

Přistání na Titanu

Úspěch kosmické mise Huygens

Vladimír Kopecký Jr.

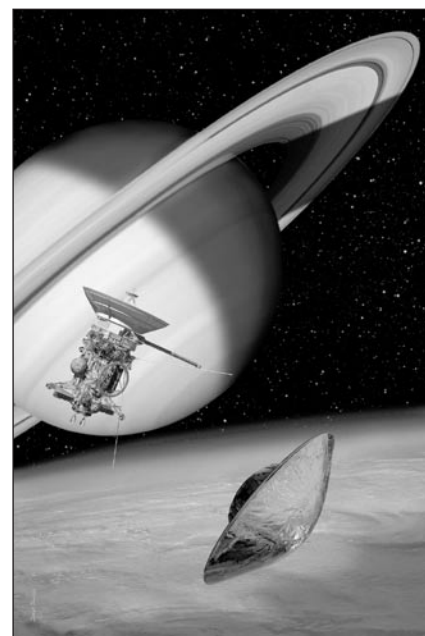
Titan, největší měsíc planety Saturn, je jedním z nejzáhadnějších míst ve sluneční soustavě. Se svým průměrem 5150 km předčí planety jako Pluto či Merkur, krom toho je ale zahalen do husté atmosféry složené především z dusíku s průměsí metanu. Svým vzhledem tak vzdáleně připomíná pradávnou Zemi, na které se utvářely stavební prvky života. Právě proto se před více než 20 lety rozhodli lidé z Evropské kosmické agentury (ESA) zkonstruovat sondu, která by na povrchu Titanu přistála. Po sedmi letech putování sluneční soustavou, po více než 4 miliardách kilometrů se jejich sen stal skutečností – 14. ledna 2005 přistála sonda Huygens na Titanově povrchu. Ještě nikdy předtím žádný jiný lidský výrobek nedosel na světě tak vzdáleném a tolik odlišném od všeho, co známe...

Na cestu do tohoto podivuhodného světa se sonda o průměru 2,7 m a váze 319 kg (z toho užitečná zátěž pouhých 49 kg), vydala 15. října 1997 připoutaná na těle sondy Cassini, která se 1. června 2004 stala první družicí Saturnu. Na své palubě nesla sonda Huygens 6 vědeckých přístrojů pro výzkum Titanovy atmosféry a složení povrchu. Krom toho, aby byla upoutána pozorností médií ještě více, vezla na palubě hudební nosič se skladbami francouzských rockerů Julienu Civange a Louise Haériho – *Music2Titan* (<http://music2titan.com>) – speciálně zkomponovanými pro tuto příležitost.

Trnitá cesta k přistání

Přistávací pouzdro Huygens neneslo žádnou pohonnou jednotku, proto se celá sonda Cassini musela vydat na kolizní dráhu směrem k Titanu. 25. prosince 2004 ve 3:00 SEČ došlo

k úspěšnému oddělení přistávacího modulu. Mateřská sonda Cassini potvrdila odpálení zámkových pružinek, které Huygense jemně poštouchly směrem od Cassiniho a udělily mu tak zrychlení zhruba 0,35 m/s² a mírnou rotaci 7,5 otáčky za minutu. Citlivé magnetometry Cassiniho zaznamenaly rovněž slabé fluktuace magnetického pole, které byly neklamnou známkou odlpouvající, pomalu rotující sondy Huygens. Vědci si nyní mohli částečně oddechnout, věděli s jistotou, že sonda je na cestě k Titanu. Pro jistotu se však sonda Cassini ještě 26. prosince požívala kam že to Huygens přesně letí. I když bylo sondu vidět na záběrech jen jako nepatrnou hvězdičku (nebylo divu, v té době již byla 52 km daleko), pro potřeby zpřesnění vzájemné polohy Cassini vs. Huygens to stačilo, a tak si Cassini konečně mohl 28. prosince zkorigovat dráhu letu, aby se vyhnul „nechtěnému přistání“ na Titanu. Čekal



