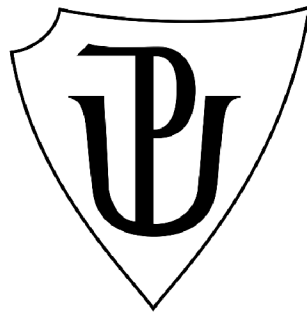


UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie



**PETROFYZIKÁLNÍ, PETROGRAFICKÁ
A GEOCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA JÍLOVÝCH
BŘIDLIC V NÍZKOJESENICKÉM KULMU**

Diplomová práce

Bc. Tereza Franková

Environmentální geologie

prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Daniel Šimíček, Ph.D.

Olomouc 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto magisterskou diplomovou práci vypracovala samostatně a uvedla v ní všechny použité zdroje a literaturu.

V Olomouci dne:

.....

Tereza Franková

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla především poděkovat vedoucímu mé magisterské diplomové práce panu Mgr. Danielu Šimíčkoví, Ph.D. za pomoc v terénu, za cenné rady, vstřícnost a čas, který mi během psaní této práce věnoval.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Tereza Franková

Název práce: Petrofyzikální, petrografická a geochemická charakteristika jílových břidlic v nízkojesenickém kulmu

Typ práce: Diplomová práce

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

Vedoucí práce: Mgr. Daniel Šimíček, Ph.D.

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt: Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na studium jílových břidlic s cílem určit charakteristiky vhodné pro stratigrafické odlišení vzorků v oblasti nízkojesenického kulmu. Tato data mohou být užitečná jak v oblasti petroarcheologie, která se zabývá studiem historie hornin a lidských aktivit spojených s nimi tak i pro různé průmyslové a stavební účely. Lokality byly vybrány podle míst, na kterých v minulosti těžba jílových břidlic probíhala. V rešeršní části mé práce jsem stručně popsala geomorfologickou charakteristiku nízkojesenické oblasti a důkladně popsala vývoj a geologii nízkojesenického kulmu a všech jeho stratigrafických jednotek. Následovala stručná charakteristika jílových břidlic a historie o těžbě pokrývačských břidlic v této oblasti. Odebrané vzorky jsem zpracovala v laboratorní etapě, která posloužila k zjištění petrofyzikálních, geochemických a minerálních vlastností jílových břidlic. Celkem bylo analyzováno 55 vzorků. Hlavními minerálními složkami jsou u zkoumaných vzorků slídy, včetně jílových minerálů. V hojném množství vzorky obsahují také křemen, chlority a plagioklasy, které převažují nad K-živci. Nízké hodnoty hmotnostně specifické magnetické susceptibility jsou ovlivněny vysokými obsahy křemene a živců. Zvýšené hodnoty jsou pak ovlivněny obsahy paramagnetických minerálů, jako je např. muskovit či chlorit. Vysoké hodnoty světlosti vykazují vzorky s vyššími obsahy křemité složky. Jsou to především vzorky z mladších stratigrafických souvrství (moravické a hradecko-kyjovické s.). Vysoké hodnoty K, U a Th korespondují s vysokým obsahem jílových minerálů. Nosiči U jsou kromě zmíněných jílových minerálů pravděpodobně také těžké minerály. Prvková analýza jílových břidlic ukazuje korelace mezi určitými druhy minerálů, což může naznačovat, jaké podmínky během jejich sedimentace panovaly.

Klíčová slova: kulm Nízkého Jeseníku, jílová břidlice, magnetická susceptibilita, spektrální odraznost, geochemie

Počet stran: 64

Počet příloh: 5

Jazyk: Český jazyk

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Bc. Tereza Franková

Title: Petrophysical, petrographic and geochemical characteristics of shales in the Nízký Jeseník Culm

Type of thesis: Diploma thesis

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

Supervisor: Mgr. Daniel Šimíček, Ph.D.

The year of presentation: 2024

Abstract: The present thesis focuses on the study of shales with the aim of determining characteristics suitable for stratigraphic resolution of samples in the area of the Nízký Jeseník Culm. These data could be useful in the field of petroarchaeology, which deals with the study of the history of rocks and human activities associated with them, as well as for various industrial and construction purposes. The locations were selected from sites at former mining area in the Nízký Jeseník Culm. In the theoretical part of the thesis, I have briefly described the geomorphological characteristics of the Nízký Jeseník and thoroughly described the evolution and geology of the Nízký Jeseník culm and all its stratigraphic units. This was followed by a brief characterization of shales and the history of roofing slate mining in this area. The samples were processed in a laboratory stage to determine the petrophysical, geochemical and mineral properties of the shales. In total, 55 samples were analyzed. The main mineral components of studied samples are mica, including clay minerals. In abundant quantities, the samples also contain quartz, chlorite, and plagioclase, which predominate over K-feldspars. Low values of magnetic susceptibility are influenced by high content of quartz and feldspars. Elevated values are then influenced by contents of paramagnetic minerals, such as muscovite or chlorite. High values of brightness (CIE L*) are exhibited by samples with higher contents of the siliceous component. These are primarily samples from younger stratigraphic units (Moravice and Hrade-Kyjovice Formations). High values of K, U, and Th correspond to high contents of clay minerals. In addition to the clay minerals the U carriers are probably heavy minerals. The elemental analysis of shales shows correlations between certain types of minerals, which may indicate the conditions during their sedimentation.

Key words: Culm of the Nízky Jeseník, shale, magnetic susceptibility, spectral reflectance, geochemistry

Number of pages: 64

Number of appendices: 5

Language: Czech

Obsah

1. Úvod	10
2. Geomorfologická charakteristika studované oblasti	11
3. Geologický vývoj nízkojesenického kulmu	12
3. 1. Regionálně-geologické a strukturně-geologické vymezení	12
3. 2. Vývoj nízkojesenického kulmu	14
3. 3. Litologická charakteristika nízkojesenického kulmu	16
Andělskohorské souvrství	17
Hornobenešovské souvrství.....	19
Moravické souvrství.....	20
Hradecko-kyjovické souvrství	23
4. Charakteristika jílových břidlic	25
5. Historie těžby břidlic nízkojesenické oblasti	27
6. Metodika výzkumu	30
6. 1. Terénní část	30
6. 2. Laboratorní část	33
6. 2. 1. Magnetická susceptibilita	33
6. 2. 2. Spektrální odraznost	34
6. 2. 3. Laboratorní gamaspektrometrie	34
6. 2. 4. Prášková rentgenová difrakční analýza	35
6. 2. 5. Rentgenová fluorescenční spektrometrie	35
7. Výsledky	36
7.1. Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita	36
7.2. Spektrální odraznost	37
7.3. Laboratorní gamaspektrometrie	39
7.4. Prášková rentgenová difrakční analýza	42
7. 5. Rentgenová fluorescenční spektrometrie	43

8. Diskuze	47
8.1. Vztah mezi minerálním složením a petrofyzikálními a geochemickými vlastnostmi břidlic	47
8.2. Stratigraficky významné petrofyzikální a geochemické charakteristiky břidlic...	49
8.3. Odraz vývoje nízkohesenické kulmské pánve v petrofyzikální a geochemické charakteristice břidlic	51
9. Závěr.....	53
10. Seznam použité literatury.....	55
11. Přílohy	65

1. Úvod

Jílové břidlice se formovaly v mořských pánvích postupným ukládáním jílových minerálů. Je pro ně typická laminovaná struktura a břidličnatá rozpadavost. Jsou často světle šedé barvy, ale můžou mít i jiné odstíny v závislosti na obsahu organických látek, minerálů nebo oxidů železa.

Jílové břidlice jsou často opomíjenými sedimenty a jsou obvykle považovány za horniny s relativně jednotvárnou strukturou a barvou. I přes to, že těžba jílových břidlic byla v minulosti důležitým průmyslovým odvětvím a historicky důležitou horninou, byl jejich petrofyzikální, mineralogický a geochemický výzkum méně intenzivní než v případě jiných typů hornin, jako jsou slepence, droby či prachovce.

Předkládaná diplomová práce si klade za cíl detailně popsat petrofyzikální, petrografické a geochemické vlastnosti jílových břidlic, které by mohly doplnit informace o geologickém vývoji nízkohesenické kulmské pánve, založené především na studiu hrubozrnnějších siliciklastických sedimentů, jako jsou slepence a droby. Výsledky práce je možné využít i pro lokalizaci zdroje, této, v minulosti hojně využívané stavební suroviny.

Tato práce je strukturována do dvou hlavních částí: rešeršní a praktické. Rešeršní část byla věnována geologické charakteristice kulmu Nízkého Jeseníku, dále pak charakteristice jílových břidlic a historií její těžby v této oblasti. Praktická část mé práce zahrnuje terénní a laboratorní etapu. Terénní etapa byla zaměřena na sběr reprezentativních vzorků jílových břidlic z vytipovaných lokalit v nízkohesenickém kulmu. V rámci laboratorní části bylo provedeno měření magnetických, kolorimetrických a gamaspektrometrických vlastností těchto hornin. Dále bylo zjištěno chemické složení vzorků EDXRF metodou, což umožňuje detailní kvantitativní analýzu prvkového obsahu v těchto horninách. Tyto laboratorní analýzy poskytují hlubší porozumění petrofyzikální, petrografické a geochemické charakteristiky jílových břidlic v nízkohesenickém kulmu. Kromě toho byl proveden popis současného stavu těchto lokalit a jejich fotodokumentace.

2. Geomorfologická charakteristika studované oblasti

Oblast Nízkého Jeseníku se rozprostírá na severovýchodě Moravskoslezského kraje a na severozápadě Olomouckého kraje o celkové rozloze 2894 km². Na severu a severozápadě je Nízký Jeseník ohraničen Zlatohorskou vrchovinou, Hrubým Jeseníkem a Hanušovickou vrchovinou. Na jihovýchodě a východě je Nízký Jeseník omezen strmými svahy od Hornomoravského úvalu, Moravské brány a Opavské pahorkatiny (Demek et al., 1992).

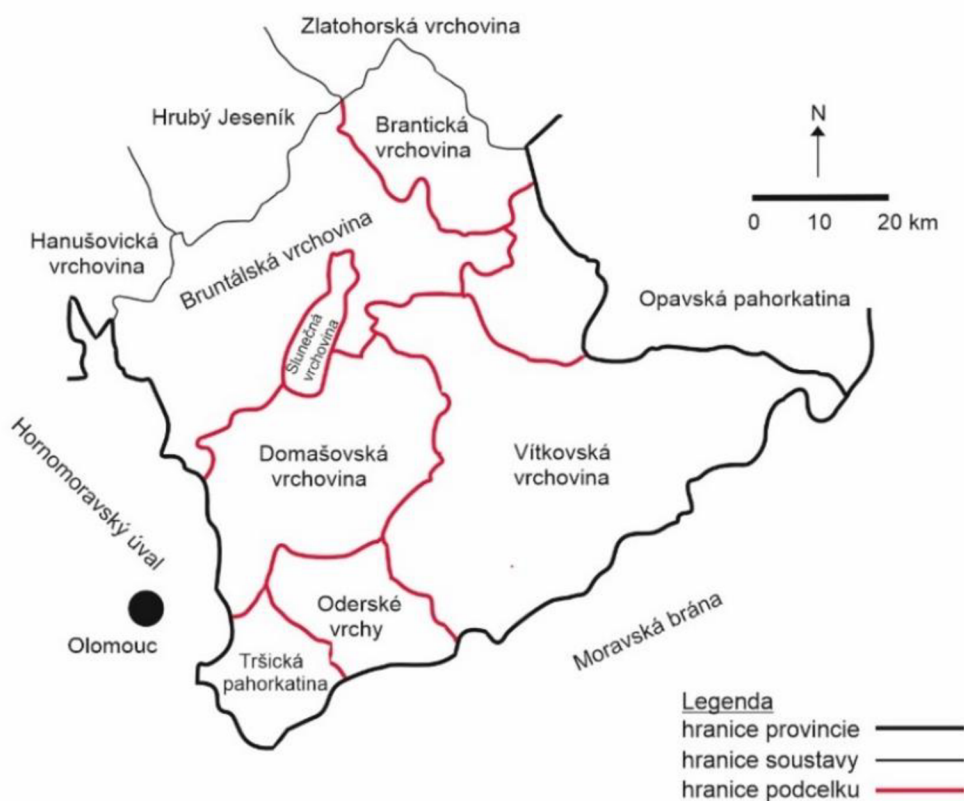


Obr. 1: Geomorfologická mapa ČR s vyznačenou Nízkojesenickou oblastí (červeně) upraveno podle Demka et al. (1987).

Dnešní podoba georeliéfu Jesenické oblasti je výsledkem dlouhodobého geomorfologického vývoje, který na tomto území probíhal. Charakteristickými terénními tvary jsou hluboce zaříznutá údolí tvaru písmene V nebo údolí neckovitého tvaru, která byla vytvořena v neogénu erozí vodních toků s velkým spádem (Janoška, 2001). Dalším typickým geomorfologickým tvarem Nízkého Jeseníku jsou mrazové sruby, jejichž vznik podmínilo měnící se pleistocenní klima (Janoška, 2001).

Podle Demka a Mackovčina (2006) je geomorfologický celek Nízký Jeseník součástí provincie České vysočiny a Krkonoško-jesenické subprovincie. Nízký Jeseník se skládá z 8 podcelků (viz. obr. 2) a 31 okrsků. Nejvyšším bodem Nízkého Jeseníku je Slunečná vrchovina s vrcholem Slunečná (802 m n. m.). Západně od Opavy se nachází naopak nejnižší oblast Nízkého Jeseníku, a to Zlatnická pahorkatina (310 m n. m.) (Czudek, 1988). Oblast

Nízkého Jeseníku je prameništěm významných říčních toků, jako je řeka Moravice, Opava a Odra.



Obr. 2: Geomorfologické podcelky Nízkého Jeseníku podle Demka a Mackovčina (2006).

3. Geologický vývoj nízkojesenického kulmu

3. 1. Regionálně-geologické a strukturně-geologické vymezení

Zájmové území nízkojesenického kulmu je z regionálně-geologického hlediska součástí moravskoslezské oblasti, a to konkrétně moravskoslezského paleozoika. Horniny moravskoslezského paleozoika formují východní okraj Českého masivu, který je součástí paleozoického orogenního pásma variscid. Dodnes se zachovaly zbytky tohoto širokého, vyvrásněného pásma, vklíněného mezi východoevropskou a epikaledonskou platformou, na řadě míst Evropy od Iberského poloostrova, přes Velkou Británii, Francii, Německo až do střední Evropy (Kachlík, 2003). Český masív představuje nejvýchodnější část variského pásebného pohoří (Hartley a Otava, 2001). Horniny moravskoslezského paleozoika pokračují dále k východu, kde tvoří podloží karpatské předhlubně a flyšových příkrovů Vnějších Západních Karpat (Mísař et al., 1983).

Pojem kulm se v geologii objevil již v 19. století v Anglii a označuje typ siliciklastické, převážně flyšové sedimentace, která je spojená s variskou orogenezí. Pro tento typ sedimentace je charakteristická až několik km mocná výplň kulmských pánví s dominancí rytmicky se střídajících (flyšových) vrstev hlubokomořských siliciklastických usazenin s rozdílnou zrnitostí (slepence, droby, prachovce a břidlice). Barva sedimentů je obvykle v odstínech šedé (Demek et al., 1992).

Kulmské sedimenty jsou v České republice zastoupeny až 12 km mocným sledem hlubokomořských siliciklastik, a to v drahanském a nízkohesenickém kulmu (Kumpera a Martinec, 1995). Obě oblasti, označované souhrnně jako Moravskoslezská kulmská pánev (Hartley a Otava, 2001), jsou od sebe odděleny širokou sníženinou Hornomoravského úvalu. Menší výchozové oblasti kulmu představují kra Maleníku mezi městy Hranice a Lipník nad Bečvou, oblast mírovského kulmu (Demek, 1992) a slepence a droby, které leží na krystaliniku miroslavské hrástě (Mísař et al., 1983).

Moravskoslezská kulmská pánev má tvar klínu, který je orientovaný ve směru JZ–SV a rozšiřuje se směrem k SV. Na východě se sedimenty kulmské pánve noří pod terciérní výplň a kvartérní pokryv karpatské předhlubně, západní kontakt s jednotkami moravika a silezika je tektonický (Schulmann et al. 1991). Pánev je vyplněna siliciklastickými sedimenty, jejichž stáří odpovídá spodnímu visé až nejstaršímu namuru (Hartley a Otava, 2001). Podloží kulmských sedimentů tvoří svrchnodevonské vápence a krystalinické horniny brunovistulika (Dudek, 1960; 1980), které byly zjištěny hlubokými vrty při západním okraji kulmské pánve (Mísař et al., 1983). Kulmské sedimenty vznikly v závěrečné fázi variského vrásnění v hlubokomořských pánvích a následně byly vyvrásněny při kolizi lugodanubika a brunovistulika (Janoška, 2001).

V příčném řezu od západu k východu má výplň nízkohesenické kulmské pánve tvar asymetrického vějíře, v jehož osní části vystupují na povrch před-flyšové devonské až spodnokarbonské vulkanosedimentární série šternbersko-hornobenešovského pruhu (Čížek a Tomek, 1991). Vrásky západně od šternbersko-hornobenešovské zóny mají západní vergenci, zatímco vrásky východně od této zóny jsou východovergentní (Kumpera, 1983). V nízkohesenickém kulmu se nachází několik systémů zlomů: hlubinné zlomy (např. zlomy šternbersko-hornobenešovské zóny, osoblažský okrajový zlom, jesenický okrajový zlom, okrajový zlom prolomu Moravské brány), zlomy sudetského směru (např. bělský, klepáčovský a temenický zlom), zlomy podélné s protažením pánve (např. zlom Uhlířského

vrchu, hrabyňský a děhylovský zlom), zlomy sv.–jz. směru (např. brantický zlom) a západojesenický rupturní vějíř (Foldyna a Vašíček, 1969; Kumpera, 1981).

3. 2. Vývoj nízkojesenického kulmu

Nástup flyšové sedimentace ukončil ukládání převážně karbonátových vrstevních sledů, které pokračují z devonu až do spodního karbonu (tournai-spodní visé). Od středního visé se v pánvi ukládalo velké množství mineralogicky i chemicky nezralého detritu. Po celou dobu sedimentace kulmských vrstevních sledů osa kulmské pánve ustupovala směrem k východu před čelem variské orogenní fronty. Z toho vyplývá charakteristická západovýchodní stratigrafická i metamorfní zonalita v nízkojesenickém kulmu (Kumpera, 1975). Metamorfóza nízkojesenického kulmu stoupá směrem od východu k západu a v západní části je to směrem od jihu k severu (Kumpera, 1972b).

Tektonické procesy byly řídicími faktory sedimentace i deformace v kulmské pánvi. Variská příkrovová stavba i charakter kulmské sedimentace odráží tři hlavní deformační fáze v zázemí kulmské pánve (Kumpera, 1983). Ve spodním visé začala deformace jihovýchodně orientovaným násunem příkrovů moldanubika, tvořených vysoce metamorfovanými horninami. Během spodního visé probíhala i druhá deformační fáze, během které bylo moldanubikum vystaveno neustálému vyzdvihování a hloubkové erozi při podsouvání příkrovů moravika (Kumpera, 1983). V nejsvrchnějším visé lze v modálních složení kulmských sedimentů pozorovat zvýšení obsahu vysoce metamorfovaných hornin z moldanubického příkrovu, jak dokládá podobnost asociace granátů (Hartley a Otava, 2001). Kromě tektoniky byla akumulace a distribuce sedimentů v kulmské pánvi ovlivněna klimatem, relativní změnou hladiny moře, povahou zdrojového materiálu a transportními procesy ze zdrojové oblasti (Hartley a Otava, 2001).

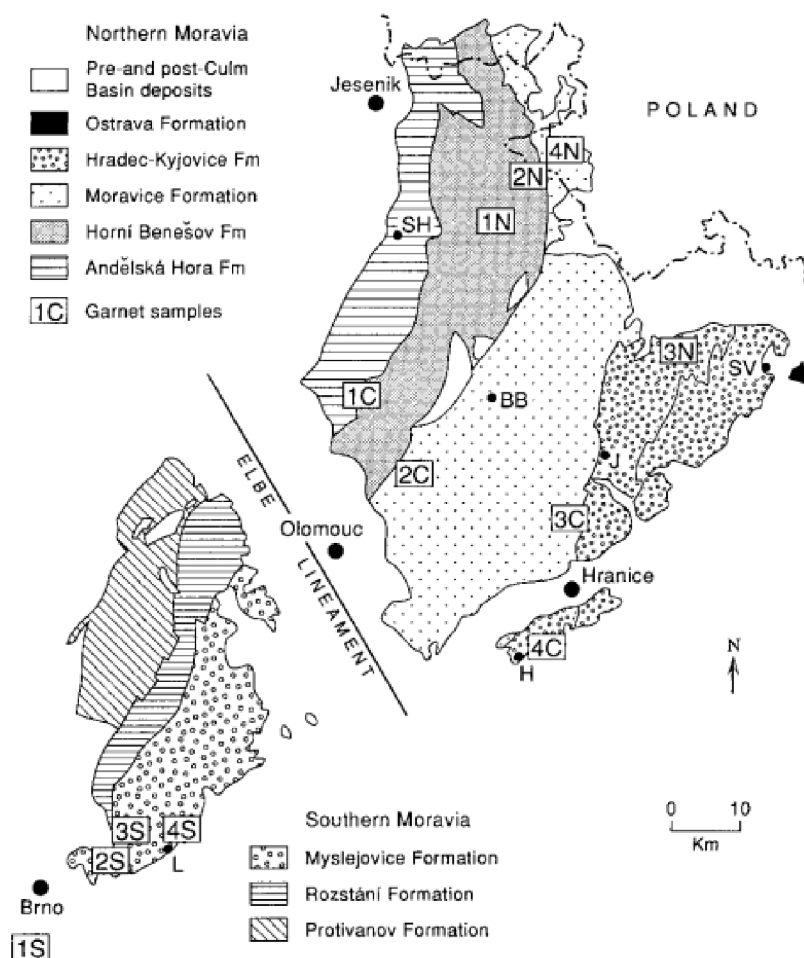
Podle Kumpery a Martince (1995) je možné nízkojesenickou kulmskou pánev považovat za pánev s polyfázovým vývojem, ve které můžeme rozlišit fázi rhenohercynské zbytkové oceánské pánve a fázi periferní předpolní pánve. Rhenohercynská zbytková oceánská pánev zahrnuje nejranější fáze flyšové sedimentace spodního až středního visé (Hartley a Otava, 2001). Dnes zde patří intenzivně deformované a epizonálně metamorfované hlubokomořské sedimenty andělskohorského a hornobenešovského souvrství nízkojesenického kulmu (Franců et al., 2002). Směrem od západu k východu pozorujeme dokonalejší homogenizaci klastického materiálu, což pravděpodobně souvisí s narůstající délkou transportu během kulmské sedimentace. Zdrojem materiálu sedimentů nízkojesenického kulmu byly zejména

horniny, které dnes tvoří keprnickou, orlicko-kladskou a desenskou klenbu (Dudek, 1980; Zapletal a Konečný, 1985). Orogenní výzdvih byl doprovázen intruzemi variských granitoidů a kyselým vulkanismem. První doklady tohoto vulkanismu známe ze svrchního frasnú v podobě tenkých vložek tufitů. Dalším důkazem je přítomnost valounů kyselých vulkanitů a tufitů ve slepencích a drobách flyšového vývoje (Dudek, 1980). Podíl vulkanického materiálu narůstá v sedimentech nízkohornického kulmu směrem k severu, což pravděpodobně ukazuje, že vulkanické centrum bylo vázáno na žulovský granitoidní masiv. Ten byl v té době zakryt metamorfity, jak dokládají hojné úlomky fylitů a fylitických břidlic ve slepencích andělskohorského souvrství (Zapletal a Konečný, 1985).

Přesun zóny maximální subsidence směrem k východu vedl k ukončení sedimentace andělskohorského souvrství a začátek sedimentace hornobenešovského souvrství. Sedimentace byla doprovázena silným terestrickým vulkanismem, jak dokládají hojné valouny kyselých vulkanitů a jejich tufů (Maštera, 1975). Velmi výrazná změna je v asociacích těžkých minerálů, kde přibývá granát, rutil, epidot a staurolit. Tyto asociace dokládají hloubkovou erozi (denudaci) zemské kůry ve zdrojové oblasti, kdy se do prostředí dostával materiál metamorfovaných hornin nasouvaných příkrovů (Dvořák, 1994).

