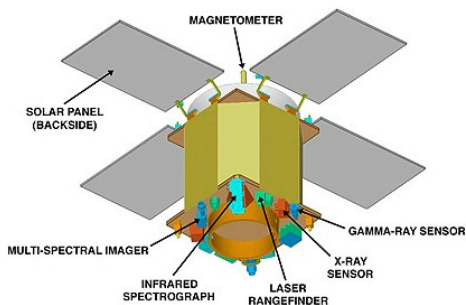
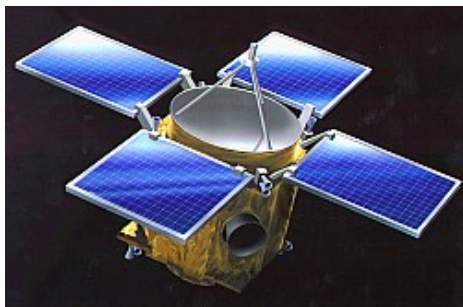


**ABSTRAKT:** Kosmická sonda NEAR Shoemaker v roce 1997 prolétla okolo asteroidu (253) Mathilde a od začátku roku 2000 je umělou oběžnicí asteroidu (433) Eros. V článku nejprve uvedeme základní údaje o samotné kosmické sondě a jejím přístrojovém vybavení. Především však zmíníme nové poznatky o planetkách, jejich vnitřní struktuře a povrchových útvech; vysvětlíme také některé metody, které se při výzkumu používají.

## Sonda NEAR Shoemaker a její přístrojové vybavení

Název sondy NEAR Shoemaker je zkratkou anglického *Near Earth Asteroid Rendezvous*, tedy v překladu „setkání s blízkozemní planetkou“ (později přidané jméno „Shoemaker“ připomíná významného amerického astronoma a geologa Eugena Shoemakera). Již z toho pojmenování je zřejmé, jaké je hlavní poslání této sondy — podrobný průzkum planetek, které se pohybují v blízkosti Země; sonda již proletěla okolo asteroidu (253) Mathilde a především se stala umělou oběžnicí asteroidu (433) Eros. Vůbec poprvé v historii tedy máme příležitost dlouhodobě zblízka zkoumat planetku, malé těleso sluneční soustavy.

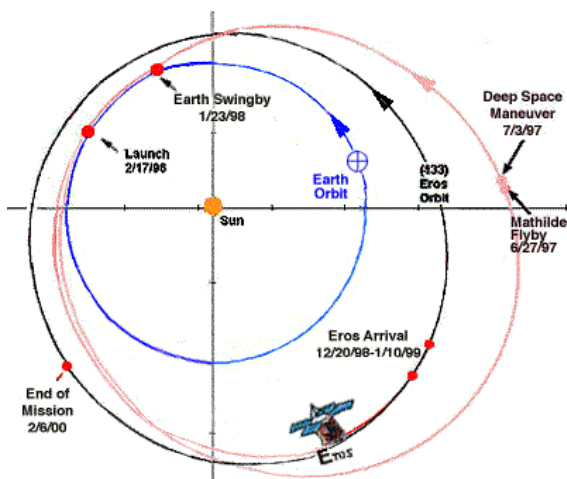


Obr. 1 — Náčrso sondy NEAR Shoemaker (a) a umístění přístrojů na její palubě (b). Není-li uvedeno jinak, všechny obrázky v tomto článku © NASA/JHUAPL.

NEAR je sondou vypuštěnou v rámci programu NASA Discovery, tj. menších, levnějších družic (podobně jako třeba Mars Pathfinder, viz [2]). Projekt, výroba i provoz NEARu je zajištěn The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory (JHUAPL), která má sídlo v Laurel, Marylandu, v USA. Náklady na celý projekt nepřevyšují 300 mil. USD. Informace o sondě a výsledcích celého výzkumu lze získat na webu [1].



Obr. 2 — Sonda NEAR před dokončením v JHUAPL a její start na nosiči Delta 2 v únoru 1996 (solární panely byly při startu ze Země složeny).



Obr. 3 — Časový plán letu k Erosu s vyznačenými daty jednotlivých manévru a průletů. Největší přiblížení sondy k Zemi nastalo 23. 1. 1998. Sonda prolétla ve výšce 540 km nad Íránem a byla pozorovatelná pozemskými dalekohledy. Palubní kamera MSI pořídila např. tento snímek Antarktidy.

Během roku 1994 a 1995 byly zhotoveny jednotlivé komponenty sondy a samozřejmě byly pečlivě otestovány; na obr. 2 vidíme právě prostory JHUAPL,

kde sondu kompletovali. Na konci roku 1995 už byla sonda složena a připravena k transportu na kosmodrom Cape Canaveral.

Vybavení sondy tvoří 6 základních přístrojových celků. Jejich stručný popis je uveden v následující tabulce 1, umístění na palubě znázorňuje obr. 1.

**magnetometr MAG** — Magnetometr je schopen měřit vektor magnetické indukce v místě, kde se sonda pohybuje. Technicky se jedná o tři cívky s magnetickými jádry, které jsou orientované ve třech osách; když sonda prolétává magnetickým polem planety, indukuje se v cívkách proud. Měření se provádí 20 krát za sekundu, rozsah citlivosti přístroje lze měnit od 4 nT do 65 000 nT (pro srovnání magnetické pole na povrchu Země má indukci od 30 do 60  $\mu$ T). Cílem je zjistit, zda má Eros magnetické pole, a případně, jak toto pole vypadá. Pokud by měl vektor magnetického pole v různých částech tělesa zásadně jiný směr, byl by to silný argument pro hypotézu, že Eros je rubble pile (viz dále). Přítomnost magnetického pole by navíc naznačovala zvýšený obsah železa.