Kosmická sonda Huygens se stala první sondou, která 14. ledna 2005 přistála na tělese ve vnější oblasti sluneční soustavy – na největším Saturnově měsíci Titanu

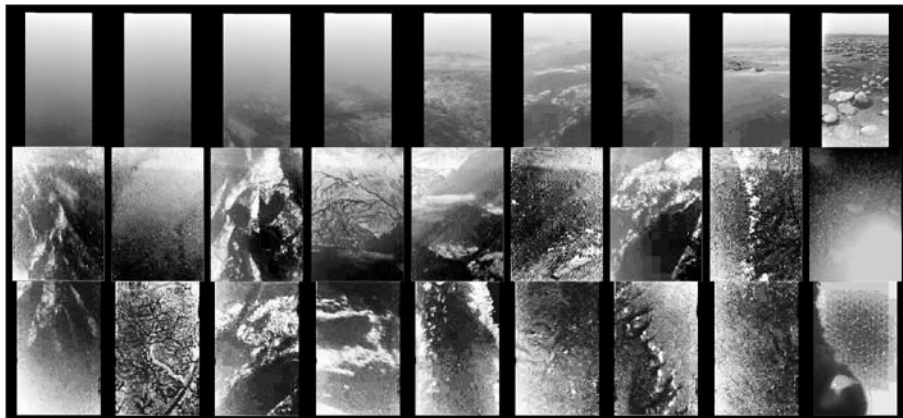
ho teď ještě 31. prosince 2004 poklidný průlet kolem měsíce Iapetus a pak už jen maximální soustředění na příjem dat ze vzdalujícího se přistávacího modulu Huygens...

Mohlo by se zdát, že cesta Huygense směrem k Titanu byla úplná selanka, avšak nezapomínejme, že kosmický prostor je velice mrazivý. Huygens byl proto zahalen do izolační vrstvy tvořené standardní odrazivou zlatavou fólií, pod níž se ukrývala hliníková izolační vrstva. Krom toho bylo na palubě i 35 malých radioaktivních zdrojů, každý o výkonu 1 W, které sondu během celého letu zahřívaly zevnitř, aby nedošlo k poškození citlivé elektroniky a dalších přístrojů. Jak víme, sonda přestala samostatný 20denní let bez úhony.

Dne 14. ledna 2005 v 6:51 SEČ (čas je udáván s ohledem na dostupnost signálu na Zemi, události tedy proběhly na vzdálené sondě s 67minutovým předstihem) se sonda s jistým předstihem automaticky probudila, zapnula svoji elektroniku a připravila vysílače k přenosu dat. Okamžik její slávy se blížil. Zhruba v 11:13 Huygens konečně dosáhl svého cíle – ve výšce neuvěřitelných 1270 km na povrchem vstoupil rychlostí 6 km/s pod úhlem 65° do atmosféry Titanu. Tření o atmosféru počalo

RNDr. Vladimír Kopecký Jr., Ph.D. (*1974) vystudoval biofyziku a chemickou fyziku na MFF UK. Pracuje ve Fyzikálním ústavu UK, kde se zabývá výpočty a spektroskopii biomolekul. Mezi jeho zájmy patří astrobiologie.

© ESA (Huygens Mission)



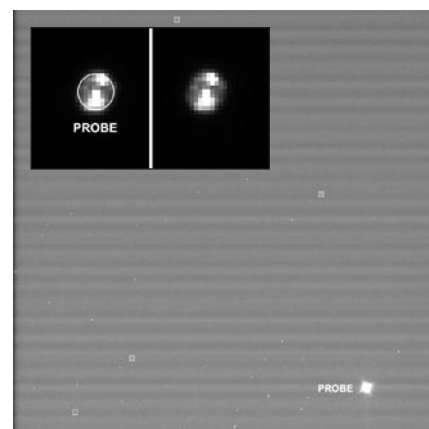
Série nezpracovaných obrázků pořízených sondou Huygens během sestupu atmosférou z výšky od 40 km až po přistání na Titanově povrchu. Trojice záběrů byly pořízeny CCD kamerami (odshora): 128×256 pixelů v úhlu 45–96° (pohled na horizont), 176×256 pixelů v úhlu 16–46° (pohled mírně stranou), 160×256 pixelů (kamera s největším úhlovým rozlišením) v úhlu 7–22° od nadiru (pohled přímo dolů).

