

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE

**Složení fluviálních sedimentů
Moravského krasu**

diplomová práce

Bc. Lucie Krajsová

Biologie – Geologie a ochrana životního prostředí (B1501)
prezenční studium

vedoucí práce: doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

duben 2010

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením doc. RNDr. Jiřího Zimáka CSc. a v seznamu literatury v závěru práce jsem uvedla všechny použité prameny.

.....

Podpis

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem, kteří mi jakoukoliv formou pomohli dokončit mou diplomovou práci.

Zejména děkuji vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Jiřímu Zimákovi CSc. za odborné vedení práce, poskytování cenných rad a připomínek.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Lucie Krajsová

Název práce: Složení fluviálních sedimentů Moravského krasu

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geologie

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

Rok obhajoby práce: 2010

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá fluviálními sedimenty v prostoru Moravského krasu, jejich přirozenou radioaktivitou, zrnitostním složením a petrografickým složením klastů. V práci jsou stručně popsány geologické poměry Moravského krasu a podrobně charakterizovány fluviální sedimenty, jak na povrchu, tak i ve vybraných jeskyních. V terénu odebrané vzorky fluviálních sedimentů byly využity ke stanovení zrnitostního složení a laboratornímu stanovení obsahu přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th). Byly studovány i těžké akcesorické minerály (zirkon, thorit a granát). Výsledky jsou sumarizovány v podobě tabulek a grafů.

Klíčová slova: Moravský kras, Sloupsko-šošůvské jeskyně, Punkevní jeskyně, jeskyně Býčí skála, Holštejnská jeskyně, Ochozská jeskyně, Luha-Sloupický potok, Punkva, Bílá voda, Jedovnický potok, fluviální sedimenty, přirozená radioaktivita, zrnitostní složení, těžké minerály.

Počet stran: 71

Počet příloh: 0

Jazyk: Čeština

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname: Lucie Krajsová

Title: Composition of fluvial sediments Moravian karst

Type of thesis: Graduation theses

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: Doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

The year of presentation: 2010

Abstrakt: Graduation theses deals with fluvial sediments in space of Moravian karst, their natural radioactivity, grain-size composition and petrographical composition granules. In graduation theses there are briefly described geological conditions of Moravian karst and in detail characterized fluvial sediments, as on surface, also in chosen caves. In terrain collected samples of fluvial sediments were use to assesment grain-size composition and laboratory assement of content natural radioelements (K, U and Th). Heavy accessory minerals (zircon, thorite and garnet) were also study in this Theses. Results are summarized in form of table and graph.

Keywords: Moravan karst, Sloupsko-šošůvské caves, Punkevní caves, cave Býčí skála, Holštejnská cave, Ochozská cave, Luha-Sloupký stream, Punkva, Bílá voda, Jedovnický stream, fluvial sediments, natural radioactivity, grain-size composition, heavy minerals.

Number of pages: 71

Number of appendices: 0

Language: Czech

Obsah

1	Úvod	1
2	Geologická charakteristika Moravského krasu	2
3	Charakteristika fluviálních sedimentů	9
3.1	Obecná charakteristika fluviálních sedimentů	9
3.2	Fluviální sedimenty ukládané v říčním korytě	10
3.3	Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto	11
3.4	Fluviální jeskynní sedimenty	12
3.5	Fluviální sedimenty a těžké minerály v prostoru Moravského krasu	13
4	Zkoumané oblasti	16
4.1	Sloupsko-šošůvské jeskyně.....	16
4.2	Punkevní jeskyně	17
4.3	Jeskyně Býčí skála	18
4.4	Holštejnská jeskyně	19
4.5	Ochozská jeskyně	20
4.6	Luha - Sloupský potok	21
4.7	Punkva	22
4.8	Bílá voda	23
4.9	Jedovnický potok	24
5	Pracovní metody	25
5.1	Laboratorní stanovení obsahu přirozených radioaktivních prvků v sedimentech	26
5.2	Zrnitostní rozbor sedimentů fluviálních	27
5.3	Separace těžkých minerálů	28
6	Výsledky provedených prací	30
6.1	Výsledky laboratorního měření obsahu přirozených radioaktivních prvků.....	30
6.1.1	<i>Sloupsko-šošůvské jeskyně</i>	31
6.1.2	<i>Punkevní jeskyně</i>	33
6.1.3	<i>Jeskyně Býčí skála a Jedovnický potok</i>	34
6.1.4	<i>Holštejnská jeskyně</i>	36
6.1.5	<i>Ochozská jeskyně</i>	38
6.1.6	<i>Luha - Sloupský potok a Punkva</i>	40
6.1.7	<i>Bílá voda</i>	43

6.2	Zrnitostní rozbor fluviálních sedimentů	44
6.2.1	<i>Sloupsko-šošůvské jeskyně</i>	45
6.2.2	<i>Punkevní jeskyně</i>	46
6.2.3	<i>Jeskyně Býčí skála a Jedovnický potok</i>	47
6.2.4	<i>Holštejnská jeskyně</i>	48
6.2.5	<i>Ochozská jeskyně</i>	49
6.2.6	<i>Luha-Sloupský potok a Punkva</i>	50
6.2.7	<i>Bílá voda</i>	51
6.3	Analýza těžkých minerálů	52
7	Diskuse výsledků	57
8	Závěr.....	68
	Literatura.....	69

1 Úvod

V roce 1956 byla jedinečnost Moravského krasu doceněna jeho vyhlášením za chráněnou krajinnou oblast. Toto největší a nejznámější krasové území v České republice je součástí Dražanské vrchoviny. Na jeho ploše vystupuje přes 100 km² devonských vápenců (šířka 3–5 km, délka 25 km). Vyznačuje se velkým množstvím jeskyní s bohatou krápníkovou výzdobou a ponornými vodními toky. Na povrchu jsou zajímavé různě velké závrtý, škrapová pole, hluboká údolí, propasti, propadání, vyvěračky a mnohé jiné. Vlhká a studená jeskyní hlína nám dovoluje poznat z paleontologických a archeologických nálezů rostlinstvo, zvířenu, prostředí a život lidí tisíce let před našim letopočtem.

Podle povodí toků je Moravský kras rozdělen na tři části. Severní část náleží k povodí Punkvy a významnými jeskynními systémy této oblasti jsou Amatérská jeskyně, Punkevní jeskyně s propastí Macochou, Sloupsko-šošůvské jeskyně, jeskyně Kůlna, jeskyně Balcarka, Kateřinská jeskyně, jeskyně Hladomorna a Holštejnská jeskyně. Střední částí protéká Jedovnický a Křtinský potok. Nachází se zde jeskyně Jáchymka, jeskyně Býčí skála a jeskyně Výpustek. K jižní části patří povodí Říčky spolu s Ochozskou jeskyní a jeskyní Pekárnou.

Pro diplomovou práci jsem si vybrala téma „Složení fluviálních sedimentů Moravského krasu“, jako rozšířené pokračování mé bakalářské práce na téma „Klastické jeskynní sedimenty a sedimenty fluviální ve vybraných jeskyních Moravského krasu“.

Cílem diplomové práce je přehledné zpracování poznatků o fluviálních sedimentech, jak na povrchu, tak i v krasových dutinách Moravského krasu. Na vybraných lokalitách provést dokumentaci sedimentů, současně i odběr vzorků, které budou využity ke stanovení jejich přirozené radioaktivity, zrnitostního složení a petrografického složení klastů. Poté se z výsledků vyvodí závěry a zhodnotí se vztah mezi složením sedimentů a jejich přirozenou radioaktivitou. Součástí práce je také stručná kapitola o geologických poměrech Moravského krasu.

2 Geologická charakteristika Moravského krasu

Geologický vývoj v oblasti Moravského krasu začal již před více než 600 miliony let. Jeho výsledkem je geologicky velmi pestrá krajina.

Z období prekambria pochází nejstarší celek této oblasti označovaný jako brunovistulikum (dříve brunie). Je tvořen magmatickými horninami, jimiž jsou zde tlakem a metamorfózou postižené granitoidy, a zbytky jejich pláště (Chlupáč et al. 2002). Již před uložením prvních usazenin byly horniny rozsáhlého magmatického oblouku rozbity do řady velkých i drobných ker, dlouhodobým odnosem se celý povrch zarovnal (Musil et al. 1993). Významnou součástí brunovistulika vystupujícího na povrch je brněnský masív (Müller, Novák et al. 2000).

V podloží Moravského krasu převládají magmatity brněnského masívu a devonská bazální klastika. Brněnský masív (stáří prekambriké dle Musila et al. 1993) je složen z granodioritů a dioritů, které jsou rozděleny metabazity a prostoupeny žilami (Chlupáč et al. 2002).

Pro vlastní geologický vývoj Moravského krasu je z paleozoika nejdůležitější právě devon. Je to období, kdy se začaly tvořit vápence Moravského krasu (Musil et al. 1993). Ve spodním devonu se na brněnském masívu vytvořila deprese. Na zvětralý povrch granodioritů, rozpadající se v písčité eluvium, se uložily pestré, fialově červeně zbarvené úlomkovité usazeniny (splavený zvětralinový materiál z okolí a později i materiál ze vzdálenějších míst např. reziduální štěrky) v suchozemském aridním prostředí (Musil et al. 1993). Je to období ukládání devonských bazálních klastik. Ty jsou charakterizovány náhlými splachy v podobě hrubozrnných až jemnozrnných petromiktních slepenců s valouny kvarcitů, porfyrů, granitoidů (hlavně granitů), okatých rul, fylitů a silicitů (Štelcl 1969). Další složkou devonských bazálních klastik jsou slabě zpevněné arkózy a droby s monomiktními křemennými slepenci. Bazální klastika dosahují malých mocností či mohou i chybět (Musil et al. 1993).

Na mělkém sedimentačním prostoru bazálních klastických uloženin se již ve velmi teplém středním devonu díky mořské záplavě v severní části Moravského krasu začaly ukládat karbonátové sedimenty (Müller, Novák et al. 2000).

Nejprve se uložily šedé křemenné pískovce s kaolinizovanými zrny živců, jen několik metrů mocné (Musil et al. 1993). Přejíždějí do světlešedých deskovitě vrstevnatých, místy laminovaných vápenců macošského souvrství (Musil et al. 1993).

Podle Zukalové a Chlupáče (1982) dělíme karbonátové horniny v prostoru Moravského krasu na dvě souvrství. A to na macošské souvrství s mocností až 1000 m a v jeho nadloží se nachází mnohem méně mocné líšeňské souvrství. Macošské souvrství je zastoupeno čtyřmi členy a soustředěno hlavně do jižní a střední oblasti Moravského krasu (Müller, Novák et al. 2000). Nestarším členem jsou světle šedé vavřínecké vápence se stromatoporoidovou, korálovou faunou a trilobity. Jejich mocnost nepřesahuje 30 m. Pozorovat je můžeme jihozápadně od Lažánek či v okolí vrtů u Josefova a jižně od města Sloupu (Musil et al. 1993). Uprostřed středního devonu moře ze zaplaveného území Moravského krasu ustoupilo a uložené vápence byly poprvé vystaveny krasovění. Brzy se suchozemská sedimentace obnovila a do sníženin pronikaly červené jílovité pískovce s vložkami křemenných slepenců. Tyto pískovce přecházejí do mořských zelených pískovců, které jsou více vápenaté. Dalším typem vápenců, navazující na pískovce a při bázi se ukládající jsou vápence josefovské. Tmavě šedé lavicovité josefovské vápence jsou jílovitopísčité a dolomitické s brachiopody a stromatoporoidy (Chlupáč et al. 2002). Jejich mocnost je maximálně 50 m. Ty můžeme vidět v odkryvu od sadů Nových Dvůrů po Babice či východně od Staré huti v Josefově (Musil et al. 1993). Moře zaplavilo opět celou severní část a postoupilo i k jihu a západu (Musil et al. 1993). Ve stavbě nadloží macošského souvrství se účastní příbřežní tmavě šedé lavicovité lažánecké vápence se stromatoporoidy, amfipory, korály a brachiopody (Chlupáč et al. 2002) s vložkami dolomitických vápenců a dolomitů v nižších částech (Musil et al. 1993). Mohou být až 600 m mocné. V téhle době postoupila mořská transgrese k jihu (Musil et al. 1993). Tyto vápence jsou odkryty na severním okraji Lažánek nebo v okolí vrtů severně od Mokré a jihovýchodně od Ochozu (Musil et al. 1993).

Posledním a nejmladším členem v nadloží macošského souvrství jsou útesové světle šedé masivní či hrubě lavicovité vilémovické vápence s korály a stromatoporoidy (Chlupáč et al. 2002), ve svrchní části s vložky tufitů, pískovců a slepenců. V tomto období teplé, mělké a dobře prokysličené moře stále zaplavovalo spíše jižní část Moravského krasu. Tento dominantní typ hornin severní a střední části Moravského krasu vystupuje i v části jižní, a to např. na západním okraji Hádké plošiny nebo v okolí Ochozu a západně od Horákova. Jejich mocnost přesahuje místy 600 m (Musil et al. 1993).

Mezi lažáneckými a vilémovickými vápenci leží polohy červených a šedozelenavých pískovců a slepenců, tyto polohy dokládají mořskou regresí ze zvedajících se drobných ker (Musil et al. 1993).

Macošské souvrství můžeme rozdělit do dvou velkých faciálních skupin. Většina vápenců náleží do zaútesové skupiny facií a zbývající část řadíme k útesové skupině facií v užším slova smyslu. Místy až 1000 m mocná facie útesových karbonátů macošského souvrství lemovala centrální část pánve, kde převládala jílovitá či vápencovo-jílovitá sedimentace (Musil et al. 1993).

Podle Hladila (1983) se sedimentace vápenců opakovala ve čtyřech cyklech, kdy při bázi se ukládaly tmavé starší vápence a při stropu světlé mladší vápence. Tyto cykly jsou citovaným autorem označovány jako cyklus čelechovický, Býčí skály, ochozský a mokerský.

Moře bylo, v době ukládání vápenců macošského souvrství, mělké a teplé. Poklesem dna pánve došlo ke změnám prostředí a byla ukončena sedimentace na karbonátových plošinách (Müller, Novák et al. 2000).

Vilémovické vápence pozvolna přechází do souvrství líšeňského, které je reprezentováno dvěma typy vápenců. V severní a střední části Moravského krasu se vyskytují pestře zbarvené hlíznaté, jemnozrnné křtinské vápence malých mocností s jílovitými vložkami, které se ukládali podél okraje pánve během ústupu moře (Müller, Novák et al. 2000). Původem jsou to uloženiny klidného a hlubšího prostředí. Uprostřed sledu těchto vápenců se nachází vložka černých biomikritových vápenců. Z fauny mohou tyto vápence obsahovat hlavonožce, trilobity, stromatolity, ostrakody a konodonty (Chlupáč et al. 2002). V jižní části Moravského krasu se usadily černé i pestře zbarvené vápnité břidlice s hojnými vložkami biodetritických tmavošedých vápenců. Moravský kras v téhle době představoval souš a byl vystaven krasovění. Ze zvedajícího se brněnského masívu byl místy splavován rudě zbarvený lateritický jílovitý materiál, jenž se ukládal v oxidačním mělkovodním mořském prostředí bez silnějšího proudění. Na východním svahu tyto sedimenty přecházejí postupně do tmavošedého zbarvení a poněkud hlubšího redukčního prostředí. Vápence křtinské se ukládaly na východním okraji Moravského krasu, severněji se současně ukládaly černé křemité břidlice s vložky černých radiolaritů (Musil et al. 1993). V rozsahu klesajících ker na okraji pánve se ukládaly tmavě šedé, bioklastické a mikritové hádsko-říčské vápence s břidlicemi a rohovci o mocnostech až 150 m. Faunu zde zastupují konodonti, ostrakodi a trilobiti. Původem jsou to uloženiny gravitačních proudů neklidného prostředí (Chlupáč et al. 2002). Vyplňují jižní část Moravského krasu (Svoboda et al. 1964). Moře ve spodním karbonu ustoupilo z jižní části Moravského krasu k SV do úzké deprese, kde se ukládaly vápencové brekcie, střednozrnné lavicovité biodetritické vápence, často hrubě písčité.

Ve spodním devonu v severní a střední části Moravského krasu vystupuje v nadloží křtinských vápenců ponikevské souvrství (dle Musila et al. 1993 ostrovské břidlice), kde převládají hlavně šedo zelené, slabě silicifikované jílovité břidlice bez fauny. V jižní části Moravského krasu vystupuje v nadloží hádsko-říčských vápenců březinské souvrství, které je tvořeno olivově zelenými či červenými jílovitými břidlicemi, tzv. březinskými břidlicemi (Chlupáč et al. 2002) s polohami tufů, vápnitého pískovce s trilobitovou a goniatitovou faunou. Ponikevské i březinské souvrství místy přechází do hrubozrnných vápencových brekcií s fosfority, které dokládají obnovenou mořskou transgresi. Oba typy souvrství tvoří uloženiny tzv. předflyšové facie (Müller, Novák et al. 2000).

Sedimentace v prostoru Moravského krasu pokračuje v nadloží ponikevského a březinského souvrství ukládání sedimentárních souvrství tzv. drahanského kulmu, který vystupuje podél východního okraje Moravského krasu. Drahanský kulum je reprezentován protivanovským souvrstvím z jemnozrnných drob, černošedých prachovitých břidlic s prachovci a slepenci a dále rozstáňským souvrstvím s prachovitými břidlicemi, prachovci a droby o mocnosti přes 1000 m a nejmladším východně ležícím myslejovickým souvrstvím, kde převládají hrubozrnné tmavě modrošedé droby a petromiktní slepence s mocností přes 3000 m (Musil et al. 1993, Müller, Novák et al. 2000). Uprostřed slepenců souvrství myslejovického nalezneme ještě bloky vápenců vilémovických, jsou důkazem částečného odkryvu a denudaci vápenců (Musil et al. 1993).

Z mezozoického vývoje Moravského krasu jsou důležité útvary jura a křída. Po celé období jury docházelo k ukládání mezozoických sedimentů na karbonátových horninách. Z charakteru sedimentů je zřejmé, že povrch Moravského krasu byl zarovnan a denudační úroveň paleozoických hornin dosáhla zhruba dnešní úrovně. Ve střední juře došlo k mořské transgresi a ukládání jurských sedimentů, které jsou tvořeny brekcií, slepencem a vápencem. Odkryvy můžeme pozorovat na Hádech a ve vyšších polohách (Olomoučany), kde jsou v těchto sedimentech tzv. rudické koule – geody o velikosti až 40 cm. Různé formy SiO₂ vyplnily vzniklé dutiny ve vápencích, hlavně po houbách (Musil et al. 1993). V tomhle období se ukládaly taky písčité, silicifikované a dolomitizované jurské vápence s deskovitými rohovci, mikritovými vápenci s glaukonitem a fosfáty. Tyto bělošedé, nažloutlé či nazelenalé vápence vystupují v okolí Rudic a Olomoučan (Müller, Novák et al. 2000). Moře ustoupilo a poklesla mořská hladina až ve svrchní juře. Během spodní křídý vznikají tektonicky drobné prolomy, území je z části zaplaveno mořem, v jiných částech dochází k intenzivnímu zvětrávání a dochází ke krasovění jurských sedimentů. V tomto období klesá Blanenský prolom v okolí Babic, Rudic, Olomoučan a Habrůvek a hromadí

se zde pestře zbarvené terestrické rudické vrstvy o mocnosti až 100 m. Jsou tvořeny limonitickými a kaolinitickými jíly (kaolinit, halloysit a smektit) s polohy písků, vápenců a rohovců, které vyplňují krasové deprese jurských a devonských vápenců (Chlupáč et al. 2002). Prosakující voda přinášející zvětralinu obsahovala rozpustné ionty železa a na styku s devonskými vápenci se vyvinuly oxidické železné rudy (Musil et al. 1993). Krasové sníženiny byly vyplňovány převážně železnými rudami a tak vzniklo známé ložisko železných rud u Němčic. Celé území a okolí Moravského krasu bylo vyzdviženo 150 m nad hladinu světového oceánu. Současně s ukládáním rudických vrstev začaly vznikat na zarovnaném povrchu krasové tvary – mohutné závrtý (Musil et al. 1993). Po ústupu spodnokřídového moře přišla nová mořská transgrese, která přinesla svrchnokřídové sedimenty s povahou černých jílu (kaolinit) či světle žlutavých výše zelenavých slabě zpevněných pískovců (křemenných) obohacených o organickou hmotu. Tyto sedimenty se uložily na rudických vrstvách a jurských sedimentech, k jejich obnažení došlo v okolí Rudic (Müller, Novák et al. 2000). Otázkou jsou takzvané sluňáky – žlutohnědavé silicifikované pískovce. Pravděpodobně vznikly až v době, kdy křídové sedimenty byly denudací odstraněny či vznikly těsně po regresi svrchnokřídového moře, v době, kdy se tvořila část kaolínových ložisek (Musil et al. 1993).