**rtg./gama spektrometr XGRS** — Dva spektrometry měří zastoupení prvků Si, Mg, Fe, K, U a Th v povrchových vrstvách asteroidu. Při zjišťování obsahu K, U a Th se využívá skutečnosti, že tyto prvky při svých radioaktivních přeměnách samy vyzařují fotony gama o známých, pro ně typických, energiích. Neradioaktivní prvky, jako jsou např. Si, Mg nebo Fe, samy o sobě nežáří. Jsou-li však bombardovány vysokoenergetickými částicemi — slunečním větrem při erupcích či kosmickým zářením — nebo gama fotony, září v rentgenovém oboru spektra. Mechanismů je několik, významné místo mezi nimi zaujímají fotoelektrický jev (jedna z interakcí fotonu s hmotou) a radiální záchyt tepelného neutronu. Jejich význam spočívá v tom, že energie rentgenových fotonů (tzv. charakteristického záření), vyzářených při fotoelektrickém jevu (fotoefektu) a gama fotonů, vyzářených při radiálním záchytu neutronu, jsou opět přesně určené a zachycené spektra lze tedy využít ke studiu látkového složení. V laboratořích se těmito metodám říká rentgenofluorescenční analýza (RFA) a (neutronová) aktivní analýza (NAA). Jejich „kosmické“ použití se od pozemského liší tím, že to nejsme my, kdo bombarduje, a tím, že detektor záření je od vzorku hmoty značně vzdálen. Detektor rtg. záření je citlivý na záření o energiích 1 keV až 10 keV,  $\gamma$ -spektrometr pak 0,3 MeV až 10 MeV.

**blízký IR spektrometr NIS** — Infračervený spektrometr zachycuje sluneční světlo odražené od asteroidu v oboru 0,8  $\mu$ m až 2,6  $\mu$ m. Dovoluje mapovat obsah především tzv. tmavých nerostů (které většinou obsahují Fe) a také lze s jeho pomocí odhadnout tloušťku prachové vrstvy na povrchu. Zorné pole přístroje je 0,76° × 0,76°, což odpovídá asi 1,5 km<sup>2</sup> při pozorování ze vzdálenosti 100 km.

**multispektrální kamera MSI** — CCD kamera je vybavena čipem o rozměru  $537 \times 244$  pixelů, objektivem  $f/3,4$ , zorné pole činí  $2,95^\circ \times 2,26^\circ$  (tzn. rozlišení  $10 \text{ km} \times 16 \text{ km}$  na pixel ve vzdálenosti  $100 \text{ km}$ ). Expoziční doba se může měnit od  $0$  do  $999 \text{ ms}$  (s možností automatické volby expozice), maximální frekvence snímání je  $1 \text{ Hz}$ . Filtrové kolo má  $8$  poloh se spektrálními filtry od  $450 \text{ nm}$  do  $1050 \text{ nm}$  a jedním filtrem širokopásmovým. Ze snímků se určuje tvar asteroidu, morfologie povrchu a barevné vlastnosti (je možné rozlišit některé křemičité minerály s obsahem železa), ale slouží také pro navigační účely.

**laserový dálkoměr NLR** — Základem dálkoměru je neodymový (Nd: YAG) laser s vlnovou délkou  $1064 \text{ nm}$ . Laser generuje  $12 \text{ ns}$  pulzy o frekvenci  $1/8 \text{ Hz}$  až  $8 \text{ Hz}$ . Chyba měření vzdálenosti sondy od povrchu je jen několik málo metrů.

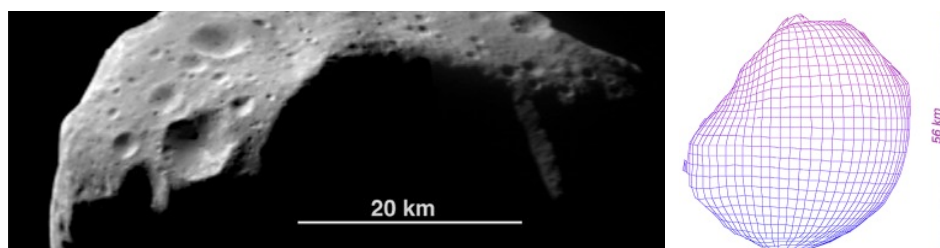
**rádiový vysílač RS** — Rádiový signál vysílaný na frekvenci  $3848 \text{ Hz}$  je přijímán na Zemi a umožňuje přesně sledovat polohu a rychlost sondy (díky Dopplerovu posuvu). Ze změn dráhy se určuje struktura gravitačního pole a hmotnost asteroidu.

Tab. 1 — Charakteristika a účel přístrojů umístěných na palubě sondy NEAR.

NEAR odstartoval 17. 2. 1996 na nosiči Delta 2. Jak bývá obvyklé, při své cestě využíval také *gravitačních manévrů* — plánován byl jeden průlet okolo Země. Původní časový plán cesty je dobře patrný na obr. 3, ale nakonec se jej kvůli poruše nepodařilo dodržet.

### (253) Mathilde

Ve dnech 26. a 27. 6. 1997 prolétal NEAR poblíž asteroidu hlavního pásu — (253) Mathilde a získal přitom celkem  $500$  snímků, včetně barevných záběrů a obrázků s vysokým rozlišením. Rychlost sondy vzhledem k planetce dosahovala  $9,9 \text{ km/s}$ , takže na snímkování bylo vymezeno jen  $25$  minut.

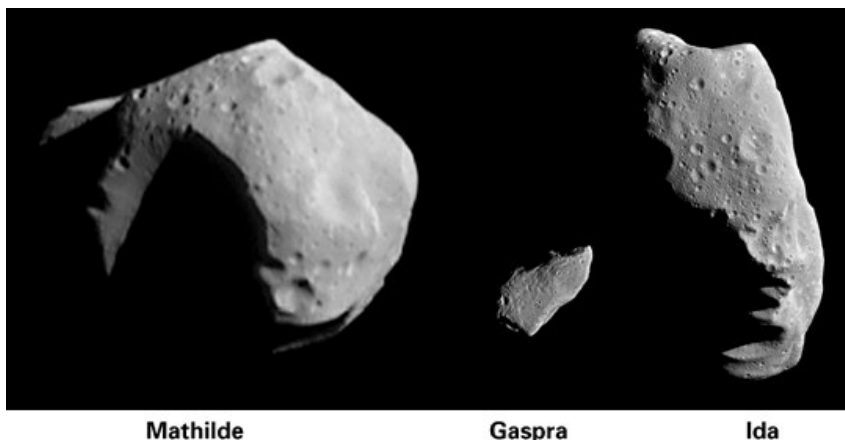


Obr. 4 — (a) Ze vzdálenosti asi  $1200 \text{ km}$ , krátce po nejtěsnějším přiblížení, byl získán tento pohled na Mathildu. Viditelná část povrchu vykazuje četné impaktní krátery od  $30 \text{ km}$  (největší na snímku) do  $0,5 \text{ km}$  velkých. Vyvýšené valy kráterů naznačují, že materiál byl při impaktu jen přizvednut nebo přeletěl pouze krátkou vzdálenost před opětovným dopadem na povrch. Rovné

