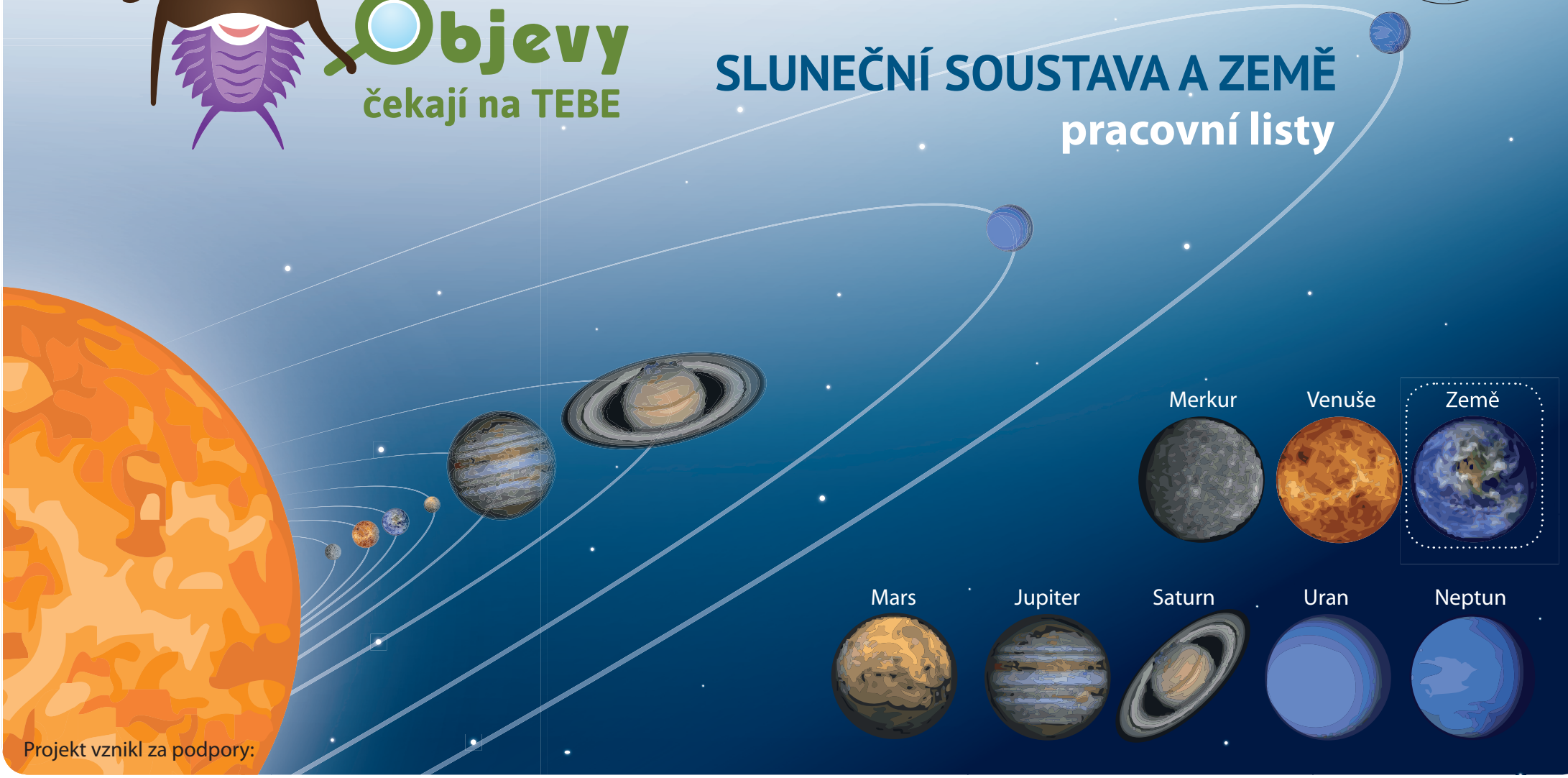
Objevy
čekají na TEBE

SLUNEČNÍ SOUSTAVA A ZEMĚ
pracovní listy



Projekt vznikl za podpory:

esf evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jméno: .....

Škola: .....

Datum: .....

VZNIK ZEMĚ A JEJÍ NITRO

Jaký je přínos tohoto oboru pro budoucnost člověka?

Geologie se neobejde bez poznání **zemského nitra**, které je svědkem vývoje naší planety. Nitrem Země rozumíme všechno pod jejím povrchem, od hloubek dosažitelných vrtáním až po její jádro. Hnací silou většiny geologických pochodů jsou pohyby hmot a fyzikální i chemické reakce hluboko pod povrchem. Proto také pochodům, jako je zemětřesení a sopečná činnost, říkáme **pochody endogenní** čili vnitřní.

Geologie je rozmáchlá do kosmu i do zemského nitra. Co je důležitější? Složení a pohyby planet nám prozradí mnoho o dávné minulosti Země. Nitro Země odpoví na otázku, jak zemské těleso vzniklo a jak se dál vyvíjelo. Vesmír i zemské nitro ovlivňují náš současný život. Většinou příznivě, ale mohou též způsobit celosvětovou přírodní katastrofu. Vyloučen není ani pád planetky na zemský povrch, ani ničivý sopečný výbuch, jemuž říkáme **superexploze**.

