

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 5. geologie, geografie

Vliv anizotropie sádrovce na rychlost průchodu ultrazvukových vln

Lukáš Frankl

Kraj: Moravskoslezský

Ostrava 2014

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 5. geologie, geografie

Vliv anizotropie sádrovce na rychlost průchodu ultrazvukových vln

Autor: Lukáš Frankl

Škola: Gymnázium Olgy Havlové,
Marie Majerové 1691
708 00 Ostrava - Poruba

Kraj: Moravskoslezský

Konzultant: Ing. Pavel Konečný, Dr.

Ostrava 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Ostravě dne 28. února 2014

podpis:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému lektorovi v projektu Otevřená věda, Ing. Pavlu Konečnému, Dr. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále pak Ústavu geoniky AV ČR, v. v. i. za vytvoření podmínek a poskytnutí veškerého přístrojového vybavení. V neposlední řadě děkuji také svému otci, Ing. Tomáši Franklovi, za cenné rady a připomínky při vytváření tohoto dokumentu.

Anotace

Cílem práce bylo ověřit závislost anizotropie (laminace) sádrovce na rychlost průchodu ultrazvukových vln.

Na základě teoretických poznatků se dalo očekávat, že rychlost průchodu ultrazvukových vln kolmých ke směru laminace sádrovce bude menší, než v případě rovnoběžného průchodu, tj. ve směru laminace.

Měření na konkrétních vzorcích sádrovce potvrdilo tento teoretický předpoklad. Rychlost průchodu ve směru kolmém ke směru laminace je průměrně o 16% nižší než při průchodu ultrazvuku ve směru rovnoběžném. Při následném zpracování výsledků měření byl rovněž ověřen vliv objemové hmotnosti vzorku na rychlost průchodu ultrazvuku. V souladu s teoretickými předpoklady je rychlost průchodu ultrazvuku přímo úměrná hustotě vzorku.

Závislost rychlosti průchodu ultrazvukových vln na směr laminace byla u některých vzorků výraznější. Bližší zkoumání těchto vzorků odhalilo vyšší obsah karbonátů a ostatních příměsí. Proto lze soudit, že vliv anizotropie sádrovce se projevuje zejména v případě, že vzorek má vyšší obsah karbonátů či organických sloučenin a přechody jednotlivých vrstev sádrovce jsou tak znatelnější.

Klíčová slova: ultrazvuk; anizotropie, sádrovec; infračervená spektroskopie; termická analýza

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 7 |
| Sádrovec | 8 |
| Vlastnosti sádrovce | 8 |
| Historie | 8 |
| Využití | 8 |
| Odrůdy | 9 |
| Těžba sádrovce | 9 |
| Ložiska | 9 |
| Ložiska sádrovce v okolních zemích | 9 |
| Ložiska sádrovce v České republice | 10 |
| Zajímavosti | 12 |
| Cíl měření | 13 |
| Metody měření | 13 |
| Měření rychlosti ultrazvukových vln | 13 |
| Infračervená spektroskopie | 13 |
| Termická analýza | 14 |
| Postup | 15 |
| Identifikace | 15 |
| Měření rozměrů | 15 |
| Měření hmotnosti | 15 |
| Měření času průchodu ultrazvuku | 15 |
| Kalibrace | 15 |
| Vlastní měření | 15 |
| Infračervená spektroskopie | 15 |
| Termická analýza | 15 |
| Databáze vzorků | 16 |
| Zpracování dat | 17 |
| Vliv objemové hmotnosti na rychlost průchodu ultrazvukových vln | 17 |
| Infračervená spektroskopie | 19 |
| Termická analýza | 21 |
| Závěr | 23 |
| Zdroje | 24 |
| Přílohy | 25 |
| Seznam použitých vzorků sádrovce | 25 |
| Fotogalerie | 27 |

Úvod

Sádrovec je minerál, jehož chemický vzorec je $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (hydratovaný síran vápenatý). V České republice se vyskytují pouze menší ložiska, a to především v Koberčicích a Kateřinkách. Sádrovec zde vznikl při odpařování mořské vody ve třetihorách, v období Badenu. Pro většinu sedimentárních hornin je typická vrstevnatá struktura.



Ukázka

krystalu

sádrovce

Sádrovec

Vlastnosti sádrovce

Základní vlastnosti sádrovce jsou přehledně uspořádány v následující tabulce:

| | |
|------------------|---|
| Barva | bezbarvý, podle příměsí bílá, šedá, žlutá, namodralá nebo hnědá |
| Průhlednost | průhledný až průsvitný |
| Vzhled krystalu | tabulkovité, jehličkovité a další |
| Soustava | jednoklonná |
| Tvrdość | 1,5–2 (Mohsova stupnice) |
| Lesk | skelný, perleťový |
| Štěpnost | dokonalá |
| Index lomu | 1,522 |
| Vryp | bílý |
| Hustota | 2,3–2,4 g/cm ³ |
| Rozpustnost | v horké HCl, v teplé vodě |
| Chemické složení | Ca 23,28 %, S 18,62 %, O 55,76 %, H 2,34 % |
| Tepelná vodivost | Velmi špatná |
| Ostatní | ohebný |

[1]

Sádrovec obsahuje často příměsi živičných a jílovitých látek.

Historie

Anglický překlad slova sádra, gypsum, je odvozen z řeckého slova γύψος (gypsos), což v řečtině znamená "křída". Sádra byla také známá ve staré angličtině jako spærstān , "kámen z kopí ", což dokládá způsob využití krystalické formy sádrovce. [2]

Využití

Ve stavebnictví se částečně vypálený sádrovec používá jako pálená sádra a jako přísada do cementů. Sádra se vyrábí termickým rozkladem sádrovce takzvaným vařákovým způsobem při 130-150 °C. Dále se používá v sochařství, medicíně, farmacii, při výrobě papíru a ve sklářském průmyslu. Z alabastru vyráběly ozdobné předměty již starověké civilizace. Díky vysokému obsahu síry se sádrovec také používá k výrobě hnojiv (působí kladně na růst rostlin). [1]

Odrůdy

| | |
|---|--|
|  |  |
|  |  |

[1] [2]

Těžba sádrovce

Podle nejstarší dochované písemnosti je počátek těžby sádrovce na Opavsku datován rokem 1849. Sádrovec se zde zpočátku těžil hlubinným způsobem z hloubky až 40m. Hlubinný způsob těžby však nebyl příliš efektivní a ekonomicky výhodný.

Povrchová těžba sádrovce na Opavsku je relativně mladou záležitostí. Povrchový důl byl na místě dnešního Stříbrného jezera otevřen až v roce 1956. Oproti hlubinné těžbě byla povrchová těžba asi třikrát efektivnější a přechod na tento způsob těžby umožnil uspokojit rostoucí poptávku cementáren.

Povrchové dobývání bylo náročné zejména na ruční práci. Prováděly se vývrty ručními vrtačkami a do vyvrtaných děr se umísťovala trhavina. Rubanina byla po výbuchu nakládána na nákladní auta a odvážela k dalšímu zpracování.

[Návštěva lomu Kobeřice, zkoumání historických dokumentů]

Ložiska

Sádrovec je poměrně běžný minerál, jeho naleziště jsou proto hojná jak v České republice, tak i v okolních zemích a ve světě. Světové ložiskové zásoby sádrovce se v současnosti odhadují na 2,6 miliard tun.

Ložiska sádrovce v okolních zemích

Mezi nejznámější ložiska sádrovce v okolních zemích a ve světě patří

- Slovensko – Zlatá Baňa, Banská Štiavnica, Novoveská Huta (alabastr), Vlkanová u Zvolena (mariánské sklo)
- Polsko – Wieliczka a Bochnia (společně s ložisky soli)
- Německo – největší ložiska z období permu a triasu
- Francie – ložiska z období terciéru
- Itálie – ložiska z období terciéru, Volterra (sochařský alabastr)
- Chorvatsko – Knin
- USA – společně s anhydritem a solí ve státech New York, Kansas, Michigan, Nové Mexiko aj.
- Mexico – Důl Naica, Chihuahua, důl Bueno Tierra v Santa Eulalia

[1]

Ložiska sádrovce v České republice

- Kobeřice – Toto ložisko je jediným ložiskem sádrovce v České republice určeným pro průmyslové využití. Ložiska sádrovce v této oblasti jsou vázána na miocénní sedimenty opavské pánve (okrajová část karpatské předhlubně). Větší část těchto sedimentů leží na polské straně. Průměrný obsah sádrovce v surovině je 70-80 %. Na znečištění se nejvíce podílejí jíly a o něco méně písky.
- Kateřinky - Sádrovec se zde těžil od roku 1849. V roce 1956 zde byla hlubinná těžba nahrazena efektivnějším povrchovým dobýváním. V průběhu těžby však byly zjištěny průsaky vod z řeky Opavy do prostoru těžby. V roce 1964 byl lom během jednoho měsíce zcela zatopen. Zatopením lomu vzniklo jezero o rozloze 6 hektarů a objemu cca 750 000 m³ vody. V dnešní době je oblast využívána k rekreačním účelům.
- Zbyšov – V oblasti Zbyšova se nachází sádrovec ve formě plochých tabulek známých též jako mariánské sklo. Jedná se o čirou odrůdu sádrovce vytvářející průhledné desky.
- Sudice, Rohov a Třebom – Tato ložiska jsou pouze evidovanými ložisky sádrovce v ČR, ale sádrovec z těchto oblastí není nijak využíván.



