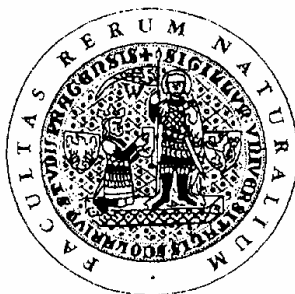


Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Užitá geofyzika

Studijní obor: Aplikovaná geologie



AUTOREFERÁT DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE
SUMMARY OF DISSERTATION

Mgr. Petr Schnabl

**Paleomagnetismus a magnetomineralogie hornin Českého
masivu a tethydní oblasti**

**Paleomagnetism and magnetomineralogy of rocks from the
Bohemian Massif and Tethyan Realm**

Vedoucí disertační práce:

Ing. Petr Pruner, DrSc.

Praha, 2012

Obsah / Contents

Autoreferát

Abstrakt.....	3
Úvod.....	3
Cíle.....	4
Použité metody.....	6
Výsledky.....	7
Diskuze.....	11
Závěr.....	13

Thesis summary

Abstract.....	13
Introduction.....	14
Main goals.....	14
Methods.....	16
Results.....	17
Discussion.....	20
Conclusions.....	21
Figure captions.....	21
Literatura / References.....	22
Životopis.....	24
Curriculum vitae.....	25
Seznam publikací / Selected publications.....	26

Abstrakt

Disertační práce pojednává o paleomagnetických a horninově magnetických vlastnostech vápenců, bazaltů a alterovaných diabázů různého fanerozoického stáří. Hlavním smyslem práce je za podpory horninově magnetických metod dešifrovat historii magnetického pole Země od siluru po současnost.

V jičínském vulkanickém poli jsou na základě kombinace paleomagnetismu a K/Ar datování definována dvě souvrství, konkrétně trosecké a kozákovské. Trosecké souvrství (24,6?/18,3 – 15,7 Ma) je tvořeno solitérními strombolskými vulkanity. Souvrství kozákovské (5,2 – 4,6 Ma) jsou efuzivní produkty jediného vulkánu a jeho přívodní dráha. Na bruntálsku byly stejnou metodikou dokázány dvě pleistocénní fáze vulkanické aktivity (2,6 – 2,1 Ma a 1,8 – 1,1 Ma) a jedna fáze pliocénní (4,3 – 3,3 Ma).

Magnetostratigrafická korelace se ukázala jako velice zásadní pro přesnou definici hranice J/K, kterou by případně odsouhlasila mezinárodní stratigrafická komise. Důvodem je zejména vymírání planktonických Crassicolarií v rámci magnetozóny M19, které jsou nahrazovány modernějšími kalpionelami. Mimo to je zde také hranice mezi amonitovými zónami Jacobi a Durangites.

Silurské a devonské paleomagnetické směry remanentní magnetizace v rámci struktur Českého masivu jde velice obtížně jednoznačně interpretovat a proto jejich výzkum patří již po mnoho let k předním výzvám v oboru. V takto starých nemetamorfovaných horninách jsou zaznamenány dvě komponenty, první je přibližně 200°/-30° a druhá 200°/+30°. První směr je obvykle považován za primární komponentu (Tait et al. 1995, Krs et al. 2001, Aifa et al. 2007), a druhý směr je považován sice za sekundární, ale stále spodně paleozoický. Tato interpretace předpokládá rotaci celé barrandienské oblasti v jejím užším slova smyslu o 160° až 200° během variské orogeneze. Podle druhé, zatím nepublikované, teorie je primární směr 200°/+30°. Směr 200°/-30° by mohl být způsoben druhohorním tropickým zvětráváním. Zatím sice není shromážděn definitivní dostatek důkazů ani pro jednu z těchto teorií, nicméně v této práci byla obohacena metodika paleomagnetického studia o další moderní horninově magnetické metody, které zde mohou přinést určitý zlom v nazírání na celou situaci. S přihlédnutím k dosaženým novým vlastním výsledkům se spíše přikláním k první, již vícekrát publikované teorii, která počítá s rotací Barrandienu o 200° ve směru či o 160° proti směru hodinových ručiček.

Úvod

Původním tématem mé doktorské práce byl paleomagnetismus a paleogeografie hornin pražského synklinoria. Tato variská struktura je tvořena paleozoickými partiemi barrandienu. V jejím horninovém sledu se nachází kambrická siliciklastika, ordovická vulkanoklastika a siliciklastika, silurské

graptolitové břidlice, s bazaltovými pravými i ložními žilami a lávovými proudy a devonské vápence.

Tyto horniny byly během variské orogeneze zahřáty až na 100°C (*Suchý et al. 2002*) a v mesozoiku sem z povrchu zasahovalo tropické zvětrávání (*Danišík et al. 2012*). Tyto procesy místy způsobily rozpuštění magnetitu a růst hematitu. Při paleomagnetickém výzkumu paleozoických hornin musí být použity speciální rockmagnetické metody a pro správnou identifikaci jednotlivých paleomagnetických komponent je nutné znát paleomagnetickou historii mladších období, tak musely být studovány i mesozoické a kenozoické horniny. Lze tedy říci že díky částečné remagnetizaci studovaných paleozoických lokalit bylo zapotřebí rozšířit studované téma o paleomagnetický a magnetomineralogický výzkum mladších hornin (viz obr. 1).

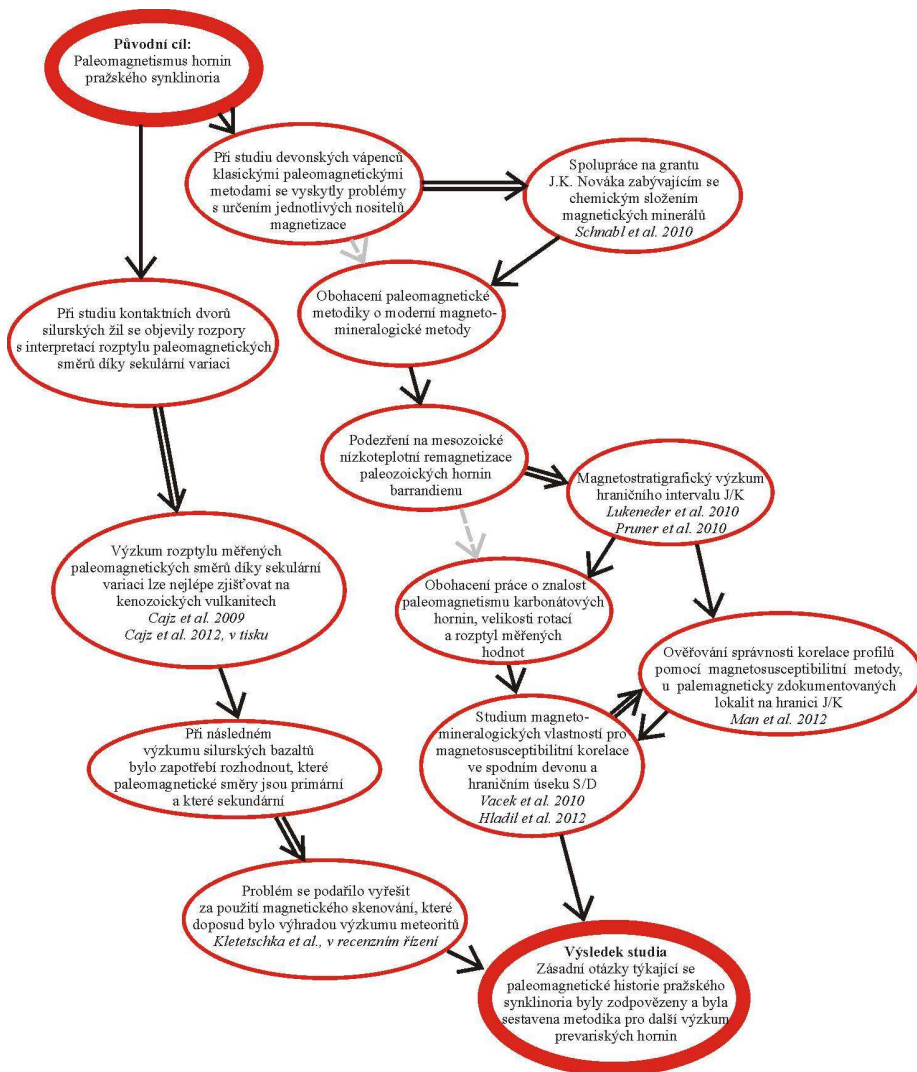
Cíle

Metodické cíle

- Hlavní cíl této disertační práce je ukázat možnosti rockmagnetických a magnetomineralogických metod při studiu různě starých čedičů a diabasů, které jsou jedny z nejmagnetičtějších hornin a na druhé straně při studiu čistých vápenců, které jsou často diamagnetické.
- Najít moderní magnetomineralogické metody, které budou vhodné k objasnění původu jednotlivých složek remanentní magnetizace.
- Porovnat paleomagnetickou a magnetostratigrafickou metodiku, doplněnou o nezávislá datování, při zpřesňování stáří vhodných horninových typů.
- Ověřit vhodnost korelace profilů stejného stáří pomocí moderní magnetosusceptibilitní metody (*sensu Crick et al. 1997, 2001*), případně doplnit o magnetomineralogickou metodiku nezbytnou k určení hlavních nositelů magnetické susceptibility (MS).