Obr. 1. Tato vrtná souprava pronikne jen několik desítek metrů pod povrch.

Otázka hned na začátek: *Představte si, že jste miliardáři a máte neomezené prostředky. Máte takovou moc, že můžete rozhodovat o všem. Proto napište zcela upřímně váš názor: Máte dvě možnosti. Buď organizovat a financovat expedici astronautů na Venuši s celým vybavením, nebo sponzorovat patnáctikilometrový vrt do oceánské kůry a pláště, třeba v Atlantiku. Co si myslíte, že bude pro vědu a celé lidstvo užitečnější? Odpovíte-li, zkuste též dodat PROČ.*

Trocha historie: jezuitský pohled na Zemi

O jezuitech se napsalo mnoho ošklivého. Vždyť jejich horlivým členem byl i páter Koniáš, jehož jméno připomíná nejhorší cenzuru a ničení knih. Byli však i jezuité učení, kteří nejen věřili, ale i bádali. Jedním z nich byl i „geolog" Asthanasius Kircher. Jeho kniha Mundus subterraneus (Podzemní svět), která vyšla v roce 1664 v Amsterdamu, se stala „geologickou biblí" 17. století. Některé jeho geologické postřehy jsou platné dodnes. Třeba že sopky jsou spojeny s ohněm v zemském nitru, protože teplo je tím větší, čím hlouběji sestupujeme pod povrch. V knize jsou i fantastické názory. Hluboko pod povrchem jsou prý kanály, které propojují všechny oceány. Kircherovy představy ovlivnily v 17. a 18. století vyučování na univerzitách.

Co nás dnes ze zemského nitra nejvíc zajímá?

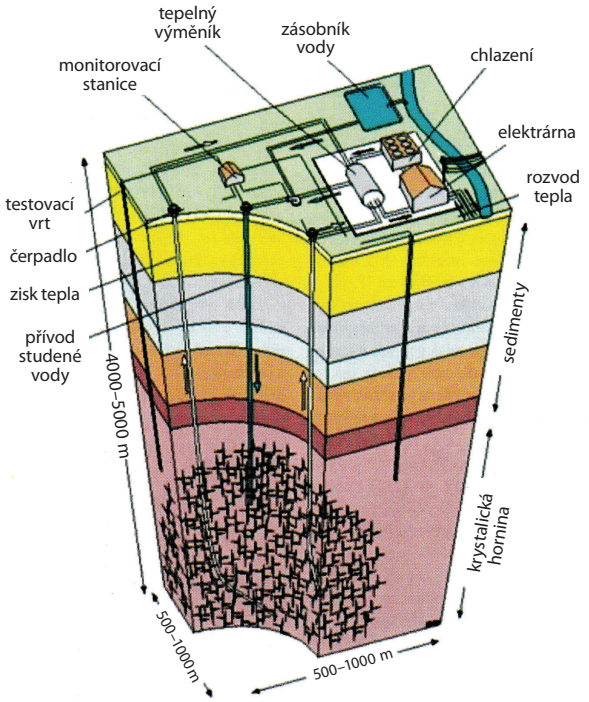
Je toho víc, ale na prvním místě je zřejmě stále hledání zdroje pohybů tektonických desek a odpověď na následující otázky: Jaký je význam tepla, jak fungují konvekční tepelné proudy? Jak opravdu vypadá subdukce, tedy podsunování oceánské desky pod pevninskou až hluboko do zemského pláště? Jak dlouho a jakou rychlostí bude pokračovat rozpínání oceánů? Kdy se konečně Afrika rozštěpí na dva světadíly a vznikne nový Africký oceán? Opravdu zanikne Středozemní moře?

Z čistě praktického hlediska nás zajímá hledání dalších hlubinných ložisek – rud, ropy, zemního plynu i metanu pod mořským dnem. Stále častěji se hledají zdroje využitelné geotermální energie.

Co hledají geologové ve vesmíru?

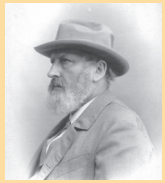
Především budou stále hledat vodu na Měsíci a na planetách. Dále též stopy života, hlavně organický uhlík. Stále pátrají a budou pátrat po blízkých objektech, které by mohly ohrozit Zemi. S tím souvisí i výzkum meteoritů a hledání jejich původu.

Otázka: *Souhlasíte s tím, nebo si myslíte něco jiného?*



Obr. 2. Schéma využívání geotermální energie.

Něco pro křížovkáře: co je to SIAL, SIMA a NIFE?



Tyto zkratky, mezi geology velice populární, vymyslel profesor vídeňské univerzity **Eduard Suess** (1831–1914). Rakušané ho považují za největšího geologa konce 19. století a jednoho z nejvýznamnějších geologických duchů vůbec.

U nás je znám, protože jeho kniha Anlitz der Erde (Obraz Země) vyšla v roce 1883 ve Vídni a současně i v Praze. Suess měl úzké vztahy k Čechám, zajímala ho horstva, léčivé minerální vody a samozřejmě i nitro Země. Vymyslel zkratky pro vrstvy v zemském nitru, jakési symboly, které by měly odpovídat jejich složení. Jsou to:

SIAL – znamená silicium a aluminium (křemík a hliník) – nejsvrchnější vrstva

SIMA – silicium a magnesium (křemík a hořčík) – spodnější vrstva

NIFE – niklum a ferrum (nikl a železo) – nitro Země.

