

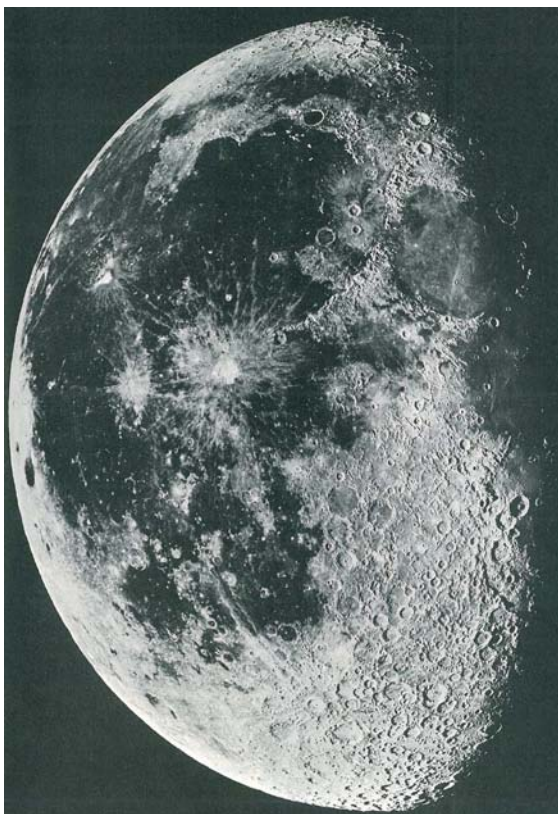
Apollo-programmet – ikke bare et teknologisk, men også et geovitenskapelig gjennombrudd

Reidar G. Trønnes, Naturhistorisk museum, Univ. i Oslo
Publisert i www.forskning.no/artikler/2009/juli/225478

40-årsjubileet for Apollo-11 har minnet oss om hvilken storslått bragd Apollo-programmet var. I tillegg til å være et teknologisk og strategisk gjennombrudd, særlig for USA, representerte det også et stort fremskritt i vår innsikt i dannelsen og utviklingen av Jorda og Solsystemet. Den unike forståelsen som kom fra de bemannede månelandingene er i første rekke knyttet til undersøkelser og kjemiske analyser av jord- og stein-materialet som ble prøvetatt.

Før prøvene fra Månen ble tilgjengelige hadde vi allerede ganske god kunnskap om materialene i de indre delene av Solsystemet fra undersøkelser av tusenvis av meteoritter. Månematerialet var de aller første prøvene som med sikkerhet kunne stedfestes til et bestemt område på en helt bestemt jordlignende planet. (I geologisk forstand er det vanlig å betrakte Månen som en av de jordlignende planetene sammen med Merkur, Venus, Jorda og Mars, og gjerne også sammen med asteroiden Vesta og Jupiter-månene Io og Europa).

Før Apollo-ferdene kjente vi naturligvis Månens todelte overflate med lyse høylandsområder og mørke lavlandsområder (Månens "hav", såkalte "mare-områder", se bildet). Vi visste også at tyngdekraften er betydelig høyere over de runde hav-områdene enn over høylandsområdene. Spørsmålet om kraterne på månen var blitt dannet ved vulkanutbrudd eller ved kollisjoner med asteroider og meteorider var delvis uavklart før Apollo-ferdene.



Deler av måne-overflaten med lyst høyland og dype lavlands-kratere fylt med svart basaltlava (mare-basalter). Legg merke til det store antallet mindre kratere innenfor de lyse høylands-områdene og de få kraterne på de relativt unge basalt-slettene.

Det mørke lavlandet med lavabergarten basalt

Allerede etter den første bemannede månelandingsferden (Apollo 11) fikk vi svarene på mange spørsmål. Noen av svarene bekreftet tidligere antagelser, men det var også store overraskelser. Det var ventet at vi ville finne mye basalt på Månens overflate. Basalt er en lavabergart som størkner fra smeltmasser (magma) som blir dannet ved delvis oppsmelting (vanligvis 10-30%) av steinmaterialet i planetenes indre. De mørke og runde lavlands-områdene på Månen er store kratere som opprinnelig ble til ved kjempekollisjoner med asteroider og småplaneter. De største og lavest-liggende kraterne ble senere oversvømmet med basalt-lava

(mare-basalter). Dermed er det visse likheter mellom Månens "hav" og dyphavsskorpen på Jorda som også består av basaltiske bergarter. Basalt er også en hovedbergart på overflatene til Merkur, Venus, Mars og Vesta.

