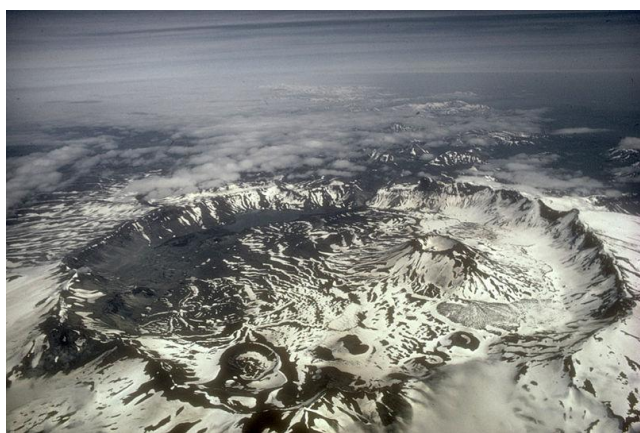


Sopečná kaldera v mouce

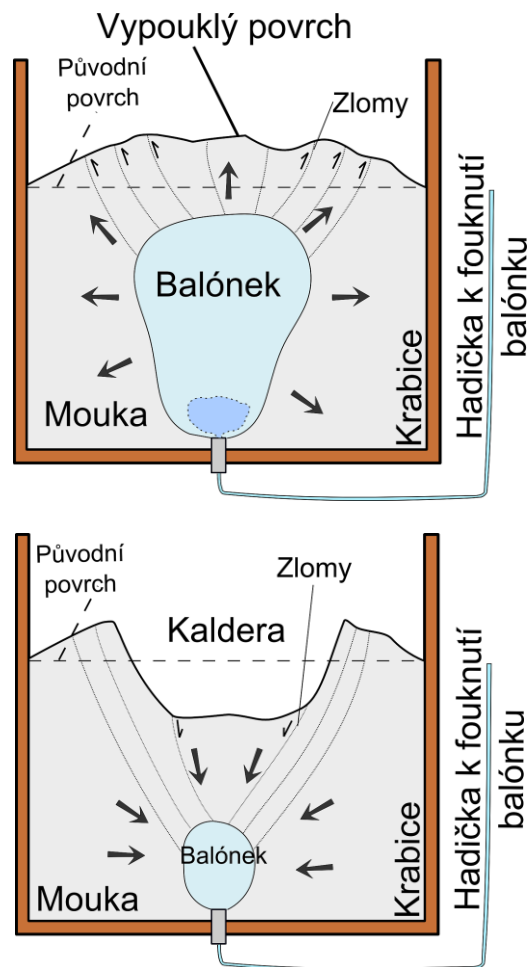
Experiment umožňuje pozorovat vznik sopečné kaldery (Obr. 1), což je rozsáhlá deprese dosahující hloubky až stovek metrů nacházející se na vrcholku sopečného kužele. Kaldera vzniká propadem části sopky do vyprázdněného magmatického krbu po fázi sopečných erupcí. V rámci předváděného pokusu mají pozorovatelé možnost sledovat obdobný proces formování kaldery v podobě propadu vrstvy mouky do dutiny. Tato dutina vznikne po nafouknutém balónku (viz Obr. 2).

Pomůcky: kartonová či jiná (např. z dřevotřísky) krabice s pevnými okraji (min. rozměry 40 x 40 x 30 cm), umělohmotná hadička (průměr min. 5 mm o délce přibližně 1 m), balónek, lepicí páska, několik balení hladké mouky (závisí na velikosti krabice), gumičky. Náklady přibližně 250 Kč.

Postup výroby: Balónek pomocí lepicí pásky připevníme k jedné straně umělohmotné hadičky. Ujistíme se, že hadička je pevně uchycena a že kolem spoje neuniká vzduch. Případně pro utěsnění spoje hadičky a balónku použijeme gumičku. Uprostřed spodní části krabice vytvoříme díru o průměru hadičky. Hadičku dírou protáhneme tak, aby konec hadičky s balonkem zůstal na dně krabice. Vhodné zalepíme okolo hadičky okraj díry lepicí páskou. Tím zajistíme, že mouka nebude propadat z krabice



Obrázek 1: Letecký pohled na kalderu sopky Mount Aniakchak, stratovulkánu nacházejícího se na Aljašce v USA. Autor: M. Williams, National Park Service, Licence: Public Domain.



Obrázek 2: Ilustrativní náčrt experimentu. Balónek spojený hadicí je na začátku zcela pokryt moukou. Během nafukování zvětšuje balónek objem a působí tlakem na mouku v okolí (černé šipky). Mouka se vyklenuje směrem vzhůru a vznikají zlomy (tečkované čárky). Když přestane do balónku proudit vzduch, začne tlak mouky působit na balónek a ten se začne vyfukovat. Následně se mouka propadá a vzniká kaldera.

Škvírkami ven. Poté vysypeme krabici hladkou moukou a to přibližně až 3 cm pod okraj krabice. Pro zhuštění materiálu je vhodné s krabící zatřást. Mouka si „sedne“ a zpevní.