Satelitní snímek sádrovcového dolu Koberžice [<http://www.mapy.cz/>]

Zajímavosti

- V dole Naica poblíž města Chihuahua (Mexiko) se nacházejí krystaly sádrovce větší než 11 m, a v dole Bueno Tierra v Santa Eulalia (Mexiko) byla objevena drůza o délce okolo 100 metrů s jednotlivými krystaly tlustými jako strom, které měří až 3 metry.
- Národní památka White Sands (Bílé písky) leží v USA ve státě Nové Mexiko. Oblast o ploše 710km² se rozkládá v nadmořské výšce 1300 m, a je tvořena zlato-žlutými krystalky sádrovce, které se po přemístění na povrch pod vlivem eroze mění v bílý písek. Tento bílý písek pokrývá prakticky celou oblast a tvoří obrovské písečné duny. Některé duny jsou tak příkré a dlouhé, že na nich lze snadno surfovat.
- Na počátku 19. století byl sádrovec považován v USA za téměř zázračné hnojivo. Velká poptávka Amerických farmářů po sádrovci vedla k tomu, že se začal do USA pašovat z Nového Skotska. Poptávka po sádrovci se vyostřila a vedla roku 1812 až k Sádrovcové válce (Plaster War). [6]



White Sands National Monument

[5]

Cíl měření

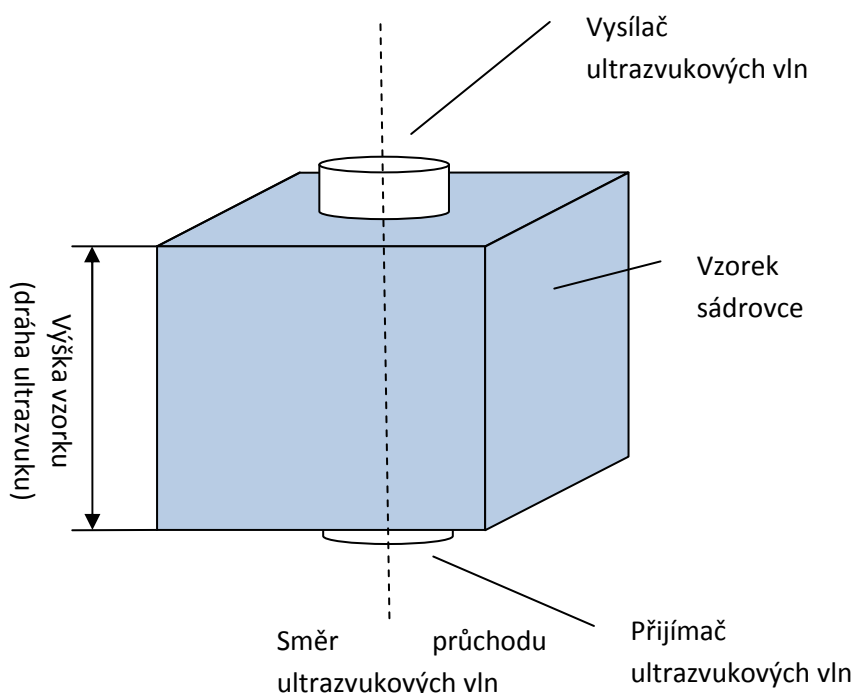
Cílem měření je určit vliv anizotropie na rychlost průchodu ultrazvukových vln. Tuto rychlost však ovlivňuje několik dalších faktorů jako například chemické složení sádrovce a množství přísad, hustota použitých vzorků a tak podobně.

Metody měření

V průběhu měření jsme pomocí měřiče času průchodu ultrazvukových vln zjišťovali rychlost průchodu. Pro potřeby analýzy naměřených výsledků jsme dále prováděli termickou analýzu vzorků a infračervenou spektroskopii.

Měření rychlosti ultrazvukových vln

Měření rychlosti podélných ultrazvukových vln bylo realizováno na zařízení MARUTO. Metoda spočívá v opakovaném vysílání ultrazvukových impulzů, které prochází přes zkušební těleso určité délky. Impulzy jsou následně registrovány, přičemž je zaznamenáván čas potřebný pro průchod testovaným materiálem. Z tohoto času a délky zkušebního tělesa se počítá výsledná rychlost.



Infračervená spektroskopie

Infračervená spektroskopie je nedestruktivní analytická metoda, která umožňuje získat informace o složení zkoumané látky. Rozlišujeme absorpční spektroskopii, při níž zjišťujeme stupeň pohlcení dané vlnové délky infračerveného záření analyzovanou látkou, a emisní spektroskopii, při níž se naopak zjišťuje frekvenční spektrum emitovaného infračerveného záření.

Infračervená spektroskopie je velmi často používána například v oblasti forenzní chemie. Její výsledky jsou velice přesné, a lze je tedy použít například i k identifikaci drog v krvi.

V našem případě však tato metoda sloužila k získávání informace o podílu jílových a organických hmot ve vzorcích. Tyto příměsi výrazně ovlivňují rychlost ultrazvukových vln.

Při měření dochází k vysílání záření o vlnové délce od 0,8 μm do 1000 μm . Každý materiál pohlcuje vlny o určité vlnové délce do jisté míry. Tato míra je zaznamenávána ve výstupním grafu infračervené spektroskopie. Na ose Y je úroveň absorpce dané vlnové délky v procentech a na ose X vlnová délka záření.

Termická analýza

Termická analýza je další analytická metoda kvalitativního rázu, avšak časově mnohem náročnější.

Při této metodě je malé množství z celkové hmoty vzorku uloženo do kádinky. Rozdrcený úlomek vzorku se postupně zahřívá na teplotu až 1600 °C. Během měření je s vysokou přesností zaznamenávána hmotnost vzorku, která se průběžně zaznamenává do grafu.

Poté opět porovnáváme jednotlivé píky z grafů a zpracujeme výsledky.

Postup

Identifikace

Na úvod jsme zkontrolovali, případně doplnili označení jednotlivých vzorků pro jejich snadnou a jednoznačnou identifikaci, a založili databázi vzorků s označením jejich původu a stručnou charakteristikou.

Měření rozměrů

Na získaných vzorcích jsme změřili digitálním posuvným měřidlem všechny rozměry. U válcových vzorků jsme měřili průměr vzorku a jeho délku. U kvádrových vzorků pak jejich šířku, délku a výšku, přičemž výška byla vždy kolmá ke směru jednotlivých vrstev. Všechny rozměry jsme zapsali do databáze vzorků s přesností na 0,01 mm.

Měření hmotnosti

Po zjištění rozměrů vzorků následovalo jejich zvážení. Pro vážení vzorků jsme použili digitální laboratorní váhu s přesností 0,1 g. Hmotnost vzorků jsme opět doplnili do databáze vzorků.

Měření času průchodu ultrazvuku

Po zjištění rozměrů a váhy vzorků, se pomocí zařízení pro měření ultrazvukových vln zjišťoval čas průchodu ultrazvukových vln ve směru kolmém a paralelním k vrstevnatosti. Měření času se provádělo s přesností na desetiny mikrosekund. Dle teorie by měl ultrazvuk při průchodu rozhraním v důsledku laminace zpomalovat. Je-li laminace paralelní s trajektorií průchodu ultrazvukových vln, rychlost průchodu by měla být znatelně vyšší.

Kalibrace

Před vlastním měřením je potřeba provést kalibraci přístroje. Ke kalibraci času průchodu přístroje se používá předem změřený plastový vzorek o známé rychlosti průchodu ultrazvuku.

