

# REKONSTRUKCE SMĚRŮ PROUDĚNÍ POMOCÍ MĚŘENÍ ANIZOTROPIE MAGNETICKÉ SUSCEPTIBILITY VE FLUVIÁLNÍCH SEDIMENTECH OCHOZSKÉ JESKYNĚ, MORAVSKÝ KRAS

Reconstruction of flow directions using anisotropy of magnetic susceptibility measurements in the fluvial sediments deposited in the Ochozská Cave, Moravian Karst

Jaroslav Kadlec

Geologický ústav AVČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6, kadlec@gli.cas.cz

(24-41 Vyškov)

**Key words:** Moravian Karst, fluvial cave sediments, anisotropy of magnetic susceptibility

## Abstract

Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) measurements were used to determine the flow directions in fine deposits preserved in the Ochozská Cave (southern segment of the Moravian Karst). This approach was first verified in two sedimentary sections located in the main corridor of the cave, where is no doubt about paleoflow directions. Subsequently, the AMS was measured in the fine deposits preserved in sections located in the Zkamenělá řeka Corridor and U kužele Corridor. The interpreted paleoflow directions are in both sections from the NNE to the SSW.

## Úvod

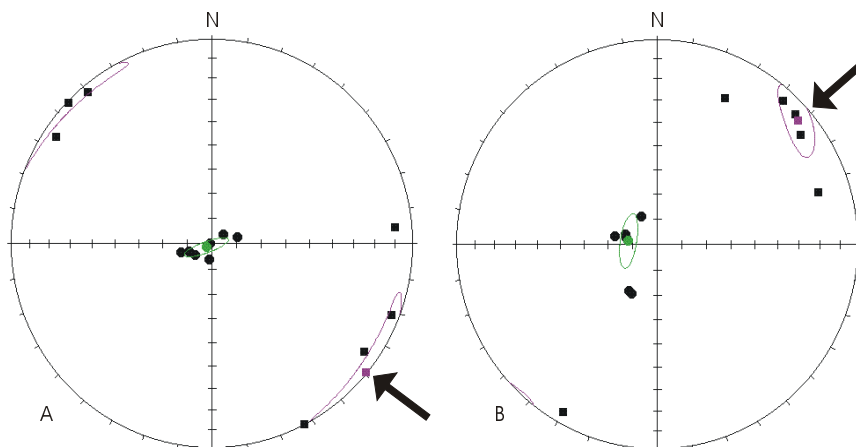
Nejrozsáhlejší jeskynní systém jižní části Moravského krasu - Ochozská jeskyně - je vyplněn sedimenty, které byly v posledních letech předmětem intenzivního studia (Doláková - Nehyba 1999, Kadlec et al. 2000, Kadlec 2001, Kadlec - Beneš 2002). Na základě paleomagnetického datování fluviálních sedimentů a radiometrického datování sintrů bylo zjištěno, že sedimenty v Ochozské jeskyni se ukládaly v období před 780 až 28 tisíci lety - tzn. během středního až svrchního pleistocénu (Kadlec et al. 2000). Příčinou agradace sedimentů v Hlavních dómeh jeskyně byl kolaps portálu jeskynního systému a zablokování vývěru povodňového řečiště Hostěnického potoka do údolí Říčky (Himmel 2001).

Kromě fluviálních sedimentů, tvořících rozsáhlé profily v Hlavních dómeh, jsou v Ochozské jeskyni odkryty další dva sedimentární profily. První se nachází v chodbě Zkamenělé řeky, zatímco druhý je odkryt v chodbě U kužele

(viz obr. 3). V obou případech se jedná o jílovité až slabě písčité prachy s ojedinělými písčítými polohami. V obou profilech je obtížné makroskopicky stanovit směry proudění vody (např. na základě sedimentárních textur) - tzn. určit, zda proudění vody směřovalo do Hlavních dómů nebo opačným směrem. Jemné jeskynní sedimenty však umožňují rekonstruovat směry proudění vody pomocí měření anizotropie magnetické susceptibilitě (AMS) v těchto sedimentech.