sondu zpomalovat. Vytvořila se čelní rázová vlna o teplotě 12000 °C a samotný štít sondy se rozpálil na 1800 °C. Vrstvy tepelné izolace se odpařily a sondu chránil pouze čelní tepelný štít složený z 2 cm silných keramicko-uhlíkových dlaždic. Během pouhých tří minut sonda zpomalila s přetížením 14 g z 20 000 km/h na 1400 km/h. Ve chvíli kdy přístroje zaznamenaly, že sonda již zpomalila na 400 m/s, což nastalo ve výšce zhruba 180 km nad povrchem, došlo k vystřelení vodíčího padáku skrz otvor v zadním krytu pouzdra. Účelem tohoto padáku o průměru 2,6 m bylo odtržení zadní části pouzdra sondy, jež ji chránilo během jejího pekelného sestupu. 2,5 sekundy po vystřelení padáku byl uvolněn zadní kryt, což umožnilo rozvinutí hlavního 8,3metrového padáku – sonda se pomalu počala snášet vstříc Titanovu povrchu...

Huygens zpomalil na zhruba 300 km/h a ve výšce 160 km nad povrchem odhodil čelní ochranný štít. Mezitím radioastronomové na Zemi netrpělivě očekávali signály ze sondy – jako první zaznamenali v 11:20 signál na observatoři Green Bank v USA – šlo sice jen o nosný signál bez informačního obsahu (data mezitím přijímala sonda Cassini), ale i ten byl neklamnou známkou toho, že sonda „žije“. 42 sekund po vypuštění vodíčího padáku byly

aktivovány vědecké přístroje. Především se začalo s měřením vlastností Titanovy atmosféry, tj. teploty, tlaku, hustoty a vodivosti. Rovněž byly pořízeny první panoramatické snímky povrchu. Vzhledem k tomu, že sonda měla omezený zdroj energie ve formě pěti lithiových baterií o 26 článcích, bylo potřeba přistání poněkud urychlit. Proto byl v 11:32 odhozen velký padák, který by sondu ve výšce 125 km přilíhl v husté atmosféře zpomaloval, a rozvinut 3metrový stabilizační padák. V 11:49 se ve výšce 60 km zapnul senzor blízkosti povrchu – až dosud byly operace sondy řízeny vnitřními hodinami, nyní si sonda pomocí dvou radarových výškoměrů určovala vzdálenost od povrchu a dle ní řídila své operace. Huygens byl vybaven i přístroji pro odběr a analýzu vzorků atmosféry – sběračem a analyzátozem aerosolových částic, hmotovým spektrometrem a plynným chromatografem. Vzorky byly nasávány do přístrojů ve výšce 40 km a znovu mezi 18–23 km.

700 metrů nad povrchem sonda zapnula 20 W výbojku, která ji měla dostatečně osvětlit povrch v místě přistání pro jeho spektrální analýzu. Nesmíme totiž zapomínat na to, že na Titanu je relativně tma – osvětlení na povrchu dosahuje pouhé 1/1000 denního světla na Zemi, je to však stále 350× více než za měsíčního úplňku. A konečně ve 13:45 Huygens rychlostí



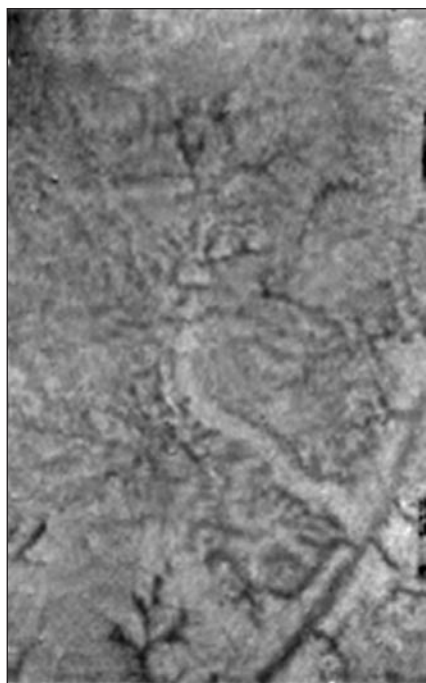
© ESA/NASA (Cassini-Huygens Mission)

