

Kritéria identifikace impaktních struktur

David Rajmon, III. ročník PŘF UK

Impaktní struktury jsou jedním z nejběžnějších útvarů na povrchu planet a na jiných menších kosmických tělesech. Historie jejich výzkumu sahá až do 17. stol., kdy Galileo Galilei poprvé pozoroval dalekohledem Měsíc a jeho krátery. Až do 20. stol. spolu soupeřily dvě teorie vzniku kráterů: impaktní a vulkanická. Výzkum ztěžovala hlavně skutečnost, že na Zemi nebyly dlouho impaktní krátery známy. Teprve v roce 1925 byl impaktní původ přiznán Barringerovu kráteru v Arizoně. Dnes je známo více než 130 impaktních struktur, zvláště z geologicky dobře prozkoumaných a stabilních oblastí.

Impaktní záznam na Zemi je velmi neúplný v porovnání například s Měsícem. Může za to značná geologická aktivita na povrchu Země v podobě vrásnění, magmatismu, eroze apod. V posledních desetiletích byl výzkum impaktních struktur velmi intenzivní, nebo rozluštění impaktního záznamu nám dává možnost pochopit vývoj sluneční soustavy, zvláště v jeho nejranějších fázích. Postupně vznikla řada kritérií a postupů umožňujících identifikovat i takové impaktní struktury, které se morfologicky již nijak neprojevují.

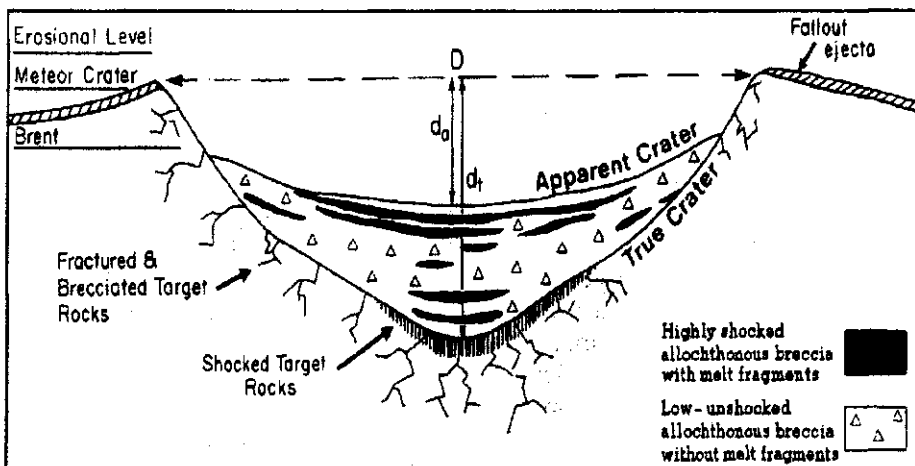
Strukturně geologické charakteristiky

Impaktní struktury mají obecně kruhový, případně polygonální tvar v závislosti na tektonice dané oblasti. Např. Meteorite Crater v Arizoně je výrazně kosočtvercový, Wolf Creek v Austrálii je šestiboký a Ries u Stuttgartu je nepravidelně osmiúhelníkový. Tyto struktury mají mísovitý, plochý tvar narozdíl od vulkanických kráterů, jež jsou trychtýřovité nebo komínovité. Také u nich nenacházíme žádné přívodní kanály. Vzniklá tavenina naopak proniká do podloží.

Velikost a tvar kráteru závisí především na kinetické energii

impaktujícího tělesa. Ta se při dopadu přeměňuje na jiné formy - především teplo, mechanickou energii nárazu a roztržení a energii seismických vln. Při dopadu se během několika sekund zvýší teplota na několik tisíc stupňů Celsia a tlak dosáhne řádu GPa. Meteorit se rychle vypaří a to způsobí výbuch, jež je vlastní příčinou vzniku kráteru.