části některých valů zase vypovídají o tom, že při vzniku a formování kráterů hrály důležitou úlohu velké zlomy. (b) Ze všech snímků byl zkonstruován počítačový model tvaru asteroidu. Největší rozměr tělesa vychází na 56 km.

Závěrečnou fází průzkumu věnoval NEAR hledání možného satelitu Mathildy, ale bohužel neúspěšně (hlavní motivací bylo objevení měsíčku u planety (243) Ida sondou Galileo v roce 1993; 1,5 km velký měsíc dostal později jméno *Dactyl*).

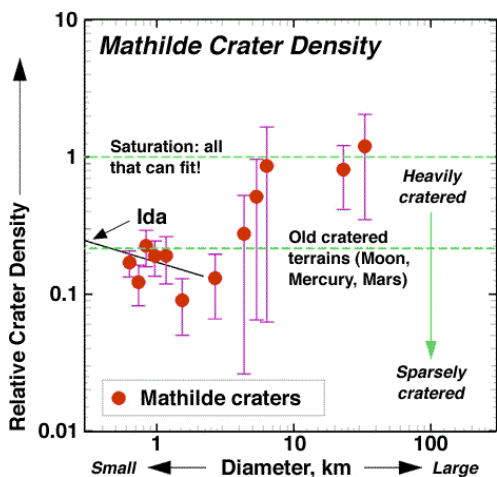
Na obr. 4 je snímek povrchu asteroidu a také spočtený model tvaru. Srovnání (253) Mathilde s jinými do té doby známými asteroidy přinášíme na obr. 5 a 6. Zřejmě největším překvapením byl objev obrovských kráterů na povrchu.



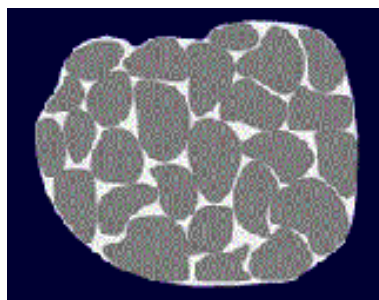
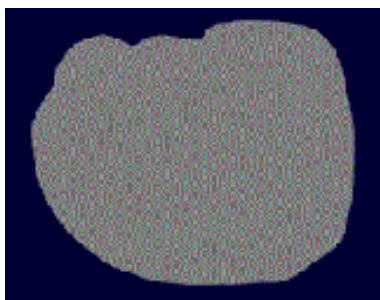
Obr. 5 — Porovnání tří asteroidů, které byly do roku 1997 jedinými zblízka snímkovány tělesy: (253) Mathilde, (931) Gaspra a (243) Ida. Velikosti obrázků byly upraveny tak, aby měly všechny stejné měřítko. Relativní jasnosti byly u všech tří těles nastaveny na podobné hodnoty, ale ve skutečnosti je Mathilda mnohem tmavší než ostatní dva asteroidy. Mathilda má na povrchu podstatně více velkých kráterů (pro kvantitativní vyjádření viz graf na obr. 6).

Existence obrovských impaktních kráterů je jednou z indikací, že Mathilda (a také většina jiných asteroidů podobné velikosti) je objektem, který není tvořen jediným kusem horniny s pevnou strukturou, ale naopak — hromadou sutí, kterou při sobě drží především gravitační síla. Pro takové objekty má angličtina označení „*rubble pile*“. Mezery mezi úlomky jsou vyplněny *regolitem* (jemnou drtí) i celý povrch je jím dokonale pokryt, takže navenek planeta vypadá jako kompaktní těleso.

Při zmiňovaných velkých impaktech se původně celistvá planeta musí rozpadnout, ale většina jednotlivých částí se díky své vzájemné přitažlivosti od sebe příliš nevzdálí a vznikne tedy těleso typu rubble pile.

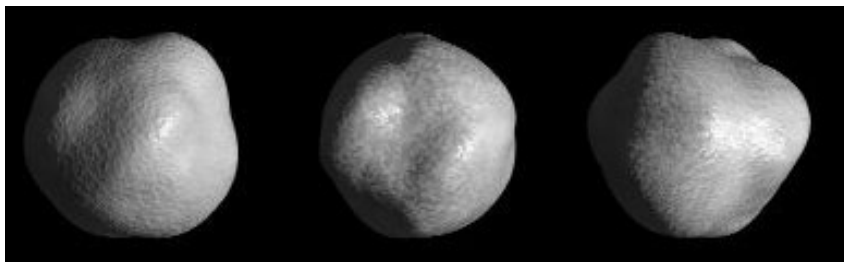


Obr. 6 — Počet kráterů jako funkce velikosti a také hodnoty počtu kráterů na dané ploše povrchu jsou podobné jako na asteroidu Ida. Hlavní rozdíl mezi Idou a Mathildou spočívá v zastoupení těch největších kráterů — Mathilda má nejméně pět kráterů větších než 20 km, které zabírají dohromady 60 % povrchu viditelného při průletu.

