

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



**Porovnání geochemických, petrologických a petrofyzikálních
vlastností pokrývačských břidlic v místech bývalé těžby
v nízkojesenickém kulmu**

Bakalářská práce

Tereza Franková

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční studium

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu.

V Olomouci dne

Tereza Franková

Poděkování

V první řadě, bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Danielu Šimíčkovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, za energii, čas a cenné rady během konzultací. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a blízkým za motivaci a podporu při studiu.

Bibliografická identifikace:**Jméno a příjmení autora:** Tereza Franková**Název práce:** Porovnání geochemických, petrologických a petrofyzikálních vlastností pokrývačských břidlic v místech bývalé těžby v nízkojesenickém kulmu**Typ práce:** bakalářská**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geologie**Vedoucí práce:** Mgr. Daniel Šimíček, Ph.D.**Rok obhajoby práce:** 2020

Abstrakt: Předkládaná práce se zabývá porovnáním geochemických, petrologických a petrofyzikálních vlastností pokrývačských břidlic. Cílem práce bylo určení vlastností, vhodných ke stratigrafickému rozlišení vzorků. Tato data by mohla posloužit v petroarcheologii i pro účely technologického zpracování břidlic. Rešeršní část se věnuje geologii nízkojesenického kulmu a historii a způsobům dobývání pokrývačských břidlic. V praktické části bylo u vzorků břidlic zjišťováno jejich chemické a minerální složení a vybrané petrofyzikálních vlastností. Vzorky byly odebrány na sedmi lokalitách v místech jejich bývalé těžby v nízkojeseneckém kulmu. Analýzou výbrusových preparátů byl stanoven index nahromadění slíd (MSI) a z těchto hodnot byla vypočítána pevnost v tahu v podélném směru. Hlavními minerálními složkami zkoumaných vzorků jsou slídy (+ jílové minerály), křemen a dále chlorit a plagioklasy. Vysoké hodnoty světlosti L^* vykazují vzorky s větší koncentrací křemité složky. Jsou to především vzorky z andělskohorského a hornobenešovského souvrství. Vysoké hodnoty přirozené radioaktivity korespondují s vysokým obsahem jílových minerálů, díky kterým je břidlice lépe štípatelná. Nejvyšších hodnot MSI a pevnosti v tahu vykazuje hornobenešovské souvrství.

Klíčová slova: pokrývačská břidlice, kulm Nízkého Jeseníku, magnetická susceptibilita, spektrální odraznost, laboratorní gamaspektrometrie, PXRD metoda, EDXRF, index MSI

Počet stran: 45**Počet příloh:** 5**Jazyk:** čeština

Bibliographical identification:

Authors first name and surname: Tereza Franková

Title: Geochemical, petrological and petrophysical properties of roofing slate in former mining places in the Nížký Jeseník Culm

Type of thesis: bachelor

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

Supervisor: Mgr. Daniel Šimíček, Ph.D.

The year of presentation: 2020

Abstract: This thesis deals with the comparison of geochemical, petrological and petrophysical properties of roofing slate. The main aim was to determine the characteristics suitable for the stratigraphic resolution of the samples. These data could be used in petroarchaeology as well as for the purposes of technological applications of slates. The theoretical part of the thesis deals with the geology of the Nížký Jeseník Culm and the history and methods of roofing slates mining. In the practical part, chemical and mineral composition and selected petrophysical properties of slate samples were examined. Samples were collected from seven sites at former mining area in the Nížký Jeseník Culm. The values of Mica Stacking Index (MSI) were carried out by microscopic observation of thin-sections and these data was used for calculation of strength of slate in the longitudinal direction. The main mineral components of studied samples are mica (incl. clay minerals), quartz, chlorite and plagioclase. Samples with relative high content of quartz, such as slates from the Andělská Hora and Horní Benešov Formations, reveal high values of brightness (CIEL*). High values of natural radioactivity correspond with high content of clay minerals. Gamma-ray spectrometry could be used as supplementary method for slate cleavability estimation. Samples from the Forní Benešov Formation have the highest MSI values and tensile strength.

Keywords: roofing slate, Nížký Jeseník Culm, Magnetic Susceptibility, Spectral Reflectance, laboratory Gamma-Ray Spectrometry, X-Ray Powder Diffraction, Energy-Dispersive X-ray Fluorescence, Mica Stacking Index

Number of pages: 45

Number of appendices: 5

Language: Czech

1. Úvod	7
3. Geologická charakteristika zájmové oblasti	9
3.1 Regionálně-geologické vymezení a celková charakteristika nízkohesenického kulmu	9
3.2 Litologická charakteristika nízkohesenického kulmu	11
3.3 Tektono-metamorfnní charakteristika nízkohesenického kulmu	15
4. Charakteristika pokrývačských břidlic	18
5. Dobývání břidlice	19
5. 1. Historie dobývání břidlice	19
6. Metodika	23
6. 1. Terénní metodika	23
6. 2. Laboratorní metodika	24
7. Výsledky	27
7. 1. Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita a spektrální odraznost	27
7. 2. Laboratorní gamaspektrometrie	29
7. 3. XRD difrakční metoda	31
7. 4. Rentgenová fluorescenční spektrometrie	32
7. 5. Index nahromadění slíd (MSI) a pevnost v tahu	34
8. Diskuze	35
9. Závěr	39
10. Literatura	40

Přílohy

1. Úvod

Pokryvačské břidlice jsou významným stavebním materiálem vyskytujícím se, jak na historických, tak moderních budovách. Jejich charakteristickým znakem je schopnost štípat se na tenké pravidelné desky díky jejich dobře vyvinuté kliváži. Na našem území se těžba v minulosti soustřeďovala především v oblasti nízkojesenického kulmu, kde v omezené míře trvá dodnes.

Předkládaná práce se zabývá porovnáním geochemických, petrologických a petrofyzikálních vlastností pokryvačských břidlic odebraných na sedmi vybraných lokalitách jejich bývalé těžby z různých stratigrafických členů nízkojesenického kulmu.

Tato práce se skládá z rešeršní a praktické části. V rešerši je stručně shrnuta geologická charakteristika nízkojesenického kulmu a také historie a metody těžby pokryvačských břidlic. Praktická část zahrnuje terénní a laboratorní etapu. Terénní etapa se soustřeďuje na odběr reprezentativních vzorků jílovitých břidlic, na popis současného stavu lokalit a fotodokumentaci. Laboratorní etapa zahrnovala studium magnetických, kolorimetrických a gamaspektrometrických vlastností břidlic a stanovení jejich chemismu metodou EDXRF. Dále bylo studováno složení krystalických fází rentgenovou práškovou difrakcí a ze studia výbrusových preparátů byl stanoven index MSI.

Práce má za cíl určit ty vlastnosti, které by mohly přispět k relativnímu snadnému stratigrafickému zařazení břidlic. Výsledná data mohou být využitelná v petroarcheologii i ve stavebnictví.

2. Geomorfologická charakteristika oblasti

Zájmová oblast s výchozí hornin nízkohesenického kulmu se nachází v Nížkém Jeseníku a zasahuje také do Zlatohorské vrchoviny.

Tab. 1: Geomorfologické členění Nížkého Jeseníku (Demek, 1992)

System	Variský
Provincie	Česká vysočina
Subprovincie	Krkonošsko-jesenická (Sudetská) subprovincie
Oblast	Jesenická oblast
Celek	Nížký Jeseník
Geomorfologické podcelky	Brantická vrchovina Bruntálská vrchovina Domašovská vrchovina Oderské vrchy Slunečná vrchovina Stěbořická vrchovina Vítkovská vrchovina Tršická pahorkatina

Geomorfologický celek Nížký Jeseník je součástí provincie Česká vysočina (tab. 1), která zabírá podstatnou část České republiky. Dnešní podoba georeliéfu České vysočiny a Jesenické oblasti je výsledkem dlouhodobého geomorfologického vývoje, který na tomto území probíhal v různých fyzicko-geografických podmínkách (Czudek, 1988).

Zájmová oblast Nížkého Jeseníku se nachází na severovýchodě moravskoslezského kraje a na severozápadě Olomouckého kraje. Tato geomorfologická jednotka se rozkládá na ploše o rozloze kolem 2 894 km² (Czudek, 1988). Nížký Jeseník pozvolna přechází na severozápadě do Hrubého Jeseníku a na severovýchodě do reliéfu Slezské nížiny (Janoška, 2001). Na jihozápadě je Nížký Jeseník omezen strmými svahy od Hornomoravského úvalu (Demek,

1992). Nejvyšším místem Nízkého Jeseníku je Slunečná vrchovina s vrcholem Slunečná (800 m n. m.). Západně od Opavy leží naopak nejnižší oblast Nízkého Jeseníku, a to Zlatnická pahorkatina (310 m n. m.) (Czudek, 1988). Většina území Nízkého Jeseníku má charakter ploché vrchoviny (např. Bruntálská vrchovina) s širokými říčními údolími a plochými hřbety. Jihozápadní a jihovýchodní okraje Nízkého Jeseníku jsou ale omezeny strmými svahy (např. Domašovská vrchovina), kde jsou typickým terénním tvarem hluboce zaříznutá údolí tvaru písmene V nebo neckovitého tvaru, vytvořena v neogénu erozí vodních toků s velkým spádem (Janoška, 2001). Nízký Jeseník je prameništěm významných říčních toků, jako je řeka Moravice či Opava, a především řeka Odra, která pramení v Oderských vrších. Dalším charakteristickým geomorfologickým tvarem Nízkého Jeseníku jsou skalní stěny neboli mrazové sruby. Jejich vznik podmínilo měnící se pleistocenní klima, které střídavě vyvolávalo mrazové zvětrávání a svahové procesy v glaciálech a zvýšenou erozi vodních toků v interglaciálech. Nejpůsobivější ukázky najdeme podél toku řek Moravice, Veličky nebo Bystřice (např. Malý Rabštejn). V severozápadní části Nízkého Jeseníku v Brantické vrchovině se hojně vyskytují kupovité vyvýšeniny. Výraznou kupovitou vyvýšeninou je ale také hora Jedová (633 m n. m.) nacházející se u obce Pohořany u Olomouce (Janoška, 2001).

Zlatohorská vrchovina leží v severozápadní části České republiky, při státní hranici s Polskem, kam pokračuje jako Góry Opawskie. V české části hraničí na Z a SZ s Rychlebskými horami a Žulovskou pahorkatinou, dále na JZ s Hrubým Jeseníkem a J s Nízkým Jeseníkem. Zlatohorská vrchovina se rozprostírá na ploše o rozloze 537 km² (Halfar, 2014). Nejvyšším bodem je Příčný vrch (974,7 m n. m.), na jehož východní straně pramení Zlatý potok, nejvýznamnější vodní tok Zlatohorské vrchoviny. Vodní toky v oblasti Zlatých hor patří do povodí řeky Odry a obecně mají ráz bystřin a potoků (Demek a kol., 2006).

3. Geologická charakteristika zájmové oblasti

3.1 Regionálně-geologické vymezení a celková charakteristika nízkojesenického kulmu

Český masív je součástí paleozoického orogenního pásma variscid (Demek a kol., 1992). Variský orogén představuje zbytek širokého, vyvrásněného a vklíněného pásma mezi východoevropskou a epikaledonskou platformou (Mísař, 1983). Zájmové území nízkojesenického kulmu je z regionálně-geologického hlediska součástí moravskoslezské oblasti, konkrétně regionu moravskoslezského paleozoika, který tvoří východní okraj Českého

masivu (Kachlík, 2003). Tyto horniny pokračují dále k východu v podloží karpatské předhlubně a flyšových příkrovů Vnějších Západních Karpat (Mísař, 1983).

Pomineme-li výskyt kambrických hornin ve vrtech u Měnína a Němčiček (Jachowicz a Přichystal, 1997) a tektonické šupiny silurských hornin u Stínavy (Mísař, 1983), pak zdaleka plošně nejrozsáhlejšími horninovými jednotkami moravskoslezského paleozoika jsou devonské až svrchnokarbonské sedimenty a v menší míře také vulkanity, včetně jejich metamorfovaných ekvivalentů. Patří sem devonské až spodnokarbonské platformní karbonáty ve vývoji moravského krasu a pánevní a přechodné facie drahanského, respektive ludmírovského vývoje, spodnokarbonské siliciklastické sedimenty variského flyše, označované jako kulm (předmět zájmu této práce) a svrchnokarbonské uhlonosné vrstevní sledy Hornoslezské pánve (Mísař, 1983).