Meteoritové krátery dělíme dle velikosti a morfologie na jednoduché a složité (komplexní):



Jednoduché struktury mají prostý mísovitý tvar. Dosahují průměru několika km. Patří mezi ně např. Meteor Crater v Arizoně, Brent v Kanadě nebo Lonar v Indii. Pod zdánlivým dnem kráteru leží mocná vrstva alochtonní (přemístěné) brekcie tvořená materiálem vyvrženým při výbuchu a spadlým zpět do kráteru a také horninami, které se sesuly z nestabilních stěn kráteru. Část brekcie (10%) je postižena šokovými jevy a tavením. Alochtonní brekcie leží na podrceném, nicméně autochtonním (nepřemístěném) podloží vlastního kráteru. Projevy šokové metamorfózy podloží jsou omezeny jen na dno kráteru, kde maximální tlak šokových vln dosáhl až 25 GPa.

Komplexní struktury mají komplikovanější tvar. Jsou celkově mělčí. Dosahují průměru až 200 km, např. Popigaj na Sibiři (100), Manicouagan

v Quebecu (100), Sudbury v Kanadě (200). Tyto struktury mají centrální elevaci a někdy i několikanásobnou prstencovou stavbu s koncentricky uspořádanými příkopy a valy. Je možno odlišit několik morfologických podtypů těchto struktur. Okraj kráteru je postižen poklesovou tektonikou, často i zvrásněn. Centrální struktury jsou budovány šokově postiženými horninami, které byly vyzdviženy oproti jejich původní stratigrafické pozici. Okolní prstencové deprese jsou částečně vyplněny alochtonní brekcií a impaktní taveninou, jejíž objem může být značný.

Geofyzikální charakteristiky

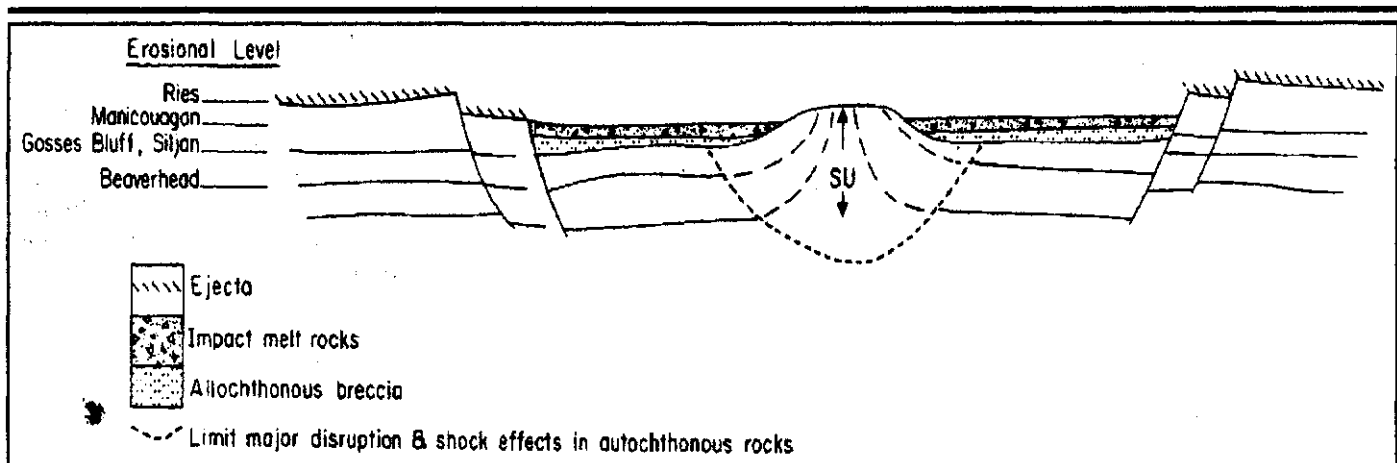
K identifikaci impaktních struktur lze s úspěchem využít všech hlavních metod geofyzikálního průzkumu.

S jejich pomocí lze zkoumat i struktury hluboko erodované.