Během středního visé docházelo v důsledku kompresních tektonických pohybů k uzavírání pánevního prostoru západně od šternbersko-hornobenešovského pruhu, docházelo ke kanibalizaci starších sedimentů a pánevní výplň byla stlačována do vějířovitého antiklinoria (Chlupáč et al., 2002). Na začátku svrchního visé se zóna maximální subsidence pánve posunula východně od šternbersko-hornobenešovského pásma do variského předpolí, kde sedimentovalo souvrství moravické a hradecko-kyjovické (Dvořák, 1994). Během sedimentace spodní části moravického souvrství se západní okraj moře nacházel v oblasti dnešní šternbersko-hornobenešovské zóny. Dokazují to fragmenty vápnitých pískovců a vápenců stáří středního a svrchního visé, které byly následně přeplaveny do skluzových slepenců. V moravickém souvrství narůstá podíl materiálu z metamorfovaných sedimentů vrbenské zóny, a objevují se i valouny proterozoických metagranitoidů desenské klenby. Během svrchního visé dochází k ukončení hlavních deformačních procesů (Dvořák, 1994). Ukládání turbiditních sedimentů flyšového charakteru bylo nahrazeno sedimentací molasového typu. Tento fakt je patrný i z paleontologických nálezů, kdy jsou ve faunistických společenstvech hojnější mlži, plži a ramenonožci, což přibližuje faunu více k ostravskému souvrství hornoslezské pánve. Kyjovické vrstvy mají ve srovnání s ostatními vrstvami kulmu

větší mocnost, což naznačuje intenzivnější geotektonickou regeneraci během nejpozdějšího visé a spodního namuru (Kumpera, 1983).



Obr. 3: Zjednodušená geologická mapa moravskoslezské kulmské pánve (Hartley a Otava, 2001).

3. 3. Litologická charakteristika nízkojesenického kulmu

Pro flyšové sedimenty jsou typické peltické nebo drobně rytmičné sledy (Kumpera a Strohalm, 1995). Dalším charakteristickým strukturálním prvkem flyšových sedimentů je gradační zvrstvení, laminované zvrstvení, mechanoglyfy a bioglyfy. Přítomnost mechanoglyfů dokazuje změny chování částic v proudícím vodním prostředí a jejich měření umožňuje rekonstrukci paleoproudových systémů ve flyšové pánvi. Bioglyfy se v nízkojesenickém kulmu objevují méně než mechanoglyfy, avšak pro stratigrafii a paleoekologické a paleogeografické rekonstrukce mají velký význam (např. Zapletal a Pek, 1971; Mikuláš et al., 2004).

Podle Dvořáka (1975) se mocnost kulmských sedimentů pohybuje mezi 5700 m a 7400 m. Sedimentace v pánvi vykazuje zřetelný diachronismus, zatímco na západě probíhala sedimentace andělskohorského souvrství již ve spodním visé, v jv. části nízkoesenického kulmu začala sedimentace až ve svrchním visé (Kumpera, 1972a). Kulmská sedimentace vyznívá v namuru a přechází do sedimentace paralické uhlonosné molasy ostravského souvrství hornoslezské pánve (Klominský, 1994; Hartley a Otava, 2001).

Dvořák (1973) rozčlenil nízkoesenický kulm podle litostratigrafických znaků do čtyř souvrství. Od západu k východu je to souvrství andělskohorské, dále hornobenešovské, moravické a hradecko-kyjovické souvrství. Biostratigrafie nízkoesenického kulmu se opírá především o nálezy goniatitové fauny (Kumpera, 1983).

Andělskohorské souvrství

Sedimenty andělskohorského souvrství mají svou výchozovou oblast v západní části nízkoesenického kulmu (Hartley a Otava, 2001) a jsou nejstarší litostratigrafickou jednotkou v kulmském vývoji. Maximální mocnost souvrství je 1000 m. Sled andělskohorského souvrství je postihnut silnou deformací, která klesá od západu směrem k východu (Dvořák, 1994).

O počátku sedimentace se stále vedou debaty. Podle Zapletala et al. (1989) sedimentace začala na rozhraní sp. / stř. visé, avšak Zikmundová a Koverdinský (1981) datují počátek sedimentace již na hranici famen/tournai na základě konodontové fauny, kterou určili z vločky vápenců na bázi andělskohorského souvrství. Pozdější paleontologické výzkumy dokládají, že sedimentace začíná ve famenu a dále pokračuje v tournai. Stáří je paleontologicky prokázáno ve svrchní části andělskohorského souvrství, avšak pro jeho spodní část není stáří paleontologicky doloženo (Otava et al., 1994).

Charakteristickým znakem andělskohorského souvrství je rychlé střídání jemnozrnných až hrubozrnných drobových poloh s mocností do 100 metrů. Dále jsou pro andělskohorské souvrství typické gradačně zvrstvené rytmy a laminity, v nichž se střídají jemnozrnné droby, prachovce a jílové břidlice (Kukal, 1980). Podle Dvořáka (1994) probíhala sedimentace andělskohorského souvrství v diferencované pánvi s omezenou cirkulací a nedostatkem kyslíku při dně. Droby i slepence byly ukládány trakčními i turbiditními proudy.

Slepence andělskohorského s. jsou tvořeny křemenem a kvarcity (45-73 %), méně pak silicity (7,8 %), jílovými břidlicemi (1,5 %), fylity, chloriticko-sericitické břidlice, grafitické,

muskovitické břidlice, porfyroidy (11,1 %), droby, prachovce, pískovce (1,9 %), porfyry, keratofyry, afinity (7,6 %) a v menší míře granitoidy (1,7 %), bazika (0,5 %), vápence (0,5 %). Dle obsahu klastického materiálu u slepenců lze vyčlenit tři oblasti. Na jihu převládají arkózy, střed tvoří metamorfované a nemetamorfované sedimenty s vysokým obsahem klastického materiálu z kyselých vulkanitů a vápenců a sever je hojně zastoupen sedimenty bohatými na křemen a kvarcity. Vysoký stupeň zaoblení valounů svědčí o intenzivním říčním transportu nebo o procesech, které probíhaly na pobřeží (Dvořák, 1994).

Droby andělskohorského souvrství můžeme charakterizovat jak droby litické. Klastický materiál drob podle Dvořáka (1994) obsahuje kvarcity a metakvarcity (23 %), které jsou hojné při bázi souvrství. Dále droby obsahují silicity, metasilicity (15 %) a fylity – 31 % (muskovitické, chloritické nebo vápnité břidlice), jílové břidlice a prachovce (10 %), pískovce (4 %), křemenné porfyry, keratofyry, afinity (14 %) a v menší míře granitoidy (1 %), muskovitické svory a ruly (1 %), vápence (1 %), spility a bazika (1 %). Vulkanický křemen se také vzácně vyskytuje při bázi souvrství. Ve složení drob se však vyskytují regionální rozdíly. Na bázi souvrství droby obsahují velké množství nestabilních horninových úlomků, a to především epizonálních metamorfitů a sedimentů, které obsahují málo živců především plagioklasů. V severní části andělskohorského s. byl ale zaznamenán i zvýšený obsah draselných živců. S narůstající metamorfózou v drobách stoupá obsah Na_2O (3,45 %). Koncentrace FeO převažují nad Fe_2O_3 (Dvořák, 1994).

Valounové složení slepenců a modální složení drob podává obraz o snosové oblasti. Úlomky obsahují zejména fylity, břidlice, vulkanity a granitoidy. Ve snosové oblasti převažují granitoidy desenské klenby. Dvořák (1994) poskytuje informace o tom, že ke zdrojovým horninám andělskohorského souvrství patří také horniny vrbenské skupiny. Charakteristickým znakem andělskohorského souvrství je výskyt skluzových slepenců (parakonglomerátů) (např. dětřichovické slepence), o mocnosti od několika metrů až do několika desítek metrů. Valounové složení dětřichovických slepenců se často liší od složení převládajících drobových slepenců (Czudek, 1971).

V břidlicích je přítomno nejvíce jílových minerálů (chlorit, muskovit), ojediněle se objevuje kaolinit. Dále je přítomen křemen (jak dokládá i vysoký poměr Si/Al), živce a organická hmota (Dvořák, 1994). V sz. části pánve se setkáváme ve spodní části souvrství s drobnými konkracemi železitých dolomitů až hořečnatých ankeritů, které jsou nahromaděné v černých břidlicích, s vyšším obsahem organické hmoty. Břidlice s konkracemi dokládají období ukládání velmi jemného klastického materiálu spolu s karbonáty a organickou hmotou v silně

redukčním prostředí mezi relativně krátkodobým přínosem hrubšího klastického materiálu (Dvořák, 1994).

V andělskohorském souvrství můžeme sledovat hojné vlečné stopy. Bioturbace je velmi slabá, což může být vysvětleno rychlou sedimentací a důsledkem nedostatečné cirkulace vody. Lokální nahromadění bioglířů ukazuje na diferenciaci pánve. Paleoproudové stopy směřují od západu k východu (Dvořák, 1994).

Hornobenešovské souvrství

Hornobenešovské souvrství ostře nasedá na souvrství andělskohorské (Dvořák, 1994). Stratigraficky toto souvrství řadíme ke spodnímu až střednímu visé (Purkyňová, 2003). Faunistické doklady však chybí, vyskytuje se pouze rostlinná drť a ichnofosilie (Zapletal a Pek, 1971). Mocnost souvrství dosahuje 1000 m (Dvořák, 1994), ale v. směrem od šternbersko-hornobenešovského pruhu hornobenešovské souvrství rychle vykličuje a přechází do souvrství moravického (Zapletal et al., 1989). Paleoproudové analýzy indikují převládající směr proudění do jihu k severu, podélně se směrem protažení osy pánve (Kumpera, 1983).

V souvrství obecně převažují masivní až hrubé drobovo-slepencové rytmy nad jemně až středně rytmickým flyšem se zastoupením prachovců a jílových břidlic, což z něj činí nejméně perspektivní litostratigrafickou jednotku pro těžbu pokrývačských břidlic v rámci nízkohesenického kulmu. Slepence hornobenešovského souvrství obsahují jílovcové klasy, které dosahují velikosti až 10 cm. Psefitová frakce tvoří 10-15 % objemu a je tvořena středně zrnitým pískovcem, který obsahuje 10-30 % jílu (Dvořák, 1994).

Hornobenešovské droby jsou lépe zrnitostně vytríděné než droby andělskohorského souvrství. Zrna masivních drob jsou u hornobenešovského souvrství tvořena převážně křemenem a jsou dobře zaoblená (Dvořák, 1994). Základní hmota drob je tvořena 37 % křemene, 45 % živce a nestabilní složky tvoří 29 %. Úlomky drob, křemenných pískovců, arkóz, jílových břidlic a mikritových vápenců ve slepencích, jsou hojnější než v andělskohorském souvrství. Naopak množství vulkanického materiálu je v hornobenešovském souvrství nižší, což indikuje určitý útlum kyselého terestrického vulkanismu (Dvořák, 1994). Zdrojová oblast klastického materiálu, kterou lze odvodit z valounového složení slepenců a modálních analýz drob, obsahovala hlubinné a žilné magmatity, metamorfni horniny, kyselé vulkanity, vápence

a pískovce. Jedná se o metamorfované proterozoické krystalinikum a devonské sedimenty moravskoberounského a andělskohorského souvrství (Dvořák, 1994).

Asociace těžkých minerálů je typická výskytem epidotu, turmalínu, granátu, staurolitu, titanitu, zirkonu a apatitu. Granátové složení je proměnlivé se čtyřmi hlavními kompozičními varietami, jako je pyrop, spessartin, grossular a almandin (Dvořák, 1994). Tato asociace řadí hornobenešovské souvrství, spolu s andělskohorským souvrstvím, do spodní zóny těžkých minerálů (zhruba odpovídá goniatitovým zónám Pey–Goa) (Hartley a Otava, 2001).

Břidlice se liší od andělskohorského s. nízkými obsahy Na_2O , naopak pak vysokými koncentracemi K_2O díky vlivu probíhajícímu vulkanismu. Obsah organického uhlíku je vyšší než jeho obsahy v andělskohorském s. (Dvořák, 1994). V břidlicích se často objevují stopy rodu *Spirodesmos* (Zapletal a Pek, 1971).

V rámci litostratigrafie hornobenešovského souvrství vyčleňuje Kumpera (1966a) na členy (vrstvy): láryšovské, brantické a dalovské. Dle Zapletal et al. (1989) tvoří **láryšovské vrstvy** hrubozrnné lavicovité droby s menším zastoupením jílovito-prachovitých břidlic. Na drobové rytmy jsou vázány výskyty skluzových slepenců. Tyto mohutné slepencové vrstvy jsou označovány jako slepence moravskoberounské, které jsou typické karbonátovým tmelem nebo vápenci s písčitou příměsí a polohami vápencových brekcií. **Brantické vrstvy** jsou podobného charakteru jako vrstvy láryšovské. Převládají zde hrubozrnné rytmy tvořené lavicemi drob a drobových pískovců, které jsou prokládané tenkými polohami jílovito-prachovitých břidlic. V okolí šternbersko-hornobenešovského pruhu tvoří stratigrafické nadloží láryšovských vrstev a směrem k severu a západu tyto vrstvy laterálně zastupují (Zapletal et al., 1989). **Dalovské vrstvy** jsou naopak tvořeny především jílovito-prachovitými rytmy s občasnými vložkami hrubozrnných drob. Dalovské vrstvy vystupují na povrch západně od šternbersko-hornobenešovského pruhu a nejspíše představují distální facii hornobenešovského souvrství (Zapletal et al., 1989).

Moravické souvrství

Moravické souvrství představuje plošně nejrozsáhlejší výchozovou oblast nízkojesenického kulmu. Stáří tohoto souvrství je doloženo nálezy hojné goniatitové fauny (Zapletal et al., 1989), která odpovídá období sv. visé. Moravické souvrství tvoří komplex flyšových sedimentů s převahou tmavošedých prachovito-jílových laminitů a rytmitů (Bábek et al., 2004) o mocnosti až 2500 metrů (Mikuláš et al., 2004). Právě horniny moravického souvrství

byly v minulosti intenzivně využívány k těžbě pokrývačských břidlic (Kumpera a Strohalm, 1995).

Kromě převládajícího jemně rytmického flyše se vyskytují i facie masivních lavicovitých slepenců, lavicovitých až deskovitých jemnozrnných až hrubozrnných drob s různými typy zvrstvení (horizontální, šikmé, konvolutní, gradační) a čočkovitých laminovaných prachovců. V jemnozrnných faciích je běžná přítomnost bioturbací, v hrubozrnných faciích jsou hojné intraklasty tmavě šedých jílovců. Přítomen je i rostlinný detrit. Zjištěné sedimentární facie odrážejí, ukládání klastického materiálu ze zrnoků, vysokohustotních turbiditních proudů, nízkohustotních turbiditních proudů. Nejjemnější facie pak reprezentují hemipelagické sedimenty a ukládání ze suspenze (Mutti et al., 1975; Pickering et al., 1989; Bábek et al., 2004).

Paleoproudový režim moravického souvrství byl silně ovlivněn tektonickou aktivitou ve variském orogénu. Během tektonického klidu byla pánev vyplňována turbiditními proudy ve směru paralelním s osou moravskoslezské kulmské pánve, podobně jako u souvrství hornobenešovského (Kumpera, 1983). Avšak v tělesech hrubého flyše, které odrážejí fázi zvýšené tektonické aktivity, se často vyskytují směry šikmé či kolmé na osu pánve (Bábek et al., 2004).

Tektonická aktivita ve variském orogénu se odráží také v cykličnosti sedimentární výplně moravického souvrství (Bábek et al., 2004). Na základě litologické charakteristiky je vrstevní sled moravického souvrství rozdělen do pěti litografických jednotek. Zapletal (1983) vyčleňuje v moravickém souvrství vrstvy bělské, Kumpera (1966a) dále vrstvy bohdanovické, cvilínské, brumovické a vikštejnské. **Bělské vrstvy** tvoří bázi moravického souvrství v jižní a střední části výchozové oblasti. V severní části nízkojesenického kulmu se zastupují s vrstvami bohdanovickými a cvilínskými. Pro bělské vrstvy je charakteristické střídání lavicovitých drob a slepencových vložek. Droby se dále střídají s prachovito-jílovitými laminitami se sporadickými nálezy fosilií. Mocnost bělských vrstev dosahuje až 600 m (Zapletal et al., 1989). **Bohdanovické vrstvy** tvoří distální facii moravického souvrství a jsou tvořeny jemně rytmickým flyšem s mocnou polohou laminovaných jílových břidlic. Droby jsou většinou jemnozrnné až středně zrnité a mají deskovitou vrstevnatost. Podle nalezené goniatitové fauny je stáří bohdanovických vrstev sv. visé v subzóně Go α 2 nebo Go α 3 a mocnost souvrství činí 500–800 m (Dvořák, 1994). V nadloží bohdanovických vrstev leží **vrstvy cvilínské**. Jsou charakteristické výraznou tufitickou příměsí a díky tomu jsou někdy tyto vrstvy označovány jako sedimentárně-vulkanický komplex. V jílových břidlicích

se vyskytují četné železité konkrece (Kumpera, 1966). Cvilínské vrstvy se výrazně odlišují od ostatních členů moravického souvrství. Střídají se zde polohy velmi hrubého až hrubého flyše, šedomodrých, většinou živcových drob až arkóz s vložkami tmavošedých a světle zelených prachovito-jílovitých rytmitů. Vzácně jsou zastiženy vložky drobnozrnných konglomerátů. Mocnost cvilínských vrstev dosahuje až 800 metrů (Zapletal et al., 1989). V nadloží cvilínských vrstev leží **brumovické vrstvy**. Sedimentace brumovických vrstev má na bázi charakter hrubě rytmičného flyše s bohatými vložkami drobně až středně zrnitých polymiktních slepenců a drob o celkové mocnosti až 200 metrů. Do nadloží pak přibývá laminovaných jílových břidlic, které ve svrchní části tohoto stratigrafického členu převládají. V jílových břidlicích lze pozorovat hojné výskyty pelokarbonátových a fosforiticko-křemitých konkrecí (Dvořák a Maštera, 1970). Při bázi souvrství dochází k rychlému nárůstu obsahu živců (Bábek et al., 2004). Brumovické vrstvy, obsahují hojné nálezy stratigraficky významné goniatitové fauny, které dovolují zařadit sedimentaci do subzón Go α 4, Go β str a Go β fa. (sv. visé) (Kumpera, 1983). Maximální mocnost brumovických vrstev dosahuje až 800 metrů (Zapletal et al., 1989). **Vikštejnské vrstvy** moravického souvrství tvoří jeho nejvyšší část a skládají se z několika desítek metrů mocných masivních vrstev drob s vložkami prachovito-jílovitých rytmitů a jemnozrnných konglomerátů. Na povrch vystupují ve střední části moravického souvrství. V jižní části Nížkého Jeseníku vystupují tyto vrstvy v tzv. heltínovské břidličné poloze. Četné fosilní nálezy potvrzují existenci subzón Go β el a Go β mu (sv. visé) (Zapletal et al., 1989). Celková mocnost vikštejnských vrstev činí asi 250 m (Kumpera, 1983).

Psamity moravického souvrství můžeme charakterizovat jako křemen-litické až křemen živcové droby s průměrnými hodnotami křemene (61 %), živců (25,8 %) a litických klastů (13,2 %). Modální složení drob odpovídá recyklovanému orogennímu až přechodnému kontinentálnímu typu klastik (Dickinson et al., 1983). Od spodní části moravického souvrství směrem do nadloží mírně klesá obsah křemene, a naopak stoupají obsahy živců a prudce klesají obsahy litických klastů. Tyto kompoziční změny pravděpodobně odráží změny v provenienci během ukládání moravického souvrství. V průběhu sedimentace moravického souvrství dochází k poklesu přísunu materiálu ze sedimentárních a slabě metamorfovaných hornin a narůstá přísun materiálu z vysoce metamorfovaných a magmatických komplexů. Ve střední části moravického souvrství můžeme pozorovat také nárůst obsahu plutonických a vulkanických litických klastů, na což poukazují vysoké obsahy draslíkem bohatých minerálů (Bábek et al., 2004). Vysoké koncentrace K-živců mohou naznačovat buď zvýšený

přísun z plutonických zdrojů nebo intenzivní zvětrávání, které probíhalo v říčním a příbřežním prostředí (Fergusson a Tye, 1999).

Obsahy přirozených radioaktivních prvků drob a slepenců u moravického souvrství jsou: K (2,50-5,46 %), U (4,76-10,34 ppm) a Th (13,28-28,46 ppm) (Zimák, 2022). Podle Bábka et al., (2003) výsledky magnetické susceptibility značně kolísají, aniž by naznačovaly výraznější stratigrafické trendy.

Moravické souvrství řadí Hartley a Otava (2001) do střední zóny těžkých minerálů, která se vyznačuje rychlým přechodem od polyminerální asociace spodní zóny ke granátem bohaté asociaci svrchní zóny. Ve svrchní části střední zóny se mění složení granátů. Převládá pyrop-almandinová složka na úkor grosuláru. Střední zóna těžkých minerálů přibližně koreluje s moravickým souvrstvím a odpovídá goniatitové zóně Go α (sv. visé).

Hradecko-kyjovické souvrství

Na moravické souvrství nasedá nejmladší litostratigrafická jednotka nízkojesenického kulmu, hradecko-kyjovické souvrství. Sedimenty obsahují mořskou faunu, a to zejména goniatity a mlže, kteří dovolují datovat souvrství od sv. visé do sp. namuru (Mísař et al., 1983). Celková mocnost souvrství činí až 800 m (Kumpera, 1983).

Souvrství je litostratigraficky rozděleno na vrstvy hradecké podle Patteiského (1929) a kyjovické vrstvy dle Šusty (1928). Termín hradecko-kyjovické souvrství zavedl Dvořák (1977). **Hradecké vrstvy** jsou charakteristické deskovitým až lavicovitým střídáním jemně až hrubě zrnitých drob s vložkami jemně rytmického flyše, tvořeného jílovými břidlicemi a prachovci. Hrubozrnné droby obsahují vložky slepenců, které jsou definovány jako tzv. bazální nýtecký konglomerátový obzor. Mocnost poloh jílových břidlic může dosáhnout až 15 m.

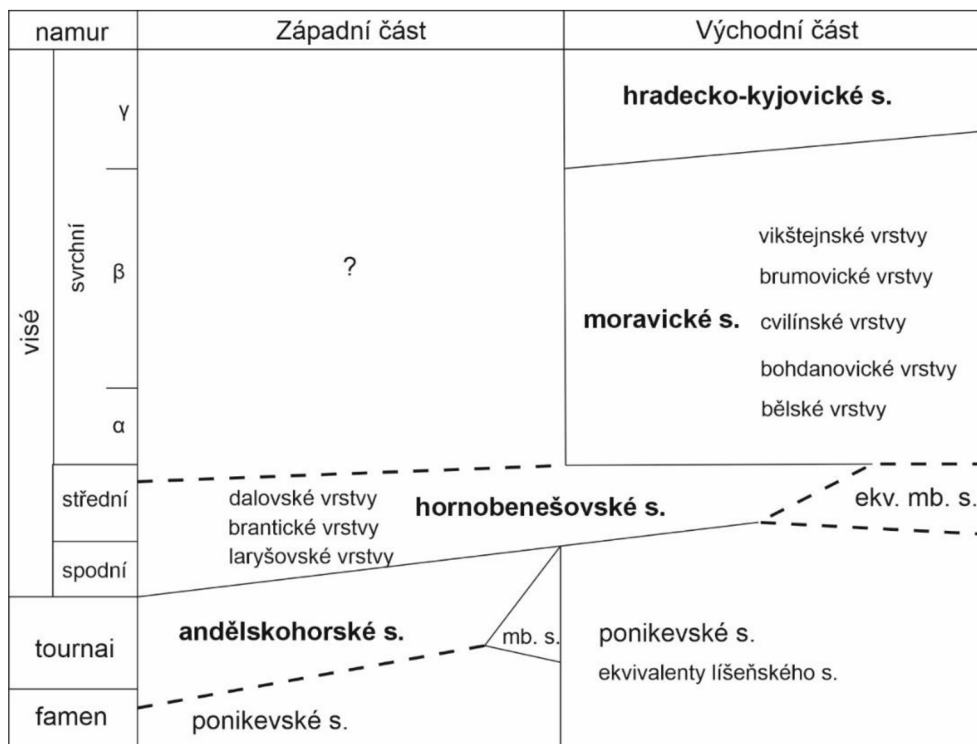
V hradeckých drobách jsou goniatitovou faunou doloženy svrchnoviséské goniatitové subzóny Go β spi a Goy1 (Zapletal et al., 1989). Hradecké vrstvy leží částečně v podloží kyjovických vrstev, částečně se laterálně zastupují (Dvořák, 1994). **Kyjovické vrstvy** se nacházejí v nejuvýchodnější části výchozové oblasti nízkojesenického kulmu a jsou jeho nejmladším členem. Vrstvy jsou tvořeny převážně jílovito-prachovými laminity až rytmity s vložkami deskovitých až lavicovitých velmi jemně až střednězrných drob. Ve spodní části převládají břidlice a jemně rytmický flyš (Czudek, 1971). V břidlicích se místy objevují polohy pelokarbonátů a ve svrchní části také vložky uhelných jílovců (Zapletal et al., 1989).