V teplém až tropickém podnebí paleogénu došlo ke zvětrávání křídových usazenin, k obnažení a zvětrávání devonských vápenců (Musil et al. 1993). Vápenec v čisté podobě je velmi odolný proti jakémukoliv zvětrávání, ale vlivem vody vznikaly ve vápencích dutiny, chodby – formovaly se jeskynní systémy. Rozpuštěný karbonát se z vody opět vysrážel v podobě krápníků a sintrů (Müller, Novák et al. 2000). Poklesy příkopů, mořská transgrese, to vše vedlo k hromadění hrubého i jemného klastického materiálu s přechody do pelitické sedimentace (mořské jíly), v rychle klesajících krátech. Vápence Moravského krasu zaujímaly nižší polohy oproti okolním jednotkám a došlo k zarovnání povrchu (Musil et al. 1993). V tomto období vzniklo také povodí v Moravském krasu, kdy se vodní toky zařezávaly do vápenců.

Na rozhraní paleogénu a neogénu, kdy moře z okrajů Českého masívu ustoupilo, působením řek a dešťových srážek docházelo k odnosu mořských sedimentů. Poté byla sníženina Moravského krasu vyplňována pestrými a nevápnitými jíly (Musil et al. 1993). Z paleogenního zarovnaného povrchu byly odstraňovány zvětralinu a vznikaly holoroviny. V období neogénu se prohlubovaly údolí zpětnou erozí a díky další mořské transgresi se na dně údolí ukládaly písky se závalky křídových a paleogenních hornin, došlo k poklesu Dražanské vrchoviny pod hladinu moře (Musil et al. 1993). Došlo i k ukládání vápnitých

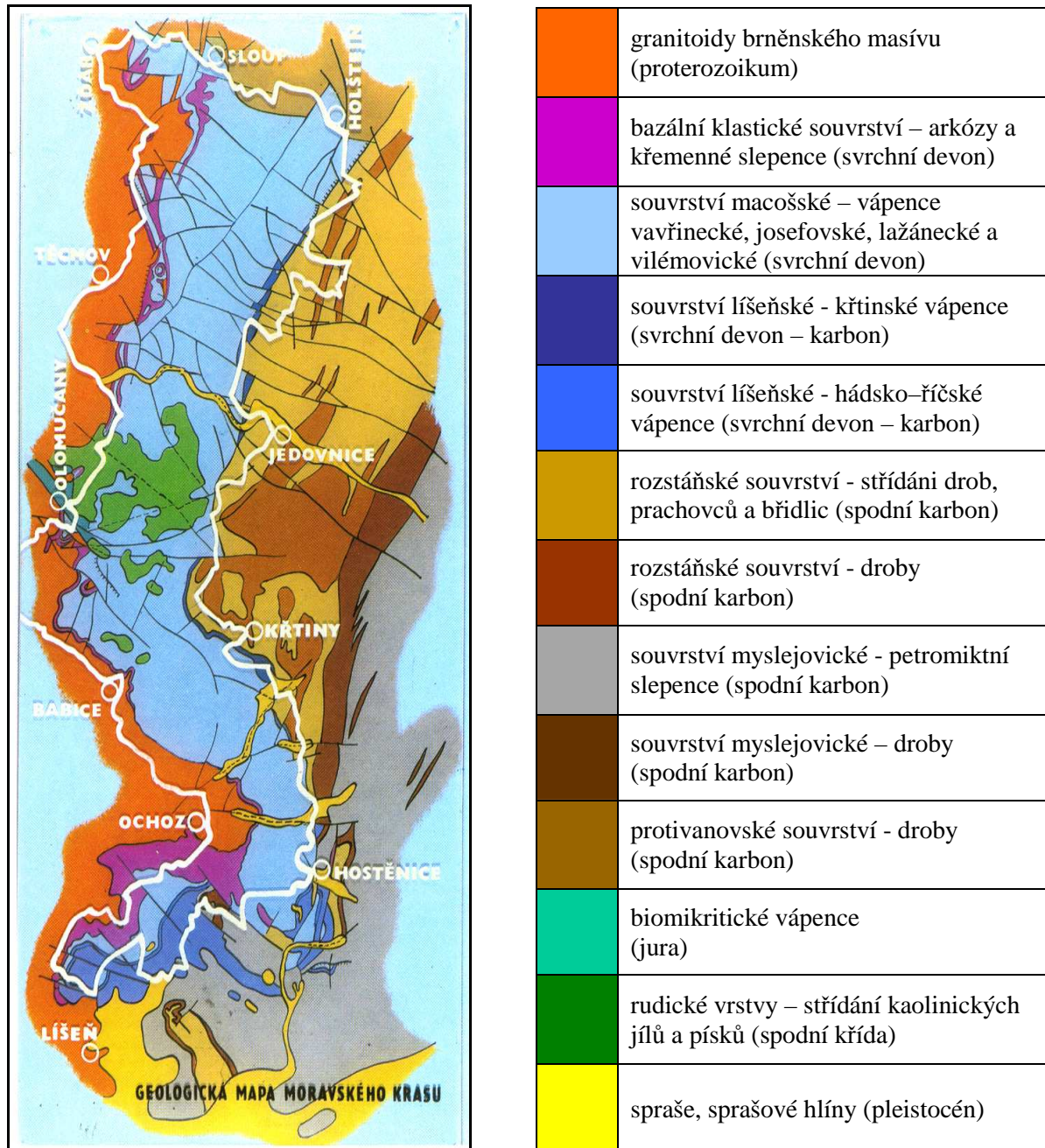
jílů, které vyplňovaly nerovnosti povrchu a údolí. Nastala regrese moře a vyklízení neogenních sedimentů z údolí (Balák et al. 2003).

Podle Musila et al. (1993) jsou dvě varianty vývoje krasových útvarů. První teorie říká, že před usazením vápnitých jílů existovala hluboká údolí a při zařezávání údolí v paleogénu vznikly krasové útvary. Naproti tomu druhý názor spojuje vznik jeskynních úrovní s vyklízením usazenin a se vznikem nových údolí v neogénu.

Kvartérní pleistocén přinesl ochlazení, střídání glaciálů a interglaciálů a vznik permafrostu. Pokračovalo vyklízení neogenních usazenin z údolí. Docházelo k zanášení a vyklízení údolí čvrtohorními štěrky, písky, prachovými sedimenty a hlínami. V interglaciálech vlivem většího množství srážek se rozpouštěly vápence a tvořila se krápníková výzdoba. Povrch krasových plošin byl v glaciálech pokryt navátými sedimenty - spraší a sprašovými hlínami (Musil et al. 1993), srážková voda přemísťovala infiltrační sedimenty do podzemí, kde tvořily střídající se tmavší a světlejší vrstvičky (Müller, Novák et al. 2000).

Vodní toky proudí jeskyněmi a na okrajích vápencového území se propadají do podzemí, hloubí poloslepá údolí a opět se objevují na povrchu (Müller, Novák et al. 2000). Vznikají další jeskynní úrovně. Permafrost způsobil vznik ledových zátek v ponorech i jeskyních, vytvořil nepropustnou polohu pro povrchovou vodu, způsobil vzrůst intenzity svahových pochodů. Mrazové zvětrávání rozrušovalo horniny na svazích a vznikaly kamenité a blokové ostrohranné úlomky. Ostrohranné úlomky s jeskynními hlínami zakrývaly ústí jeskyní a vyplňovaly jeskyně. Díky mrazovému zvětrávání se měnily vchody do jeskyní, vznikaly kužely tvořené z úlomků vápenců i hluboko v jeskyních vznikaly zvrstvené jeskynní sedimenty s úlomky krápníků. Ve vchodech do jeskyní se ukládaly hrubší sedimenty než v hlubokých krasových dutinách (Müller, Novák et al. 2000). Vedle akumulčních tvarů vytvořily kryogenní pochody i kryoplanační terasy. V období holocénu došlo k oteplení, permafrost začal roztávat a opadávala ostrohranná suť ze stropů jeskyní. Pleistocenní sedimenty byly vyklíženy z jeskyní.

Obr. 1: Geologická mapa Moravského krasu – upraveno podle Baláka (1990), Müllera, Nováka et al. (2000) a Hanžla et al. (2000).



Poznámka: Bílou čarou je vyznačena hranice CHKO Moravského krasu.

3 Charakteristika fluviálních sedimentů

3.1 Obecná charakteristika fluviálních sedimentů

Fluviální sedimenty se nacházejí jak na povrchu, tak v krasových dutinách i jeskynních vchodech (Příbyl et al. 1992). Z alochtonních výplní jeskyní jsou obecně nejhojnější fluviální sedimenty stálých podzemních toků a povodňových vod. Tyto sedimenty jsou uloženiny klastického materiálu, erodovaného, transportovaného a ukládaného tekoucí vodou. Proudící voda transportuje klasty (trakcí, saltací, v suspenzi a v ledových krách) a vytváří v nivě koryta. Uložení probíhá v korytě vodního toku či na povrchu nivy. Hlavní zdrojovou oblastí sedimentů je horní tok řeky, převládá tady eroze a na dně se ukládají hrubozrnné až balvanité písčité štěrky. Ve středním úseku toku je eroze a ukládání v rovnováze. Ke zvýšené akumulaci sedimentů dochází v dolním toku řeky (Růžičková et al. 2003). Vodní toky lemující říční terasy jsou tvořeny erozními zbytky fluviálních sedimentů, které byly ukládané ve starších glaciálních obdobích. V období glaciálů s vyvinutým permafrostem a minimálním vegetačním krytem, srážková voda odtékala povrchovými toky. Sezónní teplotní rozdíly tohoto období způsobily intenzivní mechanické zvětrávání hornin a vznik velkého množství klastického materiálu. Transport a sedimentace probíhaly hlavně při povodních, kdy se ukládaly tělesa písků a písčitých štěrků. Pro tohle období je charakteristický divočící vodní tok. V interglaciálech s rozvojem vegetace došlo ke zmenšení průtoků i množství klastického materiálu, jde o meandrující vodní tok. V korytě toku jsou transportovány a ukládány písky a štěrky, zatím co v nivě písčité prach a jíly. V současnosti odtéká povrchovými toky jen necelá třetina srážkových vod (Růžičková et al. 2003).

Hrubozrnné fluviální sedimenty (písky a štěrky) jsou typické pro oblasti se stálým podzemním tokem či povodňovým tokem s transportační schopností. Jemné sedimenty (prachy a jíly) se usazují z povodňových vod pomalou sedimentací při pomalém klesání vzdutých vod (Příbyl et al. 1992). Štěrků jsou nejvíce studované z hlediska petrografického a zrnitostního složení. Zrnitostní složení odráží způsob transportu a to se využívá při studiu geneze sedimentů, morfometrie, stupně zvětrávání, obsahu těžkých minerálů, určení zdrojového materiálu, sedimentačního cyklu a mocnosti (Musil et al. 1993).

Těžké minerály jsou vždy nejbohatší v nejspodnější části fluviálního souvrství a zvýšené koncentrace najdeme i v místech náhlého zpomalení proudu (to platí víceméně obecně i v prostoru Moravského krasu – viz Musil et al. 1993).

Tyto sedimenty jsou velmi pestré a vyznačují se rozmanitými texturami a strukturami (Příbyl et al. 1992).

3.2 Fluviální sedimenty ukládané v říčním korytě

Podle Mialla (1996) a Růžičkové et al. (2003) můžeme vyčlenit sedm skupin fluviálních sedimentů ukládaných v říčním korytě:

- 1) **výplň říčního koryta** – hrubozrnné valounové až balvanové štěrky uložené v nejhlubší části koryta, tvoří nesouvislé vrstvy o malé mocnosti
- 2) **štěrkové valy a tělesa** - charakterizují divočící tok, štěrk je transportován současně s pískem, valouny se při ukládání vzájemně dotýkají a mezery bývají vyplněny pískem
- 3) **písková tělesa** - ukládají se na dně říčního koryta
- 4) **laminované písky** – při silných povodních svrchního proudového režimu se ukládají horizontálně zvrstvené laminované písky
- 5) **tělesa vznikající akreací směrem po proudu** – soubory šikmo zvrstvených pískových poloh ukládaných při spodním proudovém režimu
- 6) **sedimenty laterální akreace** – na vnitřní straně oblouků meandrujícího toku vytváří laterální akreace sedimentární tělesa jeseřů s mírně šikmo uloženými akreačními plochami, tvořeny pískem, klasty štěrkové frakce jsou transportovány v ledových krách při povodních
- 7) **sedimenty gravitačních (nasyčených) proudů** – hmota gravitačních proudů se pohybuje ve formě bahnotoků, úlomkotoků, znotoků a může se střídát s fluviálními štěrkovými a pískovými tělesy, proudy tvoří úzké protáhlé jazyky či tělesa deskovitého tvaru a hlavně v glaciálních obdobích aluviální kužely na úpatí hor, gravitační proudy vyplňují podloží starších koryt, sedimenty jsou tvořeny různě zrnitými písčitymi štěrky.

Říční sedimenty zaujímají celou zrnitostní škálu od štěrku po jíl, je to dáno unášecí silou toku a ta závisí na rychlosti proudu a množství částic v suspenzi. V horním úseku toku se strmější spádovou křivkou zůstávají na dně koryta hrubé štěrky a štěrková tělesa. Transportem po proudu dochází k zaoblení, zmenšování klastů a zvyšování jejich sféricity.

Tvar klastů ovlivňuje způsob a délka transportu, petrografické složení a inhomogenita matečných hornin (Růžičková et al. 2003).

3.3 Fluviální sedimenty ukládané mimo říční koryto

Nivní sedimenty charakterizuje podrobně např. Růžičková et al. (2003). Vznikají v meandrujících vodních tocích. Při povodních se na břehu vnitřní strany meandrů ukládají sedimenty jeseřů a na vnější straně nárazových meandrů se tvoří agradační valy tvořeny hlavně pískem. Vlivem další povodně může eroze vodního proudu vytvořit průrvu v gradačním valu a dochází k ukládání tzv. sedimentů „crevasse splays“. Dále od říčního koryta se ukládají sedimenty nivních jezer a v opuštěných ramenech vznikají sedimenty mrtvých ramen, jsou tvořeny hlavně prachem, jíly a humusem. Niva horských údolí je úzká, proudící voda dosahuje značně velkých rychlostí a ukládá jen písky a drobnozrný štěrk. Níže v suspenzi jsou unášeny prach a jíl, ukládají se za překážkami či při poklesu rychlosti proudění.

Sedimenty obsahují všechny zrnitostní frakce, ale převažuje hlavně prach (až 40%) a jíl (až 60%). Významnou složkou jsou i organické látky. Jsou zrnitostně středně či špatně vytríděné. Sedimenty s převahou prachu můžeme označit jako sedimenty nivních jezer a jemnozrné prachovité písky s jílem označujeme jako sedimenty agradačních valů či sedimenty „crevasse splays“.

Texturní znaky obou výše zmiňovaných typů fluviálních sedimentů:

Mezi primární textury patří zvrstvení šikmé, horizontální a gradační. Zvrstvení šikmé vzniká v podmínkách spodního proudového režimu a může být dvojího typu výmolvé a planární. Druhý typ je horizontální zvrstvení, a to naopak vzniká v podmínkách svrchního proudového režimu. Poslední typ gradační zvrstvení může být pozitivní a negativní. Pro pozitivní gradační zvrstvení jsou charakteristické povodňové sedimenty ukládané v říční nivě (nivní sedimenty). U sedimentů aluviálních kuželů se vyskytuje negativní gradační zvrstvení. Jíl a prach vytvářejí sedimentární tělesa deskovitého tvaru s horizontálním či laminárním zvrstvením. Pro gradační valy je charakteristické planární šikmé zvrstvení.

Co se týká valounů, ty se orientují tak, aby získaly vůči proudění co nejstabilnější pozici.

Mezi nejčastější sekundární textury patří deformace způsobené činností mrazu. Zvětšený objem sedimentů s větším objemem zmrzlé vody v pórech působí deformaci nadložních vrstev. Další je konvolutní textura (Kukal 1978), která vzniká únikem vzduchu ze sedimentů. Vlivem váhy nadloží unikají z pórů uloženin roztoky a tvoří se kanálky (intruze) a ty deformují prachovité a jílovité vrstvy v nadloží. Deformaci mohou způsobit i transportované klasy z roztátého ledu. Na vrstevních plochách jemnozrnných sedimentů se mohou objevovat výmolové či vtiskové textury, otisky dešťových kapek a bahenní praskliny. Nivní uloženiny mohou být také postiženy bioturbací (Růžičková et al. 2003).

3.4 Fluviální jeskynní sedimenty

V období aktivního krasového systému, kdy chodbami protéká podzemní tok, probíhá eroze a transport sedimentů. Naopak při přerušení aktivity krasu např. závaly, sníží se proudění vody a nastává proces sedimentace. Tyto sedimenty pochází z doby, kdy dochází k přerušení aktivity krasového systému. Jsou sekundárně dopraveny do jeskyní podzemními toky či povodňovými vodami. Podzemní tok proudící v jeskyních vytváří pískové a štěrkové valy, které jsou následně při povodních přemístřovány (Růžičková et al. 2003). Sedimentace fluviálních sedimentů v jeskyních byla mnohem složitější, než v údolích zde musíme počítat s obdobím denudace a akumulace. Intenzita transportu materiálu se měnila v závislosti na rychlosti tekoucí vody a na zrnitosti neseného materiálu. Transport materiálu probíhal pod tlakem – v suspenzi a vlečením (Musil et al. 1993). Fluviální jeskynní výplně mohou dosáhnout mocností desítek metrů a zaplňovat jeskynní systémy na velké vzdálenosti (Příbyl et al. 1992).

Osborne (1984) uvádí termín stratigrafický sendvič, který vzniká díky říční erozi, která vytvoří nový kanál uvnitř sedimentů vyplňující chodbu, kanál je tedy vyplněn mladšími fluviálními sedimenty. Tenhle stratigrafický sendvič můžeme sledovat např. v Černé propasti ve Sloupsko-šošůvských jeskyních (Kadlec et al. 2001).

Jak uvádí Cílek (1993) v jeskyních se setkáváme s fluviálními sedimenty v geneticky čisté formě, na rozdíl od klastických sedimentů. Také platí, vyskytují-li se fluviální sedimenty v určité části jeskynního systému, pak jde o dominantní typ jeskynního sedimentu.

Fluviální jeskynní sedimenty obsahují klasty všech zrnitostních frakcí, od jílu po písčité štěrky s balvany. Nejčastěji jsou však ukládány drobně až hrubě zrnité písčité štěrky. Tvar a zaoblení klastů těchto sedimentů je jiné než v řekách na zemském povrchu. Například zaoblení valounů drobných fluviálních sedimentů je v podzemním toku daleko větší než v korytě řeky na povrchu. V úzkých jeskynních chodbách mají valouny protáhlý tvar, protože se kutálejí po dně, naopak valouny v říčním korytě jsou plošší, protože se posouvají po dně. Valouny fluviálních písčitých štěrků ukládaných v podzemí se vzájemně dotýkají a mezery mezi klasty jsou vyplněny pískem či prachem (Růžičková et al. 2003).

3.5 Fluviální sedimenty a těžké minerály v prostoru Moravského krasu

Fluviální sedimenty jsou nejlépe vyvinuty v severní části Moravského krasu. Ve Sloupském údolí byly zjištěny až 60 m mocné fluviální sedimenty (Hašek, Štelcl 1972). Vrtem na jižním okraji Sloupu byla zjištěna mocnost sedimentů okolo 58 m, které se skládají z poloh středně zrnitých štěrků, jemně až hrubě zrnitých písků a z vložek šedých jílu. Směrem proti toku Sloupského potoka mocnost klesá, až v údolí Žďárné dosahuje jen 28 m (Dvořák 1961) a u potoku Luha již jen 11,5 m (Vilšer 1962). Podobně i v Holštejnském údolí jsou různé mocnosti, maximální hmotnost je 54,5 m (Dvořák 1961). Střídal se zde polohy jemného písku, štěrků, jílovotopísčitých hlín a horizontální sutě s polohy světle šedých či tmavě šedých jílu někdy s jemným pískem. Sedimenty ve Sloupském a Holštejnském údolí jsou tvořeny střídajícími se polohami písků, jílu a štěrků. Složení vypovídá o střídání se povodňového a normálního stavu vodního toku. Sedimentace má jednak charakter divočící řeky – střídání jílu, štěrků, písků, špatně zaoblené valouny a sediment má méně než 5 % štěrku. Někdy má charakter proluvia – málo tříděný, různě opracovaný materiál různé velikosti a vložky sutě. Jindy podle citovaného autora má sedimentace rysy průtočného jezera. Sedimentární akumulace ukazují na dlouhé období sedimentace, přerušované několikanásobně erozí (Musil et al. 1993).