Gravimetrie - velká porozita a tudíž nízká hustota autochtonních brekcií způsobuje negativní tíhovou anomálii. V místě centrálního vrcholku je častá pozitivní tíhová anomálie.

Magnetometrie - magnetické anomálie jsou poněkud komplikovanější než tíhové. Dominantní je opět negativní anomálie. Ta může být u velkých komplexních struktur komplikovaná ještě krátkovlnnými anomáliemi v centru struktury. Příčiny změn magnetického pole jsou komplikované a podílí se na nich řada mechanismů.

Elektrické metody - impaktní struktury se projevují vyšší elektrickou vodivostí v polohách brekcií a natavených hornin. Je to způsobeno vyšší porozitou hornin a tedy větším obsahem fluid.



Vodivostní anomálie má značný rozsah.

Seismika - vlivem podrcení hornin klesá rychlost šíření seismických vln - nejvíce v alochtonních brekciích. Tato metoda je nejvhodnější pro pohřbené krátery. Dobře rozliší strukturu kráteru včetně okrajových zlomů.

Impaktová metamorfóza

Impaktová nebo též šoková metamorfóza je proces přeměny hornin, který nastává během dopadu tělesa na zemský povrch. Hlavní rozdíl mezi impaktní metamorfózou a metamorfózou běžnou v pozemských podmínkách je v její intenzitě a v době, po kterou probíhá. Při impaktní metamorfóze dochází během velmi krátké doby (desetiny až desítky sekund) k prudkému zvýšení teploty a tlaku. Tlak na frontě vlny stlačených plynů dosahuje jednotek až prvních stovek GPa (zpravidla 10-150 GPa). Teplota dosahuje 2000-3000°C, u větších kráterů (např. Ries u Stuttgartu) se odhaduje až na 5000°C. Ve srovnání s tím produkují vulkanické exploze tlaky maximálně 0.3-0.4 GPa. Regionální metamorfóza probíhá za tlaků maximálně prvních jednotek GPa (3-4 GPa), teploty dosahují řádově asi 1000°C a celý proces trvá jednotky až desítky milionů let.

Projevy šokové metamorfózy směrem od centra rychle doznívají. Proto jsou pozorovány jen na dně jednoduchých struktur a okraj kráteru jimi není postižen. U komplexních struktur zasahují od centra do vzdálenosti max. 0.3 konečného průměru. Intenzita metamorfózy klesá radiálně od centra kráteru a do hloubky v řádech r^{-2} až $r^{-4.5}$.

Hlavní znaky impaktové metamorfózy:

a) *Nárazové kužele* - jsou způsobeny šokovou vlnou, jejíž tlak je větší než 3 GPa. Bývají desítky centimetrů až 1 m dlouhé. Z jejich orientace lze určit směr šíření šokové vlny. Jsou obecně vyvinuty v autochtonních horninách dna kráteru a nejčastěji vystupují na povrch v erodovaných centrálních vrcholcích.

b) *Drcení nerostů a hornin* - při tlacích 2-5 GPa vznikají nepravidelné sítě trhlin až brekcie. Při vyšších tlacích od 5 do 15 GPa se u nerostů objevují planární deformace připomínající štěpné trhliny. Rozdrobené materiály jsou uspořádány radiálně. Při ještě větších tlacích se objevují tzv. planární elementy, např. dokonalá štěpnost křemene, zvýraznění mozaikové stavby krystalů, nastává dvojčetění, někdy i plastická deformace zrn.

c) *Změna fyzikálních vlastností šokově přeměněných minerálů* - zpravidla se snižují hodnoty indexu lomu, dvojlomu, hodnoty $2V$, byla pozorována difúze difrakčních linií, zvětšení parametrů a_0 a c_0 u křemene, plagioklasová zrna se podle svých optických vlastností jeví jako vysoce neuspořádané plagioklasy (= diaplektický plagioklas), zmenšení hustoty a magnetické susceptibility.

d) *Diaplektická přeměna nerostů* - při vyšší šokové metamorfóze (>30 GPa) vedou tlakové síly k izotropizaci látek. Tlakovým rozrušením krystalových struktur nerostů vznikají přímo v pevném stavu diaplektická skla. Ta zachovávají tvar původních krystalů nebo hranice zm či dvojčetné lamely a štěpnost. Tlaková vlna zničila strukturu nerostů, ale teplota byla nižší než bod tání daných sloučenin. Ve vulkanických sklech neznáme diaplektickou přeměnu.