Hradecko-kyjovické konglomeráty obsahují vyšší koncentrace křemenných klastů (až 54 %), naopak ubývá klastů magmatických (15-40 %), metamorfovaných (2-21 %) a sedimentárních (5 %) hornin (Bábek et al., 2004). Dále se ve slepencích na bázi souvrství vyskytují vápencové a křemité konkrce. Ve skluzových slepencích převládají granitoidy a kyselé vulkanity (Dvořák, 1994). Podle Maštery (1975) slepenec hradecko-kyjovického souvrství obsahuje více K-živce proti moravickému souvrství.

Droby označujeme jako litické, převládá u nich plagioklas nad K-živci a obsahují hodně vulkanického křemene (až 14 %). Podle Maštery (1975) se droby ukládaly z nízkohustotních turbiditních proudů, díky nalezené bioturbaci a čeřinovému zvrstvení. Obsahy přirozených radioaktivních prvků se podle Zimáka a Štelcla (2004) v hradecko-kyjovickém souvrství pohybují ve vysokých hodnotách (2,7 hm. % K, 20,6 ppm U a 13,9 ppm Th).

Hradecko-kyjovické souvrství odpovídá svrchní zóně těžkých minerálů Hartleyho a Otavy (2001) a hranici goniatitových zón $G\alpha\beta/G\alpha\gamma$ (sv. visé). V této zóně pokračuje trend zvyšování obsahu granátů v asociaci těžkých minerálů a narůstá pyrop-almandinová složka na úkor spessartin-grosulárové komponenty (Hartley a Otava, 2001). Tyto koncentrace naznačují nízkou zralost sedimentů a také původ z vysoce-metamorfních zdrojů z moldanubika (Bábek et al., 2004). Paleoproudový režim převládal od J k S a od JZ k SV.

Postupně hradecko-kyjovické souvrství přechází konkordantně do svrchnokarbonských sedimentů uhelného ostravského souvrství hornoslezské pánve (Demek et al., 1992).



Obr. 4: Stratigrafický přehled nizkojesenického kulmu (Zapletal et al., 1989). (mb.s. - moravskoberounské souvrství).

4. Charakteristika jílových břidlic

Jílové břidlice patří mezi nejběžnější usazené horniny na planetě. Patří do skupiny pelitických sedimentárních hornin, tedy hornin, které vznikají zpevněním sedimentů bohatých na minerály v jílové zrnitostní frakci (<0,004 mm). Na jejich výsledných vlastnostech, se ale výrazně podílejí diagenetické procesy, jako je rekrytalizace, cementace, autigenese a kompakce (Potter et al., 1980). Jílová břidlice je koncovým stádiem diagenese (kompakce) jílovců. Jakékoli další vystavování vyšším teplotám a tlakům již vede ke vzniku metamorfovaných hornin, jako jsou sericitické a fylitické břidlice.

Základní hmotu jílových břidlic tvoří jílové minerály, které obvykle tvoří ~60 hm. %. V mladých (terciálních) břidlicích se může vyskytovat kaolinit, montmorillonit, illit a smektit. V důsledku diagenetických přeměn je v paleozoických břidlicích naprosto dominantní illit. Z hlediska geneze můžeme rozlišit dva typy jílových minerálů – detritické a autigenní. Detritické jílové minerály se stávají součástí jílové břidlice v důsledku redepozice ze starších hornin nebo produktů jejich zvětrávání (Potter et al., 1980). Autigenní jílové minerály se vytvářejí během postdepozičních diagenetických procesů. Při diagenetické přeměně

smektitu na illit se uvolňují prvky, jejichž opětovná krystalizace dává vznik autogennímu křemeni, kalcitu, dolomitu, ankeritu, hematitu a albitu (Potter et al., 1980). Kromě jílových minerálů se v břidlicích obvykle vyskytují i další, převážně detritické, méně autigenní minerály v pelitické zrnitostní frakci (tzv. fyzikální jíly). Zpravidla se jedná o křemen (obvykle do 30 hm. %), muskovit, živce (obvykle do 6 hm. %), karbonáty (obvykle do 5 hm. %), chloritoidy, pyrit, rutil, turmalín, zirkon a biotit (Walsh, 2007).

Chemické složení břidlic závisí na velikosti zrn, zralosti sedimentu a působení chemických a biologických procesů. Podle Pettijohna (1957) lze konstatovat, že hrubozrnnější břidlice vykazují vyšší obsahy Si, naopak jemnozrnné břidlice obsahují vyšší koncentrace Al, Fe, K a H₂O. Na povrchu detritických minerálů může být film tvořený organickými látkami. Běžné břidlice obsahují okolo 1 hm. % organických látek a do 2 hm. % Fe-(oxi) hydroxidů (Mazurek, 1999). V jílových břidlicích může být přítomen i vulkanoklastický materiál. Ingram (1953) poprvé klasifikoval pelity na základě procentuálního zastoupení jílového materiálu a schopnosti štípat se. Následně začaly být v literatuře užívány termíny jako jílovec, slínovec a jílová břidlice (Putera et al., 2017).

Barva břidlice je obvykle v odstínech šedé, ale může nabývat odstínů od červené až po zelenou v závislosti na minerálním a chemickém složení. Organická hmota způsobuje tmavé zabarvení břidlice až do černa (Borradaile et al., 1991). Naopak, břidlice bohaté na karbonáty jsou zpravidla světlejší barvy, obvykle v odstínech modré. Jestliže se v hornině hojněji vyskytují Fe²⁺ minerály (goethit, limonit), bude barva břidlice v odstínech hnědé až žluté. Vyšší obsah minerálů s Fe³⁺ (hematit) mění barvu na zelenou, fialovou až červenou. Díky zvýšené přítomnosti minerálů, jako je chlorit, biotit a illit, může břidlice nabývat nazelenalých odstínů. Barva břidlice tak může být dobrým indikátorem redoxních podmínek v depoziční pánvi, kdy tmavé břidlice například charakterizují anoxické redukční prostředí (Strohalm, 2002).

Typickým texturním znakem břidlic je laminace, kdy se u jílových břidlic střídají světlejší a tmavší vrstvy, které mohou odrážet cyklické změny klimatu, změny rychlosti sedimentace, transportu ukládaného materiálu a dalších faktorů (Attewell a Farmer, 1976). Struktura jílových břidlic je pelitická až aleuropelitická.

Štípatelná břidlice vyniká svou štěpností a odolností vůči povětrnostním podmínkám a působení vody, která působí na její povrch (Taylor, 1948). Kvalita břidlice je ovlivněna

minerálním složením, stupněm metamorfózy a zvětráváním (Cárdenes et al., 2014). V jílových břidlicích se vyskytují různé nestabilní minerály, zejména ty z karbonátové skupiny, jako je kalcit, dolomit a siderit, dále i sulfidy, například pyrhotin, markazit a pyrit, a méně často oxidy, jako je ilmenit. Břidlice obsahující tyto minerály ve velkém množství nebo ve formě větších zrn a shluků se poměrně rychle rozpadají, a proto nejsou vhodné pro výrobu břidlicové střešní krytiny. Vystavení břidlice povětrnostním vlivům spouští v hornině celou řadu procesů, z nichž pro kvalitu suroviny má vliv zejména oxidace sulfidu železa, která ovlivňuje vzhled břidlicových desek (Cárdenes et al., 2009). Dalším negativním procesem je gypsifikace, která vede ke změkčení břidlice a snižuje odolnost vůči zvětrávání (Cárdenes et al., 2012). Při tomto procesu se vytvářejí krystalky sádrovce v důsledku alterace karbonátů a pyritu (Walsh, 2007). Na střešní krytinu jsou využitelné pouze nejkvalitnější polohy ložiska, dobře štípatelné, bez hrubozrnných proplátek. Formáty desek jsou min. 20 x 20 cm a tloušťka 4-10 mm (Hejtmánek a Kočandrle, 1992).

5. Historie těžby břidlic nízkohesenické oblasti

Na území České republiky se jílová břidlice těžila na několika místech, avšak z historického pohledu je nejvýznamnější oblast Nízkého Jeseníku, kde se těžba břidlice nenávratně zapsala do charakteru zdejší krajiny (Schuchová et al., 2023). V dnešní době nám těžbu břidlicové suroviny připomínají zejména opuštěné zatopené lomy, podzemní štoly či haldy (Kumpera a Strohalm, 1995).

Břidlice se na našem území začala využívat již ve středověku, nesloužila však jako pokrývačský materiál, ale používala se především jako dlažba. První písemné zmínky o těžbě pokrývačské břidlice v Nízkém Jeseníku, pocházejí až z 18. století (Lehotský a Zapletal, 2008). Těžba v této době byla spíše povrchová a prováděli ji místní obyvatelé, zejména sedláci a statkáři. S příchodem německy mluvícího obyvatelstva se těžba stala sofistikovanější a přešla do podpovrchové těžby. Proto se zdejší metoda podzemní těžby označuje jako Rýnská metoda dobývání (Schuchová et al., 2023).

Výsledkem rýnské dobývací metody byl systém podzemních štol, které probíhaly rovnoběžně s hlavovou štolou. Mezi dvěma sousedními štolami pak byl ponechán ochranný pilíř. Díky tomu rozměry těžebních místností dosahovaly až 25 m na délku a 12 m na šířku i výšku (Grygárek, 2014; Wichert, 2020). Podpovrchová těžba nabízela kvalitnější surovinu a díky stabilní teplotě mohla probíhat po celý rok (Schuchová et al., 2023).

Po roce 1785 došlo k prudkému nárůstu těžby břidlice poté, co Josef II. vydal tzv. ohňový patent, který nařizoval používat na pokrývání střech nehořlavý materiál. Jelikož byla břidlice ve své době nevyhrazenou surovinou, šlo o nejdostupnější a nejlevnější surovinu pro střešní krytinu (Jirásek et al., 2019).

Během průmyslové revoluce mezi lety 1860 až 1914 se Nízký Jeseník stal jedním z nejvýznamnějších vývozců břidlice ve střední Evropě. Avšak důležitým faktorem, který přispěl k úpadku těžby, byla 1. světová válka a následný rozpad Rakousko-Uherska (Strohalm, 2003). Tyto události měly za následek dramatický pokles dodávek uhlí, což vedlo k zastavení provozu parních kotelen a strojů. Jako příklad můžeme uvést situaci v dolech ve Velké Střelné, kde nedostatek uhlí způsobil zastavení těžby a následné zatopení chodeb podzemními vodami.

Dalším faktorem, který sehrál významnou roli v úpadku těžby, byl nástup zcela nového typu střešní krytiny z osinkocementu, známého jako eternit, a také rostoucí konkurence zahraničních výrobců. Tato kombinace faktorů přinesla pád mnoha malých i velkých podniků zabývajících se těžbou břidlic. Například dovoz břidlicové krytiny z Anglie, která byla vyvážena z oblasti severního Walesu (Penrhynské ložisko, Bethesda, Gwynedd), kde je dnes viditelná například na zámku v Dobříši (Strohalm, 2002), přispěl ke konkurenčnímu tlaku. Tento trend lze pozorovat i prostřednictvím starých střech, které jsou zachovány převážně v oblasti Sudet v okolí Labe. Tyto střechy nesou různé tvary a barvy krytiny, což svědčí o rozmanitosti a historii využívání různých materiálů.

Po druhé světové válce v důsledku odsunu německého obyvatelstva a kvůli ztrátě dovedností, dokumentace i mapových podkladů k důlním dílům došlo k útlumu těžby. Těžba se v té době koncentrovala jen do několika málo lokalit. Ty, které zůstaly v provozu byly následně v 50. letech znárodněny (Labus et al., 2019).

V 80. letech se vláda pokusila obnovit břidlicový průmysl, aby zachovala kulturu dědictví v této oblasti, ale už nikdy nedosáhla své bývalé slávy. Po roce 1989 definitivně skončila (Schuchová et al., 2023).

V současné době se břidlice těží především jako kámen na dlažby a obklady, např. v malém povrchovém lomu u Domašova nad Bystřicí. Těžba pokrývačských břidlic byla obnovena na dole Radim ve Svatoňovicích, dole Šárka v Budišově, v lomu Svobodné Heřmanice-jih a Hrubé Vodě. Z důvodů sanačních a revitalizačních akcí, se břidlice těží také z hald ve Svobodných Heřmanicích a Velké Střelné [1].

Dodnes jsou některé historické budovy vybaveny střechou z břidlice původem z Nízkého Jeseníku. Mezi ně patří například Národní divadlo v Praze, katedrála sv. Štěpána ve Vídni, budova parlamentu v Budapešti a mnoho dalších historických i náboženských staveb po celé České republice [1]. Po kvalitním přírodním materiálu, jako je štípatelná břidlice, je stále velká poptávka a z domácích zdrojů je možné plně saturovat trh se zahradním kamenem, hrubšími typy obkladů, výhledově částečně i poptávku po autentické domácí krytině pro památkové stavby, která se v současnosti dováží z Číny, Španělska a Brazílie. Břidlice se také využívala k výrobě školních tabulí, dekorativních předmětů, nebo jako plnivo do lepidel (Jirásek et al., 2019).

Jílové břidlice se v andělskohorském s. těžily v pásmu od Dětrichovic až po okolí Šternberka. Severnější oblasti pro těžbu břidlice nebyly vhodné, kvůli zvýšené metamorfóze hornin. Nejvíce ložiskových poloh jílové břidlice můžeme v Nízkém Jeseníku nalézt v bohdanovických, brumovických a vikštejnských vrstvách moravického souvrství, v andělskohorském souvrství a místy i v kyjovických vrstvách (Kumpera, 1983).

V moravickém souvrství se jílové břidlice těžily ve třech ložiskových pruzích. Od Svobodných Heřmanic na severu dále pak přes Bohdanovice, Hořejší Kunčice, Svatoňovice až po Hrubou Vodu na jihu. Další těžba probíhala od Deštného přes Svatoňovice, St. Oldřůvky a Velkou Střelnou. Ve východní části moravického s. se jílová břidlice těžila a na některých místech stále těží v okolí Moravice, Zálužné, Nové Těchanovice, Lhotka u Vítkova, Čermnou, Klokočov, Nové Oldřůvky až k Boňkovu. V kyjovických vrstvách byla jílová břidlice těžena na několika málo lokalitách, a to na Jestřábí u Fulneku, Wondruškův lom u Budišovic a Bártův mlýn u Kyjovic (Kumpera a Strohalm, 1995).

Důležité je také využití odpadového materiálu, který je vhodný k posypům asfaltových izolací, pro výrobu mikromletých mouček. Jílové břidlice, které obsahují vyšší obsahy chloritu, sericitu nebo mastku mohou být v mletém stavu použity jako plniva v průmyslu umělých hmot, při výrobě barev, laků a ochranných nátěrů, v papírenském průmyslu či keramice. Břidlice kyjovického souvrství jsou měkčí než typické pokrývačské břidlice a dají se dobře řezat, opracovávat a leštit. Z tohoto materiálu se poté vyráběly ozdobné předměty, jako jsou psací soupravy, kuřácké soupravy, podstavec nebo knihovní opěry (Kumpera a Strohalm, 1995).

6. Metodika výzkumu

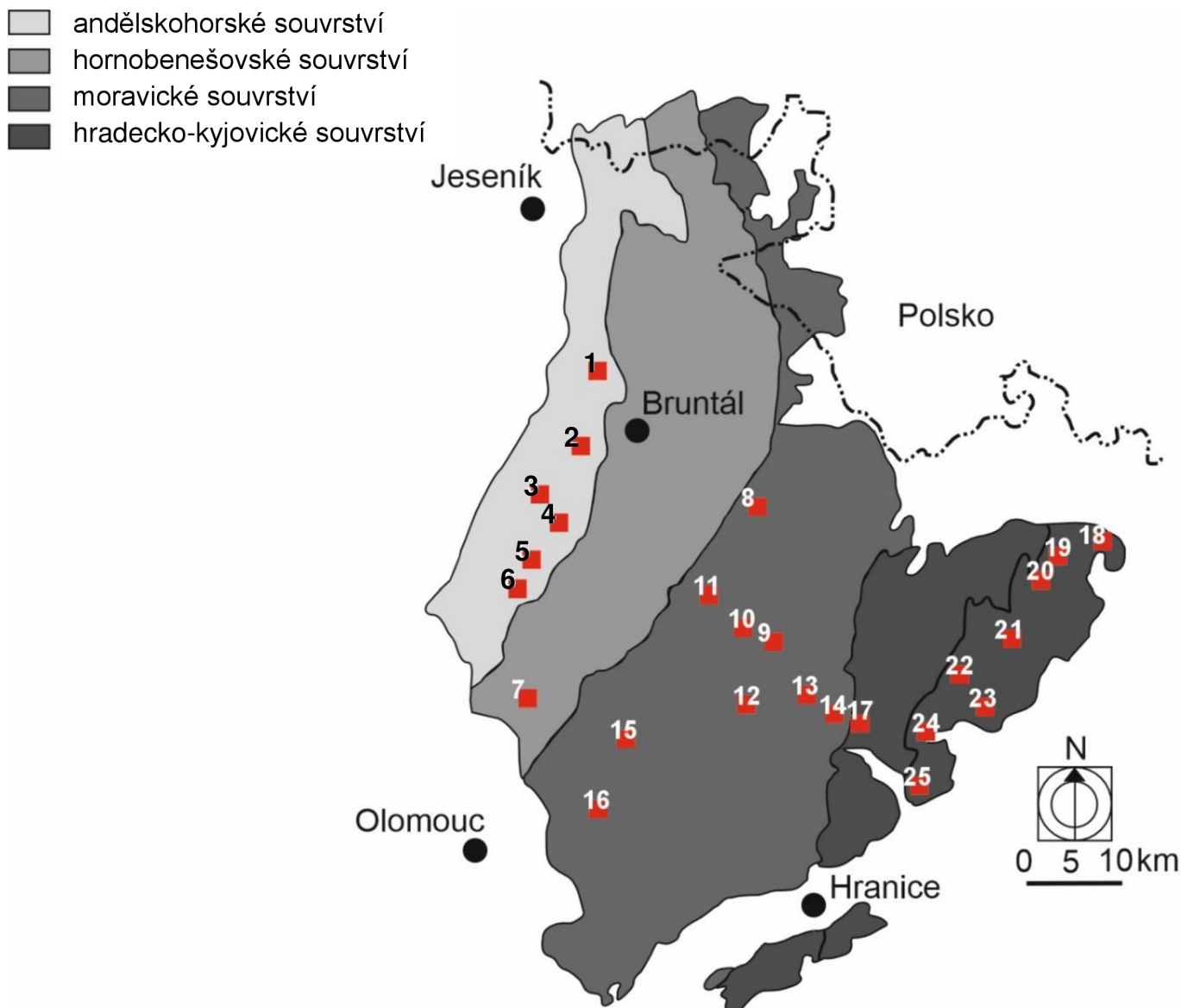
Diplomová práce byla rozdělena do několika etap, a to na teoretickou, terénní a laboratorní. V teoretické části se zabývám základním geomorfologickým a geologickým popisem Nízkého Jeseníku. Dále se v práci zaměřuji na detailní popis jednotlivých souvrství nízkojesenického kulmu a rozdílů mezi nimi. Další kapitoly jsou věnovány charakteristice jílových břidlic a stručné historii jejich těžby v oblasti Nízkého Jeseníku.

6. 1. Terénní část

Cílem mé diplomové práce bylo shromáždit vzorky z různých litostratigrafických jednotek nízkojesenického kulmu tak, aby bylo možné porovnat jejich sedimentárně-petrologické a petrofyzikální vlastnosti. Terénní etapa proběhla v březnu a v září roku 2023, během které jsme navštívili 14 lokalit. Navštívené lomy byly také fotograficky zdokumentovány (příloha 1). Pro analýzy byly také použity vzorky pana Mgr. Daniela Šimíčka, Ph. D, a to z lokalit: Hrubá voda, Malý Rabštýn, Dvorce, Budišov nad Budišovkou, Lukavec, Stará Ves u Bílovce, Fulnek Jílovec, Fulnek Jerlochovice, Jakubčovice nad Odrou, Fulnek Stachovice a Josefovice. Většina dolů byla lokalizována pomocí databáze České geologické služby [2] a také podle míst, kde v minulosti probíhala těžba jílových břidlic (Kumpera a Strohalm, 1995). Kvalitní neovětralé vzorky byly odebrány z hald nebo přímo ze skalních výchozů.

Tab. 1: Seznam navštívených lokalit seřazených podle stratigrafie s celkovým počtem odebraných vzorků. Označení lokalit je používáno v celé práci.

Stratigrafie	Lokalita	Označení	Počet zkoumaných vzorků
andělskohorské s.	Jíříkov	JIŘ	1
	Huzová	HUZ	2
	Malá Štáhle	MŠ	3
	Václavov	VÁC	3
	Břidličná jezírka	BJ	2
	Dětřichovice	DĚT	2
hornobenešovské s.	Dalovské jezírko	DJ	1
moravické s.	Hrubá voda	HV	3
	Malý Rabštýn	RB	1
	Dvorce	DV	2
	Svobodné Heřmanice	SVB	2
	Budišov nad Budišovkou	BB	3
	Staré Oldřůvky	SO	3
	Svatoňovice	SVAT	1
	Čermná ve Slezsku	ČS	1
	Klokočov – Důl Marie	DM	3
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS	4
	Budišovice – Wondruškův lom	WON	4
	Lukavec	LU	2
	Stará Ves u Bílovce	SV	3
	Fulnek Jílovec	FJ	2
	Fulnek Jerlochovice	JE	2
	Jakubčovice nad Odrou	JAK	2
	Fulnek Stachovice	ST	2
	Josefovice	JO	1
Celkem	25		55



1 – Dětrichovice; 2 – Václavov; 3 – Malá Štáhle; 4 – Břidličná; 5 – Huzová; 6 – Jiříkov;
 7 – Dalov; 8 – Svobodné Heřmanice; 9 – Svatoňovice; 10 – Budišov nad Budišovkou;
 11 – Dvorce; 12 – Staré Oldřůvky; 13 – Černná ve Slezsku; 14 – Klokočov; 15 – Malý
 Rabštýn; 16 – Hrubá Voda; 17 – Jakubčovice nad Odrou; 18 – Hlubečková skála;
 19 – Budišovice-Wondruškův lom; 20 – Josefovce; 21 – Stará Ves u Bílovce; 22 – Fulnek-
 Jerlochovice; 23 – Fulnek-Jílovec; 24 – Fulnek-Stachovice; 25 – Fulnek-Lukavec

Obr. 5: Litostratigrafická mapa nízkojesenického kulmu s vyznačenými místy odběru vzorků na lokalitách těžby pokrývačské břidlice (převážně historické) (upraveno podle Hartleyho a Otavy, 2001).

6. 2. Laboratorní část

Laboratorní analýzy byly provedeny na Katedře geologie Univerzity Palackého v Olomouci. Využila jsem široké škály analytických metod, včetně magnetické susceptibility, spektrální fotometrie, laboratorní gamaspektrometrie a rentgenovou fluorescenční spektrometrii. Prášková rentgenová difrakční analýza byla provedena na Ústavu geologických věd MU v Brně a kvalitativní i semi-quantitativní vyhodnocení difrakčních záznamů provedl Mgr. Dalibor Všianský, Ph.D.