Průběh experimentu: Volným koncem hadičky začneme pozvolna foukat do balónku vzduch. Balónek začne zvětšovat objem a tlačit na okolní mouku, která se vlivem působícího tlaku začne přemísťovat. Jelikož se na okrajích krabice nachází pevné stěny odolávající tlaku balónku, jediné místo, kam se může mouka přemísťovat je vzhůru. Mouka začne stoupat vzhůru, vyklenovat se a praskat. Tyto praskliny reprezentují zlomy, dle kterých dochází k přemísťování bloků mouky. Při dalším nafukování dosáhne balónek svého maxima (občas je možné spatřit jeho vrchol) a tedy i

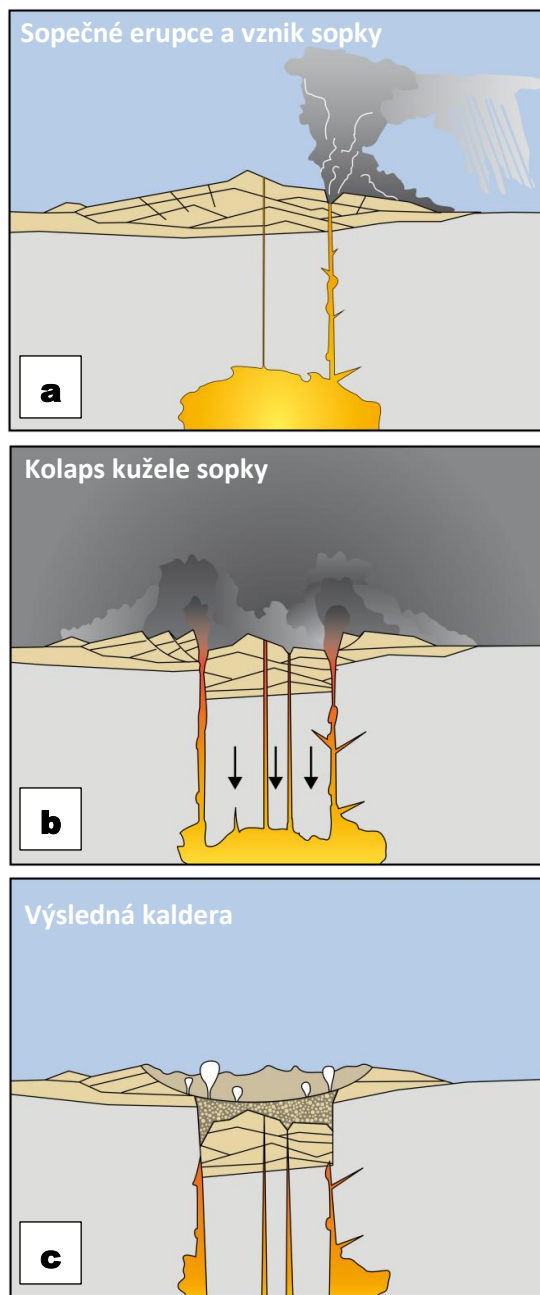
vyklenutí mouky bude maximální. Poté uvolníme hadičku a necháme unikat vzduch z balónku. K tomu přispívá tlak okolní mouky působící na balónek. Jak se balónek vyprazdňuje, dochází k poklesu vyboulené oblasti a propadu mouky do vyprázdněného prostoru, ve kterém se dříve nacházel nafouknutý balónek. Pokles materiálu je nejvýraznější v oblasti nad balónkem, čímž vzniká hluboká deprese v podobě modelované sopečná kaldery.

Pozorujeme: Během nafukování balónku simulujeme proces výstupu magmatu k povrchu a vzniku magmatického krbu, kde se hromadí magma. Plnění krbu je často v přírodě doprovázeno výzdvihem nadloží, které se dá využívat pro předpověď sopečné erupce za pomoci přesných měření. Výzdvih je doprovázen vznikem četných slabých zemětřesení a vznikem zlomů. Po naplnění magmatického krbu dochází k sopečným erupcím, kdy je magma vytlačováno k povrchu (Obr 3a). Když se magma dostane na povrch, označujeme jej termínem **láva**. Rozžhavený materiál může tvořit vytékající lávové proudy či je do širého okolí vyvrhován jako částečně roztavené úlomky hornin a to v závislosti na druhu sopečné činnosti (výlevný či explozivní vulkanismus).

Vlivem sopečných erupcí se magmatický krb z části vyprazdňuje. Tím klesá působící tlak na nadložní vrstvy. Tyto vrstvy působí hmotností na magmatický krb a vlivem gravitace mají tendenci částečně vyprázdněný prostor krbu vyplnit. Následně dochází ke zřícení vrstev do prostoru magmatického krbu (Obr. 3b). V experimentu je tato část zastoupena vyfukováním balónku, propadem mouky a vznikem deprese.

Během řízení dochází k vytlačení další části magmatu společně s různorodým sopečným materiálem na povrch, což vytváří mračno sopečného prachu, tzv. **pyroklastický mrak**. Ten může dosahovat výšky několika kilometrů a snadno se může rozšířit po velké části planety vlivem vzdušného proudění ve vyšších vrstvách atmosféry. To může mít významné dopady na globální klima skrze zclonění dopadajících slunečných paprsků (ochlazení, neúroda, dopad na leteckou

dopravu atd.). Výsledkem řízení je pak vznik deprese, tzv. kaldery (Obr. 3c).



Obrázek 3: Autor: USGS a National Park Service, překreslil Benedikt.Seidl, licence Public Domain

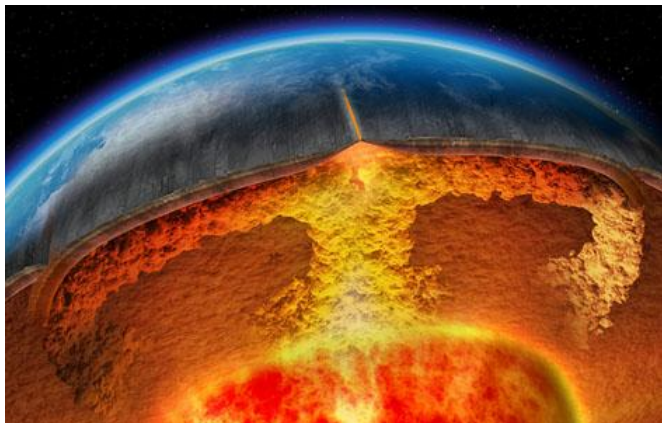
Příklady: Sopka Teide na ostrově Tenerife, oblast Yellowstone v USA. Na jiných planetách např. Olympus Mons v oblasti Tharsis na Marsu.