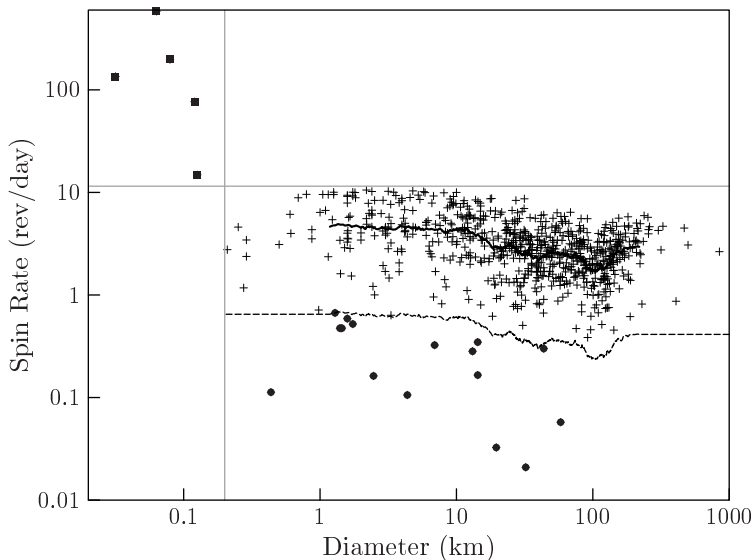


Obr. 7 — Dva uvažované modely vnitřní struktury asteroidů: (a) monolitické těleso a (b) „rubble pile“. Zdá se, že většina malých těles (< 100 m) je monolitická, zatímco větší asteroidy jsou spíše hromady suti.

Dalším důkazem pro takovou vnitřní strukturu je pozorovaná závislost rotačních period (nebo frekvencí) na velikostech asteroidů (viz obr. 9). Existuje totiž určitá horní hranice frekvence, nad kterou by se těleso rozpadlo, kdyby jej nedržely pohromadě další jiné síly než gravitace. Jak se však ukazuje, velká většina asteroidů tuto podmínku splňuje, tzn. rotují dostatečně pomalu, aby to mohla být rubble piles. Známe jen několik malých asteroidů, jenž se otáčejí rychleji, a právě tato malá tělesa si už představujeme jako *monolitická*. Velmi krátké rotační periody (např. pouhých 10 minut u 1998 KY<sub>26</sub>, viz obr. 8) mají zřejmě původ při nějakém impaktu; vzniklému fragmentu, který dnes pozorujeme, byla udělena velká rotační energie.



Obr. 8 — Asteroid 1998 KY<sub>26</sub> byl objeven 28. 5. 1998 0,9 m dalekohledem Spacewatch a již o týden později měl prolétnout ve vzdálenosti 806 000 km od Země. Těleso bylo např. pozorováno týmem Stevena Ostro 70–metrovým radarem v Goldstone a podařilo se zjistit jeho rozměr (30 m) a chemické složení povrchu, které odpovídá uhlíkatým chondritům. Pravděpodobně obsahuje také větší množství těkavých látek. Petr Pravec z Ondřejovské observatoře asteroid fotometroval a určil překvapivou rotační periodu — pouhých 10,7 minuty. To je méně, než u kteréhokoliv jiného do té doby známého tělesa ve sluneční soustavě. Jak ukazují počítačové simulace, takové rychle rotující fragmenty běžně vznikají při kolizích mezi asteroidy, je-li jejich kinetická energie dostatečně velká. Z radarových a vizuálních dat byl spočten model tvaru tělesa, který právě vidíme na obrázku. Pro podrobnější informace viz [4] a [5]. © NASA/JPL: Steven J. Ostro (JPL) and R. Scott Hudson (Washington State University)

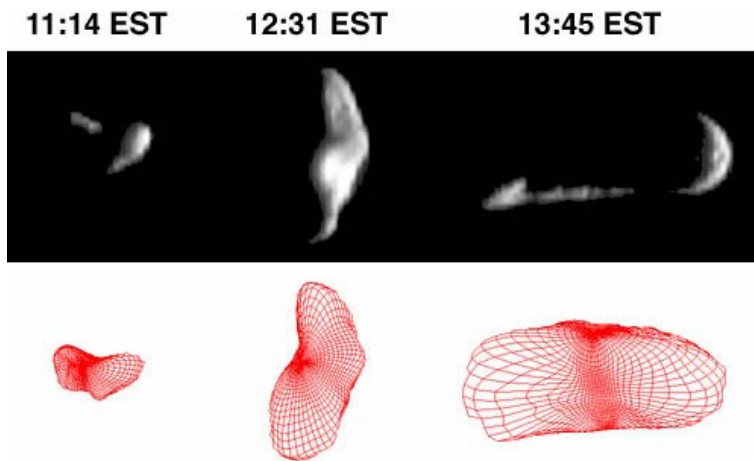


Obr. 9 — Závislost rotační frekvence [počet otáček za den] na středním průměru asteroidu [km]. Šedě je vyznačena hranice  $\sim 11,5$  rev/day, nad níž nemohou existovat „rubble piles“, a také průměr  $d < 200$  m, pod níž se pozorují jen rychlé rotátory. Data poskytl P. Pravec, ASÚ Ondřejov, viz též práci [3].

## NEAR na oběžné dráze kolem Erosu

Dne 20. 12. 1998 došlo k velmi nepříjemné závadě — sonda přerušila zážeh hlavního motoru, který ji měl zpomalit tak, aby byla zachycena slabým gravitačním polem planety Eros a stala se její oběžnicí. Dokonce byl na 28 hodin ztracen kontakt se sondou, takže řídicí středisko zažívalo zřejmě pěkně horké chvíle. Spojení se sice podařilo obnovit, ale kvůli zmiňovanému zdržení se již nestihnul vstup na orbitu. Druhý pokus bylo možné provést až při dalším průletu, tj. o více než rok později.