Moravskoslezská kulmská pánev má tvar klínu, který je orientovaný ve směru JZ–SV, přičemž se rozšiřuje směrem k SV. Na východě je pánev ohraničena mezozoikem a terciérem karpatské předhlubně a ze západu variským přesmykem a kadomským podložím českého masivu, které dnes tvoří například Hrubý Jeseník a orlicko-kladskou klenbu (Kumpera, 1975). Hlavní výchozové oblasti se nacházejí v Nížkém Jeseníku (nízkojesenický kulm) a na Drahanské vrchovině (drahanský kulm). Obě oblasti jsou od sebe odděleny příkopem Hornomoravského úvalu. Menší výchozové oblasti 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, 1983).

Paleozoický vývoj nízkojesenické oblasti lze rozčlenit do tří hlavních etap:

1. Během tournai až nejspodnějšího visé probíhal v západní části vývoj vulkanické mobilní zóny (drahansko-jesenická vulkanicko-detritická mobilní zóna podle Kumpery (1975)), zatímco v jv. a v. části na geotektonicky stabilním brunovistuliku sedimentovaly hlavně karbonáty ve vývoji Moravského krasu.
2. Ve spodním visé začíná flyšový vývoj v západní části nízkojesenické oblasti. V blízkosti hlubinného zlomu šternbersko-hornobenešovského pásma sedimentovaly turbidity laryšovských a brantických vrstev hornobenešovského souvrství. Ty směrem k západu pozvolna přecházejí do sedimentů andělskohorského souvrství. Podle Hartleye a Otavy (2001) probíhala sedimentace ve zbytkové oceánské pánvi.
3. Ve svrchním visé začíná třetí stadium vývoje nízkojesenického bloku. Dochází k postupnému přesouvání maximální subsidence pánve směrem k východu, zatímco

v západní části jsou flyšové sedimenty vrásněny a vyzdvihovány. Morfologie pánve ve východní části byla více nesouměrná s plošším v. pánevním svahem. Proto jsou hrubozišnější turbidity hojně zejména na Z, na V a JV turbidity přecházejí do méně mocných, hlavně jílovitých turbiditů a laminitů. Hartley a Otava (2001) interpretují pánev jako periferní předpolní pánev variského orogenu. Flyšová sedimentace byla na našem území ukončena ve spodním namuru sedimentací kyjovických vrstev. Na kyjovické vrstvy dále navazuje molasová uhlonosná sedimentace.

Sedimenty moravskoslezské kulmské pánve byly deformovány a vyvrásněny během variské orogeneze ve svrchním karbonu, která je tak zodpovědná za současnou stavbu a tvar moravskoslezské kulmské pánve (Müller a kol., 2000).

3.2 Litologická charakteristika nízkohesenického kulmu

Nízkohesenickou část moravskoslezské kulmské pánve vyplňují siliciklastické sedimenty stáří tournai/spodní visé až spodní namur (Hartley a Otava, 2001), které dosahují maximální mocnosti 7,5 km. Směrem k východu tato mocnost klesá a v jejich stratigrafickém nadloží se nacházejí vrstevní sledy produktivního karbonu Hornoslezské pánve.

Sedimentace, označovaná jako kulmská se vyznačuje rytmicky se střídajícími (flyšovými) vrstvami černošedých mořských usazenin (Demek a kol., 1992). V geologické terminologii se pojem kulm objevil poprvé v 19. století v Anglii. Popisuje synorogenní sedimenty, které vznikly v závěrečné fázi variského vrásnění v hlubokomořských pánvích poblíž kontinentů (Janoška, 2001).

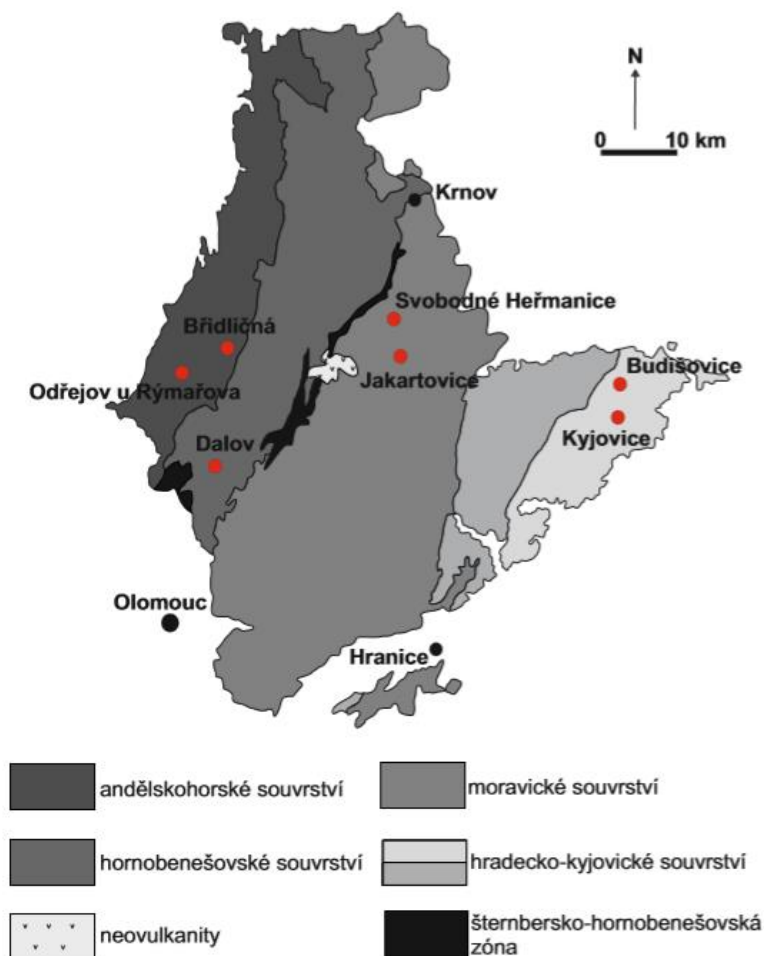
Horniny kulmu Nížkého Jeseníku lze členit na základě litologických a biostratigrafických charakteristik a asociací těžkých minerálů do čtyř souvrství (Dvořák, 1973; Kumpera, 1983; Hartley a Otava, 2001).

Biostratigrafie nízkohesenického kulmu je založena především na výskytu stratigraficky významných goniatitů (Hartley a Otava, 2001). Kvůli neklidným sedimentačním pochodům a tektonickým podmínkám, které v kulmské pánvi probíhaly, je kulmská fauna špatně zachována. Z dalších skupin kulmské fauny se vyskytují mlži a ramenonožci. Místy jsou hojně také ichnofosílie (Kumpera, 1983).

Hartley a Otava (2001) vyčlenili v nízkohesenickém kulmu tři zóny těžkých minerálů. Spodní zóna, která stratigraficky odpovídá andělskohorskému a hornobenešovskému souvrství,

je tvořena těžkými minerály jako je kyanit, epidot, titanit nebo staurolit. Nejrozšířenějším minerálem je granát, který se vyskytuje ve formě pyropu, spessartinu, grosuláru i almandinu. Ve střední zóně, která zhruba koreluje s moravickým souvrstvím a ve svrchní zóně odpovídající hradecko-kyjovickému souvrství se směrem do nadloží mění složení granátů, kdy přibývá pyrop-almandinová složka na úkor spessartin-grosulárové složky (Hartley a Otava, 2001).

Tradiční litostratigrafické členění zahrnuje, řazeno od nejstaršího po nejmladší: andělskohorské, hornobenešovské, moravické a hradecko-kyjovické souvrství (viz obr. 1).



Obr. 1: Přehledná geologická mapa nízkojesenického kulmu s vyznačenými místy (červeně) odběru vzorků na lokalitách bývalé těžby štípatelných břidlic; upraveno dle Dvořáka (1994).

Andělskohorské souvrství

Sedimenty andělskohorského souvrství, spolu s mladším, hornobenešovským souvrstvím, se kterým se částečně laterálně zastupují (Kumpera, 1974), vyplňují západní část nízkojesenického kulmu (Hartley a Otava, 2001). Vrstvy jsou nejstarší litostratigrafickou jednotkou ve flyšovém vývoji. Počátek sedimentace lze datovat na hranici famen/tournai (Kumpera, 1983).

Souvrství je charakteristické střídáním jílovitých a siltových břidlic a deskovitých jemně až středně zrnitých gradačně zvrstvených drob. Lavicovité droby a slepence tvoří lokálně omezená čočkovitá tělesa (Svoboda 1964). V západní části andělskohorského souvrství vystupuje dětrichovická slepencová poloha, která je tvořena tiloidními slepenci v mocnosti do desítky metrů (Kumpera, 1983).

Kumpera (1976) ji považuje za laterální facii mladšího hornobenešovského a moravického souvrství. Paleoproudová data ukazují na převládající směr transportu paralelně s podélnou osou moravskoslezské kulmské pánve. Avšak výjimkou nejsou ani směry proudění, které jsou diagonální či kolmé na tento převládající směr (Kumpera, 1983).

Hornobenešovské souvrství

Stratigrafický rozsah hornobenešovského souvrství je od spodního do středního visé a maximální mocnost souvrství je 1500 m (Kumpera, 1983).

Pro hornobenešovské souvrství je typická převaha drob nad břidlicemi a prachovci (Kumpera, 1983), což z něj činí nejméně perspektivní litostratigrafickou jednotku pro těžbu pokrývačských břidlic. Kumpera (1983) vyčleňuje v tomto souvrství bruntálský vývoj v okolí Bruntálu a vývoj slepencový (janovický, leskovecký) u Tisové (Kumpera, 1983).

Hornobenešovské souvrství rozděljuje Kumpera (1966) na dva litostratigrafické členy, starší láryšovské vrstvy s převahou drob a mladší brantické vrstvy, které mají charakter hrubě rytmického flyše.

Paleoproudové analýzy indikují převládající transport klastického materiálu k severu, podélně se směrem protažení osy pánve (Kumpera, 1983).

Moravické souvrství

Sedimentace moravického souvrství se částečně časově překrývá s vývojem hornobenešovského souvrství, avšak probíhala ve východní části nízkojesenického kulmu.

Stratigraficky významnou mořskou faunou nalezenou v tenkých rozptýlených obzorech jsou goniatiti (Mísař a kol., 1983), díky kterým lze souvrství časově zařadit do svrchního visé. Méně časté jsou nálezy trilobitů, korálů a lilijic. Souvrství dosahuje mocnosti až 2500 m (Mísař a kol., 1983).

Pro moravické souvrství je typické jemně až středně rytmické střídání laminovaných prachových a jílovitých břidlic, prachovců a deskovitých jemně zrnitých drob. Lokálně se ale vyskytují také čočkovitá tělesa lavicovitých drob a slepenců (Kumpera, 1983). Právě horniny moravického souvrství byly v minulosti intenzivně využívány k těžbě pokrývačských břidlic.

Tradiční Kumperovo (1966) litostratigrafické členění moravického souvrství zahrnuje seřazeno od nejstarších k nemladším: bělské, bohdanovické, cvilínské, brumovické a vikštejnské vrstvy. Bohdanovické vrstvy vystupují po stranách šternbersko-janovského antiklinoria a ve šternbersko-petrovickém antiklinoru. V osoblažském výběžku vyplňují artmanovské a osoblažské synklinorium. Bohdanovické vrstvy jsou budovány drobně rytmickým flyšem s mocnou polohou laminovaných břidlic (Kumpera, 1983). Cvilínské vrstvy se rozprostírají v pásmu od Osoblažského výběžku přes Krnov a dále k J po Město Libavá. Celková mocnost cvilínských vrstev činí 800 m, směrem k V a JV mocnost klesá (Kumpera, 1983). Cvilínské vrstvy jsou na bázi tvořeny velmi hrubým flyšem o mocnosti až 200 m. Ve svrchní části pak přechází v jemně rytmický flyš a laminované břidlice. V Osoblažském výběžku se vyskytují také vložky uhelného vápence s hojnou faunou mělkovodního původu (Kumpera, 1983). Cvilínské vrstvy jsou někdy označovány jako sedimentárně-vulkanický komplex z důvodu vysoké příměsi tufitického materiálu (Kumpera, 1983). Brumovické vrstvy lze sledovat v pásmu od Osoblažského výběžku až do její jižní části Nízkého Jeseníku. Vrstvy jsou mocné až 800 m a jsou tvořeny převážně hrubým flyšem s vložkami drobových slepenců. Pouze v nejsvrchnější části se hojně vyskytují laminované břidlice (Kumpera, 1983). Vikštejnské vrstvy jsou nejmladším litostratigrafickým členem moravického souvrství. Jsou známy ve střední a jižní části Nízkého Jeseníku, ve které v nejvyšší části vymezujeme heltínovskou břidličnou polohu. Vrstvy jsou tvořeny hrubým flyšem s polohami laminovaných břidlic. Litologicky tvoří přechod moravického a hradecko-kyjovického souvrství (Kumpera, 1983).