Docela se to Suessovi povedlo, o nitru Země ledacos věděl.

Ještě užší vztah k našim zemím měl jeho syn Franz Eduard Suess (1867–1941), který byl profesorem na pražské technice, zasloužil se o poznání geologického složení našeho území a napsal německy knížku Obraz a geologická stavba Českého masivu (1905).

Otázka: *Má Eduard Suess něco společného se Suezským průplavem? Zaškrtněte správnou odpověď:*

A. Samozřejmě, Suess psal geologický posudek o oblasti.

B. Neměl s ním nic společného.

C. Ano, Suess byl přítelem tureckého sultána, který vládl i Egyptu.

D. Ano, Suess zjistil, že hladina Rudého moře je stejně vysoko jako hladina Středozemního moře.

Vznik Země

Po zrození Slunce, asi před 4,5 miliardami let, kolem něj kroužil oblak prachu, plynů a ledu. Nebyl stabilní, prachové částice do sebe narážely a shlukovaly se do větších těles, načež se z nich vytvářely planety sluneční soustavy. Takové primitivní planety rostly a gravitací přitahovaly stále více prachu a jiných částic, až se z nich stala Země a okolní planety, jimž říkáme terestrické čili Zemi podobné.

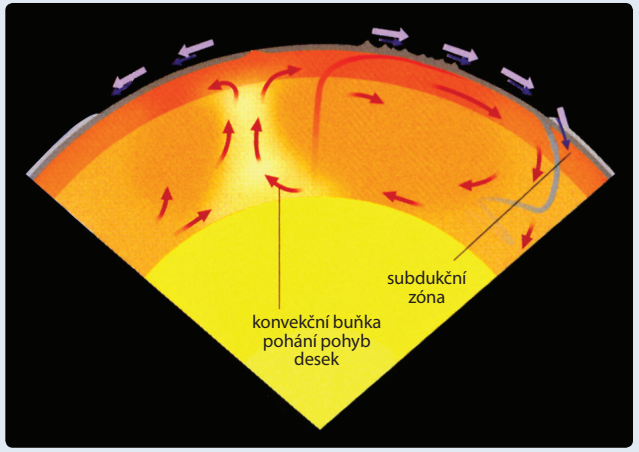
Z hlediska vývoje vesmíru to netrvalo dlouho, snad 10 milionů let. Těleso Země bylo ještě chladné a stejnorodé, kůra, plášť a jádro dosud neexistovaly. Kolem Země však prostorem putovalo dost vesmírného „smetí", které nově zrozená planeta přitahovala.

Obr. 3. Bombardování Země vesmírnými tělesy.

Otázka: *Jaká je teplota tání železa?*

Kolem byla i velká tělesa, která Zemi bombardovala. K poslednímu velkému bombardování došlo před 4 až 3,8 miliardami let. Tím se uvolňovala obrovská energie, jež roztavila Zemi do značné hloubky. Tepelnou energii dodával i rozpad radioaktivních prvků a smršťování nehotového zemského tělesa. V prostředí roztavených hornin se složky třídily podle hmotnosti. Těžké kovy klesaly do středu, lehčí zůstávaly při povrchu. Lehce tavitelné železo se uvolňovalo z hornin a s niklem a jinými kovy se hromadilo v jádru. Roztavení železa a vlastně celého zemského tělesa bylo tak mohutné, že se této události říká „železná revoluce".

Teplota zemského tělesa stačila k tomu, aby bylo železo roztaveno a soustředilo se v jeho jádru. Nad kovovým jádrem se hromadily křemičitany a třídily se podle hmotnosti. Jelikož byla v jádru teplota nejvyšší, téměř 5 000 °C, horké proudy stoupaly a přenášely teplo k povrchu. Tam roztavené horniny chladly, tím byly těžší a těžší a proudily dolů zpět k jádru. To je princip tzv. konvekčního proudění, které dodnes geologické pochody ovlivňuje, ba dokonce řídí.

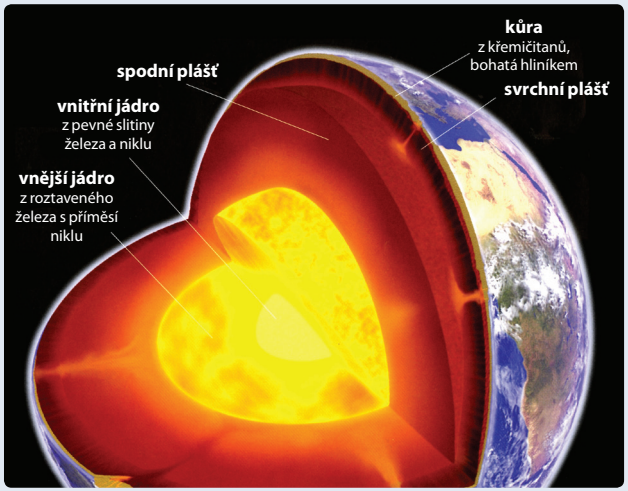


Obr. 4. Schéma konvekčního proudění v zemském nitru.

Trocha poezie

Již o zemském jádru víme,
že jej nikdy nespatříme.
Co však zajímá nás zvlášť,
že nad jádrem leží plášť.
Vzhůru kilometrů fůru
máme zemskou kůru.