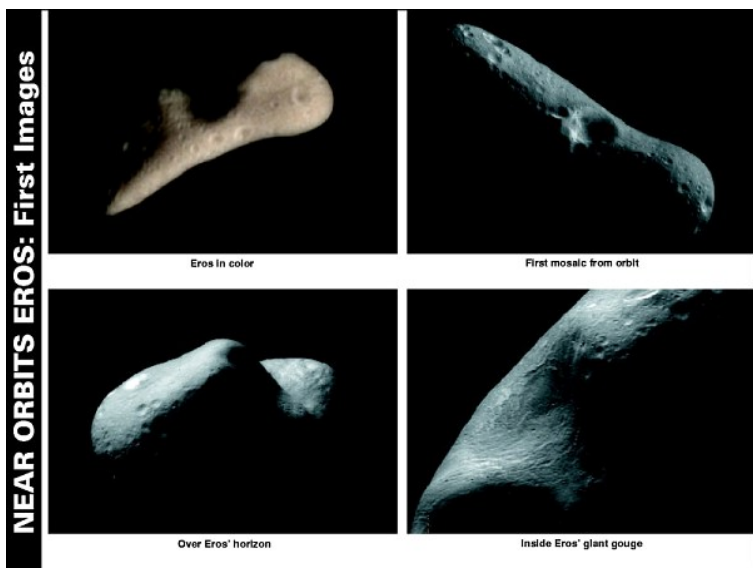
Vědecký tým se samozřejmě snažil co nejvíce využít alespoň tento průlet — rychle změnil pozorovací program a např. pořídil desítky snímků kamerou MSI (ze vzdálenosti až 4000 km), z nichž byl odvozen předběžný tvar asteroidu (viz obr. 10). Také byly získány první spektrální charakteristiky povrchu. Většina přístrojů na sondě (XGRS, NLR, RS) a plánované experimenty však vyžadují dlouhodobá měření, takže přístroje v tomto případě nebylo možné použít.



Obr. 10 — Model tvaru planety (433) Eros. Tři obrázky, pokrývající časový interval 2,5 hodiny, jsou z těsného průletu NEARu kolem Erosu 23. 12. 1998. Pod nimi je síťový model tvaru, viděný ze stejné perspektivy. Vzdálenost sondy od Erosu se v průběhu snímání zmenšila z 9486 km na 3830 km. Eros je velmi protáhlý, největší rozměr má asi 30 km. Někdy bývá tvar planety přirovnáván k botě, ztroskotané lodi nebo burskému oříšku. Model tvaru byl zkonstruován ze všech pořízených obrázků, s použitím profilů horizontu, polohy stínu a z měření poloh povrchových útvarů. © NASA/JHUAPL

Sonda NEAR tedy úspěšně vstoupila na oběžnou dráhu až 14. 2. 2000. Právě z období 12. až 15. 2. pocházejí čtyři přehledové fotografie Erosu na obr. 11.





Obr. 11 — Čtyři snímky asteroidu (433) Eros z 12. až 15. 2. 2000. Vlevo nahoře je snímek ještě ze vzdálenosti 1800 km, barvy alespoň přibližně odpovídají vnímání lidského oka. Ostatní černobílé snímky jsou již z oběžné dráhy 330 km nad povrchem asteroidu — viditelné jsou detaily o rozměru minimálně 35 m. © NASA/JHUAPL

Představme podrobněji objekt našeho zájmu — planetku číslo (433) Eros. Byla objevena fotograficky Gustavem Wittem již 13. 8. 1897. Samozřejmě ještě dávno předtím, než byla tato planetka vybrána pro podrobný průzkum kosmickou sondou, byla astrometricky i fotometricky pozorována pozemskými dalekohledy. Například existují práce z šedesátých let, které se zabývají určováním sluneční paralaxy právě z měření poloh Erosu. 23. 1. 1975 byl vůbec poprvé pozorován zákryt hvězdy planetkou a shodou okolností to byl právě (433) Eros zakrývající hvězdu  $\kappa$  Geminorum (3,6 mag). V devadesátých letech byl podrobně studován jeho dlouhodobý orbitální vývoj (viz [6]).

Kompletní zpracování výsledků měření ze sondy NEAR bude trvat ještě dlouhou dobu, ale první předběžné výsledky již byly prezentovány na 32. konferenci Americké astronomické společnosti (AAS — Division for Planetary Sciences), která se konala 23. až 27. 10. 2000 v Pasadeně, Kalifornii (viz abstrakty v [8]). Shrňme tedy hlavní fakta a nové poznatky o tomto zajímavém asteroidu:

**Dráha.** Jedná se o planetku blízkozemní, po (1036) Ganymedovi dokonce druhou největší. Eros obíhá po dráze s velkou poloosou  $a = 1,458$  AU, excentricitou  $e = 0,223$  a sklonem k ekliptice  $i = 10,8^\circ$ . To znamená, že se pohybuje stále vně

dráhy Země (takovým planetkám se říká typ Amor<sup>1</sup>) a nejvíce se k ní přibližuje na 20 miliónů kilometrů.

**Rozměry, tvar, hmotnost, hustota, rotace.** Určit hmotnost, strukturu gravitačního pole i rotační stav asteroidu lze (i) měřením Dopplerova posuvu rádiového signálu ze sondy, (ii) přesným určením vzdálenosti sondy od asteroidu laserovým dálkoměrem, (iii) zobrazováním orientačních bodů na povrchu.

Nejprve byl zkonstruován model tvaru Erosu s využitím snímků povrchu i dat z laserového dálkoměru. Rozměry asteroidu vycházejí  $33 \text{ km} \times 17 \text{ km} \times 13 \text{ km}$ .

Hmotnost Erosu (která vyplývá ze sledování pohybu NEARu) je  $(6,687 \pm 0,003) \cdot 10^{15} \text{ kg}$ , tj. asi  $10^{-9} M_{\oplus}$ . Spolu s objemem dle modelu to vede k *průměrné hustotě*  $(2,67 \pm 0,03) \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Asteroid je uvnitř pravděpodobně *homogenní*, pro což existují alespoň dvě indicie: (i) Reálné gravitační pole asteroidu je takřka totožné s modelovým polem, které bylo vypočteno integrací přes objem tělesa za předpokladu konstantní hustoty. (ii) Pozoruje se jistá odchylka mezi hmotným středem Erosu a středem jeho obrazu, ale lze ji vysvětlit nepatrným gradientem hustoty  $4,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-1}$ . Prakticky to tedy znamená, že asteroid je velmi homogenní a odchylky jsou spíše způsobeny nerovnoměrným rozložením regolitu a jeho odlišnou porozitou, než třeba proměnným chemickým složením.

