

ZÁKLADNÍ ZÁPIS CIOLKOVSKÉHO ROVNICE:

$$v_{\text{char}} = w \cdot \ln(m^s/m^k)$$

kde:

v_{char} – přírůstek rychlosti nebo také charakteristická rychlost [m/s]

w – výtoková rychlost plynů [m/s]

m^s – startovní hmotnost rakety [kg]

m^k – konečná hmotnost rakety [kg]

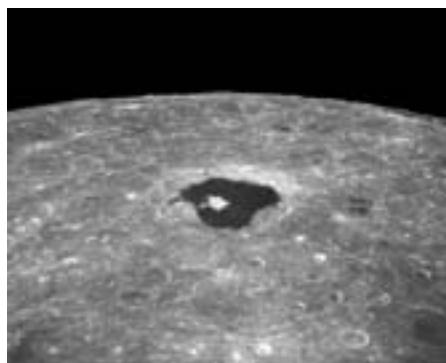
Z této základní rovnice můžeme po úpravách vypočítat celou řadu parametrů rakety, tím nejzákladnějším je charakteristická rychlost rakety. Samozřejmě celý zápis je značně zjednodušen a opomíjí mnoho fyzikálních dějů a vlastností.

Nicméně z Ciolkovského rovnice vyplývá, že konečná rychlost je nejvíce ovlivňována výtokovou rychlostí plynů z motoru a dále poměrem startovní hmotnosti ku konečné hmotnosti, který je označován jako Ciolkovského číslo C . Rozdíl v hmotnosti je většinou několikanásobný a představuje z největší části palivo a oxidličovadlo v nádržích. Je proto snahou vytvářet co nejlehčí nádrže a do nich natankovat co nejvíce pohonných hmot.

Ve výpočtu také figuruje výtoková rychlost plynů – dnes nejčastěji používáme specifický impuls I_{sp} [N.s/kg], který je jedním z vůbec nejdůležitějších parametrů. Definuje totiž, jak velký tah dostaneme z 1 kilogramu pohonných látek. Jedná se tedy o jakousi efektivitu.

K výpočtu charakteristické rychlosti nám tak stačí pouze tři parametry. Nejedná se ovšem o rychlost konečnou. Na raketu totiž působí odpor atmosféry a zemská gravitace takže k navedení objektu na oběžnou dráhu je zapotřebí rychlosti 7 900 km/s, což je okolo 9 500 km/s v charakteristické rychlosti (rozdíl cca 17 procent – hrubý výpočet).

Základní tvar Ciolkovského rovnice však platí pouze pro jedno-stupňovou raketu. V kosmonautice se však využívají výhradně rakety více-stupňové. Postup pak pobíhá sečtením příspěvků jednotlivých stupňů dle konečného tvaru rovnice. Nesmíme však zapomenout na přičtení hmotnosti horních stupňů.



KRÁTER CIOLKOVSKU NA MĚSÍCI POJMENOVANÝ
PODLE RUSKÉHO TEORETIKA K. E. CIOLKOVSKÉHO.

kdo navrhnul nevhodnější pozici kosmonautů při startu tak, aby co nejlépe čelili přetížení. Právem je mu tedy přičítáno přízvisko Otec kosmonautiky. Jeho fotografie visí na Mezinárodní kosmické stanici a je zmiňován snad ve všech knihách líčících historii kosmonautiky.

Rus Konstantin Eduardovič Ciolkovskij proslul především svou rovnicí, která nese jeho jméno a dodnes představuje základní kámen pro výpočty raketových nosičů.

CESTA KE KAPALINOVÉ RAKETĚ

Pro přeměnu nápadů, teorií a snů v realitu bylo však potřeba více začít experimentovat s raketami na vědecké úrovni. Na počátku 20. století byly totiž rakety téměř výhradně doménou armád, jejich dolet se počítal na stovky metrů a nedosahovaly velkých výšek. Navíc využívaly pouze tuhou pohonnou směs a jejich užití tak bylo velmi omezené.

