

Tintin og månerejserne

Flemming Hansen, RadioLab Consulting

Tintins rejse til Månen og optakten hertil blev skildret i to album, der blev tegnet i 1953-54, og som begge udkom på dansk i 1962. Denne artikel vil undersøge tegneren Hergés koncept for en månerejse sammenlignet med realiteterne, som de udfoldede sig med Apollo-missionerne og den senere udforskning af Månen, samt Hergés inspirationskilder.

Hvem satte først sin fod på Månen? Neil Armstrong, der 21. juli 1969 med de berømte ord *“One small step for man, one giant leap for mankind”* skrev sig ind i verdenshistorien?

Nej, alle Hergé-fans ved, at det var Tintin, der i albummet¹ *“Månen tur-retur, 2. del”*, i 1954 kom først. Hergé tegnede i en hyldest til Neil Armstrong, at han blev modtaget på Månen af Tintin, Terry, Kaptajn Haddock og professor Tournesol², se figur 1 [1].

Nå, spøg til side, historien er sluttet. Den 25. august 2012 døde Neil Armstrong 82 år gammel, og han selv og hans enestående heldedåd er nu helt og holdent historie.

I figur 2 er de to scenarier i Hergés koncept og Apollo-missionerne stillet over for hinanden. De grynde billeder af Armstrong, der stiger ned på Månen, Buzz Aldrin på månevandring, hvor Neil Armstrong spejler sig i hjelmens kuppel, og Tintins første skridt på Månen. Hvor fik Hergé sin inspiration fra? Hergé er kendt for at researche sine historier meget grundigt, inden han begynder at tegne for alvor, og i Benoit Peeters’ bog: Hergé – *“Bogen om Tintin og hans skaber”*, [1], nævnes, at Hergé benyttede Alexandre Ananoffs bog: *“L’astronautique”* [2] som sin *“lærebog”* i rumrejser.³

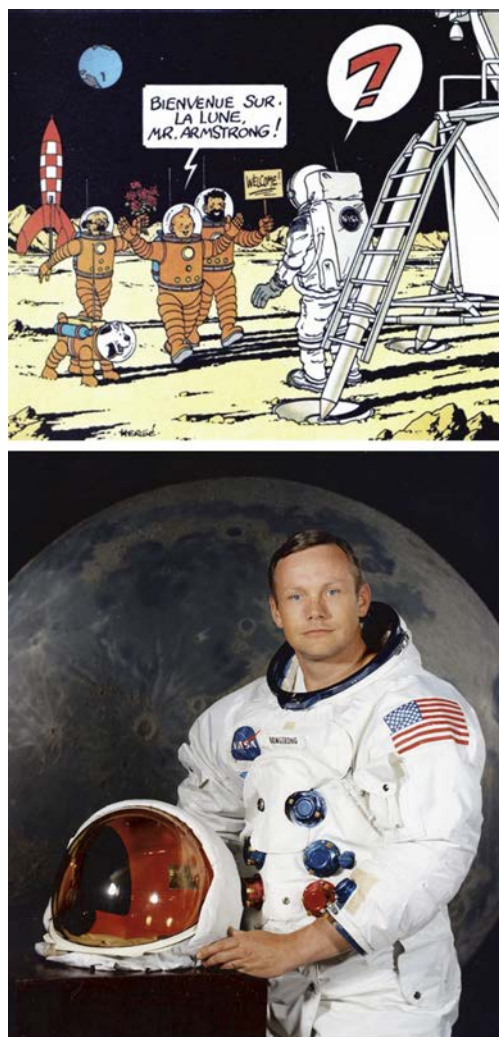
Bogen findes på Det Kongelige Bibliotek, men har tidligere tilhørt Institut Français i København. Bogen bærer præg af, at jeg sandsynligvis var den første låner i de 62 år, der var gået siden dens udgivelse, og som forventet afslørede den rigtig mange detaljer om, hvorfor tingene i Tintin *“Månen tur-retur”* ser ud, som de gør, og det var lidt af en åbenbaring at få mulighed for at studere den nærmere.

Tintins månerejse begynder med, at professor Tournesol er rejst til den sympatiske balkanstat Syldavien for i hemmelighed at udvikle en atomraket, der kan danne grundlaget for en månerejse. Senere slutter Tintin og kaptajn Haddock sig til Tournesol og indvies i planerne. Spioner fra den fjendtligtsindede nabostat Bordurien har farten af, at der foregår noget epokegørende på atomstationen og prøver at intervenere . . .

Inspiration fra V2-raketten

En sjov detalje er, hvorfor den midterste del af kroppen af professor Tournesols raket er bemalet med rødt og hvidt skakbrætmønster. Det siges, at dette er inspireret af tyskernes V2-raketter fra 2. verdenskrig, som havde en lignende bemaling, så man lettere visuelt kunne

konstatere, om de roterede under opsendelsen (figur 3). Faconen på Tintin-raketten virker tydeligt inspireret af en tegning i Ananoffs bog, som viser en V2-raket modificeret til bemandet suborbital flyvning med én astronaut om bord.



Figur 1. Neil Armstrong, 5. august 1930 – 25. august 2012 (NASA-foto) og Hergés tegning (© Hergé/Moulinart 2021).

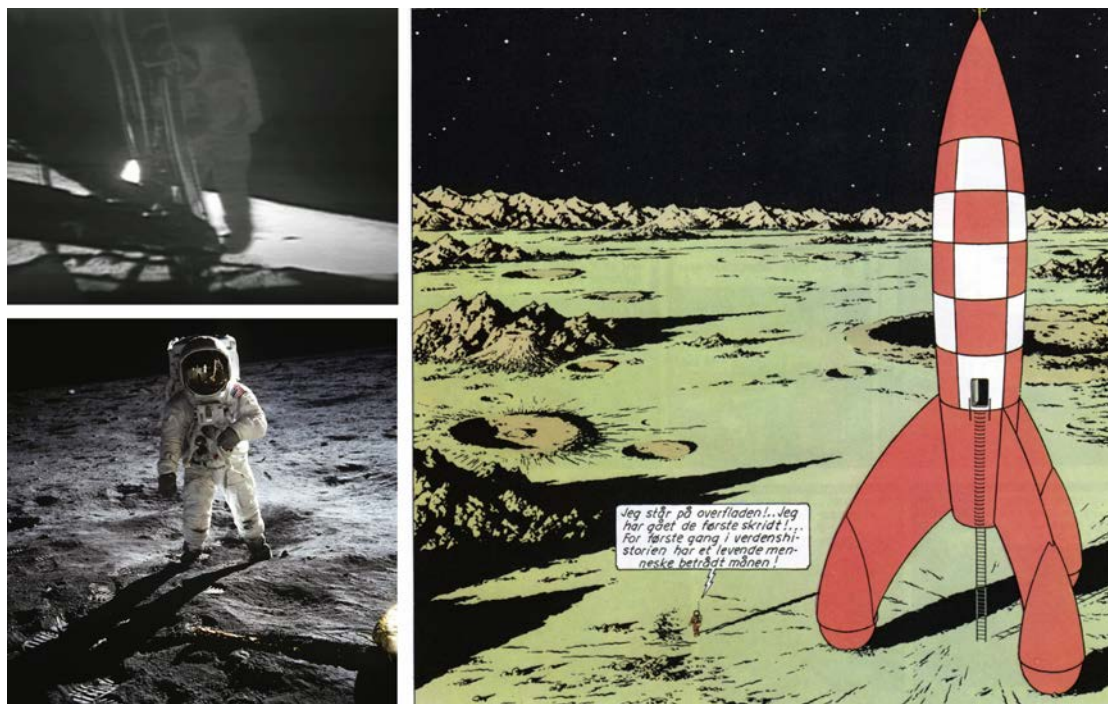
Raketteknologi: Hergé versus Apollo

Af indlysende grunde er der ingen billeder fra et kamera på Månen, mens Apollo 11-landingsfartøjet langsomt daler ned med fuldt blus på bremseraketten og forsigtigt sætter benene på fast månegrund, men metoden for Tin-

¹De franske originaltitler var *“Objectif Lune”* (1953) og *“On a Marché sur la Lune”* (1954). I de nyoversatte album er titlerne henholdsvis: *“Mission til Månen”* og *“De første skridt på Månen.”*

²Alle Hergés tegninger i denne artikel er gengivet med tilladelse fra Hergé/Moulinart.