Vlastní měření

Při měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln bylo třeba vzorek potřít indierentním gelem, jenž umožňuje větší přilnavost vysílače a přijímače ultrazvukových vln. Indierentní gel se používá také například v lékařství při sonografii, kde rovněž přispívá přesnějšímu pozorování. Po potřetí gelem a vsunutí vzorku mezi vysílač a přijímač se na displeji přístroje zobrazil čas průchodu ultrazvukových vln (viz. Obrázek 11 Zařízení pro měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln).

Infračervená spektroskopie

Pomocí infračervené spektroskopie jsme se snažili získat více informací o složení jednotlivých vzorků. Při infračervené spektroskopii jsme výbrus sádrovce o velmi malé tloušťce vložili do infračerveného spektroskopu. Výstupní graf byl vyhotoven během pár minut a výsledky měření jsou přehledné. Při důkladném zpracování dat jsme objevili jílové a organické příměsi ve zkušebním tělese (viz. Obrázek 8 Spektroskop pro infračervenou spektroskopii středních vlnových délek).

Termická analýza

Vzorek sádrovce jsme vložili do misky a rozdrtili jej na jemný prášek. Tento prášek jsme vsypali do

kádinky a dali zahřívát. Úbytek hmotnosti se průběžně zaznamenával do grafu.

Měření hmotnostních změn vlivem zvyšování teploty trvalo v porovnání s infračervenou spektroskopií mnohem déle. Měření, při kterém jsme byli přítomni, trvalo 40 minut. Měření ostatních vzorků se provádělo zpravidla v noci a jejich měření probíhalo až 8 hodin (viz. Obrázek 10 Příklad pro termickou analýzu).

Databáze vzorků

Vzhledem k poměrně snadné dostupnosti sádrovce mohla být databáze vzorků velice rozsáhlá. Plně použitých vzorků bylo více než 100. Analyzované vzorky sádrovce pocházely ze tří lokalit, Kobeřice (CZ), Leszcze (PL) a Bórkow (PL).

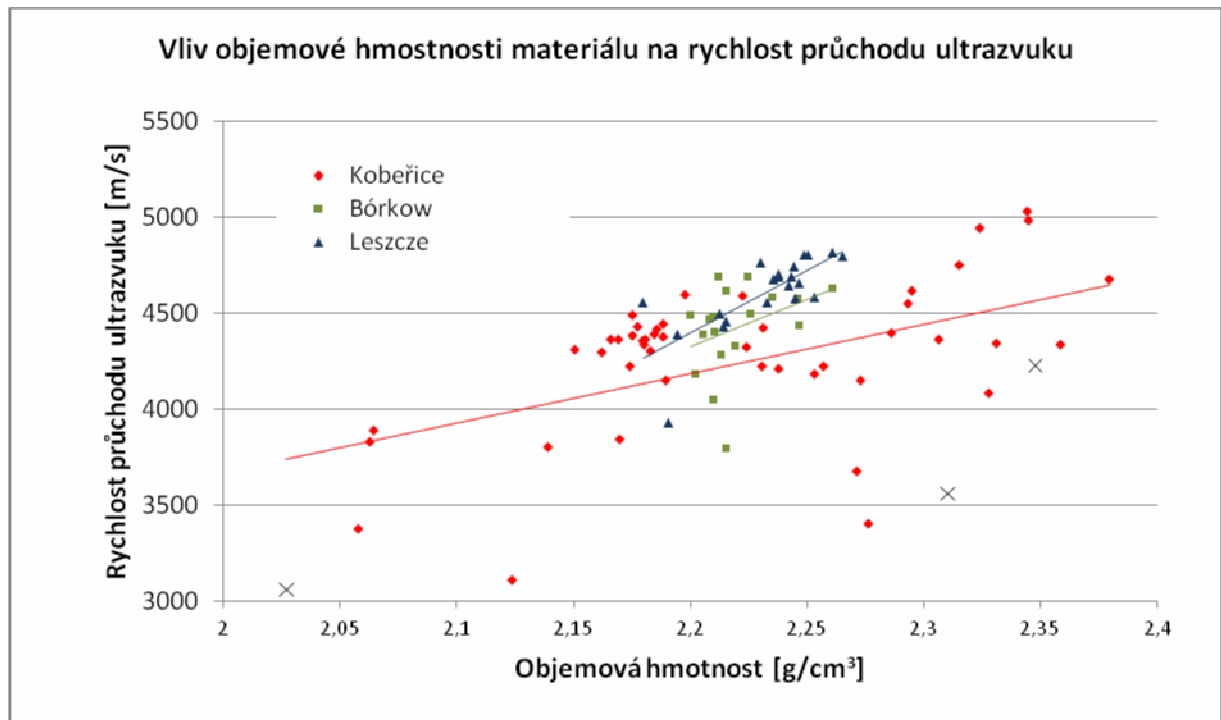
U každého vzorku byl zaznamenán jeho původ, stručná charakteristika, hmotnost a rozměry. Poté byly pomocí jednoduchých funkcí Excelu dopočítány obsahy a objemové hmotnosti vzorků.

Po změření a doplnění času průchodu ultrazvuku do tabulky jsme vypočítali rychlost, jako podíl dráhy a času.

Zpracování dat

Vliv objemové hmotnosti na rychlost průchodu ultrazvukových vln

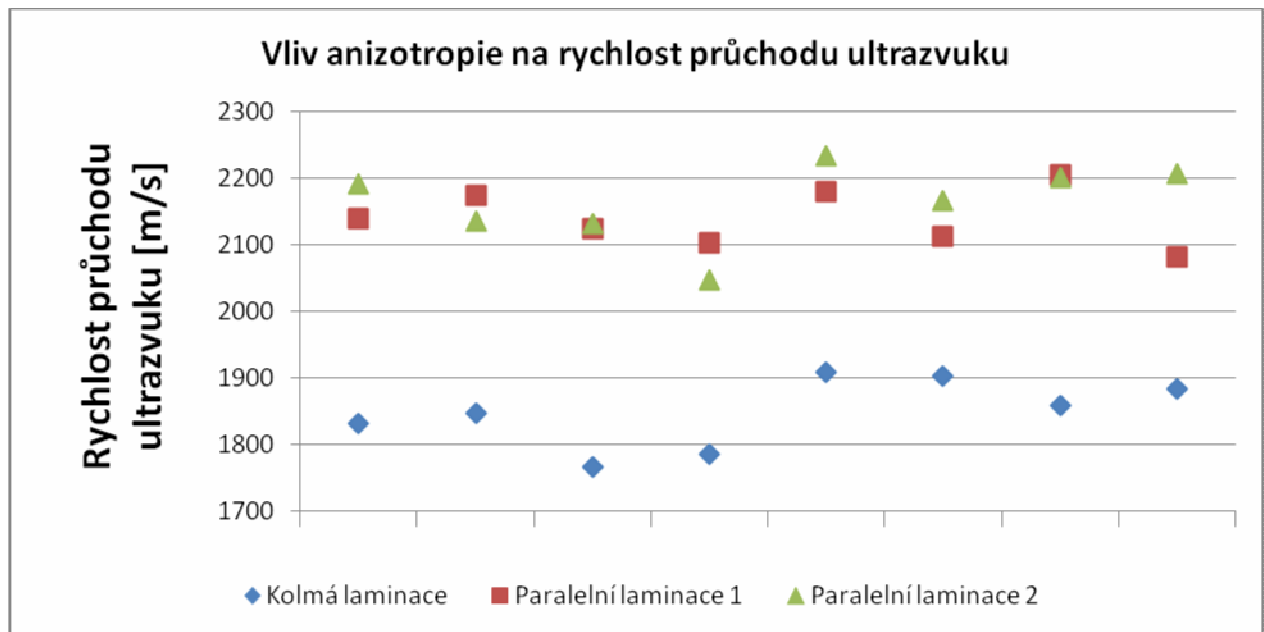
Poznátky z praxe rovněž zaznamenávají fakt, že rychlost průchodu ultrazvuku skrz materiál ovlivňuje také objemová hmotnost. Po vyhotovení grafu se tento poznatek podařilo dokázat.



Po lineární aproximaci byl tento fakt prokazatelný i číselně, pomocí rovnice regrese. Vzorky označené křížkem byly prokázány jako poškozené nebo jinak narušené a proto byly pro výpočet rovnice regrese vyřazeny.