6. 2. 1. Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita (MS) je bezrozměrná veličina a vyjadřuje schopnost minerálu magnetizovat se ve vnějším magnetickém poli. Hodnoty magnetické susceptibility hornin odrážejí rozdíly v obsahu diamagnetických, paramagnetických a ferromagnetických minerálů (Bábek, 2013). Horniny s převahou diamagnetických minerálů (např. křemen, kalcit) se vyznačují nízkými kladnými až zápornými hodnotami magnetické susceptibility. Horniny s převahou paramagnetických minerálů (např. illit, muskovit) jsou charakteristické nízkými pozitivními hodnotami magnetické susceptibility (například illit, muskovit) a vyšší koncentrace ferromagnetických minerálů (např. magnetit, hematit) způsobují, že hornina dosahuje vysokých hodnot magnetické susceptibility.

Měření magnetické susceptibility bylo provedeno u všech 55 vzorků na kappamůstku typu KLY-4 (AGICO s.r.o., ČR). Technické specifikace přístroje jsou uvedeny např. v práci Bábka et al. (2013). Vzorky byly nejprve rozdrceny na menší kousky, aby se snadno vešly do plastového držáku o objemu 10 ml. V tomto plastovém držáku byly vzorky spouštěny do měřicí studny kappamůstku. Poté byly vzorky zváženy na digitální váze, aby bylo možno stanovit jejich hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitu. Naměřené hodnoty magnetické susceptibility (K) byly přepočítány na hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitu χ [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] podle vzorce (1; Šimíček, 2018):

$$\chi = K [\text{SI}] \times 10/\rho [\text{g}]/1000 \quad (1)$$

6. 2. 2. Spektrální odraznost

Barva hornin je základním indikátorem, který může signalizovat přítomnost konkrétních minerálů (jako je například hematit, karbonáty atd.) nebo organických složek. Barevné vlastnosti minerálů jsou determinovány jejich schopností pohlcovat viditelné světlo pomocí elektronů, které jsou označovány jako chromofory (Bábek, 2013). Pro stanovení barevných vlastností jílových břidlic jsem zvolila metodu spektrální odraznosti. Princip spektrální odraznosti spočívá v osvětlení povrchu vzorku bílým světlem, přičemž odražené světlo je analyzováno spektrofotometrem.

Všech 55 preparátů bylo před analýzou namletu v mechanickém mlýnku a následně uloženy do uzavíratelných sáčků s odpovídajícím označením. Pro zjištění barevného spektra vzorků ve viditelném světle byl využit ruční spektrální fotometr s kulovou geometrií SP 62 (X-Rite, USA) určený pro kolorimetrická měření v rozsahu 400 až 700 nm. Součástí tohoto zařízení je také osobní počítač s kolorimetrickým softwarem QA-Master1. Před měřením byla provedena kalibrace spektrofotometru na černo-bílém standardu. Ruční spektrální fotometr následně vyhodnocuje hodnoty barevných parametrů CIE L^* , a^* , b^* (Sedláček et al., 2017).

Hodnoty světlosti L^* se pohybují od 0 (černá barva) do 100 (bílá barva). Barevná složka a^* určuje barevnou osu od zeleno-modré (záporné hodnoty) po červeno-purpurovou barvu (kladné hodnoty). Barevná složka b^* definuje barevnou osu od modro-purpurové (záporné hodnoty) po zeleno-žlutočervenou barvu (kladné hodnoty) (Dalajková et al., 2016).

6. 2. 3. Laboratorní gamaspektrometrie

Laboratorní gamaspektrometrie je hojně využívanou petrofyzikální metodou a slouží ke stanovení přirozené radioaktivity hornin. Přirozená radioaktivita hornin je spojena především s aktivitou radioaktivních izotopů K, U a Th (Zimák, 2017). Laboratorní měření spekter gama záření bylo provedeno na stíněném laboratorním gamaspektrometru GS-320 se NaI (Tl) scintilačním detektorem o rozměrech 350 cm³ (výrobce Exploranium Inc., Kanada).

Před samotným měřením byly vzorky hornin nadrceny v mechanickém drtiči na jemnou frakci a následně uloženy do plastových zkumavek. Celkem bylo změřeno 55 vzorků hornin z nízkohesenického kulmu Každý vzorek byl dále zvážen na digitální váze a jeho hmotnost se pohybovala kolem 20 g. Připravený vzorek byl poté umístěn do gamaspektrometru, kde probíhalo měření po dobu 30 minut. Detailně je postup přípravy vzorků a proces měření

popsán např. v práci Šimíčka et al. (2012). Získané výsledky poskytovaly informace o koncentracích K (%), U (ppm) a Th (ppm). V rámci této studie byly také analyzovány poměry K/Th a U/Th.

6. 2. 4. Prášková rentgenová difrakční analýza

Metoda rentgenové difrakční analýzy je využívána k identifikaci krystalických látek a hodí se především ke zjištění minerálního složení jemnozrnných hornin, jako jsou břidlice, kde nelze studovat minerální složení klasickou optickou mikroskopií. Před samotným měřením byly vzorky rozemlety na jemný prášek na vibračním diskovém laboratorním mlýnku.

Celkem bylo studováno 6 vzorků, které reprezentují všechny souvrství nízkohesenického kulmu. Tyto výsledky dávám dohromady s daty ze tří vzorků, které byly analyzovány stejnou metodikou v rámci mé bakalářské práce (Franková, 2020). Analýza proběhla na zařízení Panalytical X'Pert PRO MPD s anodou z kobaltu ($\lambda_{K\alpha} = 0,17903$ nm). Práškové preparáty byly nasyceny parami ethylenglykolu. Pro kvantifikaci složitých minerálů, které jsou obtížně rozeznatelné v polyfázových vzorcích, byla použita strukturní referenční data muskovitu 2M1. Doba měření byla stanovena na 130 sekund. Kvantifikace proběhla pouze krystalických částí pomocí Rietveldovy metody v softwaru Bruker AXS Topas 4. Získaná data byla kvalitativně zpracována v programu Panalytical HighScore 3 plus.

Prášková RTG – difrakční (XRD) analýza byla provedena na aparatuře Panalytical X'Pert PRO MPD s Co – anodou ($\lambda_{K\alpha} = 0,17903$ nm), RTMS detektorem (X'Celerator) a fixními divergenčními clonami při konvenční reflexní geometrii. Krok: $0,033$ ° 2θ , čas na krok: 160 s, úhlová oblast: $5,5$ – 100 ° 2θ , celková doba načítání jednoho skenu: 3544 s. Data byla zpracována pomocí software Panalytical HighScore 5.1 plus a Bruker AXS DIFFRAC plus Topas 4. Kvantitativní fázová analýza byla provedena Rietveldovou metodou. Kvantifikovány byly pouze krystalické fáze.

6. 2. 5. Rentgenová fluorescenční spektrometrie

Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF) je analytická technika využívaná k určení koncentrací prvků v hornině (Gore, 2009). V rámci této práce byla použita metoda využívající energiově disperzní záření (EDXRF) (Ersepke, 1994; Brower, 2003). Pro provedení rentgenové fluorescenční spektrometrie byl použit ruční EDXRF spektrometr DELTA (Innov-X, Inc., USA). Před samotným měřením bylo celkově 55 vzorků mechanicky rozmělněno na prášek ve vibračním diskovém laboratorním mlýnku. Tyto práškové vzorky byly umístěny do

plastové kyvety o objemu cca 3 cm³ a překryty s mylarovou folií. Kyveta se vzorkem pak byla umístěna do dokovací jednotky. Délka měření každého vzorku v režimu GEOCHEM byla 4 minuty. Spektrometr umožňuje detekci široké škály hlavních i stopových prvků od Mg po U. V rámci této práce byly sledovány především Al, Si, K, Ti, Fe, Zn, Rb, Zr a Pb, jejichž koncentrace jsou vždy nad detekčním limitem přístroje.

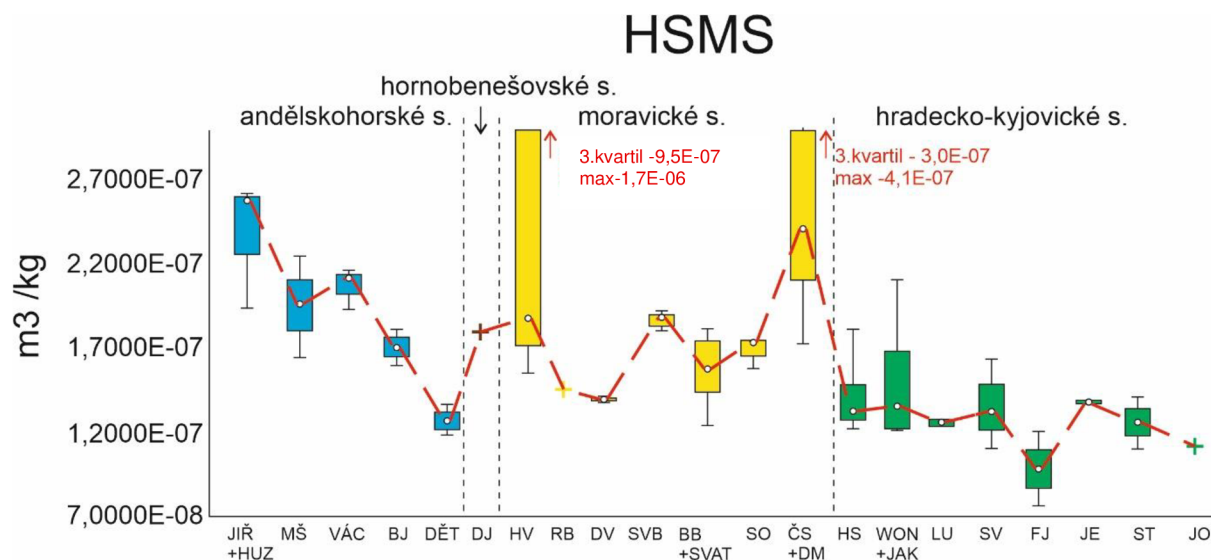
7. Výsledky

Výsledky hmotnostně specifické magnetické susceptibility (HSMS), spektrální kolorimetrie, laboratorní gamaspektrometrie jsou vyjádřeny jako boxploty, které ukazují rozsahy naměřených hodnot: minimum, maximum, první a třetí kvartil a medián. Červenou přerušovanou čarou je pak vyjádřen trend v koncentraci prvků mezi jednotlivými lokalitami v rámci každého souvrství. Při prezentaci výsledků byla sloučena data z některých lokalit, které jsou si prostorově blízké. Hodnoty práškové rentgenové difrakční analýzy jsou zobrazeny v přehledné tabulce a rentgenová fluorescenční spektrometrie zhotovena PC analýzou.

Veškerá data byla zpracována v MS Excel a grafy byly následně graficky upraveny v aplikaci CorelDRAW.

7.1. Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita

Hodnoty HSMS všech vzorků se pohybují v rozmezí $7,64E^{-8}$ – $1,72E^{-6}$ m³ kg⁻¹ (příloha 2). Průměrná hodnota činí $2,00E^{-7}$ m³ kg⁻¹ (obr. 6). Hodnoty HSMS z andělskohorského souvrství se pohybují v rozsahu od $1,18E^{-7}$ m³ kg⁻¹ do $2,62E^{-7}$ m³ kg⁻¹. Průměrná hodnota je $1,93E^{-7}$ m³ kg⁻¹. V rámci andělskohorského souvrství pozorujeme obecný trend, kdy u lokalit seřazených podle stratigrafické posloupnosti dochází ke zřetelnému poklesu hodnot HSMS. Hornobenešovské souvrství je zastoupeno pouze jednou lokalitou, a to Dalovským jezírkiem (DJ). Hodnota HSMS dosahuje $1,83E^{-7}$ m³ kg⁻¹. Hodnoty HSMS získané z moravického souvrství se pohybují v rozsahu $1,25E^{-7}$ – $1,72E^{-6}$ m³ kg⁻¹. Průměrné hodnoty jsou $2,65E^{-7}$ m³ kg⁻¹. Některé lokality moravického souvrství vykazují výrazně vyšší hodnoty HSMS v porovnání s ostatními kulmskými souvrstvími (obr. 6). U vzorků hradecko-kyjovického souvrství se HSMS pohybuje od $7,64E^{-8}$ m³ kg⁻¹ do $2,11E^{-7}$ m³ kg⁻¹. Průměrná hodnota HSMS činí $1,25E^{-7}$ m³ kg⁻¹. Obecně se vzorky břidlic z hradecko-kyjovického souvrství projevují nízkými hodnotami HSMS v porovnání se vzorky ze starších kulmských souvrství (obr. 6).



Obr. 6: Výsledky hmotnostně specifické magnetické susceptibility. Zkoumané lokality jsou seřazeny podle stratigrafie od nejstarších (andělskohorské souvrství) po nejmladší (hradecko-kyjovické souvrství). Zkratky lokalit odpovídají Tab. 1.

HODNOTY
 — maximum
 — 3. kvartil
 ○ median
 — 1. kvartil
 — minimum
 + pouze 1 měření

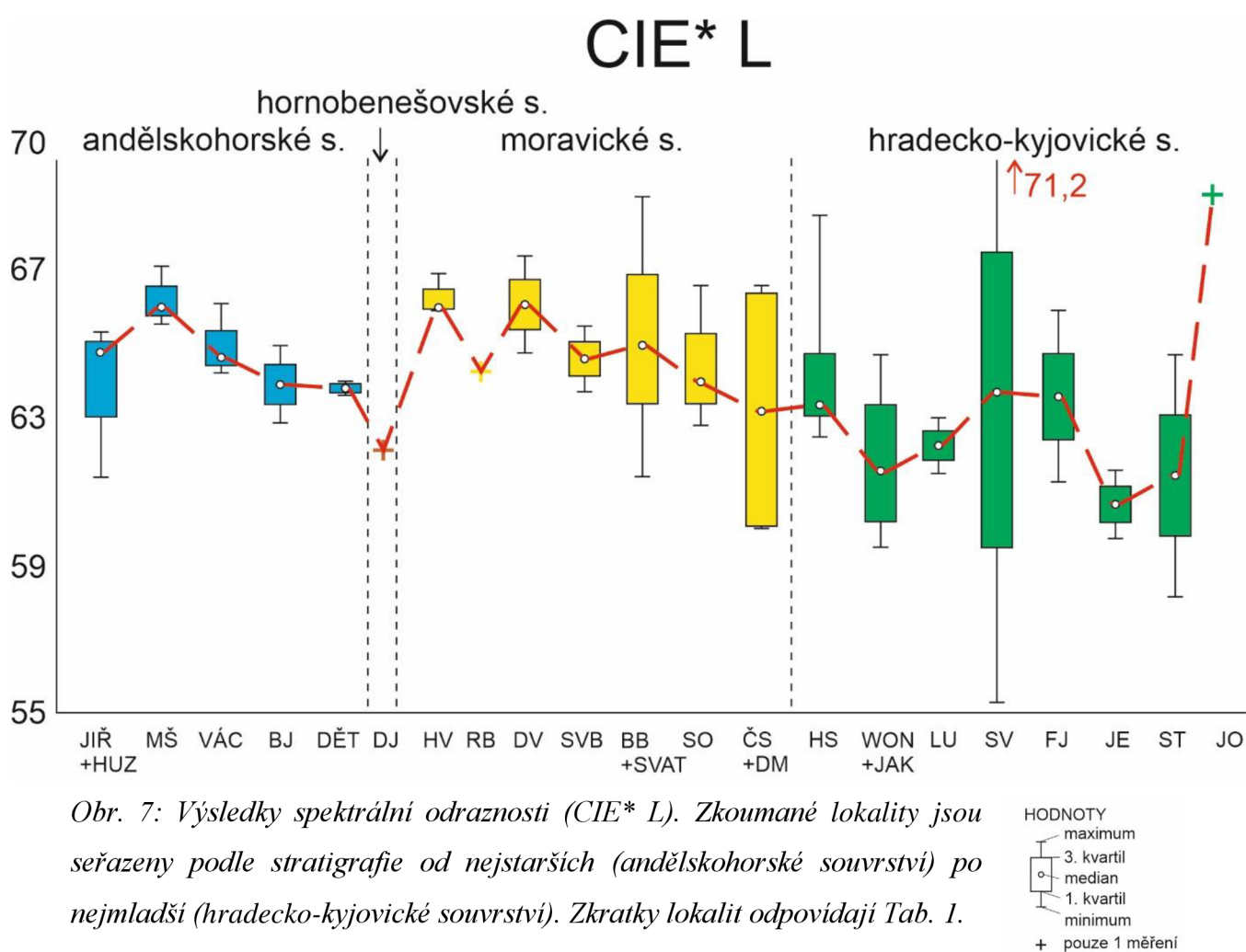
7.2. Spektrální odraznost

Hodnoty spektrální odraznosti jsou v této práci charakterizovány barevným modelem CIE, konkrétně hodnotami jasu CIE*L (příloha 2). Zkoumané vzorky se pohybují v rozmezí od 55,30 do 71,21. Průměrná hodnota všech vzorků je 63,95 (obr. 7). Nejnížší a zároveň nejvyšší hodnota byla naměřena u vzorků ze Staré Vsi u Bílovce, která reprezentuje hradecko-kyjovické souvrství.

Kolorimetrické parametry CIE* L u andělskohorského souvrství nabývají hodnot od 61,40 do 67,09. Průměrné hodnoty jasu jsou 64,64. Na základě zkoumaných vzorků lze vysledovat obecný trend poklesu hodnot CIE*L od báze andělskohorského souvrství směrem k jeho stropu (obr. 7). Hornobenešovské souvrství bylo možné studovat pouze na lokalitě Dalovské jezírko a břidlice zde dosahuje hodnot jasu 62,02. Pokračuje tak v trendu poklesu hodnot nastoleném již v andělskohorském souvrství. Hodnoty CIE* L u břidlic moravického souvrství se pohybují od 60,02 do 68,98. Průměrné hodnoty činí 64,90. Na bázi moravického souvrství lze pozorovat opětovný nárůst hodnot jasu, avšak ve zbytku souvrství pozorujeme pokles hodnot tohoto kolorimetrického parametru směrem do nadloží (obr. 7). U břidlic hradecko-kyjovického souvrství jsou hodnoty CIE* L od 55,30 do 71,21. Průměrná hodnota vzorků činí 62,81. Přes mírné zvýšení hodnot jasu ve střední části stratigrafického sledu

kyjovických vrstev, pokračuje obecný trend poklesu hodnot tohoto kolorimetrického parametru, nastolený již v moravickém souvrství a břidlice hradecko-kyjovického souvrství se tak vyznačují obecně nízkými hodnotami CIE*L v porovnání s břidlicemi ze starších kulmských souvrství (obr. 7).

Určitou zajímavostí datového souboru je rozptyl hodnot v rámci zkoumaných lokalit. V andělskohorském souvrství a spodní části moravického souvrství pozorujeme jen malý rozptyl hodnot CIE*L mezi břidlicemi odebranými na jednotlivých lokalitách. Ve svrchní části moravického souvrství a v hradecko-kyjovickém souvrství lze naopak pozorovat velký rozptyl jasu u vzorků břidlic odebraných na stejné lokalitě (obr. 7).

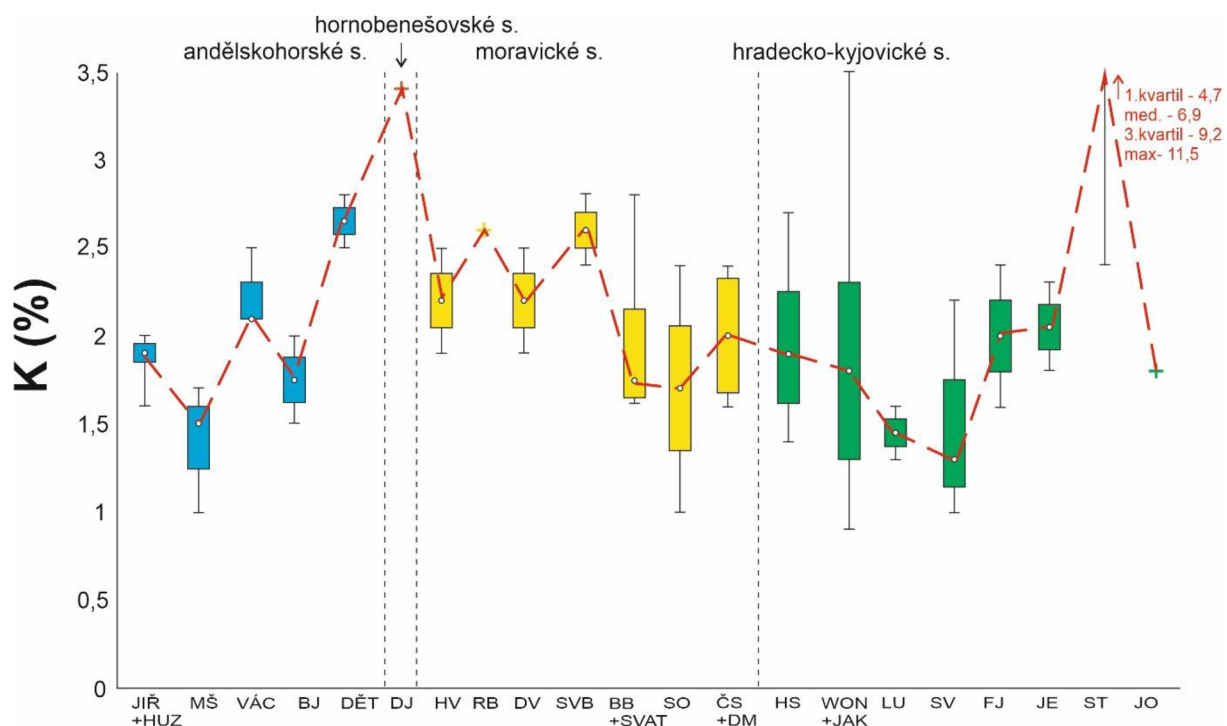


Obr. 7: Výsledky spektrální odraznosti (CIE* L). Zkoumané lokality jsou seřazeny podle stratigrafie od nejstarších (andělskohorské souvrství) po nejmladší (hradecko-kyjovické souvrství). Zkratky lokalit odpovídají Tab. 1.

7.3. Laboratorní gamaspektrometrie

Laboratorní gamaspektrometrií byly ve vzorcích břidlic zkoumány koncentrace radioaktivních prvků: K (%), U (ppm) a Th (ppm) (příloha 3).

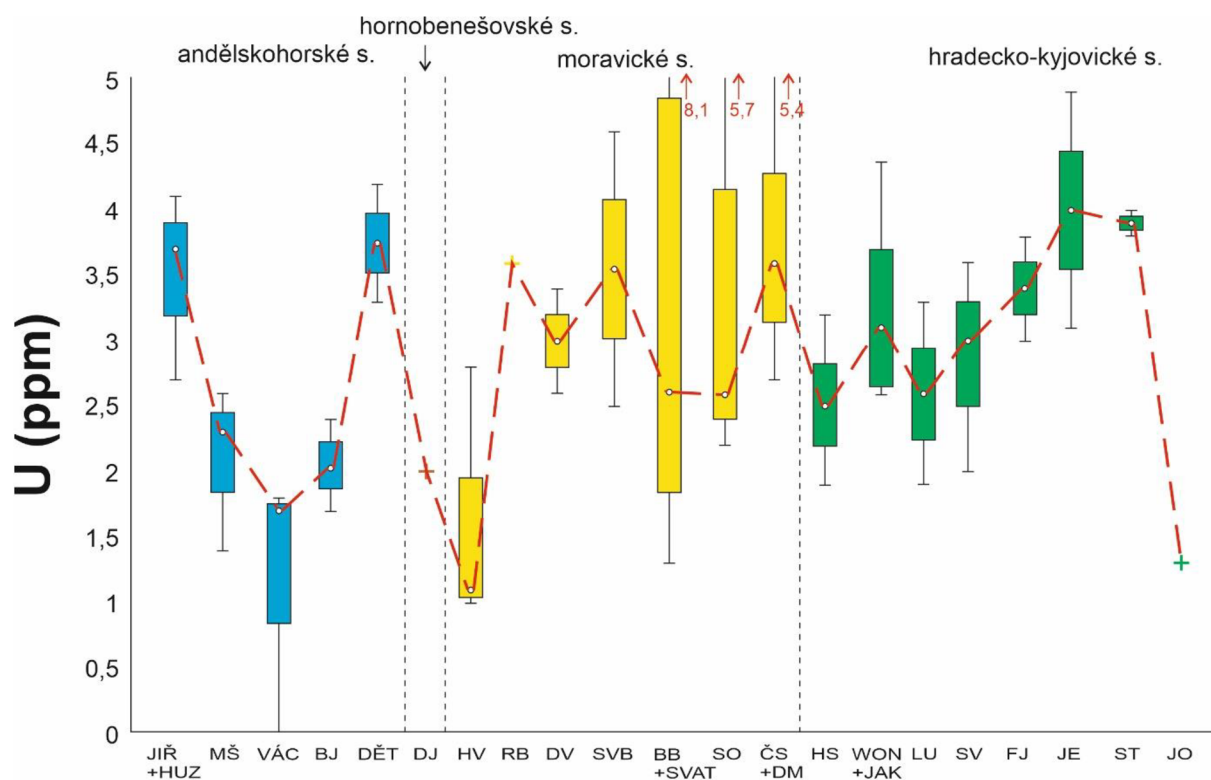
Naměřené hodnoty draslíku se pohybují v širokém rozmezí od 0,9 až 11,5 %. Průměrná hodnota je bližší spíše spodní hranici rozmezí a činí 2,2 % (obr. 8). Medián obsahu K obecně narůstá v andělskohorském souvrství souhlasně se stratigrafickým sledem a vysoké hodnoty vykazuje také břidlice, reprezentující hornobenešovské souvrství. Následně v moravickém souvrství pozorujeme pokles hodnot a obecný mírný poklesový trend pokračuje moravickým souvrstvím až do spodní části kyjovických vrstev. Ve svrchní části hradecko-kyjovického souvrství lze pak pozorovat opětovné zvýšení obsahu draslíku (obr. 8).