Geologické cíle

- Rekonstrukce kenozoického vulkanismu na základě paleomagnetického a magnetomineralogického studia vulkanitů na modelových územích.
- Magnetostratigrafická korelace nejvýznamnějších profilů hraničním intervalu jura/křída, což je jediná hranice mezi stratigrafickými epochami, která zatím nebyla jednoznačně určena a schválena mezinárodní stratigrafickou komisí ICS.
- Ověřit primární magnetickou složku staropaleozoických hornin a objasnit podmínky vzniku sekundárních fází.



Obr. 1. Schéma postupu studia paleomagnetické problematiky hornin pražského synklinoria, ze kterého je patrné, že samotná cesta poznání přinesla velké množství dalších výsledků. Jednoduchými šipkami je značena nejpřímější cesta, dvojitými šipkami je označena vynucená změna směru bádání a šedou čárkovanou šipkou je znázorněna nejpřímější cesta k cíli kterou bylo nutno modifikovat.

Použité metody

Přirozená remanentní magnetizace (NRM)

V případě vulkanických hornin se zkoumá termoremanentní magnetizace, která vznikla při chladnutí lávy pod Curieovu teplotu, při které se mění titanomagnetity z paramagnetických na ferromagnetické a tudíž mohou nést remanentní magnetizaci. Vápence na druhou stranu obsahují detritickou remanentní magnetizaci, která vzniká při usazování magnetických minerálů a při lithifikaci sedimentu v hloubce do 20 cm. Magnetotaktické bakterie v horní vrstvě sedimentu vytváří magnetit. U některých vápenců při hranici silur/devon se nachází i chemoremanentní magnetizace, která vznikla vysrážením hematitu v době variského vrásnění. Jednotlivé komponenty se určují pomocí postupné střídavé či tepelné demagnetizace a následné složkové analýzy.

Geomagnetické pole popisujeme jako vektorovou veličinu, která má svůj směr a velikost. Úhel mezi tímto vektorem a vodorovnou rovinou se nazývá magnetická inklinace. Magnetická deklinace je úhel mezi zeměpisným a magnetickým severem. Z magnetické deklinace a inklinace můžeme spočítat virtuální paleopól a porovnat s křivkou zdánlivého putování pólů.

Další vlastnost magnetického pole Země jsou změny polarity. V magnetostratigrafii se měří remanentní magnetizace (RM) pro vzorky nad sebou v profilu a hledají se polohy s normální a reverzní polaritou, které se porovnávají s geomagnetickou polaritní škálou.

Magnetická susceptibilita (MS)

MS je schopnost látky se namagnetovat ve slabém magnetickém poli. MS obvykle vztahujeme k objemu nebo hmotnosti a udáváme v jednotkách 10^{-6} SI, respektive 10^{-9} m³kg⁻¹.

Absolutní většina minerálů vykazuje stálou MS při změně magnetického pole v indukční cívce. Jediné výjimky tvoří některé spinelidy (např.: titanomagnetit) a pyrhotin, u kterých se velikost MS zvětšuje s rostoucím magnetickým polem, a proto se tato veličina hodí k jejich studiu. Závislost na poli se vyjadřuje vztahem: $k_{HD} [\%] = 100(k_{300} - k_{30}) / k_{300}$, kde k_X je MS měřená v poli s amplitudou 30 respektive 300 A/m (Vahle et al. 2007).

Feromagnetické minerály můžeme rozpoznat pomocí Curieovy teploty, která je určena pomocí prudkého poklesu MS během zahřívání v nemagnetické peci.

Izotermální remanentní magnetizace (IRM)

Při pulzu magnetického pole vzniká ve vzorku IRM. Vzorky magnetujeme postupně a po každém kroku měříme jejich IRM (Kruiver 2001). Důležitým parametrem je magnetická tvrdost reprezentovaná parametrem $B/2$, který se vypočte při analýze takto získané akviziční křivky IRM. Je to hodnota pole, při které se všechny minerály stejného složení nasatí přesně na polovinu svého saturevaného stavu.

Magnetické skenování

Na výbrusech se vyhledávají magnetické anomálie pomocí magnetického skeneru, tyto anomálie se poté interpretují v optickém mikroskopu a případně se i nafotí. Magnetický skener je sestavený z Hallovy sondy a automatického posuvného držáku vzorků s rozlišením 0,2 mm. Výbrus se musí nejdřív saturovat isotermální remanentní magnetizací (SIRM), v našem případě jsme použili pole 2,5 T. Hallova sonda měří magnetické pole 0,1 mm nad povrchem výbrusu (Kletetschka et al. 2009). Jedná se o složku magnetického pole kolmou k rovině výbrusu, která se poté automaticky zaznamená, včetně souřadnice bodu na výbruse. Nakonec se vše uloží do rastrového snímku.

Výsledky

Krušné hory

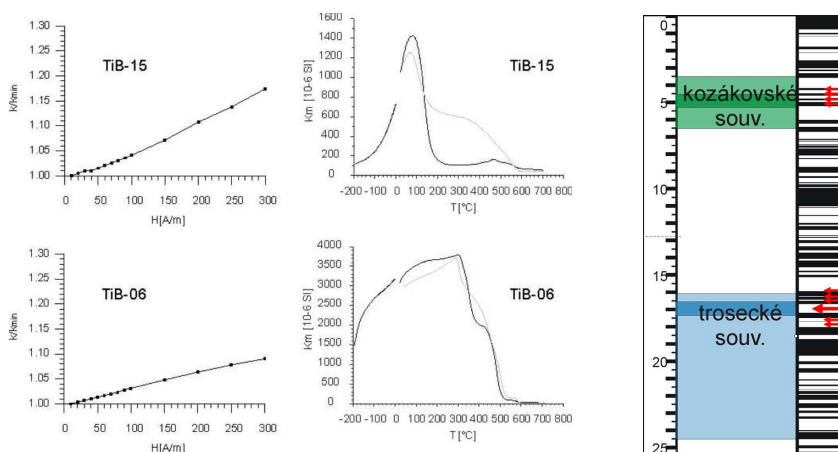
Kenozoické, titanem bohaté bazaltoidy (3,5 – 5,2 hmotnostních % TiO_2 změřené na celkové hornině) se nachází v širším okolí loučenského vulkanického centra. Hlavní rockmagnetickou roli zde hrají spinelidy s obsahem titanu 12,7 – 20,1 hmotnostních % TiO_2). Pomocí magnetomineralogických metod můžeme nepřímo zjistit obsah TiO_2 , Al_2O_3 , MgO_2 a dalších akcesorických příměsí v krystalické struktuře spinelidů (tab. 1). Nejúčinnější metodou pro studium vlivu různých příměsí, je určování změn magnetické susceptibility vzorku v závislosti na změně velikosti pole v indukční cívice, Curieovy teploty pomocí studia závislosti magnetické susceptibility na teplotě (obr. 2) a změny křivek izotermální remanentní magnetizace.

	ulvöspinel	hercynit	jacobsit	magnesio-ferrit	magnesio-chromit	chromit	magnetit
k_{hd}	0,50	0,55	-0,73	0,81	0,33	0,44	-0,73
T_{cl}	-0,37	-0,41	0,70	-0,44	-0,24	-0,33	0,45

Tab. 1. Korelační koeficienty mezi MS závislou na poli (k_{hd}), Curieovou teplotou (T_{cl}) a obsahem jednotlivých složek spinelidů.