Na zkušebních tělesech sádrovce válcového tvaru bylo možno stanovit rychlost průchodu ultrazvukových vln pouze ve směru osy válcového tělesa. Nejznatelnější laminaci měly vzorky z lokality Leszcze, ale ani hodnoty naměřené na těchto vzorcích nebyly dostatečně průkazné, neboť vliv laminace na rychlost průchodu byl téměř zanedbatelný vzhledem k vlivu objemové hmotnosti.

Poté však byly doručeny na Ústav geoniky AV ČR vzorky krychlového tvaru, jež umožnily měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln skrze vzorky ve 3 různých směrech, ale přesto na jednom zkušebním tělese. Ostatní vlivy se tudíž podařilo rapidně eliminovat.



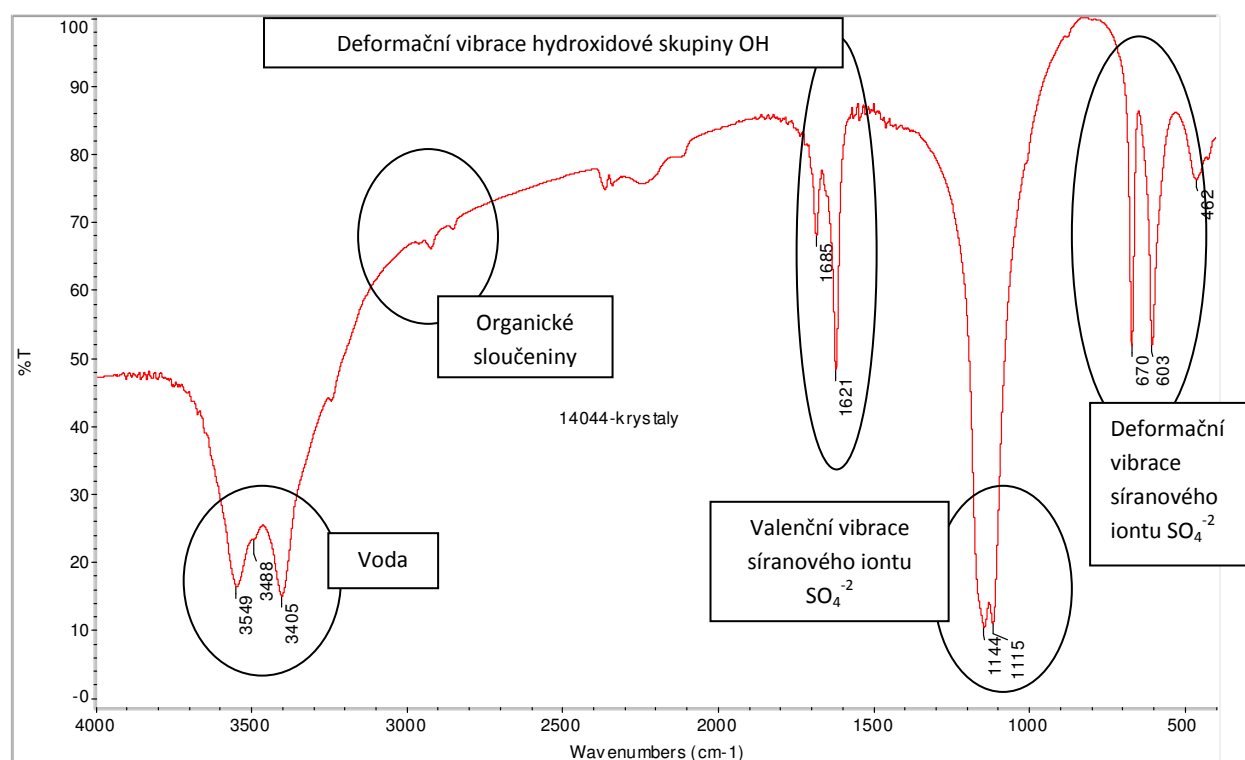
Při měření krychlových vzorků byly na rozdíl od válcových vzorků naměřeny značně odlišné hodnoty rychlostí průchodu ultrazvukových vln. Rozdíl mezi rychlostí průchodu na válcovém a krychlovém vzorku byl téměř dvojnásobný, avšak tento rozdíl byl způsoben odlišným složením a rozdílnou objemovou hmotností vzorků. Dodané krychlové vzorky totiž k čistému sádrovci neřadíme.

Infračervená spektroskopie

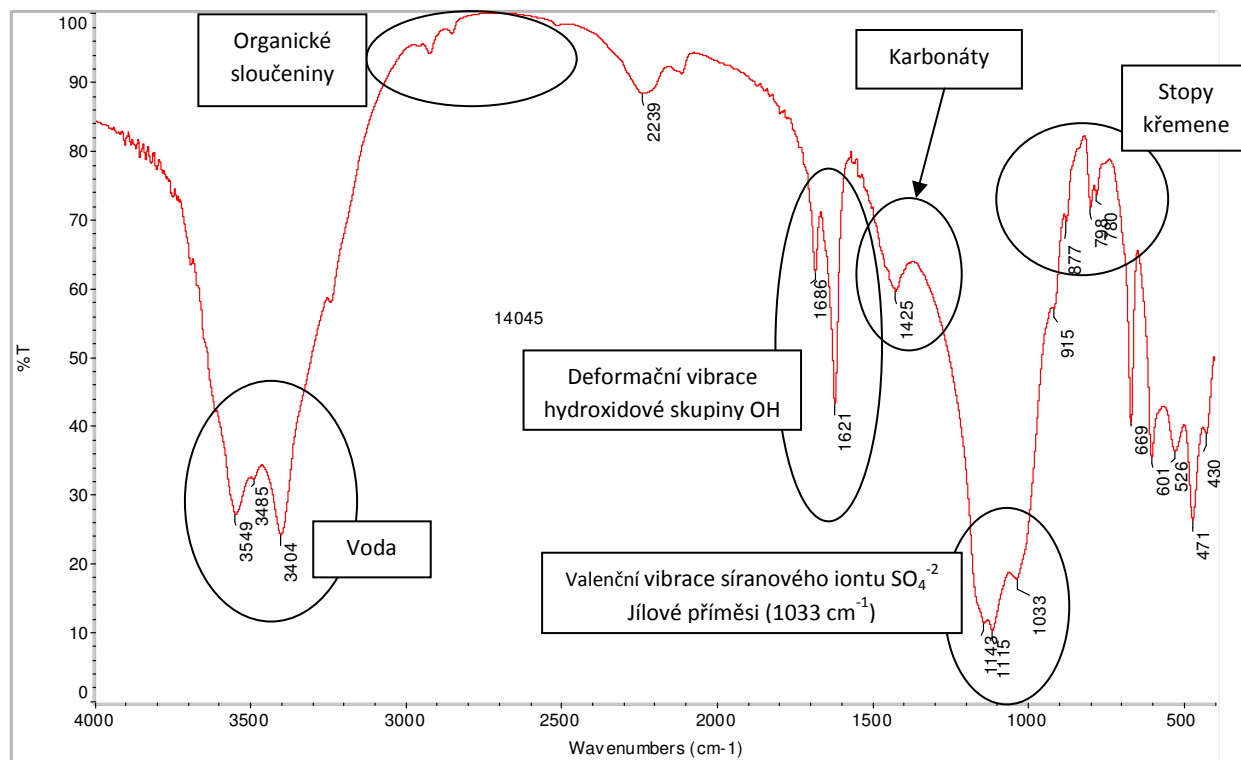
Výstupní grafy z infračervené spektroskopie nám poskytly cenné informace o složení vzorků. Zejména nás zajímaly píky odpovídající jílovitým a organickým příměsím a píky vody. Výsledky infračervené spektroskopie provedené na jednotlivých vzorcích ukazují zcela jasně rozdíl ve složení vzorků. Krychlové vzorky mají výrazně vyšší obsah jílu, což se projevuje také nižší rychlostí průchodu ultrazvuku.

Infračervená spektroskopie byla prováděna na přístroji NICOLET 6700. Měření bylo uskutečněno v KBr tabletě, protože se ve středních vlnových délkách infračervené spektroskopie neprojevuje.

V následujícím grafu je zaznamenáno spektrum čistého krystalu sádrovce.



V grafu druhém je zaznamenáno spektrum znečištěného sádrovce, pocházející z lokality Kobeřice, a krychlovým tvarem. V tomto grafu lze pozorovat vibrace uhlíku v 877 cm^{-1} a drobný pík v 915 cm^{-1} zaznamenávající vibraci jílu.