Obr. 8: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie s koncentracemi draslíku v jílových břidlicích. Zkoumané lokality jsou seřazeny podle stratigrafie od nejstarších (andělskohorské souvrství) po nejmladší (hradecko-kyjovické souvrství). Zkratky lokalit odpovídají Tab. 1.

HODNOTY
 maximum
 3. kvartil
 median
 1. kvartil
 minimum
 + pouze 1 měření

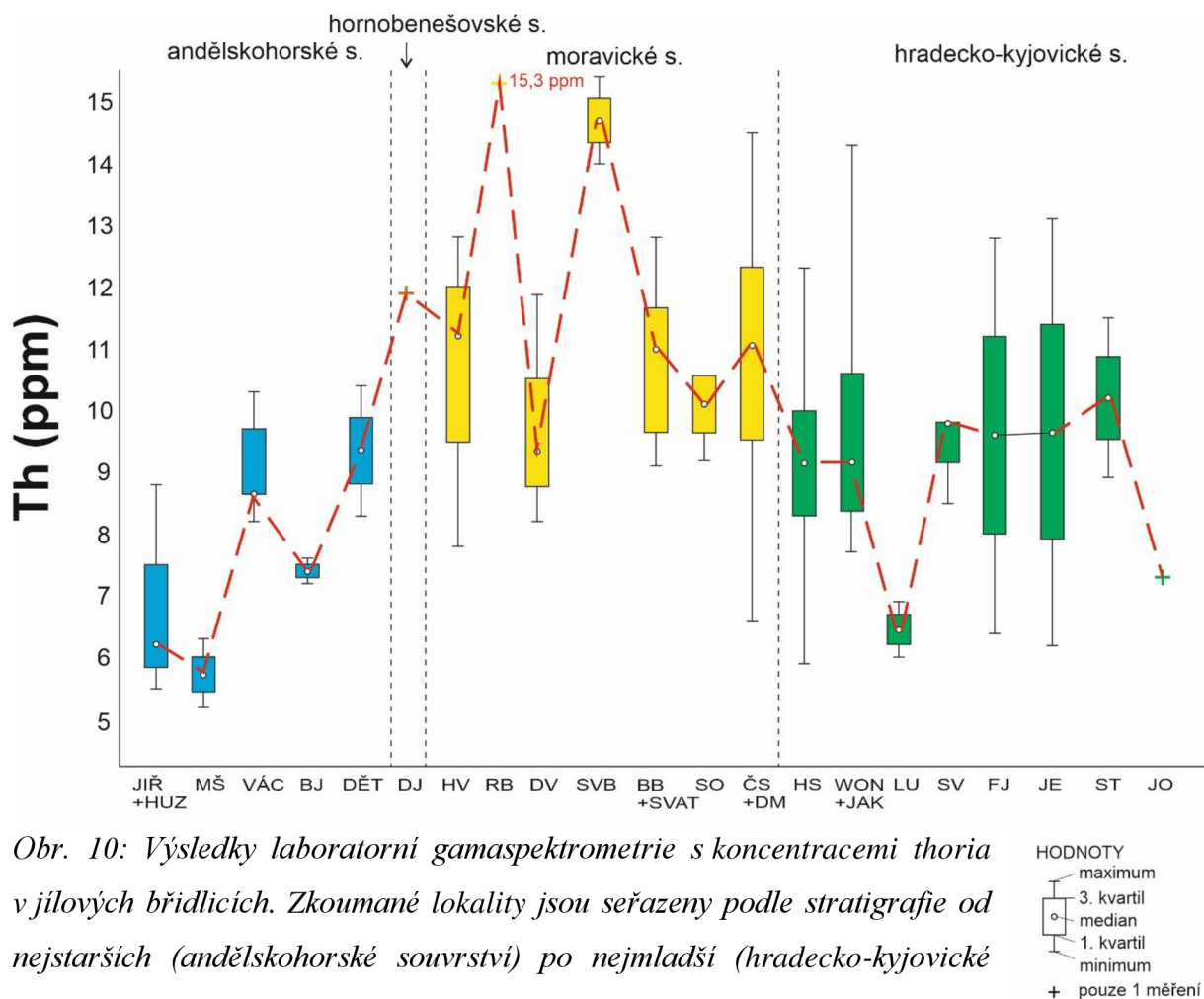
Obsah uranu se v břidlicích nízkojesenického kulmu pohybuje od 0,5 ppm do 8,1 ppm. Průměrná koncentrace uranu je 3,0 ppm (obr. 9). Vzorke andělskohorského souvrství nevykazují žádný stratigrafický trend, a naopak vykazují značný rozptyl hodnot v rámci jednotlivých lokalit. Průměrné hodnoty činí 2,5 ppm. V hornobenešovském souvrství (U koncentrace 2,0 ppm) a na bázi moravického souvrství pozorujeme pokles obsahu U v břidlicích, naopak břidlice střední a svrchní části moravického souvrství vykazují obecně zvýšené koncentrace U a dosahují maximálních hodnot zjištěných v jílových břidlicích nízkojesenického kulmu. Průměrná koncentrace U v břidlicích moravického souvrství je 3,3 ppm. Na bázi hradecko-kyjovického souvrství obsah U v břidlicích opět klesá a následně lze pozorovat obecný trend nárůstu obsahu U v břidlicích do stratigrafického nadloží. Průměrná koncentrace U v břidlicích hradecko-kyjovického souvrství je 3,1 ppm.



Obr. 9: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie s koncentracemi uranu v jílových břidlicích. Zkoumané lokality jsou seřazeny podle stratigrafie od nejstarších (andělskohorské souvrství) po nejmladší (hradecko-kyjovické souvrství). Zkratky lokalit odpovídají Tab. 1.

HODNOTY
 — maximum
 □ 3. kvartil
 ○ median
 □ 1. kvartil
 — minimum
 + pouze 1 měření

Koncentrace thoria zjištěné u vzorků břidlic nízkoesenického kulmu se pohybují od 5,2 ppm do 15,4 ppm. Průměrná koncentrace Th břidlic nízkoesenického kulmu činí 9,6 ppm (obr. 10). Obecně nejnižší koncentrace Th vykazují vzorky z andělskohorského souvrství (průměr: 7,6 ppm). Obsah thoria obecně stoupá v břidlicích andělskohorského souvrství napříč stratigrafickým sledem a tento trend pokračuje i v břidlicích hornobenešovského (konc. Th: 11,9 ppm) a spodní části moravického souvrství. Právě břidlice spodní části moravického souvrství vykazují nejvyšší obsah Th (až 15,3 ppm). Ve svrchní části moravického souvrství se obsah Th v břidlicích snižuje, i tak ale vykazují břidlice moravického souvrství nejvyšší průměrnou koncentraci Th ze všech kulmských souvrství (11,3 ppm). Průměrná koncentrace thoria v břidlicích hradecko-kyjovického souvrství dosahuje hodnoty 9,3 ppm (obr. 10).



Obr. 10: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie s koncentracemi thoria v jílových břidlicích. Zkoumané lokality jsou seřazeny podle stratigrafie od nejstarších (andělskohorské souvrství) po nejmladší (hradecko-kyjovické souvrství). Zkratky lokalit odpovídají Tab. 1.

HODNOTY
 maximum
 3. kvartil
 median
 1. kvartil
 minimum
 + pouze 1 měření

7.4. Prášková rentgenová difrakční analýza

Hlavními složkami téměř všech vzorků břidlic jsou minerály se strukturou slíd (nejspíše illit, nelze vyloučit přítomnost sericitu) s průměrným obsahem 37,9 hm. % a křemen (průměr: 23,3 hm. %), které dohromady vždy tvoří přes 50 hm. % břidlice (tab. 2). Dále jsou hojně zastoupeny plagioklasy (vč. albitu), jejichž obsah v některých vzorcích převyšuje i obsah křemene. Draselné živce mají naopak minoritní podíl v rozsahu 0,2–2,4 hm. %. Ve zkoumaných břidlicích byl zjištěn i vysoký obsah chloritu (8,6–19,8 hm. %).

Obecně lze říci, že vzorky ze stratigraficky mladších kulmských souvrství (moravické, hradecko-kyjovické) se vyznačují mírně vyššími obsahy křemene. Nejnižší obsah byl pozorován u vzorků ze svrchní části andělskohorského souvrství a hornobenešovského souvrství. Ve všech vzorcích výrazně převládají plagioklasy (průměr: 18,9 hm. %) nad draselnými živci (průměr: 1,2 hm. %). Břidlice andělskohorského souvrství vykazují relativně vyšší obsah plagioklasů v porovnání s mladšími kulmskými souvrstvími (tab. 2). Obsah chloritu (průměr: 16,9 hm. %) je v břidlicích andělskohorského, hornobenešovského a moravického souvrství na přibližně stejné úrovni (s výjimkou vzorku OUR3; tab. 2), v břidlicích z hradecko-kyjovického souvrství je ale obsah chloritu zřetelně nižší.

*Tab. 2: Výsledky (semi)kvantitativní fázové analýzy práškovou rentgenovou difrakční metodou. *Data převzatá z bakalářské práce Frankové (2020).*

stratigrafie	a. s.			h. s.	m. s.			h-k. s.	
	JIŘ	VÁC	OUR3*	DJ	SH4*	SO	DM	WON	BM1*
křemen	24,3	26,3	10,5	6,8	32,6	23,4	31,6	24,2	30,1
K-živec	1,0	0,5	1,8	2,3	0,9	1,3	2,4	0,2	0,8
plagioklas (vč. albitu)	23,6	19,5	23,1	17,7	17,9	17,7	19,0	14,0	17,5
kalцит	1,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,4	0,0	0,0
dolomit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
hematit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
pyrit	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
chlorit	18,6	19,6	8,6	19,8	19,8	18,3	14,6	17,1	15,8
slídy (vč. illitu)	28,7	33,0	55,4	51,3	27,4	36,5	29,4	43,9	35,1
kaolinit	1,0	0,0	0,6	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,6
smektit	0,5	0,6	0,0	0,4	0,0	1,6	1,1	0,4	0,0
titanit (anatas)	1,1	0,5	0,0	1,7	0,0	1,0	0,7	0,0	0,0

7. 5. Rentgenová fluorescenční spektrometrie

Data měření jednotlivých prvků jsou prezentována v příloze 4. Naměřené obsahy Al se ve vzorcích pohybují od 3,1 hm. % do 7,2 hm. %. Průměrná hodnota je 5,3 hm. %. Průměrná koncentrace Al v břidlicích je v případě andělskohorského souvrství 5,1 hm. %, ve vzorku hornobenešovské břidlice 6,9 hm. %, v moravickém souvrství 5,3 hm. % a v hradecko-kyjovickém souvrství 5,4 hm. %.

Obsahy Si se ve vzorcích pohybují od 8,0 hm. % do 16,8 hm. %. Průměrná hodnota činí 13,7 hm. %. V případě andělskohorského souvrství 13,4 hm. %, ve vzorku hornobenešovského souvrství 12,2 hm. %, v moravickém souvrství 13,7 hm. % a v hradecko-kyjovickém souvrství 13,8 hm. %.

Zjištěné hodnoty koncentrací K se u všech vzorků pohybují od 1,1 hm. % do 3,8 hm. %. Průměrná hodnota je 2,3 hm. %. Andělskohorské souvrství má průměrné koncentrace K 2,2 hm. %, hornobenešovské souvrství 3,8 hm. %, moravické souvrství 2,2 hm. % a hradecko-kyjovické souvrství 2,3 hm. %.

U všech vzorků se hodnoty Fe pohybují od 2,5 hm. % do 6,9 hm. %. Průměrná hodnota činí 5,1 hm. %. Průměrná hodnota andělskohorského souvrství je 5,4 hm. %, v hornobenešovském souvrství činí 6,3 hm. %, moravické souvrství má 5,0 hm. % a hradecko-kyjovické souvrství dosahuje 4,8 hm. %.

Koncentrace Ti dosahují u všech vzorků 0,3–0,7 hm. % s průměrem 0,5 m. %. V andělskohorském souvrství jsou průměrné hodnoty 0,5 hm. %, v hornobenešovském souvrství průměr činí 0,7 hm. %, moravické souvrství dosahuje průměrné hodnoty 0,5 hm. % a v hradecko-kyjovickém souvrství 0,5 hm. %.

Naměřené hodnoty Zr se pohybují od 143,0 ppm do 355,4 ppm. Průměrná hodnota je 204,7 ppm. Průměrná koncentrace Zr u andělskohorského souvrství je 188,3 ppm, u hornobenešovského souvrství je 203,8 ppm, moravické souvrství s průměrem 206,3 ppm a v hradecko-kyjovickém souvrství je průměr 213,0 ppm.

Naměřené koncentrace Rb se u všech vzorků pohybují od 79,0 ppm do 276,7 ppm. Průměrná hodnota činí 155,2 ppm. Obsah Rb v břidlicích andělskohorského souvrství dosahuje v průměru 146,4 ppm, hornobenešovské souvrství má 213,7 ppm, moravické souvrství dosahuje v průměru 154,7 ppm a hradecko-kyjovické souvrství 158,2 ppm.

Obsahy hodnot Pb se pohybují od 6,8 ppm do 85,5 ppm. Průměrná hodnota je u všech vzorků 28,6 ppm. Andělskohorské souvrství dosahuje průměru Pb 25,7 ppm, hornobenešovské souvrství činí 28,1 ppm, v moravickém souvrství je průměr 34,7 ppm a hradecko-kyjovické souvrství dosahuje průměru 25,1 ppm.

Výsledky vybraných prvků byly dále normalizované na Al (příloha 5).

Hodnoty Si/Al se pohybují od 1,7 do 3,8. Průměrná hodnota je 2,6. Průměrná hodnota Si/Al dosahuje u andělskohorského souvrství 2,7, u hornobenešovského souvrství dosahuje 1,8, moravické souvrství činí 2,6 a hradecko-kyjovické souvrství dosahuje průměru 2,6. Poměr Si/Al dosahuje nejvyšších hodnot u vzorků SO hornobenešovské s. Nejnižší hodnota byla zjištěna u vzorku ST z hradecko-kyjovického souvrství.

Poměr K/Al je v rozmezí 0,3 až 0,5 s průměrnou hodnotou 0,4. Průměrná hodnota obsahů K/Al je u andělskohorského souvrství 0,4, v hornobenešovském souvrství dosahuje hodnoty 0,5 a moravické a hradecko-kyjovické souvrství dosahuje hodnot 0,4. Nejnižších hodnot dosahují vzorky WON+JAK a SV (hradecko-kyjovické s.), nejvyšší hodnotu vykazuje vzorek DJ (hornobenešovské s.).

Fe/Al se pohybují v rozmezí od 0,5 do 1,6. Průměrná hodnota je 1,0. Průměrná koncentrace v andělskohorském souvrství činí 1,1, hornobenešovské souvrství dosahuje 0,9, v moravickém souvrství hodnoty dosahují průměru 1,0 a hradecko-kyjovické souvrství 0,9. U vzorku JE (hradecko-kyjovické s.) byly naměřeny nejnižší hodnoty. Nejvyšší hodnoty pak byly zjištěny u vzorku MŠ (andělskohorské s.).

Hodnoty poměru Ti/Al se pohybují od 751,6 do 1258,5. Průměrná hodnota činí 976,1. Andělskohorské souvrství má průměrnou hodnotu 958,0, hornobenešovské souvrství hodnotu 948,1, moravické souvrství má průměr 950,0 a hradecko-kyjovické souvrství dosahuje 1010,6. Nejnižší hodnoty dosahují vzorky WON+JAK (hradecko-kyjovické s.). U vzorku MŠ (andělskohorské s.) byly hodnoty nejvyšší.

Poměry Zn/Al se pohybují od 0,9 do 3,7. Průměr všech vzorků činí 2,3. Andělskohorské souvrství má průměr hodnot Zn/Al 2,4, hornobenešovské souvrství má průměr 2,7, moravické pak 2,4 a hradecko-kyjovické souvrství 2,2. Nejnižší hodnota 0,9 byla zjištěna u vzorku JE (hradecko-kyjovické s.) a nejvyšší hodnotu 3,7 vykazuje vzorek BB+SVAT (moravické s.)

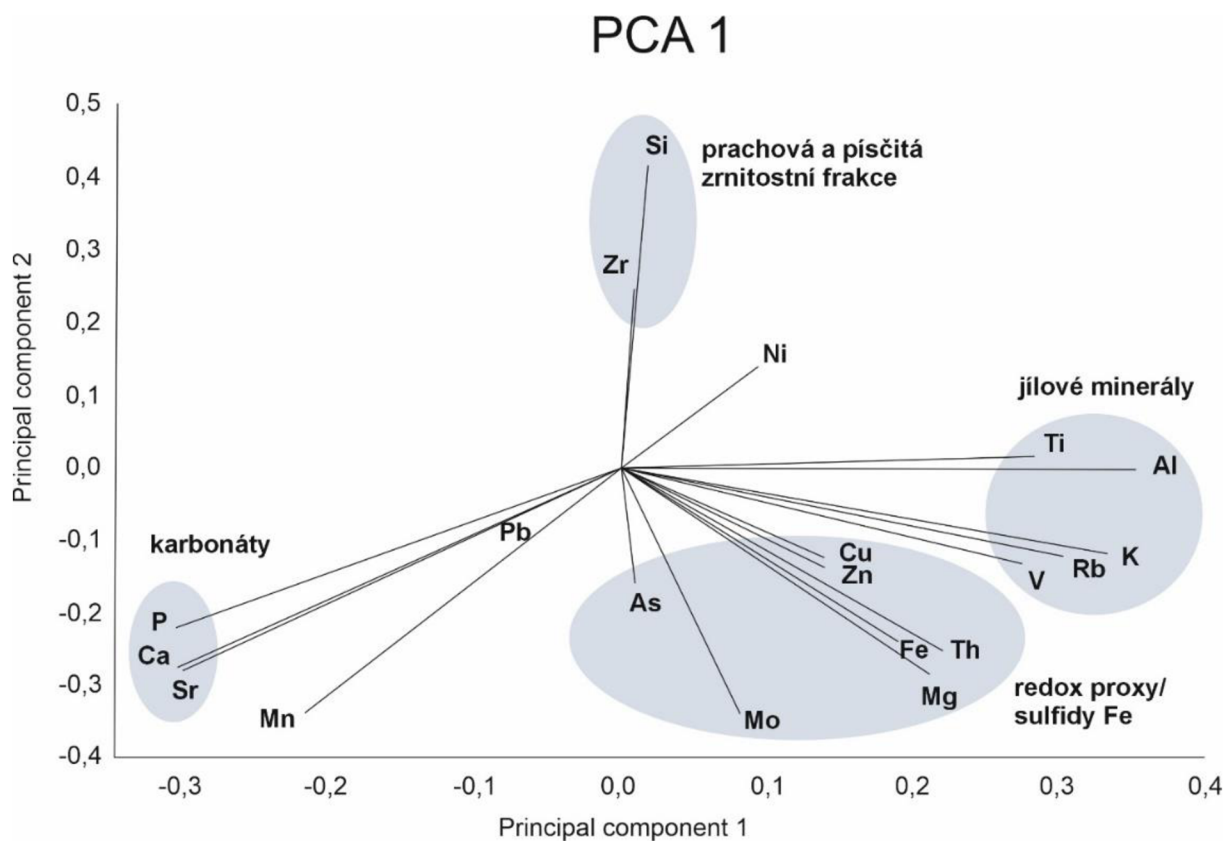
Naměřené hodnoty Rb/Al se pohybují v rozmezí od 18,2 do 40,6. Průměrná hodnota Rb/Al je 28,8. Průměrná koncentrace Rb/Al v břidlicích je v případě andělskohorského souvrství

28,6, v hornobenešovském souvrství 30,9, u moravického souvrství 29,0 a v hradecko-kyjovickém souvrství 28,6. Minimální hodnotu vykazuje vzorek JE z hradecko-kyjovického souvrství. Maximálních hodnot dosahuje vzorek WON+JAK také z hradecko-kyjovického souvrství.

Pb/Al se pohybují od 1,3 do 20,0. Průměr hodnota všech vzorků je 5,6. Průměrné hodnoty poměru Pb/Al jsou u andělskohorského souvrství 5,3, u hornobenešovského souvrství je 4,1, u moravického 6,9 a v hradecko-kyjovickém souvrství dosahují 4,7. Nejvyšších hodnot dosahuje vzorek DM (moravické s.). Naopak nejnižší hodnoty obsahuje vzorek HS (andělskohorské s.).

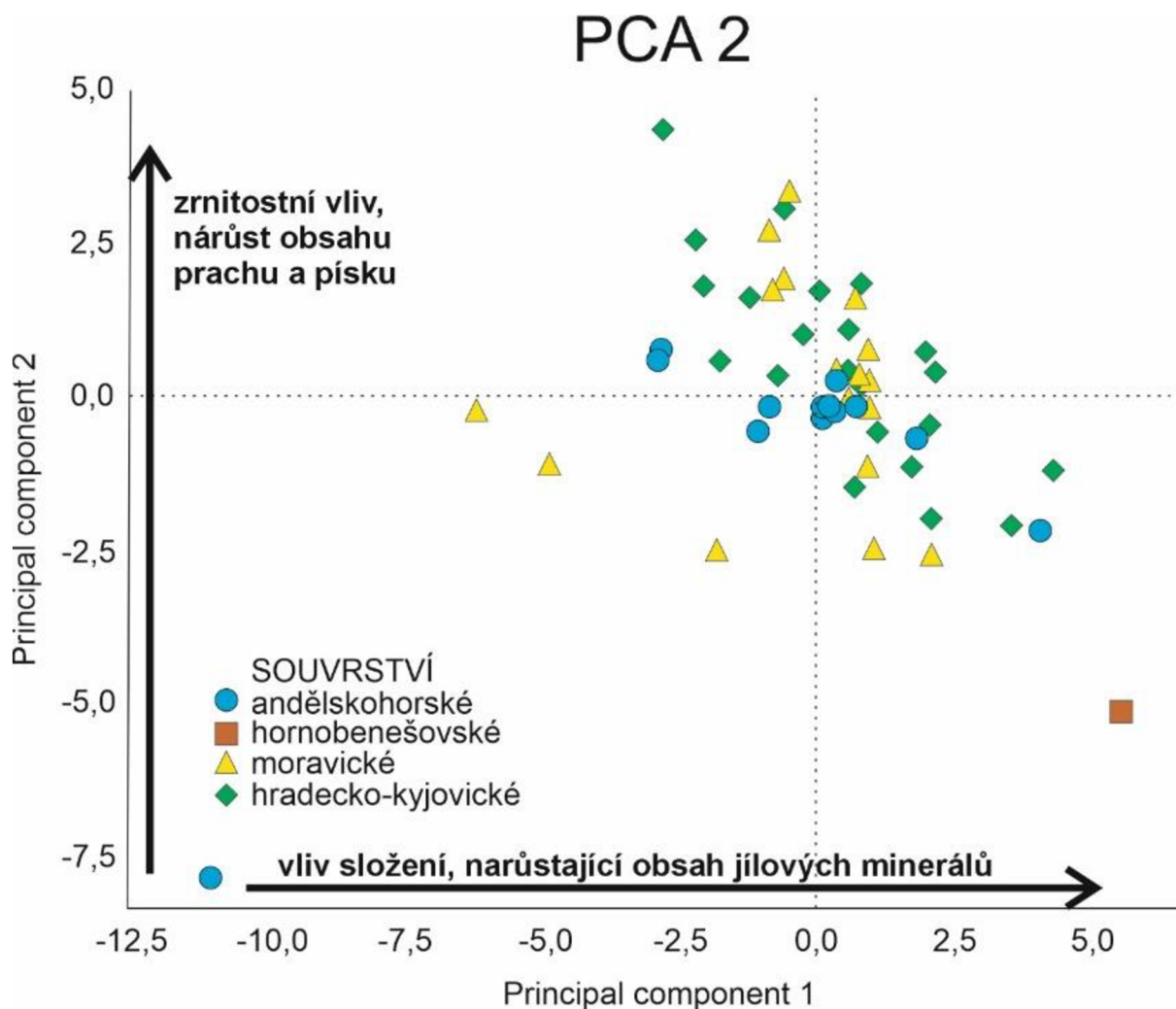
Hodnoty Rb/Zr jsou v rozmezí od 0,3 do 1,6. Průměrná hodnota činí 0,8. Andělskohorské, moravické, hradecko-kyjovické dosahuje průměrných hodnot 0,8. Pouze hornobenešovské souvrství dosahuje 1,0. Nejvyšší hodnota byla naměřena u vzorku WON+JAK (hradecko-kyjovické s.) a nejnižší u vzorku BB+SVAT (moravické s.).