Jičínsko

Práce navrhuje litostratigrafické členění kenozoického vulkanismu jičínského vulkanického pole na dvě souvrství: starší trosecké (svrchní miocén) a mladší kozákovské (spodní pliocén), porovnává je s litostratografií vulkanosedimentárního komplexu Českého středohoří. Návrh zahrnuje definici holo- a parastratotypů obou souvrství. Litologické aspekty postavené na vulkanologii podporuje radiometrickým datováním a paleomagnetickými charakteristikami, které navíc dovolují radiometrická data zpřesňovat. Trosecké souvrství (15,7 – 18,3/24,6? Ma) je definováno jako soliterní strombolský vulkanismus s dochovanými povrchovými aparáty struskových kuželů, souvrství kozákovské (4,6 – 5,2 Ma) pak jako efuzivní produkty strombolského typu jediného vulkánu, včetně popisu jeho přírodní dráhy.



Obr.2. (vlevo) Křivky závislosti magnetické susceptivity na poli H a na teplotě T . Černou je značena ohřívací křivka a šedou ochlazovací. TiB-15 je příklad horniny s vyšším obsahem titanu ve spinelidech a v TiB-06 převládá železitá složka

Obr. 3. (vpravo) Zpřesnění radiometricky získaného stáří pomocí paleomagnetizmu troseckého (18,3 – 15,7 Ma) a kozákovského souvrství (5,2 – 4,6 Ma)

Bruntálské vulkanické pole

Paleomagnetický výzkum plio-pleistocénního vulkanismu v SV části Českého masivu byl doplněn o K/Ar datování. Byly vzorkovány lávy i vulkanoklastika šesti vulkánů. U reverzně polarizovaných pleistocénních bazaltů se magnetická deklinace a inklinace pohybuje v rozmezí 130 až 174° a -85 až -68°; a u pliocénních hornin s normální polaritou je deklinace mezi 345 a 350° a inklinace okolo 62°.

Pleistocénní vulkanická aktivita proběhla ve dvou fázích (2,6 – 2,1 Ma a 1,8 – 1,1 Ma), při nichž vznikaly monogenetické vulkány se struskovými kužely i lávovými proudy. Výjimku tvoří Velký Roudný, který vznikl ve starší fázi a v mladší fázi byl remobilizován. Během mladší fáze vznikla Venušina sopka a Uhlířský vrch. Během nejstarší (pliocénní; 4,3 – 3,3 Ma) fáze vznikla na Bruntálsku sopka Břidličná a ve stejné době a na stejném zlomovém systému byla výrazná sopečná aktivita v polské Lutyni.

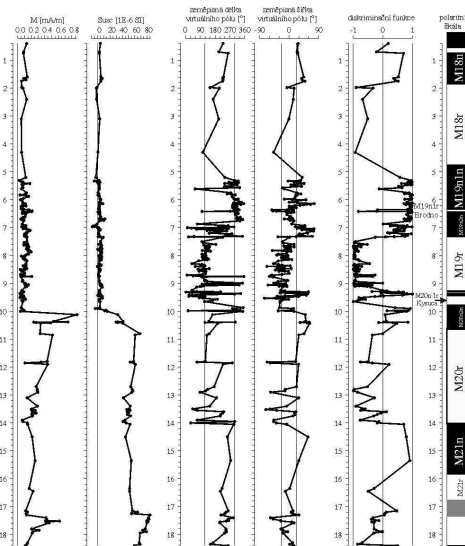
Puerto Escaño

Práce shrnuje magnetostratigrafický a biostratigrafický výzkum hraničního intervalu titon/berrias (J/K) na lokalitě Puerto Escaño v jižním Španělsku. Jedná se o dílčí výsledek vedoucí k hlavnímu cíli, což je srovnání biostratigrafických zón mezi tethydní a boreální oblastí. Jako jediná vhodná korelační metoda globálního charakteru se prozatím jeví magnetostratigrafie s vysokým rozlišením. Na studovaném profilu byl měřen 8,1 m mocný sled karbonátů s krokem 3 cm a byly identifikovány magnetozóny M20r až M18n, včetně subzón M20n.1r a M19n.1r o mocnostech 4 a 9 cm, které bylo nutno odebrat v několika řadách kvůli statistickému zhodnocení. Sedimentační rychlost vypočtená na základě doby trvání identifikovaných magnetozón je v rozmezí 1 až 5 mm za tisíc let.

Obr. 4. Hlavní paleomagne-tické parametry na lokalitě Nutzhof: MS (k), NRM (M), zeměpisná šířka a délka virtuálního magnetického paleo-pólu a diskriminační funkce. Polarita normální - černá, reverzní - bílá, nejistá - šedá.

Nutzhof

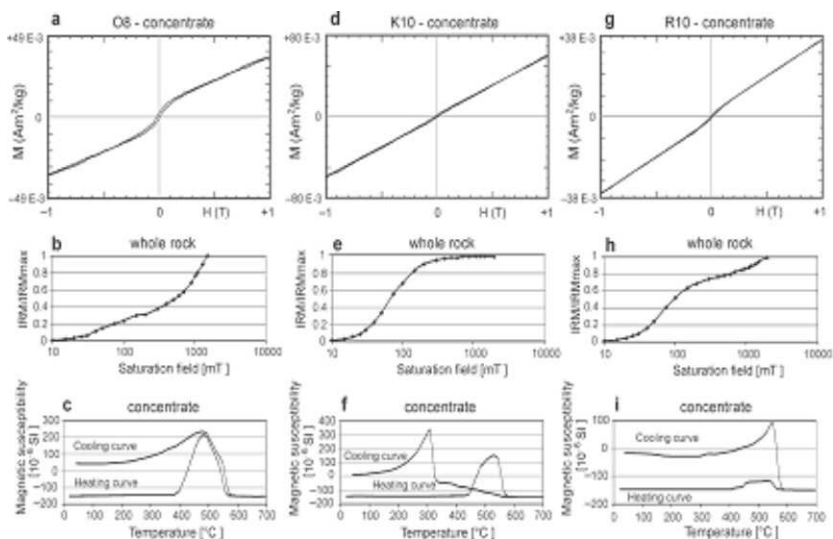
Hlavním cílem práce je výzkum hemipelagických sedimentů z hranice jura/křída (J/K) v Grestenském bradlovém pásmu (Dolní Rakousko) a příprava podkladů pro korelaci mezi profily hranice J/K a dále také popis případných environmentálních změn. Jeden z nejlepších výchozů hranice J/K je bradlo tektonicky zapracované do flyšových sedimentů, které se nachází u obce Nutzhof. Detailní biostratigrafie byla korelována na základě amonitů, belemnitů, krinoidů a kalpionel



s gamaspektroskopickým, izotopickým a paleomagnetickým záznamem. Ačkoli vzorky pro magnetostratigrafický výzkum nebyly odebírány kontinuálně v celém profilu, podařilo se identifikovat dvě reverzně polarizované magnetické subzóny Brodno a Kysuca. Stratigrafický rozsah je M17r – M21r (obr. 4), což odpovídá stáří 150 – 143 Ma.

Hranice silur/devon

Cílem tohoto článku je zjistit, jak se chová magnetická susceptibilita a gamaspektrometrie (GRS) v jediné sedimentační pánvi. Porovnávali jsme 8 profilů na hranici S/D v hlubokomořském a mělkomořském sedimentačním prostředí. Mělkovodní prostředí obsahuje hluboký subtidál až svrchní části kontinentálního svahu a hlubokomořské profily pochází z hranice kontinentálního svahu a pánevního dna i distálních částí pánve. Stratigrafické porovnání těchto dvou prostředí je velice obtížné díky tomu, že sedimentační sekvence obsahují velké množství jemnozrnných kalciturbiditů a hiátů. MS a GRS spolu s detailní sedimentologií byla použita pro zjištění sedimentačního prostředí. K prokázání, že MS nezávisí na množství magnetitu, ale především na obsahu paramagnetických minerálů, bylo zapotřebí zjistit magnetomineralogické složení hornin.



Obr. 5. Termomagnetické a hysterezní chování 3 minerálních koncentrátů získaných rozpouštěním v kyselině octové a křivky akvizice IRM na celé hornině.

Vzorek O8 Opatřilka Hysterezní křivka a) vykazuje paramagnetické a ferromagnetické chování, což je v souladu s akviziční křivkou IRM b) kdy $B1/2 = 1071$ mT je typická hodnota pro goethit s vysokou koercivitou. Průběh MS za teploty c) indikuje

vznik magnetitu mezi 400 a 500° C. Curiova teplota tohoto novotvořeného magnetitu je 560° C.