Paleoproudový režim je podobný jako u souvrství hornobenešovského. Převládal transport ve směru osy moravskoslezské kulmské pánve, avšak v tělesech hrubého flyše se často vyskytují směry šikmé či kolmé na osu pánve (Kumpera, 1983).

Hradecko-kyjovické souvrství

Hradecko-kyjovické souvrství je nejmladší litostratigrafickou jednotkou nízkohesenického kulmu s maximální mocností až 1500 m (Mísař, 1983). Souvrství je litostratigraficky rozděleno na dva základní litotypy – starší hradecké vrstvy a mladší kyjovické vrstvy, které se částečně laterálně zastupují (Mísař, 1983).

Sedimenty obsahují mořskou faunu, a to zejména goniatity a mlže, kteří dovolují datovat časový rozsah souvrství od svrchního visé do spodního namuru (Mísař, 1983). Ve spodní části souvrství převažují lavicovitě uspořádané droby s vložkami slepenců, směrem do nadloží přibývají laminované břidlice, střídající se s tenkými jemnozrnnými droby. Jílovité břidlice jsou dobře odkryty v údolí řeky Odry a ve kře Maleníku mezi Lipníkem nad Bečvou a Hranicemi. Postupně jílovité břidlice přecházejí do svrchního karbonu ostravského souvrství (Demek, 1992).

Hradecké vrstvy jsou tvořeny převážně drobově flyšovým sledem a vystupují ve kře Maleníku. Směrem k V a JV se hradecké vrstvy ponořují pod vrstvy kyjovické. Kyjovické vrstvy jsou ve spodní části tvořeny břidlicemi a drobně rytmickým flyšem. Z podložních hradeckých vrstev pozvolna přibývají pelitické polohy, do nadloží vrstvy přecházejí konkordantně do uhlonosné hornoslezské pánve. Ve svrchní části souvrství jsou hojné polohy uhelných prachovců. Celková mocnost souvrství činí až 800 m (Kumpera, 1983).

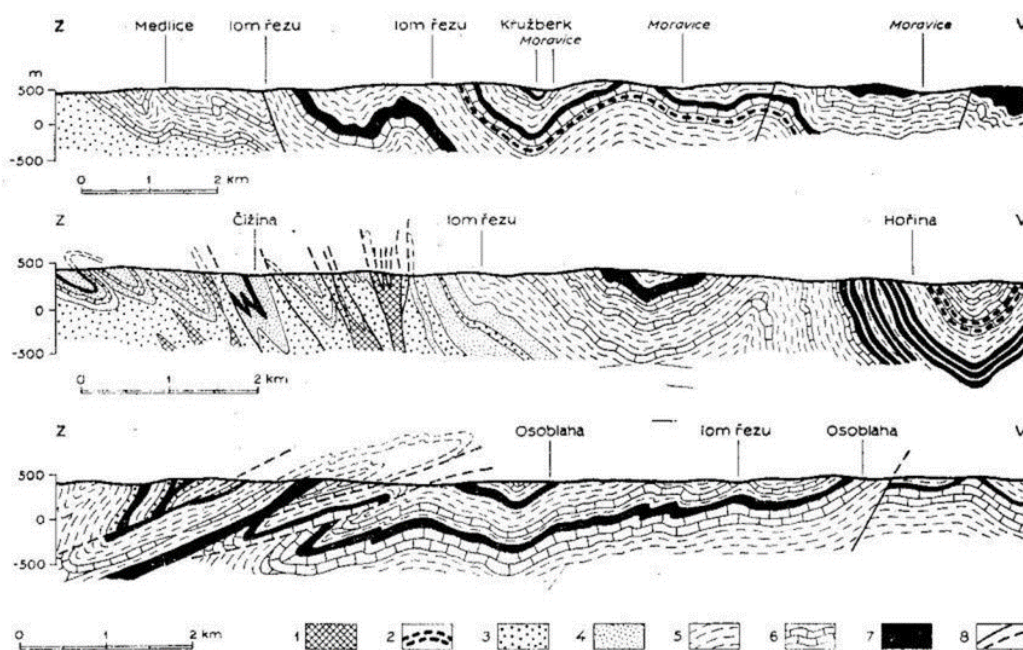
3.3 Tektono-metamorfní charakteristika nízkohesenického kulmu

Celá flyšová sedimentace v nízkohesenické oblasti byla doprovázená i ovlivňována tektonickými a metamorfními procesy v oblasti snosu (Kumpera, 1983). Hlubinnými zlomy je prekambričské podloží Nízkého Jeseníku rozděleno na dílčí bloky. Chování jednotlivých bloků během variské orogeneze pak podmiňovalo charakter sedimentace, intenzitu deformace i vergence vrás. Zatímco západní část (západojesenický blok) byla během variské orogeneze silně ztenčena, zúžená a více deformována, východní část (východojesenický blok) měla výrazně stabilnější podloží, které můžeme považovat za pokračování brunovistulika (Kumpera, 1983).

V severní části nízkohesenického kulmu Kumpera (1975) vymezil kru pod názvem Holasicie, která tvoří podloží pro paleozoickou sérii mezi Zlatými Horami a Osoblažským výběžkem. Blok Holasicie je ze západu omezen opavickou hlubinnou zónou, která je vrásově

velmi deformována. Tato severní oblast nízkojesenického bloku byla mobilnější než zbylé části, což se projevuje zvýšenou intenzitou vrásové deformace i vulkanické činnosti (Kumpera, 1983).

Vrásový systém jihovýchodní části nízkojesenického bloku je přizpůsoben směru vrás Vnějších Západních Karpat, které probíhají subparalelně se směry vrás devonu a karbonu. Rozdíl mezi variským směrem a karpatským směrem vrás je jedním z nejvýznamnějších strukturních jevů moravskoslezského paleozoika (Kumpera, 1983).



Obr. 2: Geologické řezy kulmem Nízkého Jeseníku a jeho podložím dle Kumpery (1966).

- 1 – devon a spodní karbon, 2 – polohy slepenců, 3 – velmi hrubý flyš hornobenešovského s.,
 4 – hrubě rytmičtý flyš hornobenešovského s., 5 – drobně rytmičtý flyš moravického s.,
 6 – velmi hrubý flyš moravického s., 7 – hrubě rytmičtý flyš moravického s., 8 – zlomy.

Paleozoikum nízkojesenického kulmu vytváří složitou vrásovou soustavu, která má v řezu V–Z tvar asymetrického vějíře, v jehož středu se nachází horniny šternbersko-hornobenešovské zóny (viz obr. 2). Vrásky západně od šternbersko-hornobenešovské zóny mají západní vergenci, zatímco vrásky východně od této zóny jsou východovergentní (Kumpera, 1983). Během spodního a středního visé došlo k vyvrásnění vulkano-sedimentárního komplexu šternbersko-hornobenešovské zóny a sedimentů hornobenešovského souvrství. Vzniklé antiklinorium má ve

svém jádru horniny spodního visé, které jsou anchizonálně až epizonálně metamorfovány. Západně od šternbersko-hornobenešovské zóny se již od spodního visé vytvářelo synklinorium rychle vyplňované hrubozrnným klastickým materiálem. Zvýšený tepelný tok byl doprovázen metamorfózou, zvrásněním a foliací hornin. Hydrotermální alterace devonských vulkanitů je spojená s žilným zrudněním neželezných kovů. Během ukládání moravického souvrství leželo z. pobřeží moře v dnešní šternbersko-hornobenešovské zóně (Dvořák, 1994), která sloužila jako zdroj klastického materiálu, což dokládají klasty vápnatých pískovců stáří středního až svrchního visé a úlomky anchizonálně a epizonálně metamorfovaných sedimentů (Dvořák, 1994).

V průběhu flyšové sedimentace docházelo pod vlivem nasouvání variských příkrovů k přesouvání zóny maximální subsidence k východu. Nejvýchodnější maximální subsidenci doložil Dvořák (1990) vrtem Jablunka 1. Prokazuje, že pod zvrásněnou částí ostravského souvrství má hradecko-kyjovické souvrství velkou mocnost (Dvořák, 1994).

Zlomy

V nízkojesenickém kulmu se vyskytují zlomy několika systémů: hlubinné zlomy, zlomy sudetského směru, podélné zlomy, zlomy jiných směrů a západojesenický rupturní vějíř (Kumpera, 1981). Nejvýznamnější hlubinnou zlomovou zónou Nízkého Jeseníku je hlubinný zlom šternbersko-hornobenešovského pásma, který probíhá ve směru SSV–JJZ. Horniny nízkojesenického kulmu v podloží hornoslezské pánve jsou porušeny orlovským hlubinným zlomem. Západní částí nízkojesenického kulmu probíhá, ve směru Z–V, moravskoslezský hlubinný zlom. Dalšími hlubinnými zlomy jsou osoblažský okrajový zlom v sv. části Osoblažského výběžku a opavická hlubinná zóna, která probíhá ve směru SZ–JV mezi obcemi Janov, Město Albrechtice, Krnov a Opava. Opavická hlubinná zóna je známá tektonickými a vulkanickými jevy, které se podél ní vyskytují (Kumpera, 1983). Mezi Jeseníkem a Opavou byla zjištěna hlubinná zóna, která je pokládána za pokračování okrajového sudetského zlomu (Kumpera, 1983).

Zlomy sudetského směru (byly většinou založeny už v předdevonském období (Kumpera, 1983). Do oblasti nízkojesenického kulmu zasahují bělský, klepáčovský a temenický zlom na J a s ním paralelní dislokace, která odděluje u Šternberka paleozoikum Nízkého Jeseníku od neogénu Hornomoravského úvalu. Sudetské zlomy vytvářejí systém ve střední a z. části Nízkého Jeseníku. Hustá síť vedlejších zlomů leží ve směru S–J a Z–V. Bělský zlom leží mezi Bruntálem a Leskovcem a je považován za zónu výstupu magmat neovulkanické provincie

v okolí Bruntálu. Klepáčovský zlom pokračuje na JV od Budišova nad Budišovkou. Temenický zlom omezuje nízkojesenický kulm od chabičovské oblasti paleozoika. Významnou poruchovou zónou ve střední části Nízkého Jeseníku je hornoživotické poruchové pásmo (Urbánek a kol., 1972).

Mezi podélné zlomy (SZ–JV) patří zlom Uhlířského vrchu, který se nachází na Bruntálsku v oblasti neoidního vulkanismu. Foldyna a Vašíček (1969) vymapovali hrabyňský a děhylovský zlom, které jsou omezeny mladšími dislokacemi.

K nejvýznamnějším zlomům rovnoběžného směru (Z–V) patří jesenický okrajový zlom, který omezuje neogén a kvartér opavské nížiny od vyzdvižené kry Nízkého Jeseníku. V severní části Nízkého Jeseníku můžeme sledovat zlom purkatický, biskupský zlomový systém a pitárenský zlomový systém.

Ke zlomům směru SV–JZ patří zlom brantický nacházející se v severní části nízkojesenického kulmu. V jižní části kulmu je paleozoikum omezeno s. okrajovým zlomem prolomu Moravské brány.

4. Charakteristika pokrývačských břidlic

Břidlice jsou jedny z nejrozšířenějších hornin na zemském povrchu. Vyskytují se téměř ve všech stratigrafických vrstvách od proterozoika až po terciér. Technologicky využitelné jsou pouze břidlice určitých vlastností, a tak i přes jejich rozšíření na zemském povrchu, je výskyt ložisek štípatelných břidlic vzácný (Strohalm, 2012). Střešní břidlice mají schopnost štípat se na lehké a tenké dlaždice (Fettes a kol., 2007). Podle Lorena (2007) řadíme břidlice do sedimentárních hornin, protože vznikly akumulací prachového a jílového materiálu v proterozoických až terciérních hlubokomořských pánvích a působením nadložního tlaku došlo k jejich zpevnění (www2). Avšak pokrývačské břidlice prošly také anchimetamorfózou, která probíhá za nízkých teplot okolo 200 °C (Petránek, 2011).