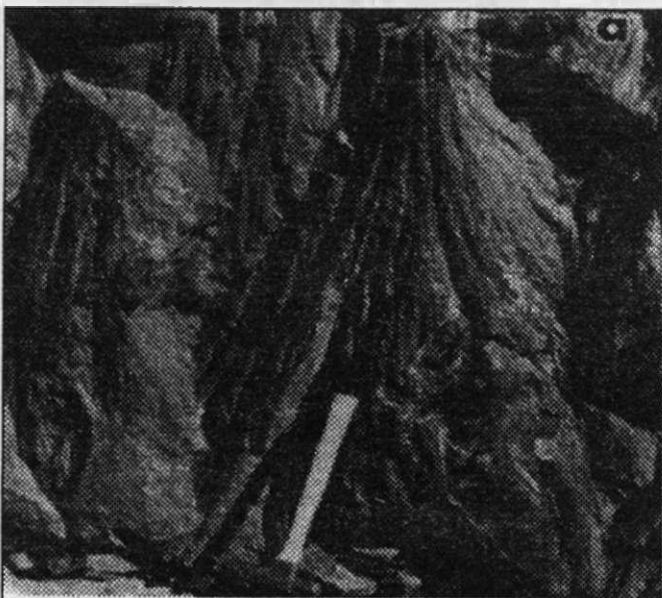
e) *Superbarické fáze* - jde o těžké modifikace některých nerostů.

Prudké zvýšení tlaku během impaktní metamorfózy způsobuje fázové přechody, jež vedou k těsnějšímu směsnání částic, a tím i ke zmenšení objemu struktury. Přestavba probíhá v pevném stavu. Křemen se například přeměňuje na coesit nebo stišovit. Grafit si při ašokové metamorfóze zachovává šestiúhelníkový typus krystalu, navíc vznikají texturně uspořádané krystality superbarických fází, hlavně lonsdaleit a diamant (dosahují velikosti do 120 μm), ale také chaoit a diaplektický grafit.

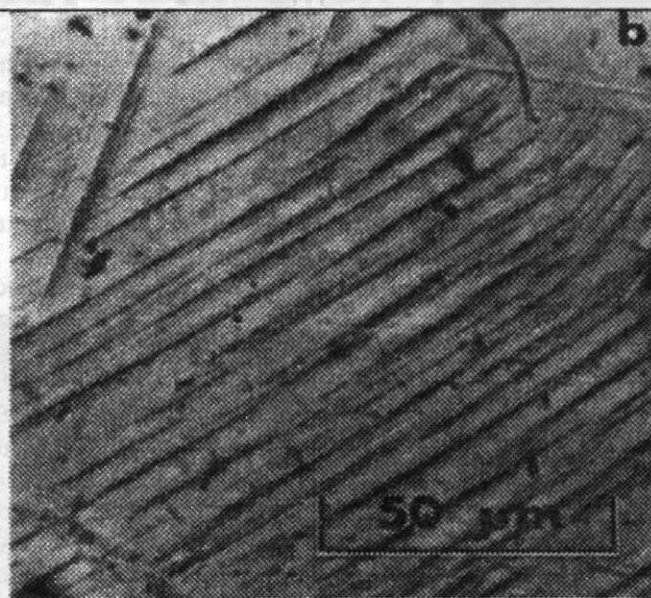
f) *Impaktity* - horniny skládající se z brekcií, úlomků a reliktních částic hornin nebo minerálů, z produktů krystalizace impaktových tavenin a z devitrifikovaných skel. Drcené horniny, které během impaktu neprodělaly podstatnou přeměnu, tvoří tzv. authigenní brekcie (impaktity I), horniny, které byly podstatně změněny, tvoří tzv. alogenní brekcie (impaktity II). Impaktity I zachovávají texturu původních hornin, impaktity II zcela ztratily texturní znaky původních hornin (alogenní brekcie, suevit, tagamit). Geochemické vztahy prvků ve výchozích horninách se ještě zachovávají v impaktitech I, ale úplně jiné bývají v impaktitech II.