Vzorek K10 z Karlštejna: Hysterezní křivka **d)** vykazuje jenom paramagnetické chování, přesto akviziční křivka IRM **e)** dokládá malé množství minerálu s nízkou až střední koercivitou pravděpodobně magnetit či hematit ($B/2 = 72$ mT). Teplotní variace MS **f)** ukazuje vznik magnetitu mezi 450 a 570° C jehož $T_C = 570^\circ$ C. Během dalšího zvyšování teploty se tvoří pyrrhotin s $T_C = 320^\circ$ C

Vzorek R10 z Radotína: Hysterezní křivka **g)** ukazuje paramagnetické chování s nepatrným náznakem ferromagnetického materiálu. Naproti tomu akviziční křivka IRM **h)** dokládá dva odlišné magnetické minerály magnetit či hematit ($B/2 = 70$ mT) a goethit ($B/2 = 2041$ mT). Růst MS během pečení nad 40° C **i)** je způsoben novotvořeným magnetitem o $T_C = 560^\circ$ C. Během dalšího zahřívání se tvoří čistý magnetit s $T_C = 580^\circ$ C.

Magnetické skenování silurských žil

Při srovnání snímků získaných magnetickým skenováním horninových výbrusů s fotografiemi z optického mikroskopu, byly zjištěny tři typy magnetických textur. U první textury je většina magnetického signálu lokalizovaná v amygdalách, které vznikly vyplněním vesikul během zanoření spolu s celým vulkanosedimentárním sledem. Druhá texturní skupina hornin obsahuje velká magnetická zrna, která obsahují viskózní magnetizaci. Třetí skupina hornin si zachovala primární magnetické vlastnosti výlevných hornin a zde se také pravděpodobně zachovaly primární paleomagnetické směry.

Diskuze

Výsledky mého výzkumu ukazují, že u všech studovaných horninových typů můžeme použít stejné paleomagnetické metody, a to jak demagnetizaci střídavým polem, tak teplotou. U bazaltů i diabázů jsou obě metody rovnocenné, ale u karbonátů, které někdy obsahují příměs goethitu, je vhodnější demagnetizace tepelná. Při měření vulkanických hornin nikdy nelze dosáhnout vystředění sekulární variace, a tak nelze použít reversal test.

Z magnetomineralogických měření můžeme u všech studovaných typů hornin použít S-ratio, komponentovou analýzu křivek akvizice IRM nebo teplotní závislost MS. Komponentová analýza křivek akvizice IRM je zcela univerzální metoda vhodná k určení mineralogického složení nositelů remanentní magnetizace.

Magnetické skenování Halloovou sondou dokáže na výbruse identifikovat jednotlivé ferromagnetické krystaly. Tato metoda je však vhodná jen pro magneticky silné horniny. MS závislá na poli v indukční cívice je zase vhodná pro horniny, kde můžeme očekávat různý obsah Ti v krystalické mřížce titanomagnetitů, takže ji s výhodou můžeme použít jen pro studium čedičů či

diabasů. Naopak Lowrieova metoda je vhodná k určení nositelů magnetizace u vápenců, které obsahují jak magnetit, tak hematit či goethite.

Pomocí magnetostratigrafie s vysokou rozlišovací schopností doplněné o biostratigrafii na jursko-křídové hranici, lze přesně určit všechny magnetozóny, takže jednotlivé profily jdou přesně korelovat. Jediný nedostatek je poměrně malá přesnost určení absolutního stáří jednotlivých magnetozón, které je pro toto období určeno s přesností samotné GPTS a to je ± 4 Ma (Ogg *et al.*, 2008).

U kenozoických vulkanitů můžeme určit stáří pomocí K/Ar či Ar/Ar metody. Při porovnání GPTS (která má v tomto období přesnost $\pm 0,1$ Ma) s paleomagnetickými a radiometrickými údaji můžeme stáří těchto hornin více zpřesnit. Vzhledem k tomu, že vulkanity obvykle nemají vystředěnou sekulární variaci, můžeme snadno určit reliktů jednoho lávového tělesa (např. Kozákov) či jednotlivé přírůdky zcela stejného stáří (trosecké souvrství).

Magnetosusceptibilitní korelace jsou vhodné pouze v případě, že není zachována primární paleomagnetická složka. Při použití této metody je nutné dokázat, že hlavními nositeli MS jsou paramagnetické minerály. Dále je vhodné doplnit tuto metodu o gamaspektrometrická data. V případě, že změny MS souvisí se změnou přínosu terigenního materiálu, pak by stejným způsobem mělo být ovlivněno i množství radioaktivního draslíku.

U titanem bohatých vulkanických hornin v oblasti Krušných hor jsem zjistil, že obsah Ti zjištěný analýzou celkové horniny nesouvisí s obsahem Ti zjištěným na elektronové mikrosondě analýzou jednotlivých zrn titanomagnetitů či pomocí magnetomineralogických metod. Množství Ti v těchto horninách není závislé na stáří horniny, ale je lokalizováno v ohraničené oblasti. Tyto horniny mají i zvýšené množství titanem bohatých xenolitů, z těchto důvodů lze soudit na asimilaci materiálu z ultrabazického masívu v podloží.

Paleomagnetický výzkum na Jičínsku prokázal dvě vulkanické epizody s velmi krátkou dobou trvání. Dále byly prokázány 300 metrové vertikální pohyby na lužické poruše za posledních 5 Ma. Na Broumovsku podobně jako na Jičínsku probíhala vulkanická aktivita v několika velice krátkých epizodách.

V mé práci jsem se podílel jako člen Berriassian working group při ICS na odběrech vzorků a zpracování magnetostratigrafických dat u chybějících částí profilu hranice J/K na lokalitě Puerto Escaño a zcela nového profilu v Nutzhofu a Le Chouetu. Tyto lokality byly poté magnetostratigraficky a biostratigraficky korelovány s dalšími stejně starými profily, jako například Bosso Valey, Brodno, Lokut, Posredne a Nordvik.

V silurských horninách Barrandienu se nachází dva převládající směry remanentní magnetizace. První cca 200/-30 a druhý cca 200/30, zatím není 100% jisté, která z těchto složek je opravdu primární. Pomocí magnetického skenování

Hallovou sondou je možné shromažďovat potřebná data k rozlišení primárních a sekundárních složek.

Závěr

Předložená disertační práce má tři významné výsledky:

- U kenozoického vulkanismu jsem dokázal, že jednotlivé epizody sopečné činnosti jsou mnohem kratší, než se obecně předpokládalo.
- Hranice jura/křída je poslední hranicí mezi dvěmi stratigrafickými periodami, která zatím není jednoznačně definována mezinárodní stratigrafickou komisí. Pomocí magnetostratigrafických korelací jsem přispěl k získání nových poznatků o tomto hraničním intervalu.
- Podařilo se mi obohatit naši laboratoř o dvě nové magnetomineralogické metody vhodné ke studiu paleozoických hornin: Lowrieho metodu a komponentovou analýzu akviziční křivky IRM. Tyto dvě metody doplněné o magnetické skenování Hallovou sondou jsou ideálním magnetomineralogickým doplňkem k paleomagnetickému výzkumu paleozoických hornin.

Thesis summary

Abstract

The thesis deals with paleomagnetic and rock magnetic properties of Silurian/Devonian and Jurassic/Cretaceous limestones, Paleogene/Neogene basaltic rocks and altered Silurian basalts. The main goal is to determine the history of the Earths' magnetic field from the Silurian to the present.

Two lithostratigraphic formations are defined in the Jičín volcanic field on the basis of volcanology, paleomagnetism and radiometric dating. The Trosky Formation (24.6/18.3 – 15.7 Ma) is composed of several Strombolian-type volcanoes, while the Kozákov Formation (5.2 – 4.6 Ma) is represented by effusive products with a crater vent of a single giant volcano. One Pliocene (4.3–3.3 Ma) and two Pleistocene phases (2.6 –2.1 Ma and 1.8 – 1.1 Ma) of volcanic activity

Magnetostratigraphy is a very important tool for the definition of the J/K boundary. The boundary between the Crassicolaria and Calpionella zones is present within geopolarity zone M19n. The boundary between the ammonite zones Jacobi and Durangites also lies close to this point.