Mineralogické složení pokrývačských břidlic je poměrně uniformní. Hlavními minerály jsou křemen, slída, jílové minerály a chlorit. Křemen obsažený v břidlici může tvořit reliktní zrna, transportovaná do sedimentární pánve. Slída a jílové minerály (především illit) tvoří základní hmotu břidlice, zatímco chlority jsou sekundárními minerály vznikající během post-depozičních procesů. V menším množství břidlice obsahují krystaly živců, zejména albitu, dále karbonáty, chloritoidy, pyrit, rutil, turmalín, zirkon a biotit (Walsh, 2007). Vyšší obsah těchto komponent činí břidlici náchylnější ke zvětrávání, což je nevýhodné pro jejich využití.

Textura pokrývačské břidlice je plošně paralelní (Strohalm, 2012) a struktura je lepidoblastická (Walsh, 2007). Jílovité břidlice jsou charakteristické střídáním světlejších a tmavších vrstev, které mohou odrážet cyklické změny klimatu, změny rychlosti sedimentace, změny transportu ukládaného materiálu atd.

Barva břidlice je nejvíce ovlivněna obsahem organické hmoty. Čím více organické hmoty břidlice obsahuje, tím je její barva tmavší. Důležité je také množství a charakter karbonátových minerálů a oxidů železa. Břidlice bohaté na karbonáty jsou zpravidla světlejší barvy. Jestliže v hornině převládá Fe^{2+} , bude barva břidlice šedá až černá. Vyšší obsah Fe^{3+} mění barvu na zelenou, fialovou a červenou (Strohalm, 2012).

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. Dalším negativním procesem je gypsifikace (angl. *gypsification*). Při tomto procesu se vytvářejí krystalky sádrovce v důsledku alterace karbonátů. Tato skutečnost může vést ke změkčení a snížení kvality břidlice (Walsh, 2007).

Ve většině evropských zemí jsou pokrývačské břidlice štípány do jednoduchého obdélníkového tvaru různé velikosti. Nejvíce se břidlicový materiál používá pro zastřešení a zdivo (Menéndez-Seigas, 2007).

5. Dobývání břidlice

5. 1. Historie dobývání břidlice

Těžba pokrývačských břidlic na území dnešní České republiky má dlouhou tradici (www1). Břidlice byla využívána již v pozdním středověku jako stavební kámen a kámen pro dlažby (www2). Nejznámější oblastí těžby břidlice v ČR je nízkojesenický kůlm. Další ložiska se nacházela v okolí řeky Střely u Rabštejna, v Železném Brodě v Jizerských horách a na východě Krkonoš (www1).

První písemná zmínka o povrchové těžbě pokrývačské břidlice z oblasti nízkojesenického kůlmu pochází z roku 1776 ze Svobodných Heřmanic (Lehotský a Zapletal, 2008). V počátcích těžba probíhala v povrchových lomech. Těžba pokrývačských břidlic nepatřila pod hornictví, a tudíž nespádala pod báňskou legislativu. Těžba se tedy nevázala na propůjčky od báňské správy, ale na vazbu vyhledávací a na pozemky.

Rozvoj průmyslové těžby lze datovat od 1. poloviny 19. století díky vyhlášce z roku 1837 nařizující využívat přírodní břidlice k pokrývačským účelům, zejména kvůli protipožárnímu opatření (Jirásek a kol., 2019). V té době jsou známé první pokusy o hlubinnou těžbu, která později převládla. Významné hlubinné doly se nacházely například u Budišova nad Budišovkou, Starých Oldřůvek, Svatoňovic, Klokočova nebo Zálužné. Za prvního průmyslového výrobce břidličné suroviny je považován Carl Baron von Callot, který v roce 1850 začal využívat stroje poháněné vodním kolem a ve výrobním procesu zavedl specializované profese lámače, vozáče a štípače. Lámači byli schopni odřezat téměř rovné bloky, vozáči bloky břidlice postupně vyváželi na povrch, kde nastoupili štípači, kteří dále břidlici opracovávali a štípali na menší desky (www1).

Rozmachu těžby břidlice na Moravě a ve Slezsku napomohla také výstavba železničních tratí, především Severní dráhy Ferdinandovy. Díky tomu také bylo v 60. letech 19. století mezi Opavou a Olomoucí na 100 činných břidlicových lomů (Jirásek a kol., 2019). V souvislosti s tím se do nízkoojesenického regionu stěhují němečtí občané, kteří s sebou přinášejí zkušenosti s dobýváním břidlice. Břidlice byla důležitým artiklem, který byl vyvážen nejen do celého Rakouska-Uherska, ale například i do USA.

Úpadek těžby nastává na začátku 20. století v důsledku ekonomické krize, nedostatku uhlí, nedostatku levné pracovní síly a v souvislosti s I. světovou válkou (Jirásek a kol., 2019). V 30. letech nastává krátká doba obnovy těžby břidlice. Tato éra však definitivně končí s odsunem sudetských Němců po II. světové válce, mezi nimiž se nacházela spousta znalců na dobývání břidličné suroviny (www1). Vliv na těžební úpadek měl ve 20. století také vynález kruhové pece a rozvíjející se keramický průmysl, produkující velké množství střešních tašek, které spolu s cemento-osinkovými taškami (eternit) břidlici nahradily (Jirásek a kol., 2019).

Hlubinná těžba břidlice definitivně skončila, když došlo k ukončení provozu ve Lhotce u Nových Těchanovic. Do roku 2010 zde probíhalo schválené dotěžení zbytků břidlice, ale již se nevyráběla krytina. Během uzavírání lomu Lhotka došlo k mírnému obnovení zájmu o pokrývačské břidlice pro zahradní architekturu, dlažby a obklady, avšak tato nová poptávka pro obnovu těžby nestačila. V současnosti se nadále těží povrchově, např. od roku 2001 u Domašova nad Bystřicí nedaleko Jílové. Od roku 2009 byla těžba znovu zahájena na historickém ložisku Svatoňovice-Staré Oldřůvky (Důl Radim). V roce 2013 byl znovuotevřen lom v Čermné ve Slezsku (Žlutý květ), kde se vyráběly přírodní dlažby do roku 2016. V rámci revitalizací těžební činnosti se v dnešní době břidlice využívá z hald ložisek u Svobodných Heřmanic, Velké Střelné a na dalších místech (Jirásek a kol., 2019).

5. 2. Způsoby dobývání břidlice

K břidličné surovině se dělníci z počátku dostávali povrchově za použití krompáčů, palic, kladiv či špičáku, což je nejstarší kamenický nástroj na světě. Vytěžená surovina z povrchových otvůrek však trpěla zvětráváním a porušením její struktury. Díky tomu těžba povrchová přechází na těžbu hlubinnou. Nejstarší hlubinné lomy vznikaly v patě přetěžených lomů štolou nebo úpadnicí (vlečné šachtě). Dalším způsobem, jak se dostat k břidlicovému ložisku sloužil vstup pomocí šikmé jámy, vyhloubené pomocí ručních vrtáků, krompáčů a dalšími nástroji. Z počátku se vytěžená břidlice dovážela na povrch vozíky ručně či pomocí koňského potahu. Použití parního stroje podpořilo rozvoj dalších důlních děl (www2).

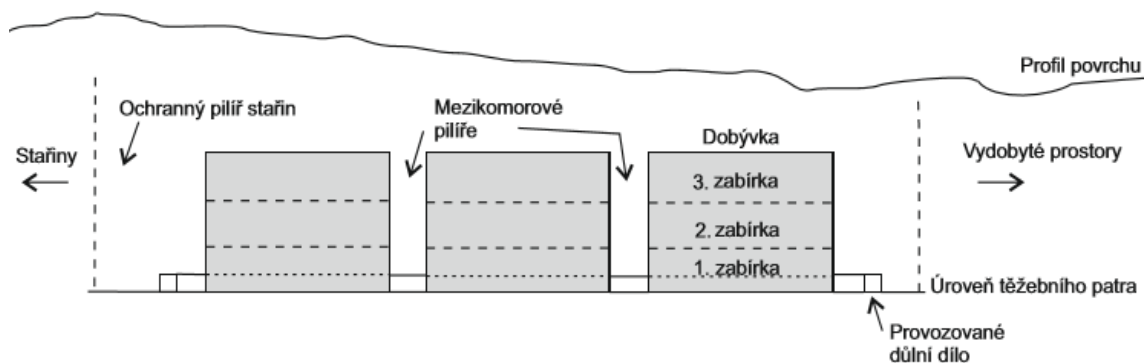
Hlubinná těžba na našem území probíhala několika metodami:

Rýnská dobývací metoda

Jednou z metod dobývání břidličné suroviny bylo výstupkování (viz obr. 3), nazývaná také jako rýnská dobývací metoda (něm. *Rheinischer Abbauverfahren*) (Jirásek a kol., 2019). Základní otvírkou na patře pro danou metodu jsou příčné překopy, které se dále navzájem propojují směrnými překopy. Směrné překopy se razí podél pásma určeného k těžbě v ložisku nebo mimo ně. Během těžby je nutno do mapy pečlivě zaznamenávat všechny tektonické poruchy, jako jsou směr, úklon a mocnost vrstev.

Při těžbě štěpných břidlic jsou od roku 1970 dodržovány přesné parametry pro velikosti dobývacích komor. Směrná délka komory by neměla přesáhnout 25 m, její šířka 12 m a výška 18 m. Mezikomorové pilíře budou mít šířku minimálně 5 m a mezi směrným překopem a okrajem komorové dobývky zůstane zachován pilíř o rozměrech 5–10 m. Ze směrného překopu se vyrazí dva na sebe rovnoběžné slepé překopy, jejichž délka nepřesáhne 25 m. V pásmu se poté určí nevhodné listy ke zpracování a do nich se vyrazí pásmová chodba o rozměrech 2,2 x 2,2 m, která tak propojí oba překopy. Po vyražení překopů a pásmové chodby, jsou zajištěny dva východy a větrání přechodním větrným proudem.

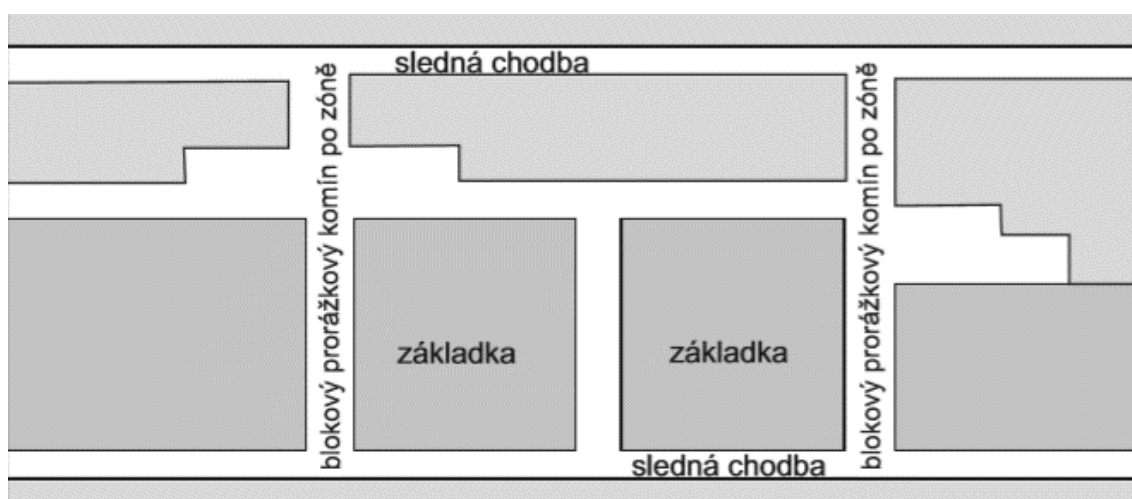
Veškerý materiál z ražeb je nutno před zahájením těžby vyvézt na povrch. Jednotlivé desky břidlic se od okolního masivu odděluje pomocí trhacích prací. Po provedení trhacích prací je poté využitelný materiál rozklínován na desky o mocnosti 5 až 10 cm a následně vyvezen na povrch k dalšímu zpracování (Grygárek, 2010).