Nejstarší částí sedimentární výplně Šošůvských jeskyní při okraji Černé propasti je středně zrnitý štěrk s čočkovitými polohami drobnozrnitého štěrku a drobnozrnitého písku (akumulace I). Další akumulace jsou tvořeny štěrkovitými sedimenty např. středně zrnitým jílovito-písčitým štěrskem. Nedaleko Brouškovy síně na bázi vystupuje středně zrnitý

písečný štěrka s ojedinělými čočkami hrubozrnného písku. V nadloží je středně zrnitý písečný štěrka a závěr sedimentace je tvořen světle hnědým písečným jílem. Výsledky analýz průsvitných těžkých minerálů z profilů Šošůvských jeskyní dokazují výskyt epidotu, granátu, amfibolu a zirkonu ve fluvialních sedimentech (Vít 2000).

Nejstaršími fluvialními sedimenty (akumulace I) Holštejnské jeskyně jsou středně zrnité písečné štěrky s převahou valounů drob. Druhá akumulace fluvialních sedimentů je tvořena jílovitými prachy ojediněle s polohy písečných štěrků. Nejmladšími říčními sedimenty (akumulace III) jsou středně až hrubě zrnité písky a drobnozrnné písečné štěrky střídající se s polohami jílovitého prachu (Kadlec et al. 2000a). Studium dvou profilů sedimenty Holštejnské jeskyně určilo zdrojovou oblast říčky Luhu a Bílou vodu. Bílá voda transportuje valouny drob a prachovců s břidlicemi z rozstáňské souvrství s převahou granátu. V menší míře taky valouny drob z povodí protivanovského s epidotem (Otava, Vít 1992, Kadlec et al. 2000a).

V jeskyni Kůlna jsou hojně zastoupeny spodnowürmské spraše, v nichž jsou těžké minerály zastoupeny převážně amfibolem, dále je přítomen epidot, zirkon, turmalín, granát, rutil a staurolit; z opakních minerálů byly v těchto spraších zjištěny srůsty magnetitu s hematitem, zdvojitý ilmenit, magnetit, leukoxen a pyrit (Kvítková, Přichystal 2000). Zdrojem materiálu studovaných sedimentů jsou brněnský masív a kulmské sedimenty Dražanské vrchoviny (Kvítková, Přichystal 2000).

Fluvialní sedimenty kvartérního stáří byly studovány ve dvou profilech v Západní macošské větvi Amatérské jeskyně. Značná část prvního profilu je tvořena hrubozrnným štěrkem s písečno-jílovitou matrix. Valounové složení představují hlavně spodnokarbonské droby, siltovce a jílovce. Výsledné analýzy průsvitných těžkých minerálů ukazují vyšší obsahy amfibolu v siltových sedimentech. Amfibol má původ v eolických sedimentech, které byly později redeponovány vodními toky do jeskyní (Burkhardt, Šerebl 1965). Důležitější je zastoupení granátů a minerálů skupiny epidotu (v poměru 1:1). V tomto případě zdrojový materiál pochází z obou hlavních zdrojnic říčky Punkvy, což je Sloupský potok a Bílá voda (Vít 1990). Nejsvrchnější poloha druhého profilu je tvořena hnědým jílem. Následují středně zrnité štěrky s jílovito-písečnou matrix. Dle analýz se v jemnějších sedimentech hromadí minerály eolického původu, jde o amfibol a epidot. Pro granáty a minerály skupiny epidotu (v poměru 2:1) je typickou zdrojovou oblastí holštýnská Bílá voda (Vít 1994).

Fluvialní sedimenty jeskyně Býčí skála jsou reprezentovány polymiktními štěrky, drobnozrnnými až střednozrnnými štěrky s písečnou či jílovito - písečnou matrix. Jejich

nejvýraznější součástí je kulmský materiál s převahou valounů drob a prachových břidlic. Místy se lze setkat s polohami rudických vrstev s valouny rohovců a magnetitem. V nadloží okrajových částí jsou vyvinuty polohy jemnozrnných písků a písčitých až písčito-prachových jílu (Štecl et al. 1996).

V údolní nivě Punkvy mají kvartérní sedimenty mocnost pouze 8,2 m. Jedná se o jednu akumulaci pozitivní gradaci, kdy na bázi se nacházely hrubozrnné štěrky až balvany, v nadloží písčité štěrky, které přecházely do jemně písčitých náplavových hlín (Schütznerová, Havelková 1957). Krasovský potok vyúsťující u jeskyně Balcarky má bázi kvartérních sedimentů (jemně laminované jíly) v hloubce 35 m. Střídají se tu polohy jílovitých zemin, sprašových hlín, sutí a oblázky drob. Asi 150 m před soutokem Lažáneckého potoka s Punkvou je mocnost sedimentů v údolní nivě 20 m. Sedimenty fluvialní se několikrát střídají se svahovými sutěmi. Směrem proti toku Lažáneckého potoka se zmenšuje mocnost kvartérních sedimentů. Liší se fluvialní akumulace toků vtékajících na území krasu a vytékajících z něj. V prvním případě se jedná o velké mocnosti většího stáří a větší počet akumulací a denudací, v druhém případě je to pouze jeden akumulací cyklus mladého stáří a malé mocnosti (Musil et al. 1993).

Střední část Moravského krasu je méně významná, co se týče kvartérních sedimentů i jejich studium je ještě v počátcích. Z Rudického propadání známe z fluvialních sedimentů štěrky a písky (Musil et al. 1993).

V jižní části Moravského krasu v Ochozské jeskyni, kde fluvialní sedimenty tvoří rozsáhlé profily v Hlavních dómech, se jedná o jílovité až slabě písčité prachy ojediněle s písčitými polohami a písčitými štěrky (Kadlec 2003, Kadlec et al. 2000b). V jeskyni Pekárně jsou to štěrky v podloží sprašových hlín. Nejednotná sedimentace štěrků je představována přerušovanými vrstvami jemného písku, žlutohnědých sprašových hlín a polohami travertinu (Musil et al. 1993).

Z hlediska asociací těžkých minerálů ve fluvialních sedimentech Moravského krasu jsou významné kulmské sedimenty vystupující v jeho okolí. Dle Otavy (1998) charakteristickými minerály v drobách protivanovského souvrství jsou epidot, granáty a titanit. V rozstáňském a myslejovickém souvrství jsou prokázány granátické asociace v těžké frakci drob.

4 Zkoumané oblasti

4.1 Sloupsko-šošůvské jeskyně

V nejsevernější části Moravského krasu, v bezprostřední blízkosti města Sloupu se nalézají Sloupsko-šošůvské jeskyně (Pleva 1970). Patří k našim nejvýznamnějším a nejdéle zkoumaným jeskynním systémům. Náleží k nejrozsáhlejší jeskynní soustavě České republiky, do 35 km dlouhé Amatérské jeskyně. Území spadá do souvrství vilémovických vápenců svrchního devonu. Před vchodem do jeskyní (obr. 2) stojí 19 m vysoký zbytek rozpadlé skalní stěny nazývaný „Hřebenáč“. Sloupský potok, který teče poblíž, zaplavuje v době povodní jeho úpatí (Pleva 1970). Sloupsko-šošůvské jeskyně jsou dvoupatrovým systémem chodeb a dómů, 4200 m dlouhé a 94 m hluboké. Jsou spojeny gigantickými podzemními propastmi, které jsou nejhlubší u nás.

K nejstarším jeskyním patří horní patro, které je dnes už zpřístupněné. Postupně zde byly objevovány jeskyně jako je Nicová, Eliščina, Staré skály (Sloupské), Šošůvské (obr. 3) a jeskyně Kůlna (Hromas et al. 2002).

Obr. 2. Vstup do Sloupsko-
šošůvských jeskyní.
(foto Lucie Krajsová)



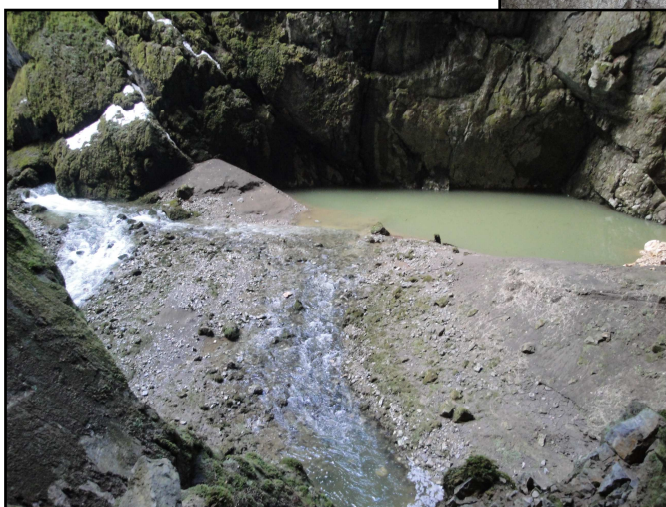
← Obr. 3. Brouškova pohádková síň
se stalagmitem Svícnem.
(foto Lucie Krajsová)

4.2 Punkevní jeskyně

Nacházejí se v severní části Moravského krasu v kaňonu Pustého žlebu, 2,5 km od samoty Skalní Mlýn v národní přírodní rezervaci Vývěry Punkvy (obr. 4). Spolu s říčenou propastí Macochou (obr. 5) o hloubce 187,5 km jsou součástí nejrozsáhlejší a nejdelší jeskynní soustavy České republiky - 35 km dlouhé Amatérské jeskyně (Zajíček 2001). Dvě paralelní větve chodeb, síní a dómů s krápníky o celkové délce 4 km vytvořil podzemní tok Punkvy v souvrství vilémovických a lažáneckých vápenců svrchního devonu. Výše položené a starší suché patro jeskyní vede z Pustého žlebu přes mohutné dómy až na dno propasti Macocha. Po hladině toku Punkvy lze proplout až do jejího vývěru ve skalní bráně.

Systém Punkevních jeskyní začíná Předním dómem s vysokými stalaktity a pagodami. Mohutnou prostoru tvoří říčený Riechenbachův dóm. Pak následuje zadní dóm s krápníky pozoruhodných tvarů. Ze dna propasti vodní cestou lze doplout k prostorám Masarykových síní s brčky dosahující až půl metru (Hromas et al. 2002).

Obr. 4. Vstup do Punkevních
jeskyní.
(foto Lucie Krajsová)

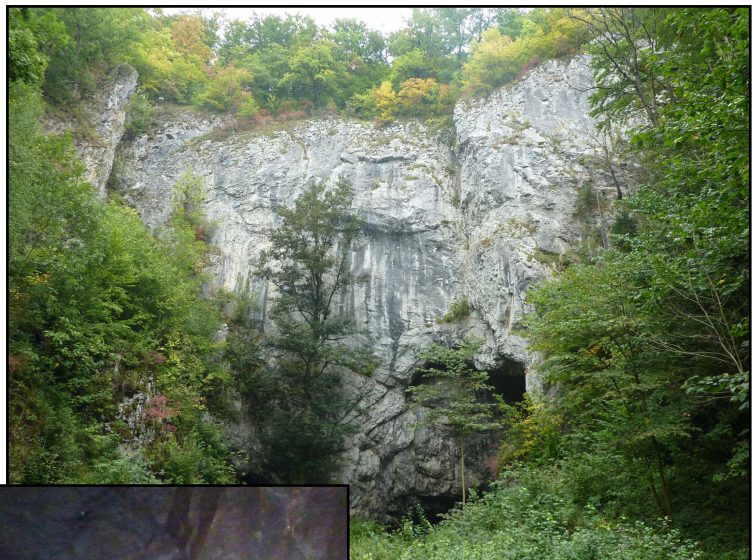


← Obr. 5. Propast Macocha.
(foto Lucie Krajsová)

4.3 Jeskyně Býčí skála

Ve střední části Moravského krasu v národní přírodní rezervaci Býčí skála mezi městy Adamov a Křtiny se ve skalní stěně Křtinského údolí nachází jeskyně Býčí skála (obr. 6). Je vývěrovou větví druhého největšího jeskynního systému Moravského krasu - 13 km dlouhého systému Rudického propadání - Býčí skála. Její prostory v souvrství lažáneckých vápenců svrchního devonu dosahují délky 7 km a jsou protékány podzemním tokem Jedovnického potoka. Plán podzemního systému Býčí skála je tvořen řadou sifonů (např. Sifon dřiny, Sifon potápěčů, Škaredý sifon), dnes již překonány uměle prostřílenými štolami (obr. 7). Jen poslední srbský sifon zůstal zachován, odděluje prostory Býčí skály od chodeb a dómů Rudického propadání (Hromas et al. 2002).

Obr. 6. Vstup do jeskyně →
Býčí skála.
(foto Lucie Krajsová)



← Obr. 7. Jeskyně Býčí
skála.
(foto Lucie Krajsová)

4.4 Holštejnská jeskyně

Ústí Holštejnské jeskyně se nalézá při severním okraji Moravského krasu v poloslepém Holštejnském údolí (obr. 10). Ponorová jeskyně je tvořena horním patrem s horizontální chodbou a spodní úroveň představuje jeskyni č. 68. Obě úrovně jsou propojeny vertikálními dutinami vyplněnými sedimenty (Kadlec et. al. 2000a). Jeskyně je téměř celá vyplněna fluviálními sedimenty, ve kterých je vykopáno přes 450 m chodeb (obr. 9). Holštejnská jeskyně je vyvinuta ve světle šedých vilémovických vápencích macošského souvrství několik set metrů jižně od jejich kontaktu s břidlicemi a zejména s drokami protivanovského souvrství (Kalenda, Duras 2008).

Obr. 8. Brčka v Holštejnské jeskyni. (foto Lucie Krajsová)



Obr. 9. Chodba Holštejnské jeskyně.

(foto Lucie Krajsová)



Obr. 10. Vstup do Holštejnské jeskyně.

(foto Lucie Krajsová)



4.5 Ochozská jeskyně

V jižní části chráněné krajinné oblasti nedaleko obce Ochoz, v přírodní rezervaci Údolí Říčky se nalézá jedna z nejhezčích jeskyní Moravského krasu. Ochozská jeskyně (obr. 11) je dlouhá přibližně 2 km. Jeskyni vytvořil podzemní tok Hostěnického potoka v souvrství vilémovických vápenců svrchního devonu. Vstupní část začíná úzkou meandrující chodbou tzv. Hadicí, ústící do prostor Hlavního dómu Staré jeskyně. Dómy jsou vyplněny mocnými sedimenty, na nichž vyrůstá bohatá krápníková výzdoba (obr. 12). Na konci dómu je Nová Ochozská jeskyně, která směřuje pod Hostěnické propadání. V pokračování Staré jeskyně leží Labyrint strmě stoupající k vrcholu v Kamenném žlábku (Hromas et al. 2002).

Obr. 11. Vstup do Ochozské jeskyně. (foto Lucie Krajsová)



Obr.12. Smuteční vrba ve Staré Ochozské jeskyni. →
(foto Lucie Krajsová)

4.6 Luha - Sloupský potok

Luha (obr. 13) je hlavní tok na západní straně Sloupu. Společně s přítokem Žďárné tvoří Sloupský potok, který se propadá do podzemí u Hřebenáče a ve Starých skalách. V podzemí se spojuje s jinými toky a vytéká na dně Macochy jako říčka Punkva. Sloupský potok teče z poloslepého údolí Sloupského potoka přes Sloupsko-šošůvské jeskyně. Sloupský potok v době jarního tání a větších dešťů zaplavuje úpatí Hřebenáče. V létě za suchého počasí je jeho řečiště téměř bezvodé, neboť pukliny v jeho dně stačí vodu pohltit (Pleva 1970).

Obr. 13. Říční tišina Luhy. (foto Lucie Krajsová)



4.7 Punkva

Punkva je hlavní vodní tok v severní části Moravského krasu (obr. 14). Mocnost fluviálních sedimentů je 8,2 m s akumulací pozitivní gradací, kde na bázi se nacházely hrubozrnné štěrky až balvany, v nadloží písčité štěrky, které přecházely do jemně písčitého náplavových hlín (Schütznerová, Havelková 1957). Podzemní říčka protéká pod Ostrovskou plošinou mezi krasovými roklemi Pustým a Suchým žlebem. V Amatérské jeskyni sbírá vody Sloupského potoka, Bílé vody a řadu menších přítoků. Z Amatérské jeskyně protéká přes dno Macochy a Punkevní jeskyně do Výtoku v dolní části Pustého žlebu nad Skalním mlýnem (Kučera et al. 1981).

Obr. 14. Jarní tok Punkvy. (foto Lucie Krajsová)



4.8 Bílá voda

Je hlavním tokem na východní straně Holštejna (obr. 15). Pramení na jihozápad od Protivanova v nadmořské výšce 638 m, protéká přes vesnice Nivu, Otinoves a Rozstání a Holštejn k propadání Nová Rasovna, kde se po 20 km ztrácí pod zem. Vody potoka dále protékají skrze jeskyně Pikovou dámu, Spirálku a Třináctku do Amatérské jeskyně, kde se stékají se Sloupským potokem a společně vytvářejí říčku Punkvu.

Vodní stav v potoce Bílá voda je značně proměnlivý, závisí na množství dešťových srážek i na ročním období. Nejvyšší stav vodní hladiny bývá v únoru a dále při stoleté vodě a povodních. Za těchto podmínek dochází k přelivu vody a voda odtéká do propadání Staré Rasovny. Za suchého období je otvor propadání suchý a umožňuje vstup do jeskynních prostor (Paseka et al. 2006).

Obr. 15. Tok Bílé vody poblíž propadání Nová Rasovna. (foto Lucie Krajsová)



4.9 Jedovnický potok

Je to tok střední části Moravského krasu s plochou povodí 32 km². Pramení 1 km sv. od Senetářova, noří se do země v Rudickém propadání a po 6 km podzemní cesty vyraží ze skalního sifonu do chodeb Býčí skály (Hromas et al. 2002). Dále protéká jeskyní Barová a na okraji Josefova se vlévá do Křtinského potoka (Přichystal, Náplava 1995). V povodí se nachází několik rybníků např. Budkovan a Olšovec. Za povodní vytváří Jedovnický potok, před Rudickým propadáním, jezero vzduťých vod. Jeho činností vznikl druhý největší jeskynní systém Moravského krasu Rudické propadání - Býčí skála. Voda se ztrácí v ponoru Rudického propadání a vytváří vodopádovou kaskádu (Roudný 2001). Podzemní Jedovnický potok protéká řadou dómů a poblíž Býčí skály vyvěrá (viz obr. 16).

Obr. 16. Vývěr Jedovnického potoka u Býčí skály. (foto Lucie Krajsová)



5 Pracovní metody

Po zadání diplomové práce jsem se věnovala zpracování teoretické části pomocí poznatků a informací z literárně - rešeršní přípravy. Velmi stručně jsem popsala geologický vývoj Moravského krasu. Dále jsem se věnovala fluviálním sedimentům jak na povrchu, tak i v hlubinách Moravského krasu. Obecně jsem charakterizovala zájmové oblasti tohoto výzkumu a stručně jsem se zmínila i o těžkých minerálech v dané oblasti.

V rámci terénních prací jsem navštívila vybrané lokality, provedla odběr vzorků fluviálních sedimentů z jeskyní i vodních toků k dalšímu výzkumu a vše zdokumentovala. Odběr vzorků z jeskyní probíhal odlišně od odběru vzorků z vodních toků. V jeskyních jsem vyhledala vhodný profil jeskynními sedimenty, kde se střídaly vrstvy štěrku, písku a prachu (jílu). Poté jsem odebrala zrnitostně odlišné vzorky o hmotnosti 2–3 kg z jednotlivých částí profilu (zpravidla 3 až 4 vzorky v jednom profilu). Při odběru vzorků o hmotnosti 2–3 kg z vodních toků jsem použila zednické síto, abych odstranila nepotřebné velké valouny (ve výsledcích zrnitostních analýz je proto množství štěrkové frakce podhodnoceno, vzhledem ke studiu radioaktivity jednotlivých frakcí je to však nepodstatné).

Laboratorní výzkum spočíval ve stanovení přirozené radioaktivity fluviálních sedimentů za pomoci spektrometru SG–1000LAB a poté zjišťování jejich zrnitostního složení klasickou síťovou metodou. Z některých vzorků byly separovány těžké minerály a podrobeny přesnější analýze (WDX).

Těžiště práce spočívalo v určení přirozené radioaktivity sedimentů, stanovení zrnitostního složení a zhodnocení vztahů mezi těmito výsledky.