Paleomagnetic directions of Silurian and Devonian rocks in the Bohemian Massif are very difficult to interpret and have been studied as a challenging problem for many years. In the Barrandian area, two potential components have

been identified: approximately $200^{\circ}/-30^{\circ}$ and $200^{\circ}/+30^{\circ}$. The first direction has been reported as the primary one by several authors, while the second one is possibly of secondary origin but also Lower Paleozoic in age. This interpretation implies an approximately 200° clockwise (160° counter-clockwise) rotation during the Variscan orogeny. According to the second theory, which has not been published yet, the direction $200^{\circ}/+30^{\circ}$ is the primary one and the direction $200^{\circ}/-30^{\circ}$ is a secondary one, caused by supergene processes related to tropical weathering in the Mesozoic. None of these two theories is supported by clear evidence. This thesis, however, presents several specialized rock magnetic methods which can help to solve this task. Newly obtained data rather suggest the validity of the first theory. This means that the Barrandian area was rotated 200° clockwise or 160° counter-clockwise until the end of Variscan orogenic processes.

Introduction

The first tasks solved within the present thesis were focused on the paleomagnetism and paleogeography of the Prague Synclinorium. This structure lies in the central upper part of the Barrandian area and is, alternatively, called the Barrandian area *s.s.* This area consists of Cambrian (prevalence of siliciclastic sediments), Ordovician (siliciclastics and volcanoclastics), Silurian (often with black “graptolite shales”, basaltic dykes, sills and lava flows) and Devonian rocks (prevalence of carbonate sediments, notably limestones). These rocks were heated up to 100° C during the Variscan orogenic history (Suchý *et al.* 2002) and then underwent severe tropical weathering during the Mesozoic (Danišík *et al.* 2012). These processes resulted in the dissolution of magnetite and in the growth of new hematite.

To understand the origin and the age of individual paleomagnetic components, the main magnetic carriers must be studied using special rock-magnetic methods. Also, paleomagnetic behaviour of younger rocks must be understood. As a result, magnetic properties of Mesozoic and Cenozoic rocks were also studied. This is a significant and crucial point in the development of the present thesis: a subject orientated solely to Paleozoic rocks had to be expanded considerably to involve also the entire superimposed history of these rocks (fig.1).

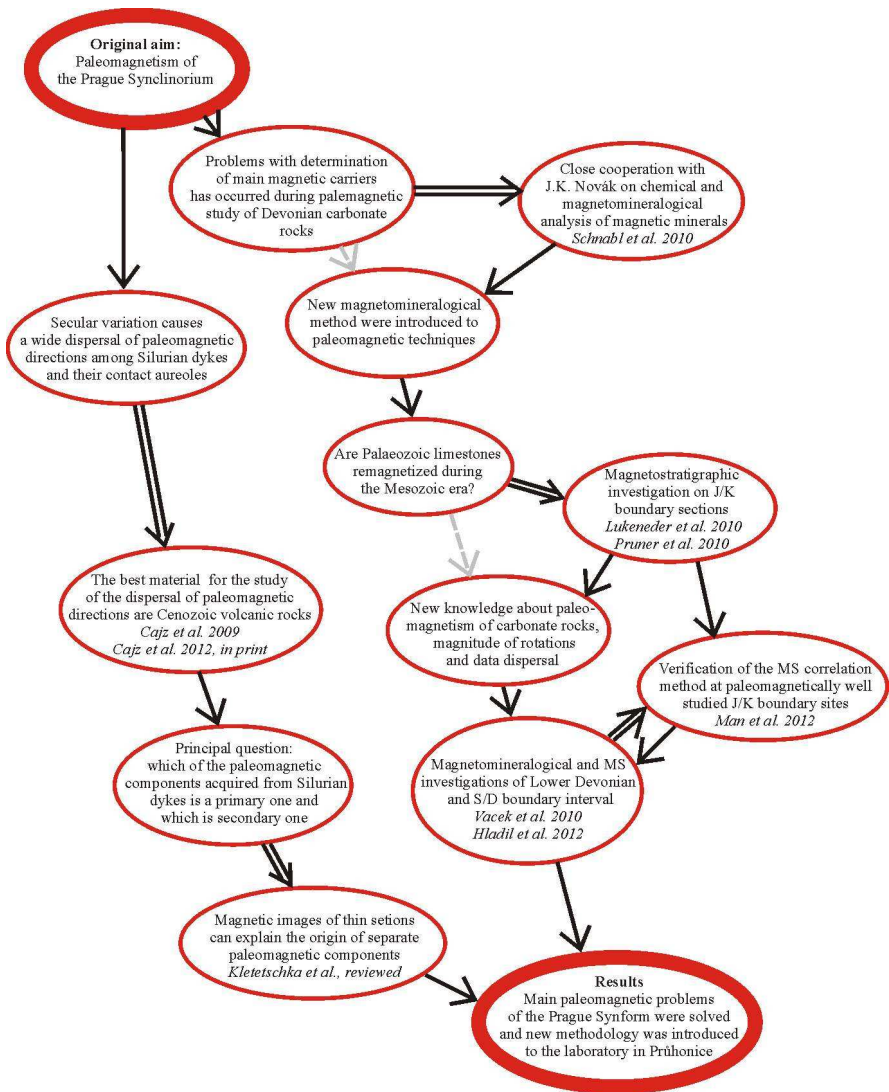


Fig. 1. Paleomagnetism of pre-Variscan rocks is difficult to interpret. This diagram shows the progress on the subject, its necessary modifications and the main results. A simple arrow denotes a straightforward advance, a double arrow denotes necessary alterations and a grey dashed arrow indicates the intended course which had to be modulated.

Goals

In methods

- combination of paleomagnetic and rock magnetic methods to the study of magnetic basalts and almost non-magnetic limestones over a wide range of ages;
- finding additional, modern rock magneto-mineralogical methods which can help to distinguish the components of remanent magnetization;
- a comparison of paleomagnetic and magnetostratigraphic methods in combination with other independent dating methods;
- evaluation of the original magnetic susceptibility stratigraphic methods (*sensu Crick et al. 1997, 2001*), and their constraint by the introduction of new rock-magnetic methods determining the change of MS carriers.

In geology

- a reconstruction of the Cenozoic volcanic activity using paleomagnetic and magneto-mineralogical methods, in combination with K-Ar dating of volcanic rocks;
- comparison and stratigraphic correlation of the main sections across the J/K boundary, the last boundary between the stratigraphic systems (periods) not yet precisely defined by the ICS;
- finding of primary magnetic components in Lower Paleozoic rocks in the Prague Synform

Methods

Natural remanent magnetization (NRM)

NRM is magnetization of rocks acquired during sedimentation (detrital RM) and later within diagenesis (chemical RM). Volcanic rocks get the magnetization by cooling the lava body below the Curie temperature (thermal RM). New ferromagnetic minerals can grow during metamorphism or around cracks by precipitation from fluids.

The main paleomagnetic properties are magnetic declination and inclination. Declination is the angle between magnetic and geographical north, and inclination is the angle between the magnetic vector and a horizontal plane. Alternate field or thermal demagnetization and measurement of residual remanent magnetization in several successive steps are used to distinguished the primary, secondary and viscose magnetization by principal component analysis. Declination and inclination of acquired components can be recalculated for virtual paleopole position and compared with apparent polar wander path.

Magnetic field changed its polarity few hundred times in the last 440 Ma. Magnetostratigraphy studies the succession of normal and reverse polarity zones in the section and compares them with the geopolarity timescale.

Magnetic susceptibility (MS)

MS is the ability of material to acquire magnetization in a weak magnetic field. It can be calibrated for volume or for mass. The basic units are 10^{-6} SI or 10^{-9} m³kg⁻¹, respectively. Titanomagnetite and pyrrhotite have MS dependent on the field in the inductive coil. The MS is always constant or rises with the field and is expressed as $k_{HD}[\%]=100*(k_{300}-k_{30})/k_{300}$ (Vahle et al., 2007).

Ferromagnetic minerals can be distinguished by their Curie temperature, which is represented by a steep drop in MS during heating in a non-magnetic oven.

Isothermal remanent magnetization (IRM)

IRM is a substantial magnetic parameter; it is acquired and measured in several successive fields. The resulting data are taken for the computation of components using the *Kruivers'et al. (2001)* component analysis of the IRM acquisition curve. The results are expressed as B/2 parameter (medium magnetizing field) for each ferromagnetic mineral. Proportions of all of these minerals are also computed .