Zemské nitro

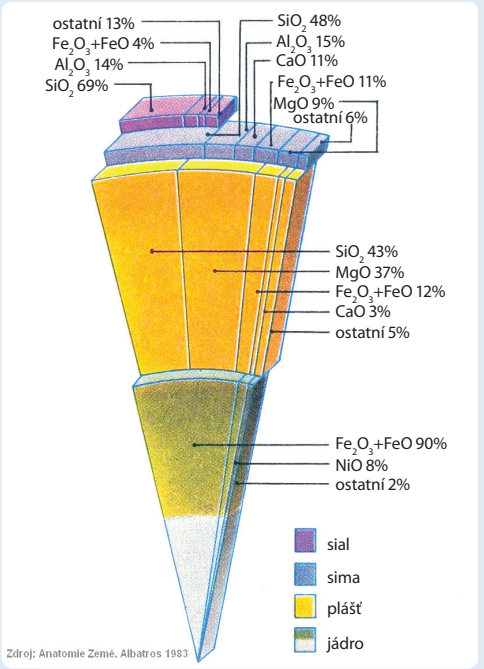


Obr. 5. Řez zemským tělesem od kůry až k jádru.

Země má **jádro**, kolem něj je **plášť**, na něm je **zemská kůra**, to už víme. Často se přirovnává zemské těleso k cibuli. Tohle přirovnání se nám nelíbí, ani ze zmenšené Země by se nepodařilo sloupnout kůru z pláště a ten pak z jádra tak jako slupky z cibule. Natož pak svrchní plášť ze spodního a vnější jádro z kovového jadérka. Mezi všemi těmito „slupkami", jak se jim někdy říká, jsou pozvolné přechody o mocnosti desítek kilometrů. Proto kůře a plášti budeme říkat vrstvy a dodáme „**koncentrické**", to znamená, že mají společný střed a jsou téměř kruhové.

V tabulce najdete mocnost zemských vrstev a jejich charakteristiku.

vrstva	km od povrchu Země	skupenství	hustota $g.cm^{-3}$	teplota °C
kůra pevninská	30–70	pevné	2,7	pod 1000
kůra oceánská	6–12	pevné	3	pod 1000
svrchní plášť	25–600	pevné	3,5	pod 1000
spodní plášť	600–2900	pevné až plastické	5,5	1000–3500
vnější jádro	2900–4980	kapalné	10	35600–4000
vnitřní jádro	4980–6370	pevné	12	4000–4700

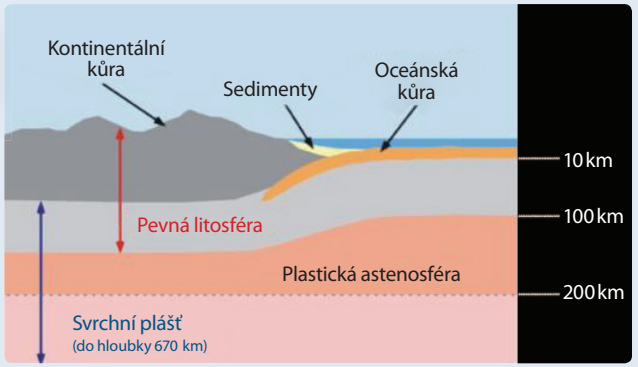


Obr. 6. Vrstvy zemského tělesa a jejich složení.

Pevninská kůra je jiná než oceánská

Tento poznatek patří k největším geologickým objevům 20. století. Již na konci 19. století se geologové divili, když při kladení podmořského telegrafního kabelu vytáhli na palubu lodí podivné horniny s olivínem a pyroxenem. V padesátých letech 20. století už bylo jasno, **pevninská kůra** je mocnější a má žulovou čili granitovou vrstvu, pod kterou je vrstva čedičová. Právě ta granitová vrstva je rozlišovacím znakem mezi pevninskou a oceánskou kůrou. Nemusí to být právě žula čili granit, ale i hornina podobných fyzikálních vlastností.

Otázka: *Z jakých hornin může také být „granitová" vrstva?*



Obr. 7. Vztah mezi pevninskou (kontinentální) kůrou, oceánskou kůrou a jejich podložím.

Oceánská kůra je maximálně 12 km mocná a je tvořena na povrchu usazenými horninami, pod nimiž jsou horniny čedičové. Usazeniny mnohde chybí, takže na povrchu dna jsou čediče. V jejich svrchní části jsou to žíly a tzv. polštářové lávy, ve spodní se objevují gabra. To jsou tmavé horniny s živci – plagioklasy, pyroxenem, někdy olivínem a řadou dalších nerostů. Byly již objeveny i dost exotické horniny, např. dunit, který je téměř zcela tvořen olivínem. Zatímco čediče jsou výlevnými horninami, gabra jsou hlubinnými, tj. plutonickými vyvřelinami.

V posledních letech se objevuje více tzv. kůry přechodné, která má třeba jen zbytky žulové vrstvy nebo velikou mocnost usazenin na čedičové vrstvě.

Provrtali se do pekla?