Suevit je brekciovitá homina tmelená pórovitým sklem nebo obsahující sklovité bomby. Tmelené úlomky představují drcené horniny z místa impaktu. Jde většinou o polymiktní materiál. Suevity by měly obsahovat více než 10% sklovité složky. Je-li obsah skla procentuálně nižší, doporučuje se používat termín alogenní brekcie.

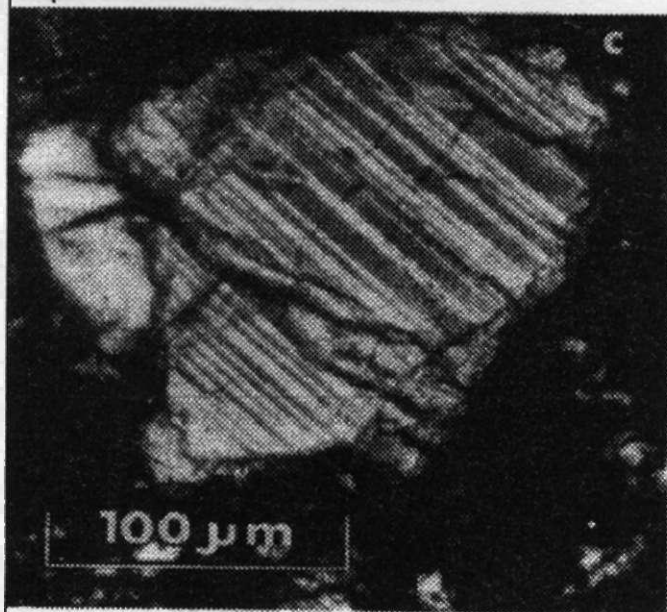
Tagamity jsou kompaktní horniny vzniklé utužením impaktní taveniny. Vytvářejí větají čočkovitá tělesa nebo žily uvnitř kráteru. Mají někdy sloupcovitou odlučnost, jsou



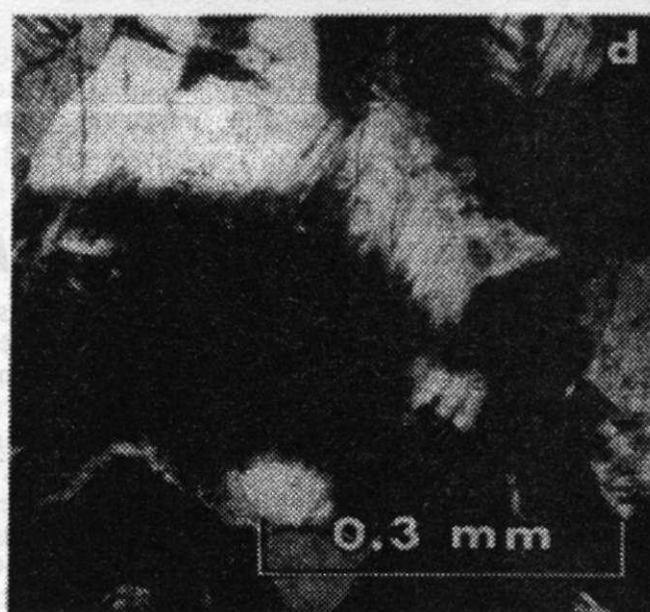
a) Tříštivé kužele v kvarcitu.