Magnetic scanning

Magnetic minerals are dispersed in the rock. Secondary minerals usually fill cracks or vesicles while the primary minerals are contained in groundmass, around pyroxenes or other xenocrysts. The thin section used for scanning must be saturated with IRM before measurement. The scanning employs the Hall probe, which moves 0.1 mm above the surface and measures the magnetic component perpendicular to the plane of the thin section (*Kletetschka et al. 2009*).

Results

Krušné hory

Cenozoic Ti-rich basaltic bodies (3.5 – 5.2 wt% TiO₂ in whole-rock analyses) are grouped in the broader vicinity of the Loučná-Oberwiesenthal volcanic centre. Spinel group minerals (mainly titanomagnetite population with 12.7 – 20.1 wt.% TiO₂) play a major role in rock magnetism. The TiO₂, Al₂O₃ and MgO₂ contents in the titanomagnetite series can be detected by magneto-mineralogical methods using variations in the Curie temperature, field-dependent

susceptibility, and variations in the isothermal remanent magnetization spectra (see tab. 1 and fig 2).

Jičín volcanic field

The publication proposes lithostratigraphic interpretation of Cenozoic volcanic products of the Jičín volcanic field and compares it with lithostratigraphy. Two new lithostratigraphic units were defined: the older Trosky Formation (Lower Miocene) and the younger Kozákov Formation (Lower Pliocene). The proposal contains volcanological and paleomagnetic evidence, radiometric dating and stratotypes of both formations (fig. 3). The Trosky Formation (15.7 – 18.3/24.6 Ma) is a reversely polarized solitary volcanism of Strombolian type; its magnetic declination is 165° and inclination -65° . Relicts of the younger normally polarized Kozákov Formation (4.6–5.2 Ma) are composed of effusive products of a single Strombolian-type volcano; its paleomagnetic directions are $350^\circ/80^\circ$. This well-documented volcanic neck lies near Prackov, which now lies 300 m lower than the relicts of its lavafloes.

Bruntál volcanic field

New paleomagnetic study was performed on Plio-Pleistocene basalts from the NE part of the Bohemian Massif. Paleomagnetic data were supplemented by 27 newly obtained K/Ar age determinations. Lavas and volcanoclastics of 6 volcanoes were sampled. Declination and inclination values of the paleomagnetic vector range in the spans of 130 to 174° and -85 to -68° for reverse polarity (Pleistocene); or 345 to 350° and around 62° for normal polarity (Pliocene).

Three Pleistocene volcanoes of the volcanic field are reversely polarized. The Velký Roudný Volcano was active during the Gelasian (2.6 – 2.1 Ma) and could have been possibly reactivated during the youngest (Calabrian, 1.8 – 1.1 Ma) phase which gave rise to the Venušina sopka and Uhlířský vrch volcanoes. During the Pliocene volcanic stage (4.3 – 3.3 Ma), the Břidličná Volcano was produced simultaneously with the Lutynia Volcano (Poland) which produced the Zálesí lava relic (normal polarity).

Puerto Escaño

This study summarizes the final results of magnetostratigraphic and biostratigraphic investigations of the Tithonian/Berriasian (J/C) boundary limestones at the locality of Puerto Escaño, Spain. An 8.1-m thick part of the section included a part of magnetozone M20r, full magnetozone M20n to M18r and a part of magnetozone M18n. Especially the detection of two reverse subzones M20 n.1r and M19 n.1r with thicknesses only 40 and 90 mm, respectively, required

much effort when sampling the section. The calculated sedimentation rate varied from 1 to 5 mm/ka.

Nutzhof

The key objective of investigation of hemipelagic sediments from the Gresten Klippenbelt (Lower Austria) was to explain environmental changes around the Jurassic/Cretaceous (J/K) boundary on the northern margin of the Penninic Ocean. The correlation with calcareous microfossil and nannofossil data combined with isotope and paleomagnetic data indicate the Tithonian to middle Berriasian (*Hybonotoceras hybonotum* Zone up to the *Subthurmannia occitanica* Zone; M17r–M21r). The succession of the Nutzhof section thus represents a depositional time interval of approximately 7 Ma (ca. 150 – 143 Ma). Two reverse magneto-subzones, Kysuca and Brodno, were detected within magnetozones M20n and M19n, respectively (fig. 4).

Silurian/Devonian boundary

Magnetic susceptibility (MS) and gamma-ray spectrometry (GRS) stratigraphy were used for the correlation and characterization of eight Silurian–Devonian sections in the Prague Synclinorium. They represent two different facies developments: lower subtidal to upper slope deposits and slope-to-basin-floor distal calciturbidites. The MS and GRS fluctuations between the sections are indicative of a patchy paleoenvironmental mosaic of non-sedimentation, erosion and various sediment accumulation conditions on the sea floor, including also disturbances by syndepositional growth faults and biogenic patchiness effects on the quantity and composition of the source materials. Magnetomineralogy is an essential tool for the interpretation of the MS signal (fig. 5).

Magnetic scanning of Silurian dikes

Magnetic images were produced for polished thin sections of basaltic rocks from the Prague Synform in the Barrandian area. When combined with the optical microscopy images, the three magnetic textures revealed their relationship to the optically imaged textures. The first magnetic texture revealed that most of the magnetic signature is localized within the amygdales formed after the dyke emplacement into the sedimentary sequence. The second texture showed that the basaltic dyke contains large grains of magnetic carriers tainted with variable viscous magnetizations. The third texture suggested the presence of magnetic anisotropy of igneous origin. Such textural magnetic information along with the

paleomagnetic characteristics of the basaltic dykes of Silurian age constrained the interpretation of the paleomagnetic signal, its origin and timing.

Discussion

The results of the study show that usually the same paleomagnetic methods can be used: thermal and alternate field demagnetization. There is no difference between these methods in measuring basalts; however, it is much better to use TD in order to study goethite- and hematite-rich limestones.

It is always possible to measure the S ratio, component analysis of IRM acquisition curves or temperature-dependent magnetic susceptibility. Field-dependent MS is a very effective method in the study of titanium-rich basalts. The Lowrie method is very suitable for the identification of magnetite, hematite and goethite. On the other hand, it is not very efficient for basalts which contain only titanomagnetites. Magnetic scanning by the Hall probe is an efficient method only for magnetically strong basalts.

High-resolution magnetostratigraphy together with biostratigraphy applied around the J/K boundary enable a precise correlation of individual sections. The only problem is the low precision of GPTS, which is ± 4 Ma in this time interval (*Ogg et al. 2008*).

The most precise age of Cenozoic volcanic rocks can be obtained by comparison of K/Ar or Ar/Ar ages and paleomagnetic record with GPTS (the precision of GPTS for this period is ± 0.1 Ma). Volcanoes of the same age (e.g., the Trosky Formation) or relicts of a single lava flow (e.g., Kozákov) can be distinguished by measuring paleomagnetic field directions, because the secular variation is not averaged.

Magneto-susceptibility correlations applied around the S/D boundary are appropriate only in the case that a primary paleomagnetic component has not been preserved. The best results can be obtained if the main MS carriers are paramagnetic minerals. This method should be supported by gamma-ray spectroscopy. If curves of MS and radioactive potassium correlate, the main variable is the input of terrigenous material.

The amount of whole-rock titanium in basalts does not correlate with its content in titanomagnetites, which can be measured using an electron microprobe or rock magnetic methods. High amount of titanium in the volcanic rock is probably caused by assimilation of country rock from an ultrabasic massif below.

Paleomagnetic investigations of the Jičín volcanic field enabled to distinguish two very short volcanic episodes. Consequently, a 300 m vertical movement was proved along the Lusatian Fault zone during the last 5 Ma. Similar short volcanic periods were interpreted in the Broumov area.

Several Jurassic/Cretaceous boundary sections (Nutzhof, Le Chouet, and Puerto Escano) were paleomagnetically studied in order to correlate them with other sections of the same age. This investigation contributes to the ICS Berriasian working group, whose main task is the final definition of the J/K boundary.

In Silurian rocks of the Prague Synchronium, two paleomagnetic components were found: approximately 200/-30° and 200/+30°. Evidence does not permit to decide which of these directions is a primary one and which is a secondary one. However, several specialized rock magnetic methods which can help to solve the task were introduced within this thesis.