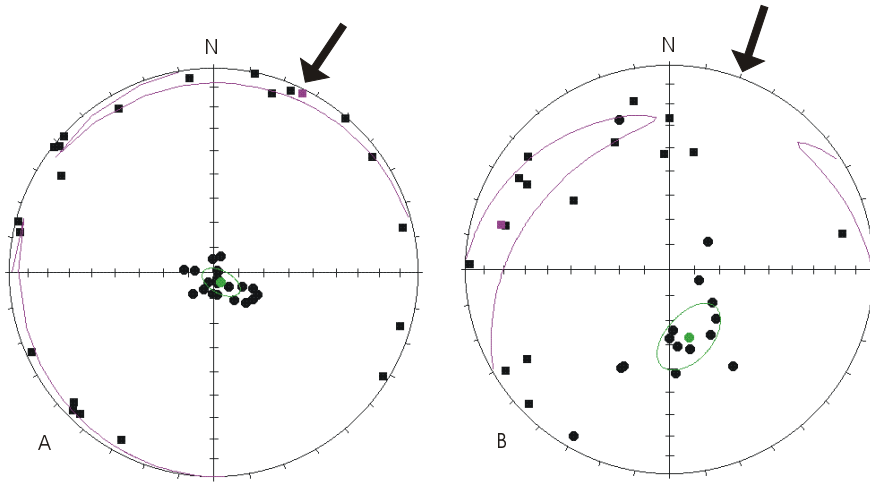
## Metoda měření anizotropie magnetické susceptibilitě

Princip metody je založen na skutečnosti, že jemné částice klastických sedimentů (jemný písek, prach, jíl), včetně magnetických minerálů, jsou během transportu a ukládání proudící vodou usměrněny zákonitým způsobem. Uspořádání magnetických částic v sedimentu vyjadřuje orientace tří os elipsoidu AMS. Při pomalém proudění vody (do 1 cm/s) jsou nejdelší osy paralelní se směrem proudění,



Obr. 1 – Orientace nejdelších (čtverečky) a nejkratších (kolečka) os elipsoidu AMS v sedimentech Hlavních dómů Ochozské jeskyně. 1A - Profil 1, 1B - Profil 2; šipky znázorňují směr proudění vody.

Fig. 1 – Orientation of the longest (squares) and shortest (circles) axis of the AMS ellipsoids in the sediments preserved in the Main Chambers in the Ochozská Cave. 1A - Section 1, 1B - Section 2; arrows indicate a water flow direction.



Obr. 2 – Orientace nejdelších (čtverečky) a nejkratších (kolečka) os elipsoidu AMS v sedimentech Ochozské jeskyně. 1A - profil v chodbě Zkamenělé řeky, 1B - profil v chodbě U kužele; šípky znázorňují směr proudění vody.

Fig. 2 – Orientation of the longest (squares) and shortest (circles) axis of the AMS ellipsoids in the sediments preserved in the Ochozská Cave. 1A - section in the Zkamenělá řeka Corridor 1, 1B - section in the U kužele Corridor; arrows indicate a water flow direction.

smysl proudění pak indikuje mírný náklon nejkratší osy, která se naklání ve směru proudění vody. Rychlejší proud vody (nad 1 cm/s) však orientuje částice nejdelšími osami kolmo ke směru proudění (Tarling - Hrouda 1993).

Ze čtyřech sedimentárních profilů v Ochozské jeskyni byly odebrány do plastových pouzder (2 x 2 x 2 cm) vzorky orientované vůči dnešnímu magnetickému severu. Za účelem ověření spolehlivosti metody AMS byly odebrány vzorky ze dvou sedimentárních profilů v Hlavních dómeh Ochozské jeskyně (Profil 1 a Profil 2), u nichž je směr proudění vody zřejmý. Větší počet vzorků byl pak odebrán ze sedimentárního profilu v chodbě Zkamenělé řeky (21 vzorků) a v chodbě Za kuželem (15 vzorků). AMS byla měřena ve třech různých směrech na každém vzorku na zařízení Kappabridge KLY-3. Naměřená data byla zpracována pomocí programu Anisoft3 (AGICO Brno). V kruhových diagramech jsou znázorněny průsečíky nejdelších os (čtverečky) a nejkratších os (kolečka) elipsoidů AMS na projekční ploše spodní polokoule. Rastrovaný čtvereček (příp.kolečko) udává střední hodnotu souboru, křivky zobrazují elipsy 95% spolehlivosti vypočítané střední hodnoty. Na každém vzorku byla zároveň změřena také celková magnetická susceptibilita (MS), charakterizující magnetické parametry sedimentů - např. koncentraci nebo velikost magnetických zrn.