³Lyt evt. også til podcasten [3].



Figur 2. Neil Armstrong træder ned på måneoverfladen, Buzz Aldrin på månevandring (NASA-fotos) og Tintin på månevandring (© Hergé/Moulinsart 2021).

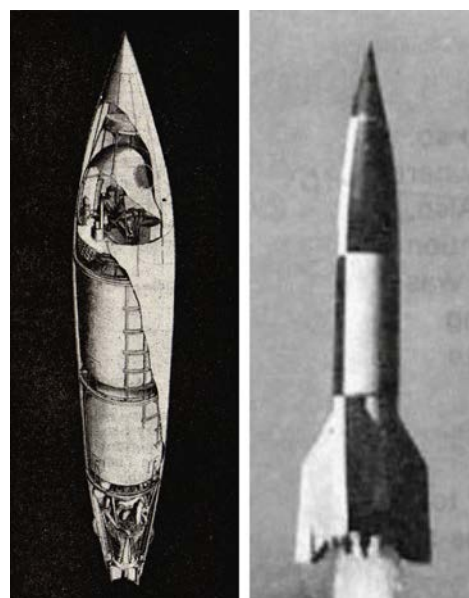
tin og Apollo 11 [4–8] er den samme: en bremseraket. Da der ingen atmosfære er på Månen, er det den eneste måde at bremse fartøjet på. I de sidste kritiske sekunder holdes fartøjet svævende af raketten, mens man sikrer sig, at landingsstedet er uden farlige klippestykker.

Derimod er selve Tintin-raketten og Saturn V-raketten [9] design helt forskellige. Tintin-raketten bygger på et såkaldt “single stage to orbit” (SSTO)-koncept, som er i stærk modsætning til Saturn V-raketten tretrinnskoncept. Det teoretiske fundament for rumfart med raketter blev lagt i starten af det 20. århundrede af den russiske forsker Konstantin Tsiolkovsky [10], som opstillede “raketligningen” (se appendiks) og påviste, at en flertrinnsraket kunne opnå den hastighed på ca. 28.000 km/t, som er nødvendig for at kunne komme i kredsløb om Jorden. Tsiolkovsky fandt også frem til, at det mest effektive drivmiddel er flydende brint og flydende ilt, som brænder fuldstændig rent til vanddamp. Dette benyttedes både i Saturn V-raketten 2. og 3. trin og i rumfærgens hovedmotor og i hovedmotoren i Ariane 5-raketten, som er den europæiske rumfarts arbejdshest.

Netop flertrinnsraketten var nøglen til at kunne sende satellitter op. For at få størst mulig nyttelast sendt i kredsløb er det nødvendigt med flere rakettrin, idet man ellers vil slæbe alt for megen dødvægt i form af næsten tomme brændstoftanke med op. Nyttelasten i forhold til raketten startvægt bliver alt for lille, hvis man forsøger at gøre det med et enkelt rakettrin.

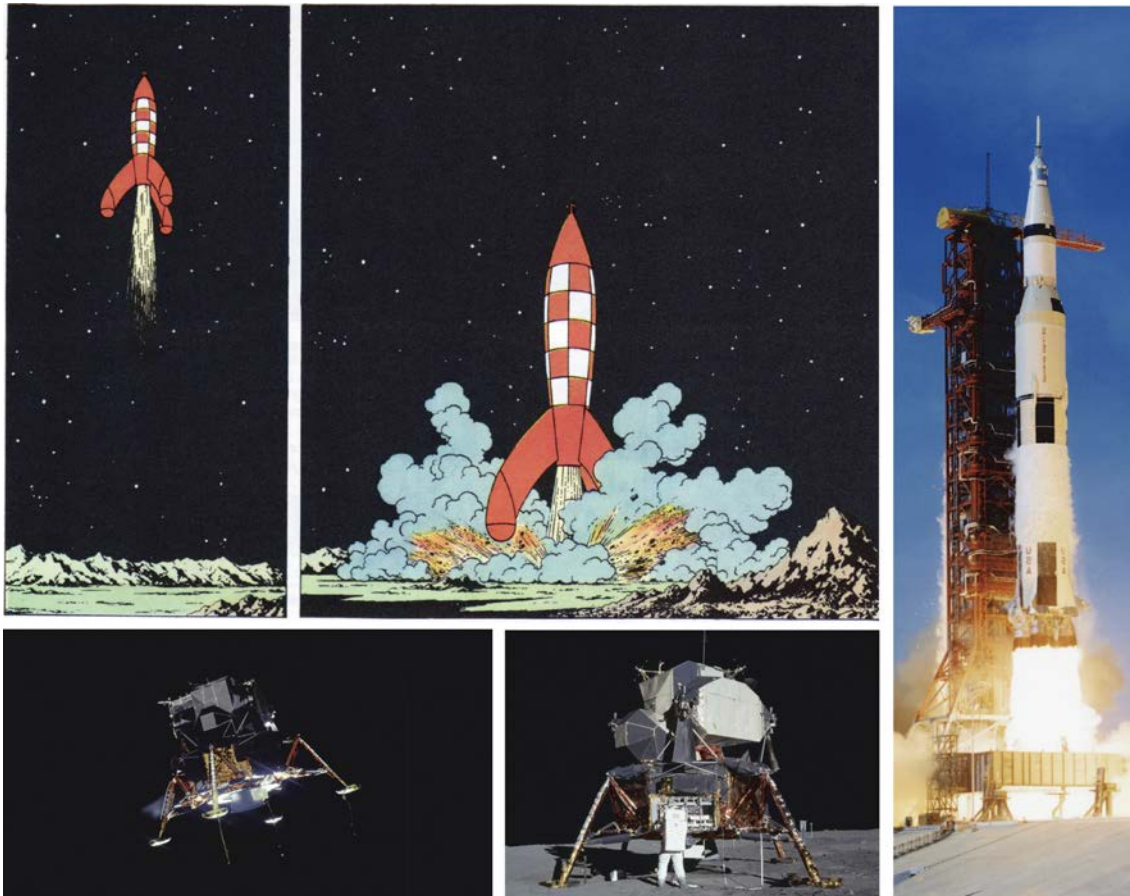
Endnu værre bliver det, hvis man forsøger at rejse til Månen med en SSTO-raket, hvortil hastigheden skal op på næsten 40.000 km/t. Efter at Tintin er landet på Månen og skal rejse hjem til Jorden igen, sætter han derfra med hele fartøjet og lander på Jorden, først med brug af raketten atommotor som bremseraket, og under den sidste del af nedstigningen ved brug af den kemiske raketmotor, i stedet for at bremse op i atmosfæren med

et varmeskjold. Med kemiske drivmidler er dette helt urealistisk, uanset hvilket brændstof/iltningsmiddel, der benyttes. Med Apollo-missionerne er det kun den øverste del af månelandingsmodulet (Ascent Stage), der letter fra Månen, går i kredsløb og sammenkøbes med Apollo-rumkapslen (Command & Service Module – CSM). Efter at de to astronauter og deres nyttelast af måneprøver er kommet over i CSM, frakobles dette og sendes til crash-landing på Månen. Kun Apollo-rumkapslen vender tilbage til Jorden.



Figur 3. Alexandre Ananoff: “L’astronautique” [2] samt V2-raket.

Tournesol-raketten kan kaldes et modificeret SSTO-koncept, eftersom der er både er en kemisk motor, der benyttes tæt på Jorden, og en atommotor, som udsender radioaktive stoffer, der aktiveres over 800 km’s højde.



Figur 4. Apollo 11 “Eagle”-månelandingsmodulet og Saturn V-raketten (NASA-fotos), Tintin-raketten lander på Månen (© Hergé/Moulinsart 2021).

