flottan av 3 500 utrustade inhemska flygplan. Här kommer satelliterna in, både de satelliter som är avsedda för kortsiktiga väderobservationer och långsiktig klimatregistrering.

Den europeiska rymdorganisationen ESA är världsledande inom jordobservation från rymden genom att använda satelliter och nya tekniker för att "ta pulsen på planeten". ESAs jordobservationsprogram är en huvudaktör inom klimatvetenskap och övervakning. Dess satelliter ger den globala bilden, vilket gör det möjligt för vetenskapssamhället att upptäcka tecken på förändring, identifiera viktiga trender och utforma modeller för att förutsäga framtiden.

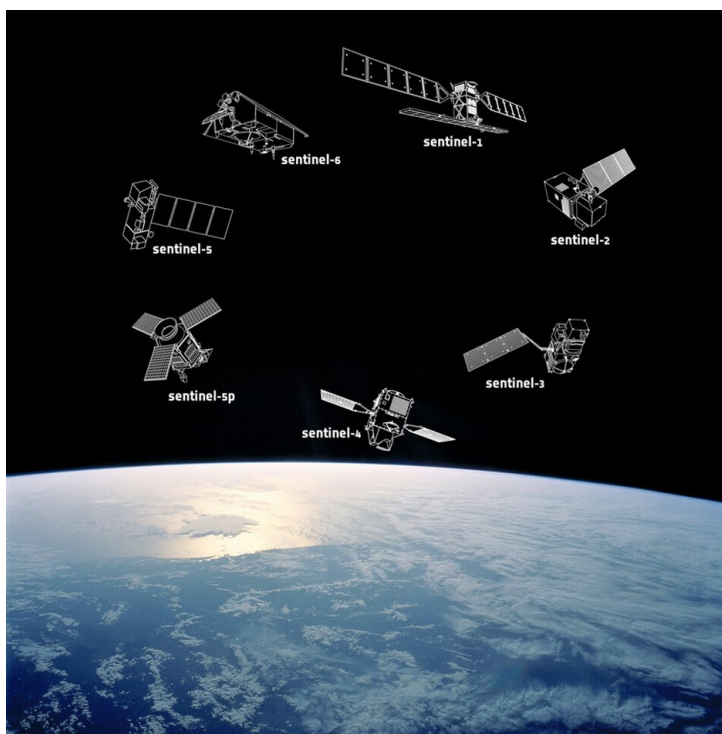
ESA utvecklar den expanderande satellitkonstellationen Sentinel, som arbetar med Europeiska Unionen inom Copernicus-programmet. Denna nya generation av satelliter ger kontinuitet för korrekt och aktuell information för att förbättra miljöhanteringen och stödja förståelse och mildring av klimatförändringseffekter.

Copernicus är det nya namnet på programmet Global Monitoring for Environment and Security, tidigare känt som GMES. Initiativet leds av Europeiska kommissionen (EC) i partnerskap med ESA. ESA samordnar leverans av data från uppemot trettio satelliter. EC, som agerar på Europeiska unionens vägnar, ansvarar för det övergripande initiativet, ställer krav och hanterar tjänsterna.

Copernicus är det mest ambitiösa jordobservationsprogrammet hittills. Varje Sentinel-uppdrag är baserat på en sammansättning av två satelliter för att uppfylla krav för återbesök och täckning och för att ge robusta data-mängder till Copernicus.

Sentinel-1 kommer att tillhandahålla en unik uppsättning observationer, som börjar med alla väder-, dag- och natt-radarbilder från Sentinel-1A och -1B, som lanserades i polarbana i april 2014 respektive april 2016.

Sentinel-2 är ett polarbana, multi-spektralt bilduppdrag med hög upplösning för landövervakning för att till exempel ge bilder av vegetation, mark- och vattentäckning, inre vattenvägar och kustområden. Sentinel-2 kan också leverera information för räddningstjänster. Sentinel-2A, som lanserades 23 juni 2015, är utformad för att leverera optiska bilder med hög upplösning för landtjänster. Den andra satelliten, Sentinel-2B, gick med sin tvilling i omlopp den 7 mars 2017.



Sentinel-3 är ett uppdrag med flera instrument för att mäta havsyttans topografi, havs- och landtemperatur, havsfärg och markfärg med avancerad noggrannhet och tillförlitlighet. Uppdraget stöder havsprognostiseringsystem samt miljö- och klimatövervakning. Sentinel-3A lanserades den 16 februari 2016 och Sentinel-3B anslöt sig till sin tvilling i omlopp den 25 april 2018.

Flera Sentinel-satelliter är under utveckling. Sentinel-4 och -5 kommer att tillhandahålla data för atmosfärisk sammansättning genom övervakning från geostationära respektive polära banor. Sentinel-4 är en nyttolast, som ägnas åt atmosfärisk övervakning, och kommer att inledas på en Meteosat Third Generation-Sounder (MTG-S) -satellit i geostationärt omlopp.

Sentinel-5 är en nyttolast som övervakar atmosfären från en polär bana ombord på en MetOp andra generationens satellit.

En ytterligare satellit, Sentinel-6 kommer att ha en radarhöjdmätare för att mäta den globala havsyttans höjd, främst för operativ oceanografi och för klimatstudier.

Dessutom har ett Sentinel-5 Precursor-uppdrag utvecklats för att minska

dataklyftorna mellan Envisat, särskilt Sciamachy-instrumentet, och lanseringen av Sentinel-5.

Sentinel-5P, det första Copernicus-uppdraget i omloppsbanan för att övervaka vår atmosfär, lanserades den 13 oktober 2017 från Plesetsk kosmodromen i norra Ryssland. Sentinel-5P är föregångaren till Sentinel-5 för att tillhandahålla aktuell information om en mängd spårgaser och aerosoler som påverkar luftkvaliteten och klimatet.

Copernicus Climate Change Service (C3S) publicerar månadsvis den globala lufttemperaturen baserad på datorgenererade analyser av miljarder mätdata från satelliter, fartyg, flygplan och väderstationer runt världen. [Monthly Climate Summaries from the Copernicus Climate Change Service \(C3S\)](#)

Och temperaturen ökar. Augusti 2020 var globalt den fjärde varmaste augusti som registrerats särskilt i sydvästra USA, norra Mexiko, nordvästra Sibirien och Arktis.

I Europa var augusti varmare än normalt med temperaturer 1.1 °C över referensvärdet för perioden 1981-2010.