Složitý tvar planetky, formovaný impakty, je velmi protáhlý. Přesto nebyla při analýze gravitačního pole nalezena žádná známka struktury připomínající „činku“, tedy toho, že by se jednalo vlastně o kontaktní binární asteroid, jehož obě složky jsou obaleny regolitem.

Úniková rychlost na povrchu se mění od 3,1 m/s do 17,2 m/s. Poloha rotačního pólu je  $\alpha = 11,37^\circ$ ,  $\delta = 17,22^\circ$  a jisté je, že na krátké časové škále je tato poloha stabilní.

**Povrchové útvary.** Během jednoho roku na oběžné dráze pořídil NEAR na 150 tisíc snímků kamerou MSI z různých vzdáleností a úhlů. Umožnil tak na povrchu rozpoznat útvary o rozměrech od desítek kilometrů do několika metrů a u některých stanovit i relativní stáří — například velký hřbet na Erosu je mladší než oblast Himeros i největší kráter (o průměru 5,3 km, viz obr. 17).

Nejtypičtějším povrchovým útvarem jsou *krátery*. Povrch asteroidu zcela pokrývají především krátery o průměru menším než 1 km, na druhou stranu pozorujeme relativně málo kráterů o průměru  $< 100 \text{ m}$ . Na povrchu je vrstva regolitu

---

<sup>1</sup> Blízkozemní asteroidy (často označované anglickou zkratkou NEA — Near Earth Asteroids) se podle drah člení na 3 typy. *Aten* mají velkou poloosu menší než 1 AU a pohybují se tedy stále uvnitř dráhy Země; je jich známo jen 96 (stav k 6. 1. 2001), protože jsou ze Země obtížně pozorovatelné (na obloze je vidíme nedaleko od Slunce). Planetky typu *Apollo* mají perihelium menší než 1 AU, kříží zemskou dráhu a známe jich 573. Posledních tzv. *Amorů*, jejichž perihelium  $q < 1,3 \text{ AU}$ , je známo celkem 575.

(tj. horniny rozdrčené při impaktech), jejíž tloušťka dosahuje několika desítek metrů, jak soudíme z tvaru a velikostí stupňů v kráterových valech. Následkem velkých impaktů může docházet k výraznějším pohybům regolitu; malé krátery (právě ty, kterých je na povrchu „nedostatek“) tak mohou být postupně překryty.

Při velkých impaktech se pravděpodobně vytvoří také *zlomky*, které se táhnou po celé délce tělesa planety. Detailní topografie nám totiž ukazuje větší množství *hřbetů a brázd*, které zřejmě vznikly podél těchto zlomů.

Pozoruhodnými útvary jsou také *balvany* (až 100 metrů velké) ležící na hladkém povrchu. Jejich původ ještě není zcela objasněn. Většina takových úlomků vymršťených při impaktech by totiž podle současných modelů musela uniknout ze slabého gravitačního pole Erosu. Místo toho však pozorujeme povrch přímo posetý balvany. (Takové balvany mohou úzce souviset s pozorovanými malými, rychle rotujícími, monolitickými blízkozemními asteroidy, viz obr. 9.)

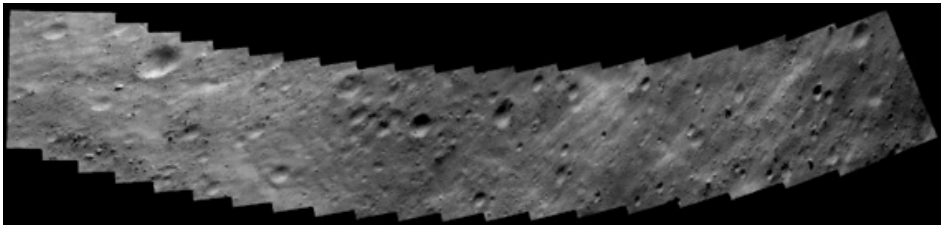
**Spektrum, chemické složení, porovnání s meteority.** Z pozemské barevné fotometrie lze odvodit spektrální typ S (tj. albedo 0,10 až 0,16 a barevný index  $B - V = 0,82$  až  $0,92$ ). Rentgenovým a gama spektrometrem na sondě se podařilo během 30 silných slunečních erupcí prokázat fluorescenci na povrchu asteroidu. Ze spekter pak bylo určeno zastoupení hlavních prvků (Mg, Al, Si, S, Ca, Fe), především v oblasti Himeros a také západně od kráteru Psýché. Nízké koncentrace hliníku jasně podporují hypotézu, že Eros není úplně diferencován. Pozorované chemické složení je velmi podobné *obyčejným chondritům* (konkrétně typům H, L a LL), s tím rozdílem, že asteroid obsahuje relativně menší množství síry (těkává síra mohla uniknout, alespoň z povrchových vrstev, při částečném přetavení). Naopak velmi výrazně se složení liší od HED meteoritů (ty jsou bohaté na hliník, pocházejí z diferencovaného asteroidu (4) Vesta).

(433) Eros je tedy zřejmě primitivní, nediferencovaná, *monolitickou* planetkou (soudíme tak podle tvaru, kráterování, globálních zlomů, chemického složení, atd.). Planetka je pravděpodobně tvořena jen velmi málo přeměněným původním materiálem, z něhož před 4,5 miliardami let vznikala naše sluneční soustava.

## Obrazová příloha

Na obr. 12 až 19 jsou ukázky detailních snímků povrchu, topografická a gravitační mapa, zmíněno je názvosloví útvarů nebo měření laserovým dálkoměrem.