NASA forsøgte i 1990’erne at udvikle en SSTRumfærge “X-33 Venturestar” [11], som afløser for de gamle rumfærger, baseret på en meget avanceret såkaldt “linear aerospike”-raketmotor [12], men måtte opgive projektet i 2001, se figur 5.

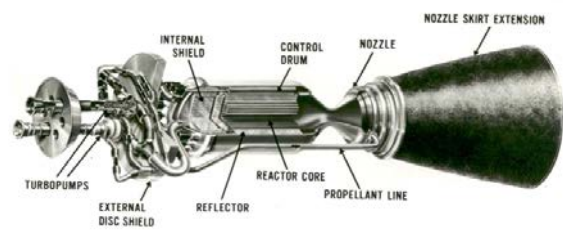


Figur 5. X-33 Venturestar (NASA-illustration).

Atomraketter

En afgørende forskel mellem Saturn V-raketten og professor Tournesols konstruktion er atommotoren, som afsløres i 1. del på side 16, hvor den lille forsøgsraket præsenteres. Tournesol fortæller også, at atommotoren først aktiveres uden for Jordens atmosfære, da der ellers ville opstå en kraftig radioaktiv forurening. Dette er samstemmende med nogle af de typer af atomraketter, der har været på tegnebrættet i tidens løb, men ikke alle.

Den amerikanske Atomic Energy Commission (AEC) igangsatte i 1955 et program kaldet Rover til udvikling af atomraketmotorer [13]. Ved NASAs dannelse i 1958 blev der oprettet en særlig afdeling, Space Nuclear Propulsion Office, der skulle varetage NASAs samarbejde med AEC, men programmet forblev under AEC’s kontrol. Indtil programmets endelige ophør i 1973 konstruerede og testede man adskillige atomraketmotorer.



Figur 6. NERVA-atommotoren (NASA-illustration).

I en kemisk raket er det forbrændingen af drivmidlet, der skaber energien og tryksætter forbrændingskammeret. Raketdysens koniske form accelererer forbrændingsprodukterne op til de udstødes ved dysens munding med høj hastighed. I atommotoren sendes en gas under højt tryk ind i den glødende reaktorkerne, hvor det opvarmes til en meget høj temperatur, accelereres op og udstødes gennem raketdysen.

NERVA-motoren (Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications) var den, der kom tættest på at

være flyveklar som erstatning for Saturn V-raketten 3. trin [14,15]. I [16] er der en fascinerende samling af fantasifulde koncepter for atomraketter.

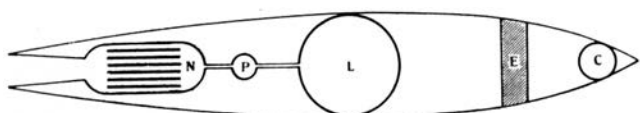


Fig. 52. — L'une des possibilités (?) d'appliquer l'énergie atomique aux fusées. C, cabine; E, écran protecteur; L, liquide (hydrogène, par exemple); P, pompes; N, réacteur nucléaire.

Figur 7. Skitse til atomraketmotor. Alexandre Ananoff: "L'astronautique", side 153.

Ananoffs bog indeholder også et afsnit om atomraketter, som viser, at man i 1950 allerede havde et godt begreb om de grundlæggende principper for disse. Figur 7 viser en atomraketmotor efter samme princip som NERVA-motoren.

Med NASAs planer om at genoptage månerejserne i 2020'erne med Artemis-programmet, og Marsrejser i 2030'erne, er der kommet fornyet interesse for atomraketter [17,18].

Analyse af Tournesols måneraket

Tournesol har til sin raket altså både udviklet en atommotor og en avanceret kemisk raketmotor, der kan løfte fartøjet fri af Jordens atmosfære, inden atommotoren tager over. Sammenlignet med Saturn V-raketten er Tournesols raket en del mindre. Ved hjælp af forsidebilledet på 1. del af tegneserien kan man anslå raketens højde til ca. 55 meter inkl. "spiret", heraf er dog kun ca. 42 meter den egentlige raketkrop, når man fraregner de enorme styrefinner og "spiret". Saturn V-raketten [9] er 110,5 m høj inkl. "Launch Escape System", som er en redningsraket, der kan løfte Apollo-kapslen med astronauterne fri af Saturn V-raketten, hvis der skulle ske et uheld under opsendelsen. Til sammenligning er Københavns Rådhusårn 105,6 m højt.

I Tournesol-raketten skal der være plads til både en kemisk raketmotor, atomraketmotoren, kemisk brændstof og iltningmiddel, flydende brint (hydrogen) til atommotoren (evt. fælles tank med den kemiske raket), månebil, opholdsrum, lagerrum, kontrolrum osv. Hele indretningen kan ses på et "blueprint" på side 35 i 1. del. De store pontoner på styrefinnerne bruges tilsyneladende kun som støddæmpere ved landingen, selv om de kunne gøre nytte som ekstra brændstoftanke.

Tournesols raket er beregnet for fire astronauter, én mere end Saturn V/Apollo: Tournesol, Tintin, kaptajn Haddock, ingeniør Wolff samt Terry, ikke at forglemme, men uheldigvis kommer Dupond og Dupont med ved en fejltagelse, og ligeledes har en bordurisk agent sneget sig om bord for at bemægtige sig raketten. Altså tre personer mere end raketten er designet til. Dette er naturligvis en voldsom ekstra belastning, ikke så meget på grund af den ekstra vægt, men på grund af det ekstra iltforbrug, som det også viser sig under hjemturen.

Vægten af Tournesols raket er ikke opgivet, men den må være betydeligt lettere end Saturn V, lad os sige halvdelen af Saturn V's startvægt på 2800 tons [9], altså 1400 tons. Saturn V's motorer yder ved starten et løft

(thrust) på ca. 3400 tons. Tournesol-raketten halvdelen: 1700 tons eller ca. 17 MN (MegaNewton).

Hvilken atomreaktor skal der så til for at kunne præstere det krævede løft? Godt nok skal atommotoren ikke løfte i begyndelsen, men hvis Tournesol skal kunne lave en månemission med et SSTO-koncept, skal atommotoren nok være lige så kraftig som den kemiske motor.

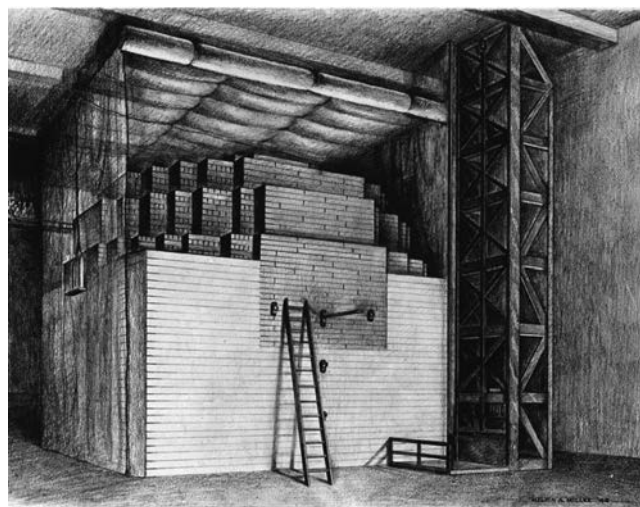
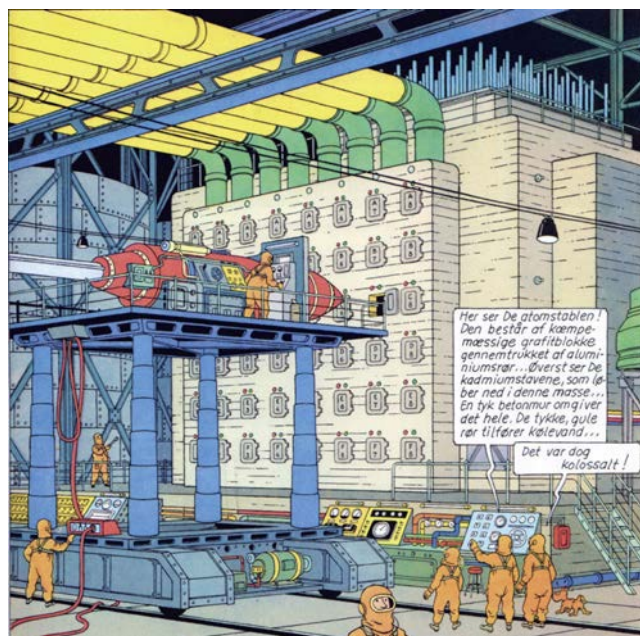
Den effekt, som atommotoren skal levere, kan beregnes som $P = F \cdot I_{sp} \cdot g$, hvor F er løftekræften (thrust), I_{sp} er specifik impuls for det valgte brændstof/iltningmiddel og g er tyngdeaccelerationen $9,8 \text{ m/s}^2$. Specifik impuls har enheden sekunder og udtrykker effektiviteten af brændstof/iltningmiddelkombinationen og kan i en vis forstand sammenlignes med, hvor langt en bil kører på literen.