Conclusions

The thesis brings three main results.

- Cenozoic volcanic episodes were proved to be much shorter than believed before.
- Several new J/K boundary sections were documented, which contributed to the International Commission on Stratigraphy.
- Several modern rock magnetic methods were introduced to our laboratory; e.g., the Lowrie method and the component analysis of the IRM acquisition curve. Magnetic scanning by the Hall probe was used for the first time in classical paleomagnetic studies of Paleozoic rocks.

Figure captions:

Tab. 1. Correlation coefficient between mineral composition and field-dependent susceptibility (k_{hd}) and the Curie temperature (T_c).

Fig. 2. Curves of temperature and field variations of magnetic susceptibility for samples from the Krušné hory Mts. The full heating curve is black and the cooling curve is grey. Tib-15 represents rock with high Ti content in spinellids and Tib-06 is rich in Fe.

Fig. 3. Paleomagnetic evaluation of radiometric data from Trosky (18,3 – 15,7 Ma) and Kozákov Formation (5,2 – 4,6 Ma).

Fig. 4. Magnetostratigraphic profile across the Nutzhof J/K boundary strata, paleomagnetic and lithostratigraphic data. $M - NRM$ in the natural state; k – value of volume magnetic susceptibility in the natural state; paleolatitude; paleolongitude. Normal magnetozones are denoted black, reverse white and unknown grey.

Fig. 5. Thermomagnetic and hysteresis behaviour of three mineral concentrates obtained by dissolution in acetic acid and isothermal remanent magnetization (IRM) curves measured on whole-rock samples.

Sample O8 (Opatřilka): *The hysteresis curve a) shows both paramagnetic and ferromagnetic behaviour. It is confirmed by the IRM acquisition curve b) with $B_{1/2} = 1071$ mT typical for highly coercive goethite. The temperature variations of magnetic*

susceptibility *c*) indicate formation of magnetite between 400 and 500 °C. The Curie point of this magnetite is at 560 °C.

Sample K10 (Karlštejn): The hysteresis curve *d*) indicates only paramagnetic behaviour. Nevertheless, the IRM acquisition *e*) proves that a small amount of low to medium coercivity mineral such as magnetite or hematite is present ($B1/2 = 72$ mT). The temperature variations of susceptibility *f*) show formation of magnetite between the temperatures of 450 and 500 °C. The Curie point of this magnetite is at 570 °C. During progressive heating pyrrhotite is formed, its Curie point is at 320 °C.

Sample R10 (Radotín): The hysteresis curve *g*) demonstrates paramagnetic behaviour and only subordinate indications of a ferromagnetic material. However, the IRM acquisition *h*) shows the presence of two different magnetic minerals: magnetite/hematite ($B1/2 = 70$ mT) and goethite ($B1/2 = 2041$ mT). The increase in magnetic susceptibility during heating above 400 °C *i*) is caused by newly-formed magnetite with the Curie point at 560 °C. Consequent heating creates pure magnetite with its Curie point at 580 °C.

Literatura / Reference

- Aifa, T., Chadima, M., Pruner, P. a Štorch, P., 2007. Structural evolution of the Prague synform (Czech Republic) during Silurian times: An AMS, rock magnetism, and palomagnetic study of the Svatý Jan pod Skalou dikes. Consequences for the nappes emplacement, *Evolution of the Rheic Ocean: from Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision*, 249 – 265.
- Cajz V., Rapprich V., Schnabl P. a Pécskay Z., 2009. Návrh litostratigrafie neovulkanitů východočeské oblasti (A proposal on lithostratigraphy of Cenozoic volcanic rocks in Eastern Bohemia). – *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008*, 9 – 15.
- Cajz V., Schnabl P., Pécskay Z., Skácelová Z., Venhodová D., Šlechta S. a Šifnerová K. Chronological implications of paleomagnetic record of the Late Cenozoic volcanic activity in Moravo-Silesian border – NE Bohemian Massif, *Geologica Carpathica* – Přijato do tisku
- Crick R.E., Ellwood B.B., El Hassani A., Feist R. a Hladil J., 1997. Magnetosusceptibility event and cyclostratigraphy (MSEC) of the Eifelian-Givetian GSSP and associated boundary sequences in north Africa and Europe. *Episodes*, 20, 3, 167 – 175.
- Crick R.E., Ellwood B.B., Hladil J., El Hassani A., Hrouda F. a Chlupáč I., 2001. Magnetostratigraphy susceptibility of the Přídolian - Lochkovian (Silurian - Devonian) GSSP (Klonk, Czech Republic) and a coeval sequence in Anti-Atlas Morocco. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 167, 73 – 100.
- Danišík, M., P. Štěpančíková, & N. J. Evans (2012), Constraining long-term denudation and faulting history in intraplate regions by multisystem thermochronology: An example of the Sudetic Marginal Fault (Bohemian Massif, central Europe), *Tectonics*, 31, TC2003.
- Hladil J., Slavík L., Vondra M., Koptíková L., Čejchan P., Schnabl P., Adamovič J., Vacek F., Vich R., Lisá L., a Lisý P., 2012. Pragian–Emsian successions in Uzbekistan and Bohemia: magnetic susceptibility logs and their dynamic time warping alignment, *Stratigraphy*, 8, 4.
- Kletetschka, G., Lunsford, A., Petrochilos, L., a Fuller, M., 2009. Hall Probe scanner for analysis of magnetization of polished sections, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy: Sopron, Hungary, IAGA*, 115-WED-O1115-0592.

- Kletetschka G., Pruner P., Schnabl P., Šifnerová K., Tasáryová Z., Manda Š. Magnetic scanning and interpretation of paleomagnetic data from Prague Synform's volcanics, *Stud. Geoph. et Geodet.* – V recenzním řízení
- Krs M., Pruner P. a Man O., 2001. Tectonic and paleogeographic interpretation of the paleomagnetism of Variscan and pre-Variscan formations of the Bohemian Massif, with special reference to the Barrandian terrane. *Tectonophysics*, 332, 93 – 114.
- Kruiver P.P., Dekkers M.J. and Heslop D., 2001. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 189, 269 – 276.
- Lukeneder A., Halásová E., Kroh A., Mayrhofer S., Pruner P., Reháková D., Schnabl P., Sprovieri M. a Wagreich M., 2010. High resolution stratigraphy of the Jurassic-Cretaceous boundary interval in the Gresten Klippenbelt (Austria), *Geologica Carpathica.*, 61, 5, 365 – 381.
- Man P., Pruner P. a Schnabl P., 2012. The detection of common cycles in magnetic susceptibility observed in distant magnetostratigraphic sections, *Stud. Geophys. Geod.*, 56, 1.
- Ogg, J. G., Ogg, G., a Gradstein, F. M., 2008. The concise geologic time scale: *Cambridge University Press*, 177 s., Cambridge.
- Pruner P., Houša V., Olóriz F., Košťák M., Krs M., Man O., Schnabl P., Venhodová D., Tavera J.M. a Mazuch M., 2010, High-resolution magnetostratigraphy and biostratigraphic zonation of the Jurassic/Cretaceous boundary strata in the Puerto Escaño section (southern Spain), *Cretaceous Research*, 31, 2, 192 – 206.
- Schnabl P., Novák J.K., Cajz V., Lang M., Balogh K., Pécskay Z., Chadima M., Šlechtá S., Kohout T., Pruner P. a Ulrych J., 2010. Magnetic properties of high-Ti basaltic rocks from the Krušné hory/Erzgebirge MTS. (Bohemia/Saxony), and their relation to mineral chemistry, *Stud. Geoph. et Geodet.*, 54, 1, 77 – 94.
- Suchý V., Dobeš P., Filip J., Stejskal M. a Zeman A., 2002. Conditions for veining in the Barrandian Basin (Lower Palaeozoic), Czech Republic: evidence from fluid inclusion and apatite fission track analysis, *Tectonophysics*, 348, 1–3, 15, 25 – 50,
- Tait, J., V. Bachtadse, a H.C. Soffel, 1995. Upper Ordovician Paleogeography of the Bohemian Massif - Implications for Armorica, *Geophysical Journal International*, 122(1), 211– 218.
- Vacek F., Hladil J. a Schnabl P., 2010. Stratigraphic correlation potential of magnetic susceptibility and gamma-ray spectrometric variations in calciturbiditic facies (Silurian-Devonian boundary, Prague Synclinorium, Czech Republic) *Geologica Carpathica.*, 61, 4, 257 – 272.
- Vahle C. a Kontny A., 2005. The use of field dependence of AC susceptibility for the interpretation of magnetic mineralogy and magnetic fabrics in the HSDP-2 basalts, Hawaii. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 238, 110 – 129
- Vahle C., Kontny A., Gunnlaugsson H.P. a Kristjánsson L., 2007. The Stardalur magnetic anomaly revisited - new insight into a complex cooling and alteration history. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 164, 119 – 141