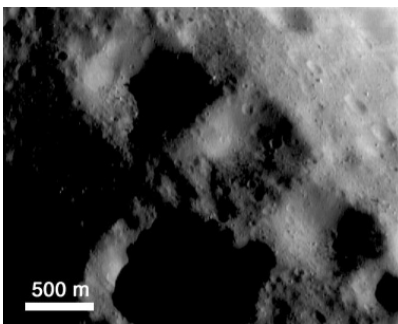
Během posledních měsíců se uskutečňují nízké průlety nad povrchem Erosu (viz např. obr. 12). Jedná se však o manévry náročné na navigaci (kvůli nehomogennímu gravitačnímu poli v blízkosti nepravidelného asteroidu) a spotřebu paliva. Proto se nemohou konat častěji než jednou za týden. Na 12. 2. 2001 je dokonce plánován pokus o *přistání na Erosu* (podrobněji o tom pojednáme v Povětroni 3/2001).



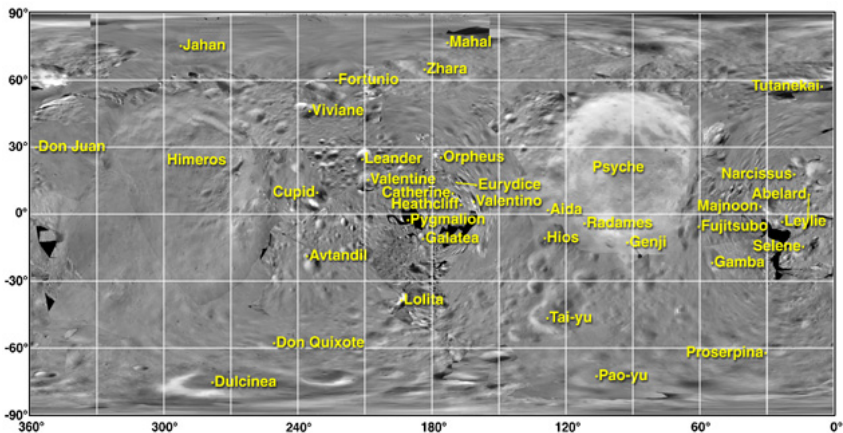
Obr. 12 — Těsné přiblížení k povrchu Erosu. V časných ranních hodinách 26. 10. 2000 prolétal NEAR pouhých 6,4 km nad povrchem Erosu a pořídil přitom desítky snímků, které byly později složeny do této mozaiky. Většina vyfotografovaného povrchu je pokryta skálami a balvany různých velikostí a tvarů, ležících na hladkém podkladu. Některá místa jsou však prázdná a hladká — zřejmě se zde akumuloval jemný regolit a zakryl drobnější povrchové útvary. © NASA/JHUAPL



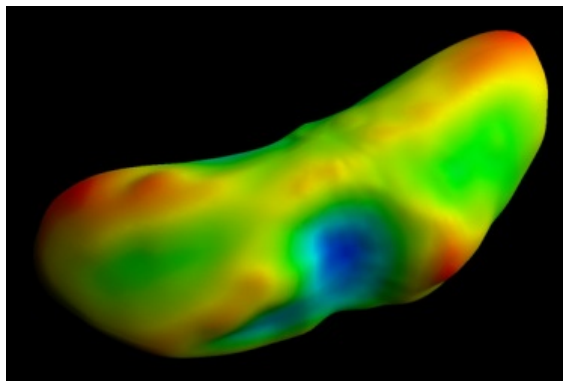
Obr. 13 — Snímek poeticky nazvaný „mnohočetné horizonty“ byl získán 9. 12. 2000 z výšky 80 km. Ukazuje údolí rozdělené širokým kamenitým hřbetem; oblast napříč měří asi 2,2 km. Zajímavým detailem je balvan v popředí snímku, který leží v mělkém kráteru — evidentně musel dopadat malou rychlostí do silné vrstvy regolitu. © NASA/JHUAPL



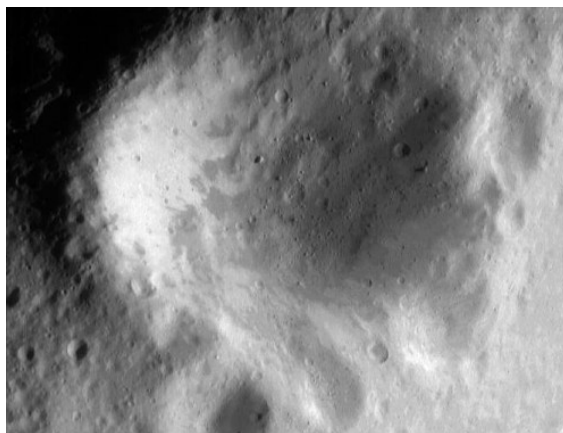
Obr. 14 — Čtvercové krátery. Obvykle mívají krátery kruhový tvar, ale pokud se v místě impaktu nacházejí zlomy, mohou tvar výsledného kráteru silně ovlivnit (val vnikající podél zlomu má totiž přímější směr). Tam, kde se vyskytuje pravoúhlá síť protínajících se zlomů, mohou vzniknout dokonce krátery čtvercového tvaru. Podobné jevy samozřejmě pozorujeme i na Zemi, např. známý Barringerův meteorický kráter v Arizoně, USA má val výrazně polygonální. V geologii existuje pro takové jevy obecnější termín „strukturní kontrola“. Pěkný detail na snímku je balvan viditelný jako světlá tečka na pravém valu horního kráteru — vrhá totiž na dno kráteru stín, na němž je dobře patrný jeho tvar. Snímek byl získán 26. 4. 2000 z výšky 50 km. © NASA/JHUAPL



Obr. 15 — Kompletní mozaika snímků Erosu v jednoduché válcové projekci. Hranice snímků na sebe ne vždy přesně navazují, protože tvar asteroidu je velmi nepravidelný, protáhlý a navíc byl pozorován při velmi proměnlivé geometrii a osvětlení. Mapa je opatřena navrhovanými *názvy povrchových útvarů* — jde pochopitelně o jména slavných milovníků z různých kultur, ať už z historie či literatury. Jméno největšího útvaru, Himeros, pochází z řecké mytologie — postava představuje perzifikaci touhy, věčného průvodce Erose. © NASA/JHUAPL