5.1 Laboratorní stanovení obsahu přirozených radioaktivních prvků v sedimentech

Před samotným laboratorním stanovením radioaktivity se podle platných norem vysušily vzorky sedimentů. Sušení probíhalo v sušičce na katedře geologie. Avšak při měření radioaktivity není rozdíl v hodnotách mezi suchými či mokřými vzorky, protože vlhkost je minimální. Poté se vzorky o váze 400–500 g naplnily do měřících pouzder (obr. 18) a pouzdra hermeticky uložila na dobu 3 týdnů, aby se ustálila radioaktivní rovnováha. Radioaktivita byla v laboratoři stanovena pomocí spektrometru SG–1000 LAB (obr. 17).

Obr. 17. Spektrometr SG–1000 LAB. (foto Lucie Krajsová)



Obr. 18. Měřící pouzdra. (foto Lucie Krajsová)



Na celkové gama-aktivitě fluviálních sedimentů se přirozené radioaktivní prvky uplatňují různou měrou. Proto byl proveden přepočítání stanovených koncentrací draslíku, uranu a thoria na hmotnostní aktivitu (a_m), která byla vypočtena pomocí vztahu (Štelcl, Zimák 2006):

$$a_m = 12,35eU + (1,43 \times 4,06eTh) + (0,077 \times 313K) \text{ [Bq/kg]}$$

(do nějž byly hodnoty eU a eTh dosazovány v ppm, obsahy K v hm.%).

5.2 Zrnitostní rozbory sedimentů fluviálních

Před tímto laboratorním stanovením musely být vzorky vysušeny, stejně jako před laboratorním stanovením radioaktivity. Avšak v tomto případě nám sloužilo vysušení pro snadnější postup práce při síťové metodě.

Klasifikace těchto jeskynních sedimentů je založena na jejich zrnitostním složení. Zrnitostní složení bylo stanoveno klasickou síťovou metodou za sucha, kdy byly vzorky o hmotnosti 1 kg (při vysokém podílu štěrkové frakce až 3–4 kg) prosívány přes síta s různými velikostmi ok. Byla použita tři síta, z toho jedno o velikosti ok 2 mm, druhé síto bylo pomocné s velikostí ok 0,5 mm a třetí síto s oky 0,063 mm. Pomocné síto sloužilo k zachycení hrubozrné složky, která by mohla poškodit nejjemnější síto. Poté byly jednotlivé frakce zváženy na klasických laboratorních vahách. Zjišťovalo se kvantitativní zastoupení tří základních zrnitostních frakcí:

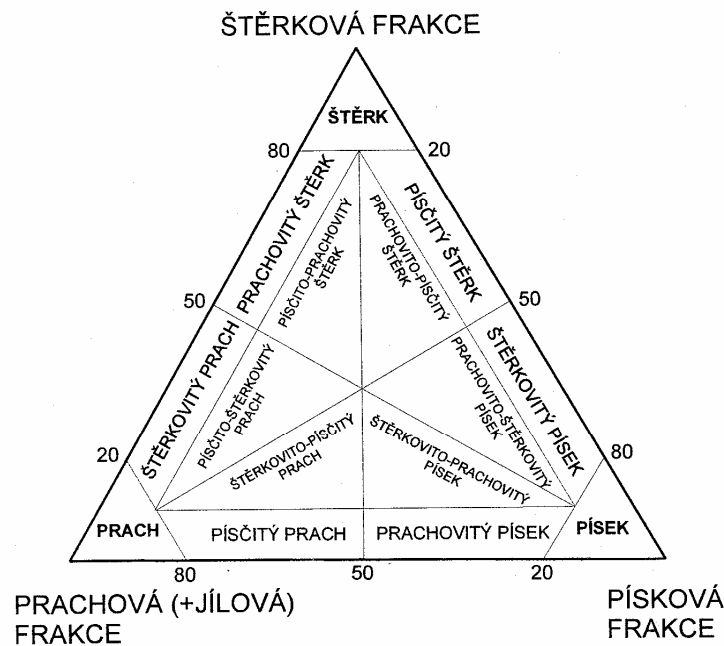
prachová (+ jílová) frakce - velikost částic pod 0,063 mm

písková frakce - 0,063 - 2 mm

štěrková frakce - úlomky nad 2 mm

Hmotnosti těchto tří frakcí byly přepočítány na procenta. Klasifikace sedimentů byla provedena pomocí modifikovaného Kontova trojkomponentního diagramu s prachovou (+ jílovou) frakcí, pískovou frakcí a štěrkovou frakcí (obr. 19).

Obr. 19. Kontův trojkomponentní diagram (Konta 1969).



Pro posouzení vztahu mezi přirozenou radioaktivitou a zrnitostním složením sedimentů bylo provedeno gamaspektrometrické stanovení K, U a Th v jednotlivých zrnitostních frakcích (pokud se z nich podařilo získat dostatečně velký vzorek – měření bylo realizovatelné jen u frakcí, jimiž bylo možno naplnit měřicí pouzdro).

5.3 Separace těžkých minerálů

K této metodě výzkumu byl použit jeden vzorek fluviálních sedimentů z jeskyně Býčí skála a druhý vzorek byl získán smícháním tří vzorků makroskopicky prakticky shodných fluviálních sedimentů ze Sloupsko-šošůvských jeskyní. Vzorky se nejprve zpracovaly klasickou síťovou metodou za sucha. Podíl, který zbyl na nejjemnější síti (velikost ok 0,063 mm) byl propláchnut vodou, aby byla odstraněna prachová složka. Ze vzorků byl na rýžovací pánvi zčásti odstraněn lehký podíl (hlavně křemen). Po vysušení vzorků byla provedena separace těžkých minerálů pomocí heteropolywolframanu sodného o hustotě $2,9 \text{ g/cm}^{-3}$. Princip spočívá v tom, že v těžké kapalině se fáze s vyšší hustotou potopí ke dnu, lehčí vyplave na hladinu a fáze se stejnou hustotou se volně vznášejí ve sloupci kapaliny. Vlastní dělení probíhalo tak, že se těžká kapalina nalila do dělicí nálevky

s filtračním papírem a na hadinu se nasypal potřebný vzorek. Vše se promíchalo a nechalo ustát. Po rozdělení směsi se nejprve do kádinky vypustí těžký podíl usazený na dně dělicí nálevky a poté se do jiné kádinky spláchne lehký podíl, který plave na hladině těžké kapaliny. Získaná těžká frakce se nechala vysušit. K detailnímu pozorování těžkých minerálů byla použita binokulární lupa a k jejich podrobnější charakteristice byla využita WDX analýza, jež byla realizována na PEMM PřF MU v Brně na elektronovém mikroskopu Cameca SX100 (analytik Š. Benadová) za těchto podmínek: napětí 15 kV, 20 nA a průměr svazku obvykle $<1\mu\text{m}$.

Zirkon: Průmět svazku $<1\mu\text{m}$, 15keV, 20nA, použité standardy:

albit A (Na), titanit (Si, Ti), zirkon (Zr), Hf (Hf), YAG (Y), sanidin (Al), fluorapatit (P), ThO_2 (Th), U (U), andradit (Fe), rhodonit (Mn), InAs modified (As), topaz (F), columbit-Ivigut (Nb), Bi (Bi), ScVO_4 (Sc), vanadinit (Cl), w (W), YbPO_4 (Yb).

Granát: Průměr svazku $<1\mu\text{m}$, 15keV, 20nA, použité standardy:

albit A (Na), almandin (Si, Fe), grossular (Al, Ca), pyrop (Mg), sanidin (K), chromit (Cr), titanit (Ti), spessartin (Mn), vanadinit (V), fluorapatit (P), YAG (Y), topaz (F).

Thorit: Průmět svazku $<1\mu\text{m}$, 15keV, 20nA, použité standardy:

brabantit (P, Ca, Th), baryt (S), LaPO_4 (La), Ce PO_4 (Ce), U (U), PbS (Pb), YAG (Y), spessartin (Si), almandin (Al), DyPO_4 (Dy), PrF_3 (Pr), NdF_3 (Nd), GdF_3 (Gd), SmF_3 (Sm), YErAG (Er), rhodonit (Mn), andradit (Fe), InAs modified (As), topaz (F), ScVO_4 (Sc), SrSO_4 (Sr).

Výsledky pak byly zpracovány v programu Formula, rozpočet sumárního Fe na Fe^{2+} a Fe^{3+} v granátech byl proveden podle stechiometrie.




6 Výsledky provedených prací

V této kapitole jsou obsaženy výsledky všech nově provedených prací, tj. laboratorního stanovení obsahu K, U a Th ve fluviálních sedimentech, studia zrnitosti těchto sedimentů a také poznatky ze studia asociace těžkých minerálů ve vybraných vzorcích.

6.1 Výsledky laboratorního měření obsahu přirozených radioaktivních prvků

Pro posouzení přirozené radioaktivity sedimentů byly vytvořeny tabulky s hodnotami obsahů draslíku, uranu a thoria i jejich průměry. Pro lepší vyhodnocení výsledků byly vytvořeny grafické podoby uvedených tabulek.

V tab. 1 až 14 jsou barevně odlišeny fluviální sedimenty na třech geologicky rozdílných podložích:

	kulmské sedimenty
	vápence Mor. krasu
	brněnský masív

6.1.1 Sloupsko-šošůvské jeskyně

Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) dvanácti vzorků fluviálních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní jsou uvedeny v tab. 1. Z výsledných hodnot jsou stanoveny průměrné obsahy radioaktivních prvků a jejich hmotnostní aktivity (tab. 2).

Tab. 1. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluviálních sedimentů ze Sloupsko-šošůvských jeskyní.

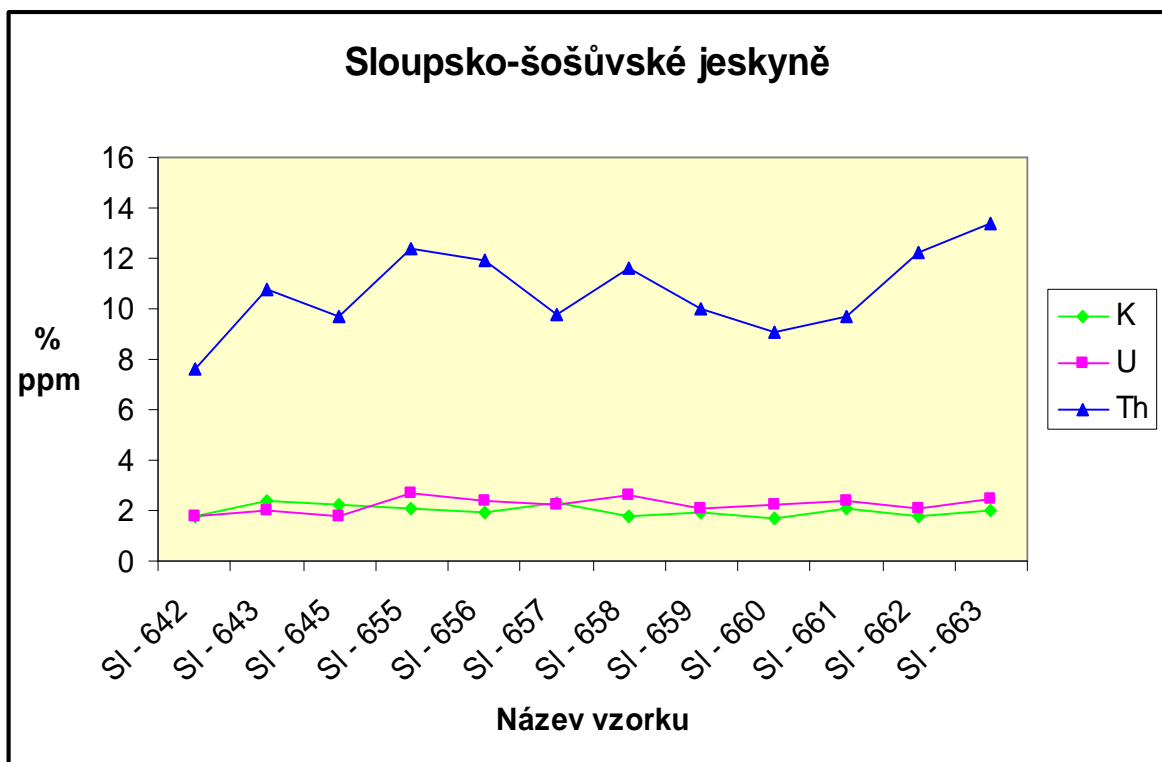
Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a_m [Bq/kg]
SI - 642	1,8	1,8	7,6	110
SI - 643	2,4	2,0	10,8	145
SI - 645	2,2	1,8	9,7	132
SI - 655	2,1	2,7	12,4	156
SI - 656	1,9	2,4	11,9	145
SI - 657	2,3	2,2	9,8	139
SI - 658	1,8	2,6	11,6	143
SI - 659	1,9	2,1	10,0	130
SI - 660	1,7	2,2	9,1	121
SI - 661	2,1	2,4	9,7	137
SI - 662	1,8	2,1	12,2	140
SI - 663	2,0	2,5	13,4	157

Tab. 2. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 1.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a_m [Bq/kg]
SI - 642 - 663	2,0	2,2	10,7	138

Z grafu na obr. 20 vyjadřujícího obsahy draslíku, uranu a thoria ve Sloupsko-šošůvských jeskyních můžeme vidět, že fluviální sedimenty mají nejvyšší hodnoty obsahu draslíku s rozpětím 1,7–2,4%. Obsahy draslíku, uranu a thoria odpovídají klarkovým hodnotám (K 2,5 hm.%, Th 8–12 ppm, U 2–4 ppm – viz např. Bouška et al. 1980).

Obr. 20. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm.%), uranu (ppm) a thoria (ppm) ve fluviálních sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní.



6.1.2 Punkevní jeskyně

Gamaspektrometricky stanovené obsahy K, U a Th fluviálních sedimentů Punkevních jeskyní jsou uvedeny v tab. 3. Přepočtem koncentrací K, U a Th byly získány hodnoty hmotnostní aktivity (a_m). Tab. 4 obsahuje průměrné hodnoty přirozených radioaktivních prvků a jejich hmotnostní aktivity.

Tab. 3. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluviálních sedimentů z Punkevní jeskyně.

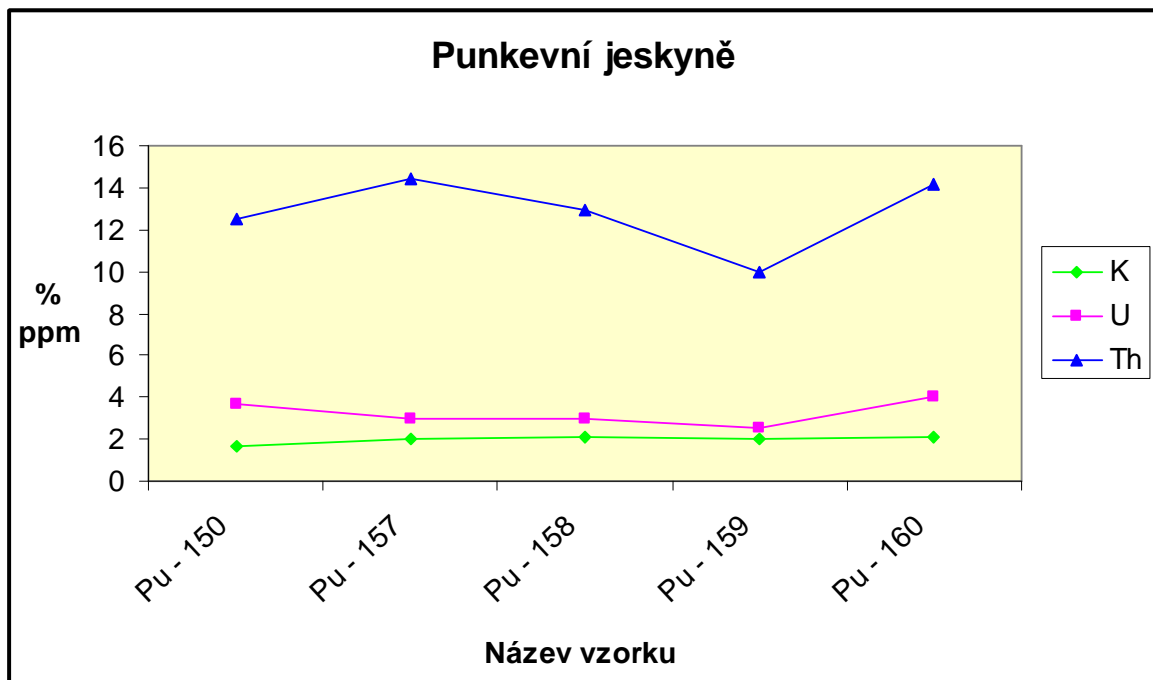
Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a_m [Bq/kg]
Pu - 150	1,7	3,7	12,5	159
Pu - 157	2,0	3,0	14,4	169
Pu - 158	2,1	3,0	12,9	163
Pu - 159	2,0	2,5	10,0	137
Pu - 160	2,1	4,0	14,2	182

Tab. 4. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 3.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a_m [Bq/kg]
Pu - 150 - 160	2,0	3,2	12,8	162

Obr. 21 vyjadřuje obsahy draslíku, uranu a thoria ve fluviálních sedimentech Punkevních jeskyní. V porovnání s hodnotami sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní můžeme hodnotit fluviální sedimenty Punkevních jeskyní jako sedimenty se zvýšenými hodnotami uranu (rozpětí 2,5–4 ppm) i thoria (rozpětí 10,0–4,4 ppm).

Obr. 21. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm.%), uranu (ppm) a thoria (ppm) v Punkevních jeskyních.



6.1.3 Jeskyně Býčí skála a Jedovnický potok

Naměřené hodnoty přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) ve fluviálních sedimentech jeskyně Býčí skála a Jedovnického potoka (tab. 5) jsou rozlišeny dle rozdílného podloží (kulmské sedimenty a vápence Moravského krasu). Stejně tak je i v případě tab. 6 s průměrnými hodnotami naměřených prvků a s jejich hmotnostní aktivitou.

Tab. 5. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluvialních sedimentů z Jedovnického potoka a jeskyně Býčí skála.

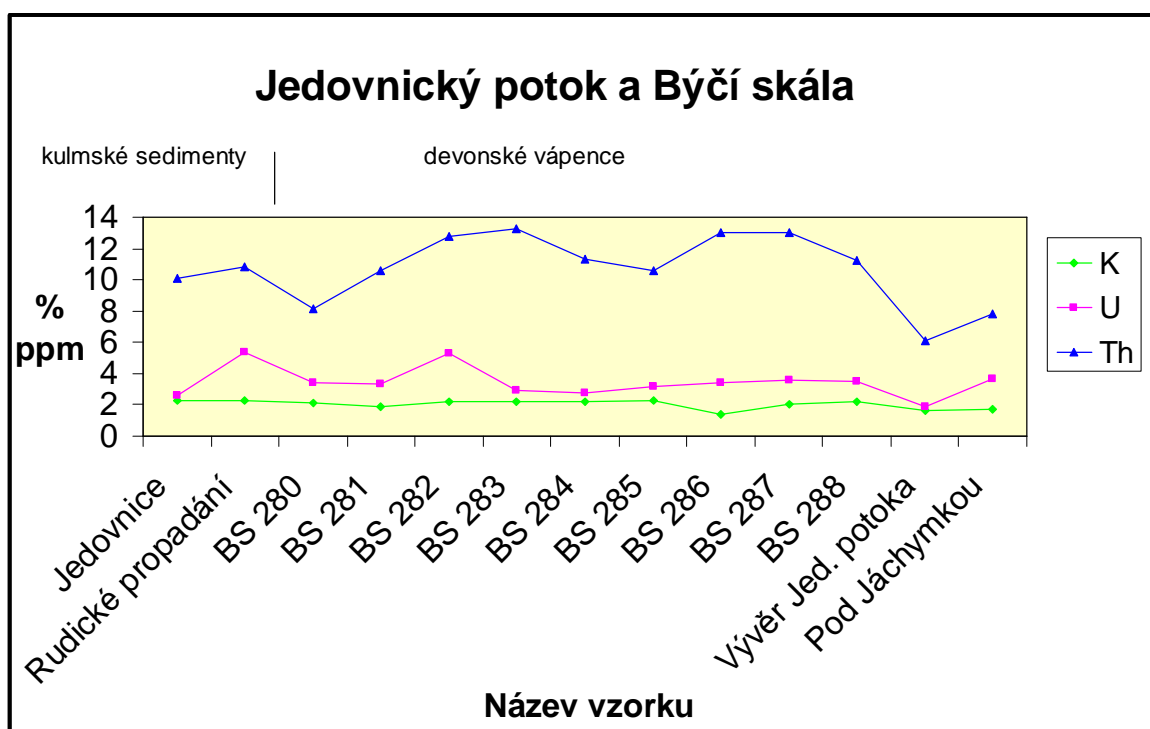
Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Jedovnice	2,3	2,6	10,1	146
Rudické propadání	2,3	5,4	10,8	185
BS - 280	2,1	3,4	8,1	140
BS - 281	1,9	3,3	10,6	148
BS - 282	2,2	5,3	12,8	193
BS - 283	2,2	2,9	13,3	166
BS - 284	2,2	2,8	11,3	153
BS - 285	2,3	3,2	10,6	156
BS - 286	1,4	3,4	13,0	151
BS - 287	2,0	3,6	13,0	168
BS - 288	2,2	3,5	11,2	161
Vývěr Jed. potoka	1,6	1,9	6,1	97
Pod Jáchymkou	1,7	3,7	7,8	132

Tab. 6. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 5.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Jedovnice + Rud. propadání	2,3	4,0	10,5	166
BS - 280 - 288, Vývěr Jed. potoka + Pod Jáchymkou	2,0	3,4	10,7	151

Profil fluviálními sedimenty Jedovnického potoka začíná v území budovaném kulmskými sedimenty. Hodnoty uranu a thoria jsou vyšší než v místě Rudického propadání, kde vstupuje vodní tok na krasové území. Relativně zvýšené hodnoty thoria (rozpětí 2,8– 5,3 ppm) jsou i v případě jeskyně Býčí skála (obr. 22).