Saturn V's første trin benytter RP-1-petroleum og flydende ilt med $I_{sp} = 263 \text{ sek}$. Heraf fås:

$$P_{\text{Saturn V}} = 87,7 \text{ GW}$$

og Tournesols raketmotor halvdelen:

$$P_{\text{Tournesol}} = 43,9 \text{ GW}$$



Figur 8. Øverst: Atomreaktoren i Sprodj (© Hergé/Moulinsart 2021). Nederst: Verdens første atomreaktor (atomstabel) på University of Chicago i 1942, [15]. Stigen angiver størrelsesforholdet.

En atomraketmotor er meget bedre til at udnytte drivmidlet, for et sådant er nødvendigt, selv om der ikke sker nogen kemisk "forbrænding" i atommotoren. Det bedste drivmiddel er (flydende) brint.

En kemisk raket med flydende brint og flydende ilt kan opnå en specifik impuls på 453 sek. (rumfærgens hovedmotor – Space Shuttle Main Engine), mens brint, benyttet i en atommotor som NERVA, yder ca. det dobbelte, altså $I_{sp} \approx 900$ sek.

Heraf følger, at vi kan "nøjes" med 263/900 gange mindre effekt i Tournesols atommotor:

$$P_{Tournesol} = 12,8 \text{ GW.}$$

En typisk atomreaktor ligger på ca. 3 GW i termisk ydelse (elektrisk kun ca. 1 GW), og den største atomreaktor, der nogen sinde er blevet bygget, var på ca. 5 GW og blev testet under amerikanernes atomraketmotorprogram. Men Tournesol kan også ting, som andre genier ikke kan!

I [13] omtales også andre typer atomraketmotorer, som er endnu mere effektive, men disse har ikke været afprøvet i praksis. Den mest effektive er en "gas-core engine", og den har, som Tournesols atommotor, den ulempe, at der slipper radioaktive stoffer med ud. Til gengæld kan den specifikke impuls nå op på 3000-5000 sek. Tager man værdien midt i intervallet, kan man "nøjes" med en reaktor på $\sim 2,9$ GW, hvilket er tættere på noget, som lader sig realisere.

Billedet på side 13 i 1. del af Månen tur-retur viser atomreaktoren på den syldaviske atomforskningsstation

Sbrodj og minder utroligt meget om billedet af verdens første "atomstabel" [19,20] på University of Chicago i 1942 (figur 8). Betegnelsen "atomstabel" (nuclear pile) blev brugt om de første reaktorer, eftersom de bestod af en enorm stabel grafitblokke, som omsluttede reaktorkernen, der bestod af "briketter" af urandioxid (UO_2). Grafitblokkene virker som en moderator, der bremser neutronernes hastighed, hvilket er nødvendigt for at få kædereaktionen til at forløbe. Denne første atomreaktor var en del af Manhattanprojektet, som førte til udvikling af atombomben.

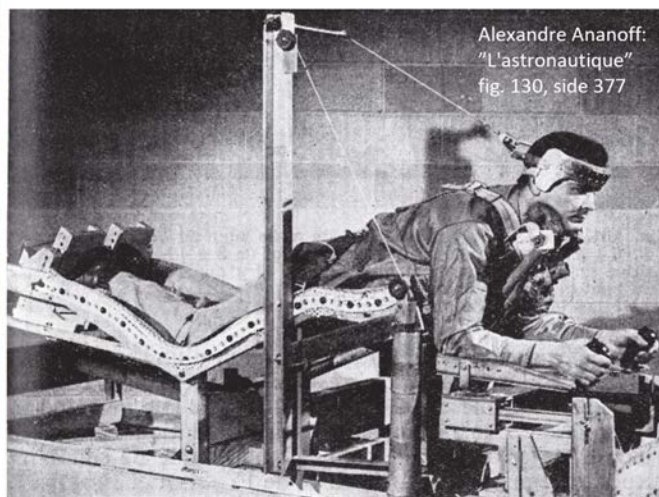
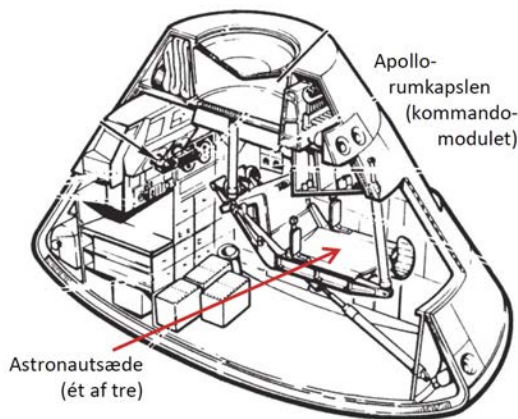
Atomteknologien i det tidsrum, hvor Hergé tegnede Månen tur-retur, var ikke så avanceret, at man kunne lave en Tournesol-atomraket, men efter 2. verdenskrig gik det ellers stærkt med udviklingen af atomreaktorer. Det første civile atomkraftværk blev taget i brug i Rusland i 1954, og det første kommercielle værk i England i 1956.

Kryogene raketdrivmidler

Kryogene drivmidler er stoffer, der er kølet ned til meget lave temperaturer for at blive flydende, så de kan opbevares og transporteres uden at fylde for meget. Flydende brint er som nævnt det mest effektive brændstof sammen med flydende ilt. Også i atomraketmotoren er brint det mest effektive drivmiddel. Der er bare den ulempe ved flydende brint, at det er afsindigt koldt, -253°C (20 K), og fylder enormt meget. Vægtfylden er 70,9 g/ltr, hvilket er ca. 14 gange lettere end vand. Der-



Et kig ind i Apollo 9 kommandomodul, San Diego Air & Space Museum, [21]



Phot. Ass. Press.

Figur 9. Tintin-astronautsæderne (© Hergé/Moulinsart 2021), Alexandre Ananoffs forlæg, samt Apollo-astronautsæderne (NASA-tegning).



Figur 10. Dupond og Dupont på månevandring (© Hergé/Moulinart 2021), Apollo-rumdragten yderst og inderst (NASA-fotos), samt Alexandre Ananoffs “scaphandre martien”.

for vil tanken med flydende brint være meget større end tanken med flydende ilt, selv om massen af den flydende ilt er meget større, for at opnå det rette 1:8 vægtforhold mellem brint og ilt. Flydende ilt har temperaturen -183°C (90 K), og vægtfylden er 1141 g/ltr, altså lidt tungere end vand. Uanset om der er en tyk superisolering uden på brændstoftankene, står de to væsker og småkoger hele tiden, og derved tabes drivmiddel. Derfor egner flydende ilt/brint sig ikke til at lagres i lang tid i en raket.

Apollo-rumkapslen (Service Module) med raketten, der skal sende astronauterne tilbage til Jorden, benytter aeroxine og nitrogen-tetroxid (NO_4) som brændstof og iltningmiddel. Aeroxine er en blanding af hydrazin (N_2H_4) og usymmetrisk dimethylhydrazin (UDMH – $\text{H}_2\text{NN}(\text{CH}_3)_2$). Både dette og NO_4 er giftige stoffer, men fremragende som raketbrændstof, da de er flydende ved almindelige temperaturer og kan holde sig i tankene i årevis. Derfor benyttes de i udstrakt grad i satellitter, som har brug for at korrigere banen gennem deres levetid. Efterhånden er der dog udviklet ugiftige alternativer, som tages i brug i nye satellitter.