Obr. 3: Schéma těžby rýnskou dobývací metodou; (www3, upraveno).

Metoda sestupného lávkování

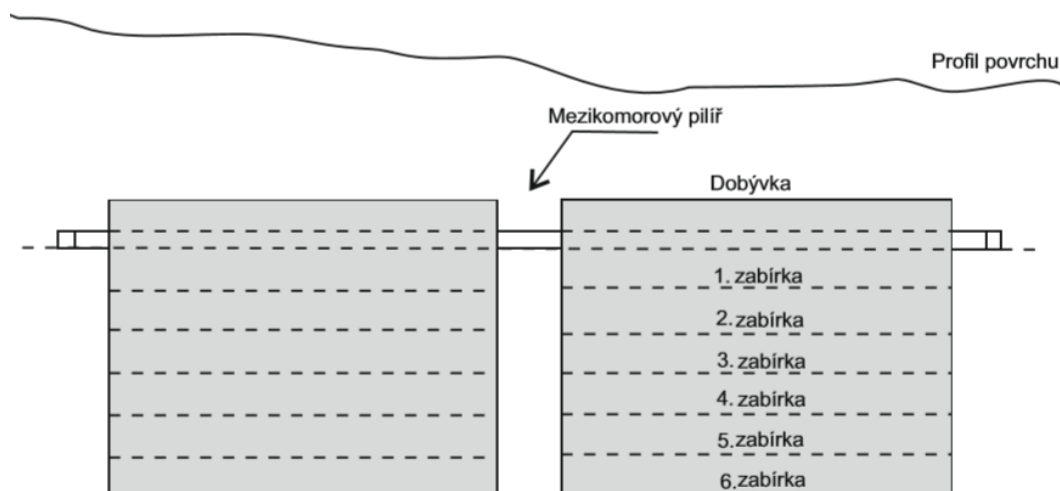
Metoda sestupného lávkování neboli metoda podpatrového dobývání má hloubkově omezené využití (viz obr. 4). Sestupné lávkování spočívá ve vyražení dvou tunelů, které jsou od sebe vzdáleny alespoň 20 m. Tato metoda se využívá v podmínkách, kdy se nepředpokládá otevření dalšího nižšího těžebního patra. V dobývacím prostoru Lhotka u Vítkova je tato metoda využita v mocnosti jedné lávky maximálně 6 metrů (www2).



Obr. 4: Schéma těžby metodou sestupného lávkování; upraveno dle Kříže (2010) in Oyunbaatar (2013).

Metoda velkých komor

Těžba probíhala metodou na tzv. tři záběry, při kterých jsou vyraženy komory o rozměrech 25 x 10 m a výšky dosahovaly až 24 m. Při metodě na jeden záběr komory dosahovaly rozměrů 25 x 50 m a výšky 6-8 m. V jednotlivých chodbách byla instalována potrubí na odvod vody a přísun vzduchu, který byl důležitý pro pohánění vrtacích a sbíjecích kladiv či přestavníků výhybek. Metodou velkých komor se těžilo například v lomu Lhotka u Vítkova (www4).



Obr. 5: Schéma těžby podpatrového dobývání metodou tzv. velkých komor; (www3, upraveno).

6. Metodika

6. 1. Terénní metodika

Terénní etapa proběhla na vytipovaných lokalitách v místech bývalé těžby pokrývačských břidlic v nízkohesenickém kulmu. Lokality byly vybrány dle jejich dostupnosti a zajímavé historie. Cílem bylo shromáždit vzorky z různých litostratigrafických jednotek nízkohesenického kulmu tak, aby bylo možné porovnat jejich sedimentárně-petrologické a petrofyzikální vlastnosti. Dohromady bylo odebráno 7 vzorků ze sedmi lokalit andělskohorského, hornobenešovského, moravického a hradecko-kyjovického souvrství (Obr. 1). Nezávětralé reprezentativní vzorky byly odebrány z hald (OUR3, SH4, JAK7) nebo přímo z výchozů (BŘID6, D2, WON5, BM1). Navštívené lomy byly rovněž fotograficky dokumentovány (viz přílohy 1a–g).

6. 2. Laboratorní metodika

6. 2. 1. Hmotnostní specifická magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita popisuje schopnost minerálu magnetizovat se ve vnějším magnetickém poli. Magnetická susceptibilita je bezrozměrná veličina a využívá se pro určení minerálních nosičů magnetického signálu horniny (Bábek, 2013).

Magnetická susceptibilita byla měřena pomocí kapamůstku KLY 4 firmy AGICO s.r.o., ČR. Vzorky byly nadrceny na menší kusy, tak aby se bez problémů vlezly do plastového držáku, ve kterém jsou vkládány do přístroje. Následně byly vzorky váženy na digitálních vahách.

Výsledné hodnoty magnetické susceptibility (K) bylo nutné následně přepočítat na hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitu [m^3kg^{-1}] dle vzorce (1; Šimíček, 2018):

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

6. 2. 2. Spektrální odraznost

Barva hornin je důležitý parametr, který může indikovat přítomnost některých minerálů (např. hematit, karbonáty, atd.) či organické hmoty v hornině. Barva minerálů je způsobena absorpcí viditelného světla pomocí elektronů neboli chromoforů (Bábek, 2013).

Barva materiálu se dá měřit různými způsoby. V rámci této práce byla použita metoda spektrální odraznosti. Vlastní měření probíhalo na práškových preparátech, zhotovených ze vzorků odebraných hornin (Bábek, 2013). Práškový materiál byl získán mletím na mechanickém mlýnku a následně vsypán do uzavíratelných sáčků a řádně označen. Princip spektrální odraznosti spočívá v ozáření povrchu vzorku bílým světlem, přičemž do měřícího zařízení, spektrofotometru, přichází odražené světlo.

V rámci této práce byla spektrální odraznost měřena pomocí ručního spektrálního fotometru s kulovou geometrií SP 62 (X-Rite, USA) pro kolorimetrická měření (spektrální odraznost v rozsahu 400 až 700 nm). Součástí příslušenství je osobní počítač s kolorimetrickým softwarem QA-Master1. Před použitím spektrálního fotometru byla provedena kalibrace na černo-bílém standardu. Spektrofotometr automaticky číselně kvalifikuje barevné parametry CIE L^* , a^* , b^* (Sedláček a kol., 2017).

Barevný model CIE se skládá ze tří složek: L^* , a^* , b^* . Hodnoty světlosti L^* se pohybují v rozmezí od 0 (černá barva) až 100 (bílá barva). Barevná složka a^* definuje barevnou osu

od zeleno-modré (záporná hodnota) po červeno-purpurovou barvu (kladná hodnota). Barevná složka b^* definuje barevnou osu od modro-purpurové (záporná hodnota) po zeleno-žlutočervenou barvu (kladná hodnota) (Dalajková a kol., 2016).

6. 2. 3. Laboratorní gamaspektrometrie

Gamaspektrometrie, kterou měříme přirozenou radioaktivitu hornin, patří mezi nejpoužívanější petrofyzikální metody. Přirozená radioaktivita horniny souvisí především s aktivitou radioaktivních izotopů K, U a Th (Zimák, 2017).

Pro laboratorní měření spekter záření gama jsem využila stíněný laboratorní gamaspektrometr GS-320 se scintilačním detektorem 3 x 3“ NaI (TI) (výrobce Exploranium Inc., Kanada). Vzorky byly před měřením rozemlety na mechanickém mlýnku na jemný prášek a následně vsypány do plastové zkumavky. Každý vzorek byl rovněž zvážen na digitální váze. Hmotnost vzorku se vždy pohybovala okolo 20 g. Takto připravený vzorek byl umístěn do gamaspektrometru, ve kterém měření probíhalo po dobu 30 minut. Výslednými hodnotami byly koncentrace K (%), U (ppm) a Th (ppm). V této práci se rovněž pracuje s poměry K/Th a U/Th.

6. 2. 4. Prášková rentgenová difrakční analýza

Metody rentgenové difrakční analýzy se používají ke stanovení mineralogického složení všech látek, které mají krystalický charakter. Materiál, analyzovaný XRD metodou, je nutné před měřením rozemlít na velmi jemný prášek. Vzorek se do práškovitého stavu převádí proto, že i malý objem látky sestává z velkého množství mikroskopických zrn (krystalitů) (Lach a kol., 1991).

Prášková rentgenová difrakční analýza (PXRD), včetně jejího kvalitativního vyhodnocení, byla provedena na Ústavu geologických věd Masarykovy univerzity v Brně odborným pracovníkem dr. Daliborem Všianským. Z každého souvrství nízkojesenického kulmu byl vybrán jeden reprezentativní vzorek, který byl následně analyzován na aparatuře Panalytical X'Pert PRO MPD s Co anodou ($\lambda_{K\alpha 1} = 0,178901$ nm). Práškové preparáty byly saturovány parami ethylenglykolu. Pro kvantifikaci slídových minerálů, které je obtížné v polyfázových

vzorcích pomocí této metody spolehlivě odlišit, byl použit strukturní vzor muskovitu 2M1. Doba měření byla nastavena na 130 s.

Kvantifikovány byly pouze krystalické části pomocí Rietveldovy metody v programu Bruker AXS Topas 4. Získaná data byla kvalitativně zpracována v softwaru Panalytical HighScore 3 plus.

6. 2. 5. Rentgenová fluorescenční spektrometrie

Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF) je analytická metoda, která se používá ke stanovení prvkových koncentrací v hornině. Spektrometrické metody můžeme rozdělit do dvou skupin: energiově disperzní (EDXRF) a vlnově disperzní (WDXRF) (Brower, 2003). Vlnově disperzní záření (WDXRF) se rozkládá na mřížce krystalu. Energiově disperzní záření (EDXRF) dopadá na detektor jako celek. Detektor následně registruje dopadlé fotony (Ersepke, 1994).

Rentgenová fluorescenční spektrometrie byla provedena ručním EDXRF fluorescenčním spektrometrem DELTA (Innov-X, Inc., USA). Před vlastním měřením byly vzorky pomocí mechanického mlýnku převedeny do práškového stavu. Do přístroje se vzorky vkládají v plastové kyvetě překryté z jedné strany mylarovou folií. Přístroj dokáže stanovit ve vzorku řadu hlavních i stopových prvků od Mg po U. V této práci bylo pracováno s koncentracemi Al, Si, K, Ti, Fe, Zn, Rb, Zr a Pb. Délka měření každého vzorku v modu GEOCHEM byla 4 minuty.

6. 2. 6. Index nahromadění slíd (MSI)

Index nahromadění slíd MSI (z *angl.* Mica Stacking Index) je parametr sloužící ke stanovení mechanických vlastností břidlic, především testu pevnosti v ohybu. MSI poskytuje odhad obsahu slíd v objemových procentech (Wagner a kol., 1997). Vychází ze vztahu mezi břidličnou stavbou a mechanickými vlastnostmi vzorku. Jemnozrnné břidlice s homogenní stavbou mají v testu pevnosti v ohybu vyšší hodnoty (Cárdenes a kol., 2014).

Index MSI [mm^2] se vypočítá podle vztahu (2; Cárdenes a kol., 2010):

$$\text{MSI} = \text{počet vrstev slíd na } 1 \text{ mm} \times \text{průměrná tloušťka vrstev slíd v mm} \times 10 \quad (2)$$

Pro stanovení indexu MSI bylo zapotřebí zhotovit výbrusové preparáty ze vzorků odebraných na lokalitách nízkohesenického kulmu. Celkem bylo zhotoveno 7 výbrusových preparátů. Výbrusy byly následně studovány v optickém polarizačním mikroskopu Olympus BX-50 p. Pomocí digitální videokamery PixeLINK PL A 642 byly pořízeny fotografie při 4x a 10x zvětšení, jak v lineárně polarizovaném světle (PPL), tak se zkříženými polarizátory (XPL). Za vrstvu slíd byla považována poloha minerálů, které se ve výbrusu jeví jako tmavé oproti světlejším zrnům křemene či živců. Pro přesné stanovení počtu slídových vrstev v 1 mm a určení jejich tloušťky byla provedena obrazová analýza fotografií výbrusů v programu JMicroVision v 1.3.3.