Obr. 22. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm.%), uranu (ppm) a thoria (ppm) v Jedovnickém potoce a jeskyni Býčí skála.



6.1.4 Holštejnská jeskyně

Výsledky obsahů draslíku, uranu, thoria a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) ve fluviálních sedimentech Holštejnské jeskyně jsou uvedeny v tab. 7. Pro lepší porovnání hodnot je vytvořena tab. 8 s průměrnými hodnotami uvedených prvků a jejich hmotnostní aktivitou.

Tab. 7. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluviálních sedimentů z Holštejnské jeskyně.

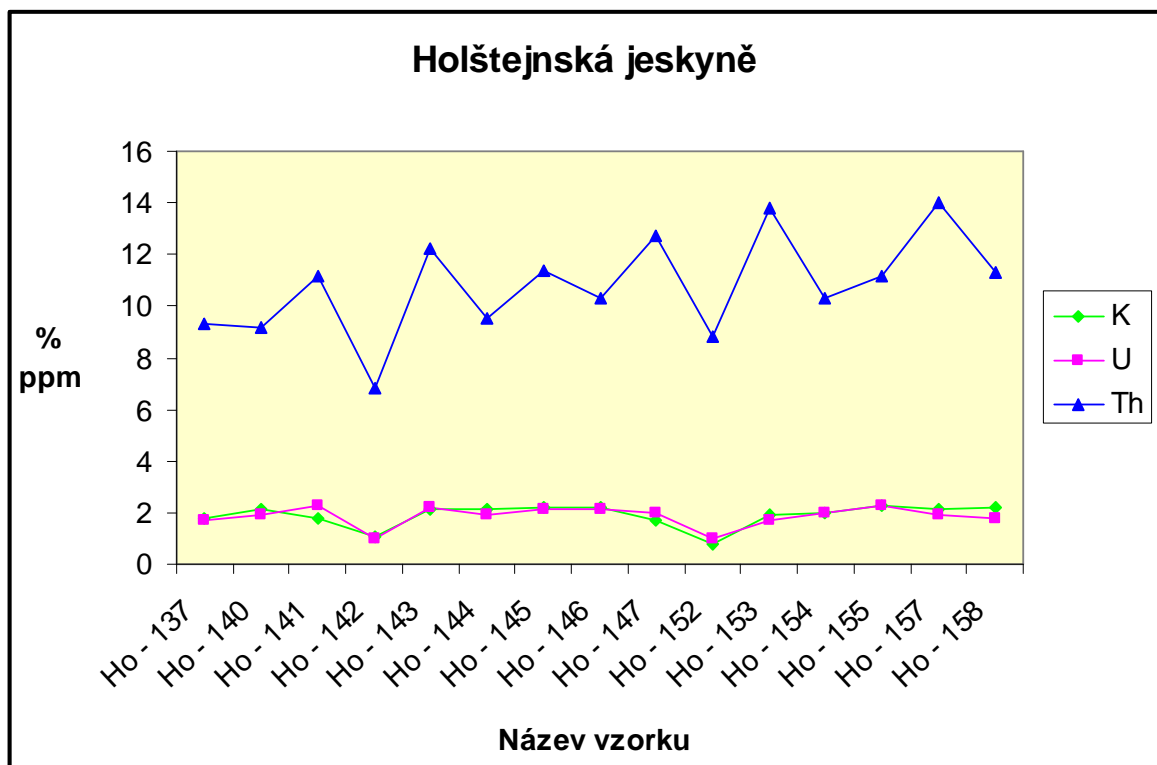
Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Ho - 137	1,8	1,7	9,3	118
Ho - 140	2,1	1,9	9,2	127
Ho - 141	1,8	2,3	11,2	137
Ho - 142	1,1	<1,5	6,8	<85
Ho - 143	2,1	2,2	12,2	149
Ho - 144	2,1	1,9	9,5	129
Ho - 145	2,2	2,1	11,4	145
Ho - 146	2,2	2,1	10,3	139
Ho - 147	1,7	2,0	12,7	139
Ho - 152	0,8	<1,5	8,8	<89
Ho - 153	1,9	1,7	13,8	147
Ho - 154	2,0	2,0	10,3	133
Ho - 155	2,3	2,3	11,2	149
Ho - 157	2,1	1,9	14,0	155
Ho - 158	2,2	1,8	11,3	141

Tab. 8. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 7.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Ho - 137 - 158	1,9	2,0	10,8	132

Z grafu, vyjadřujícího obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) ve fluviálních sedimentech Holštejnské jeskyně je zřejmá pozitivní korelace mezi K a eU. V porovnání s ostatními jeskynnými fluviálními sedimenty můžeme v případě fluviálních sedimentů Holštejnské jeskyně hovořit o mírně zvýšených hodnotách thoria.

Obr. 23. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm.%), uranu (ppm) a thoria (ppm) v Holštejnské jeskyni.



6.1.5 Ochozská jeskyně

Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) 15 vzorků fluviálních sedimentů Ochozské jeskyně jsou uvedeny v tab. 9. Z výsledných hodnot jsou stanoveny průměrné obsahy radioaktivních prvků a jejich hmotnostní aktivita (tab. 10).

Tab. 9. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluviálních sedimentů z Ochozské jeskyně.

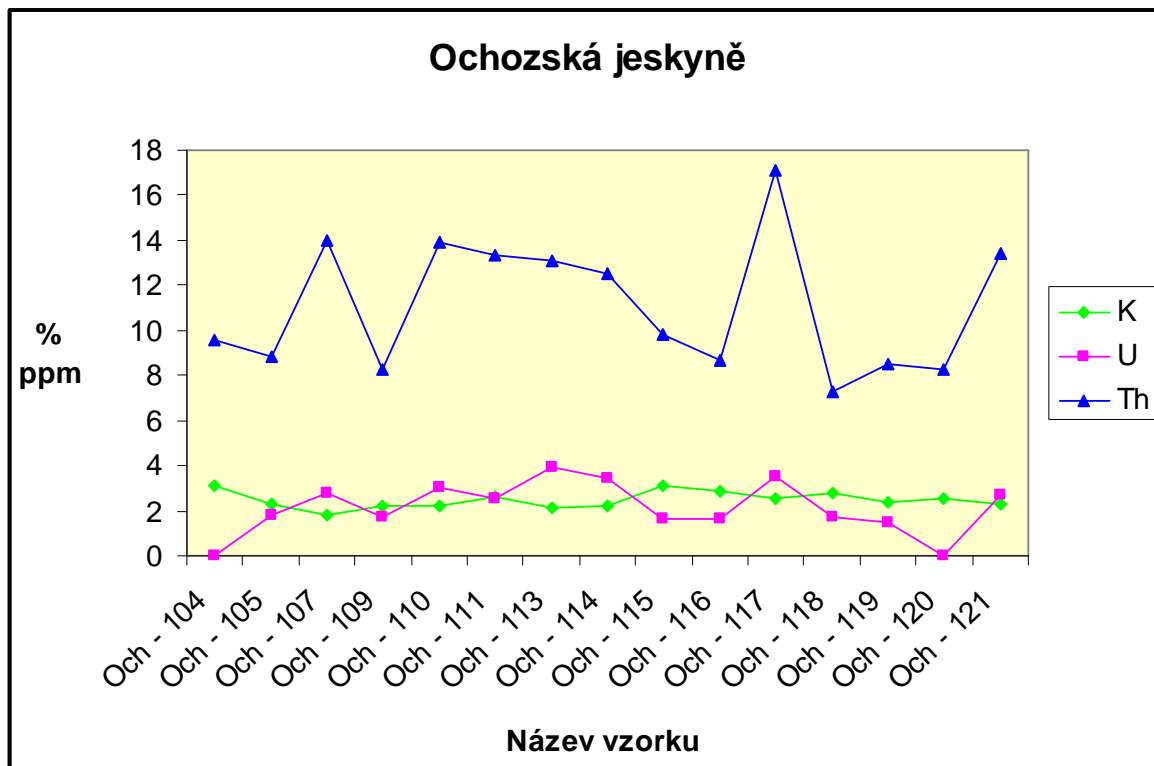
Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Och - 104	3,1	<1,5	9,6	<149
Och - 105	2,3	1,8	8,8	129
Och - 107	1,8	2,8	14,0	159
Och - 109	2,2	1,7	8,3	122
Och - 110	2,2	3,0	13,9	171
Och - 111	2,6	2,5	13,3	171
Och - 113	2,1	3,9	13,1	175
Och - 114	2,2	3,4	12,5	168
Och - 115	3,1	1,6	9,8	151
Och - 116	2,9	1,6	8,7	140
Och - 117	2,5	3,5	17,1	203
Och - 118	2,8	1,7	7,3	131
Och - 119	2,4	1,5	8,5	126
Och - 120	2,5	<1,5	8,3	<127
Och - 121	2,3	2,7	13,4	167

Tab. 10. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 9.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Och - 104 - 121	2,5	2,4	11,1	153

Fluviální sedimenty Ochozské jeskyně vykazují velmi rozdílné hodnoty přirozeně radioaktivních prvků, jak můžeme vidět na obr. 24. Obsahy draslíku dosahují až 3,1 hm.%, v některých vzorcích jsou výrazně zvýšené obsahy thoria (rozpětí 7,3–17,1 ppm).

Obr. 24. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm.%), uranu (ppm) a thoria (ppm) v Ochozské jeskyni.



6.1.6 Luha - Sloupský potok a Punkva

Naměřené hodnoty přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) ve fluviálních sedimentech toků Luhy - Sloupského potoka a Punkvy (tab. 11) jsou odlišeny dle rozdílného podloží (kulmské sedimenty, vápence Moravského krasu a granitoidy brněnského masívu). Stejně tak je i v případě tab. 12 s průměrnými hodnotami naměřených prvků a hmotnostní aktivitou.

Tab. 11. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluvialních sedimentů z toků Luhy a Punky.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Luha 1	2,1	2,3	6,2	115
Luha 2	2,2	2,8	6,1	123
Luha 3	2,1	2,9	7,4	129
Luha 4	2,1	3	7	128
Luha 6	2	2,2	7,2	117
Punkva 7	2,2	1,6	6,5	111
Punkva 8	2	2	5,8	107
Punkva 9	2,1	2,1	5,8	110
Punkva 10	2	1,7	4	92

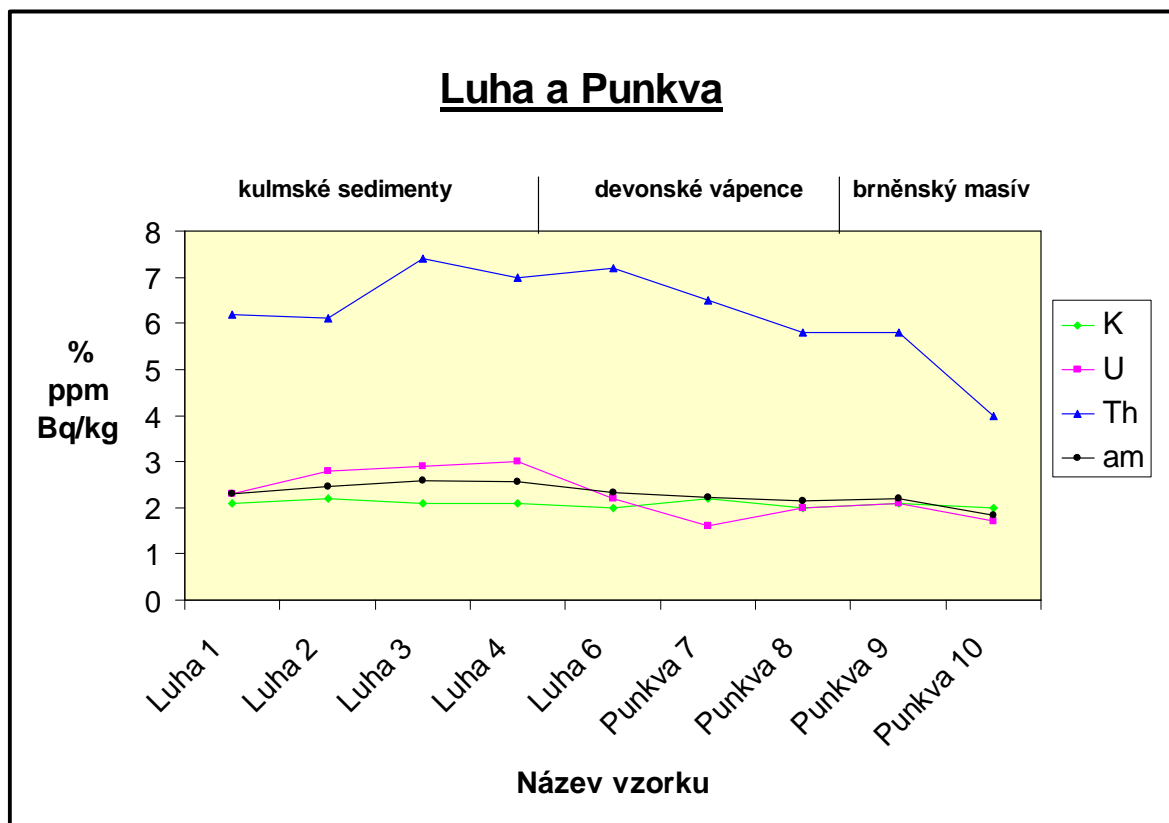
Tab. 12. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 11.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a _m [Bq/kg]
Luha 1-4	2,1	2,8	6,7	124
Luha 6 + Punkva 7 a 8	2,1	1,9	6,5	111
Punkva 9 a 10	2,1	1,9	4,9	101

Povodí Luhy a Sloupského potoka budují převážně kulmské horniny. Při vstupu Luhy a Sloupského potoka na území budované devonskými vápenci obsahy U mírně klesají (viz obr. 25).

Podloží Punkvy je tvořené hlavně devonskými vápenci, můžeme tedy sledovat nižší hodnoty uranu a thoria oproti toku Luhy. V závěru profilu toku Punkvy dochází ještě k mírnému poklesu thoria vlivem granitoidů brněnského masívu (obr. 25). Při porovnání s naměřenými hodnotami Štelcla a Zimáka (2006) se v závěru profilu Punkvy obsahy všech tří prvků zvyšují. Hmotnostní aktivita sedimentů Luhy a Punkvy je v různých úsecích toku víceméně shodná (viz obr. 25).

Obr. 25. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm.%), uranu (ppm), thoria (ppm) a hmotnostní aktivity (Bq/kg) v tocích Luhy a Punkvy. Vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity jsou upraveny (vyděleny číslem 50).



6.1.7 Bílá voda

Gamaspektrometricky stanovené obsahy K, U a Th fluviálních sedimentů Bílé vody jsou uvedeny v tab. 13. Přepočtem koncentrací uvedených prvků byly získány hodnoty hmotnostní aktivity (a_m). Tab. 14 obsahuje průměrné hodnoty přirozených radioaktivních prvků a jejich hmotnostní aktivity.

Tab. 13. Výsledky laboratorní gamaspektrometrie fluviálních sedimentů z toku Bílé vody.

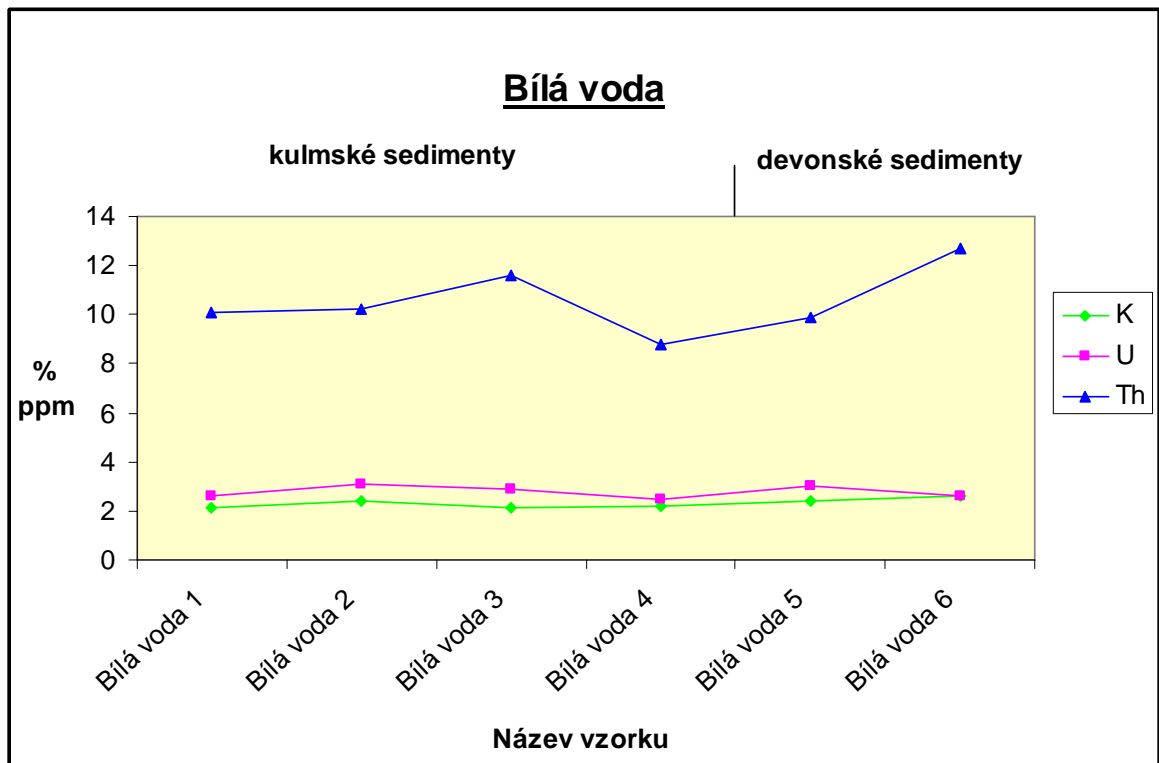
Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a_m [Bq/kg]
Bílá voda 1	2,1	2,6	10,1	141
Bílá voda 2	2,4	3,1	10,2	155
Bílá voda 3	2,1	2,9	11,6	154
Bílá voda 4	2,2	2,5	8,8	135
Bílá voda 5	2,4	3,0	9,9	152
Bílá voda 6	2,6	2,6	12,7	169

Tab. 14. Průměrné hodnoty laboratorní gamaspektrometrie z tab. 13.

Název vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	a_m [Bq/kg]
Bílá voda 1 - 4	2,2	2,8	10,2	146
Bílá voda 5 a 6	2,5	2,8	11,3	160

Materiál pocházející z kulmu je hlavní složkou fluviálních sedimentů Bílé vody. V krátkém úseku vstupuje Bílá voda na krasové území a ke konci dochází k mírnému zvýšení obsahu thoria (obr. 26). Obsahy draslíku, uranu a thoria odpovídají klarkovým hodnotám (K 2,5 hm. %, Th 8–12 ppm, U 2–4 ppm – viz např. Bouška et al. 1980).

Obr. 26. Spojnicový graf vyjadřující obsahy draslíku (hm%), uranu (ppm) a thoria (ppm) v tocích Luhy a Punkvy.