De lyse høylandsområdene - en stor overraskelse

Den største og viktigste overraskelsen fra undersøkelsene av Apollo-11-materialet var at Månens lyse høylandsområder hovedsakelig består av bergarten anortositt, dominert av feltspatmineralet plagioklas. Denne oppdagelsen, som ble gjort umiddelbart etter at prøvematerialet fra Apollo-11 ble tilgjengelig, er av svært stor betydning for vår forståelse av planet-dannelse.

Anortosittskorpen er stedvis mer enn 100 km tykk og dekket trolig hele Måne-overflaten i begynnelsen. Den eneste sannsynlige måten en tykk anortositt-skorpe blir til på er ved krystallisering og flotasjon av plagioklas i et dypt magmahav der silikat-smelten er tyngre enn plagioklas-krystallene. Denne erkjennelsen bidro til vår forestilling om at alle de indre planetene gjennomgikk stor-skala oppsmelting (50-100% oppsmelting) som følge av kjempekollisjoner i det siste stadiet av planetveksten.

Anortositt-skorpen på Månen kan betraktes som en primær-skorpe (første-ordens skorpe) som et resultat av avkjølingen av det opprinnelige magmahavet på Månen. På Jorda er alle rester av en tilsvarende primærskorpe fjernet fordi vår store planet er mer geologisk aktiv enn Månen. Små mengder anortositt med en litt annen kjemisk sammensetning dannes imidlertid fra smelter som krystalliserer dypt nede i Jordas skorpe.

Skorpen i Jordas kontinenter er en tredje ordens (tertiær) skorpe med granittiske bergarter som en viktig bestanddel. Tertiær-skorpe finnes ikke på Månen, men mare-basaltene og havbunnsbasaltene på Jorda representerer sekundær-skorpe.

Aldersforhold

Bergartene på Månens overflate, og særlig i høylandsområdene er sterkt oppknyttet av utallige store og små kollisjoner med meteorider og asteroider. De fleste månebergartene som ble prøvetatt fra overflaten er bruddstykke-bergarter som inneholder fragmenter av flere ulike typer. Som vist på bildet er Månens lyse høyland preget av et stort antall mindre kratere. De mørke lavlandsområdene med mare-basalt har mye lavere kratertetthet. Dette tyder på at høylandet er eldst, og at den mest intense kollisjonsaktiviteten var over før mare-basaltene fløt utover i de aller største og dypeste kratere.