Životopis

Osobní informace

Jméno	Petr Schnabl
Adresa	Nová 28, 25101 Říčany
E-mail	schnabl@gli.cas.cz
Národnost	Česká

Pracovní zkušenosti

Datum	od června 2004
Zaměstnání	Výzkumný pracovník
Zaměstnavatel	GLÚ, AV ČR, v.v.i. Rozvojová 269, 16500 Praha 6

Datum	1996 – 2002
Zaměstnání	Odborný geograf
Zaměstnavatel	Kiwi, s.r.o. Jungmannova 23, 11000 Praha 1

Vzdělání

Datum	1993 - 1994 a 1996 - 2002
Získaný titul	Mgr.
Studovaný obor	Geologie
Typ a adresa studované školy	Přírodovědecká fak., Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 12800 Praha 2

Datum	1994 - 1995
Studovaný obor	Geologie
Typ a adresa studované školy	Brandon University, 270-18th Street R7A 6A9, Brandon, MB, Canada

Osobní schopnosti a dovednosti

Angličtina / Španělština	C2 / B1
Technické dovednosti	Základní údržba supravodivého magnetometru
IT znalosti a schopnosti	LEOWorks, ArcGIS, MS Windows, MS Office, CorelDraw, Grapher

Curriculum Vitae

Personal information

Name	Petr Schnabl
Address(es)	Nova 28, 25101 Ricany
E-mail	schnabl@gli.cas.cz
Nationality	Czech

Work experience

Dates	June 2004 - now
Occupation or position held	Scientist in Laboratory of Paleomagnetism
Name and address of employer	GLI, AS CR, v.v.i. Rozvojova 269, 16500 Prague 6

Dates	1996 – 2002
Occupation or position held	Skilled geographer
Name and address of employer	Kiwi, s.r.o. Jungmannova 23, 11000 Prague 1

Education and training

Dates	1993 - 1994 and 1996 - 2002
Title of qualification awarded	Mgr.
Principal subjects skills covered	Geology
Name and type of organisation providing education and training	Faculty of Science, Charles University in Prague, Albertov 6, 12800 Prague 2

Dates	1994 - 1995
Principal subjects skills covered	Geology
Name and type of organisation providing education and training	Brandon University, 270-18th Street R7A 6A9, Brandon, MB, Canada

Personal skills and competences

English / Spanish	C2 / B1
Technical skills and competences	Basic maintenance of Superconducting Rock Magnetometer
Computer skills and competences	LEOWorks, ArcGIS, MS Windows, MS Office, CorelDraw, Grapher

Selected publications / Seznam publikací

Z Web of Science s IF / On Web of Science with IF

- Schnabl P., Novák J.K., Cajz V., Lang M., Balogh K., Pécskay Z., Chadima M., Šlechtá S., Kohout T., Pruner P. a Ulrych J., 2010. Magnetic properties of high-Ti basaltic rocks from the Krušné hory/Erzgebirge MTS. (Bohemia/Saxony), and their relation to mineral chemistry, *Stud. Geoph. et Geodet.*, 54, 1, 77 – 94.
- Boulvain F., Da Silva A.C., Mabilille C., Hladil J., Geršl M., Koptíková L. a Schnabl P., 2010. Magnetic susceptibility correlation of km-thick Eifelian-Frasnian sections (Ardenes and Moravia) *Geologica Belgica.*, 13, 4, 309 – 318.
- Hajna N.Z., Pruner p., Mihevc A., Schnabl P. a Bosák P., 2008. Cave sediments from the Postojnska-Planinska Cave system (Slovenia): Evidence of multi-phase evolution in epiphreatic zone, *Acta Carsologica.*, 37, 1, 63 – 86:
- Hladil J., Koptíková L., Galle A., Sedláček V., Pruner P., Schnabl P., Langrová A., Bábek O., Fráňa J., Hladíková J., Otava J. a Geršl M., 2009. Early Middle Frasnian platform reef strata in the Moravian Karst interpreted as recording the atmospheric dust changes: the key to understanding perturbations in the punctata conodont zone, *Bulletin of Geosciences.*, 84, 1, 75 – 106:
- Hladil J., Slavík L., Vondra M., Koptíková L., Čejchan P., Schnabl P., Adamovič J., Vacek F., Vich R., Lisá L., a Lisý P., 2012. Pragian–Emsian successions in Uzbekistan and Bohemia: magnetic susceptibility logs and their dynamic time warping alignment, *Stratigraphy*, 8, 4.
- Grygar T., Blahova A., Hradil D., Bezdička P., Kadlec J., Schnabl P., Swann G. a Oberhansli H., 2007. Lake Baikal climatic record between 310 and 50 ky BP: Interplay between diatoms, watershed weathering and orbital forcing, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology.*, 250, 1 – 4, 50 – 67
- Kohout T., Kletetschka G.; Elbra T., Adachi T., Mikula V., Pesonen, L.J., Schnabl P. a Slechta S.; 2008. Physical properties of meteorites-Applications in space missions to asteroids, *Meteoritics a Planetary science.*, 43, 6, 1009 – 1020
- Lukeneder A., Halásová E., Kroh A., Mayrhofer S., Pruner P.,Reháková D.,Schnabl P., Sprovieri M. a Wagreich M., 2010. High resolution stratigraphy of the Jurassic-Cretaceous boundary interval in the Gresten Klippenbelt (Austria), *Geologica Carpathica.*, 61, 5, 365 – 381.

- Man P., Pruner P. a Schnabl P., 2012. The detection of common cycles in magnetic susceptibility observed in distant magnetostratigraphic sections, *Stud. Geophys. Geod.*, 56, 1.
- Pruner P.; Hajna N.Z., Mihevc A., Bosák P., Man ., Schnabl P. a Venhodova D., 2010. Magnetostratigraphy and fold tests from Raciska pecina and Pecina v Borstu caves (Classical Karst, Slovenia) *Stud. Geoph. et Geodet.*, 54, 1, 27 – 48.
- Pruner P., Houša V., Olóriz F., Košťák M., Krs M., Man O., Schnabl P., Venhodová D., Tavera J.M. a Mazuch M., 2010, High-resolution magnetostratigraphy and biostratigraphic zonation of the Jurassic/Cretaceous boundary strata in the Puerto Escaño section (southern Spain), *Cretaceous Research*, 31, 2, 192 – 206.
- Szaniawski R., Konon A., Grabowski J. a Schnabl P., 2011. Palaeomagnetic age constraints on folding and faulting events in Devonian carbonates of the Kielce Fold Zone (southern Holy Cross Mountains, Central Poland) *Geological Quarterly.*, 55, 3, 223 – 234.
- Vacek F., Hladil J. a Schnabl P., 2010. Stratigraphic correlation potential of magnetic susceptibility and gamma-ray spectrometric variations in calciturbiditic facies (Silurian-Devonian boundary, Prague Synclinorium, Czech Republic) *Geologica Carpathica.*, 61, 4, 257 – 272.

Recenzované v Češtině / Reviewed in Czech

- Cajz V., Rapprich V., Schnabl P. a Pécskay Z., 2009. Návrh litostratigrafie neovulkanitů východočeské oblasti (A proposal on lithostratigraphy of Cenozoic volcanic rocks in Eastern Bohemia). – *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008*, 9 – 15.

Publikace s IF v tisku / Publications with IF in print

- Kletetschka G., Pruner P., Schnabl P., Šifnerová K., Tasáryová Z., Manda Š. Magnetic scanning and interpretation of paleomagnetic data from Prague Synform's volcanics, *Stud. Geoph. et Geodet.* – Předloženo do tisku
- Cajz V., Schnabl P. Pécskay Z., Skácelová Z., Venhodová D., Šlechta S. a Šifnerová K. Chronological implications of paleomagnetic record of the Late Cenozoic volcanic activity in Moravo-Silesian border – NE Bohemian Massif , *Geologica Carpathica* – Přijato do tisku