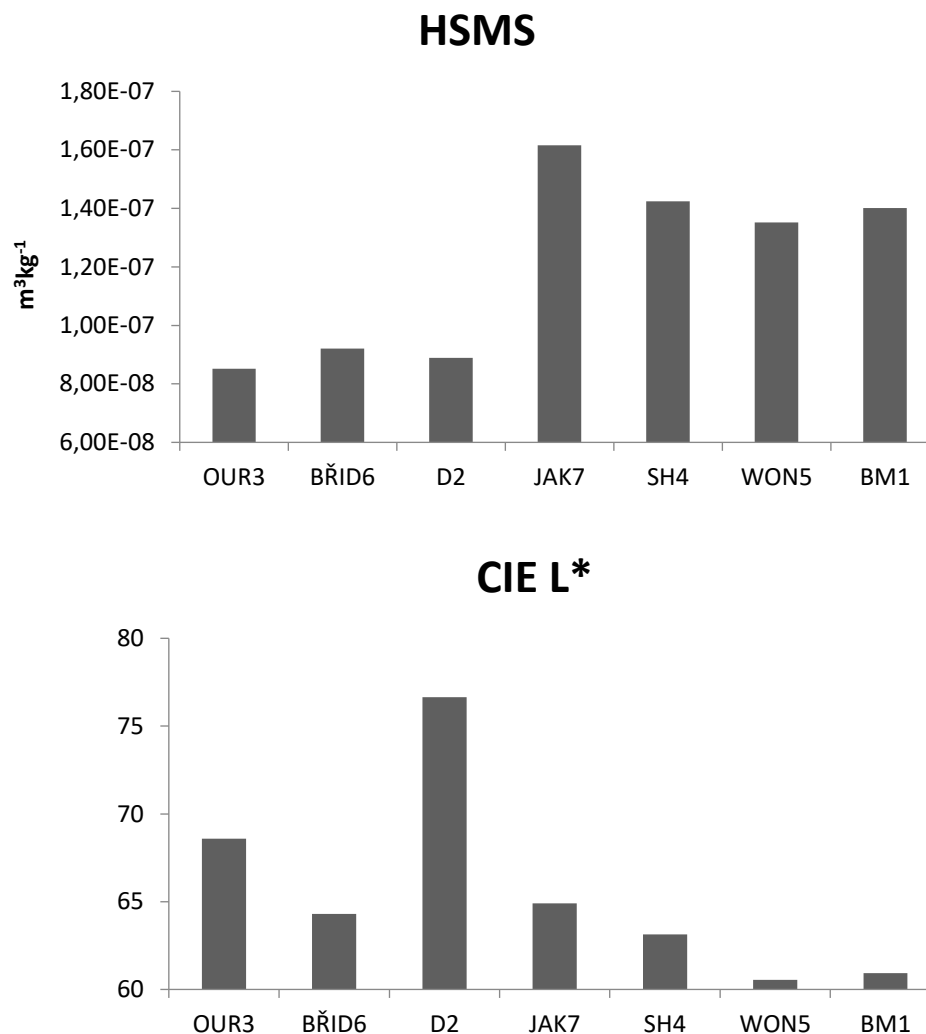
Výsledné hodnoty MSI byly dosazeny do rovnice (3) podle Cárdenese a kol. (2010), která vychází z empiricky potvrzeného vztahu mezi indexem MSI a pevností v tahu [MPa] na struktuře slíd pokrývačských břidlic.

$$\text{pevnost podélná} = 0,52 \times \text{MSI podélná} [\text{mm}^2] + 39,01 \quad (3)$$

7. Výsledky

7. 1. Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita a spektrální odraznost

Hodnoty HSMS všech vzorků se pohybují v rozmezí $8,5168\text{E}^{-8}$ – $1,6151\text{E}^{-7} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Nejnižší hodnota byla naměřena u vzorku OUR3, reprezentující andělskohorské souvrství. Nejvyšší hodnotu můžeme pozorovat u JAK7, reprezentující moravické souvrství. Průměrná hodnota činí $1,2077\text{E}^{-7} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ (Obr. 6).



Obr.6: Histogramy s výsledky hmotnostně specifické magnetické susceptibility a spektrální odraznosti (andělskohorské souvrství: OUR3 – Ondřejov u Rýmařova, BŘID6 – Břidličná; hornobenešovské souvrství: D2 – Dalov; moravické souvrství: SH4 – Svobodné Heřmanice, JAK7 – Jakartovice; hradecko-kyjovické souvrství: WON5 – Budišovice, BM1 – Kyjovice).

Hodnoty světlosti L^* se pohybují v rozmezí od 60,55–76,64. Nejnižší hodnota byla naměřena u vzorku WON5 (Obr. 6). Nejvyšší hodnotu můžeme pozorovat u vzorku D2. Průměrná hodnota vzorků činí 65,58. Barevná složka a^* se pohybuje v rozmezí od -0,41 po 0,97. Průměrná hodnota barevné složky a^* je 0,10. Barevná složka b^* vykazuje hodnoty od 0,25 po 7,21. Průměrná hodnota této složky je 1,82. Nejnižší hodnoty CIE a^* a b^* byly

naměřeny v andělskohorském souvrství. Nejnižší hodnota a^* je u vzorku OUR3, nejnižší b^* u vzorku BŘID6. Nejvyšší hodnoty CIE a^* a b^* vykazuje souvrství hornobenešovské (D2).

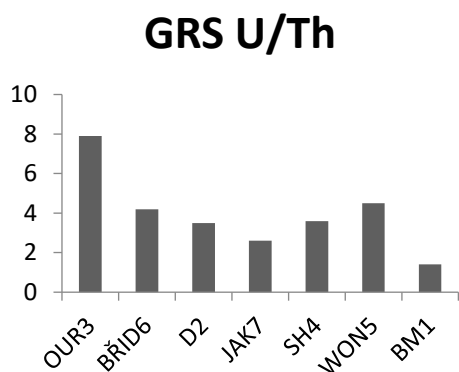
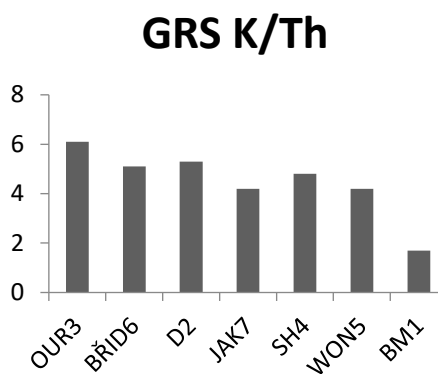
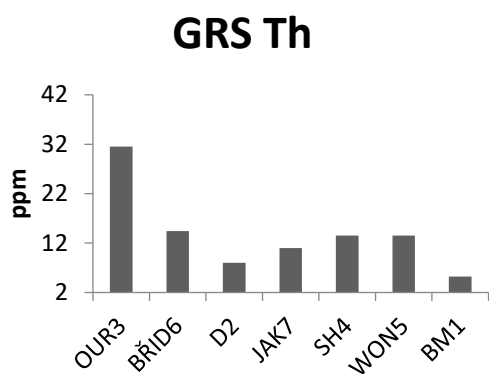
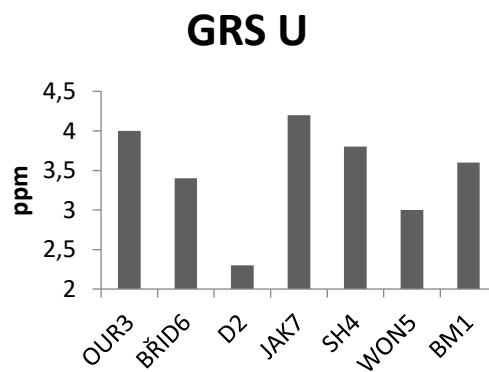
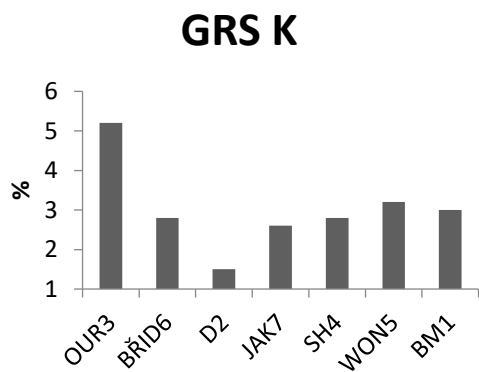
7. 2. Laboratorní gamaspektrometrie

Naměřené hodnoty draslíku se pohybují v rozmezí od 1,5 až 5,2 %. Průměrná hodnota je 3,01 %. Nejvyšší hodnota draslíku byla naměřena v andělskohorském souvrství (vzorek OUR3). Nejnižší koncentrace K (1,5 %) naopak vykazuje vzorek D2, reprezentující hornobenešovské souvrství.

Obsah uranu ve zkoumaných vzorcích se pohybuje od 2,3 ppm do 4,2 ppm. Průměrná hodnota je 3,5 ppm. Nejnižší hodnota byla naměřena u vzorku D2 (2,3 ppm), nejvyšší potom u vzorku JAK7 (4,2 ppm). Ve většině vzorků se koncentrace U pohybují v relativně úzkém rozmezí 1 ppm (3–4 ppm)

Naměřené hodnoty thoria ve vzorcích se pohybovaly v poměrně širokém rozmezí 5,2 ppm– 31,5 ppm. Průměrná koncentrace Th je 13,9 ppm. Největší obsah Th byl zjištěn ve vzorku OUR3 31,5 ppm. Nejnižší hodnota (5,2 ppm) byla naměřena u vzorku BM1, reprezentující hradecko-kyjovické souvrství.

Hodnoty poměru K/Th se pohybovaly v rozmezí 1,7–6,1 a u poměru U/Th v rozmezí 1,4 – 7,9. Nejnižší hodnoty poměrů K/Th a U/Th se vyskytovaly u vzorku BM1 z hradecko-kyjovického souvrství. Nejvyšší hodnoty poměrů K/Th a U/Th byly u vzorku OUR3, reprezentujícího andělskohorské souvrství.



Obr.7: Histogramy s výsledky laboratorní gamaspektrometrií

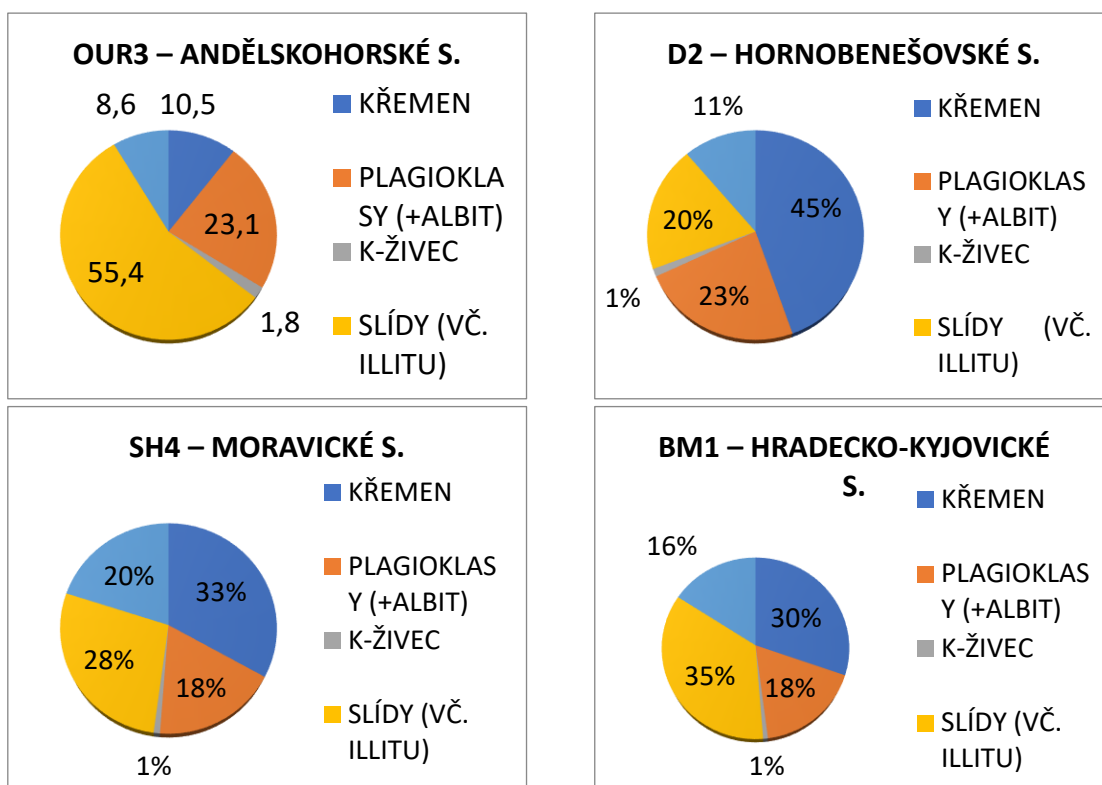
(andělskohorské souvrství: OUR3 – Ondřejov u Rýmařova, BŘID6 – Břidličná;
hornobenešovské souvrství: D2 – Dalov; moravické souvrství: SH4 – Svobodné Heřmanice,
JAK7 – Jakartovice; hradecko-kyjovické souvrství: WON5 – Budišovice, BM1 – Kyjovice.