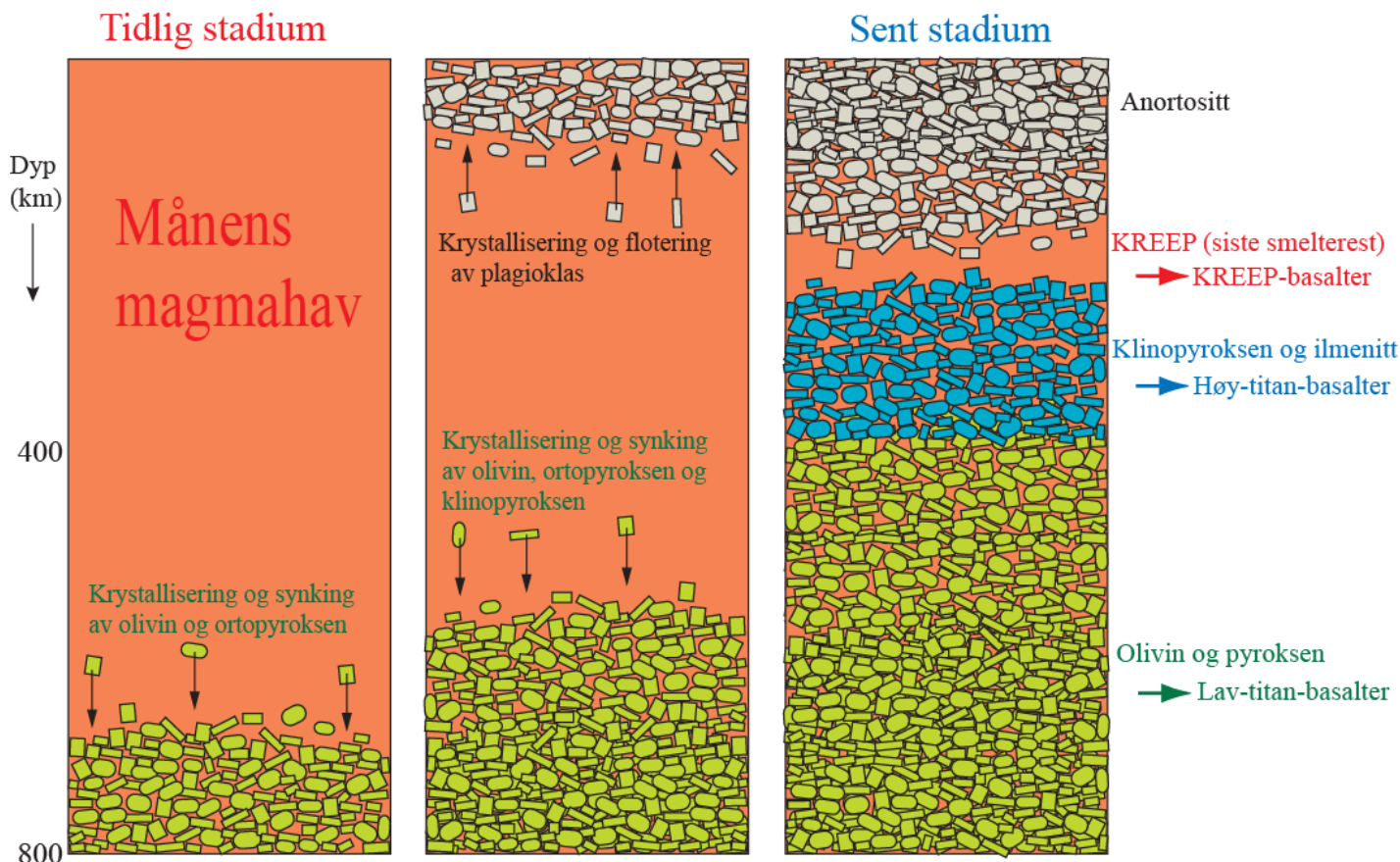
Disse aldersforholdene er bekreftet av radiometriske dateringer. Høylands-anortosittene har aldre på opp til 4456 millioner år (Ma) og ble dermed dannet bare ca. 110 Ma etter solsystemets begynnelse (4567 Ma). De fleste Mare-basaltene, derimot, har aldre i tidsrommet 3800-3000 Ma. Sammenhengen mellom målte aldre for ulike Måne-bergarter og den observerte kratertettheten i de tilhørende områdene tyder på at kollisjonsaktiviteten først avtok raskt etter 4456 Ma og deretter økte igjen i en kort periode for ca. 3800 Ma siden (det såkalte "Late Heavy Bombardment", LHB). En periode med forflytninger og justeringer av banene til kjempeplanetene Jupiter og Saturn og tilknyttede forstyrrelser av banene til asteroidene kan være årsaken til LHB.

Krystalliseringen av det globale magmahavet

Massene til Månen og Mars er henholdsvis 1,2 og 10,7 % av Jord-massen. Månen ble til i en siste kjempekollisjon der planeten Theia, av Mars-størrelse eller større, kolliderte med Jorda, som før kollisjonen hadde ca. 90% av sin nåværende masse. Kollisjonen førte til at mesteparten av Theias masse ble trukket inn i Jorda. I tillegg satte kollisjonen Jorda i kraftig rotasjon rundt N-S-aksen og den store kollisjonsenergien resulterte i en roterende dikosformet sky av glødende, fordampet stein. En slik dampsky rundt den flytende Jorda er tilsynelatende påkrevet for å få homogenisert oksygenisotop-sammensetningen mellom Månen og Jorda.

Inne i den varmeisolerende, men sakte avkjølende dampskyen samlet det seg etterhvert materiale til en flytende ildkule i bane rundt Jorda. Denne flytende ballen krystalliserte etterhvert til den faste Månen. Figuren under viser krystallisasjons-forløpet for den øvre delen av Månens globale magmahav. Det var ikke bare den direkte prøvetatte anortositt-skorpen på overflaten som ga umiddelbare og sterke indikasjoner på denne magmahav-utviklingen. Tre ulike typer mare-basalter har ganske forskjellig sammensetning fordi de er

dannet ved delvis oppsmelting av ulike bergartslag dypere ned i Månens mantel. Disse ulike lagene og deres tilknytning til magmahav-krystalliseringen er vist på figuren. Mare-basaltene er svært ulike Jordiske basalter og har en langt større kjemisk variasjonsbredde.