Podivné věci se prý na kolském vrtu děly v posledních fázích vrtání. Z vrtné díry se ozývaly neznámé zvuky. Proto na dno spustili mikrofon a podařilo se zaznamenat úpění a sténání. Okamžitě byla na světě senzace, tedy alespoň na světě bulváru – provrtali se do pekla! Zanedlouho však bylo po senzaci, jako ostatně ve všech podobných případech. Šlo o docela obyčejný podfuk.

Škrábnutí do Země a geofyzikální zázraky

Nejhlubší vrt na světě vyhloubili v roce 1992 na poloostrově Kola. Provrtali se do 12 626 m. Vrtalo se celých 12 let a vrt obnažil geologickou historii starou 800 milionů let.

Obr. 8. Věž vrtu KTB.

Rekord kolského vrtu se snažili překonat v Německu, v Horní Falci, 60 km od našich západních hranic.

Vrt, nazvaný KTB (Kontinentale Tiefbohrung – kontinentální hluboký vrt) zastavili „jen“ v hloubce 9200 m. Hloub to nešlo, teplota stoupala příliš rychle, ke konci až na 300 °C, další hloubení nebylo technicky řešitelné. I tak oba vrty přinesly stovky nových geologických poznatků. To dokazuje i naše účast na zpracování výsledků. Na KTB pracovalo 70 českých odborníků z osmi výzkumných institucí!

Otázka: *Jaký je český rekord v hlubokém vrtání? Zkuste se dopátrat, kde vrt byl, proč se vrtal a jaké hloubky dosáhl.*

Geniální Chorvat

Geofyzik a meteorolog Andria Mohorovičić se narodil v roce 1857, studoval v Záhřebu i v Praze. Stal se zakladatelem moderní seizmologie (obor zabývající se zemětřesením a procesy s ním spojenými). Jeho jméno – nebo alespoň jeho zkratka „Moho" i „M" – je známo nejen geofyzikům, ale i všem geologům. Mohorovičić instaloval v Chorvatsku seizmografy, rozpoznal dva druhy zemětřesných vln a zjistil, že se vlny několik desítek kilometrů pod povrchem lámou a mění se jejich rychlost. V roce 1909 objevil rozhraní mezi zemskou kůrou a pláštěm, v Chorvatsku to podle něho bylo v hloubce 54 km. Nemýlil se! Víme, že pod pohořími je kůra nadprůměrně tlustá.

Teď si srovnejte poloměr Země a nejhlubší vrty! 6370 km poloměru a jen něco přes 12 km nejhlubšího vrtu! Copak to není nic jiného než nepatrné škrábnutí pod zemský povrch? Jak to, že se odvažujeme rozdělit zemské těleso na vrstvy a dokonce uvádět jejich fyzikální vlastnosti?

Odvaha své důvody má, hlavně tři: Jednak se objevují plášťové horniny i na povrchu, jednak máme šikovné geofyziky, jednak jsme objevili **xenolity**.

Obr. 9. Xenolit čedičové horniny v žule.

Začneme odzadu, xenolity. Řecky to slovo znamená cizí kámen. Je to kámen z hlubin, cizí proto, že ho najdeme v horninách, do kterých by neměl patřit. Třeba v žulách najdeme kusy svorů, v čedičích úlomky jílových břidlic a vzácně i vápenců. Z toho mají geologové radost, rozpoznají totiž, kudy se magma dralo na povrch a jakými horninami prorážela a urvalo jejich kusy.

Jeden příklad za všechny. Lávy největší evropské činné sopky Etny vynesly na povrch xenolity třetihorních vápenců. Přitom víme, že vrstva takových vápenců je dva kilometry pod sicilským povrchem. Znamená to, že magmatický zdroj láv Etny je ještě hlouběji. Musí to tak být, jak by se jinak lávy k vápencům dostaly?

Dovede si představit, co bychom ušetřili za hluboké vrty, kdyby bylo xenolitů víc?

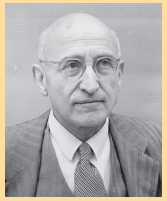
Se svolením geofyziků se o jejich metodách zmíníme jen krátce, jinak bychom psali jen o nich. Takový význam geofyzika má! Studium zemětřesných vln a gravimetrie (studium tíhového pole Země) odhalilo vnitřní strukturu Země, složení jejích vrstev a charakter hranic mezi nimi.

Otázka: *Pamatujete se, co je to seizmograf a seizmogram?*

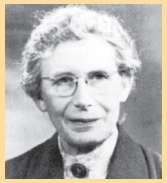
Právem byla tato hranice nazvána jeho jménem Moho diskontinuita (diskontinuita znamená nesouvislost nebo přerušení). Celým jménem tohoto Chorvata bylo pojmenováno mnoho škol, dokonce i loď a výzkumný ústav. V roce 2011 byla v pražském Klementinu odhalena jeho pamětní deska.

Obr. 10. Pamětní deska v pražském Klementinu.

Jsou i jiné diskontinuity, nejen Mohorovičićova



Často mluvíme a píšeme o **Gutenbergově diskontinuitě**. Je nazvána podle **Beno Gutenberga** (1889–1960), jednoho z nejznámějších geofyziků všech dob. Byl to Američan německého původu, který objevil rozhraní mezi spodním pláštěm a vnějším jádrem Země v hloubce 2700 až 2900 km. Podařilo se to opět podle změny rychlosti zemětřesných vln. Spodní plášť je totiž převážně pevný a z křemičitanových hornin, vnější jádro je tekuté i poloteku-té, z kovů, hlavně železa a niklu. Gutenberg se proslavil i objevem astenosféry. To je vrstva svrchního pláště, kde se horniny začínají tavit a objevují se konvekční tepelné proudy. Říká se jí též „vrstva snížených rychlostí vln". Její horní hranice je mezi 70 a 150 km, spodní hranice je velmi různá, až do 200 km.