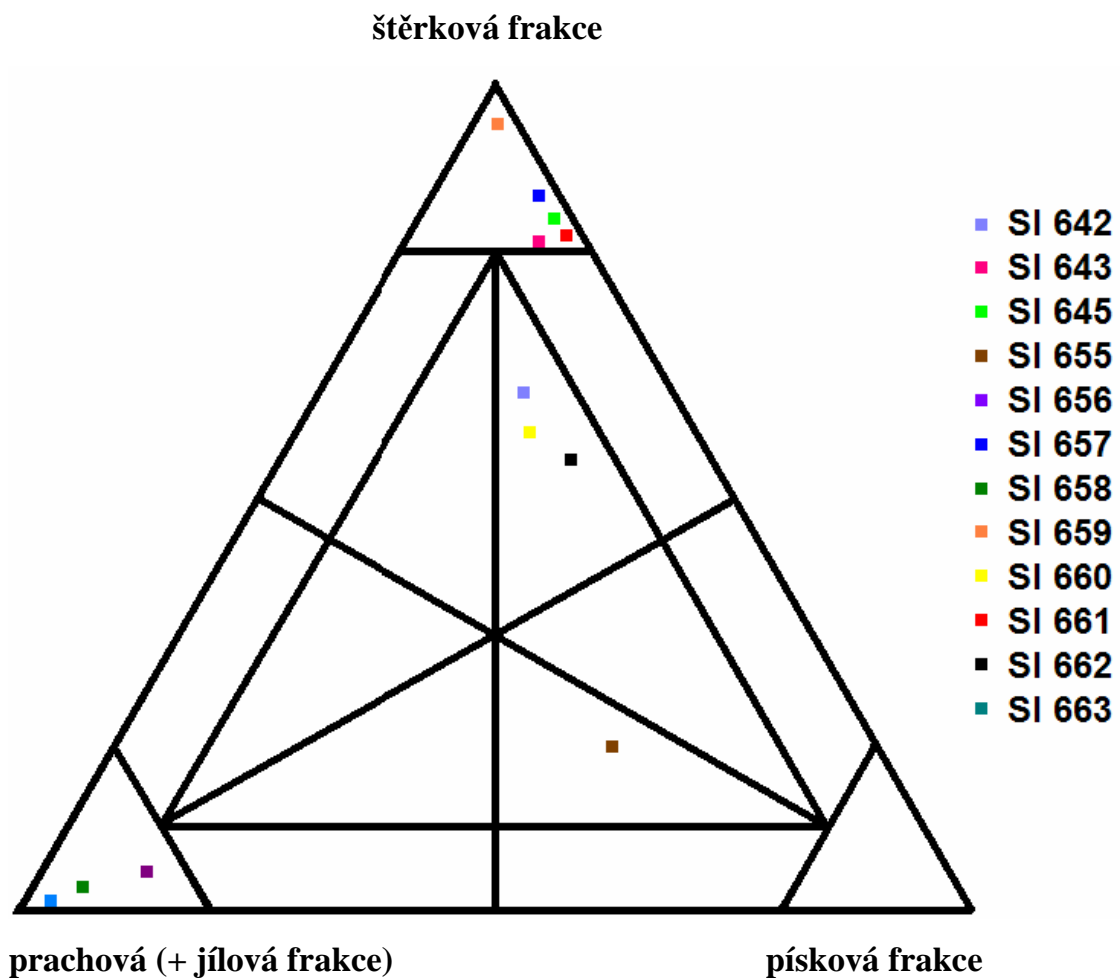
6.2 Zrnitostní rozbory fluviálních sedimentů

Zrnitostní složení fluviálních sedimentů se v této kapitole vyjádřeno pomocí trojkomponentních diagramů (podle Konty 1969). Z diagramů je zřejmé, že body vyjadřující složení fluviální sedimenty leží spíše při okraji diagramů v řadě prach a jíl – písek – štěrk a že jde tedy o sedimenty velmi dobře zrnitostně vytříděné; v menší míře jsou přítomny polystrukturní sedimenty, které zaujímají vnitřní část klasifikačního diagramu.

6.2.1 Sloupsko-šošůvské jeskyně

Studované fluviální sedimenty Sloupsko-šošůvských jeskyní zrnitostně odpovídají štěrku, nebo sedimentům s převahou prachové a jílové frakce (obr. 27), zastoupeny jsou i polystrukturní sedimenty (hlavně prachovito-písčité štěrky).

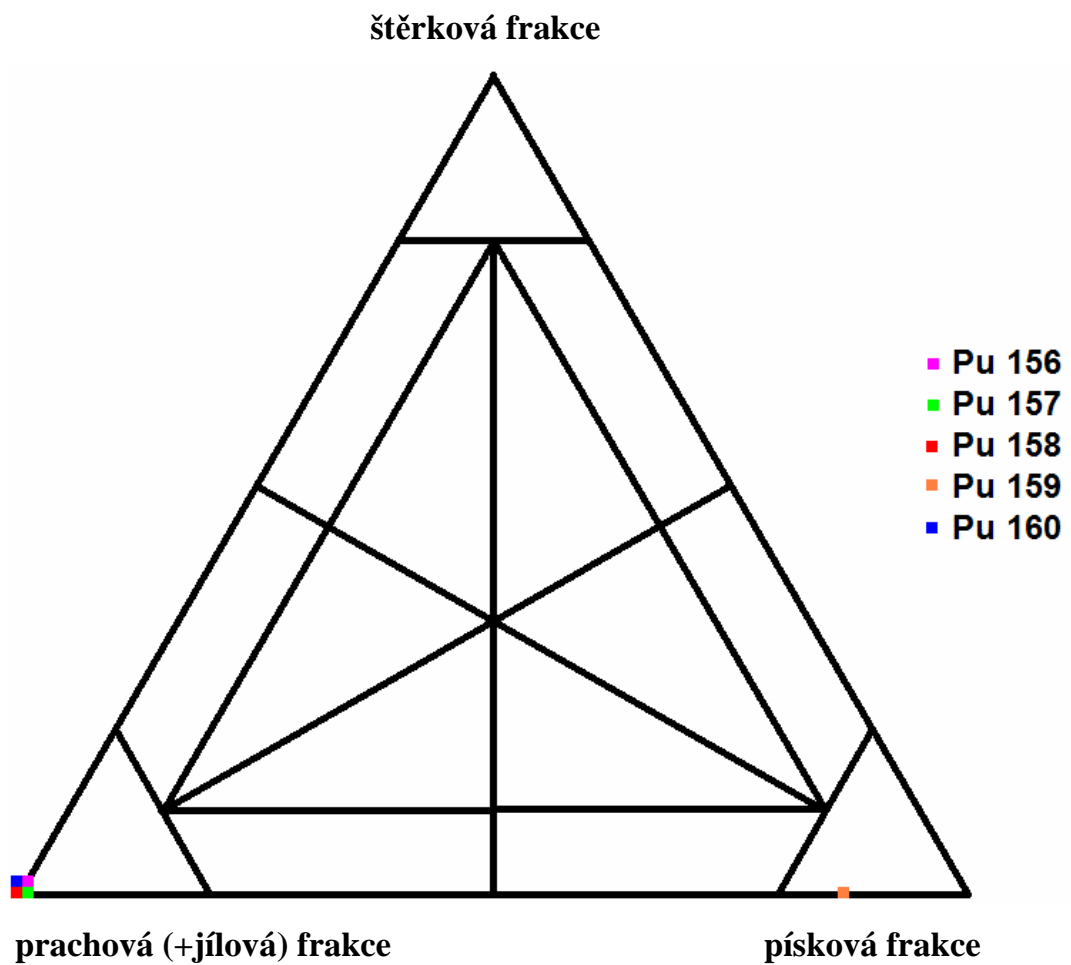
Obr. 27. Diagram zrnitostního složení fluviálních sedimentů ze Sloupsko-šošůvských jeskyní.



6.2.2 Punkevní jeskyně

Ve studovaném souboru pěti vzorků fluviálních sedimentů z Punkevních jeskyní chybí klasty nad 2 mm (obr. 28). Ve čtyřech vzorcích sedimentů dominuje frakce prachová (a jílová), pátý vzorek zrnitostně odpovídá písku.

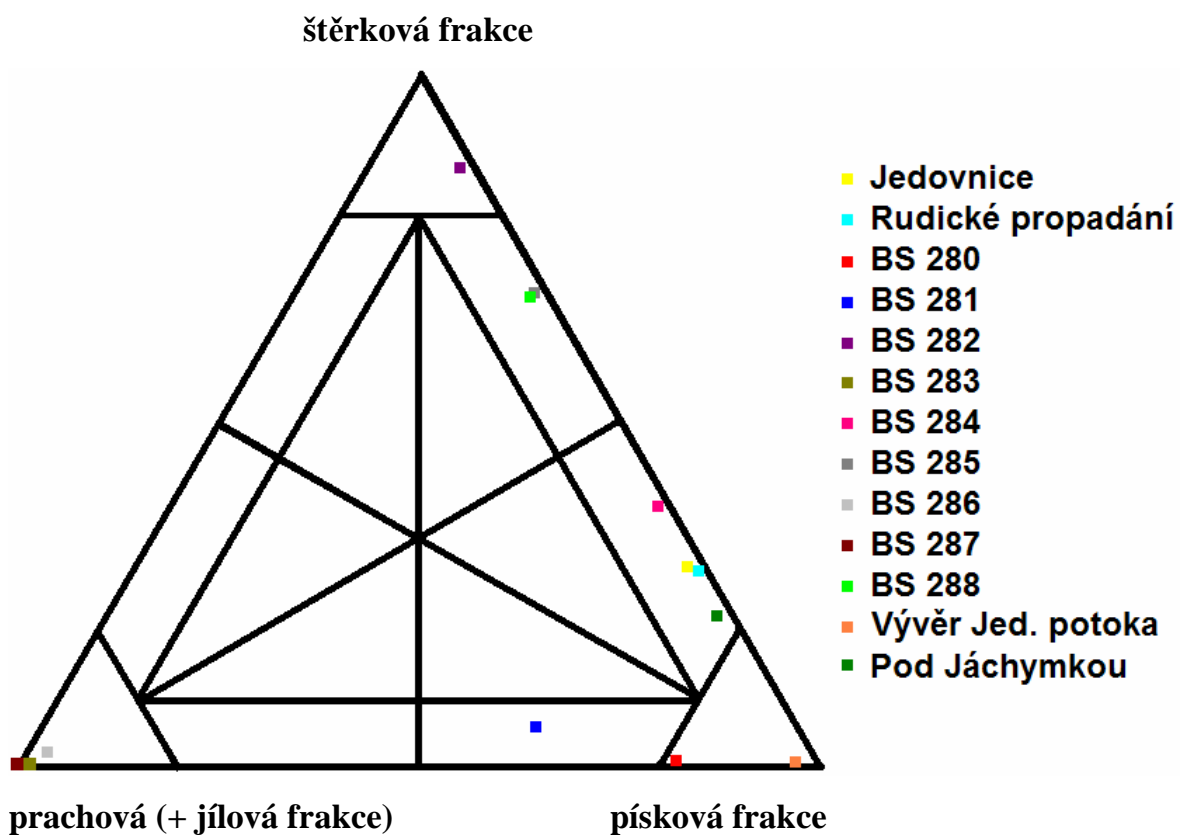
Obr. 28. Diagram zrnitostního složení fluviálních sedimentů z Punkevních jeskyní.



6.2.3 Jeskyně Býčí skála a Jedovnický potok

Fluviální sedimenty jeskyně Býčí skála (obr. 29) jsou velmi dobře zrnitostně vytříděny. Ve studovaném souboru vzorků převládají sedimenty s převahou pískové frakce nad dvěma ostatními (viz obr. 29). Fluviální sedimenty povrchového toku Jedovnického potoka (čtyři studované vzorky) zrnitostně odpovídají štěrkovitému písku a písku.

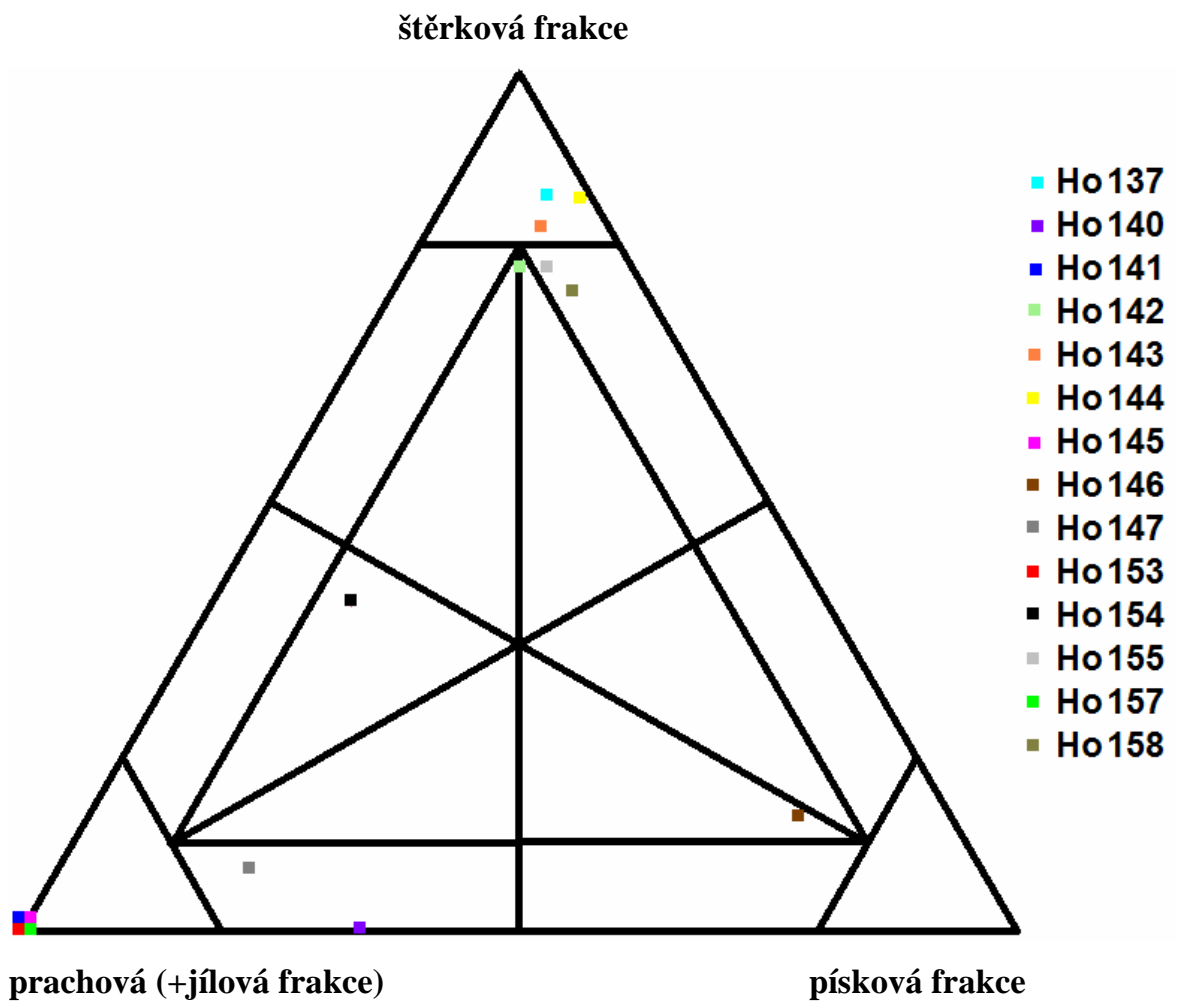
Obr. 29. Diagram zrnitostního složení fluviálních sedimentů z jeskyně Býčí skála a Jedovnického potoka.



6.2.4 Holštejnská jeskyně

Zrnitostní složení studovaných vzorků Holštejnské jeskyně vyjadřuje obr. 30, z něž je zřejmé, že tyto sedimenty zrnitostně odpovídají prachu, šterku, písčitému šterku a písčitému prachu, v malé míře jsou přítomny polystrukturní sedimenty.

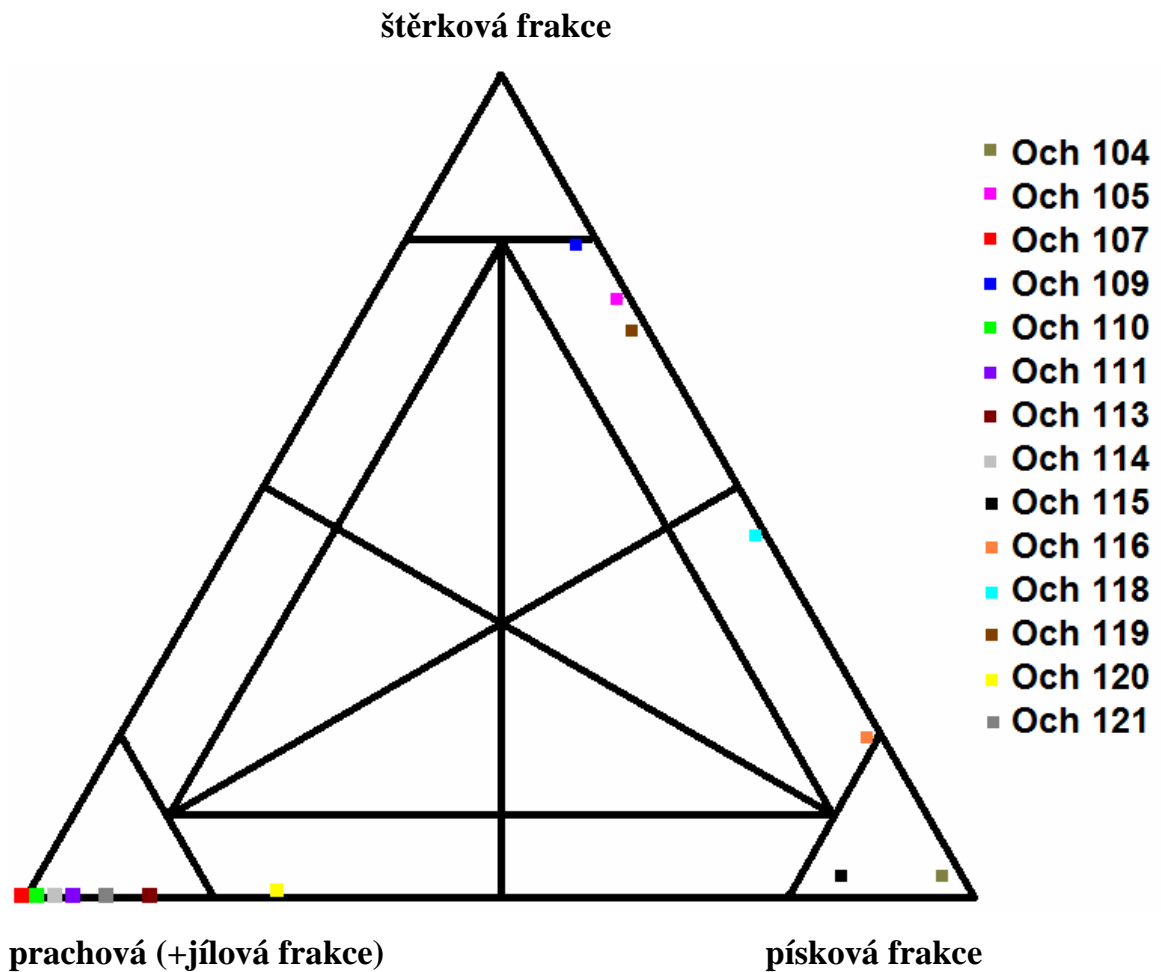
Obr. 30. Diagram zrnitostního složení fluvialních sedimentů Holštejnské jeskyně.



6.2.5 Ochozská jeskyně

V Ochozské jeskyni jsou výrazně zastoupeny fluvialní sedimenty s převahou prachové (+ jílové) frakce a též sedimenty řady písek – štěrk (obr. 31).