7. 3. XRD difrakční metoda

Hlavní komponenty u většiny vzorků jsou křemen a slídy (vč. illitu). Dále jsou hojně zastoupeny chlorit a plagioklasy. Naopak obsahy K-živců jsou maximálně do 2 % (Obr. 8). Nejhojnější složkou jsou slídy, případně jílové minerály se strukturou podobnou muskovitu (nejspíše illit). Jejich obsahy se pohybují v rozmezí od 19,4 % do 55,4 % a s průměrem 34,3 %. Nejnížší obsah byl zjištěn u vzorku D2, nejvyšší pak u vzorku OUR3. SH4 reprezentující moravické souvrství a BM1 reprezentující hradecko-kyjovické souvrství vykazují podobný obsah slíd (vč. illitu).

Obsahy křemene se pohybují od 10,5 % do 44,4 %. Průměrná hodnota je 29,4 %. Výrazně nízký obsah křemene vykazuje vzorek OUR3, u kterého byl zjištěn také relativně vysoký obsah živců.

Živce jsou další hojně zastoupenou minerální skupinou. Ve vzorcích výrazně převládají plagioklasy, svým složením odpovídající albitu. Obsah plagioklasů se pohybuje od 17,5 % do 23,3 %, s průměrem 20,5 %. Jednotlivé vzorky nevykazují výrazné rozdíly v obsahu živců. Draselné živce jsou zastoupeny v menší míře. Jejich obsahy se pohybují od 0,8 % do 1,8 %, s průměrem 1,2 %. Významnou minerální skupinou ve zkoumaných vzorcích jsou také minerály ze skupiny chloritu, jejichž obsah se pohybuje v rozmezí od 8,6 % do 19,8 % s průměrnou hodnotou 13,9 %. Vzorky OUR3 reprezentující andělskohorské souvrství společně s D2 reprezentující hornobenešovské souvrství mají podobné procentuální zastoupení chloritu, které je výrazně nižší než v případě vzorků z moravického a hradecko-kyjovického souvrství.



Obr. 8: Kruhové diagramy s výsledky kvantitativní fázové analýzy práškovou rentgenovou difrakční metodou.

7. 4. Rentgenová fluorescenční spektrometrie

Naměřené obsahy Al ve vzorcích se pohybují od 4,27 % do 8,46 %. Průměrná hodnota je 5,70 %. Maximální hodnota byla zjištěna u vzorku OUR3 v andělskohorském souvrství, minimální hodnoty vykazují shodně vzorky D2 z hornobenešovského souvrství a BM1 z hradecko-kyjovického souvrství.

Hodnoty Si/Al se pohybují od 2,02 do 4,81. Průměrná hodnota je 3,33. Poměr Si/Al dosahuje nejvyšších hodnot u vzorků D2 (hornobenešovské s.) a BM1 (hradecko-kyjovické s.). Nejnižší hodnota byla zjištěna u vzorku OUR3 (andělskohorské s.).

Poměr K/Al je v rozmezí 0,35 až 0,57 s průměrnou hodnotou 0,45. Nejvyšších hodnot dosahuje vzorek BM1 (hradecko-kyjovické s.), nejnižší hodnotu vykazuje vzorek D2 (hornobenešovské s.).

Hodnoty poměru Ti/Al se pohybují v rozmezí od 358,16 do 961,13. Průměrná hodnota je 780,92. U vzorku OUR3 (andělskohorské s.) byly naměřeny nejnižší hodnoty. Naopak u vzorku JAK7 (moravické s.) byly hodnoty nejvyšší.

Fe/Al se pohybují v rozmezí 0,37 až 1,37. Průměrná hodnota je 0,90. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u vzorku BM1 (hradecko-kyjovické s.), nejnižší hodnoty pak u vzorku OUR3 (andělskohorské s.).

Průměrná hodnota Zn/Al je 19,20. Nejnižší hodnota 8,92 byla zjištěna u vzorku OUR3 (andělskohorské s.) a nejvyšší hodnotu 28,83 vykazuje vzorek BM1 (hradecko-kyjovické s.)

Poměr Rb/Al je v rozmezí od 20,66 do 38,78. Průměrná hodnota je 28,71. Minimální hodnotu vykazuje vzorek D2 hornobenešovského souvrství. Maximálních hodnot dosahuje vzorek BM1 hradecko-kyjovického souvrství.

Pb/Al se pohybují od 4,22 do 16,27. Průměr je 6,60. Nejvyšších hodnot dosahuje vzorek D2 reprezentující hornobenešovské souvrství. Naopak nejnižší hodnoty obsahuje vzorek OUR3 reprezentující andělskohorské souvrství.

Hodnoty Rb/Zr jsou v rozmezí od 0,47 do 1,23. Průměrná hodnota činí 0,82. Nejvyšší hodnota 1,23 byly naměřena u vzorku BM1 (hradecko-kyjovické s.) a nejnižší u 0,47 u vzorku D2 (hornobenešovské s.).

Tab. 2: Obsahy vybraných prvků (tabulka nahoře) stanovených metodou EDXRF ve vzorcích pokrývačských břidlic. V tabulce dole jsou vybrané prvky normalizovány na Al.

Vzorek	Stratigrafie	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (ppm)	Fe (%)	Zr (ppm)	Rb (ppm)
OUR3	andělskohorské s.	8,5	17,1	4,7	3030,0	3,1	327,5	273,4
BŘID6	andělskohorské s.	5,2	17,5	2,6	4501,0	4,2	190,6	171,5
D2	hornobenešovské s.	4,3	20,5	1,5	3310,0	3,7	189,1	88,2
JAK7	moravické s.	5,8	16,1	2,2	5613,0	5,9	245,2	149,8
SH4	moravické s.	5,7	16,7	2,2	5337,0	5,6	200,6	141,7
WON5	hradecko-kyjovické s.	6,2	16,0	2,4	4872,0	5,4	156,8	157,8
BM1	hradecko-kyjovické s.	4,3	20,5	2,5	3310,0	5,9	134,3	165,6

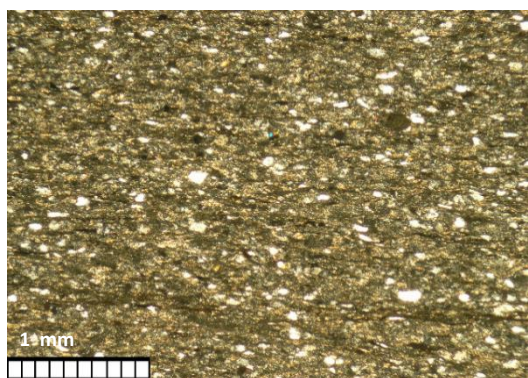
Vzorek	Stratigrafie	Si/Al	K/Al	Ti/Al	Fe/Al	Zn/Al	Rb/Al	Pb/Al	Rb/Zr
OUR3	andělskohorské s.	2,02	0,56	358,16	0,37	8,92	32,32	4,22	0,83
BŘID6	andělskohorské s.	3,40	0,50	872,29	0,82	16,92	33,24	4,85	0,90
D2	hornobenešovské s.	4,81	0,35	775,18	0,86	16,27	20,66	16,27	0,47
JAK7	moravické s.	2,75	0,38	961,13	1,01	23,26	25,65	4,67	0,61
SH4	moravické s.	2,94	0,38	941,27	0,99	20,79	24,99	5,88	0,71
WON5	hradecko-kyjovické s.	2,58	0,38	783,28	0,87	19,41	25,37	5,10	1,01
BM1	hradecko-kyjovické s.	4,81	0,57	775,18	1,37	28,83	38,78	5,20	1,23

7. 5. Index nahromadění slíd (MSI) a pevnost v tahu

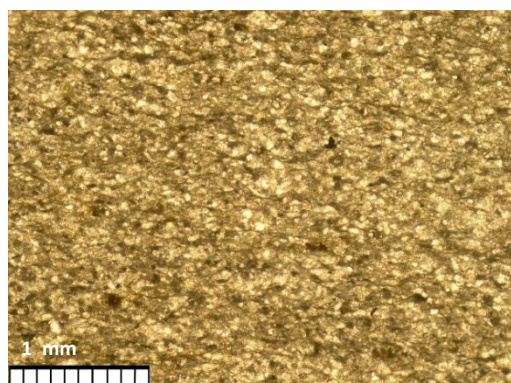
Hodnoty MSI (Příloha 5), které vyjadřují objemové množství slíd, se pohybují mezi 5,8–23,9 mm². Průměrná hodnota indexu je 10,2 mm². Hodnoty se pohybují v relativně malém rozmezí. Výjimkou je pouze vzorek D2, reprezentující hornobenešovské souvrství, ve kterém byly zjištěny výrazně zvýšené hodnoty (obr. 13).

Pevnost v tahu za ohybu v podélném směru (Příloha 5) vypočítaná podle Cárdenese a kol. (2010) dosahuje hodnot od 42,0 MPa do 51,4 MPa, s průměrnou hodnotou 44,3 MPa. Nejvyšší hodnotu logicky vykazuje vzorek D2 s vysokým indexem MSI, reprezentující hornobenešovské souvrství.

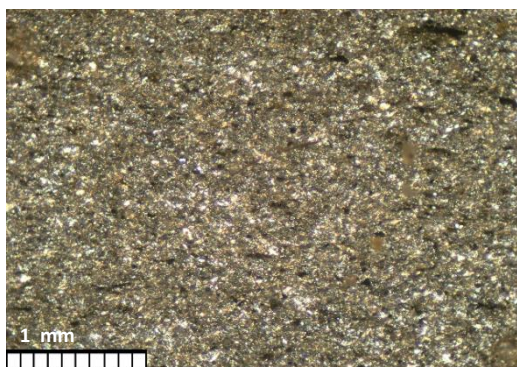
Díky mikrofotografiím výbrusů můžeme vidět rozdílné uspořádání a usměrnění vrstviček slíd. Mikrofotografie ve zkřížených nikolech XPL na obr. 9 a v lineárně polarizovaném světle (PPL) na obr. 12 ukazuje lepidoblastickou strukturu a plošně paralelní texturu. Naopak vzorek z Dalova (obr. 10) a Svobodných Heřmanic (obr. 11) se vyznačuje spíše homogenní, porfyroblastickou strukturu s nevýraznou paralelní texturou. Minerální zrna téměř nevykazují v tomto směru žádné protažení. Vzorky z Břidličné a Dalova jsou relativně hrubozrnější, v porovnání se vzorky ze Svobodných Heřmanic a Wondruškova lomu.



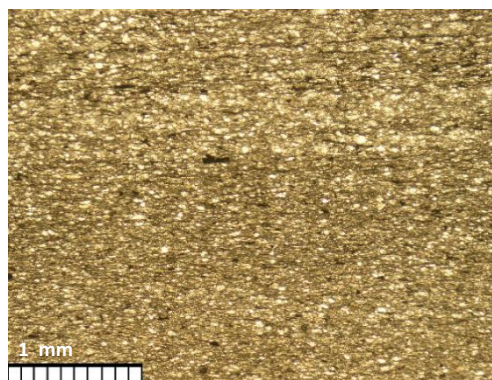
Obr. 9: Mikrofotografie vzorku břidlice andělskohorské s. z lomu Břidličná (BŘID6) v XPL.