Dost bylo diskontinuit, ale jednu nesmíme vynechat. I ženy mají totiž své dny a místo v geologických objevech!

Píšeme o **Inge Lehmannové** (1888–1993), Dánce, která prokázala, že zemské jádro není stejnorodé, ale dělí se na vnější tekuté, prý lépe „plastickotekuté", a vnitřní pevné. Navíc objevila rozhraní v hloubkách 190 až 250 km,
které je po ní pojmenováno (Lehmann discontinuity – **diskontinuita Lehmannové**). Jménem Lehmannové je též nazvána medaile, která se geofyzikům udílí za významné objevy.

Obr. 11. Plášťové horniny s granáty.

Nezapomněli jsme na **plášťové horniny**!

To je ten třetí důvod, proč se odvážíme psát o tom, jak vypadá zemský plášť. Jsou jak na oceánském dně, tak na souši. Ovšem jen tam, kde je tektonické pochody vytrhly z pláště a vynesly na povrch. Jsou to vesměs bazické horniny bez křemene, s hořčíkem, vápníkem a železem. Z minerálů jmenujeme olivín, různé druhy pyroxenu, granát, spinel i diamant a mnohé další. Vesměs mají těsnou krystalovou mřížku a vyšší hustotu. Libují si ve vysokém tlaku a teplotě.

Horniny mají zajímavé názvy, jako eklogit (již jsme o něm mluvili), lherzolit, harzburgit nebo pyroxenit. Na souši se plášťové horniny vyskytují v horských pásmech, do kterých je zavrásněna oceánská kůra, na mořském dně v některých poruchových zónách. Pozornost vyvolaly poněkud sporné nálezy na stěně Kajmanského příkopu v Karibiku a nedávno nalezené výskyty v jižním Atlantiku.

Kde se vzalo zemské teplo a čím se Země pořád ohřívá?

Měření teploty v dolech, vrtech i výpočty umožnily definovat **geotermický stupeň**. To je počet metrů, o které s rostoucí hloubkou pod povrchem stoupne teplota o 1 °C. Průměrná hodnota je 33 m. O sto metrů hlouběji má tedy být teplota o 3 °C vyšší. Zdůrazňujeme, že je to průměrná hodnota! V sopečných oblastech to může být 10 m i méně, v oblastech starých štítů 100 m i více.

Otázka: *Zkuste vypočítat, jaká by měla být teplota uprostřed Země, kdyby v celém jejím tělesa stoupala o stupeň každých 33 m.*

Hloub a hloub, od kůry k jádru
o každých sto metrů níže
nejspíš bys byl žehu blíže
a měl v tom pekelném klokotu
o stupně tři vyšší teplotu.

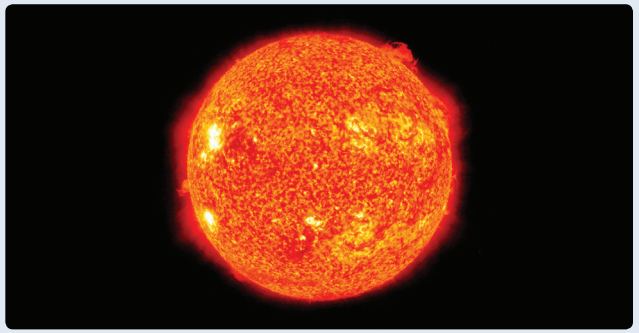
Obr. 12. Hluboký geotermální vrt.

Za hlavní zdroj tepla bývá pokládán rozpad radioaktivních prvků. Při tom se opravdu uvolňuje teplo, ale podle nových výpočtů je to málo, zdaleka to nestačí. Proto hledáme další zdroje tepla. Před čtyřmi miliardami let i o něco později se Země smršťovala, to bylo jistě zdrojem tepla. Smršťování však skončilo a dnes se naše planeta spíše rozpíná. Pátrejme dál.

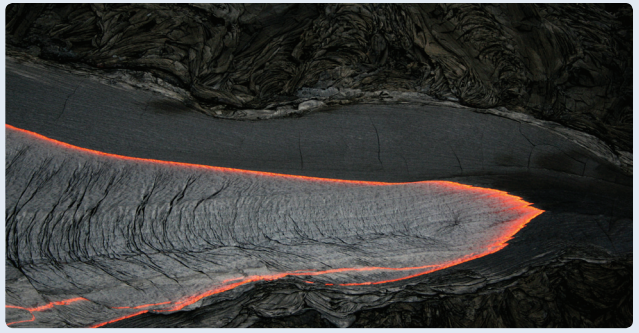
- Co sluneční záření? Je to obrovský zdroj energie, ale ohřívá se jím jen povrch.
- Dopady planetek a meteoritů? Kdysi mohly roztavit zemskou kůru a třeba i kus pláště, ale v mladší geologické historii to nestačí.
- Kandidátem jsou i chemické procesy, procesy exotermické, které uvolňují teplo. Probíhá jich v zemském tělese dost, ale také to nestačí.
- Pak už zbývají jen tektonické pochody, jako pohyby podle zlomů i posuny tektonických desek. Z nich by mohlo být dost tepla.