Robert Hutchings Goddard se narodil 5. října 1882 ve Worcesteru, státě Massachusetts. Na rozdíl od Ciolkovského měl od svého narození podstatně lepší možnosti uplatnění i lepší podmínky k práci. Jeho otec vlastnil dílnu a prodejnu s noži. Mladý Robert měl od malička nadání pro techniku. Prováděl pokusy s elektřinou, ale také stavěl pokusné balóny. Vesmíru propadl zásluhou vědecko-fantastických románů. Učarovala mu kniha Válka světů



ROBERT GODDARD NEPRACOVAL NA RAKETÁCH SÁM, ALE S POMOCÍ MNOHA KOLEGŮ. NA SNÍMKU ZLEVA: MECHANIK NILS LHUNQUIST, SVÁŘEČ CHARLES MANSUR, MECHANIK ALBERT KISK A SÁM ROBERT GODDARD.

o George Wellse, ale také román *Ze Země na Měsíc* od Julesa Verne. Podobně jako Ciolkovskij také vážně onemocněl a do školních lavic se vrací až o dva roky později ve svých devatenácti letech. Elán mu to neubrало, spíše naopak. Po střední škole začíná studovat fyziku. Vysokoškolská studia však shodou mnoha náhod dokončuje až ve svých devětatdvaceti letech.

Už v době studií se věnoval vlastní odborné a popularizační činnosti. V devatenácti letech se snažil jako středoškolák poprvé propašovat svůj odborný článek do časopisu *Popular Science*. Jeho téma o kosmických letech (*The Navigation Of Space*) se však redaktorům zdálo příliš nevhodné. Věnoval se také výběru vhodných pohonů pro kosmický prostor, z nichž však stejně vybral jeden jediný – reaktivní. Dále nastoupil jako experimentální asistent na Princetonskou univerzitu. Jeho tamní působení ale přerušila v roce 1913 tuberkulóza. O rok později tedy nastoupil opět jako asistent na Princetonskou univerzitu, na níž se stal o rok později docentem. V té době se již mohl celé řadě experimentů věnovat v rámci svého zaměstnání. S asistencí svých studentů hledal nejvhodnější materiály pro stavbu raket, ale také se snažil přijít na ideální rozložení hmotnosti. Po celou svou kariéru se bál ukradení a zneužití svých nápadů, a tak si pro jistotu nechával dělat téměř na vše patenty, jejichž množství se tak pohybuje ve stovkách. Mezi první patří vícestupňové rakety a nápad na konstrukci kapalného raketového motoru. Četné experimenty si vynucovaly i značnou finanční podporu. Brzy mu přestal stačit jeho plat a podpora univerzity. Proto požádal Smithsonův institut o grantovou podporu. Dlouho si jí ale neuzil, jelikož vypukla první světová válka.