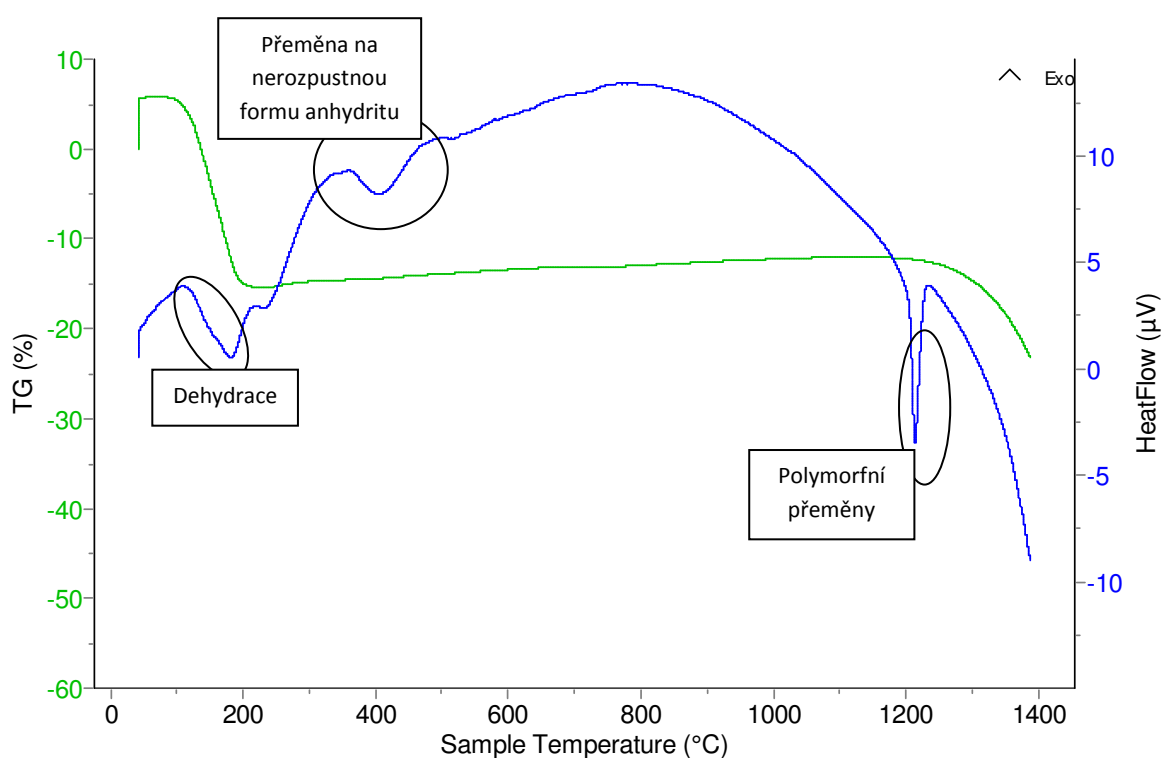


Při analyzování spektroskopických grafů nám asistovala Ing. Lenka Vaculíková, Ph.D.

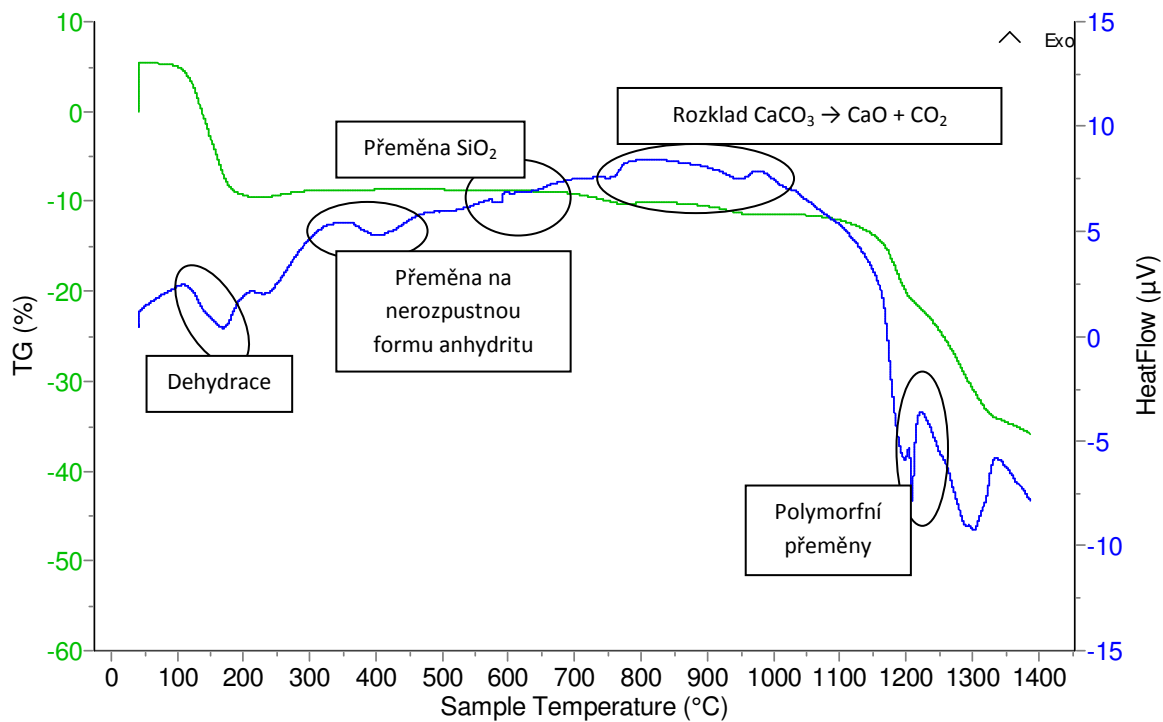
Termická analýza

Grafy hmotnostních změn nám poskytly další informace o chemickém složení použitých vzorků sádrovce. Při dosažení teploty okolo 100°C začala probíhat dehydrace, což je odštěpování vody. V tomto případě probíhala dehydrace ve dvou intervalech, přičemž v první fázi se odštěpilo 1,5 molekul vody a v druhé fázi 0,5 molekul vody. Okolo 380°C se rozpustný anhydrit přeměnil na nerozpustnou formu anhydritu. Při 1200°C se projeví polymorfní přeměny.

Měření bylo provedeno celkem na šesti vzorcích. První graf byl stejně jako v případě infračervené spektroskopie vyhotoven na dokonale čistém vzorku sádrovce.



Druhý graf zobrazuje spektrum znečištěného vzorku pocházející z lokality Koběřice (stejně jako při infračervené spektroskopii). Tento vzorek obsahuje stopy dalších příměsí, především karbonátů, jílu a organických příměsí. V tomto grafu lze vidět při 1300°C rozbití krystalické mřížky eutektické sloučeniny $\text{CaSO}_4 \cdot \text{CaO}$.



Při analýze grafů z termické analýzy nám asistovala Ing. Eva Plevová, Ph.D.

Závěr

Při průchodu ultrazvukových vln ve směru kolmém k laminaci ultrazvukové vlny na přechodech jednotlivých vrstev zpomalují a výsledná rychlost průchodu je nižší ve srovnání s průchodem ultrazvukových vln ve směru paralelním k laminaci. Zde ultrazvukové vlny nenarážejí na tyto pomyslné překážky a jejich průchod materiálem je tak rychlejší.

Laminace však není zdaleka jediným faktorem ovlivňujícím rychlost průchodu ultrazvuku. Ostatní vlivy, jako například objemová hmotnost, podíl jílu, organických směsí a karbonátů nebo homogenita materiálu mohou mít na rychlosti průchodu ultrazvuku podstatně větší vliv než směr laminace.

V posledních měřeních se podařilo prokázat, že v monominerálních vzorcích jsou změny výrazně menší. U vzorků kde dochází ke střídání jednotlivých vrstev sádrovce s dalšími minerály a tyto přechody ovlivňují rychlost průchodu ultrazvukových vln více, než přechody mezi vrstvami téhož minerálu.

Rychlosti průchodu ultrazvukových vln měřené ve směru kolmém k laminaci se pohybovaly od 1770 ms^{-1} do 1900 ms^{-1} , zatímco při směru paralelním s laminací byly naměřeny hodnoty od 2080 ms^{-1} do 2200 ms^{-1} . Změna v rychlosti se pohybovala kolem 300 ms^{-1} a odchylky nepřesahovaly 60 ms^{-1} . Procentuální navýšení rychlosti se pohybovalo od 12,5% do 20,5%. Průměrné navýšení bylo 16,5 %.