Astronautsæderne

Det har altid været en gåde for mig, hvordan Hergé havde fundet på, at Tournesol & co. skulle ligge på maven under opsendelsen i stedet for på ryggen med løftede ben og fuldkrops-understøttelse som alle andre astronauter og kosmonauter, vi kender (figur 9). Under den kraftige g-påvirkning under opsendelsen (op til ca. 4g for Saturn V [9]) er det næsten umuligt at løfte hovedet, og selv om det skulle lykkes, ville de besvime efter kort tid, fordi blodet presses bort fra hjernen. Ikke noget godt design. Læsning af Alexandre Ananoffs bog bragte klarhed på side 377 med et koncept, der er Storm P. værdigt (figur 9). Hergé har brugt det viste koncept, men hagestøtten er erstattet af en pude, og “pandebåndet” er udeladt. Den rygliggende stilling er unægteligt noget enklere og giver ligeledes astronauterne i et vist omfang mulighed for at betjene kontrolpanelet under opstigningen. Det kan astronauten ganske vist også på billedet i Ananoffs bog, men det er

et stort spørgsmål, om han vil kunne undgå at besvime under g-påvirkningen.

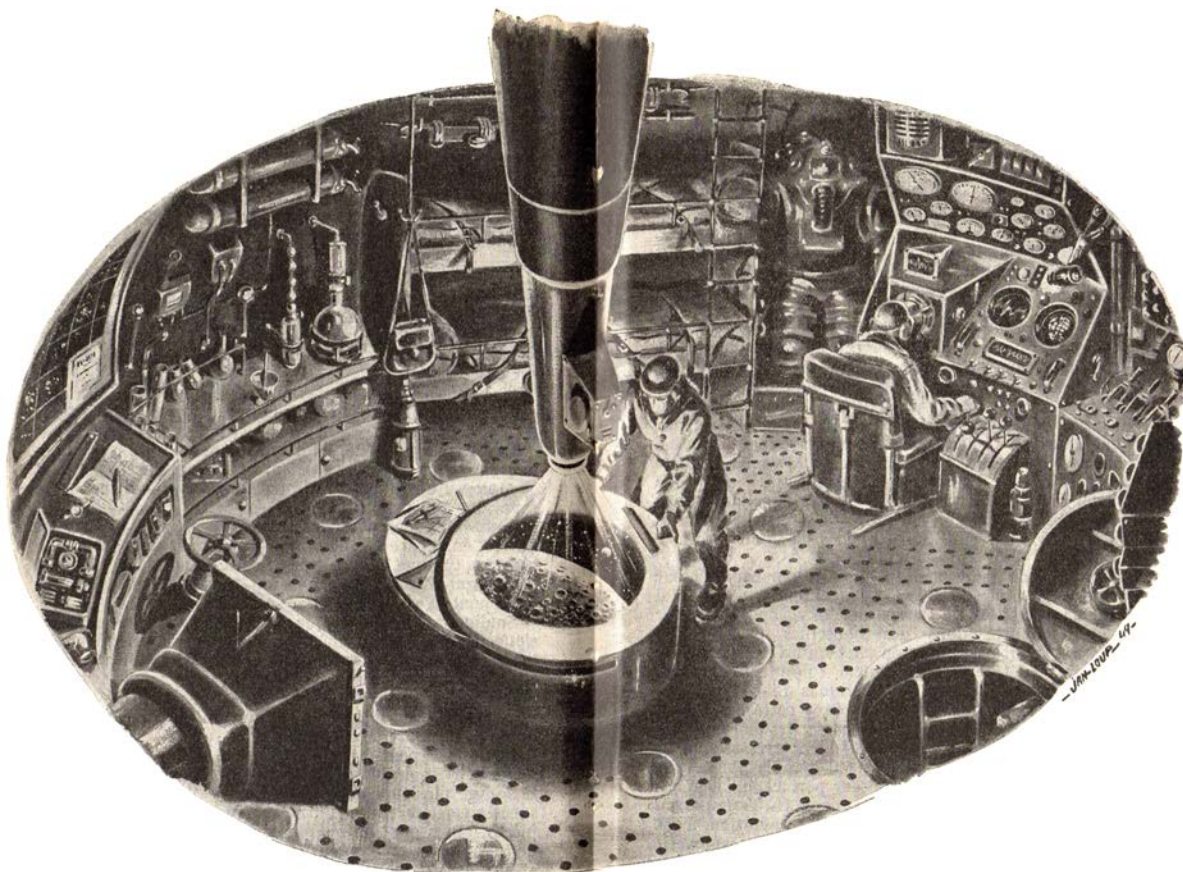
Rumdragterne

Når man ser rumdragterne, som Tintin & co. bærer på Månen, tænker man mere på en Michelin-mand end på en Apollo-astronaut. Dette har igen sin oprindelse fra Alexandre Ananoff (figur 10 øverst til højre). Samme billede findes i Nicholas de Monchauxs utroligt spændende bog “Spacesuit: Fashioning Apollo” [22], hvor Apollo-rumdragtens tilblivelse skildres. Her kaldes rumdragten “wormsuit”, mens Alexandre Ananoff nævner, at en “scaphandre martien” (Mars-rumdragt) nok ville ligne den viste “scaphandre stratosphérique” – en dragt til stratosfæreflyvninger.

Ifølge de Monchaux [23] blev designeren af dragten inspireret af en “tomato worm”. Her i landet ville vi nok vælge en kålorm som forbillede, men princippet med de ringformede udbulninger sikrer, at dragten er medgørlig, selv om der er atmosfæretryk indeni og vakuum udenfor. Princippet kendes også fra støvsugerslanger, drænslanger og lignende, der er både stive og fleksible på én gang og ikke klapper sammen, når støvsugeren kører, eller der kastes jord på drænet. Dette kaldes også en “korrugeret” slange.

Meget overraskende blev Apollo-rumdragten ikke udviklet af et rumfirma, men af International Latex Corporation, der med varemærket “Playtex” er kendt for at lave hofteholdere, BH’er og andet lingeri.

Apollo-rumdragten A7L [24] ligner, bortset fra hjelmen, slangerne og “rygsækken” med “life support system”, mere de flyverdragter, små børn iføres om vinteren, men dette er faktisk vildledende, idet der indenunder den hvide overtræksdragt skjuler sig en dragt, det minder om “wormsuit”, og som giver bevægelsesfrihed, uden at dragten pustes op som en ballon (figur 10). “Glasboblen” bæres indenunder den ydre hjelm, som skærmer mod Solen, og som er den, man kender fra Apollo-billederne. Den yderste dragt beskytter mod mikrometeoritter, og den hvide farve sørger for, at astronauten ikke overophedes af det stærke sollys på Månens dagside.



Figur 11. Alexandre Ananoffs kontrolrumsdesign.

Kontrolrummet

Til udformningen af kontrolrummet eller “flight deck” har Hergé også haft næsen i Ananoffs bog, der har et vidunderligt dobbelttopslag med et kontrolrum til et “astronef” (stjerneskip) efter Ananoffs design og udført af en tegner ved navn Jean Loup (figur 11). Igen er ligheden iøjnefaldende, men Hergé har selvfølgelig fortolket forlægget i henhold til sine egne idéer (figur 12).