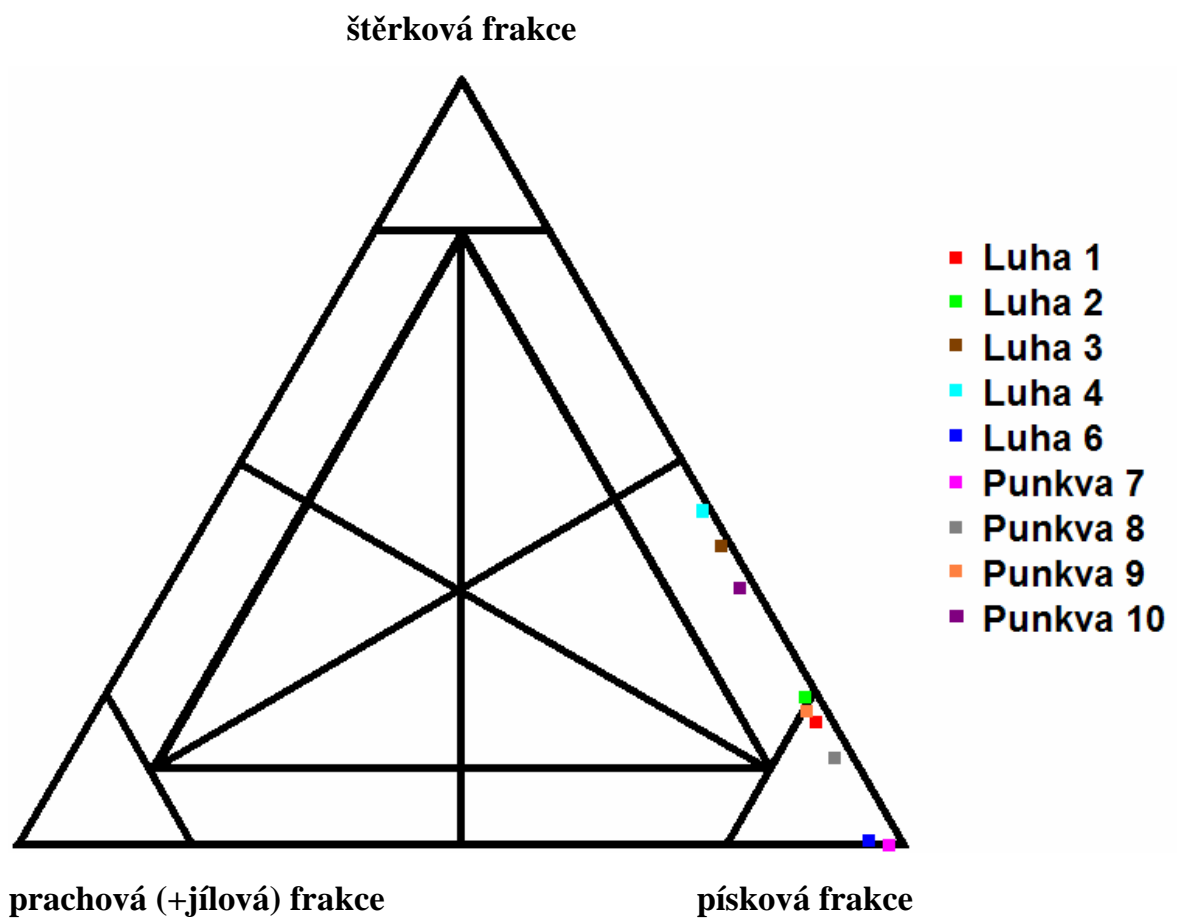
Obr. 31. Diagram zrnitostního složení fluvialních sedimentů Ochozské jeskyně.



6.2.6 Luha-Sloupský potok a Punkva

Složení fluvialních sedimentů Luhy-Sloupského potoka a Punkvy dle obr. 32 odpovídá písku a štěrkovitému písku. Ve vzorcích je jen málo zastoupena frakce pod 0,063 mm.

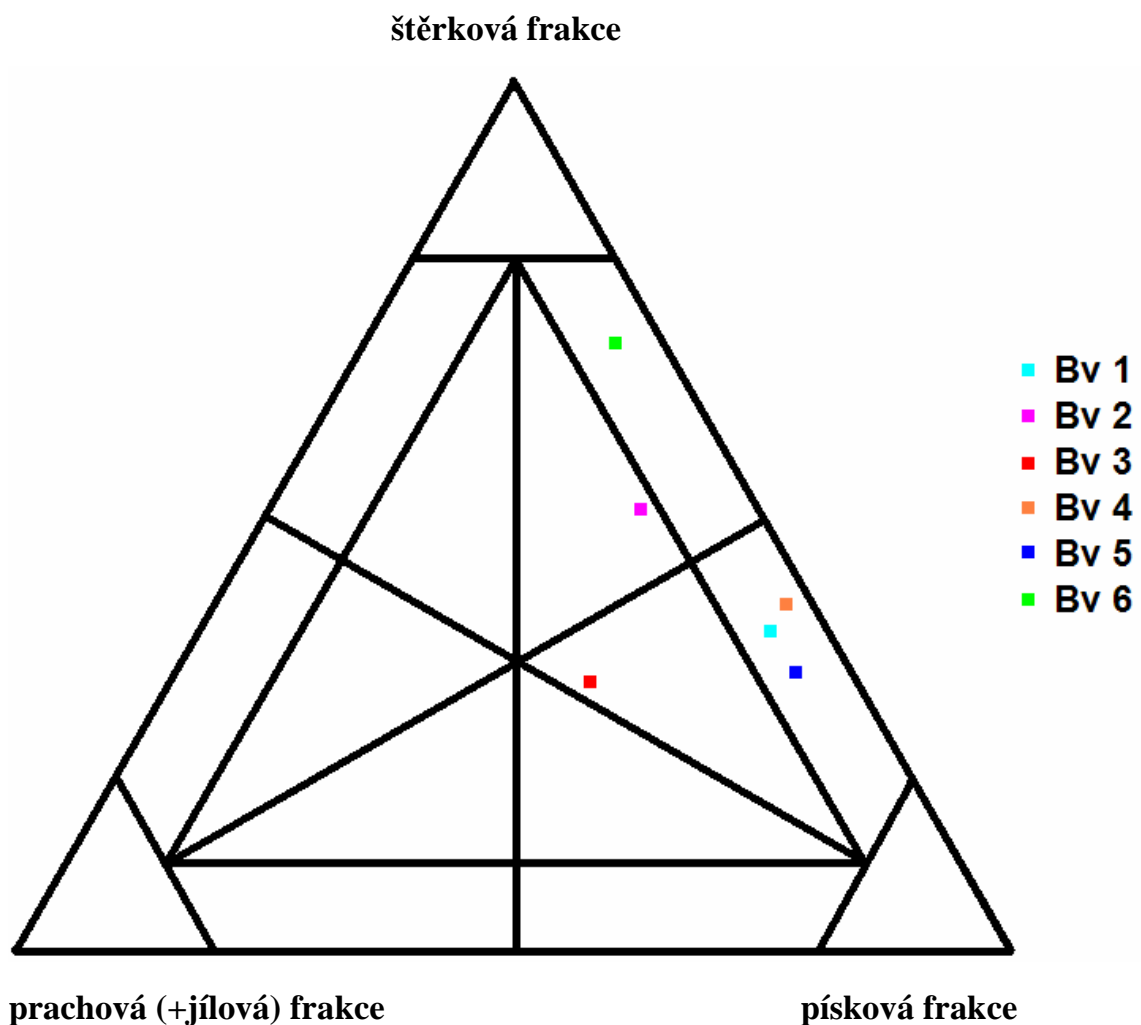
Obr. 32. Diagram zrnitostního složení fluvialních sedimentů Luhy-Sloupského potoka a Punkvy.



6.2.7 Bílá voda

Zrnitostní složení fluvialních sedimentů Bílé vody vyjadřuje obr. 33. Složení fluvialních sedimentů odpovídá převážně štěrkovitému písku (3 vzorky). Ostatní vzorky klasifikačně odpovídají písčitému štěrku, prachovito-písčitému štěrku a štěrkovito-prachovitému písku.

Obr. 33. Diagram zrnitostního složení fluvialních sedimentů Bílé vody.



6.3 Analýza těžkých minerálů

Z analýz těžkých minerálů je zřejmé, že ve studovaných fluviálních sedimentech jeskyně Býčí skála a Sloupsko-šošůvských jeskyní se vyskytují asociace s převahou granátu a zirkonu a též opakních minerálů. Na obou lokalitách převažuje červený granát (obr. 34) s průměrnou velikostí zrn 0,15 mm a také automorfně omezený bezbarvý zirkon (obr. 34, 35) s průměrnou velikostí 0,2 mm. Ve fluviálních sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní byl v asociaci těžkých minerálů nově zjištěn thorit. Chemismus granátu, zirkonu a thoritu byl studován metodou WDX – výsledky analýz jsou uvedeny v tab. 15 až 17. Opakní minerály jsou zastoupeny hlavně hojným magnetitem, jenž je zpravidla silně postižen maritizací (tj. přeměnou na hematit) – viz obr. 35 a 36.

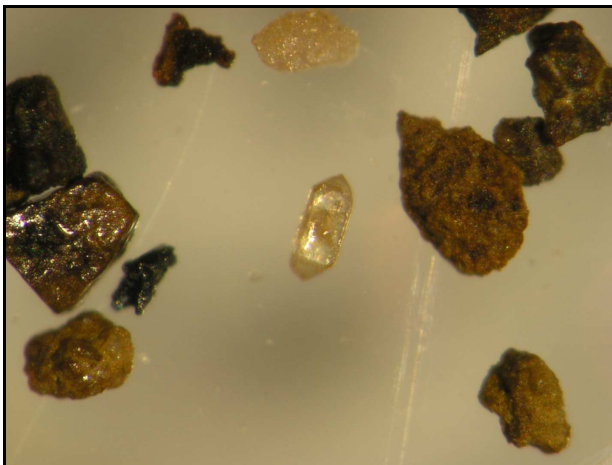
Tab. 15. Chemické složení zirkonů pocházejících z fluviálních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní a jeskyně Býčí skála (výsledky WDX analýz uvedeny v hm.%, počty kationů přepočteny na bázi 4 atomy kyslíku).

ZIRKONY	1 / 1 - SI	2 / 1 - SI	7 / 1 - BS	8 / 1 - BS	12 / 1 - SI
SiO ₂	32,08	32,44	31,27	31,76	32,09
ZrO ₂	65,50	66,00	64,49	64,21	65,60
HfO ₂	0,80	1,55	1,49	1,65	1,17
Y ₂ O ₃	0,05	0,01	0,00	0,05	0,02
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,04	0,06	0,06
CaO	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
ThO ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
UO ₂	0,05	0,03	0,06	0,11	0,00
FeO	0,03	0,02	0,00	0,05	0,00
As ₂ O ₅	0,01	0,03	0,05	0,03	0,04
F	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
TiO ₂	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Bi ₂ O ₃	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
Sc ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cl	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
WO ₃	0,08	0,08	0,04	0,03	0,00
Yb ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00

Celkem	98,74	100,27	97,48	97,98	99,01
Si⁴⁺	0,996	0,995	0,988	0,997	0,995
Zr⁴⁺	0,991	0,987	0,994	0,983	0,991
Hf⁴⁺	0,007	0,014	0,013	0,015	0,010
Y³⁺	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Al³⁺	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
P⁵⁺	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
U⁴⁺	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe²⁺	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
As⁵⁺	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Cl⁻	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
W⁶⁺	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000

Obr. 34. Fotografie automorfně omezeného bezbarvého zirkonu (velikost 0,18 mm) a červeného granátu (velikost 0,13 mm) pozorovaných binokulární lupou.

(foto Lucie Krajsová)



Tab. 16. Chemické složení thoritu pocházejícího z fluvialních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní (výsledky WDX analýz uvedeny v hm.%, počty kationů přepočteny na bázi 4 atomy kyslíku).

THORIT	6 / 1 - SI
SiO ₂	10,47
ZrO ₂	2,98
Y ₂ O ₃	1,48
Al ₂ O ₃	0,47
P ₂ O ₅	6,18
CaO	2,73
ThO ₂	63,13
UO ₂	2,05
FeO	2,77
MnO	0,02
TiO ₂	0,07
Bi ₂ O ₃	0,16
Sc ₂ O ₃	0,05
WO ₃	0,02
Yb ₂ O ₃	0,09
SO ₂	0,02
La ₂ O ₃	0,13
PbO	0,05
S ₂ O	0,02
Dy ₂ O ₃	0,26
Pr ₂ O ₃	0,03
Nd ₂ O ₃	0,48
Gd ₂ O ₃	0,21
Sm ₂ O ₃	0,10
Er ₂ O ₃	0,11
F	0,14
O=F	-0,06
Celkem	94,16

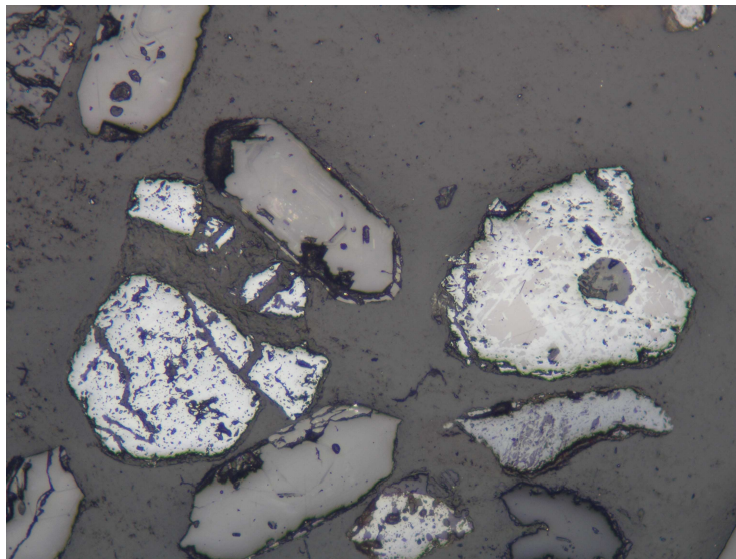
Si ⁴⁺	0,558
Zr ⁺	0,077
Y ³⁺	0,042
Al ³⁺	0,030
P ⁵⁺	0,279
Ca ²⁺	0,156
Th ⁴⁺	0,765
U ⁴⁺	0,024
Fe ²⁺	0,123
Mn ²⁺	0,001
Ti ⁴⁺	0,003
Bi ³⁺	0,002
Sc ³⁺	0,002
Yb ³⁺	0,001
S ⁴⁺	0,001
La ³⁺	0,003
Pb ²⁺	0,001
Si ²⁺	0,001
Dy ³⁺	0,004
Pr ³⁺	0,001
Nd ³⁺	0,009
Gd ³⁺	0,004
Sm ³⁺	0,002
Er ³⁺	0,002
F ⁻	0,024
O ²⁻	3,976

Tab. 17. Chemické složení granátů pocházejících z fluvialních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní a jeskyně Býčí skála (výsledky WDX analýz uvedeny v hm.%, počty kationů přepočteny na bázi 12 atomů kyslíku).

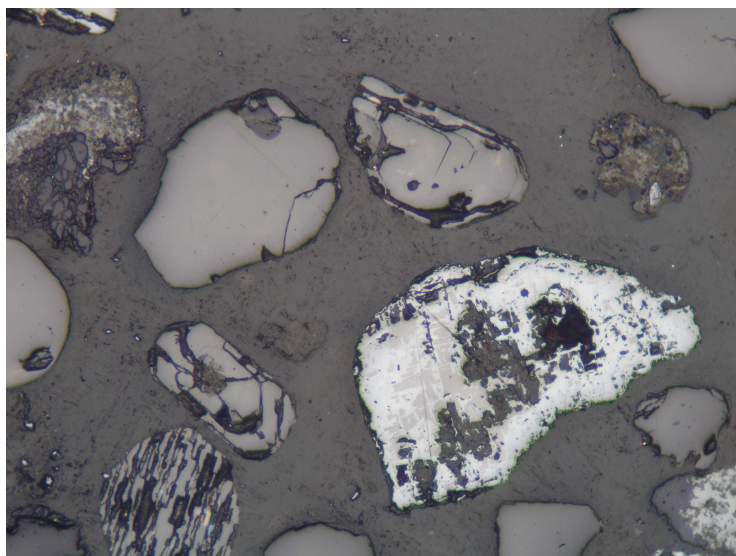
GRANÁTY	3 / 1 - SI	4 / 1 - SI	9 / 1 - BS	10 / 1 - BS	13 / 1 - SI	14 / 1 - SI
Na ₂ O	0,00	0,00	0,06	0,04	0,04	0,03
SiO ₂	37,94	36,13	35,60	36,07	36,66	36,62
Y ₂ O ₃	0,01	0,03	0,00	0,23	0,03	0,19
Al ₂ O ₃	21,83	20,48	20,55	20,61	20,92	21,25
P ₂ O ₅	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
CaO	5,08	1,22	1,07	1,64	1,21	1,60
FeO	27,47	31,91	32,37	29,49	31,89	29,51
Fe ₂ O ₃	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,52	6,98	5,90	6,11	6,93	6,05
TiO ₂	0,07	0,00	0,01	0,06	0,00	0,08
MgO	6,82	2,43	2,91	3,94	2,42	4,09
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,01	0,05	0,01	0,03	0,01	0,02
V ₂ O ₃	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00	0,02
Celkem	99,81	99,49	98,53	98,26	100,12	99,48
Na ⁺	0,000	0,002	0,010	0,006	0,006	0,005
Si ⁴⁺	2,962	2,962	2,942	2,956	2,975	2,953
Y ³⁺	0,000	0,001	0,000	0,010	0,001	0,008
Al ³⁺	2,009	1,979	2,001	1,988	2,001	2,020
P ⁵⁺	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca ²⁺	0,425	0,107	0,095	0,144	0,105	0,138
Fe ²⁺	1,794	2,188	2,236	2,020	2,164	1,990
Mn ²⁺	0,035	0,485	0,413	0,424	0,476	0,413
Ti ⁴⁺	0,004	0,000	0,001	0,004	0,000	0,005
Mg ²⁺	0,794	0,297	0,358	0,481	0,293	0,492
K ⁺	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Cr ³⁺	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001
V ³⁺	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000

Výsledky WDX analýzy granátu dokládají, že jde o almandin s poměrně vysokým podílem spessartinové, pyropové a někdy i grossularové složky (viz data ve spodní polovině tab. 17).

Obr. 35. Mikrofotografie dvou automorfně omezených zrn zirkonu z fluvialních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní (šířka snímku 0,8 mm); leštěný výbrus, odražené světlo, bez analyzátoru. (foto Lucie Krajsová)



Obr. 36. Mikrofotografie zirkonu a magnetitu (postiženého martitizací) z fluvialních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní (šířka snímku 0,8 mm); leštěný výbrus, odražené světlo, bez analyzátoru. (foto Lucie Krajsová)



7 Diskuse výsledků

V této kapitole je diskutován především vztah mezi přirozenou radioaktivitou sedimentů a jejich zrnitostním složením.

Přirozená radioaktivita sedimentů je variabilní v závislosti na vzniku a látkovém složení sedimentů. Velká proměnlivost byla zjištěna u fluviálních sedimentů, které mají relativně vysokou přirozenou radioaktivitu tehdy, když se na jejich složení podílí materiál z kulmských souvrství.

Terénním gamaspektrometrickým měřením a zrnitostním rozborem fluviálních sedimentů jeskyní a toků Moravského krasu se zabývá Štelcl a Zimák (2006). V tab. 18 jsou sumarizovány výsledky nově provedených laboratorních gamaspektrometrických stanovení přirozených radioaktivních prvků ve fluviálních sedimentech ve vybraných jeskyních a též Štelcem a Zimákem (2006) uváděná data založená na měřeních terénních. Poznámka: Štelcl a Zimák (2006) nerozlišují klastické jeskynní sedimenty a sedimenty fluviální, ve studovaných souborech vzorků však fluviální sedimenty převažují, rozdíly v přirozené radioaktivitě obou skupin sedimentů nejsou v rámci jednoho objektu podstatné. Při srovnání již publikovaných výsledků terénních gamaspektrometrických měření a mnou provedených laboratorních gamaspektrometrických měření je zřejmé, že na některých lokalitách bylo dosaženo výrazně rozdílných výsledků. Zvýšené hodnoty uranu vykazuje terénní měření fluviálních sedimentů, zvláště pak v Holštejnské jeskyni a jeskyni Býčí skála jsou obsahy uranu extrémně vysoké. Štelcl a Zimák (2006) uvádí, že vysoké hodnoty uranu v Holštejnské jeskyni a jeskyni Býčí skála souvisí se zvýšenými koncentracemi ^{222}Rn ve speleoatmosféře (při terénní gamaspektrometrii jsou koncentrace uranu v horninovém prostředí stanoveny nepřímo na základě koncentrace dceřiného izotopu ^{214}Bi). Laboratorní gamaspektrometrie tento předpoklad potvrdila. Zvýšené koncentrace radioaktivních prvků fluviálních sedimentů Holštejnské jeskyně v případě terénního měření souvisí s úzkým prostorem jeskyně, která je téměř celá vyplněna fluviálními sedimenty, které zvyšují naměřené hodnoty K, U a Th.