Výsledek: Když sečteme produkci tepla ze všech těchto zdrojů a připočteme nějaké maličkosti i kousek toho tepla, které si Země zachovala ze své horké historie, stačit by to mohlo.

Obr. 15. Geotermální pole na Islandu.



Obr. 13. Žhavé zemské těleso.



Obr. 14. Jazyk lávového proudu, na okrajích stále žhavý.

Otázka: *Slyšeli jste již o geotermální energii, využívání zemského tepla k výrobě elektřiny, k vytápění i jinak? Které světové země jsou na prvních místech v jejím využívání?*

Dvanáct mužů na Měsíci, přes 400 kg měsíčního kamení na Zemi

Měsíc je potomkem Země, i když jeho porodu pomohla další planeta. A byl to opravdový císařský řez.

Z několika představ, někdy až příliš fantastických, se totiž uplatnila jedna, která je přijímána velkou většinou astronomů i geologů. Za vznik Měsíce může planeta snad o polovinu menší než Země, která přilétla, otřela se o zemský povrch a vlivem gravitace se do Země zanořila. Stalo se to před 4,5 miliardami let a byl to strašlivý náraz. Hmota planety pronikla stovky kilometrů hluboko a kolize odervala kusy pozemských hornin. Ty vylétly a vytvořily kolem Země prstenec, ne však nadlouho. Úlomky se shlukly a za několik desítek tisíc let z nich byl Měsíc, věrný souputník Země.

Měsíc byl nejprve zaplaven lávou, ta na povrchu utuhla na kůru. Pak ale nastaly dvě dlouhé etapy mohutného vesmírného bombardování. Dopady planetek všechno přeoraly a vyhloubily tisíce kráterů. Do nich pronikly z hloubky lávy, vyplnily je a vytvořily známá „měsíční moře". Taková geologická divočina, bombardování a vulkanismus, trvala skoro miliardu let. Před 3,6 miliardami let se Měsíc zklidnil, i když ne úplně. Mezitím se hmoty ještě nepevného Měsíce promísily, třídily, těžší klesaly a lehčí zůstávaly na povrchu.

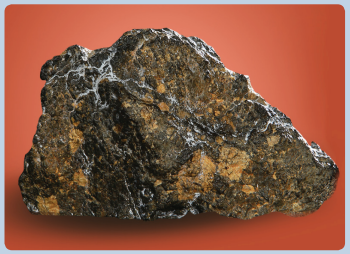
V tom se podobal Měsíc Zemi. Na povrchu zůstala měsíční kůra, pod ní plášť a dolů klesly kovy jadérka. Kovové jádro ze železa a niklu je menší než zemské, jeho poloměr je jen 340 až 450 km. Více železa a jiných kovů při odtržení měsíčního tělesa od Země již Měsíc nedostal. Proto je Měsíc „lehčí" než Země. Jeho hustota je 3,3 $g.cm^{-3}$, oproti 5,5 $g.cm^{-3}$ Země (pro srovnání – hustota křemene, který patří k lehčím nerostům, je 2,65 $g.cm^{-3}$).

Těch 400 kilogramů vzorků hornin dopravilo do našich laboratoří a muzeí hlavně 12 účastníků misí Apollo, něco k tomu dodalo náměsíční vozítko Lunochod 2.

Obr. 17. Pohled na Měsíc.

Měsíční meteority

Známe i jiný zdroj měsíčních kamenů než vzorky odebrané přímo z povrchu Měsíce astronauty a Lunochodem. Jsou to měsíční meteority. Srovnáním některých pozemských meteoritů s odebranými měsíčními vzorky se ukázalo, že jsou totožné. Takové meteority jsou známy z ledovce Antarktidy a pouští Arabského poloostrova a Afriky. V roce 2011 jich bylo prozkoumáno 48, dnes možná i více. Jejich původ umíme vysvětlit. Byly vymrštěny do blízkého vesmírného prostoru, odkud dříve nebo později spadly na Zemi.



Obr. 16. Jeden z měsíčních meteoritů.

Málokteré pozemské nerosty a horniny byly tak podrobně studovány jako měsíční kameny. Ve vzorcích bylo určeno přes 300 nerostů, na rozdíl od asi čtyř tisíc nerostů pozemských. Svrchní části Měsíce jsou ze dvou základních hornin. První je anortozit, což je vyvřelina z bazických živců, tedy živců s vápníkem a sodíkem.

Otázka: *Která je ta druhá základní měsíční hornina? Napovíme, že je výlevná, tmavé barvy a nemá křemen. I u nás je běžná.*

.....

.....

Měsíční kůra je v průměru 65 km mocná. V měsíčním plášti je hornina zvaná eklogit.
Snímek stopy skafandru kosmonauta v měsíčním regolitu patří k nejslavnějším fotografiím na světě.

Obr. 18. Otisk kosmonautovy boty v měsíčním prachu.

Na snímku vidíte, že se bota do regolitu noří, musí být proto sypký. Je to směs úlomků a prachu, neustále zvířovaná pády meteoritů a účinkem slunečního větru. V měsíčních „mořích" může být vrstva regolitu až 10 m mocná.