Zdroje

- [1] Sádovec - Wikipedie. [internet]. [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/S%C3%A1drovec>
- [2] Gypsum - Wikipedia. [internet]. [cit. 2014-01-21]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gypsum>
- [3] Gypsum: Gypsum mineral information and data. [online]. [cit. 2014-01-25]. Dostupné z: <http://www.mindat.org/min-1784.html>
- [4] Opava - Stříbrné jezero. [Internet]. [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: <http://www.opava-city.cz/scripts/detail.php?id=15015>
- [5] White Sands National Monument - Wikipedia, the free encyclopedia. [Internet]. [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/White_Sands_National_Monument
- [6] The Plaster War of 1820. [Internet]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://magazine.cim.org/en/May-2012/Mining-Lore/The-Plaster-War.aspx>
- [7] SÁDROVEC - ČGS - Geofond. [Internet]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocnkanerudy99/html/sadrovec.html
- [8] Profil společnosti - GYPSTEND - sádrovcové doly, těžba a zpracování sádrovce. [Internet]. [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=1>

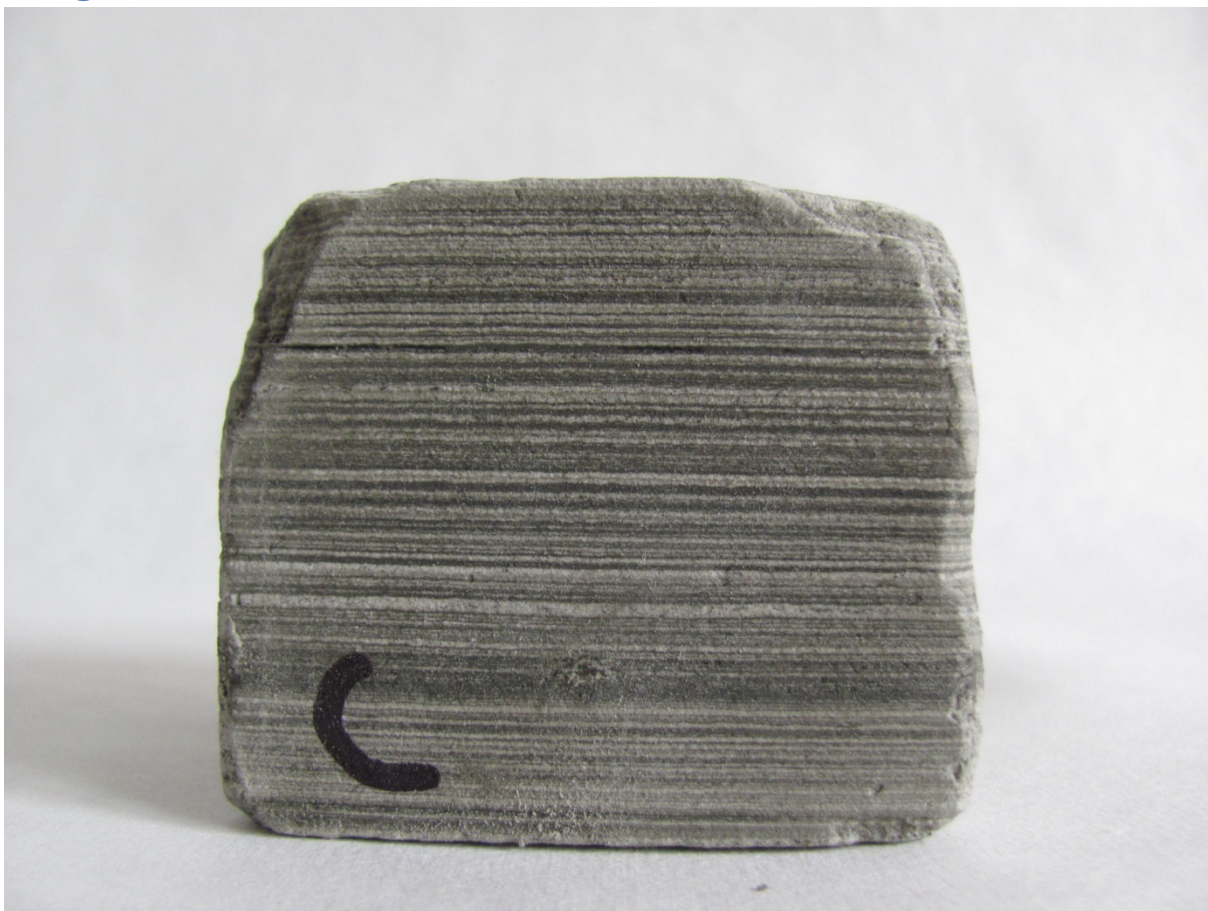
Přílohy

Seznam použitých vzorků sádrovce

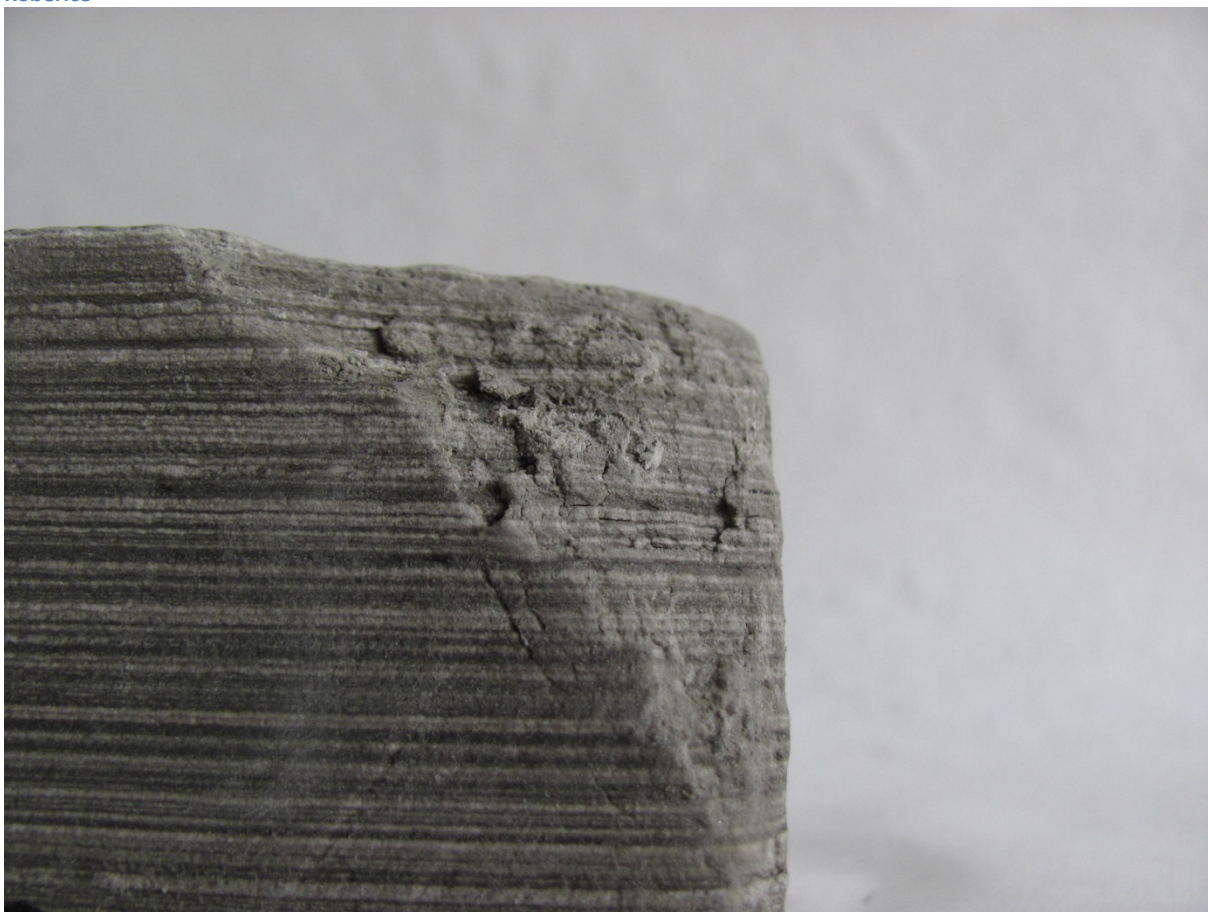
| Lokalita | Stavba vzorku | Rychlost [m/s] | Obj. hmotnost [g/cm ³] |
|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------------|
| 12615-Kobeřice | Masivní, popraskaný | 3559 | 2,310 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, místy vodorovný | 4617 | 2,295 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, místy vodorovný | 4363 | 2,306 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, místy vodorovný | 4984 | 2,345 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 4226 | 2,348 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 4343 | 2,331 |
| 12615-Kobeřice | Vodorovný | 3890 | 2,065 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 4941 | 2,324 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 3060 | 2,027 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, popraskaný | 3402 | 2,276 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 4752 | 2,315 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 3827 | 2,062 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, z části šikmý | 3801 | 2,139 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 3546 | 2,001 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 4333 | 2,359 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, místy svislý | 3375 | 2,058 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, místy vodorovný | 4674 | 2,380 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 4084 | 2,328 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, místy šikmý | 5028 | 2,345 |
| 12615-Kobeřice | Masivní, všechny směry | 4208 | 2,238 |
| 12615-Kobeřice | Masivní | 3112 | 2,125 |
| 12615-Kobeřice | Prasklina, masivní | - | 1,910 |
| 12675-Bórkow | Laminovaný svislý | 4481 | 2,210 |
| 12675-Bórkow | Masivní, převážně svislý | 4437 | 2,247 |
| 12675-Bórkow | Laminovaný svislý | 4498 | 2,226 |
| 12675-Bórkow | Laminovaný svislý | 4183 | 2,202 |
| 12675-Bórkow | Laminovaný svislý | 4390 | 2,205 |
| 12675-Bórkow | Laminovaný svislý | 4405 | 2,210 |
| 12671-Bórkow | Převážně laminovaný, šikmý | 4582 | 2,235 |
| 12671-Bórkow | Převážně laminovaný, šikmý | 4632 | 2,261 |
| 12671-Bórkow | Převážně laminovaný, svislý | 4615 | 2,215 |
| 12671-Bórkow | Převážně laminovaný, šikmý | 4691 | 2,224 |
| 12672-Bórkow | Masivní | 4575 | 2,246 |
| 12672-Bórkow | Masivní | 3799 | 2,215 |
| 12673-Bórkow | Laminovaný svislý | 4689 | 2,212 |
| 12673-Bórkow | Laminovaný svislý | 4471 | 2,208 |
| 12673-Bórkow | Laminovaný šikmý | 4285 | 2,213 |
| 12673-Bórkow | Masivní | 4329 | 2,219 |
| 12673-Bórkow | Masivní | 4047 | 2,210 |
| 12673-Bórkow | Laminovaný svislý | 4490 | 2,200 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný vodorovný | 4703 | 2,238 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4804 | 2,249 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný šikmý | 4765 | 2,230 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný šikmý | 4813 | 2,261 |