Záběr ze 26. prosince 2004 ukazuje sondu Huygens jak se pozvolna vzdaluje od mateřské sondy Cassini. Sonda je patrná pouze jako jasná hvězda (vložený obrázek ukazuje detail), neboť se již nacházela ve vzdálenosti 52 km. Snímek sloužil ke zjištění vzájemné pozice obou sond.

5 m/s hladce dosedl na povrch Titanu a snažil se ještě honem získat každý dostupný kousek informace o tomto podivuhodném světě. Množství vyměřeného času k vědeckým měřením bylo omezeno nejenom životností baterií na palubě Huygense, ale především tím, že data byla posílána na sondu Cassini. I když tedy baterie vydržely neuvěřitelných 7 hodin zásobovat přistávací modul energií, v 15:44 se stalo neodvratitelné – Huygens zapadl pro sondu Cassini za horizont. Nosný signál bylo stále ještě slyšet na Zemi, ale Cassini jej již zachytit nemohl. Odvrátil tedy svou anténu od Titanu a v 16:14 začal posílat první data směrem k Zemi.

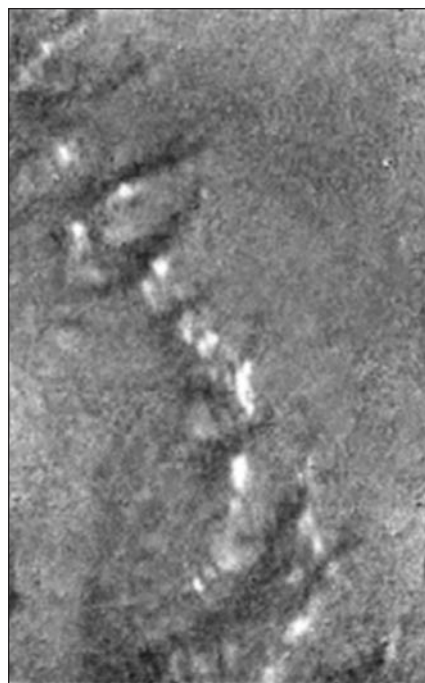
Úspěchy a neúspěchy

Velkým úspěchem bylo již samotné přistání sondy a získání nějakých dat. Oslavy na Zemi se nesly především v evropském duchu. Vyhlášení prvních výsledků byla kromě



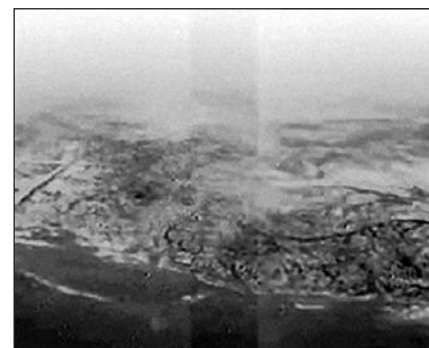
© ESA (Huygens Mission)

Snímek ukazuje dva nové jevy na Titanově povrchu – světlé linie představují místa, kde je na povrch vylačován vodní led; tmavé krátké kanály v něm pak byly nejspíše vytvořeny vyvěrajícím kapalným metanem spíše než metanovým deštěm



© ESA (Huygens Mission)

Další ze snímků, které pořídila sonda Huygens během sestupu, ukazuje tmavou planinu na níž jsou patrné stopy po proudění okolo světlých „ostrovů“. Oblasti nad a pod „ostrovy“ mají pravděpodobně rozdílnou výšku.