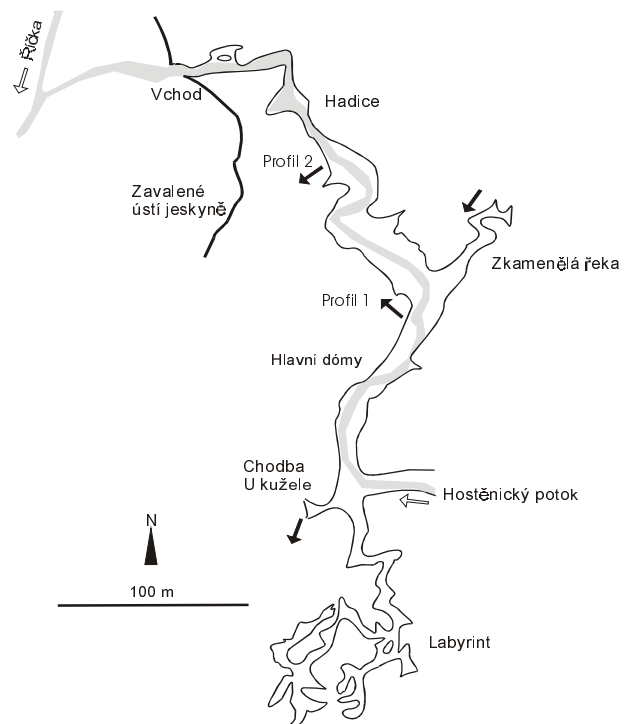
### Výsledky měření a interpretace naměřených dat

Spolehlivost indikace směrů proudění vody byla ověřena na vzorcích odebraných z Profilu 1 situovaného v Hlavních dómeh proti vyústění chodby Zkamenělé řeky. Druhý kontrolní Profil 2 se nachází v Hlavních dómeh, před vchodem do Hadice, naproti „podzemní kanceláři“ J. Himmela a jeho spolupracovníků.

Orientace os elipsoidů AMS naměřené v jílovitém prachu z Profilu 1 indikují směr proudění vody od JV k SZ (obr. 1A). Směr proudění souhlasí s průběhem chodby Hlavních dómů, která se v tomto místě stáčí pod úhlem 90° k SZ (viz obr. 3). Graf na obr. 1B indikuje proudění vody od SV k JZ v jílovitém prachu z Profilu 2. I v tomto případě je směr správný, protože sedimenty v Profilu 2 se uložily

v důsledku kolapsu ústí jeskyně, které se v pleistocénu nacházelo jz. od Profilu 2 (viz obr. 3). Koncentrace nejdelších os blízko obvodu diagramů 1A a 1B ukazují, že náklon nejdelší osy elipsoidu AMS se u většiny vzorků pohybuje v rozmezí do ca 10°. Znamená to, že rychlost proudění vody byla nižší než 1 cm/s (Tarling - Hrouda 1993).

Hodnoty AMS naměřené v jílovitém prachu odebraném v profilu v chodbě Zkamenělé řeky indikují směr proudění vody od SSV k JJZ (tj. do Hlavních dómů)



Obr. 3 – Západní část Ochozské jeskyně (upraveno podle Himmel - Himmel 1967) s vyznačením směrů paleoproudů. bílé šípky - směry dnešního proudění vodních toků; černé šípky - směry proudění vody v pleistocénu.