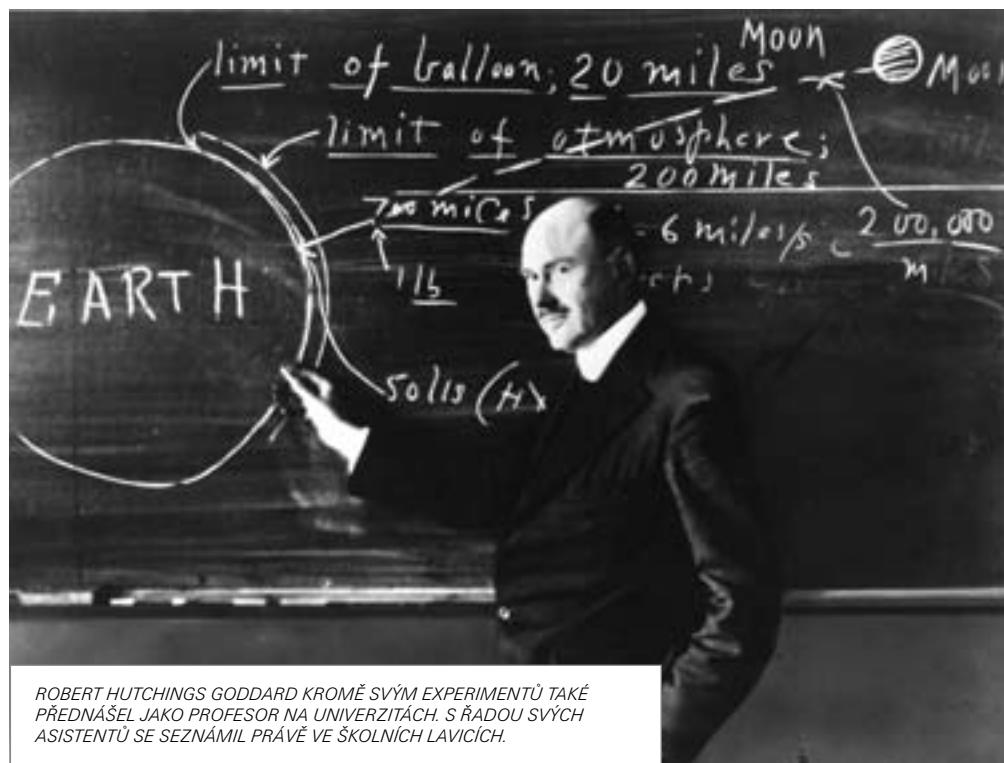
V roce 1917 odjíždí Goddard do Pasadeny ve státě Kalifornie a zahajuje práci pro armádu. Ještě tentýž rok vyvinul a vojákům představil dvojici signálních raket. O rok později přichází s bojovou raketou, která se později stane výchozím bodem pro bazuku. Po ukončení války se vrací na univerzitu do Worcesteru a připravuje další pokusy. Mimo jiné se soustředil na jednu ze svých neúspěšnějších publikací. V rámci periodika *Smithsonian Miscellaneous* vydal v roce 1919 práci *Metoda dosahování extrémních výšek* (*A Method for Reaching Extreme Altitudes*). Jedná se o souhrn matematických teorií, ale také mnoha úvah a poznatků z praktického testování. Právě v poslední zmíněné části se značně odlišuje od Konstantina Ciolkovského. Goddard byl totiž především praktik a své teoretické závěry z pravidla převáděl do praxe. Jeden z výtisků této publikace se dostal také do redakce *New York Times*, který učinil z Goddarda známou osobnost. Prezentován byl ovšem spíše jako podivín, který žije ve snu. V tisku se objevila

jeho okrajově míněná myšlenka o možném letu na Měsíc. Na světě byla dokonce informace, že Goddard svou měsíční raketu již staví a hledá odborníky. Na tom samozřejmě nebylo nic pravdy a celá kauza měla za následek, že se Goddard snažil vynout jakékoliv pozornosti médií a veřejnosti.

Následující zbytek kariéry se Robert Goddard zaměřil na experimenty s motory a raketami na kapalné pohonné látce. V této oblasti jej můžeme nazvat bezpochyby průkopníkem. V roce 1923 se mu totiž podařilo postavit první funkční raketový motor na kapalné pohonné látce. Spaloval kyslík a kerosin, na praktické použití však měl příliš malý tah a jednalo se tak o statické testy. Nic z toho, ale důležitost tohoto kroku v žádném případě nezmenšovalo, spíše naopak. Goddard se v příštích letech zaměřil na návrh a stavbu první letuschopné kapalinové rakety.

Na ní usilovně pracoval v letech 1925 a 1926. Bylo zapotřebí vyřešit celou řadu problémů. Motor se musel především upravit pro použití na skutečné raketě, což byla největší změna oproti statickým testům. Práce šly překvapivě rychle, a tak mohl Robert Goddard 3. března 1926 vypustit první raketu s motorem na kapalné pohonné látce, čímž se nesmazatelně zapsal do historie. Prázdná raketa Nell vážila 2,7 kilogramu (s pohonnými látkami 4,7 kg), uletěla asi 56 metrů

TAH – je všeobecně síla, kterou vytváří některé zařízení. V případě raketového motoru se jedná o velikost síly, která působí hybnost tělesa. Udáváme jej v newtonech (N), případně vyšších násobcích (kN a MN). U korekčních motorů se tah pohybuje v řádech N, u samotných motorů raket, případně urychlovacích stupňů, pak spíše v kN a N. Tah je nezbytně důležitý k letu rakety a musí převyšovat její tíhu.



ROBERT HUTCHINGS GODDARD KROMĚ SVÝM EXPERIMENTŮ TAKÉ PŘEDNÁŠEL JAKO PROFESOR NA UNIVERZITÁCH. S ŘADOU SVÝCH ASISTENTŮ SE SEZNÁMIL PRÁVĚ VE ŠKOLNÍCH LAVICÍCH.

a dosáhla výšky 12,5 metru a maximální rychlosti 96 kilometrů za hodinu. Další starty však odhalily celou řadu problémů, které bylo třeba vyřešit. Robert Goddard na vlně úspěchů zlepšoval motory, ale zaměřil se také na měření různých veličin při letu a lepší stabilizaci.