© ESA (Huygens Mission)

Složený snímek Titanova povrchu pořízený z výšky 8 km s rozlišením kolem 20 m/pixel ukazuje hranici mezi světlým vyvýšeným terénem se spoustou „odvodňovacích“ kanálů a tmavou nížinnou oblastí

© ESA (Huygens Mission)



ředitele ESA, hlavního manažera projektu Huygens atd., přítomna i německá ministryně pro vědu a výzkum. Je zcela nepopíratelné, že šlo především o úspěch evropské vědy a Evropané si ho náležitě vychutnali. Celkem sonda Cassini přijala, a úspěšně odvysílala na Zemi, 3 hodiny 44 minut záznamu ze sondy Huygens, včetně 1 hodiny 12 minut záznamu z povrchu Titanu. Výsledné množství dat tvoří 474 megabitů informace včetně 350 panoramatických snímků. Přesto je ale dat méně než se očekávalo. Nedopatřením totiž nebyl na sondě Cassini zapnut A kanál pro příjem signálů z Huygense (data byla přenášena na dvou nezávislých kanálech A a B). Ztráta dat z tohoto kanálu znamená především nedoručení poloviny nasnímaných obrázků (mělo jich být 700) a také neúspěch dopplerova experimentu pro měření rychlosti větru, který byl kompletně tímto kanálem přenášen. V rámci tohoto experimentu měl Huygens vysílat přesně definovaný stabilní signál, z jehož dopplerovského posunu mělo být možné na orbiteru stanovit rychlost větru jímž byla sonda unášena. Naštěstí nejde o nenahraditelnou

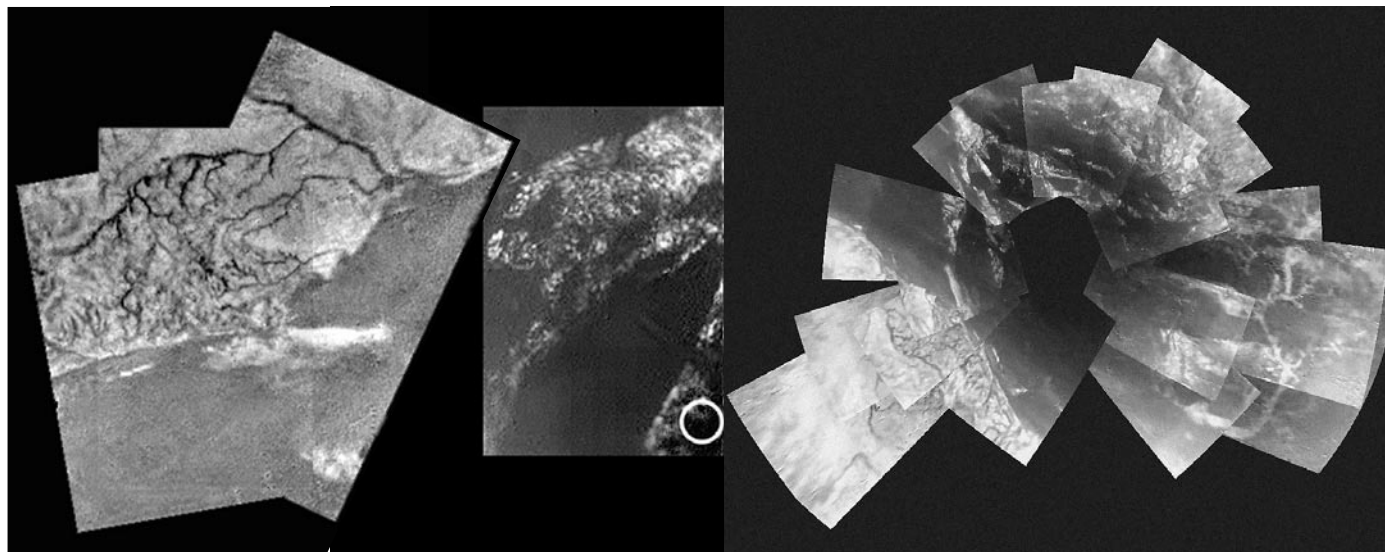
ztrátu. Díky světové radio-astronomické síti, která byla zapojena do příjmu signálů ze sondy Huyges, se podařilo data rekonstruovat prostřednictvím příjmu nosného signálu, a to s udivující přesností. Zdá se tedy, že vědecky byla mise kompletně úspěšná, i když poněkud s odřenýma ušima...