Fig. 3 – Western part of the Ochozská Cave (modified after Himmel - Himmel 1967) with paleoflow directions. white arrows - flow directions of modern streams; black arrows - water flow directions during the Pleistocene.

a rychlost proudění pod 1 cm/s (obr. 2A). Komplikovanější je situace v sedimentech uložených v chodbě U kužele. Nejdelší osy elipsoidů AMS jsou koncentrovány zhruba ve směru ZSZ-VJV. Avšak jejich sklon se pohybuje v rozmezí ca 10–40°, což indikuje rychlost proudu větší než 1 cm/s. V takovémto případě je usměrnění nejdelších os elipsoidů AMS kolmé na směr proudění vody (Tarling - Hrouda 1993). Znamená to, že hodnoty AMS v profilu U kužele indikují směr proudění vody od SSV k JJZ - tzn. od Hlavních domů pryč z jeskyně (viz obr. 3).

Naměřené hodnoty MS naznačují vzájemné vztahy mezi jednotlivými sedimentárními profily. Povodňové sedimenty uložené Hostěnickým potokem v Hlavních domech Ochozské jeskyně mají hodnoty MS v rozmezí 160–175 [ $10^{-6}$  SI]. V tomto rozmezí leží i průměr hodnot MS sedimentů v chodbě U kužele, který činí 168 [ $10^{-6}$  SI]. Znamená to, že uloženiny v chodbě U kužele jsou fluvialními sedimenty transportovanými z povodí Hostěnického potoka.

Sedimenty odkryté v chodbě Zkamenělé řeky mají průměrnou MS nižší - 129 [ $10^{-6}$  SI]. To by mohlo potvrzovat

dříve vyslovený názor, že uloženiny odkryté v chodbě Zkamenělé řeky jsou odlišné od fluvialních sedimentů v Hlavních domech (Kadlec et al. 2000). Jedná se pravděpodobně o infiltrační sedimenty, které byly do chodby Zkamenělé řeky transportovány vertikálně srážkovými vodami proudícími komíny a zkrasovělymi puklinami z povrchu krasové plošiny.

### Závěr

Měření AMS v jemných sedimentech Ochozské jeskyně poskytlo data pro rekonstrukci směrů proudění vody v nedávné geologické minulosti. Infiltrační sedimenty v chodbě Zkamenělé řeky byly se ukládány v klidném prostředí vodou pomalu proudící směrem do Hlavních domů Ochozské jeskyně. Naopak data AMS naměřená ve fluvialních sedimentech v chodbě U kužele indikují rychlejší turbulentní proudění. Sedimenty v tomto profilu byly uloženy povodňovými vodami Hostěnického potoka, které chodbou U kužele pravděpodobně odtékaly do spodní neznámé úrovně jeskynního systému.

### Poděkování

*Studium sedimentů v jeskyních systémech v okolí lomu Mokrý je finančně podporováno firmou Českomoravský cement, a.s., Závod Lom Mokrý a je součástí výzkumného záměru CEZ: Z3 - 013 - 912 Geologického ústavu AVČR. Autor děkuje M. Chadimovi za konzultaci týkající se interpretace naměřených dat AMS.*

### Literatura:

- Doláková, N. – Nehyba, S. (1999): Sedimentologické a palynologické zhodnocení sedimentů z Ochozské jeskyně. – Geol. Výzk. Mor. a Slez. v r. 1998, 7-10. Brno.
- Himmel, J. (2001): Vznik a vývoj jeskynních systémů ponorných toků v jižní části Moravského krasu. – Vlastní náklad, 48s.
- Himmel, J. – Himmel, P. (1967): Jeskyně v povodí Říčky. – Speleol. Kroužek ZK ROH Královop. Stroj., p. 105. Brno.
- Kadlec, J. (2001): Paleohydrografie Hádeckého údolí v jižní části Moravského krasu. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2000, 5-7. Brno.
- Kadlec, J. – Beneš, V. (2002): Morfologie poloslepého hostěnického údolí a jeho vztah ke krasovým jevům v jižní části Moravského krasu. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2001, 7-10. Brno.
- Kadlec, J. – Pruner, P. – Venhodová, D. – Hercman, H. – Nowicki, T. (2000): Stáří a geneze sedimentů Ochozské jeskyně. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 1999, 19-24. Brno.
- Tarling, D.H. – Hrouda, F. (1993): The magnetic anisotropy of rocks. – Chapman & Hall, 219s.