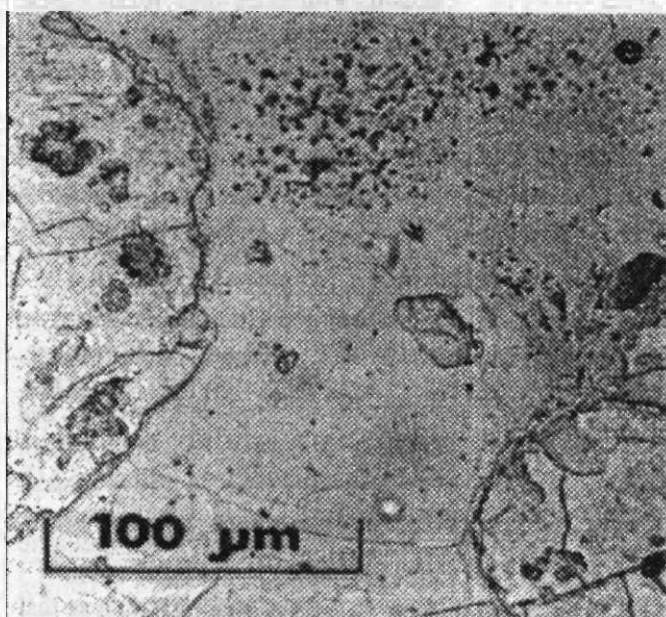
b) Planární deformace (štěpné trhliny) v křemeni.



c) Planární deformace v živci (lamelování)



d) Maskelinit (tmavý) v zrně plagioklasu (světlý).



e) Malá zrnka coesitu (vysoký reliéf).



f) Žilka s proudovou texturou v okolním skle.

většinou tmavě zbarvené (černé, zelenavě černé, temně hnědé, temně šedé až nafialověle šedé) a mají málo bublin. Sklo zpravidla obsahuje do 5%.

Kromě právě popsaných hornin vznikají v kráterech tepelným tavením také impaktová skla. Označujeme je jako impaktit III. Narozdíl od vulkanických skel vznikala impaktová skla za podmínek šokového tlaku a teploty (1300-1900°C). Při tlacích ~50 GPa dochází jen k tavení některých minerálů, za tlaků ~60 GPa se taví již celá hornina. Rovněž chladnutí probíhalo velmi rychle - 70-100 °C.s⁻¹, narozdíl od vulkanických skel (0.X - X. 0 °C.s⁻¹). Jsou velmi nehomogenní. Jejich barva je většínou velmi tmavá. Mezi impaktity III patří zřejmě také tektity, které nacházíme na velkých rozlohách mimo vlastní krátery. U nás jsou známé především *vltaviny*.

g) *Ostatní znaky* - jde například o produkty kondenzace silikátových par, které tvoří drobné sklovité kuličky nebo tenké povlaky v dutinách a puklinách hornin. Dochází ke krystalizaci z roztoků a rekrystalizaci. Vznikají i některé exotické minerály jako ~~zamalolit~~ dřívě známý jen z Měsíce. Běžné jsou hydrotermální přeměny způsobené meteorickou vodou, která přišla do kontaktu s ještě horkými horninami. Nastává hydratace, oxidace a odnos alkálií. Vznikají sekundární minerály jako montmorilonit, nontronit, chalcedon, opál, křemen, kalcit a další.

Geochemické charakteristiky

Identifikace impaktních struktur se z valné části opírá o charakteristický chemismus produktů impaktového tavení. Rozdíly v chemickém složení výchozích hornin podloží a produktů tavení jsou nevelké leč signifikantní. Jsou způsobeny jednak PT podmínkami při tavení, jednak selektivními mechanismy tavení, vypařování, kondenzace a tuhnutí a jednak kontaminací kosmickým materiálem.

V souvislosti s redukčním prostředím při vysokoteplotním tavení rostou poměry CO/CO₂, FeO/Fe₂O₃, K₂O/Na₂O. Mění se obsahy některých prvků, jejich vzá-

jemné poměry, poměry jejich izotopů, vznikají nové sloučeniny.