Tajemný svět Titanu

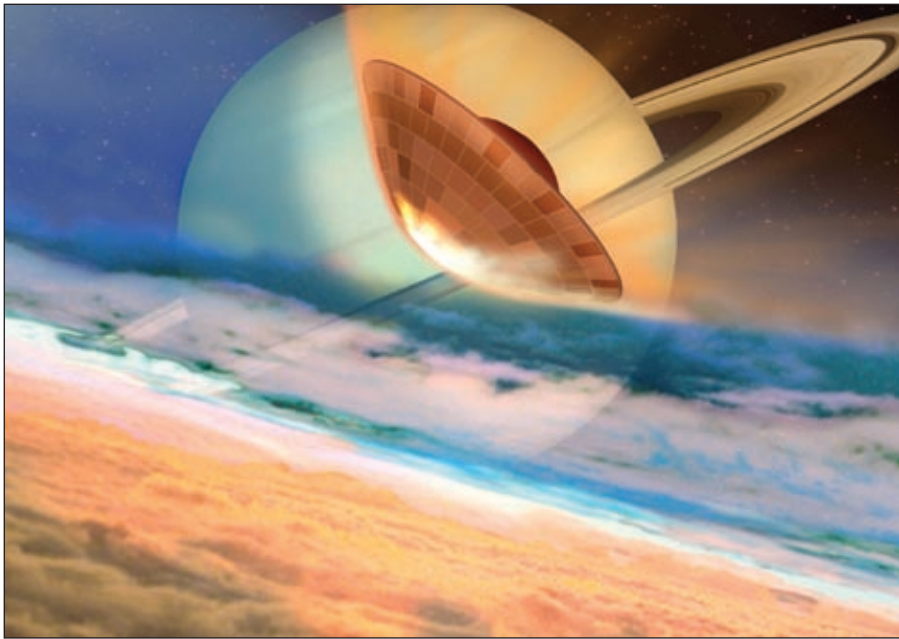
I když zpracovávání dat potvrzuje zřejmě několik let, předběžné výsledky nám ukazují podivuhodný svět, na míle vzdálený od čehokoli co jsme kdy ve sluneční soustavě spatřili. Analýza vzorků atmosféry z výšek kolem 160 km prokázala výskyt metanu a dusíku ve stratosféře. V těchto výškách navíc proudí atmosféra nejrychleji – zhruba 430 km/h ve směru rotace Titanu. Rychlost proudění pak postupně klesá až do výšky 60 km, kde se objevují nepravidelnosti. Zdá se, že to souvisí s výskytem tropopauzy v atmosféře Titanu. S turbulencemi se Huygens musel potýkat ve výšce 20 km, kde ležela slabší vrstva metanové oblačnosti, ve které se sonda rozkývala

až na 20°. Analýza vzorků atmosféry prokázala postupný nárůst koncentrace metanu směrem k povrchu. U povrchu se dokonce podařilo zaznamenat chuchvalce metanové a ethanové mlhy. Během sestupu byl také pořizován zvukový záznam poryvů větru, i když původně byl experiment určen k záznamu bouřek v Titanové atmosféře, ty se ovšem, jak se zdá nekonaly. (Unikátní možnost poslechnout si zvuky z tohoto vzdáleného světa má čtenář na <http://www.esa.int/export/SPECIALS/Cassini-Huygens/>) Naměřená teplota kolem $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ na povrchu nebyla pro vědce žádným překvapením. Hladké přistání sondy na povrchu jím však bylo – ta totiž byla konstruována pro přistání na „vodní“ hladině (mimo jiné by v předpokládaném metanovém oceánu plavala), ale přistání na tvrdé podloží ji mohlo poškodit. Vzdor tomu, že dosedla rychlostí 5,4 m/s nic se jí nestalo. Jako vhodné vysvětlení se nabízí, že povrch Titanu je pokryt nejenom vodním ledem, který se na snímcích zobrazuje jako světlá oblast, ale především jakýmsi bahýnkem složeným z uhlovodíků. Právě složité uhlovodíky, zvané tholiny, pro-