Koncentrace prvků zjištěné pomocí XRF analýzy, jsme dále využili pro analýzu hlavních komponent (PCA). Na základě výsledků PCA analýzy jsme zjistili celkový rozptyl prvků (obr. 11). Následně jsme je mohli díky vzájemné korelaci seřadit do 4 základních skupin. První skupina je zastoupená prvky Ca, P, Sr a částečně i Mn a Pb. Tato skupina prvků se v PCA1 diagramu (obr. 11) nachází v kvadrantu záporných hodnot PC1 (Principal component 1) i PC2 (Principal component 2). Druhá skupina je zastoupena prvky As, Mo, Mg, Fe, Th, Zn a Cu. Tato skupina se nachází v kvadrantu kladných hodnot PC1. Třetí skupinu tvoří prvky, které jsou vázány na jílové minerály. Jsou to prvky V, Rb, K, Al a Ti. Poslední skupina je tvořena prvky Si, Zr a a částečně i Ni. Tyto prvky nám ukazují na nárůst prachové a písčité zrnitostní frakci, tím pádem i na zvyšování hodnot Si a Zr. Tyto prvky se nachází v kvadrantu kladných hodnot PC1 a PC2.



Obr. 11: Výsledky analýzy hlavních komponent (PCA).

Vzorky z různých souvrství se v diagramu (obr. 12) do značné míry překrývají. Vzorky andělskohorského souvrství vykazují podobný nárůst jak v obsahu prachu a písku tak obsahu jílových minerálů. Hornobenešovské souvrství je zastoupeno pouze jednou lokalitou a jeho hodnoty vykazují vyšší obsahy jílových minerálů v porovnání s dalšími souvrstvími. Lokality moravického a hradecko-kyjovického souvrství vykazují variabilní hodnoty, avšak u většiny lokalit převažuje více prachovo-písčítých minerálů nad obsahy jílových minerálů. Obecně lze u většiny lokalit sledovat vyšší obsahy prachu a písku než obsahy jílových minerálů.



Obr. 12: Analýzy jednotlivých lokalit podle stratigrafie.

8. Diskuze

8.1. Vztah mezi minerálním složením a petrofyzikálními a geochemickými vlastnostmi břidlic

Základními složkami jsou jílové minerály ze skupiny illitu, dále skupina slíd a skupina chloritů. Dalším hojným minerálem je křemen. Díky XRD analýze byly také zjištěny vysoké obsahy plagioklasů, které svým minerálním složením odpovídají albitu (Josieková a Ritz, 2013). Obsahy plagioklasů u všech zkoumaných vzorků převažují nad K-živci. Změny magnetické susceptibility jsou v jílových břidlicích interpretovány, jako odraz množství a charakteru jejich komponent, ve kterých jsou přítomny feromagnetické (např.: magnetit, hematit, pyrrhotin) a paramagnetické minerály (např.: muskovit, chlorit, illit). Slabě feromagnetické minerály mohou být obsaženy také v sulfidech (Fe, Ni, Co) (Bábek,

2013; Hladil et al., 2006). Podle Riquiera (2005) lze pozorovat dobrou korelaci mezi MS a prvkovými proxy, jako je Th, Zr, Ti, Al, Rb nebo K, které jsou především součástí paramagnetických minerálů (fylosilikátů). Všechny tyto zmíněné prvky, které byly zjištěny XRF analýzou, jsou nejvíce obsaženy v hornobenešovského souvrství. Tato zmíněná korelace nekoresponduje s mými výsledky HSMS, které vykazují obecně nízké hodnoty u tohoto souvrství. Hodnoty MS se obvykle snižují se zvyšujícím se zastoupením živců a diamagnetického křemene a současně se zvyšují se zastoupením jílových minerálů (ukazují také na zmenšující se velikost zrn) a jiných paramagnetických fylosilikátů (skupina slíd, chloritů) (Beget et al., 1990; Ellwood et al., 1999). Téměř ve všech zkoumaných vzorcích napříč nízkojesenickým kulmem lze sledovat obecně nízké hodnoty HSMS (příloha 2), které koreluje s vysokými obsahy živců (především plagioklasů) a křemene. Naopak, pozorujeme zvýšené hodnoty HSMS, a to při bázi a ve svrchní části moravického souvrství, což je způsobeno vyššími hodnotami jílových minerálů, které byly zjištěny pomocí XRF (příloha 4) a RTG analýzy (tab. 2).

Podle Cardénese et al. (2012) existuje významná korelace mezi světlostí (CIE L*) a obsahem organické hmoty. Podle Šimíčka et al. (2012) jsou horniny moravického a hradecko-kyjovického souvrství obecně charakterizovány nízkými hodnotami celkového organického uhlíku (TOC), což odpovídá relativně vysokým hodnotám světlosti (příloha 2). Obecně světlejší barvu u jílových břidlic ovlivňují obsahy světlých minerálů, jako je křemen, karbonáty či živce (Bábek, 2013). U zkoumaných vzorků se hodnoty světlosti pohybují v širokém rozmezí od 55,30 do 71,21. Pro určitou názornost je tento rozptyl srovnatelný například s rozdílem mezi plně vyvinutou černozemí a spraší (Šimíček a Krulová, 2018), tedy u materiálů s diametrálně odlišnou světlostí. Vysoké hodnoty světlosti jsou u mých zkoumaných vzorků ovlivněny především vysokými obsahy jílových minerálů. Vysoké hodnoty CIE L* podporují i zvýšené obsahy křemene.

Koncentrace přirozených radioaktivních prvků K, U a Th (příloha 3) úzce souvisí s minerálním složením hornin. Radioaktivita také roste s klesající velikostí zrn (Ibrmajer a Suk, 1989), proto je koncentrace přirozených radioaktivních prvků u jílových břidlic obecně velmi vysoká (Zimák et al., 2003). K a Th se především vážou na fylosilikáty nebo na K-živce (Doveton, 1994; Lüning et al., 2003; Rider, 1999). Nízké hodnoty radioaktivních prvků pak souvisí s vysokými obsahy křemene či karbonátů. Obsahy U se v jílových břidlicích zvyšují se zvyšujícím se obsahem organické hmoty (Matolín a Chlupáčová, 1997). Nejnižší koncentrace K a Th byly zjištěny u andělskohorského souvrství, s čím také korespondují

vysoké obsahy křemene nebo přítomnost kaolinitu (tab. 2). Postupné zvyšování koncentrací K a Th napříč nízkohesenickou pánví koreluje se zvyšujícími se obsahy slíd, které by měly být hlavními nositeli radioaktivity u jílových břidlic. Nejvyšší koncentrace byly zjištěny v hornobenešovském a moravickém souvrství, kde jsou nositeli radioaktivity, kromě zmíněných fylosilikátů také K-živce (tab. 2). Vysoké obsahy U, který by měl ukazovat na přítomnost organické hmoty, nekoreluje s vysokými hodnotami světlosti. Je tedy zřejmé, že jsou koncentrace U vázány především na jílové minerály nebo na těžké minerály (Doveton, 1994).

Obsahy Si se koncentrují v hrubozrnných a písčitých sedimentech, naopak hodnoty Al, K, Ti a Rb jsou typické pro jemnozrnné horniny (jílové minerály) (příloha 4). Tato skutečnost je podpořena výsledky PCA analýzy (obr. 11). Poměry Si/Al a Zr/Rb se u sedimentů používá jako proxy pro zrnitost (Bábek et al., 2015). Si je přítomen v písku (křemen) a Zr v těžkých minerálech, podobně jako Ti (zirkon, rutil, titanit, ilmenit) (Itambi et al., 2009). Všechny mé zkoumané vzorky vykazují nízké hodnoty poměrů Si/Al a Zr/Rb, což poukazuje na jejich jemnozrnný charakter, a tedy na převahu jílových minerálů (příloha 5). Vysoké obsahy jílových minerálů (illit), koreluje i s obsahy Al, K, V, Ti a Rb (obr. 11). Prvky jako jsou Mg, Fe, Th, Zn a Cu jsou vázány na sulfidy (pyrit, chalkopyrit) (Bábek, 2013) a mohou indikovat redoxní podmínky, které probíhaly během diagenese jílových břidlic. Tento fakt dokládá blízkostk typickým geochemickým redoxním proxy prvkům, jako je Mo či As (Pye, 1987).

8.2. Stratigraficky významné petrofyzikální a geochemické charakteristiky břidlic

V rámci andělskohorského souvrství je patrný konzistentní trend, kde u lokalit seřazených podle stratigrafického postavení dochází k obecnému poklesu hodnot HSMS (od Z k V). V porovnání s ostatními kulmskými souvrstvími vykazují lokality při bázi a ve svrchní části moravického souvrství výrazně vyšší hodnoty HSMS (obr. 6). Vzorky břidlic z hradecko-kyjovického souvrství obvykle vykazují nižší hodnoty HSMS ve srovnání se vzorky starších kulmských souvrství (andělskohorské a hornobenešovské souvrství). Břidlice hradecko-kyjovického souvrství se vyznačují vysokými hodnotami světlosti a velkým rozptylem hodnot zjištěných u jednotlivých lokalit.

V rámci nízkohesenického kulmu pozorujeme určitou zonalitu, kdy hodnoty přirozené radioaktivity stoupají od Z k V, tedy v pořadí andělskohorské, hornobenešovské, moravické

a hradecko-kyjovické souvrství. Tento fakt je též patrný z radiometrické mapy České republiky v měřítku 1 : 500 000 od Manové a Matolína (1995). Tento obecný trend se mi nepodařilo prokázat. Radioaktivita u mých zkoumaných vzorků roste ve směru: hornobenešovské s. – moravické s. – hradecko-kyjovické s. – andělskohorské s. (příloha 3). Koncentrace K (obr. 8) vykazují obecně stoupající trend v andělskohorském souvrství, korespondující se stratigrafickým sledem. Významně vyšší hodnoty K jsou identifikovanými zejména v břidlicích reprezentujících hornobenešovské souvrství. Následně dochází k postupnému poklesu hodnot K, který pokračuje až do spodní části kyjovických vrstev. Ve vrchní části kyjovických vrstev je opět zaznamenáno zvýšení obsahu K a následně opětovný pokles. Koncentrace U (obr. 9) vykazují u andělskohorského souvrství významný rozptyl hodnot u jednotlivých lokalit. V rámci moravického souvrství lze pozorovat pokles obsahu U v břidlicích na základě stratigrafického postavení. Stratigraficky lze pozorovat pokles hodnot od hornobenešovského souvrství k bázi moravického souvrství (lokalita HV). Zvýšení a velký rozptyl hodnot u moravického souvrství je zaznamenán na lokalitách ve svrchní části souvrství (BB+SVAT, SO, ČS+DM). Následně v hradecko-kyjovickém souvrství je opět zaznamenán pokles obsahu U na základě stratigrafického postavení a následně lze sledovat obecný trend nárůstu obsahu U v břidlicích směrem do stratigrafického nadloží tohoto souvrství. Obecně dochází k postupnému zvyšování koncentrací K a Th směrem do stratigraficky mladších vrstev (moravické a hradecko-kyjovické souvrství). Mnohem zajímavější je chování poměru Th/K na různých stratigrafických úrovních. Prudký pokles K a Th ve svrchních vrstvách kyjovických by mohl indikovat provenienční změnu (příloha 3). Vzorky z andělskohorského souvrství obecně vykazují nejnižší koncentrace Th ze všech stratigrafických souvrství nízkojesenického kulmu (obr. 10). Lze vidět korelace v obsahu K a Th. Obsah Th v břidlicích stoupá od nadloží andělskohorského souvrství napříč stratigrafickým sledem k hornobenešovskému souvrství, a pak až do spodní části moravického souvrství. U moravického souvrství jsou zaznamenány nejvyšší obsahy Th. Postupně se obsah Th ve svrchní části moravického souvrství snižuje. Hradecko-kyjovického souvrství nevykazuje významné trendy poklesu či vzestupu obsahů Th, pouze v jeho střední části dochází k poklesu hodnot a následnému zvýšení.

Obsahy Si u jílových břidlic obecně rostou od starších souvrství k mladším. Tohle se obecně nedá říci o drobách, které studoval Maštera (1975). Pro stratigrafické rozlišení pokrývačských břidlic z nízkojesenického kulmu se jeví perspektivně Fe a Zn normalizované na Al a poměr Rb/Zr (příloha 5). Jak hodnoty Fe/Al, Zn/Al, tak Rb/Zr vykazují obecný nárůst

od andělskohorského po hradecko-kyjovické souvrství (příloha 5). Vzorky andělskohorského souvrství vykazují nízké obsahy prachové frakce, což může korespondovat s vyšší krystalinitou illitu v důsledku slabé metamorfózy (Kumpera, 1997). Tato diferenciacce je patrná i v korelační matici, kde je pozorována silná korelace mezi množstvím křemíku a hliníku, a slabší mezi množstvím železa a titanu.

Díky analýze hlavních komponent (obr. 12) jsme také byli schopni určit nárůst obsahu prachu a písku vůči obsahu jílových minerálů, a zjistit tak výraznější stratigrafické rozdíly, které by bylo možné spojit s geochemickou variabilitou. Z mých výsledků analýzy nevyplývají výraznější stratigrafické rozdíly, které by bylo možné spojit s geochemickou variabilitou. Vzorky u lokalit z andělskohorského souvrství vykazují nízké obsahy prachové frakce (většina vzorků má nulové až záporné hodnoty) což může korelovat s vyšší krystalinitou illitu v důsledku slabé metamorfózy. Nejvyšší obsahy jílových minerálů dosahuje hornobenešovské souvrství. Moravické souvrství se vyznačuje větším rozptylem hodnot v porovnání s ostatními vrstvami. Tento rozptyl může naznačovat variabilitu v obsahu jílových minerálů. Vzorky hradecko-kyjovického souvrství dosahují lehce zvýšených obsahů prachu a písku ve srovnání s ostatními souvrstvími, což poukazuje i na jeho vyšší poměru Si/Al nebo Ti/Al.

8.3. Odraz vývoje nízkohorácké kulmské pánve v petrofyzikální a geochemické charakteristice břidlic

Sedimentace nízkohoráckého kulmu byla ovlivněna tektonikou, klimatem, změnami hladiny moře či transportními procesy (Tucker, 2003). Dřívější výzkumy týkající se vývoje nízkohorácké kulmské pánve se často zaměřovaly především na droby, slepence, pískovce či prachovce. Nicméně je důležité si uvědomit, že i samotné břidlice mohou poskytovat klíčové informace o geologickém vývoji této oblasti. Předkládaná diplomová práce si klade za cíl blíže charakterizovat i provenienci jílových břidlic v kulmu Nížkého Jeseníku.

Podle studií autorů (Helmond, 1985; Krainer a Spoil, 1989; Čopjaková et al., 2002; Das, 2008; Gallala et al., 2009) lze říci, že modální složení jílových břidlic indikuje přínos materiálu z oblastí budovaných převážně horninami metamorfovanými (granity, pegmatity) a plutonickými. Odpovídá to vyšším obsahům křemene, plagioklasů (albitu) nebo železa. Obsahy Si a Fe v andělskohorském, hornobenešovském a moravickém souvrství mohou souviset s pyroklastickým spadem, který probíhal během vulkanické aktivity (Štelcl a Zimák, 2006). Dokládají to i vysoké koncentrace chloritu, plagioklasů, které vznikly pravděpodobně

rekrytalizací nebo metamorfózou tufů. Zvýšený výskyt vulkanogenního materiálu v těchto souvrstvích byl potvrzen i studii Zapletala et al. (1989).

Vyšší obsahy křemene jsou pozorovány především v mladších vrstvách – moravické a hradecko-kyjovické souvrství. Vysvětlení může odrážet na změnu v paleontologické situaci – delší transport, neboť křemen je fyzikálně i chemicky velmi stabilní (Tucker, 2003). Sedimentární vývoj mladších kulmských souvrství byl také ovlivněn postupným přílivem klastik z rozvětraných a erodovaných starších vrstev. Malý podíl K-živců u všech zkoumaných vzorků je nejspíše způsoben zvětráváním ve zdrojové oblasti v průběhu spodního karbonu (cf. Kukul, 1985a). Eroze vedla k opakovanému ukládání, tedy resedimentaci klastického materiálu. Tento proces je hlavní příčinou relativně vyšší chemické a mineralogické zralosti hornin v části moravického a hradecko-kyjovického souvrství (Hrouda a Přichystal, 1995; Kumpera a Martinec, 1995).

Vysoké obsahy prvků jako je Al, K, Ti a Rb jsou charakteristické pro terigenní detritické minerály, zatímco nízký obsah Ca může korelovat s rozpouštěním karbonátu nebo ředěním siliciklastickým materiálem (Gebhardt et al., 2008) (obr. 11). Obsahy K mohou být v některých břidlicích ovlivněny přínosem materiálu z rul a granátických slídnatých svorů. Častými nosiči U a Th u břidlic nízkojesenického kulmu jsou také těžké minerály (zirkon, xenotim, monazit, thorit, atd), které krystalizují z magmatických hornin (Bábek, 2013). Radioaktivita břidlic může být také ovlivněna přítomností vulkanického materiálu (Štelcl a Zimák, 2006). Díky XRD analýze byl u vzorků identifikován v malé míře i smektit, který hrál důležitou roli během diagenese původního materiálu. Smektit posloužil pro přeměnu na illit (Riedinger et al., 2005). Nejvyšší koncentrace smektitu byla zjištěna u moravického souvrství.

Výrazný rozdíl mezi andělskohorským a hornobenešovským souvrství můžeme vysvětlit odlišnými petrografickými podmínkami v oblasti, odkud klastický materiál pocházel. Ve zdrojové oblasti andělskohorského souvrství podle Dvořáka (1994) převažovaly epizonálně metamorfované horniny, jako jsou fylity, křemen a metavulkanity, a také anchimetamorfované sedimenty, které převažují v severní části souvrství (Dvořák, 1994). Při makroskopickém zkoumání u vzorků z andělskohorského souvrství byl vidět na jednotlivých lokalitách zvýšený obsah křemene. Úlomky hornin obsahovaly křemenné žilky a na lokalitách se také hojně nacházely sekvenční křemeny. Jejich obsah se ve stratigrafickém sledu postupně snižoval. Přítomnost vyšších obsahů křemene ovlivnil i radioaktivitu. Vysoká radioaktivita sedimentů hornobenešovského, moravického a hradecko-

kyjovického souvrství naznačuje zastoupení kyselých nebo intermediárních magmatitů v jejich zdrojové oblasti (Kukal, 1985a). Toto tvrzení je potvrzeno i modálním složením jílových břidlic. Větší obsahy plagioklasů ve všech vrstvách naznačují, že se materiál do pánve dostával z magmatických hornin, které byly více odkryty v základní oblasti v období svrchního karbonu (Kukal, 1985a). Jemnozrnný materiál se do flyšových pánví dostával také od jihu z Drahanské pahorkatiny a následně byl redeponován směrem k severu za vzniku velkých vějířů (Ricci-Lucci a Valmori, 1980).

9. Závěr

V teoretické části mé diplomové práce jsem se nejdříve zabývala geologií nízkojesenického kulmu, vlastnostmi jílových břidlic a historií těžby jílových břidlic. Rovněž jsem nastínila využitelnost metod, pro zjištění petrofyzikálních, petrografických a geochemických charakteristik břidlic.

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo detailně zkoumat petrofyzikální vlastnosti a geochemické a mineralogické složení jílových břidlic z nízkojesenického kulmu. Pro dosažení tohoto cíle jsem zanalyzovala celkem 55 vzorků z 25 lokalit, které zahrnovaly různé stratigrafické úrovně nízkojesenického kulmu. Ty byly vybrány na základě míst, kde v minulosti probíhala těžba břidličné suroviny. Vzorky byly odebrány z výchozů nebo z haldového materiálu.

Výsledky mé diplomové práce poskytují podrobný pohled na mineralogické složení a geochemické a petrofyzikální vlastnosti jílových břidlic, které jsou charakteristické pro různá geologická souvrství nízkojesenického kulmu. Na základě analýzy XRD jsme zjistili, že hlavními minerály jsou fylosilikáty, především illit a chlorit, s nejvyššími koncentracemi v hornobenešovském souvrství. Kromě toho jsou však v horninách přítomny i další minerály jako křemen, plagioklasy a v menší až zanedbatelné míře titanit a smektit.

Hodnoty magnetické susceptibility (MS) poskytují informace o přítomnosti magnetických minerálů, které jsou často spojeny s erozními vlivy a tektonickými procesy. Výsledky naznačují, že hodnoty MS jsou ovlivněny především obsahem paramagnetických minerálů, jako je illit, který v jílových břidlicích dominuje. Tyto hodnoty se snižují s rostoucím obsahem křemene a K-živců.

Gammapektrometrie v jílových břidlicích reaguje na jejich minerální a chemické složení. Nezvětralé sedimenty jsou ovlivněny především kombinací faktorů souvisejících se zdrojem detritického materiálu a procesy vyřídění během transportu a depozice. V jílových břidlicích převažuje zejména Th, který je adsorbován primárně na jílové minerály. Existuje pravděpodobnost, že U je součástí těžkých minerálů, tzv. fyzikálním jílu, jehož zdrojem je detritický materiál. Poměry koncentrací přirozených radioaktivních prvků K, U a Th jsou úzce spojeny s mineralogickým složením hornin. Vyšší hodnoty K/Th jsou charakteristické pro K-živce, zatímco nižší hodnoty jsou spojeny s kaolinitem a těžkými minerály. Tyto výsledky jsou podpořeny i studiemi ostatních autorů, které naznačují, že přirozená radioaktivita je vyšší v pelitických horninách než v horninách s hrubší zrnitostí.

Analýza hlavních komponent (PCA) dále ukazuje, že variabilita geochemických vlastností břidlic je řízena hlavně obsahem jílových minerálů, sulfidů železa a karbonátů.

Flyšové sedimenty v této oblasti jsou typicky formovány turbiditními proudy a resedimentací klastik, což vede k opakovanému ukládání materiálu ze zničených starších vrstev do mladších. To vysvětluje jejich chemickou a mineralogickou variabilitu. Provenienční analýza naznačuje přísun materiálu z oblastí z metamorfovaných a plutonických komplexů. Změny v obsahu křemene, koncentracích draslíku, U a Th od starších k mladším souvrstvím jsou pravděpodobně způsobeny jak geologickými procesy, tak i paleogeografickými změnami. Analýza geochemických parametrů a minerálních fází poskytuje důležité informace o diagenetických procesech a původu sedimentů v této oblasti.

10. Seznam použité literatury

Attewell, P. B., Farmer, I. W. (1976): Principles of Engineering Geology. – Geological Magazine, 115, 75–6. Chapman & Hall, London.