Reference: Návrh experimentu převzat ze stránek USGS (<http://gallery.usgs.gov/videos/333>).

Konvekce a plášťový chochol v zemském plášti

V rámci demonstrace je možné pozorovat jeden ze způsobu šíření tepla v planetárním plášti (Obr. 4), během kterého dochází k proudění hmoty o různé teplotě a tedy i hustotě. Tento druh šíření tepla se obvykle odehrává v kapalném či plynném prostředí. Jelikož je ale zemský plášť tvořen částečně nataveným, plastickým materiálem, který je natolik měkký, že může pomalu téci, tak k plášťové konvekci dochází i v nitru planet, což umožňuje efektivní transport tepla směrem k povrchu.

Pomůcky: Nádoba z varného skla, svíčka, rostlinný olej, motorový olej, nadrcený jemnozrnný materiál (např. kakao), dva dřevěné špalíčky pro podložení varného skla. Náklady přibližně 100 Kč.



Obrázek 4: Umělecká představa konvektivního proudu v zemském nitru. Od jádra vystupuje roztavený materiál k zemské kůře, pod kterou se ochlazuje a opět klesá do hlubších partií Země. Autor: National Geographic

Postup výroby: Nádobu z varného skla položíme na připravené špalíčky a vložíme pod ní svíčku. Plamen svíčky by se měl dotýkat dna varné nádoby. Na dno nádoby nasypeme jemný materiál (např. kakao), přibližně 1 až 2 kávové lžičky. Následně pozvolna začneme do nádoby nalévat rostlinný olej. Kakaový prášek s rostlinným olejem promícháme. Do nádoby nalejeme poté další rostlinný olej, nejlépe po lžičce, aby se nepromíchal s vrstvou oleje s kakaem (min. do výšky 10 cm). Na závěr do nádoby nalejeme motorový

olej s menší hustotou. Tím vznikne vrchní vrstva tvořící překážku pro vystupující proud.



Obrázek 5: Fotografie ukazuje vznik a výstup konvektivního proudu v experimentu. V této fázi je možné pozorovat plášťový chochol stoupající k povrchu. Vysvětlení viz text. Fotografii pořídil Matěj Machek a Zuzana Kratinová, upravil Petr Brož.

Průběh experimentu: Zapálená svíčka lokálně ohřívá rostlinný olej s práškem kaka. Tím, jak se olej ohřívá, dochází ke změně jeho hustoty. Zahřátý olej je méně hustý než okolní chladnější (tedy více hustý) olej, a tak začne stoupat směrem k povrchu. Během výstupu vynáší stoupající proud i rozmělněná zrníčka kakaového prachu obarvující proud.

Stoupající zahřátý olej (vyznačený červenými šipkami na obr. 5) předává teplo do chladnějšího okolí, čímž se pozvolna ochlazuje. Jelikož se při povrchu nachází vrstva motorového oleje o jiných vlastnostech, funguje jako nepropustná vrstva. Vystupující proud tedy nemůže dosáhnout povrchu. Proud se o tuto hranici rozdílných hustot zastaví a začne se rozšiřovat podélně. Tím se urychlí jeho chladnutí a tedy opět zvýšení hustoty. Jak naroste hustota, stane se olej s kakaem těžším a začne opět klesat na dno nádoby. Tím se cyklus uzavře a zacyklí.

Pozorujeme: Konvekce je významný proces, který umožňuje efektivní transport tepla z hlubších partií planety k povrchu. Na Zemi tento proces probíhá rychlostí přibližně 20 mm za rok. Na naší planetě je konvekce pravděpodobně zodpovědná i za rozpínání oceánského dna (viz následující pokus) v oblastech

středoocéánských hřbetů, kde dochází ke vzniku nové oceánské kůry.

V experimentu je nejprve vidět, jak se začíná vrstva s kakaem zahřívát a místy vyklenovat. Když je zahřáto dostatečné množství materiálu, vytvoří se úzké těleso s kloboukovitou strukturou na vrcholku, tzv. plášťový chochol. Předpokládá se, že obdobně vypadají plášťové chocholy, které vystupují z rozhraní jádro-plášť k zemskému povrchu. S konceptem plášťových chocholů přišel ve snaze vysvětlit vulkanická souostroví uprostřed oceánů (jako Havajské ostrovy) v roce 1971 americký geofyzik W. Jason Morgan. Od té doby se povedlo pomocí seismické tomografie zdokumentovat široké spektrum chocholů různých tvarů a rozsahu. Některé tak pravděpodobně dosahují až k zemskému povrchu, jiné dosahují pouze do středního pláště apod.

Když se vystupující materiál dostane na hustotní přechod mezi dvěma druhy oleje, nemá možnost touto bariérou prostoupit. Z toho důvodu se začne rozlévat do stran. Tím se materiál ochlazuje, stává se opět hustším a tak začne klesat na dno nádoby. V přírodě se vystupující materiál může chovat obdobně, rozlévat se pod litosférou, ochlazovat a klesat, ale má také možnost se skrze litosféru protavit a způsobit rozsáhlou vulkanickou aktivitu. V takovém případě vznikají horké skvrny, o kterých je jeden z dalších pokusů, či riftové oblasti. V riftech dochází k dělení litosférické kůry a k oddalování jednotlivých částí.