Tab. 18. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) v klastických jeskynních sedimentech základě laboratorních a terénních měření.

hornina	K (hm.%)		eU (ppm)		eTh (ppm)		a_m (Bq.kg ⁻¹)	
	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
Sloupsko-šoňvské jeskyně:								
laboratorní měření	1,7-2,4	2,0	1,8-2,6	2,2	7,6-13,4	10,7	110-157	138
terénní měření	0,1-4,4	1,9	0,1-15,8	4,3	0-21,6	9,2	6-345	152
Punkevní jeskyně								
laboratorní měření	1,7-2,1	2,0	2,5-4,0	3,2	10,0-14,4	12,8	137-182	162
terénní měření	1,0-2,8	1,9	2,5-6,4	4,0	5,2-15,1	10,7	93-222	158
Holštejnská jeskyně:								
laboratorní měření	0,8-2,3	1,9	<1,5-2,3	2,0	6,8-14,0	10,8	<85-155	132
terénní měření	1,1-4,4	3,1	4,5-72,6	31,6	5,8-24,7	17,9	167-1027	568
jeskyně Býčí skála:								
laboratorní měření	1,4-2,3	2,1	2,8-5,3	3,5	8,1-13,3	11,5	140-193	160
terénní měření	0,2-3,1	1,7	8,1-70,9	33,9	1,0-20,6	10,7	181-968	522
Ochozská jeskyně:								
laboratorní měření	1,8-3,1	2,5	<1,5-3,9	2,4	7,3-17,1	11,1	122-203	153
terénní měření	1,3-4,2	2,6	4,5-16,8	10,1	4,2-20,4	11,7	126-367	256

Pro posouzení vztahu mezi přirozenou radioaktivitou a zrnitostním složením sedimentů bylo provedeno gamaspektrometrické stanovení K, U a Th v jednotlivých zrnitostních frakcích získaných ze vzorků z jeskyně Býčí skála, Jedovnického potoka, Ochozské jeskyni a ze sedimentů odebraných v korytě Punkvy, Luhy a Bílé vody. Pro lepší hodnocení jsou fluvialní sedimenty jeskyní a toků rozděleny dle svého zrnitostního složení.

Z údajů v tab. 19, kde jsou fluvialní sedimenty Sloupsko-šošůvských jeskyní rozděleny dle zrnitostního složení, vyplývá, že nejvyšší hodnoty draslíku jsou v sedimentech s převahou štěrkové frakce. U uranu sledujeme vysoké hodnoty v sedimentech s dominancí prachové a jílové frakce, stejná situace je i u thoria.

Tab. 19. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých skupinách fluvialních sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
štěrk			
SI - 643	2,4	2,0	10,8
SI - 645	2,2	1,8	9,7
SI - 657	2,3	2,2	9,8
SI - 659	1,9	2,1	10,0
SI - 661	2,1	2,4	9,7
prachovito-písčítý štěrka			
SI - 642	1,8	1,8	7,6
SI - 660	1,7	2,2	9,1
SI - 662	1,8	2,1	12,2
sedimenty s převahou frakce < 0,063 mm			
SI - 656	1,9	2,4	11,9
SI - 658	1,8	2,6	11,6
SI - 663	2,0	2,5	13,4

Fluviální sedimenty jeskyně Býčí skála a Jedovnického potoka jsou rozděleny dle svého zrnitostního složení v tab. 20. Nejvyšší hodnoty thoria vykazuje frakce prachová a jílová. Naměřené hodnoty draslíku a uranu nevykazují žádné významnější rozdíly.

Tab. 20. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých skupinách fluviálních sedimentů jeskyně Býčí skála a Jedovnického potoka.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
písečný štěrk			
BS - 285	2,3	3,2	10,6
BS - 288	2,2	3,5	11,2
štěrkovitý písek			
Jedovnice	2,3	2,6	10,1
Rudické propadání	2,3	5,4	10,8
BS - 284	2,2	2,8	11,3
Pod Jáchymkou	1,7	3,7	7,8
písek			
BS - 280	2,1	3,4	8,1
Vývěr Jed. potoka	1,6	1,9	6,1
sedimenty s převahou frakce < 0,063 mm			
BS - 283	2,2	2,9	13,3
BS - 286	1,4	3,4	13
BS - 287	2	3,6	13

Pro lepší posouzení vztahu přirozené radioaktivity a zrnitostního složení bylo provedeno gamaspektrometrické měření jednotlivých frakcí fluviálních sedimentů z jeskyně Býčí skála a Jedovnického potoka. Z tab. 21 vyplývá, že frakce pod 0,063 mm z jeskyně Býčí skála obsahuje největší množství thoria a uranu. Fluviální sedimenty Jedovnického potoka s podložím kulmských hornin vykazují vyšší hodnoty radioaktivních prvků ve štěrkové frakci.

Tab. 21. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých frakcích fluviálních sedimentů jeskyně Býčí skála a Jedovnického potoka.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
štěrková frakce			
Jedovnice	2,2	2,8	10,4
Rudické propadání	2,1	5,8	9,4
BS 282	1,6	5,6	11,0
BS 284	1,9	2,6	10,4
BS 285	1,7	3,1	9,5
BS 288	1,7	2,4	8,4
Pod Jáchymkou	1,7	4,3	8,5
písčítá frakce			
Jedovnice	2,0	2,4	8,0
Rudické propadání	1,9	4,9	9,3
BS 280	1,6	2,1	7,4
BS 281	1,7	2,4	7,9
BS 282	1,8	2,8	9,4
BS 284	2,1	2,5	10,3
BS 285	1,7	2,4	8,6
BS 288	2,1	2,4	12,1
Pod Jáchymkou	1,5	3,1	5,8
frakce < 0,063 mm			
BS 280	1,7	4,7	13,3
BS 281	1,6	4,5	15,2

Z tab. 22 je zřejmé, že nejvyšší hodnoty thoria obsahuje prachová a jílová frakce u fluvialních sedimentů Holštejnské jeskyně. Ostatní radioaktivní prvky nevykazují žádnou změnu v závislosti na zrnitostním složení.

Tab. 22. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých skupinách fluvialních sedimentů Holštejnské jeskyně.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
štěrk			
Ho - 137	1,8	1,7	9,3
Ho - 143	2,1	2,2	12,2
Ho - 144	2,1	1,9	9,5
písečný štěrk			
Ho - 155	2,3	2,3	11,2
Ho - 158	2,2	1,8	11,3
sedimenty s převahou frakce < 0,063 mm			
Ho - 140	2,1	1,9	9,2
Ho - 147	1,7	2,0	12,7
Ho - 141	1,8	2,3	11,2
Ho - 145	2,2	2,1	11,4
Ho - 153	1,9	1,7	13,8
Ho - 157	2,1	1,9	14,0

Výrazně odlišné hodnoty radioaktivních prvků (K, U, Th) v jednotlivých frakcích můžeme pozorovat v tab. 23. V tomto případě obsahuje písčité frakce nejvyšší podíl draslíku; nejvyšší obsahy uranu a thoria připadají opět na frakci pod 0,063 mm.

Tab. 23. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých skupinách fluvialních sedimentů Ochozské jeskyně.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
písčité štěrky			
Och - 105	2,3	1,8	8,8
Och - 109	2,2	1,7	8,3
Och - 119	2,4	1,5	8,5
šterkovitý písek			
Och - 116	2,9	1,6	8,7
Och - 118	2,8	1,7	7,3
písek			
Och - 104	3,1	<1,5	9,6
Och - 115	3,1	1,6	9,8
sedimenty s převahou frakce < 0,063 mm			
Och - 107	1,8	2,8	14,0
Och - 110	2,2	3,0	13,9
Och - 111	2,6	2,5	13,3
Och - 113	2,1	3,9	13,1
Och - 114	2,2	3,4	12,5
Och - 121	2,3	2,7	13,4

Z gamaspektrometrického měření frakcí Ochozské jeskyně můžeme vidět zvýšené hodnoty draslíku a thoria v písčité frakci (tab. 24). Je nutné poukázat, že nebylo možné změřit frakci prachovou a jílovou, kde lze očekávat další zvýšení obsahu K a Th..

Tab. 24. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých frakcích z fluvialních sedimentů Ochozské jeskyně.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
šterková frakce			
Och 120	1,9	2,0	6,5
Och 109	2,5	1,7	7,7
Och 105	2,1	1,6	5,7
Och 118	2,5	1,6	7,1
písčítá frakce			
Och 120	2,9	1,8	9,3
Och 109	3,0	2,3	10,8
Och 105	3,1	2,0	8,7
Och 118	3,1	1,6	8,6

Z údajů v tab. 25, kde jsou fluvialní sedimenty toků Luhy a Punkvy rozděleny dle zrnitostního složení, vyplývá, že nejvyšší hodnoty uranu a thoria jsou ve frakci nad 2 mm, a to tam, kde je podloží tvořeno kulmskými sedimenty.

Tab. 25. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých skupinách fluvialních sedimentů Luhy a Punkvy.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
šterkovitý písek			
Luha 2	2,2	2,8	6,1
Luha 3	2,1	2,9	7,4

Luha 4	2,1	3,0	7,0
Punkva 10	2,0	1,7	4,0
písek			
Luha 1	2,1	2,3	6,2
Luha 6	2,0	2,2	7,2
Punkva 7	2,2	1,6	6,5
Punkva 8	2,0	2,0	5,8
Punkva 9	2,1	2,1	5,8

Tab. 26 s naměřenými hodnotami radioaktivních prvků v jednotlivých frakcích fluvialních sedimentů Luhy a Punkvy potvrzuje vyšší hodnoty uranu a thoria u sedimentů pocházejících z kulmských hornin ve štěrkové frakci.

Tab. 26. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých frakcích fluvialních sedimentů Luhy a Punkvy.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
štěrková frakce			
Luha 1	2,1	3,6	9,8
Luha 2	2,4	3,3	9,4
Luha 3	2,4	3,0	9,6
Luha 4	2,5	3,3	8,2
Punkva 10	2,1	<1,5	4,6
písčítá frakce			
Luha 1	2,3	2,7	6,2
Luha 2	2,5	1,9	6,4
Luha 3	2,4	2,3	6,7
Luha 4	2,1	2,3	8,2
Punkva 10	2,1	1,6	4,8

Z gamaspektrometrického měření frakcí Bílé vody můžeme vidět zvýšené hodnoty thoria ve štěrkové frakci (tab. 27). Naměřené hodnoty K a U nevykazují žádné významnější rozdíly v závislosti na zrnitostním složení.

Tab. 27. Obsahy radioaktivních prvků v jednotlivých frakcích fluvialních sedimentů Bílé vody.

Číslo vzorku	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]
štěrková frakce			
Bílá voda 1	2,4	2,8	11,3
Bílá voda 2	2,7	2,8	11,0
Bílá voda 3	1,8	2,7	9,0
Bílá voda 4	2,0	2,5	10,1
Bílá voda 5	2,7	2,4	10,4
Bílá voda 6	2,6	3,0	11,3
písčítá frakce			
Bílá voda 1	2,5	3,2	11,0
Bílá voda 2	2,2	2,5	9,9
Bílá voda 3	1,9	2,1	7,6
Bílá voda 4	2,2	2,6	10,4
Bílá voda 5	2,5	2,7	10,1
Bílá voda 6	2,2	1,9	8,7
frakce < 0,063 mm			
Bílá voda 4	2,0	2,2	9,5

Výskyty akcesorických těžkých minerálů ve fluviálních sedimentech Moravského krasu jsou popsány rešeršně v kapitole 3.5. Výsledky analýzy těžkých minerálů potvrdily výskyty granátů a zirkonů ve fluviálních sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní a jeskyně Býčí skála. Ve fluviálních sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní byl zjištěn thorit – jde o minerál, který dosud nebyl z Moravského krasu popsán.

Z hlediska přirozené radioaktivity fluviálních sedimentů Moravského krasu má význam draslík, uran a thorium. Draslík je v těchto horninách vázán zejména na živce a slídy (pocházející z kulmských drob a lokálně také z granitoidů brněnského masívu). Pokud jde o vazbu uranu a thoria, může být značná část obou prvků spjata s přítomností zirkonu a také nově zjištěného thoritu. Zirkon obsahuje podle provedených WDX analýz 0,03–0,11 hm.% UO_2 , thorit 2,05 hm.% UO_2 .

8 Závěr

Diplomová práce pojednává o fluviálních sedimentech Moravského krasu, z tohoto důvodu je začátek práce věnován právě charakteristice fluviálních sedimentů, zvláště pak na území Moravského krasu.

Hlavním úkolem diplomové práce bylo zjištění přirozené radioaktivity fluviálních sedimentů ve vybraných jeskyních a tocích Moravského krasu. Měření radioaktivity se provádělo v laboratoři pomocí laboratorního gamaspektrometru a naměřené hodnoty byly zpracovány ve formě tabulek a grafů. Celkově se dají fluviální sedimenty hodnotit jako sedimenty se zvýšenou přirozenou radioaktivitou, protože obsahují podíl klastů kulmských hornin.

Fluviální sedimenty jsou velmi dobře zrnitostně vytříděné. Nejvíce prachové a jílové frakce je zastoupeno ve fluviálních sedimentech Punkevní, Holštejnské a Ochozské jeskyně. Písková frakce převažuje v sedimentech jeskyně Býčí skála a v tocích Punkvy, Luhy a Jedovnického potoka. Ve většině fluviálních sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní má nejvyšší podíl šterková frakce.

Z analýzy těžkých minerálů vyplývá, že fluviální sedimenty jeskyně Býčí skála a Sloupsko-šošůvských jeskyní obsahují akcesorické minerály jako je zirkon a granát. Nově byl ve fluviálních sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní objeven i minerál thorit, který obsahuje nejvyšší podíly uranu a thoria. Obsahy zirkonu a thoritu patrně výrazným způsobem určují přirozenou radioaktivitu studovaných sedimentů.

Z hodnocení vztahu přirozené radioaktivity a zrnitostního složení fluviálních sedimentů z uvedených jeskyní Moravského krasu můžeme určit, že zvýšené hodnoty uranu a thoria se vyskytují ve frakci prachové a jílové. U studovaných toků Moravského krasu dosahují radioaktivní prvky nejvyšších hodnot ve šterkové frakci, a to díky vysokému podílu klastického materiálu pocházejícího z kulmu (hlavně drob).

Literatura

- Balák I., Flek J., Franc D., Kotouč L., Kovařík M., Števková L. (2003): Macocha a Punkva v Moravském krasu. Městská knihovna Blansko.
- Bouška V., Jakeš P., Pačes T., Pokorný J. (1980): Geochemie. Academia Praha.
- Burkhardt R., Šerebl Z. (1965): Možnosti metody těžkých minerálů ve výzkumu krasových oblastí. - Kras v Československu 1, Brno.
- Cílek V., Ložek V., Tipková - Bednářová J. (1993): Krasové sedimenty. Fossilní záznam klimatických oscilací a změn prostředí. Sborník vědeckých prací. Praha.
- Dvořák J. (1961): Výsledky vrtných výzkumů v severní části Moravského krasu. In: Symposium o problémech pleistocénu. Moravské muzeum, Brno, s. 93 – 95.
- Hanžl P., Krejčí Z., Vít J., Otava J., Novák Z., Stráník Z. (2000): Geologická mapa Brna a okolí 1:50 000. ČGÚ. Praha.
- Hašek V., Štelcl O. (1972): Některé výsledky geofyzikálního výzkumu Moravského krasu východně od Blanska. Čas. min. geol., Praha, 2, s. 318 – 331.
- Hladil J. (1983) : Cyklická sedimentace v devonských karbonátech macošského souvrství. Zemní plyn a nafta, 28, 1, s. 1 – 14.
- Hromas J., Cílek V., Bílková D., Novotná J., Vávra M. (2002): Podzemí v Čechách, na Moravě, ve Slezsku. Nakladatelství Olympia Praha.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia. Praha.
- Kadlec J. (2003): Rekonstrukce směrů proudění pomocí měření anizotropie magnetické susceptibility ve fluvialních sedimentech Ochozské jeskyně. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2002, Brno.
- Kadlec J., Herman H., Beneš V., Šroubek P., Diehl J. F., Granger D. (2001): Cenozoic history of the Moravian Karst . - Acta Mus. Moravice, Sci. Geol., s. 111 – 160.
- Kadlec J. et. al. (2000a): Rekonstrukce paleohydrografie na základě datování sedimentů Holštejnské jeskyně. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1999, Brno.
- Kadlec J et.al. (2000b): Stáří a geneze sedimentů v Ocozské jeskyni. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1999, Brno, s. 19 - 24.
- Kalenda P., Duras R. (2008): Sledování pokračování horního jeskynního patra Holštejnské jeskyně pomocí metody VDV. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2007, Brno, s. 90 - 93.

- Konta J. (1969): Quantitative analytical petrological classification of sedimentary rocks. - Acta Univ. Carol., Geol. 1969, s. 175 - 253.
- Kučera B., Hromas J., Skřivánek F. (1981): Jeskyně a propasti v Československu. Nakladatelství Československé akademie věd Praha.
- Kukal Z. (1978): Základy sedimentologie. Academia Praha.
- Kvítková L., Přichystal A. (2000): Těžké minerály ve würmských sedimentech jeskyně Kůlna, Moravský kras. - Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1999, sv. roč. 7, s.34-37.
- Miall A. D. (1996): The geology of pluvial deposits : sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg.
- Müller P., Novák Z. et al. (2000): Geologie Brna a okolí. ČGÚ. Praha.
- Musil R. et al. (1993): Moravský kras – labyrinty poznání. Jaromír Bližňák, Geo program. Adamov.
- Otava J. (1998): Trendy změn ve složení siliciklastik drahanského kulmu a jejich geotektonická interpretace. - Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1997, sv. roč. 5, s.62-64.
- Otava, J. - Vít. J. (1992): Paleohydrography of the northern tributaries of the Punkvou River reconstructed from the analysis of cave sediments.- Scripta Fac. Sci. Univ. Brun., Geol., 22, 141-156. Brno.
- Osborne R. A. L. (1984): Lateral facies changes, unconformities and stratigraphic reversals: their significance for cave sediment stratigraphy. - Cave Sci.
- Panoš V., Špičák J., Vozdecký J. (1990): Moravský kras. Mapa - Balák I. Český ústav ochrany přírody. Praha.
- Paseka A., Šamalíková M., Hanzl V. (2006): Holštejn - Nová Rasovna. Historie, vývoj a současný stav skalní stěny nad propadáním potoka Bílá voda. Akademické nakladatelství Cerm Brno.
- Pleva V. (1970): Sloupsko-šošůvské jeskyně. Krajské středisko státní památkové péče a ochrany přírody v Brně.
- Příbyl J., Kučera B., Ložek V. (1992): Základy karsologie a speleologie. Academia Praha.
- Přichystal A., Náplava M. (1995): Záhada Býčí skály aneb jeskyně plná otazníků. Nakladatelství AMAPRINT v Třebíči.
- Roudný J. et al. (2001): Jedovnice. Vydala obec Jedovnice.
- Růžičková E. et al. (2003): Kvartérní klastické sedimenty České republiky. Česká geologická služba Praha, s. 54 – 60.

- Schütznerová – Havelková V. (1957): Nález miocénních sedimentů v údolí punkvy východně od Blanska. Čas. min. geol., s. 318 – 331.
- Svoboda J. et al. (1964): Regionální geologie ČSSR. Ústřední ústav geologický. Praha. Díl I.
- Štelcl J., Surý J., Sas D. (1996): Zhodnocení přirozené radioaktivity v jeskyni Býčí skála ve střední části Moravského krasu. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1995, Brno, s. 34-36.
- Štelcl J., Zimák J. (2006): Přirozená radioaktivita horninového prostředí Moravského Krasu. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Štelcl O. (1969): Návrh speleologických značek pro jeskynní plány. Zprávy GgÚ, Brno 6, 4, s. 11 – 23.
- Vilšer M. (1962): Zpráva o mocnosti kvartérních sedimentů v údolí potoka Luha u Sloupu a v údolí potoka Bílá voda u holštýna. Zprávy o geol. výzkumu v roce 1961, Praha, s. 268 – 269.
- Vít J. (1990): Asociace těžkých minerálů v sedimentech jeskyní Moravského krasu. - MS dipl. práce, Přírodovědecká Fakulta MU, Brno.
- Vít J. (1994): Těžké minerály fluviálních sedimentů v západní macošské větvi Amatérské jeskyně. - Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1993, sv. roč. 1, s. 12.
- Vít J. (2000): Výzkum sedimentů v Šošůvských jeskyních. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1999, Brno, s. 47 - 51.
- Zajíček P. et al. (2001): Punkevní jeskyně a propast Macocha. Správa jeskyní ČR, Průhonice.
- Zukalová V., Chlupáč I. (1982): Stratigrafická klasifikace nemetamorfovaného devonu moravskoslezské oblasti. Čas. Mineral. Geol., 27, s. 225 – 241.