Bábek, O. (2013): Moderní metody stratigrafické analýzy. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Bábek, O., Mikuláš, R., Zapletal, J., Lehotský, T. (2004): Combined tectonic-sediment supply-driven cycles in a Lower Carboniferous deep-marine foreland basin, Moravice Formation, Czech Republic. – International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 93, 241–261. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.

Bábek, O., Matys, G. T., Famera, M., Hron, K., Novakova, T., Sedláček, J. (2015): Geochemical background in polluted river sediments: How to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour? – Catena, 135, 240–253.

Beget, J. E., Stone, D. B., Hawkins, D. B. (1990): Paleoclimatic forcing of magnetic susceptibility variations in Alaskan loess during the late Quaternary. – Geology 18, 40–43.

Borradaile, G. J., MacKenzie, A., Jensen, E. (1991): A study of colour changes in purple-green slate by petrological and rock-magnetic methods. – Tectonophysics, 200, 157–172. Lakehead University. Canada.

Brouwer, P. (2003): Theory of XRF – Getting acquainted with the principles. – PANanalytical BVB. The Netherlands.

Cárdenes, V., Paradelo, R., Monterroso, C. (2009): Passivation techniques to prevent corrosion of iron sulphides in roofing slates. – Corrosion Science, 51, 10, 2387–2392. Santiago de Compostela, Spain.

Cárdenes, V., Mateos, F. J., Rubio-Ordóñez, A., Monterroso, C. (2012): Standard tests for the characterization of roofing slate pathologies. – Materiales de Construcción, 62, 306, 251–268. Universidad de Oviedo, Universidade de Santiago de Compostela Spain.

Cárdenes, V., Rubio-Ordóñez, Á., Wichert, J., Cnudde, J. P., Cnudde, V. (2014): Petrography of roofing slates. – Earth-Science Reviews, 138, 435–453. Universidad de Oviedo, Spain.

Czudek, T. (1971): Geomorfologie východní části Nízkého Jeseníku. – Nakladatelství Československé akademie věd. Rozpravy Československé akademie věd. Řada matematických a přírodních věd. Praha.

Czudek, T. (1988): Údolí Nízkého Jeseníku. – Československá akademie věd. Praha.

Čížek, P., Tomek, Č. (1991): Large-Scale Thin-Skinned Tectonics in the Eastern Boundary of the Bohemian Massif. – *Tectonics* 10, 2, 273–286.

Čopjaková R., Otava J., Sulovský P. (2002): Srovnání chemismu detritických pyropalmandinů lulečských slepenců s chemismem granátů vybraných granulitů Českého masivu. *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2001*, 44–47. Brno.

Dalajková, K., Zimák, J., Štelcl, J., Všianský, D. (2016): Využitelnost kolorimetrie při studiu hornin – na příkladu vápenců ve velkolomu Mokrá. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 22, 1–2. Brno.

Das, P. K. (2008): Petrography of sandstones of Thekopili Formation, Jaintia Hills district, Meghalaya. *Bull. Pure Appl. Sci. F. Geol. Sci.*, 27, 19–24.

Demek, J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. – Academia. Praha.

Demek, J. (1992): Neživá příroda: Vlastivěda moravská. – Vlastivědný spolek, Brno.

Demek, J., Mackovčín, P., Balatka, B., Buček, A., Cibulková, P., Culek, M., Čermák, P., Dobiáš, D. (2006): Zeměpisný lexikon ČR – Hory a nížiny. – AOPK ČR, 320, Brno.

Dickinson, W. R., Beard, S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., Ryberg, P. T. (1983): Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. – *Geological Society of America Bulletin*, 94, 222–235. Univerzita of Arizona, Arizona.

Doveton, J. H. (1994): Geologic Log Interpretation: Reading the Rocks from Wireline Logs. *SEPM Short Course Notes*, 29, 169. Tulsa.

Dudek, A. (1960): K otázce moldanubického nasunutí v severní části dyjské klenby. – *Věst. Úst. ústř. geol.*, 35, 229–232. Praha.

Dudek, A. (1980): The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Brunovistulicum. – *Rozpravy Československé Akademie věd, řada mat.-přír. věd*, 90 (8), 1–81. Praha.

Dvořák, J. (1973): Synsedimentary tectonics of the Palaeozoic of the Drahany Upland (Sudeticum, Moravia, Czechoslovakia). – *Tectonophysics*, 17, 359–391. Amsterdam.

Dvořák, J. (1975): Interrelationship between the sedimentation rate and subsidence during the flysch and molasse stage of the Variscan geosyncline in Moravia (Sudeticum). – *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 339–342. Stuttgart.

Dvořák, J. (1977): The Lower Carboniferous of Moravia. Symposium on Carboniferous Stratigraphy. – *Ústř. Úst. Geol.*, 193-204. Praha.

Dvořák, J. (1994): Variský flyšový vývoj v Nížkém Jeseníku na Moravě a ve Slezsku. – *Práce Českého geologického ústavu*, 3, 1–77. Praha.

Dvořák, J., Maštera, L. (1970): Vysvětlivky k základní geologické mapě 1:50 000 Budišov nad Budišovkou. – *MS Geofond*. Praha.

Ellwood, B. B., Crick, R. E., El Hassani, A. (1999): Magnetosusceptibility event and cyclostratigraphy (MSEC) method used in geological correlation of Devonian rocks from Anti-Atlas Morocco. – *The American Association of Petroleum Geologists*, 83, 1119–1134. *Bulletin*.

Ersepke, Z. (1994): Sborník přednášek z kurzu 13.-15.1994 v Komorní Lhotce.

Fergusson, C. L., Tye, S. C. (1999): Provenance of Early Palaeozoic sandstones, southeastern Australia, Part 1: vertical changes through the Bengal fan-type deposit. – *Sedimentary Geology*, 125, 135–151. Australia.

Foldyha, J., Vašíček, Z. (1969): Příspěvek ke strukturní stavbě kyjovických vrstev na Hlučínsku. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě. Řada hornickogeologická*, 15 (3), 53–77. Ostrava.

Franců, E., Franců, J., Kalvoda, J., Poelchau, H. S., Otava, J. (2002): Burial and uplift history of the Paleozoic Flysch in the Variscan foreland basin (SE Bohemian Massif, Czech Republic). – *EGU Stephan Mueller Special Publication Series*, 1, 167–179. Brno.

Gallala, W., Gaid, M. E., Montacer, M. (2009): Detrital mode, mineralogy and geochemistry of the Sidi Aich Formation (Early Cretaceous) in central and southwestern Tunisia: implications for provenance, tectonic setting and paleoenvironment. – *Earth Sci.*, 53, 159–170. *J. Afr.*

- Gebhardt, H., Sarnthein, M., Grootes, P. M., Kiefer, T., Kühn, H., Schmieder, F., Röhl, U. (2008):** Sea surface temperature (SST, annual mean) on Mg/Ca ratio of sediment core MD01-2416 [dataset]. – PANGAEA. – In: Gebhardt, H., et al. (2008): Paleonutrient and productivity records from the subarctic North Pacific for Pleistocene glacial terminations I to V. – *Paleoceanography*, 23(4).
- Gore, D. (2009):** Basic of XRF – what is XRF, what data is produced, how does it compares with other geochemical studies. – AIG-SMEDG XRF Workshop program. Sydney.
- Grygárek, J. (2014):** Rozvoj a útlum rudného a uranového hornictví na území České republiky po roce 1945. – Klub přátel Hornického muzea v Ostravě. Ostrava.
- Hartley, A. J., Otava, J. (2001):** Sediment provenance and dispersal in a deep marine foreland basin: the Lower Carboniferous Culm Basin, Czech Republic. – *Journal of the Geological Society*. 158, 137–150. London.
- Hejtmánek, D., Kočandrlé, J. (1992):** Svobodné Heřmanice – štěpné břidlice, závěrečná zpráva. – MS, archiv Geofond ČR. Praha.
- Helmond, K. P. (1985):** Provenance of Feldspatic Sandstones – The Effect of diagenesis on Provenance interpretation. In: Zuffa G. G. (Ed.): *Provenance of Arenites*. NATO ASI Series, C 148. D. Reidel Publishing Company, 139–163. Dordrecht.
- Hladil, J., Geršl, M., Strnad, L., Frána, J., Langrová, A., Spišiak, J. (2006):** Stratigraphic variation of complex impurities in platform limestones and possible significance of atmospheric dust: a study with emphasis on gamma-ray spectrometry and magnetic susceptibility outcrop logging (Eifelian–Frasnian, Moravia, Czech Republic). *Int. J. Earth Sci.*, 95, 703–723.
- Hrouda, F. Přichystal, A. (1995):** Magnetic fabric relationship between Palaeozoic volcanic and sedimentary rocks in the Nizky Jeseník Mts., NE Moravia. – *Journal of the Czech Geological Society*, 40, 91–102.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. (2002):** Geologická minulost České republiky. – Academia, Praha, 436. Praha.
- Ibrmajer, J., Suk, M. (1989):** Geofyzikální obraz ČSSR. – Vyd. 1. Academia. Praha.
- Ingram, R. L. (1953):** Fissility of mudrocks. – *Geological Society of America Bulletin*, 64, 869–878. University of North Carolina. North Carolina.

Itambi, A. C., Dobeneck, V. T., Mulitza, S., Bickert, T., Heslop, D. (2009): Millennial-scale northwest African droughts related to Heinrich events and Dansgaard-Oeschger cycles: Evidence in marine sediments from offshore Senegal. – *Paleoceanography*, 24, 1. Senegal.

Janoška, M. (2001): Nížký Jeseník očima geologa. – Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc.

Jirásek, J., Matýsek, D., Příbil, M., Šmehil, K., Minaříková, A. (2019): Slate industry at Zálužné-Mokřinky area (Silesia, Czech Republic) and its associated supergene minerals. – *Bull Miner Petrolog*, 27 (1), 89–108.

Josieková, J., Ritz, M. (2013): Stanovení majoritních minerálů v jílovcích a jílových břidlicích chemometrickou analýzou infračervených spekter. – *Chemické Listy*, 107 (9), 713–716.

Kachlík, V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. Doplněk k publikaci “Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva“. – SURAO Správa úložišť radioaktivních odpadů, 64. Praha.

Klomínský, J. (1994): Geologický atlas České republiky: Stratigrafie. – Český geologický ústav, Praha.

Kukal, Z. (1980): The sedimentology of Devonian and Lower Carboniferous deposits in the western part of the Nížký Jeseník Mountains, Czechoslovakia. – *Journal of Geological Sciences, Geology*, 34, 131–207. Praha.

Kukal, Z. (1985a): Návod k pojmenování a klasifikaci sedimentů. – Metodická příručka ÚÚG, 1–80. Praha.

Kumpera, O. (1966): Pohyb materiálu a nástin faciálního vývoje svrchního visé na Moravě a ve Slezsku. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě, Řada hornicko-geologická*, 12, 138, 31–50.

Kumpera, O. (1966a): Stratigraphische, lithologische und tektonische Probleme des Devons und Kulms am Nordrande der Šternberk-Horní Benešov-Zone. – *Freiberger Forschung*, C204, 1–106. Leipzig.

Kumpera, O. (1972a): Faunistické lokality a přehled fauny moravického souvrství (svrchní visé). – *SbVŠB*, 17, 1971, 1, 107–124. Ostrava.

- Kumpera, O. (1972b):** Problémy vzniku druhotné tektonické stavby na přechodu mezi nemetamorfovanými a dynamometamorfovanými sériemi. – Acta Mus. Siles., A, 21, 2, 23–34. Opava.
- Kumpera, O. (1975):** Tektometrie a geotektonické problémy jesenického bloku. – Sbor. věd. Prací Vys. Šk. báň. v Ostravě, 21, 1, 410, 121–39. Ostrava
- Kumpera, O. (1981):** Základy geotektoniky (2. vyd). Vysoká škola báňská.
- Kumpera, O. (1983):** Geologie spodního karbonu jesenického bloku. – Academia Praha. Praha.
- Kumpera, O. (1997):** Contribution to the Basin Analysis of the Carboniferous Remnant and foreland Basin in the Bohemian massif. Prace Państwowe Inst. Geol., 157, 111–118.
- Kumpera, O., Martinec, P. (1995):** The development of the Carboniferous accretionary wedge in the Moravian-Silesian Paleozoic Basin. – Journal of the Czech Geological Society, 40, 12, 49–66. Praha.
- Kumpera, P., Strohalm, P. (1995):** Ložiska pokrývačských břidlic v Nížkém Jeseníku a renesance jejich využití. – (konference 50 let VŠB – TÚ Ostrava 12.-17.9. 1995). Ostrava.
- Krainer, K., Spoil, C. (1989):** Detrital and authigenic feldspars in Permian and Early Triassic Sandstones, Eastern Alps. Sediment. – Geol., 62, 57–77.
- Labus, M., Labus, K., Bujok, P. (2019):** Thermal parameters of roofing slates from Czech Republic. – Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 140 (4).
- Lehotský, T., Zapletal, J. (2008):** Muzeum břidlice v Budišově nad Budišovkou – nová expozice. In: Časopis Slezského zemského muzea – Vědy přírodní (A). Opava, roč. 57, 3, 37–38. Opava.
- Lüning, S., Adamson, K., Craig, J. (2003):** Frasnian organic-rich shales in North Africa: regional distribution and depositional model. – Geological Society, Special Publications, 207, 165–184. London.
- Manová, M., Matolín, M. (1995):** Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. ČGÚ, Praha.
- Maštera, L. (1975):** Petrografie slepenců moravických vrstev a hradeckých drob v Nížkém Jeseníku. – Výzk. práce Ústř. Úst. geol., 8, 25–36. Praha.

Matolín M., Chlupáčová M. (1997): Radioaktivní vlastnosti hornin. In: Kobr M. a kol.: Petrofyzika, Vydavatelství Karolinum. 109–126. Praha.

Mazurek, M. (1999): Evolution of gas and aqueous fluid in low-permeability shales during uplift and exhumation of the central Swiss Alps. – *Applied Geochemistry* 15, 223–246.

Mikuláš, R., Lehotský, T., Bábek, O. (2004): Trace fossils of the Moravice Formation from the southern Nížký Jeseník Mts. (Lower Carboniferous, Culm facies; Moravia, Czech Republic). – *Bulletin of Geosciences*, 79, 2, 81–98. Praha.

Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Dudek, A., Weiss, J. (1983): Geologie ČSSR: I – Český masív. – Státní pedagogické nakladatelství. Praha.

Mutti, E., Parea, G. C., Ricci-Lucchi, F., Sagri, M., Zanzucchi, G., Ghibaudo, G., Iaccarino, S. (1975): Examples of turbidite facies and facies associations from selected formations of the Northern Apennines. – IXth International Congress of Sedimentology, Field Trip Guide – Field Trip A11, 21–37. Nice.

Otava, J., Hladil, J., Galle, A. (1994): Stáří andělskohorského souvrství: nová fakta a jejich možná interpretace. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1993*, 1, 52–56. Brno.

Patteisky, K. (1929): Die Geologie und Fossilführung der Mährisch-schlesischen Dachschiefer – und Grauwackenformation. Troppau.

Pettijohn, F. J. (1957): Sedimentary Rocks. 2nd Edition. – Harper and Row Publishers. New York.

Pickering, K., Hiscott, R., Hein, F. (1989): Deep marine environments. Clastic sedimentation and tectonics. – *Earth Science Reviews*, 416 str.

Potter, P. E., Maynard, J. B., Pryor, W. A. (1980): Sedimentology of Shale. – Springer-Verlag. New York.

Purkyňová, E. (2003): Fosilní makroflóra z lomu Kobylí v Krásných Loučkách u Krnova (hornobenešovské souvrství, jesenícký kulm, spodní karbon) – *Časopis Slezského muzea*. A, 52, 97–102. Opava.

Putera, A., Pramusandi, S., Damianto, B. (2017): Identification and classification of clayshale characteristic and some considerations for slope stability. – African Journal of Environmental Science and Technology. 11, 163–197.

Pye, K. (1987): Aeolian Dust and Dust Deposits. 334 pp. – Academic Press, San Diego.

Ricci Lucci, F., Valmori, E. (1980): Basin-wide turbidites in Miocene, over-supplied deep-sea plain: a geometric analysis. – Sedimentology, 27, 241–70.

Rider, M. H. (1999): The Geological Interpretation of Well Logs. Whittles Publishing Services, 288 pp. 3, 101–110.

Riedinger, N., Pfeifer, K., Kasten, F., Garming, L. J. F., Vogt, Ch., Hensen, Ch. 2005: Diagenetic Alteration of Magnetic Signals by Anaerobic Oxidation of Methane Related to a Change in Sedimentation Rate. – Geochimica et Cosmochimica Acta, 69, 16, 4117–4126.

Riquier, L. 2005: Perturbations des environnements marins, a la limite Frasnien-Famennian (Devonien terminal: Apport de la geochemie inorganique et du magnetisme des roches. MS, PhD Thesis, Science and Technological University Lille, 458 pp.

Sedláček, J., Kielar, O., Šimíček, D., Kapustová, V. (2017): Vznik a vývoj mrtvého ramene u Polanky nad Odrou v CHKO Poodří. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 24 (1–2).

Schuchová, K., Lenart, J., Stacke, V. (2023): Geomorphology of Abandoned Underground Slate Mines in Czechia. – Geoheritage 15, 96.

Schulmann, K., Ledru, P., Autran, A., Melka, R., Lardeaux, J. M., Urban, M., Lobkowicz, M. (1991): Evolution of nappes in the eastern margin of the Bohemian Massif: a kinematic interpretation. – Geol. Rundsch. Z. Allg. Geol., 80, 73–92.

Strohalm, P. (2002): Těžba, zpracování a kvalita štípatelné břidlice. – Sborník Mezinárodní konference Současnost a perspektiva těžby a úpravy nerudných surovin II., VŠB-TU. Ostrava.

Strohalm, P. (2003): Komplexní výzkum kvality štípatelných břidlic. – Doktorská disertační práce, MS, VŠB TU. Ostrava.

Šimíček, D., Bábek, O., Leichmann, J. (2012): Outcrop gamma-ray logging of siliciclastic turbidites: Separating the detrital provenance signal from facies in the foreland-basin

turbidites of the Moravo-Silesian basin, Czech Republic. – *Sedimentary Geology*, 261–262, 50–64.

Šimíček, D., Krulová, V. (2018): Petrofyzikální charakteristika spraše a fosilní půdy v Hliníku u Litovle. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 25.

Štelcl, J., Zimák, J. (2006): Přirozená radioaktivita horninového prostředí v jeskyních Moravského krasu. Vydavatelství UP, 127. Olomouc.

Šusta, V. (1928): Stratigrafie ostravsko-karvinské kamenouhelné oblasti ve světle paleontologie. – *Kamenouhelné doly ostravsko-karvinského revíru, Monografie OKR*, 341–429. Moravská Ostrava.

Taylor, D.W. (1948): *Fundamentals of Soil Mechanics*. – John Wiley & Sons, 700. New York.

Tucker, M. E. (2003): *Sedimentary Rocks in the Field: The Geological Field Guide Series* (3rd ed.). – John Wiley & Sons Ltd., 234. New York.

Walsh, A. J. (2007): *Materials Characterization. The use of the scanning electron microscope in the determination of the mineral composition of Ballachulish slate*. – University of Paisley, 1095-1103. Scotland, United Kingdom.

Wichert, J. (2020): *Slate as dimension stone: origin, standards, properties, mining and deposits*. – Springer Mineralogy, Springer.

Zapletal, J. (1983): Možnosti litologické korelace kulmu v severní části Nízkého Jeseníku. – Sbor. Prací Univ. Palackého (Olomouc), *Geogr. Geol.* 22, 63–75. Praha.

Zapletal, J., Konečný V. (1985): Krystalinikum v parakonglomerátech andělskohorského souvrství. – Vztah intrakrustální a suprakrustální stavby moravského a slezského bloku, Závěrečná zpráva, archiv přír. fak. UJEP. 83–99. Brno.

Zapletal, J., Pek, I. (1971): Nález spirálních bioglyfů v kulmu Nízkého Jeseníku. – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 16, 3, 285–289. Praha.

Zapletal, J., Kumpera, O., Dvořák, J. (1989): Stratigrafická klasifikace kulmu Nízkého Jeseníku. – *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 64, 4, 243–250. Praha.

Zikmundová, J., Koverdinský, B., (1981): Výskyty konodontových faun ve spodní části andělskohorského souvrství v oblasti Jeseníků. – Příspěvek ke geologii Jeseníků. – Práce odb. přír. věd Kraj. Vlastivěd. Muz. (Olomouc), 33, 17–18. Olomouc.

Zimák, J. (2017): Uran, thorium a draslík v krystaliniku a paleozoických sedimentech na mapovém listu 14-33 Polička – laboratorní gamaspektrometrie a parciální chemické složení variských plutonitů. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 24(1–2).

Zimák, J. (2022): Přirozená radioaktivita sedimentárních hornin v severovýchodní části moravskoslezského paleozoika. – Geoscience Research Reports. 2022.

Zimák, J., Novotný, P., Fojt, B., Večeřa, J., Losos, Z., Vávra, V., Večeřová, V., Skácel, J., Kopa, D. (2003): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách v okolí Javorníku, Jeseníku a Zlatých Hor. – Vydavatelství UP Olomouc. 64 stran. Olomouc.

Zimák, J., Štelcl, J. (2004): Přirozená radioaktivita hornin moravskoslezského kulmu v oblasti Nízkého Jeseníku a Oderských vrchů: příspěvek k poznání zdrojové oblasti klastického materiálu. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2003, 11, 103–106.

Internetové zdroje

[1] <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2022/cislo-5/krajina-bridlice.html#tpozn1>

[2] <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

11. Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1: Fotografie navštívených lokalit.

Příloha 2: Výsledky hmotnostně specifické magnetické susceptibility a spektrální odraznosti.

Příloha 3: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie.

Příloha 4: Obsahy vybraných prvků stanovených metodou EDXRF.

Příloha 5: Výsledky vybraných prvků normalizované na Al.

Příloha 1: Fotografie navštívených lokalit.

Příloha 1a: Jiříkov (JIR)



Bývalý břidlicový lom u Jiříkova (49°52'4"N, 17°16'46"E), reprezentuje andělskohorské souvrství. Jílové břidlice lze sbírat na haldách, které zde po těžbě zbyly. Haldy jsou však ve velké míře zarostlé náletovou vegetací. Lokalita je volně přístupná (foto: Tereza Franková, září 2023).

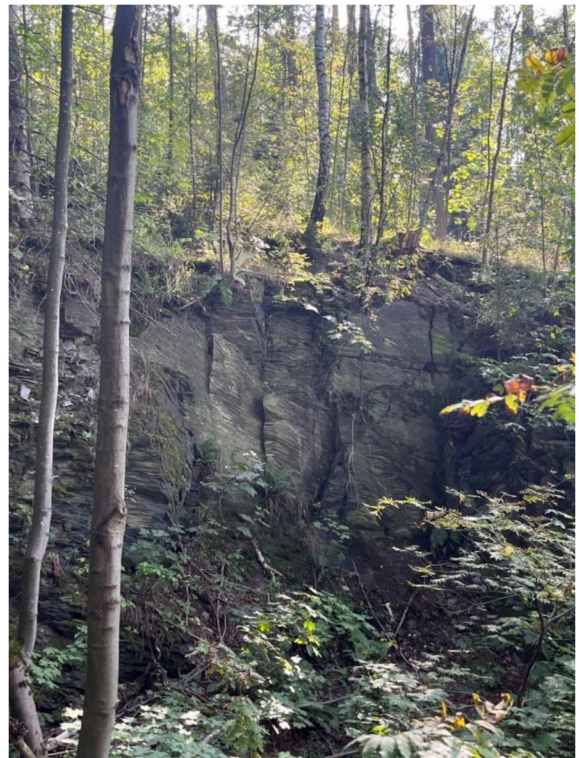
Příloha 1b: Huzová (HUZ)



Bývalý břidlicový lom se nachází asi 2 km sv. od obce Huzová (49°49'38"N, 17°18'59"E) a reprezentuje andělskohorské souvrství. Břidlice se dá sbírat na haldách. Lokalita je volně přístupná (foto: Tereza Franková, září 2023).

Příloha 1c: Malá Štáhle (MŠ)

Bývalé lomy Malá Štáhle (andělskohorské souvrství), byly důležitým místem pro těžbu břidličné suroviny. Lomy jsou v terénu ponechány tak, jak byly opuštěny. Některé se vlivem zahloubení zatopily podzemní vodou. Jílová břidlice se dá sbírat z hald (49°57'40"N, 17°20'26"E). Opuštěné lomy a haldy jsou zarostlé náletovou vegetací (foto: Tereza Franková, září 2023).