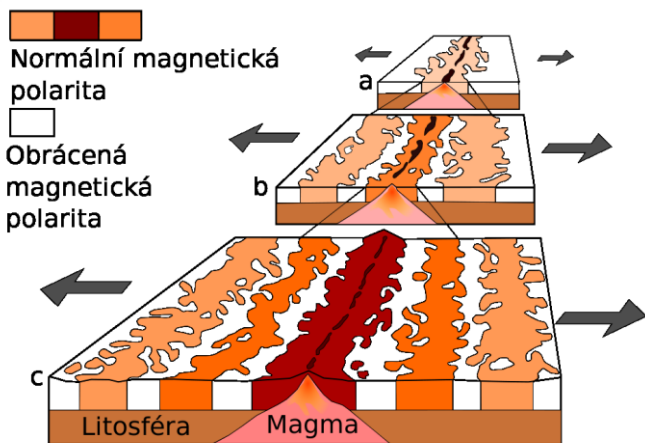
Příklady: konvektivní proudy se nachází pravděpodobně pod oblastmi středoocéánských hřbetů, například tedy v Atlantickém oceánu, Tichém oceánu či Indickém oceánu. Povrchové rozložení horkých skvrn, tedy projevů plášťových chocholů, ilustruje obrázek. Jedna z nejznámějších je představována Havajským souostrovím či ostrovem Island.

Pro více informací ohledně horkých skvrn a plášťových chocholů viz strany 7 a 8 v doprovodné brožuře „**Geologické procesy zapsané v horninách**“ od Aleše Špičáka a kol.

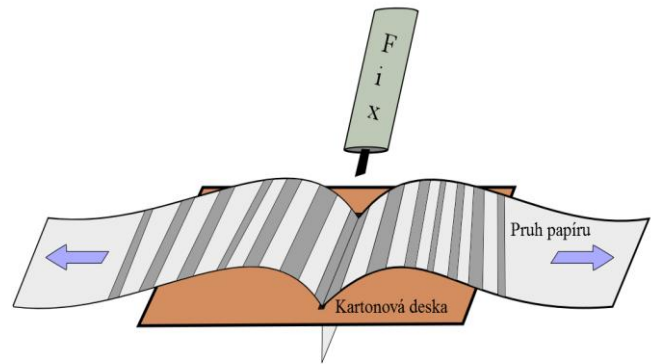
Rozpínání oceánského dna

Tento jednoduchý pokus umožňuje ilustrovat proces rozšiřování oceánského dna na středoocéánském hřbetu a vysvětlit vznik magnetické zonálnosti hornin (Obr. 6), které tvoří jeden z hlavních pilířů podporující teorii deskové tektoniky. Tato teorie vysvětluje pohyb litosférických desek, tvořící dohromady litosféru. Tento pohyb můžeme pozorovat jak u kontinentů, tedy kontinentální desky, tak i na dně oceánů, kde dochází k pohybu oceánské desky. Dle jedné z teorií dochází k rozšiřování oceánského dna jako výsledek výstupných konvektivních proudů představených v předchozím pokuse. Současně, tento jednoduchý model vysvětluje, proč se poblíž okrajů kontinentů nachází nejstarší oceánská deska a uprostřed oceánů nejmladší.

Magnetická zonálnost je druh opakujícího se vzoru rozprostřeného symetricky kolem středoocéánských hřbetů, které je s hřbety většinou rovnoběžné. Podobá se na záznamu pruhům zebry, a jak se zjistilo, tyto pruhy odpovídají magnetické polaritě magnetického pole Země. Každý pruh tak odpovídá normálnímu či reversnímu záznamu, což naznačuje, že se magnetické pole Země přepólovalo v historii Země opakovaně.



Obrázek 6: Teoretický model vzniku magnetické zonálnosti hornin. Nová oceánská kůra vzniká souvisle na středoocéánském hřbetu. Jak stárne, je oddalována od hřbetu a utuhlý materiál si nese sebou záznam o magnetické polaritě z doby, kdy hornina utuhla. Zdroj: USGS/Public Domain, vektorizoval Petr Brož



Obrázek 7: Ilustrace znázorňuje průběh experimentu, kdy je pruh papíru vložen do štěrbinu v kartonové desce s několika pruhy od fixy. Jak je pruh papíru postupně vytahován, jsou od sebe pruhy oddalovány. Pověšněte si, že pruhy jsou párové. Tedy pruh na levé straně má sesterský pruh na pravé straně papíru.

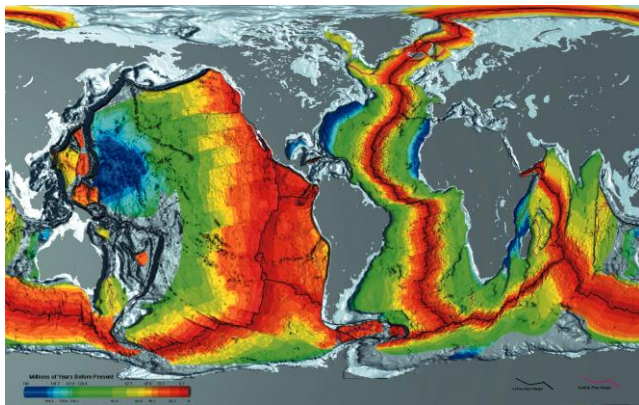
Pomůcky: Kartonová deska či krabice, nůžky, list papíru o velikosti A3, tlustý fix.