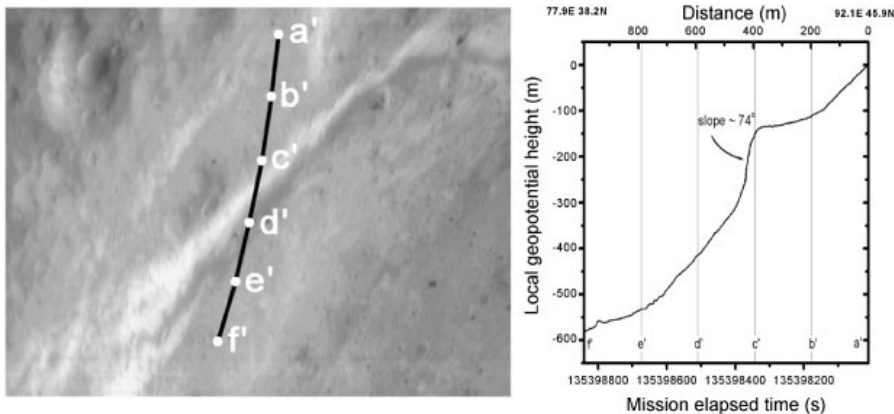
Obr. 16 — Gravitační mapa Erosu. NEAR není schopen přímo měřit gravitační pole na povrchu Erosu, ale má na palubě přístroje, z jejichž měření lze intenzitu gravitačního pole vypočítat. Vyhodnocuje se (i) pozemské rádiové sledování sondy, určuje se její oběžná dráha kolem Erosu a odtud i gravitační síly, které na sondu působí (počítá se však i s tlakem záření); (ii) model tvaru (viz obr. 10), jenž se získává pořizováním velkého množství snímků asteroidu s vybranými orientačními body a měřením vzdálenosti sondy od povrchu laserovým dálkoměrem (viz obr. 19). Porovnáním (i) a (ii) se zjistilo, že hustota asteroidu musí být v celém objemu homogenní. Kvůli protáhlému tvaru planety je její lokální gravitační pole velmi nehomogenní (což se projeví např. tím, že na nejnižším místě v kráteru nemusí mít těleso minimální potenciální energii). © NASA/JHUAPL



Obr. 17 — Největší kráter Psýché. 10. 9. 2000 snímkoval NEAR z výšky 100 km největší kráter (o průměru 5,3 km) na Erosu označovaný jako *Psýché*. Přímo přes kráter probíhají brázdy a příkopy, které jsou zřejmě pozdějšího původu. Vznikly snad při nějakém jiném velkém impaktu. Velmi šikmé osvětlení, přicházející z pravé strany, zvýrazňuje především vyvýšené valy kráteru. Nejsvětlejší povrch se pravděpodobně objevuje v místech, kde došlo k sesuvům starších, tmavých vrstev (viz též obr. 18). Na svazích valu jsou patrné velké balvany. © NASA/JHUAPL



Obr. 18 — Dne 16. 10. 2000, ve výšce 54 km nad povrchem, vyfotografoval NEAR tyto tři barevné obrázky. Barvy jsou „falešné“, vznikly totiž kombinací snímků v zeleném světle a ve dvou pásmech infračerveného oboru. Materiál, který díky dlouhodobému působení slunečního větru a dopadům mikrometeoritů ztmavnul a zčernal, je zobrazen okrovou barvou. Naopak „čerstvý“ světlý materiál, který byl odkryt při sesuvech, vyznačuje barva bílá nebo světle modrá. Všimněte si, že světlý čerstvý materiál se nachází především na vnitřních částech kráterových valů, tj. tam, kde dochází k sesuvům. Stěny Himerosu (panorama nahoře) jsou však velmi často tak strmé, že světlé skvrny pokrývají rozsáhlé nepravidelné plochy (vpravo dole). Ve srovnání s Gasprou a Idou se na Erosu mění barva povrchového materiálu jen nepatrně, ale mnohem výraznější jsou však změny jasu. © NASA/JHUAPL



Obr. 19 — Laserový dálkoměr sondy NEAR Shoemaker určuje vzdálenost tak, že měří dobu mezi vysláním krátkého pulzu světla, jeho odrazem od povrchu tělesa a opětovným příjmem. Výška bodu povrchu se potom vypočte jako rozdíl mezi touto laserem změřenou délkou a vzdáleností sondy od hmotného středu, která je určována metodou rádiového sledování sondy. Pro ukázkou měření výškového profilu povrchu jsme vybrali oblast velké, 10 km široké sedlové deprese, neoficiálně pojmenované *Himeros*. Sráz má výšku více než 100 m a sklon 74°. Na grafu profilu i na fotografii jsou vyznačeny odpovídající si změřené body. © NASA/JHUAPL

V každém případě je NEAR Shoemaker jednou z nejúspěšnějších kosmických sond. A já mohu jen doufat, že další budou následovat. Do programu NASA Discovery je mezi jinými přihlášen např. projekt DAWN ([9]), který má prozkoumat velké asteroidy (1) Ceres a (4) Vestu. Ale o tom až někdy příště.

- [1] *Near Earth Asteroid Rendezvous Mission*. <http://near.jhuapl.edu>
- [2] *NASA Discovery Program*. <http://discovery.nasa.gov>
- [3] Pravec, P., Harris, A. W.: *Fast and slowly rotating asteroids*. *Icarus* **148**, s. 12–20, 2000
- [4] Ostro, S. J. *aj.*: *Radar and Optical Observations of Asteroid 1998 KY26*. *Science* **285**, s. 557–559, 1999
- [5] *Two Extreme Asteroids*. *Sky & Telescope*, 12/1999, s. 26, 1999
- [6] Michel, P., Farinella, P., Froeschlé, Ch.: *Dynamics of Eros*. *ApJ* **116**, s. 2023–2031, 1998
- [7] *A Rendezvous with Eros*. *Science* **289**, s. 2001 (a další s. 2085–2105), 2000
- [8] *ADS (The NASA Astrophysics Data System)*.  
[http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
- [9] *DAWN: A Journey to the Beginning of the Solar System*.  
<http://www-ssc.igpp.ucla.edu/dawn/>
- [10] Brož, M. *aj.*: *CD /Astronomie: NEAR*. HPHK, Hradec Králové, 2001