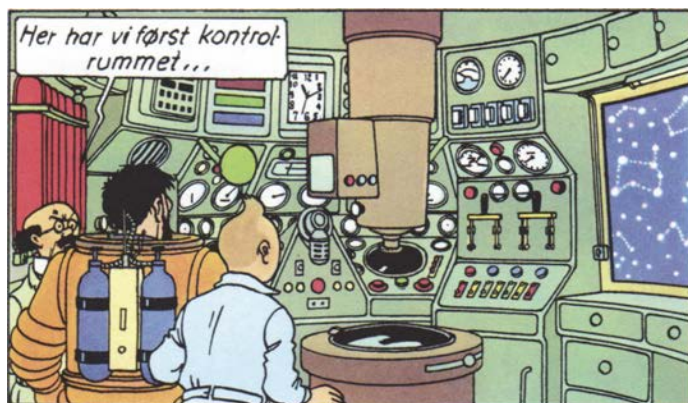
Måne bilen

Tintins månerejse og de sidste Apollo-missioner (15, 16 og 17) har også det til fælles, at de begge medbragte en månebil. Mens Apollo-roveren mest ligner en “beach buggy” til to personer, får Tournesols månebil design én til at tænke mere på en kampvogn (figur 13). Det

enormt tunge køretøj er formodentlig fragtet til Månen i adskilt stand i de kasser, som kaptajn Haddock hejser ned på måneoverfladen. Det fremgår også af Tournesols dagbog den 3. juni kl. 23:45: “Kaptajn Haddock og Tintin monterer tanken”, og allerede den 5. juni kl. 19:20: “Kaptajnen har lige meddelt os, at tanken er klar til at køre”.

Vand på Månen

Hvad var det så, den store opdagelse, som Tintin gjorde på Månen? Ja, han fandt is dybt nede i en månegrotte (figur 14), længe før NASAs satellitter bekræftede, at der med stor sikkerhed er vand/is på Månen. NASAs satellitter kan dog ikke kigge ned i månegrotter (se dog nedenfor), men kigger i stedet ned i dybe kratere omkring Månens poler, hvor Solen aldrig skinner. På grund af Månens mangel på atmosfære vil vand kun

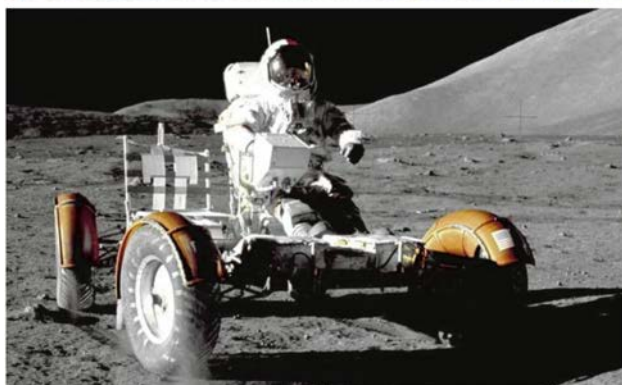


1. del side 44



2. del side 5

Figur 12. Tournesol fremviser kontrolrummet i måneraketten (© Hergé/Moulinsart 2021).



Figur 13. "Tanken" (© Hergé/Moulinart 2021) og Apollo 17-måne bilen, som er betydeligt lettere (NASA-foto).

kunne eksistere som is, dybt nedkølet til i nærheden af -200°C på steder med evig skygge. Eksistensen af månegrotter kendte man ikke til på Apollo-missionernes tid.

NASA har haft flere satellitter i kredsløb om Månen i de seneste år for at kortlægge Månens geologi og fotografere hele dens overflade i meget høj opløsning som forberedelse til næste generations månefærd og evt. etablering af en permanent månebase.



Figur 14. Tintin finder vandis i en månegrotte (© Hergé/Moulinart 2021).

Den første satellit, der fandt tegn på frossent vand i dybe kraterer ved polerne, var SDI-NASA Clementine opsendt af NASA og Strategic Defense Initiative (SDI) i 1994. Ved hjælp af en radar om bord fandt man tegn på brint-rige mineraler. En kandidat til radarsignaturen er kulbrinter, som imidlertid ikke findes på Månen, idet der aldrig har været et hav, hvor organiske sediment

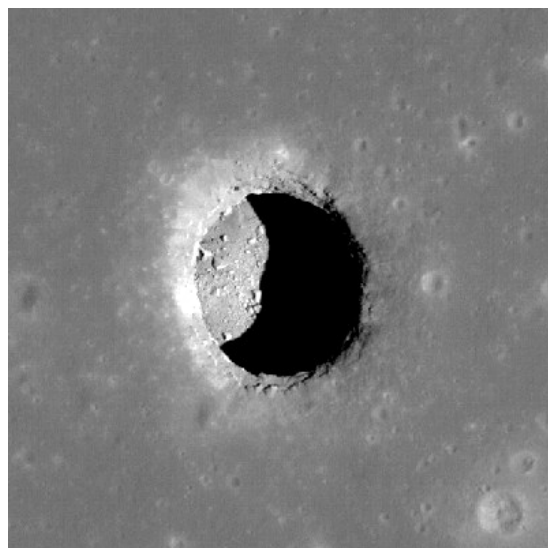
har kunnet omdannes til olie og naturgas. Derfor er der af kendte stoffer kun vand med et så stort indhold af brint, at det giver en kraftig radarsignatur.

Lunar Prospector, opsendt af NASA i 1998, havde et såkaldt neutronspektrometer om bord, og med dette instrument fik man bekræftet Clementines målinger og kortlagt forekomsterne mere detaljeret. I oktober 1999 havde Lunar Prospector opfyldt sin mission, og man dirigerede den til en kontrolleret nedstyrtning i et krater nær Månens sydpol i det håb, at der ville frigøres en sky af vanddamp, som kunne registreres med instrumenter fra Jorden. Dette eksperiment viste ingen forekomst af vand, og forskerne var skuffede.

Næste forsøg på at styrke udforskningen af vand på Månen kom med NASA-satellitten LCROSS (Lunar CRater Observation and Sensing Satellite). NASA havde ladet raketens øverste trin følge med i kredsløb om Månen, og i oktober 2009 lod man dette rakettrin styrte ned i krateret Cabeus nær Månens sydpol, mens LCROSS og teleskoper fra Jorden registrerede den sky, der blev frigivet ved "crash"-landingen. Denne gang blev tilstedeværelsen af vanddamp i skyen og dermed is på bunden af krateret bekræftet [25,26].

Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) opsendtes den 18. juni 2009 med det formål at fotografere og kortlægge Månens overflade i hidtil uset detaljeringsgrad. Fra en bane i 50 km's højde kan dens kamera skelne detaljer på $\frac{1}{2}$ meter. Dens meget lave bane er selvfølgelig kun mulig, fordi Månen ikke har nogen atmosfære.

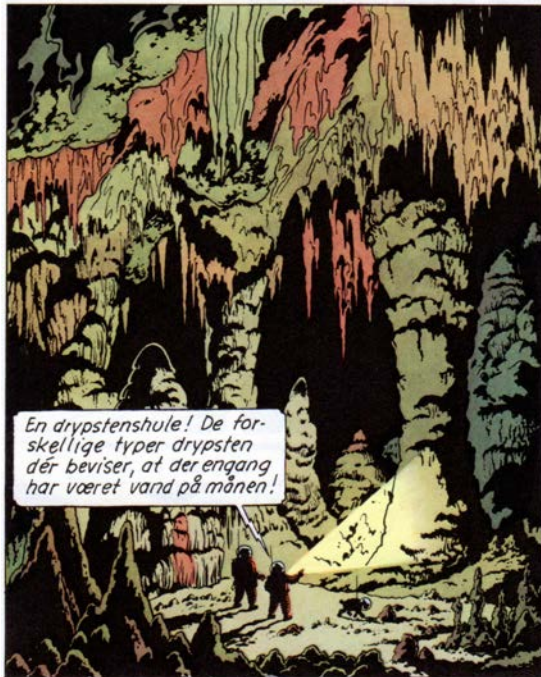
Forekomsten af vand på Månen gør en fremtidig etablering af en månebase meget mere bæredygtig, men der forestår et omfattende udviklingsarbejde for at finde metoder til udvinding af isen i de ultrakolde, mørke omgivelser på bunden af kraterne.



Figur 15. Månegrotte fotograferet af NASAs LRO-sonde.