Postup výroby: Do kartonu vyřízneme malý otvor, štěrbinu, o délce 10 cm a šířce pár milimetrů. Z připraveného listu A3 odstříháme podélně pruh o šířce 9,5 cm. Tento pruh v půlce přeložíme a přehybem zasuneme do vyříznuté štěrbinu tak, aby ze štěrbinu koukaly jen okraje pruhu papíru. Pokud chcete pokus připravit ještě více ilustrativní, nakreslete na opačné konce pruhu papíru obrysy pevniny, které se během pokusu budou od sebe vzdalovat (viz obr. 7).

Průběh experimentu: Předvádějíci uchopí okraje vsunutého pruhu papíru a začne je pomalu vytahovat směrem od sebe. Asistující předvádějíci pomocí fixy nakreslí na pruh papíru v místě štěrbinu tlustou čáru. První předvádějíci nepřestává pomalu od sebe odtahovat pruh papíru, načež asistující po chvíli opět nakreslí čáru v místě štěrbinu na pruh papíru. Tento postup se několikrát opakuje až do doby, než je pruh papíru zcela vytažen.

Pozorujeme: Během pokusu máme možnost pozorovat vznik nové oceánské kůry (vystupující pruh papíru) na středoocéánském hřbetu (štěrbinu v kartonu). To je místo, kde se k povrchu dostává roztavený horninový materiál z hlubších partií Země a kde následně dochází k jeho tuhnutí. Ve vystupujícím roztaveném materiálu (tzv. magmatu) se nachází drobná minerální zrna (tzv. ferromagnetické částice),

kteří mají schopnost reagovat na magnetické pole planety a dle něho stáčet svou vnitřní magnetizaci (tzv. polarizovat se), tedy svůj magnetický moment. Když roztavený materiál vystoupí k povrchu, začne se ochlazovat a tuhnout. Jakmile utuhne (list ustřiženého papíru), magnetický moment některých minerálních zrn zaznamená směr magnetického pole. Ferromagnetické částice si tak nesou záznam o polarizaci a tedy směru magnetického pole Země v době vzniku horniny (pruh fixu odpovídá jednomu směru stočení magnetického momentu částic, část papíru bez fixu druhému směru) a pomáhají nám zkoumat změny v magnetickém poli planety.



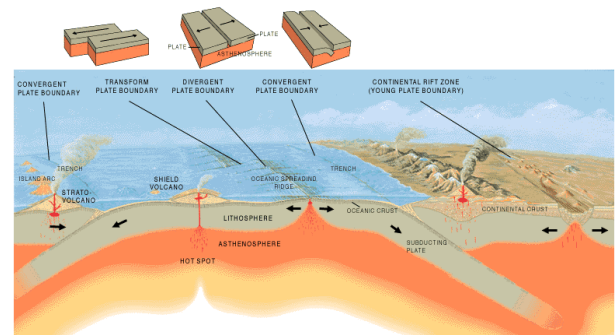
Obrázek 8: Obrázek ukazuje stáří oceánské kůry na Zemi. Nemladší kůra se nachází v oblasti středooceánských hřbetů, nejstarší u kontinentů. Autor: U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, licence Public Domain

Existence těchto pruhů naznačuje, že se magnetické pole Země v čase mění a přepólovává. Tedy, že v čase postupně putuje pozice jižního a severního magnetického pólu. V závislosti na směru (polaritě) magnetického pole mají pak tyto částice magnetický moment jedním směrem a v době přepólování následně druhým. Jak se k povrchu tlačí stále nové magma v oblasti středooceánského hřbetu, vzniká nová oceánská kůra, která odtlačuje tu starší dále od hřbetu. V experimentu tento proces odpovídá roztahování papírového proužku. Když se následně vytvoří mapa magnetického pole oceánské kůry, můžeme pozorovat magnetickou zonálnost hornin stejně, jako vidíme barevné pruhy na pruhu papíru.

Pokus také ilustrativně zodpovídá otázku, proč se nejstarší oceánská kůra nachází při okrajích

kontinentů a nejmladší naopak v místě středooceánských hřbetů (Obr. 8). Při roztahování papírového pásku je patrné, že části papíru, za které táhneme, jsme z kartonu vytáhli jako první. Nový papír se vynořuje ze štěrbiny a postupně se posunuje dále od ní. Obdobně je to s oceánskou kůrou, která vzniká, jak již bylo nastíněno výše, v oblasti hřbetu. Nově vzniklá oceánská kůra pak tlačí na starší a odtlačuje jí od hřbetu.

Jelikož je Země kulatá a má omezený prostor, oceánská kůra se nemůže odtahovat do nekonečna. Během svého pohybu naráží na kontinentální kůru, která má menší hmotnost než oceánská kůra. To vede k tomu, že se oceánská kůra začne pod kontinentální kůru zasouvat; takovému procesu říkáme **subdukce** (pro celý cyklus oceánské kůry viz obr. 9 či doprovodnou brožuru a sekci o deskové tektonice). Subdukce tak označuje místo, kde se oceánská kůra zasouvá pod kontinentální a kde se později ve značné hloubce Země opět taví. Díky tomuto pohřbívání staré oceánské kůry v oblastech subdukce a jejímu zániku, nemůžeme na povrchu Země pozorovat oceánskou kůru starší než přibližně 200 miliónů let.