© ESA (Huygens Mission)



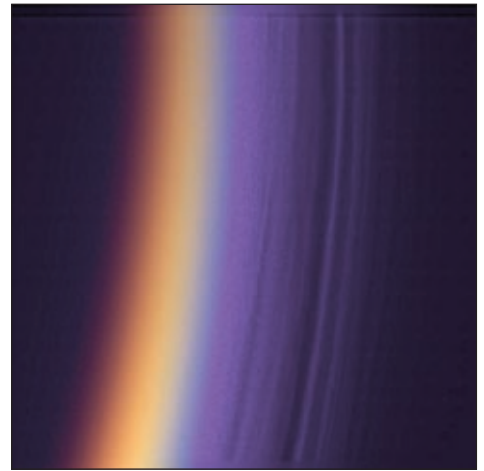
Panorama nahoře ukazuje pohled o 360° z výšky 8 km. Vlevo je patrný přechod mezi vyvýšenou světlou oblastí a tmavou nížinou, světlé šmouhy poblíž mohou být mlhou metanových a ethanových par u povrchu. Levý složený snímek dole ukazuje z výšky 16 km detaily vyvýšené oblasti na níž se malé kanály vyhloubené kapalným metanem postupně slévají v jednu řeku, která ústí v tmavé nížinné oblasti. Prostřední snímek má kroužkem vyznačenu oblast pravděpodobného přistání sondy Huygens. Snímek vpravo je složen ze 30 obrázků pořízených z výšky od 13 do 8 km s rozlišením 20 m/pixel a zhruba zobrazuje oblast o 30 km.



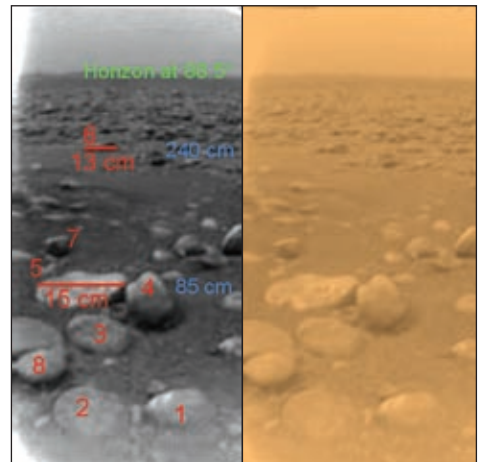
Umělecká představa vstupu sondy Huygens do vrchních vrstev Titanovy atmosféry rychlostí 22000 km/h. Tření o atmosféru vytvořilo rázovou vlnu, která dosáhla teploty 12000 °C, přičemž samotný tepelný štít sondy se rozpálil na 1800 °C. Sonda tak zpomalila během 2 minut na 1400 km/h.

půjčují Titanově atmosféře žlutooranžovou barvu. Postupně jsou z atmosféry vymývány metanovými dešti a hromadí se na povrchu ve formě jakéhosi regolitu. Samotné snímky povrchu vyvolaly nejdříve dohady, zda si z novinářů někdo netropí legraci, tolik se totiž podobaly povrchu Marsu. Je zřejmé, že povrch Titanu trpí značnou erozí a je velice mladý. Drobné kamínky jsou ohlazené do podoby „říčních“ valounků, ale nenechme se mást, nejde o horninu, celý povrch, včetně kamenů, je tvořen vodním ledem smíchaným s uhlovo-