Månegrotter

Som nævnt ovenfor var månegrotter ukendte indtil for nylig, men dette ændredes, da den japanske månesonde Kaguya fotografere et "hul i Månen" i 2009. Efter opsendelsen af Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) fik man et kamera med meget større opløsning, som har ført til et detaljeret kig ned i hullet [27].



Figur 16. Tintin i månegrotten (© Hergé/Moulinsart 2021).

Det overraskende var, at der var “huller” i Månens overflade med dragende kig ned i dybe grotter. Figur 15 viser grotten i Mare Ingenii, og det vil kræve avanceret bjergbestigerudstyr at komme ned i grotten, idet hullet er ca. 65 m i diameter og 80–90 m dybt. Forskerne mener, at hullet er et lavarør, hvor lava en gang har strømmet under en størknet overflade, som efter lavaudtømmningen er styrtet sammen. Man kan ikke se på disse billeder, om hullet i måneoverfladen bare er et enligt hul. Et system af grotter, som det Tintin og kaptajn Haddock træder ind i på figur 16, kan man derfor ikke bekræfte, men fra lignende formationer og på Jorden ved man, at det sandsynligvis vil være tilfældet også på Månen. En grotte kan være et godt sted at placere en fremtidig månebase. I grotten vil man være beskyttet mod de enorme dag/nat-temperaturudsving på måneoverfladen og være afskærmet mod den kosmiske stråling fra rummet samt udbrud af energirige elementpartikler fra Solen.

Bedømt ud fra lignende formationer af lavarør her på Jorden er det ikke utænkeligt, at der kan møde fremtidige astronauter et syn som det, der mødte Tintin og kaptajn Haddock. Dog vil det ikke være drypsten, de vil se i grotten, men lavaformationer, der kan ligne dem på Hergés tegninger. Lavarørgrotter findes fx på Lanzarote og Hawaii, i Island, Californien og Sydkorea.

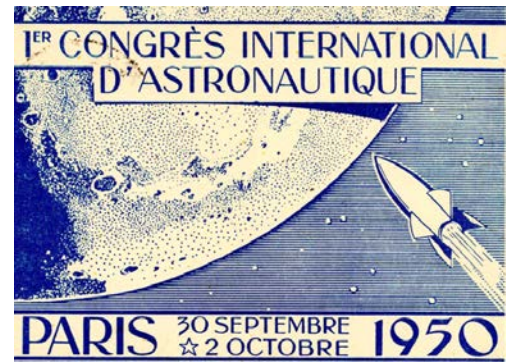
Hergé har også hentet inspiration til grotterne og månelandskaberne hos den fascinerende amerikanske science fiction-kunstner Chesley Bonestell, [28], som i samme periode malede mange billeder af fiktive rumrejser og landskaber på Månen og andre planeter [29].

Alexandre Ananoff, International Astronautical Federation og “den danske forbindelse”

At Alexandre Ananoff er tæt forbundet med Hergé og “Månen tur/retur” må stå klart, når læseren er nået hertil i denne artikel, men at der også er en forbindelse

til Danmark, er nok noget, de fleste ikke umiddelbart forestiller sig.

Alexandre Ananoff tog i 1950 initiativ til at afholde den første “International Astronautical Congress” (IAC) i Paris fra den 30. september til 2. oktober 1950 (figur 17) [30].



Figur 17. Plakaten fra den første “Congrès International d’Astronautique”.

Til stede var 18 repræsentanter fra syv lande, heriblandt Danmark, som mødtes i *l’Aero-Club de France* med det formål at undersøge, om man kunne danne et selskab til styrkelse af fremtidigt internationalt rum-samarbejde.

Man nåede til enighed, og på et møde et år senere i British Interplanetary Society (BIS), London, grundlagde man International Astronautical Federation (IAF).

IAC har været afholdt hvert år lige siden 1950. Den sjette kongres blev afholdt i København den 2.–6. august 1955.

Det fortælles også om Alexandre Ananoff, at han var meget inspireret af Konstantin Tsiolkovski [10], og at det var denne inspiration, der var hans drivkraft til at gøre en stor indsats for at fremme rumfarten. Ananoff er født i 1910 i Tbilisi, Georgien, og døde i 1992. Én af de 18 delegerede på mødet i Paris var “Mr. Hansen” fra Danmark. Han var repræsentant for Dansk Selskab for Rumfartsforskning (DSR), som blev stiftet 20. september 1949 med det formål at udbrede kendskabet til og viden om rumfart i det danske samfund, og som stadig er i fuldt vigør. På denne måde var Danmark med i rumalderen fra første færd som stiftende medlem af IAF, og DSR er stadig stemmeberettiget medlem af IAF.

En nærmere efterforskning af “Mr. Hansen” har ved hjælp af de tidligere formænd for DSR, Steen Eiler Jørgensen og Thomas A.E. Andersen godtgjort, at “Mr. Hansen” er Leo Hansen, én af stifterne af DSR. Leo Hansen (1905-1983) var civilingeniør og ansat i Københavns Belysningsvæsen det meste af sin karriere, men gjorde gennem DSR en stor indsats for at udbrede kendskabet til rumfart. Det ses bl.a. ved en artikel i “Ingeniøren” den 27. januar 1951 med den lidt spøjse titel “Uden for jordatmosfæren” [31]. Leo Hansen var også aktiv i dansk tv’s spæde begyndelse, hvor han den 13. oktober 1951 optrådte sammen med observator, mag.scient. Julie Vinter Hansen, Københavns Universitets Astronomiske Observatorium, og professor i maskinlære Johan Ludvig Mansa, Polyteknisk Læreanstalt (nu DTU), i udsendelsen “Rejse i rummet”.

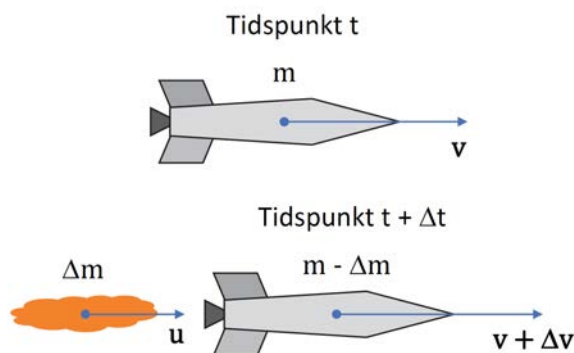
Litteratur

- [1] B. Peeters (1983) Hergé – Bogen om Tintin og hans skaber (originaltitel: “Le Monde d’Hergé”), Carlsen Comics.
- [2] A. Ananoff (1950): “L’astronautique”, Collection “Savoir”, Librairie Arthème Fayard, Paris.
- [3] Alexandre Ananoff, l’homme qui inspira Hergé pour “On a marché sur la lune”, Podcast, (fransk tale), www.franceculture.fr/emissions/les-nuits-de-france-culture/alexandre-ananoff-lhomme-qui-inspira-herge-pour-a-marche-sur-la-lune
- [4] Apollo 11: da.wikipedia.org/wiki/Apollo_11
- [5] Apollo 11: www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo11.html
- [6] Generelt om Apollo-missionerne: www.nasa.gov/mission_pages/apollo/index.html
- [7] Apollo-programmet: en.wikipedia.org/wiki/Apollo_missions
- [8] “One small step for man, one giant leap for mankind” www.hq.nasa.gov/alsj/a11/a11v.1092418-0354.avi
- [9] Saturn V: en.wikipedia.org/wiki/Saturn_V
- [10] Konstantin Tsiolkovsky: en.wikipedia.org/wiki/Konstantin_Tsiolkovsky
- [11] Venturestar: en.wikipedia.org/wiki/VentureStar
- [12] Aerospike engine: en.wikipedia.org/wiki/Aerospike_engine
- [13] Nuclear Thermal Rocket: en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_thermal_rocket
- [14] NERVA: en.wikipedia.org/wiki/NERVA
- [15] Nukleare Antriebe: www.bernd-leitenberger.de/nukleare-antriebe.shtml
- [16] Atomic Rockets: www.projectrho.com/public_html/rocket/enginelist.php
- [17] New Space Race: www.satnews.com/story.php?number=725854493
- [18] Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations, DRACO: www.darpa.mil/program/demonstration-rocket-for-agile-cislunar-operations
- [19] Chicago Pile-1: en.wikipedia.org/wiki/Chicago_Pile-1
- [20] Nuclear reactor: en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor
- [21] Apollo 9 command module, San Diego Air & Space Museum: www.flickr.com/photos/sortingoutsience/5300684998/
- [22] N. de Monceaux (2011) “Spacesuit – Fashioning Apollo”, MIT Press.
- [23] N. de Monchaux (videoforedrag) “Spacesuit: Fashioning Apollo”. Ca. 29 min. inde i foredraget fortælles, at designeren af dragten blev inspireret af en “tomato worm”. www.youtube.com/watch?v=Slr3f4bkLYg
- [24] Apollo/Skylab A7L Space Suit: en.wikipedia.org/wiki/Apollo/Skylab_A7L
- [25] LCROSS Finds Water on the Moon: science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/13nov_lcrossresults
- [26] Lunar Impact Uncovered More Than Just Moon Water: science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/21oct_lcross2
- [27] LRO Takes Closer Look at Moon Caves: www.universetoday.com/73659/lro-takes-closer-look-at-moon-caves
- [28] Chesley Bonestell: www.bonestell.org
en.wikipedia.org/wiki/Chesley_Bonestell
- [29] M. Farr (2015) “En rejse gennem Hergés univers”, Forlaget Cobolt.
- [30] Il y a 70 ans, à Paris, le premier Congrès international d’astronautique: www.air-cosmos.com/article/il-y-a-70-ans-paris-le-premier-congrs-international-dastronautique-23674
- [31] L. Hansen (1951) “Uden for jordatmosfæren”, Ingeniøren, nr. 4, 27. januar 1951, 60. årgang, side 104-106.