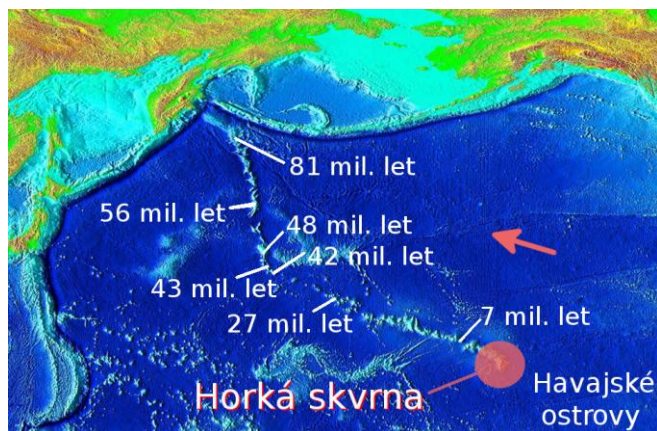
Obrázek 9: Průřez litosférou zachycuje životní cyklus oceánské kůry. Na středooceánském hřbetu dochází vlivem výstupu materiálu ke vzniku nové oceánské kůry. Ta je následně posouvána od hřbetu dále. Během této doby kůra postupně chladne, čímž zvyšuje svojí hustotu. Na kontaktu s jinou litosférickou deskou (např. kontinentální kůrou, část obrázku vpravo) dochází k jejímu zanořování pod lehčí kontinentální kůru. Tento proces se nazývá jako subdukce. Subdukovaná kůra se dostává do oblasti vyšší teploty a tlaku, načež se částečně taví. Takto vzniklá tavenina uniká směrem k povrchu a způsobuje vznik vulkanických pásem. Typickým případem je subdukující Pacifická deska pod Jižní Ameriku a vznik pohoří Andy. Autor: Jose F. Vigil. USGS, Licence: Public Domain

Relativní pohyb horké skvrny

Experiment objasňuje zdánlivé putování horké skvrny, abnormálně teplého místa na zemském povrchu, která vzniká jako povrchový projev existence plášťového chocholu v zemském pláští. Samotný plášťový chochol pak představuje tepelnou anomálii v zemském nitru se zvýšeným geotermálním tokem energie a hmoty směrem k zemskému povrchu, který je vůči okolí teplejší.

I když je do současnosti přesný mechanismus vzniku horkých skvrn nejasný a pro jejich objasnění existuje více různých teorií, na povrchu jsou jejich projevy poměrně dobře rozpoznatelné a to především díky masivní sopečné činnosti projevující se výlevným vulkanismem. Tedy druhem vulkanismu, během kterého na povrch proudí množství snadno tekoucí lávy (málo viskózní).

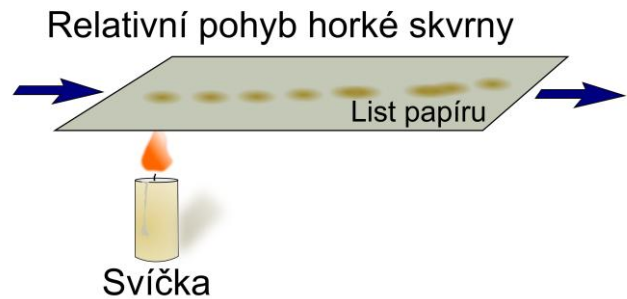
Málo viskózní láva má možnost se snadno roztékat od místa erupce. To umožňuje vznik štítových sopek, zvláštního typu sopek s mírným sklonem svahů a značných rozměrů. Typickým místem, kde se horká skvrna projevuje na povrchu, jsou Havajské souostroví v Tichém oceánu (viz obr. 10) či ostrov Island v Atlantickém oceánu.



Obrázek 10: Stáří ostrovů dle Raymond a kolektiv, 2000. Autor: National Geophysical Data Center/USGS, licence: Public Domain

Vlivem pohybu litosférických desek a roztahování oceánského dna (viz předchozí experiment), se při pozorování povrchu zdá, že horké skvrny migrují. Nicméně, tento pohyb je jen zdánlivý. Samotné horké

skvrny, centra sopečné aktivity, se totiž nepohybují, ale pohybuje se zemská kůra nad nimi (viz obr. 11).



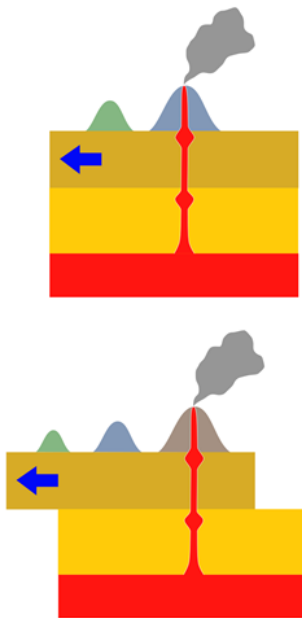
Obrázek 11: Ilustrace ukazuje průběh experimentu. Svíčka položená na podložce plamenem zahřívá list papíru, který se následně zbarvuje. Vzniká pás skvrn podobně jako pás skvrn na oceánském dně v Tichém oceánu.

Koncept existence horkých skvrn popsal poprvé kanadský geofyzik J. Tuzo Wilson v roce 1963 právě na příkladu Havajských ostrovů. Od té doby se teorie rozšířila ve vědecké komunitě. Nicméně do současnosti neexistuje mezi vědci shoda, jestli plášťové chocholy, tedy původce horkých skvrn na povrchu, vznikají hluboko na rozhraní jádra a pláště či pouze v zemském pláští. Taktéž nepanuje shoda na množství horkých skvrn, které se na zemském povrchu projevují. Množství skvrn se udává od 20 až po několik stovek. Tyto rozpory jsou dány skutečností, že současné geofyzikální metody neumožňují detailně prozkoumat vnitřní stavbu Země a rozpoznat místa, kde plášťové chocholy vznikají a jestli se pod povrchem skutečně nachází.