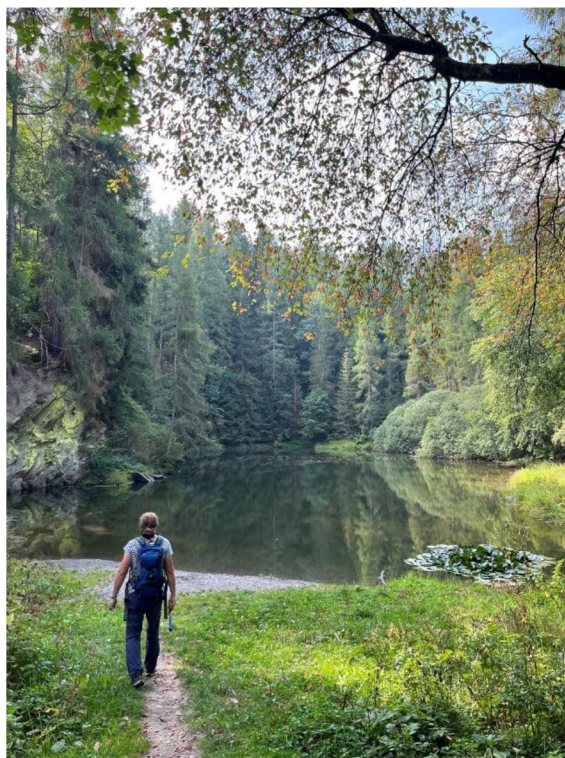
Příloha 1d: Václavov (VÁC)



Lom nedaleko obce Václavov (andělskohorské souvrství). Jílová břidlice se dá sbírat na odpadních haldách, které tady zbyly po těžbě (49°58'50"N, 17°22'41"E). Stav lokality je stále dobrý, přestože haldy zarůstají náletovou vegetací (foto: Tereza Franková, září 2023).

Příloha 1e: Břidličná jezírka (BJ)

Těžbu břidlic dnes poblíž obce Břidličná připomíná řada zatopených lomů. Lokalita Břidličná jezírka reprezentuje andělskohorské souvrství. Jílová břidlice se dá sbírat na haldách poblíž Ryžoviště (49°54'18"N, 17°22'55"E). Lokalita je volně přístupná (foto: Tereza Franková, září 2023).



Příloha 1f: Dětrichovice (DĚT)

Bývalý lom u Dětrichovic reprezentuje andělskohorské souvrství. Jílová břidlice se dá sbírat z hald (50°0'53"N, 17°25'18"E). Břidličný materiál je v dobrém stavu, ačkoli je část hald pokryta náletovou vegetací (foto: Tereza Franková, září 2023).



Příloha 1g: Dalovské jezírko (DJ)



Jeden z mála příkladů těžby pokrývačských břidlic v souvrství hornobenešovském se nachází poblíž obce Dalov (49°46'38"N, 17°20'39"E). Břidlice se dají sbírat na několika výchozech na břehu vodní nádrže (foto: Tereza Franková, září 2023).

Příloha 1h: Svobodné Heřmanice (SVB)



Břidlicový lom u Svobodných Heřmanic (moravické souvrství) dnes slouží k rekreaci a potápění. Na místě je možné sbírat jílové břidlice z odpadních hald (49°56'36"N, 17°39'27"E) (foto: Tereza Franková, září 2023).

Příloha 1ch: Staré Oldřůvky (SO)

Bývalé lomy u Starých Oldřůvek (moravické souvrství) dnes připomíná turistický přístřešek (49°45'45"N, 17°40'59"E), v jehož okolí se nachází haldy a výchozy pokrývačských břidlic. Jílové břidlice se dají odebrat z výchozů i hald. Lokalita je volně přístupná (foto: Tereza Franková, březen 2023).



Příloha 1k: Čermná ve Slezsku (ČS)

Těžbu břidlic dnes v okolí Čermné ve Slezsku (moravické souvrství) připomíná velká odpadní halda, která se nachází pod Potlachovým dolem (49°45'52"N, 17°41'4"E). Jílové břidlice lze tedy sbírat na haldě (foto: Tereza Franková, březen 2023).



Příloha 1l: Klokočov – Důl Marie (DM)

Těžbu břidlic v Klokočově (moravické souvrství) připomíná řada zaniklých lomů. Jedním z takových je i opuštěná břidlicová štola Marie (49°44'58"N, 17°45'11"E). Jílové břidlice se dají sbírat z okolních hald, které jsou v dobrém stavu (foto: Tereza Franková, březen 2023).



Příloha 1m: Hlubečková skála (HS)

Hlubečková skála je bývalým břidlicovým lomem (hradecko – kyjovické souvrství), který se nachází blízko obce Chabičov (49°53'12"N, 18°6'19"E). Lokalita se nachází v polích. Jílové břidlice lze odebrat z haldy. Stěna výchozu je navětralá (foto: Tereza Franková, březen 2023).



Příloha 1i: Budišovice – Wondruškův lom (WON)



V blízkosti Budišovic se nachází opuštěný Wondruškův lom, který reprezentuje hradecko-kyjovické souvrství (49°51'35"N, 18°1'18"E). Dnes tento lom připomíná bývalá správní budova, transformační stanice a výchozy a haldy jílových břidlic v okolí. Břidlice se dá odebírat jak z výchozů, tak hald (foto: Tereza Franková, březen 2023).

Příloha 2: Výsledky hmotnostně specifické magnetické susceptibility a spektrální odraznosti.

stratigrafie	lokality	vzorek	MS (m ³ *kg ⁻¹)	CIE L*
andělskohorské s.	Jiříkov	JŘ	1,94E-07	61,4
andělskohorské s.	Huzová	HUZ	2,58E-07	64,8
andělskohorské s.	Huzová	HUZ2	2,62E-07	65,3
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ	2,25E-07	66,0
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ2	1,96E-07	65,5
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ3	1,65E-07	67,1
andělskohorské s.	Václavov	VÁC	2,12E-07	64,6
andělskohorské s.	Václavov	VÁC2	1,93E-07	66,1
andělskohorské s.	Václavov	VÁC3	2,16E-07	64,2
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ	1,60E-07	64,9
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ2	1,81E-07	62,9
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT	1,37E-07	64,0
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT2	1,18E-07	63,6
hornobenešovské s.	Dalovské j.	DJ	1,83E-07	62,0
moravické s.	Hrubá voda	HV1	1,72E-06	66,0
moravické s.	Hrubá voda	HV2	1,89E-07	65,9
moravické s.	Hrubá voda	HV3	1,56E-07	66,9
moravické s.	Malý Rabštýn	RB7	1,46E-07	64,2
moravické s.	Dvorce	DV2	1,39E-07	64,7
moravické s.	Dvorce	DV3	1,40E-07	67,4
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB	1,93E-07	63,7
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB2	1,81E-07	65,5
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB1	1,82E-07	61,4
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB2	1,25E-07	69,0
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB3	1,59E-07	67,1
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO	1,74E-07	62,8
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO2	1,58E-07	66,6
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO3	1,75E-07	64,0
moravické s.	Svatoňovice	SVAT1	1,31E-07	65,0
moravické s.	Čermná ve Slezsku	ČS	2,59E-07	60,1

stratigrafie	lokalita	vzorek	MS (m³*kg⁻¹)	CIE L*
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM	4,12E-07	60,0
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM2	2,24E-07	66,6
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM3	1,73E-07	66,3
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS	1,81E-07	63,5
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS2	1,30E-07	62,5
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS3	1,20E-07	68,5
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS4	1,20E-07	63,3
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON	1,99E-07	60,0
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON2	2,11E-07	62,1
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON3	1,73E-07	60,5
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON4	1,81E-07	59,6
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU2	1,25E-07	61,5
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU3	1,28E-07	63,0
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV1	1,64E-07	63,7
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV3	1,33E-07	55,3
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV6	1,11E-07	71,2
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ2	1,21E-07	61,3
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ5	7,64E-08	65,9
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE1	1,38E-07	59,7
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE4	1,39E-07	61,6
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK2	1,36E-07	64,9
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK4	1,21E-07	62,2
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST1	1,11E-07	64,7
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST3	1,41E-07	58,2
hradecko-kyjovické s.	Josefovice	JO3	1,12E-07	68,9

Příloha 3: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie.

stratigrafie	lokalita	vzorek	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K/Th	U/Th
andělskohorské s.	Jiříkov	JIR	2	2,7	8,8	4,4	3,3
andělskohorské s.	Huzová	HUZ	1,8	3,7	5,5	3,1	1,5
andělskohorské s.	Huzová	HUZ2	1,9	4,1	6,2	3,3	1,5
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ	1,7	2,6	6,3	3,7	2,4
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ2	1	1,4	5,2	5,2	3,7
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ3	1,5	2,3	5,7	3,8	2,5
andělskohorské s.	Václavov	VÁC	2,5	1,8	9,1	3,6	5,1
andělskohorské s.	Václavov	VÁC2	2,1	0,5	8,2	3,9	16,4
andělskohorské s.	Václavov	VÁC3	2,1	1,7	10,3	4,9	6,1
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ	2	1,7	7,2	3,6	4,2
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ2	1,5	2,4	7,6	5,1	3,2
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT	2,5	3,3	8,3	3,3	2,5
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT2	2,8	4,2	10,4	3,7	2,5
hornobenešovské s.	Dalovské j.	DJ	3,4	2	11,9	3,5	6,0
moravické s.	Hrubá voda	HV1	2,5	1,1	11,2	4,5	10,2
moravické s.	Hrubá voda	HV2	2,2	2,8	7,8	3,5	2,8
moravické s.	Hrubá voda	HV3	1,9	1	12,8	6,7	12,8
moravické s.	Malý Rabštýn	RB7	2,6	3,6	15,3	5,9	4,3
moravické s.	Dvorce	DV2	1,9	2,6	10,5	5,5	4,0
moravické s.	Dvorce	DV3	2,5	3,4	8,2	3,3	2,4
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB	2,4	2,5	14	5,8	5,6
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB2	2,8	4,6	15,4	5,5	3,3
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB1	2,8	4	12,8	4,6	3,2
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB2	1,6	1,3	9,1	5,7	7,0
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB3	1,7	1,5	11,3	6,6	7,5
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO	2,4	5,7	11	4,6	1,9
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO2	1	2,6	10,1	10,1	3,9
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO3	1,7	2,2	9,2	5,4	4,2
moravické s.	Svatoňovice	SVAT1	1,9	8,1	12	6,3	1,5
moravické s.	Černná ve Slezsku	ČS	2,4	3,3	11,6	4,8	3,5

stratigrafie	lokalita	vzorek	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K/Th	U/Th
moravické s.	Klokočov-Důl Marie	DM	2,3	5,4	6,6	2,9	1,2
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM2	1,7	2,7	14,5	8,5	5,4
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM3	1,6	3,9	10,5	6,6	2,7
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS	2,1	1,9	5,9	2,8	3,1
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS2	2,7	3,2	12,3	4,6	3,8
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS3	1,7	2,7	9,2	5,4	3,4
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS4	1,4	2,3	9,1	6,5	4,0
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON	2,3	3,4	9,8	4,3	2,9
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON2	0,9	2,7	7,9	8,8	2,9
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON3	1,8	2,6	8,9	4,9	3,4
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON4	1,3	2,6	7,5	5,8	2,9
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU2	1,3	1,9	6	4,6	3,2
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU3	1,6	3,3	6,9	4,3	2,1
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV1	1	3,6	8,5	8,5	2,4
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV3	2,2	3	9,8	4,5	3,3
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV6	1,3	2	9,8	7,5	4,9
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ2	2,4	3,8	12,8	5,3	3,4
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ5	1,6	3	6,4	4,0	2,1
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE1	1,8	4,9	6,2	3,4	1,3
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE4	2,3	3,1	13,1	5,7	4,2
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK2	3,1	4,4	11,4	3,7	2,6
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK4	3,5	3,9	14,3	4,1	3,7
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST1	11,5	3,8	11,5	1,0	3,0
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST3	2,4	4	8,9	3,7	2,2
hradecko-kyjovické s.	Josefovce	JO3	1,8	1,6	7,3	4,1	4,6

Příloha 4: Obsahy vybraných prvků stanovených metodou EDXRF.

stratigrafie	lokality	vzorek	Al (%)	Si (%)	K (%)	Fe (%)	Ti (ppm)	Zr ppm	Rb (ppm)	Pb (ppm)
andělskohorské s.	Jiříkov	JIR	4,9	13,7	2,1	5,4	4399	192,1	123,5	25,9
andělskohorské s.	Huzová	HUZ	4,5	15,2	1,9	4,2	3548,9	181,5	129,5	37,5
andělskohorské s.	Huzová	HUZ2	4,4	14,7	1,9	4,1	3415,4	179,2	126,8	37,1
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ	5,5	13,9	2,3	5,6	5360,9	198,7	141,6	23,1
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ2	3,1	8	1,1	4,9	3925,9	143	79	28,1
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ3	5,1	13,2	2,3	5,8	5082,8	195,5	146,4	18,4
andělskohorské s.	Václavov	VAC	5,4	14,1	2,4	5,9	5151,1	192,6	150	15,5
andělskohorské s.	Václavov	VAC2	6,3	11,6	3,3	6,9	6291,2	227,3	216,1	24,3
andělskohorské s.	Václavov	VAC3	5,1	13,3	2,3	5,8	5371,7	187,4	155,9	19,1
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ	5,7	14,5	2,5	5	4594,3	181,2	175	19,5
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ2	5,6	13	2,4	5,6	6043,4	192,1	167,6	29,2
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT	5,2	14,9	2	5,6	4815,2	186,1	131,4	29,8
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT2	5,2	13,9	2,4	5,6	4959,9	191,7	160,8	26,5
hornobenešovské s.	Dalovské j.	DJ	6,9	12,2	3,8	6,3	6561,4	203,8	213,7	28,1
moravické s.	Hrubá voda	HV1	5,6	14,1	2,4	5,8	5095	176,7	167,9	14,4
moravické s.	Hrubá voda	HV2	5,6	14,2	2,3	3,9	5315,4	187,4	153,3	79,3
moravické s.	Hrubá voda	HV3	5,2	14,6	2	4,9	5414,5	233	113,3	23,6
moravické s.	Malý Rabštýn	RB7	5,7	13,8	2,8	5,3	4830,1	249,8	217,9	29,6
moravické s.	Dvorce	DV2	5,8	14,6	2,4	5,2	5208,1	169,8	170,3	28,5
moravické s.	Dvorce	DV3	5,7	14,5	2,4	4,9	5393,8	188,3	170,5	22
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB	5,8	13,1	2,5	6,5	5728,1	156,4	155,1	20,4
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB2	5,7	13,8	2,5	5,2	5309,2	216,3	180,7	41,3
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB1	5,8	13,2	2,7	5,7	4765,9	196,1	191,7	40,4
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB2	5,4	14,2	1,9	4,4	5791,7	245,8	105,6	16,9
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB3	4,8	15,6	1,7	4,7	5841,1	355,4	111,7	22,5
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO	5,7	13,3	2,4	5,2	4949,2	166	180,9	16,7
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO2	3,4	12,8	1,2	3,2	3840,3	283	93,5	21,5
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO3	5,1	12	2,3	5,3	4642,9	168,3	175,7	34,1
moravické s.	Svatoňovice	SVAT1	5,6	14,8	2,4	5	5212,1	229,8	178,8	34,9
moravické s.	Čermná ve Slezsku	ČS	5,9	13	2,6	5,2	5191,4	190,3	182,4	39

stratigrafie	lokality	vzorek	Al (%)	Si (%)	K (%)	Fe (%)	Ti (ppm)	Zr ppm	Rb (ppm)	Pb (ppm)
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM	5,8	13,5	2,5	5,2	5023,4	161,9	168,4	23,5
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM2	4,3	13,3	1,7	5,3	3904,4	168,1	117,8	85,5
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM3	4	12,5	1,4	4,8	3586,9	176,8	104,4	65,7
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS	5,6	13,6	2,5	4,9	5699,7	219,4	168,7	25,4
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS2	6,2	13,7	2,9	4,7	6545,3	184,1	184,1	10,7
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS3	5,3	12,4	2,3	4,5	6222,1	214	164,1	6,8
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS4	5,1	12,5	2,2	4,9	5784,5	210,5	149,3	11,5
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON	4,7	16,2	1,8	4,6	4400,1	184,7	107,9	25
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON2	3,9	13	1,2	4,9	4587,1	199	79,5	22,3
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON3	5	12	2,2	5,3	5304,7	183,7	153,3	80,1
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON4	5,5	13,1	2,4	5,1	5911,1	198,5	165,2	17
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU2	5,4	14,7	2,3	4,8	4384,4	184,4	159,2	36
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU3	4,8	15,4	1,7	4,7	5865,9	354,4	111,9	22,2
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV1	5,3	14,4	2,3	5,3	4940,4	184,2	155,8	7,2
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV3	4,8	15,5	2	4,9	4221,1	160,9	137,9	14,5
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV6	4,6	14,7	1,4	4,5	4829	224,5	86,4	9,4
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ2	5,9	12,9	2,5	4,4	6335	259,3	170,5	8,8
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ5	6	13,4	2,8	5	6629	252,8	186,8	48,6
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE1	5,5	13,9	2,2	5,5	5513	197,1	142,7	27,7
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE4	4,9	16,8	1,7	2,5	4968,7	249,9	90	29,2
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK2	5,7	13,4	2,8	5,1	5244,2	190,5	199	32
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK4	6,2	13,7	3,3	4,5	4680	161,3	252,8	31,2
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST1	7,2	12,3	3,8	4,9	5842,4	214,4	276,7	32,3
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST3	5,4	13,1	2,2	4,7	5772,9	237,3	135	29,6
hradecko-kyjovické s.	Josefovce	JO3	6,2	13,2	2,9	5,5	6102,3	221,8	204,3	23,9

Příloha 5: Výsledky vybraných prvků normalizované na Al.

stratigrafie	lokality	vzorek	Si/Al	K/Al	Fe/Al	Ti/Al	Zr/Al	Rb/Al	Pb/Al	Zr/Rb
andělskohorské s.	Jiříkov	JIR	2,8	0,4	1,1	900,4	39,3	25,3	5,3	1,6
andělskohorské s.	Huzová	HUZ	3,4	0,4	0,9	792,5	40,5	28,9	8,4	1,4
andělskohorské s.	Huzová	HUZ2	3,3	0,4	0,9	770,8	40,4	28,6	8,4	1,4
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ	2,5	0,4	1,0	973,6	36,1	25,7	4,2	1,4
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ2	2,6	0,4	1,6	1258,5	45,8	25,3	9,0	1,8
andělskohorské s.	Malá Štáhle	MŠ3	2,6	0,5	1,2	1004,4	38,6	28,9	3,6	1,3
andělskohorské s.	Václavov	VÁC	2,6	0,4	1,1	947,2	35,4	27,6	2,9	1,3
andělskohorské s.	Václavov	VÁC2	1,8	0,5	1,1	997,7	36,0	34,3	3,9	1,1
andělskohorské s.	Václavov	VÁC3	2,6	0,4	1,1	1044,3	36,4	30,3	3,7	1,2
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ	2,5	0,4	0,9	802,3	31,6	30,6	3,4	1,0
andělskohorské s.	Břidličná j.	BJ2	2,3	0,4	1,0	1076,2	34,2	29,8	5,2	1,1
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT	2,9	0,4	1,1	929,2	35,9	25,4	5,8	1,4
andělskohorské s.	Dětřichovice	DĚT2	2,7	0,5	1,1	957,1	37,0	31,0	5,1	1,2
hornobenešovské s.	Dalovské j.	DJ	1,8	0,5	0,9	948,1	29,5	30,9	4,1	1,0
moravické s.	Hrubá voda	HV1	2,5	0,4	1,0	909,2	31,5	30,0	2,6	1,1
moravické s.	Hrubá voda	HV2	2,5	0,4	0,7	956,5	33,7	27,6	14,3	1,2
moravické s.	Hrubá voda	HV3	2,8	0,4	0,9	1045,3	45,0	21,9	4,6	2,1
moravické s.	Malý Rabštýn	RB7	2,4	0,5	0,9	845,1	43,7	38,1	5,2	1,1
moravické s.	Dvorce	DV2	2,5	0,4	0,9	900,5	29,4	29,4	4,9	1,0
moravické s.	Dvorce	DV3	2,5	0,4	0,9	940,5	32,8	29,7	3,8	1,1
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB	2,3	0,4	1,1	990,1	27,0	26,8	3,5	1,0
moravické s.	Svobodné Heřmanice	SVB2	2,4	0,4	0,9	927,3	37,8	31,6	7,2	1,2
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB1	2,3	0,5	1,0	826,1	34,0	33,2	7,0	1,0
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB2	2,6	0,3	0,8	1080,0	45,8	19,7	3,1	2,3
moravické s.	Budišov nad Budišovkou	BB3	3,3	0,4	1,0	1224,2	74,5	23,4	4,7	3,2
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO	2,3	0,4	0,9	866,0	29,0	31,6	2,9	0,9
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO2	3,8	0,4	1,0	1137,5	83,8	27,7	6,4	3,0
moravické s.	Staré Oldřůvky	SO3	2,4	0,5	1,0	912,4	33,1	34,5	6,7	1,0
moravické s.	Svatoňovice	SVAT1	2,7	0,4	0,9	936,9	41,3	32,1	6,3	1,3
moravické s.	Černná ve Slezsku	ČS	2,2	0,4	0,9	879,1	32,2	30,9	6,6	1,0
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM	2,3	0,4	0,9	863,9	27,8	29,0	4,0	1,0

stratigrafie	lokality	vzorek	Si/Al	K/Al	Fe/Al	Ti/Al	Zr/Al	Rb/Al	Pb/Al	Zr/Rb
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM2	3,1	0,4	1,2	911,0	39,2	27,5	20,0	1,4
moravické s.	Klokočov – Důl Marie	DM3	3,1	0,4	1,2	897,7	44,2	26,1	16,4	1,7
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS	2,4	0,5	0,9	1011,4	38,9	29,9	4,5	1,3
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS2	2,2	0,5	0,8	1053,7	29,6	29,6	1,7	1,0
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS3	2,3	0,4	0,8	1174,7	40,4	31,0	1,3	1,3
hradecko-kyjovické s.	Hlubečková skála	HS4	2,4	0,4	1,0	1123,6	40,9	29,0	2,2	1,4
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON	3,5	0,4	1,0	939,6	39,4	23,0	5,3	1,7
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON2	3,3	0,3	1,3	1166,1	50,6	20,2	5,7	2,5
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON3	2,4	0,4	1,1	1058,4	36,6	30,6	16,0	1,2
hradecko-kyjovické s.	Budišovice Wondruškův l.	WON4	2,4	0,4	0,9	1075,3	36,1	30,0	3,1	1,2
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU2	2,7	0,4	0,9	810,3	34,1	29,4	6,7	1,2
hradecko-kyjovické s.	Lukavec	LU3	3,2	0,4	1,0	1229,5	74,3	23,5	4,6	3,2
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV1	2,7	0,4	1,0	939,8	35,0	29,6	1,4	1,2
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV3	3,2	0,4	1,0	876,5	33,4	28,6	3,0	1,2
hradecko-kyjovické s.	Stará Ves u Bílovce	SV6	3,2	0,3	1,0	1045,2	48,6	18,7	2,0	2,6
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ2	2,2	0,4	0,7	1079,7	44,2	29,1	1,5	1,5
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jílovec	FJ5	2,2	0,5	0,8	1103,6	42,1	31,1	8,1	1,4
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE1	2,5	0,4	1,0	1006,8	36,0	26,1	5,1	1,4
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Jerlochovice	JE4	3,4	0,3	0,5	1006,5	50,6	18,2	5,9	2,8
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK2	2,4	0,5	0,9	919,6	33,4	34,9	5,6	1,0
hradecko-kyjovické s.	Jakubčovice nad Odrou	JAK4	2,2	0,5	0,7	751,6	25,9	40,6	5,0	0,6
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST1	1,7	0,5	0,7	810,1	29,7	38,4	4,5	0,8
hradecko-kyjovické s.	Fulnek Stachovice	ST3	2,4	0,4	0,9	1066,1	43,8	24,9	5,5	1,8
hradecko-kyjovické s.	Josefovice	JO3	2,1	0,5	0,9	984,3	35,8	33,0	3,9	1,1