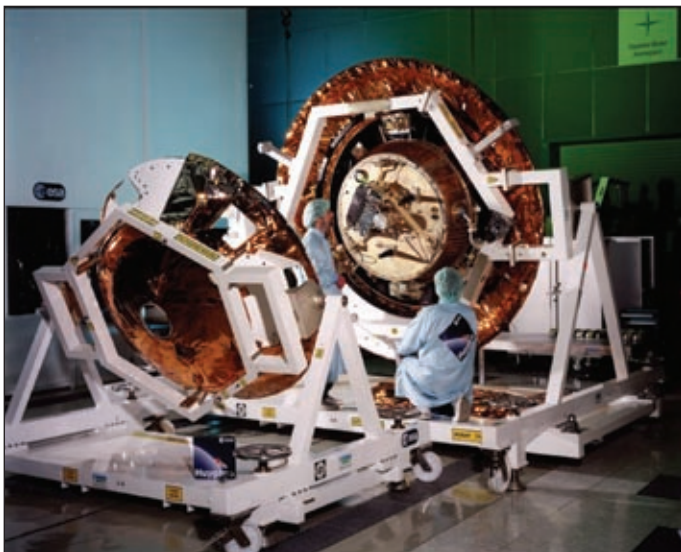
díky. Povrch modeluje vyvěrající metan, který při tak nízkých teplotách nahrazuje na kost zmrzlou vodu. Existují i důkazy, že kromě řečišť z podzemních zdrojů metanu či etanu musí být hladký povrch Titanu modelován i deštěm. V tuto chvíli jsou však řečiště i jezera vyschlá. Titan však jistě prochází obdobími kryovulkanismu, při nichž se nejspíše dostává velké množství metanu na povrch. Svá definitivní tajemství nám však Titan odhalí až za pár let během finálního zpracování dat...



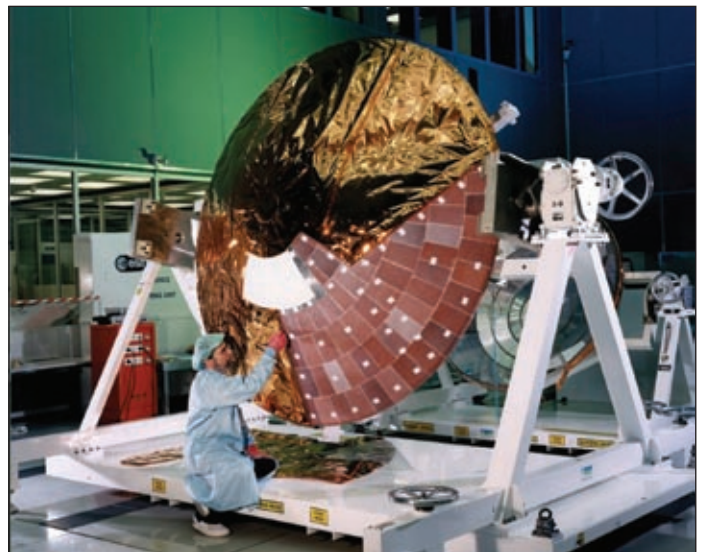
Záběr ze sondy Cassini v UV oblasti spektra ukazují složitou strukturu Titanovy mlhové atmosféry



První barevný snímek z povrchu Titanu byl dobarven dle získaných spektroskopických dat. Černobílý obrázek vlevo ukazuje rozměrové škály oblázků na povrchu, který je tvořen směsí vodního ledu a uhlovodíků.



Sestupový modul Huygens se skládá ze zadního a čelního štítu – uvnitř něhož se nachází výzkumný modul. Černé tyčky na zadní části modulu jsou všesměrové antény sloužící k přenosu signálu na Cassini. Tři zvláštní body po okrajích představují kotevní místa pro padáky, které se ukrývají v obdélníkovém boxu.



Pohled na čelní štít sondy Huygens ukazuje složité izolační vrstvy. Zlatavá fólie společně s bílou hliníkovou izolační vrstvou sloužily k udržení optimálních teplotních podmínek během meziplanetárního a 22denního samostatného letu. Po vstupu do atmosféry sloužily 2 cm tlusté dlaždice jako tepelný štít.