Nicméně mechanismus projevu horké skvrny na zemském povrchu se dá snadno ilustrovat v jednoduchém experimentu za použití svíčky a listu papíru. Taktéž tato demonstrace slouží pro vysvětlení zdánlivého pohybu horkých skvrn na zemském povrchu.

Pomůcky: svíčka, zápalky, list papíru.

Postup výroby: Zapálíme svíčku a tu položíme na podložku. Následně uchopíme list papíru a pomalu s ním nad svíčkou přejíždíme z jedné strany na druhou. Nicméně je potřeba během demonstrace dbát opatrnosti, aby list papíru nevplanul.



Obrázek 12: Diagram znázorňuje idealizovaný řez litosférou (hnědá barva) s výstupem magmatu na povrch přes zemský plášť (žlutá barva). Když magma dosáhne povrchu, začne sopečnými erupcemi doprovázenými lávovými výlevy vznikat sopečný kužel. Litosféra tvořená litosférickými deskami není v čase na jednom místě stálá, ale pohybuje se. To vede k tomu, že se deska v čase pohybuje ve směru šipky. Jelikož je stále zaručen přísun magmatu z hlubších partií Země, po posunutí se opět na povrchu začne tvořit nový sopečný kužel, kdežto ten původní je odříznut od přívodu taveniny. Začne tak vznikat pás sopek na zemském povrchu. Autor: Los688, licence Public Domain.

Průběh experimentu: Během pohybu listu papíru nad svíčkou dochází k tomu, že svíčka postupně ztmavuje oblasti, kde vlivem tepla působí na papír. Vlivem posunování papíru dochází k tomu, že se tato tmavá oblast pozvolna přesunuje, jak je papír zahříván na dalším místě plamenem. Postupným tažením tak vzniká pás tmavších skvrn, které mohou být použity pro demonstrování posunu litosférické desky nad plášťovým chocholem.

Pozorujeme: Představme si, že svíčka představuje plášťový chochol vycházející z hlubších oblastí zemského pláště. Papír pak představuje litosférickou desku, která se nad horkou skvrnou nachází. Plamen svíčky, podobně jako plášťový chochol v přírodě, má snahu propálit se skrze chladnější materiál (papír představuje horninovou vrstvu). Jak je z experimentu patrné, za pohyb centra sopečné činnosti nad horkou skvrnou, není zodpovědný pohyb plášťového chocholu (svíčka je během celého experimentu na stejném

místě), ale naopak pohyb listu papíru (podobně jako na obr. 12). Obdobně se nad horkou skvrnou pohybují litosférické desky. Samozřejmě je pohyb desek mnohem pomalejší než rychlost, s jakou táhneme list papíru. Litosférické desky se pohybují řádově rychlostí několika centimetrů za rok a tak je potřeba delší doba k tomu, aby se sopečná činnost přenesla z jedné oblasti do druhé.

Nicméně když se podíváme na obr. 10, můžeme snadno na dně Tichého oceánu pozorovat pás sopečných ostrovů, které se táhnou napříč tímto oceánem od Havajských ostrovů k severozápadu až severu. Celý tento pás vznikl jako výsledek sopečné činnosti nad stejným plášťovým chocholem, respektive v oblasti horké skvrny. Nad místem, kde se plášťový chochol dostává k povrchu, postupně vznikaly ostrovy, které se vlivem pohybu litosférické desky vždy po čase dostaly mimo hlavní sopečné centrum. Tím ustal přívod magmatu a sopky vyhasly. Následně se začal tvořit nový sopečný ostrov na jiném místě a tento proces se po desítky miliónů let opakoval. Při datování hornin na těchto ostrovech bylo pak prokázáno, že jednotlivé ostrovy tvoří časovou řadu ukazující rychlost pohybu desky v čase. Geologové tak mají možnost přímo doložit, že horká skvrna nacházející se pod Havajskými ostrovy je minimálně přes 80 miliónů let aktivní.

Reference: Raymond, C.A., J.M. Stock, and S.C. Cande, Fast Paleogene motion of the Pacific hotspots from revised global plate circuit constraints, in *History and Dynamics of Plate Motions*, edited by M.A. Richards, R.G. Gordon, and R. D. van der Hilst, pp. 359-375, 2000.

Pro více informací ohledně horkých skvrn a plášťových chocholů viz strany 13 a 14 v doprovodné brožuře „**Geologické procesy zapsané v horninách**“ od Aleše Špičáka a kol.

Říční systém na stole

Řeky jsou neodmyslitelně spjaty s tváří krajiny, kterou po tisíciletí utvářely a přeměňovaly. Je to právě jejich síla, která se výrazně podepsala na vzhledu oblasti. Tekoucí voda má sílu, která umožňuje odnášet či přinášet různorodý materiál a tím utvářet své koryto, prohlubovat ho, zanášet, anebo dokonce koryto úplně změnit. A právě to, jak se řeka v některých úsecích svého toku chová, je možné z části pozorovat na jednoduchém pokusu.

Účelem tohoto pokusu je představit mechanismus, kterým působí vodní toky na své okolí za pomoci proudu tekoucí vody a jemnozrnného písku. Studenti tak mají možnost se seznámit s vývojem vodního koryta v horní části říčního toku, jeho postupným překládáním a zahlubováním, pozorovat transport horniny vodním tokem a následné ukládání materiálu v podobě sedimentární horniny.

Pomůcky: Plastová přepravka či papírová krabice, PET lahev, přibližně metr dlouhá hadička s malým průměrem (0,5 cm), jemnozrnný křemenný písek, kýbl a v případě použití papírové krabice silný igelit a lepenka.