Tyto experimenty prováděl Goddard na farmě své tety, ale ta již přestávala svou rozlohou dostáčet větším raketám a lákala příliš pozornosti. Proto se přesunul na svou testovací střelnici do Roswellu v Novém Mexiku, kde na konci roku 1930 vypustil první raketu. V té době byl již s vývojem o poznání dále. Raketa měřila 3,5 metru, vážila patnáct kilogramů a dokázala dosáhnout výšky přes 600 metrů a maximální rychlosti 800 kilometrů za hodinu. Bohužel hospodářská krize ve třicátých letech zapříčinila ztrátu grantů a Robert Goddard se musel vrátit na Clarkovu univerzitu jako profesor. Naštěstí se mu podařilo v roce 1933 získat grant od nově vzniklé nadace Daniel and Florence Guggenheim Foundation v tehdy neuvěřitelné výši 50 000 dolarů. Mohl se tak vrátit na střelnici do Roswellu. Od roku 1934 zahajuje testování sérií raket a motorů, na kterých testuje stabilizaci, nevhodnější pohonné látky, způsoby startu i návratu na padáku.

S příchodem 2. světové války dovoluje Goddard nahlédnout do svého vývoje a zpřístupňuje armádě celou řadu poznatků. Jeho vlastní aktivita však v pokročilém věku postupně utichá. Nakonec umírá 10. srpna 1945 v přesvědčení, že jeho vynálezy pomohou člověku dosáhnout vesmíru. Za svého života Robert Goddard přivedl na svět a vyzkoušel řadu nových myšenek. Byl autorem mnoha odborných publikací, patentoval přes dvě stovky nápadů a jako profesor naučil mnoho i své studenty. Jeho největší zásluhy náleží do v oblasti raketových motorů na kapalné pohonné látky a jejich uvedení do praxe.

TEORETIK, KTERÝ SE DOŽIL SVÉHO SNU

Rus Konstantin Eduardovič Cilkovskij a Američan Robert Hutchings Goddard však nebyli jedinými průkopníky, nebo chceme-li otci kosmonautiky. Ve světě se v tu dobu objevilo několik teoretických i praktických badatelů, kteří byli spojováni s raketovou technikou a jejím vztahem k výzkumu vesmíru. Patřil mezi ně i Hermann Julius Oberth. Narodil se v roce 1894 v Herrmannstadtu, dnešním Sibiu, v Jižních Karpatech. V mladých letech jej uchvátila kniha Julesa Verne *Ze Země na Měsíc*. I přesto šel později v Mnichově ve stopách svého otce studovat lékařství. Nicméně se přestal věnovat s fyzikálními vědám a své znalosti se v tomto směru snažil neustále zdokonalovat. Na rozdíl od Roberta Goddarda byl především teoretikem a své závěry podkládal spíše matematikou nebo popisem.

Svou první publikaci *Raketou k planetám (Die Rakete zu den Planetenräumen)* vydal v roce 1923. Hovořil v ní mimo jiné o orbitálních stanicích nebo o zrcadle schopném soustředit energii Slunce na vytipované místo na Zemi. Něco podobného se dokonce objevilo jako ústřední téma v bondovce *Dnes neumírej* podle námětu Iana Fleminga. V letech 1924 až 1928 působil jako profesor matematiky a fyziky v Mediasu. V letech 1929–1930 byl předsedou Společnosti pro kosmické lety VfR (Verein für Raumschiffahrt). Právě v té



HERMANN OBERTH PATŘIL V PRVNÍ POLOVINĚ 20. STOLETÍ MEZI NEJVĚTŠÍ ODBORNÍKY NA RAKETOVOU TECHNIKU. S POSTUPEM ČASU VŠAK JEHO AKTIVITA KLESALA. PŘESTO MU VDĚČÍME ZA POPULARIZACI KOSMONAUTIKY JEŠTĚ V PŘEDVÁLEČNÉM OBDOBÍ.