Vzorky regolitu studovali i naši odborníci a zjistili, že je v něm dost skla. Některé vzniklo při dopadu meteoritu, jiné při výlevu lávy.

Přestože slunce dokáže měsíční povrch zahřát až na 150 °C, je na Měsíci voda, a to ve formě ledu. Samozřejmě pod povrchem a převážně na měsíčních pólech.

Tolik toho zbývá objevit, i na vás to čeká

Málokterý geologický obor slibuje taková dobrodružství jako pátrání po složení zemského nitra, Měsíce i planet. Zdaleka nevíme všechno o vzniku Země a o jejím raném stadiu vývoje. Snad najdeme další meteority, zbytky vesmírných světů, které se podobaly Zemi. Mořské dno a oceánská kůra jsou středem pozornosti a slibují další nálezy. Pátrejme po zbytcích pevninské kůry na mořském dně a oceánské kůry na kontinentech! Zemětřesné vlny prozradí další podrobnosti o zemském plášti, možná i o zemském jádru. Jaká je budoucnost využívání zemského tepla, které oblasti jsou nadějné? Odpovědět mohou **vaše objevy, které na vás netrpělivě čekají**.

Odpovědi

Otázka hned na začátek: *Představte si, že jste miliardáři a máte neomezené prostředky. Máte takovou moc, že můžete rozhodovat o všem. Proto napište zcela upřímně váš názor: Máte dvě možnosti. Buď organizovat a financovat expedici astronautů na Venuši s celým vybavením, nebo sponzorovat patnáctikilometrový vrt do oceánské kůry a pláště, třeba v Atlantiku. Co si myslíte, že bude pro vědu a celé lidstvo užitečnější? Odpovíte-li, zkuste též dodat PROČ.*

Odpověď: *Na to vám neodpovíme, geologové hlasují spíše pro vrt, astronomové pro Venuši. Kdybychom udělali anketu a zjistili tak mínění širší veřejnosti, asi by vyhrála Venuše. Zkuste zorganizovat takovou anketu ve vaší třídě.*

Otázka: *Souhlasíte s tím, nebo si myslíte něco jiného?*

Odpověď: *Záleží na vás.*

Otázka: *Má Eduard Suess něco společného se Suezským průplavem? Zaškrtněte správnou odpověď:*
A. Samozřejmě, Suess psal geologický posudek o oblasti.
B. Neměl s ním nic společného.
C. Ano, Suess byl přítelem tureckého sultána, který vládl i Egyptu.
D. Ano, Suess zjistil, že hladina Rudého moře je stejně vysoko jako hladina Středozemního moře.

Odpověď: *B.*

Otázka: *Jaká je teplota tání železa?*

Odpověď: *Čisté železo taje při teplotě 1539 °C. Pokud obsahuje některé příměsi, může být tato teplota nižší.*

Otázka: *Z jakých hornin může také být „granitová" vrstva?*

Odpověď: *Mohou to být zpevněné starší sedimenty, jako vápenec či pískovec, nebo metamorfované horniny v podobě svoru či ruly. Všechny mají podobnou hustotu jako žula a zemětřesné vlny jimi procházejí podobnou rychlostí.*

Otázka: *Jaký je český rekord v hlubokém vrtání? Zkuste se dopátrat, kde vrt byl, proč se vrtal a jaké hloubky dosáhl.*

Odpověď: *Byl to vrt Jablůnka 1 v Karpatech. Šlo o průzkum ložiska ropy. Vrt byl 6506 m hluboký.*

Otázka: *Pamatujete se, co je to seizmograf a seizmogram?*

Odpověď: *To je jednoduché, seizmograf je přístroj zaznamenávající seizmické vlny, seizmogram je právě ten grafický záznam.*

Otázka: *Zkuste vypočítat, jaká by měla být teplota uprostřed Země, kdyby v celém jejím tělesa stoupala o stupeň každých 33 m.*

Odpověď: *Je to matematický úkol, počítejte se známým údajem, že vzdálenost do středu Země je 6 370 m. Kdybychom počítali, že teplota roste s hloubkou pravidelně až do středu zemského jádra o 3 °C na 100 m, vyšla by nám nesmyslně vysoká teplota. Víme však, že se růst teploty ve větších hloubkách zpomaluje. V tabulce o kousek výše najdete teploty pláště a jádra.*

Otázka: *Slyšeli jste již o geotermální energii, využívání zemského tepla k výrobě elektřiny, k vytápění i jinak? Které světové země jsou na prvních místech v jejím využívání?*

Odpověď: *Dlouho se využívá na Islandu, ve Spojených státech, Itálii a Japonsku. V posledních letech přibývají i země, o kterých bychom to neřekli, třeba Filipíny, Mexiko, Indonésie a Turecko. V Evropě pak Maďarsko a Německo.*

Otázka: *Která je ta druhá základní měsíční hornina? Napovíme, že je výlevná, tmavé barvy a nemá křemen. I u nás je běžná.*

Odpověď: *Je to čedič čili bazalt, bazická výlevná hornina hlavně z živců plagioklasů a tmavého pyroxenu. Anortozity jsou starší, jsou to zbytky měsíční kůry. Čediče se vylily hlavně do kráterů měsíčních moří.*