| | | | |
|----------------|--|------|-------|
| 13803-Leszczce | Laminovaný šikmý | 4673 | 2,235 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný šikmý | 4687 | 2,243 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4494 | 2,213 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4429 | 2,214 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4689 | 2,238 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4455 | 2,215 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4575 | 2,245 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4391 | 2,194 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4645 | 2,242 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4559 | 2,180 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4656 | 2,246 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný svislý | 4557 | 2,233 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný vodorovný | 4805 | 2,250 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný vodorovný | 4744 | 2,244 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný vodorovný | 3928 | 2,191 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný vodorovný | 4585 | 2,253 |
| 13803-Leszczce | Laminovaný vodorovný | 4796 | 2,265 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4363 | 2,169 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4378 | 2,188 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4360 | 2,181 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4381 | 2,175 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4223 | 2,174 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4362 | 2,166 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4386 | 2,184 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4357 | 2,180 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4299 | 2,162 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný šikmý | 4306 | 2,183 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný šikmý | 4490 | 2,175 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný šikmý | 4336 | 2,180 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný šikmý | 4445 | 2,188 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný šikmý | 4428 | 2,178 |
| 13804-Kobeřice | Laminovaný šikmý | 4415 | 2,185 |
| 14130-Kobeřice | Převážně laminovaný, šikmý | 4226 | 2,231 |
| 14130-Kobeřice | Převážně laminovaný, vodorovný | 4323 | 2,224 |
| 14130-Kobeřice | Převážně laminovaný, svislý | 4549 | 2,293 |
| 14130-Kobeřice | Laminovaný svislý | 4186 | 2,253 |
| 14130-Kobeřice | Převážně laminovaný, šikmý | 4424 | 2,231 |
| 14130-Kobeřice | Masivní, místy šikmý | 3840 | 2,170 |
| 14130-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4394 | 2,286 |
| 14130-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 3673 | 2,271 |
| 14130-Kobeřice | Laminovaný vodorovný | 4146 | 2,273 |
| 14130-Kobeřice | Převážně laminovaný, vodorovný | 4225 | 2,257 |
| 14130-Kobeřice | Masivní | 4588 | 2,222 |
| 14130-Kobeřice | Masivní, místy šikmý | 4598 | 2,198 |
| 14130-Kobeřice | Masivní | 4311 | 2,151 |
| 14130-Kobeřice | Převážně laminovaný, šikmý | 4152 | 2,189 |
| 14130-Kobeřice | Prasklina paralelně s šikmou anizotropií | 3616 | - |