Figuren illustrerer krystalliseringen av det tidlige magmahavet på månen (ca. 100 Ma etter Solsystemets begynnelse). Det venstre panelet viser den tidlige krystalliseringen av mineralene olivin og ortopyroksen som synker til bunns. Midt-panelet viser at plagioklaskrystaller har begynt å krystallisere, sammen med tunge krystaller av olivin og pyroksen. Plagioklas, som er lettere enn smeltmassen, flyter opp og danner en tykk skorpe av bergarten anortositt. Det høyre panelet viser et sent stadium der den gjenværende smelten er blitt anriket på kalsium og titan slik at et grunt lag med hovedsakelig klinopyroksen og ilmenitt har krystallisert. Etter dette er det kun en liten mengde restsmelte. Denne størkner til mantel-bergarten KREEP som er sterkt anriket i kalium (K), sjeldne jordarter (Rare Earth Elements, REE) og fosfor (P). De tre hovedtypene av mare-basalter: lav-titan-, høy-titan- og KREEP-basaltene er senere dannet ved deloppsmelting av henholdsvis olivin-pyroksen-dominerte, klinopyroksen-ilmenitt-dominerte og KREEP-dominerte partier av Månens mantel.

Oppsummering - fremtidsvyer

Steinprøvene fra de bemannede Apollo-ferdene har gitt oss ny og viktig innsikt i dannelsen og utviklingen av Jorda og Solsystemet. Som på de andre planetene, krystalliserte magmahavet på Månen i løpet av de første 100 Ma etter Solsystemets begynnelse. Den geologiske aktiviteten etter dette var i hovedsak det sterke asteroide-bombardementet rundt 3800 Ma og utbruddene av mare-basalter i perioden 3800-3000 Ma. Basaltvulkanismen ble trolig forårsaket delvis av det intense bombardementet, og delvis av tetthetsmessige omrokkninger av de tunge klinopyroksen-ilmenitt-lagene i mantelen (se figuren). Denne aktiviteten var ikke tilstrekkelig til å utslette restene av det krystalliserte magmahavet og primærskorpen av anortositt.

Planetene Jorda, Venus og Mars har derimot hatt så omfattende geologisk aktivitet helt frem til i dag at vi ikke har mulighet til å observere de tidlige prosessene knyttet til magmahav-krystallisering. Vi vil trolig få enda bedre innsikt i de tidligste prosessene knyttet til planet-dannelse, utskilling av jern-dominerte kjerner og magmahav-krystallisering i løpet av de neste få årene fra studier av planeten Merkur og asteroiden Vesta.

Romsondene MESSENGER (Mercury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging) og Dawn ble skutt opp i henholdsvis 2004 og 2006 og er i fin form på vei til bane-basert kartlegging av henholdsvis Merkur og asteroidene Vesta og Ceres. Den detaljerte kartleggingen av både Merkur og Vesta vil starte i 2011 og vare i ca. et år. Dawn reiser deretter videre til Ceres som skal kartlegges i 2015.

Selv om det nå planlegges nye bemannede romferder til både Månen og Mars, er det ingen tvil om at den mest kostnadseffektive utforskningen av planetene og asteroidene er ubemannede romsonder. Noen hevder at politisk og økonomisk støtte til et omfattende romprogram er avhengig av entusiasme basert på spenningen knyttet til bemannede ferder. Jeg vil imidlertid hevde at dette bare delvis er riktig. Etter min mening har romferge- og romstasjon-programmene skapt svært lite entusiasme i forhold til de gigantiske løpende utgiftene. Ubemannede, og særdeles vellykkede, oppdagelses-ferder som f.eks. Viking, Pioner-10 og -11, Voyager, Galileo og Cassini har skapt svært mye positiv publisitet og entusiasme per investert krone. Vi kan se frem til tilsvarende overveldende og interessante oppdagelser når MESSENGER, Dawn og New Horizons (på vei til Pluto, Charon og Kuiper-beltet) når sine mål.

Referanser:

Elements, vol. 5, Febr. 2009. Spesialutgave om "Scientific exploration of the Moon"

(<http://www.elementsmagazine.org/archives/index.lasso>)

<http://sse.jpl.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Moon>

http://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/40th/index.html

<http://www.nasa.gov/home/index.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Moon>

http://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_exploration

<http://www.forskning.no/artikler/2007/september/1191014734.47>