Významným mechanismem ovlivňujícím chemismus impaktových skel a impaktitů je kontaminace meteoritovým materiálem. Charakteristické jsou zvýšené obsahy prvků jako Ni, Ir, Os, Re, Rh, Pt, Pd apod. Ve sklech některých kráterů byly nalezeny drobné až mikroskopické kuličky niklového železa, nebo troilitu - např. Ries, Wabar, Kofels, Bosumtwi. U menších kráterů (do 1.2km) se běžně nacházejí úlomky železa

Vůdčím prvkem impaktitů i skel je Ir. Míra kontaminace meteoritovým materiálem je u různých struktur různá. Může dosahovat až několika procent.

Poznámka. Článek byl zpracován na základě bakalářské práce Davida Rajmona, obhajované letos na Přírodovědecké fakultě UK v Praze.

ASTROPRAKTIKUM 95

Soukromá astronomická observatoř v Prostějově pořádá a zároveň si Vás dovoluje pozvat na IV. ročník desetidenní prázdninové akce se zaměřením nejen na astronomii, **ASTROPRAKTIKUM 95**. Praktikum se bude tentokrát konat v rekreačním a vzdělávacím středisku firmy DELTACO s.r.o. Litoměřice v Oklukách, asi 20 km vzdálených od Prostějova směrem na Blansko ve dnech 11. - 20. srpna 1995.

V přednáškách účastníky seznámíme s ovládním dalekohledů, mapami, naučíme je poznávat noční oblohu. Zaměříme se také na starořeckou mytologii souhvězdí a planet a různé techniky pozorování mnoha druhů vesmírných objektů.

Prostřednictvím mnoha dalekohledů budeme pozorovat klasickou noční oblohu, planety, komety, planety, proměnné hvězdy, ve dne pak Slunce. Na nedalekém druhém pozorovací stanovišti u chaty "Na hranáči" budeme sledovat maximum meteorického roje Perseid.

V případě nepříznivého počasí promítneme zajímavé filmy, uspořádáme poutavé přednášky a chybět nebudou ani bohaté diskuse.

Navíc proběhnou přednášky o historii, drahých kamenech, čaro-

ASTROPIS NA INTERNETU

Pravděpodobně od září letošního roku budete moci najít některé články a informace o Astropisu najít na WWW serveru na Internetu.

URL adresa naší základní homepage bude:

<http://www.ms.mff.cuni.cz/acad/webik/~pmit2218/astropis/astropis.html>

dějnictví, vědě a víře, o cizích zemích a kontinentech prostřednictvím zahraničních návštěv a České státní expedice "Severní Amerika 1995". Nemine Vás rovněž minikurz meteorologie, diskuse, přednášky a koncert keltské hudby. Navštíví nás starosta města Prostějova a různí čeští astronomové.

Celé praktikum proběhne za pozornosti mnoha sdělovacích prostředků - tisku, rozhlasu, televize a zejména časopisu *Astronomie* dnes. Součástí akce je i návštěva Hvězdárny a planetária M. Koperníka v Brně a prohlídka Prostějova, možná i Olomouce. Zbytek volného času bude věnován diskusím, koupání, hrám a výletům po okolí a také soutěži s hodnotnými cenami. Připraven je i maskot celé akce, pták-astronom. Kurz povedou dva lektori a přednášet bude řada hostů.

Kurzovné této akce činí (výhradně díky sponzorům) 450 Kč, včetně stravy, ubytování ve vybavených chatkách pro 2 nebo 4 osoby, otočné mapy oblohy a různých propagačních materiálů.

Spojení do Okluk je autobusem ve směru na Protivanov a Boskovice. Věk účastníků je naprosto neomezen.

Máte-li o tuto akci zájem, své přihlášky či dotazy zasílejte k rukám Vladislava Slezáka na adresu: **SAO, Moravská 27, 796 01, Prostějov**.

Vaše přihlášky očekáváme nejpozději do 15. července 1995.

Na Vaši návštěvu se těší Vladislav Slezák
vedení SAO a expedice