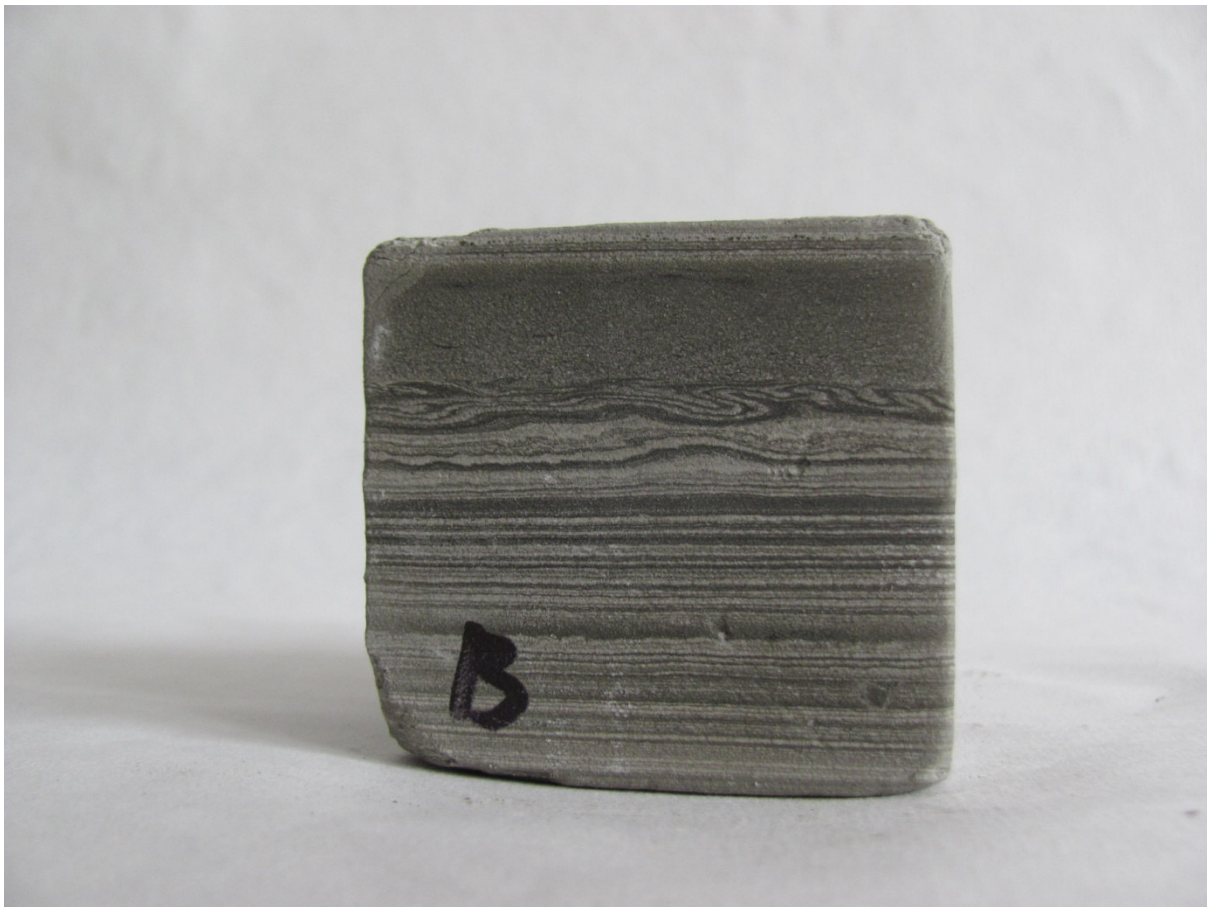
Fotogalerie



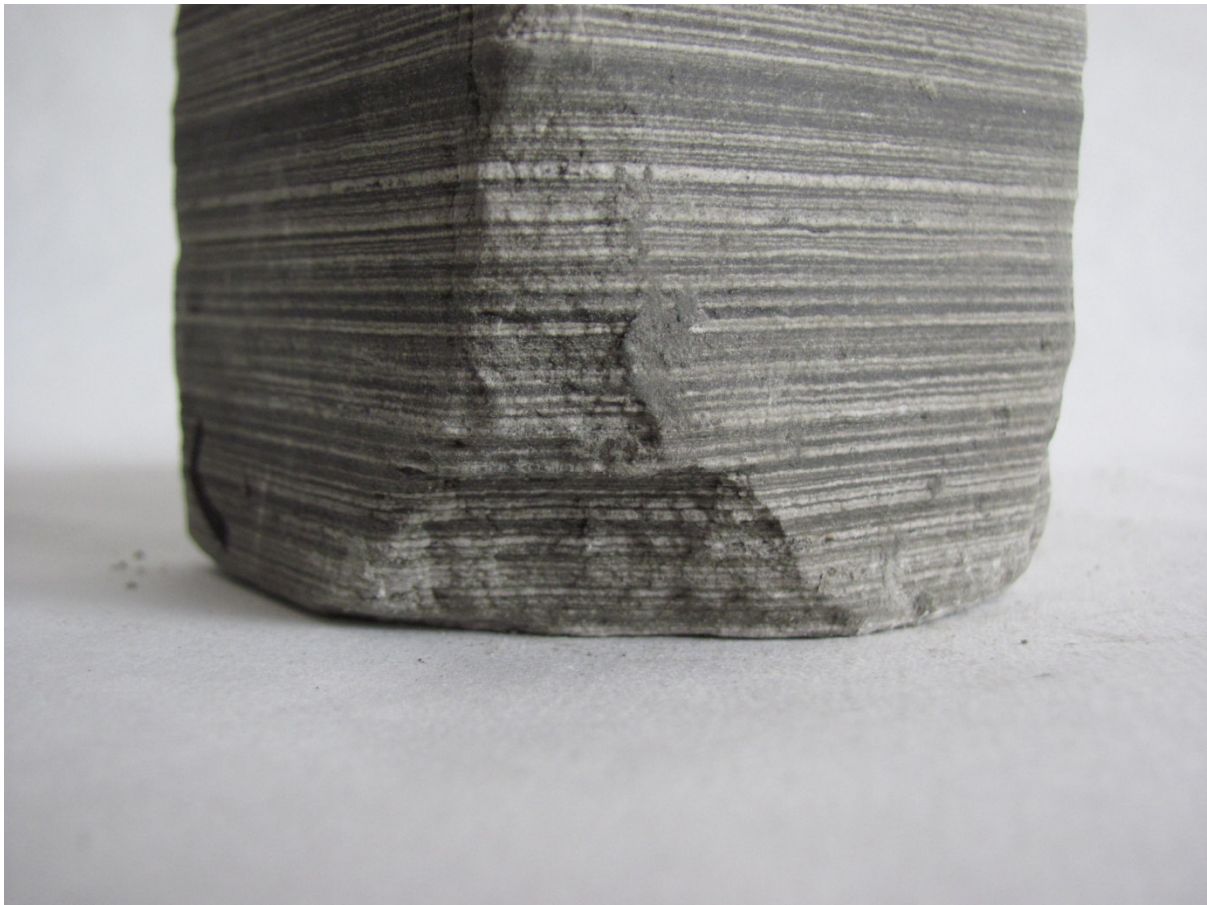
Obrázek 1 Vzorek sádrovce z lokality
Kobeřice



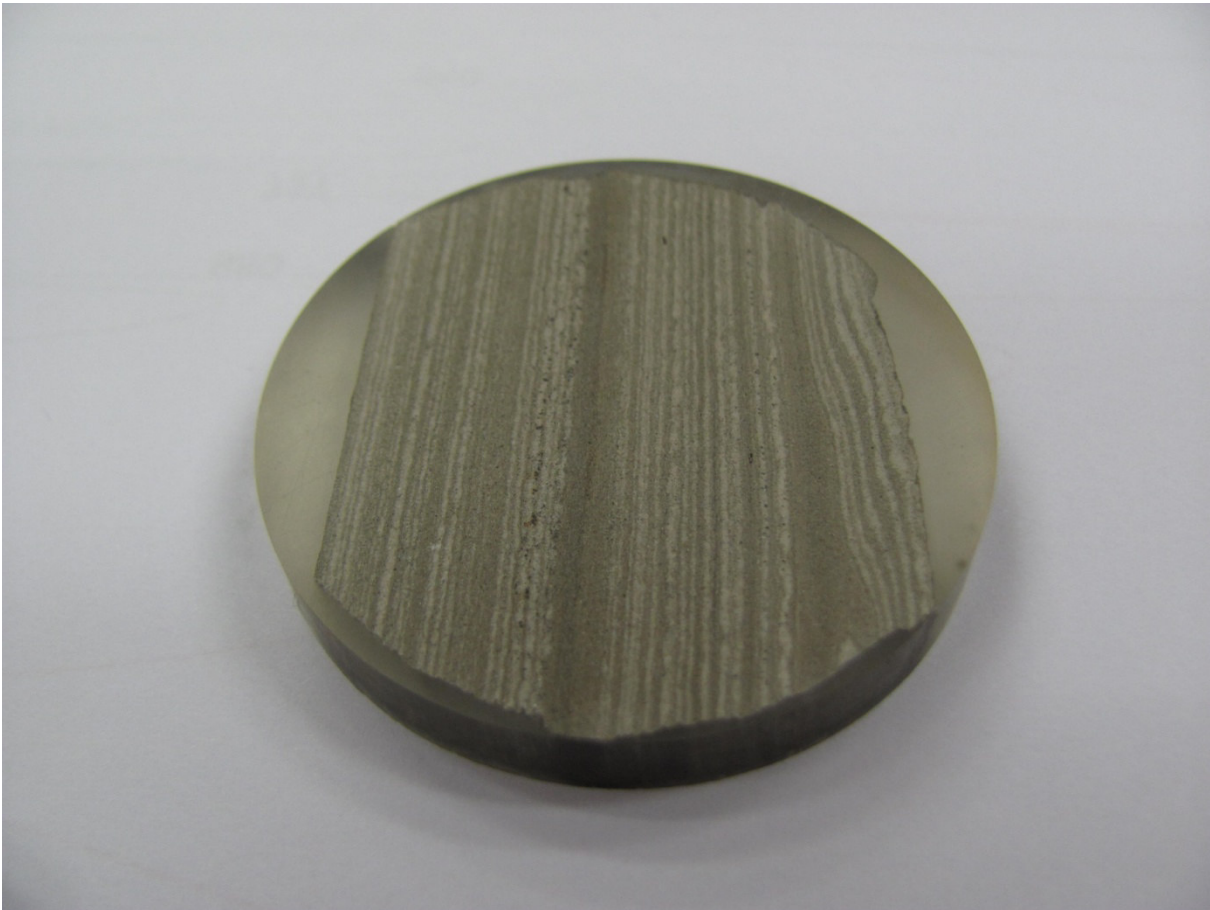
Obrázek 2 Vzorek sádrovce z lokality Kobeřice: detail struktury



Obrázek 3 Vzorek sádrovce z lokality Kobeřice



Obrázek 4 Vzorek sádrovce z lokality Kobeřice: detail anizotropie



Obrázek 5 Výbrus sádrovce



Obrázek 6 Sken struktury sádrovce v reálné velikosti



Obrázek 7 Silně poškozený vzorek sádrovce z lokality Kobeřice



Obrázek 8 Spektroskop pro infračervenou spektroskopii středních vlnových délek



Obrázek 9 Spektroskopy malé, střední a velké vlnové délky



Obrázek 10 Přístroj pro termickou analýzu



Obrázek 11 Zařízení pro měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln



Obrázek 12 Vysílač a přijímač ultrazvukových vln



Obrázek 13 Pozadí a nasvícení pro fotografie



Obrázek 14 Mikroskopická laboratoř 1



Obrázek 15 Mikroskopická laboratoř 2