Appendiks: Raketligningen

I det følgende opstilles Raketligningen eller rettere ligningerne, for der er faktisk to af dem: Tsiolkovskys og den, der udtrykker raketens løftekraft.

Den første baserer sig på impulsbevarelse, når forbrændingsgasserne udstødes fra raketdysen. I øverste del af illustrationen har vi til tidspunkt t en raket med massen m (raket + brændstof) og hastigheden v . Raketens impuls er $p = mv$. I nederste del, til tidspunkt $t + \Delta t$, har raketten udstødt massen Δm , som bevæger sig med hastigheden u , og raketten har nu hastigheden $v + \Delta v$. Alle hastigheder er set i forhold til observatøren.



Om det er vandmolekyler fra forbrænding af brint og ilt, eller det er tennisbolde, man skyder bagud, er ligegyldigt. Fysikken er den samme.

Eftersom vi er langt fra alle tyngdefelter, og der ikke virker eksterne kræfter på systemet, må systemets samlede impuls være den samme til t og $t + \Delta t$, eller $\Delta p / \Delta t = 0$, hvor Δp er ændringen i impuls. Dette udtrykkes:

$$\Delta p = [(m - \Delta m)(v + \Delta v) + \Delta m \cdot u] - mv = 0$$

Dividerer vi igennem med Δt og foretager grænseovergangen $\Delta t \rightarrow 0$ får vi:

$$\frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} = -(u - (v + \Delta v)) \frac{dm}{dt}$$

Størrelsen $(u - (v + \Delta v))$ er hastigheden af udstødningssgasserne i forhold til raketten, og hvis vi indfører et fortegnsskift, så den regnes positiv og kalder den v_x (exhaust velocity), samt konstaterer, at dv/dt er accelerationen, og at masse gange acceleration er kraft, får vi:

$$F = m \frac{dv}{dt} = m \cdot a = v_x \frac{dm}{dt} = v_x q$$

hvor a er accelerationen, og q er masse-flowet i kg/sek. af forbrændingsgasserne ud af raketdysen.

Omskriver man ligningen lidt og integrerer den, kan man beregne hastighedstilvæksten for et givet forbrug af brændstof :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v_x}{m} \frac{dm}{dt}$$

Der ganges igennem med dt på begge sider og integreres fra starthastigheden v_0 til v_1 og massen fra m_0 til m_1 :

$$\int_{v_0}^{v_1} dv = -v_x \int_{m_0}^{m_1} \frac{dm}{m}$$

Minustegnet skyldes, at $m_0 > m_1$, dvs. vi taber masse (forbruger brændstof) ved accelerationen. Til arbitrært tidspunkt t har raketten opnået hastigheden v_1 :

$$v_1 = v_0 + v_x \ln \left(\frac{m_0}{m_1} \right) \Rightarrow \Delta v = v_1 - v_0 = v_x \ln \left(\frac{m_0}{m_1} \right)$$

Dette er Tsiolkovskys raketligning.⁴ Konventionen omkring raketligningen er, at man benytter specifik impuls til at karakterisere brændstof/iltningmiddel-kombinationen i stedet for v_x , således at: $v_x = I_{sp} \cdot g$, hvor I_{sp} kaldes den specifikke impuls, og $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ er standard tyngdeaccelerationen. Dette er retteligt et matematisk trick, så I_{sp} får enheden sekunder, hvorved man undgår diskussioner om talværdier, uanset om man bruger et pound-foot-second-enhedsystem eller SI-enheder.

Betegner man den forbrugte mængde af brændstof $m_p = m_0 - m_1$ og hastighedstilvæksten $\Delta v = v_1 - v_0$, kan man omskrive ligningen til:

$$m_p = m_0 \left(1 - e^{-\frac{\Delta v}{I_{sp} \cdot g}} \right).$$

Når man taler om raketopsendelser og manøvrer i rummet, taler man hele tiden om "delta-v", hvor stor en hastighedsændring en manøvre kræver (ligeegyldigt om hastigheden øges eller mindskes). Det vil føre for vidt her at lave en beregning af hele månerejsen fra start til slut. Beregning af opstigningen gennem atmosfæren inklusiv luftmodstand under påvirkning af Jordens tyngdefelt og banens udformning er betydeligt mere kompliceret. Et enkelt eksempel skal dog diskuteres:

Nedstigning fra en bane omkring Månen til landing på måneoverfladen kræver et delta-v på: $\Delta v = 2100 \text{ m/s}$, og det samme for at komme væk derfra igen. Hvis vi antager, at Tournesol benytter atommotoren med et $I_{sp} = 4000 \text{ s}$ under hele nedstigningen (se hovedteksten), og at raketens masse er 900 tons efter at have brugt anslået 500 tons af brændstoffet til turen fra Jorden til Månen, får vi: $m_p = 46,9 \text{ tons}$, og det er jo ikke afskrækkende. Til gengæld må Tournesol regne med, at der er radioaktiv forurening af landingsstedet, og det er jo ikke så godt. Derfor vil han nok bruge den kemiske raketmotor til det sidste stykke.

Den sidste raketligning udtrykker løftkraften af en raketmotor med alle bidrag:

$$F = q \cdot v_x + A_e (P_e - P_a) = q \cdot I_{sp} \cdot g + A_e (P_e - P_a)$$

hvor A_e er raketdysens åbningsareal, P_e er forbrændingsgassernes tryk ved raketdysens åbning, og P_a er trykket i raketens omgivelser. Der er således i forhold til udledningen ovenfor et ekstra bidrag i form af et ukompenseret tryk ved raketdysens åbning. Inden i raketdysen og forbrændingskammeret vil væggenes reaktion kompensere gassernes tryk, og netto er der ingen kraft. Af denne ligning kan man også konstatere, at en raket, alt andet lige, virker bedst i vakuum.



Flemming Hansen er ph.d. og seniorkonsulent inden for satellitkommunikation, satellitnavigation og rumteknologi. Indehaver af RadioLab Consulting (fh@radiolab.dk).

PFEIFFER VACUUM

Nyhed

Oliefri vacuumpumpe - HiScroll (6-20 m³/t)
Ekstrem lyd- og vibrationsvag
pumpe med kompakt design



Tlf. 3166 8708
Lars.Scholte@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com

⁴en.wikipedia.org/wiki/Tsiolkovsky_rocket_equation