Obrázek 13: Letecký snímek řeky Waimakariri na Novém Zélandu v horní části toku, kde má řeka značnou sílu unášet materiál. To je dáno vysokým sklonem svahů, po kterých řeka teče a tedy vysokou rychlostí proudící vody. Voda tak získává možnost unášet velké množství materiálu a dynamicky utvářet své koryto. Vzniká morfoloický úvar, který se označuje jako divočící řeka. Autor: Greg O'Beirne, licence: CC BY-SA 3.0.



Obrázek 14: Příklad vzhledu modelu. V tomto případě byla použita plastová přepravka a jako podložka dvojice zahradních židlí. Voda je přiváděna v levém dolním rohu, odtéká v pravém horním. Během tečení vzniká model říčního koryta, které se v čase vyvíjí a mění. Autor fotografie Jonathan Lansey, všechna práva vyhrazena.

Postup výroby: V jednom rohu plastové přepravky vyřízneme otvor, který bude sloužit pro odtok vody. V případě, že použijeme papírovou krabici, vyřízneme otvor a následně do krabice vložíme igelit tak, aby dosahoval nad úroveň bočních stěn. Igelit proděravíme v místě, kde jsme před tím vyřízli otvor. Následně položíme přepravku na podložku a pod otvor vložíme kýbl, kde se bude hromadit odtékající voda s pískem. Přepravku následně vysypeme pískem tak, aby vznikla vrstva o mocnosti několika centimetrů.

Snažíme se písek nanášet rovnoměrně, aby nevznikaly vyšší a nižší místa. V takovém případě by totiž tekoucí voda obtékala tyto kopce a v depresích by vznikaly jezírka. PET lahev naplníme vodou a zasuneme do ní hrdlem hadičku (můžeme jí k hrdlu flašky přilepit lepenkou, aby lépe držela). Natáhneme ústy vodu do hadičky, aby voda začala proudit, a umístíme jí do

protilehlého rohu, než jsme vyřízli otvor (načež jí taktéž přichytíme lepenkou).

Průběh experimentu: Tekoucí voda se zprvu začne v nádobě hromadit na písku a částečně se do něho vsakovat. S přibývajícím množstvím vody dochází k tomu, že se voda rozlévá do okolí, přičemž sleduje gradient podloží (vhodné je krabici trochu podložit, aby tok vody směřoval k vyříznutému otvoru). Jakmile voda dosáhne otvoru, začne tímto směrem více proudit a unášet písek. Tím dochází k postupnému vyhlubování koryta. Jak voda proudí, vytváří si koryto, které neustále zahlubuje odnášením materiálu. Současně dochází k erozi (odnosu) materiálu ze stran koryta v některých částech toku, kde je proud vody vysoký, čímž dochází k posunování břehu. Naproti tomu v některých oblastech (tam, kde je rychlost proudící vody nízká) dochází k ukládání materiálu. Celý tento vzniklý systém se tak v čase vyvíjí a neustále přeměňuje, utváří se stále nová koryta, jelikož ty starší se např. zanášejí či erodují. Z toho důvodu je vhodné nechat experiment běžet několik desítek minut, průběžně doplňovat vodu do PET lahve, vylévat kýbl a doplňovat zpět písek.

Pozorujeme: Za předpokladu výše popsaného nastavení experimentu pozorujeme morfologický útvar, který se nazývá divočící řeka či **divočení říčního toku**. Během něho dochází k větvení, rozdělení vodního toku do více ramen. Tím se zvyšuje množství vody, které je schopno protéci korytem řeky a tím se snižuje rychlost i unášecí energie vody. Následkem toho se, nejčastěji v zákrutech, usazují hrubozrnné naplaveniny a vytvářejí břehové nebo středové lavice a ostrůvky. Unášený substrát může mít v přírodě charakter štěrku nebo písku. Pro podhorské bystřiny je charakteristickým materiálem štěrk, pro nižší části toků je to písek různé frakce.

Divočící toky vznikaly na našem území převážně v chladných obdobích pleistocénu, kdy vyšší intenzita přirozeného zvětrávání skalnatého podloží vedla k zanesení údolí mocnými vrstvami sedimentů. Nicméně v dnešních podmínkách kulturní krajiny jsou takové vodní toky v Česku již vzácné. I přes to se s nimi ale můžeme setkat v horních a středních úsecích

podbeskydských řek, jako jsou Morávka, Ostravice, Lomná, Olše, Rožnovská Bečva a na jejich přítocích, kde dochází k ukládání štěrkového materiálu.

Možné modifikace: Tento experiment umožňuje řadu úprav, které se různě projeví na útvech, které budou vznikat. Máme možnost regulovat množství vody, které do krabice přitéká a tím ovlivňovat průtok. Čím více vody do soustavy poteče, tím více se bude odnášet sedimentu. Taktéž je možné měnit sklon krabice a tím měnit rychlost proudící vody. Obecně bude platit, že čím je sklon vyšší, tím vyšší bude rychlost proudící vody. Bude pak docházet k napřimování koryta a k většímu odnosu materiálu.

Úskalí: Nicméně tento model neumožňuje přesně kopírovat vznik a průběh celého říčního systému, jelikož zde existují problémy se škálováním. Proud, který proudí modelem, má příliš malou rychlost, tedy sílu, aby unášel hmotná zrnka křemenného písku na větší vzdálenosti a v samotném proudu vody. Jednotlivá zrnka se tak vlivem nízké rychlosti pouze převalují po dně, což neumožňuje vytvářet struktury charakteristické pro střední a nižší část toku (např. meandry). V takovém případě je potřeba zvolit jiný materiál, který má menší hustotu a tedy hmotnost (jako například drcené plasty).