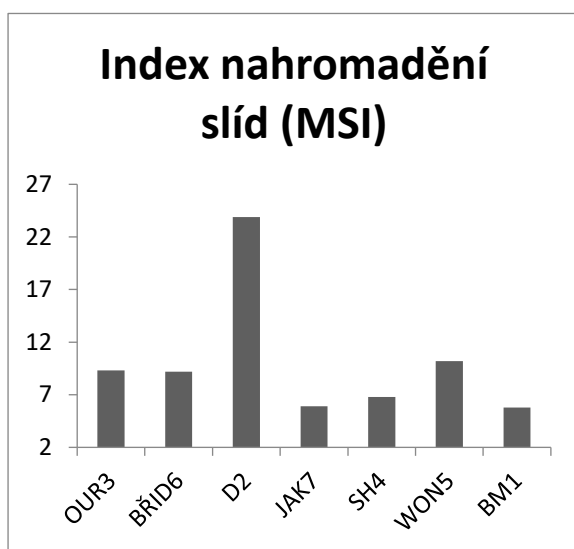
Obr. 10: Mikrofotografie vzorku břidlice s hornobenešovského s. z lomu Dalov (D2) v PPL.



Obr. 11: Mikrofotografie vzorku břidlice moravického s. z lomu Svobodné Heřmanice (SH4) v XPL.



Obr. 12: Mikrofotografie vzorku břidlice hradecko-kyjovické z Wondruškova lomu (WON5) v PPL.



Obr. 13: Histogramy s výsledky indexu nahromadění slíd a pevnosti v tahu za ohybu (andělskohorské souvrství: OUR3 – Ondřejov u Rýmařova, BŘID6 – Břidličná; hornobenešovské souvrství: D2 – Dalov; moravické souvrství: SH4 – Svobodné Heřmanice, JAK7 – Jakartovice; hradecko-kyjovické souvrství: WON5 – Budišovice, BM1 – Kyjovice).

8. Diskuze

Pro vyhodnocení petrofyzikálních vlastností a chemického a mineralogického složení pokrývačských břidlic byly v této bakalářské práci použity tyto laboratorní metody: hmotnostně specifická magnetická susceptibilita (HSMS), spektrální odraznost, laboratorní

gamaspektrometrie, XRD analýza a energiově-disperzní rentgenová fluorescenční spektrometrie (EDXRF). Optická mikroskopie byla použita pro stanovení tzv. indexu nahromadění slíd (MSI) na základě kterého se dá vypočítat pevnosti v tahu na struktuře slíd pokrývačských břidlic.

Hmotnostně specifická MS (HSMS) se v sedimentologii využívá jako proxy litologie nebo indikátor minerálního složení hornin (Bábek, 2013). Obecně vykazují všechny zkoumané vzorky nízké hodnoty HSMS. To je v souladu s výsledky Dědávka a kol. (1997), podle kterých je převážná část kulmských sedimentů jen slabě magnetická. Jílovými minerály bohaté horniny dosahují hodnot HSMS odpovídající průměrným hodnotám, které jsem zjistila u vzorků z andělskohorského souvrství. Vzorky odebrané z andělskohorského a hornobenešovského souvrství mají výrazně nižší hodnoty, v porovnání se vzorky moravického a hradecko-kyjovického souvrství. Hodnoty naměřené v břidlicích moravického a hradecko-kyjovického souvrství odpovídají hodnotám HSMS z jílovitých břidlic i na jiných lokalitách v těchto dvou souvrstvích (Šimíček, nepublikovaná data). Korespondence mnou naměřených hodnot s daty i z jiných lokalit naznačuje, že nízké hodnoty HSMS jsou charakteristické pro pokrývačské břidlice z andělskohorského a hornobenešovského souvrství a tato vlastnost by mohla být dobrým indikátorem pro jejich odlišení od břidlic ze zbylých stratigrafických jednotek nízkojesenického kulmu.

Od andělskohorského souvrství po hradecko-kyjovické souvrství můžeme sledovat trend poklesu hodnot CIE L*. Výjimku v tomto trendu tvoří vzorek z Dalova, reprezentující hornobenešovské souvrství, s výrazně vyššími hodnotami CIE L*. Relativní světlost tohoto vzorku koresponduje s výsledky optické mikroskopie a práškové XRD analýzy, podle kterých se tento vzorek vyznačuje relativní hrubozrnností klastického materiálu a vysokým obsahem křemene a plagioklasů. Vysoká hodnota CIE L* ve vzorku z hornobenešovského souvrství tedy odráží jeho litologii a nelze jí využít jako charakteristický znak pro celé souvrství. Velmi nízkými hodnotami CIE L* se vyznačují oba vzorky z hradecko-kyjovického souvrství. Hodnoty CIE L*, které byly naměřeny na vzorcích španělských pokrývačských břidlic Cárdenesem a kol. (2012) odpovídají hodnotám zjištěným na vzorcích z nízkojesenického kulmu. Cardénes a kol. (2012) zmiňuje silnou korelaci mezi světlostí (CIE L*) a množstvím organické hmoty. Dle Šimíčka a kol. (2012) se ale horniny moravického a hradecko-kyjovického souvrství obecně vyznačují nízkými hodnotami celkového organického uhlíku (TOC), což příliš nekorresponduje s relativně nízkými hodnotami světlosti. Spojení mezi barvou břidlice a obsahem organické hmoty tak nelze bez dalších analýz prokázat.

Podle Zimáka a Štelcla (2004) se horniny nízkojesenického kulmu v rámci moravskoslezské oblasti vyznačují relativně zvýšenými hodnotami přirozené radioaktivity. V rámci nízkojesenického kulmu se projevuje určitá zonalita, kdy hodnoty přirozené radioaktivity hornin rostou od Z k V, tedy v posloupnosti andělskohorské, hornobenešovské, moravické a hradecko-kyjovické souvrství. Stejnou zákonitost zobrazuje také radiometrická mapa ČR v měřítku 1 : 500 000 od Manové a Matolína (1995). Tento obecný trend se mi nepodařilo prokázat. Z omezeného množství vzorků vyplývá silná závislost gamaspektrometrického signálu na minerálním složení břidlice. Především se zde uplatňuje faktor „naředění“ křemenem, který snižuje celkovou radioaktivitu horniny (cf. Šimíček, 2013). Nejvyšší hodnoty přirozené radioaktivity ze všech vzorků vykazovala pokrývačská břidlice z lokality Ondřejov u Rýmařova, reprezentující andělskohorském souvrstí (obr. 7). Relativně vysoká koncentrace K a Th koresponduje s vysokým obsahem jílových minerálů zjištěným práškovou XRD analýzou. Jílové minerály, především illit, bývají důležitým „nosičem“ K a Th v sedimentech (Zimák a kol., 2019). Naopak, vzorek z lokality Dalov (D2) reprezentující hornobenešovském souvrství (D2) má nejnižší obsahy K, U a Th. Nízká přirozená radioaktivita vzorku souhlasí s výsledky práškové XRD analýzy, podle které má vzorek D2 vysoký obsah neradioaktivního křemene. Obecný pokles hodnot poměru Th/K od andělskohorského po hradecko-kyjovické souvrství, který popisuje Zimák (2019) byl zjištěn také u zkoumaných vzorků. Avšak rozdíly mezi vzorky nejsou natolik výrazné, aby se tento poměr dal využít k jednoznačnému stratigrafickému zařazení pokrývačské břidlice. Na druhou stranu by gamaspektrometrie mohla být dobrým indikátorem kvality břidlice. Vyšší hodnoty přirozené radioaktivity odrážejí vyšší obsah jílových minerálů a tím pádem i lepší štěpné vlastnosti břidlic.

Obsahy prvků, jako jsou Fe, Ti, Rb a Zr, v pokrývačských břidlicích, které jsem stanovila metodou EDXRF, odpovídají předchozím analýzám provedeným v horninách nízkojesenického kulmu (Kukal 1980, 1985b, René 1996, Čopjaková a Škoda 2012, Zimák a kol. 2019). Naopak, mnou zjištěné obsahy Al a Si jsou v rozporu s výsledky Kukala (1980, 1985b). Obsahy hodnot Al jsou u Kukala (1980, 1985b) nižší než mé a hodnoty Si vyšší v porovnání s mými. Pro stratigrafické rozlišení pokrývačských břidlic z nízkojesenického kulmu se jeví perspektivně Fe a Zn normalizované na Al a poměr Rb/Zr. Jak hodnoty Fe/Al, Zn/Al, tak Rb/Zr vykazují obecný nárůst od andělskohorského po hradecko-kyjovické souvrství.

Výsledky práškové difrakční metody (XRD) korespondují s typickým uniformním složením pokrývačských břidlic (cf. Walsh, 2007). S výjimkou vzorku z Dalova (D2), kde dominují

křemenná zrna (Příloha 4)., byl u všech vzorků pozorován vysoký obsah fylosilikátů (jemnozrnné slídy, jílové minerály ze skupiny illitu a chloritu). Malý podíl draselných živců ve vzorcích je nejspíše způsoben jejich zvětváním ve zdrojové oblasti v průběhu spodního karbonu (cf. Kukul, 1985a).

Z pohledu stavby hornin lze mezi všemi vzorky na první pohled spatřovat rozdíl v celkovém usměrnění zrn a jejich velikosti. Byly identifikovány vzorky s lepidoblastickou strukturou a plošně paralelní texturou (BŘID6 a WON5) a vzorky s porfyroblastickou strukturou a masivní texturou (D2 a SH4). Gómez-Fernandez a kol. (2009) ukazují, že břidlice s porfyroblastickými strukturami mají obecně nižší hodnoty pevnosti v tahu než břidlice s lepidoblastickými strukturami. S tím korespondují vypočítané hodnoty pevnosti podle Cárdenese a kol. (2010). Výjimku představuje vzorek D2, který má i přes porfyroblastickou strukturu vysoké hodnoty pevnosti v tahu. Vysvětlení můžeme hledat v zaměnitelnosti jílových minerálů (illitu) s chlority, které mohou způsobovat nedostatečnou přesnost výpočtu (Goméz-Fernández 2012). Všechny zkoumané vzorky pokrývačských břidlic se vyznačují podobnou naměřenou pevností v tahu za ohybu v podélném směru (Příloha 6b). Odlišné hodnoty byly pozorovány pouze u již zmíněného vzorku D2, reprezentující hornobenešovské souvrství. Hodnoty indexu MSI i pevnosti v tahu za ohybu ze vzorků španělských pokrývačských břidlic publikovali Cárdenes a kol. (2010). Vzorky z nízkojesenického kulmu vykazují velmi podobné hodnoty.

9. Závěr

Těžba pokrývačské břidlice má na území nízkohesenického kulmu dlouhou tradici. První písemná zmínka o těžbě břidlice pochází již v 18. století z lomu Svobodných Heřmanic. Těžební práce zpočátku probíhaly povrchovým způsobem. Povrchová těžba postupně přecházela na těžbu hlubinnou, která v zájmové oblasti probíhala dobývací metodou rýnskou, metodou sestupného lávkování a metodou velkých komor.

Na základě využitých laboratorních metod měla předkládaná bakalářská práce za cíl porovnat geochemické, petrologické a petrofyzikální vlastnosti pokrývačských břidlic odebraných na vytipovaných lokalitách jejich někdejší těžby v souvrstvích nízkohesenického kulmu. Jako nejperspektivnější znak pro stratigrafické rozlišení pokrývačských břidlic se jeví hmotnostně specifická magnetická susceptibilita. Vzorky z andělskohorského a hornobenešovského souvrství vykazují výrazně nižší hodnoty než břidlice z moravického a hradecko-kyjvického souvrství. Hodnoty světlosti L^* silně korelují s hodnotami difrakční metody (XRD) a jsou silně ovlivněny mineralogickým složením břidlic. Vysoké hodnoty světlosti L^* vykazují ty vzorky, které obsahují větší koncentrace křemité složky, a to hlavně vzorky andělskohorského a hornobenešovského souvrství. Silnou závislost na litologii vzorků vykazují i data z gamaspektrometrie. Tato metoda by mohla sloužit jako doplňkový indikátor kvalitativních vlastností břidlic. Vzorky se zvýšenou přirozenou radioaktivitou odrážejí vyšší obsah jílových minerálů a tím pádem i lepší štěpné vlastnosti dané horniny. Hodnoty získané pomocí XRD analýzy odpovídají klasickému minerálnímu složení štípatelných břidlic. Hlavní složkou jsou slídy (+ jílové minerály) a křemen. V menší míře jsou zastoupeny chlority a plagioklasy, které převažují nad K-živci. Index nahromadění slíd (MSI) umožnil výpočet pevnosti v tahu v podélném směru. Nejvyšších hodnot MSI a pevnosti v tahu vykazuje hornobenešovské souvrství.

V rámci řešení práce jsem se seznámila se základní petrofyzikální a geochemickou metodikou, která se využívá pro studium sedimentárních hornin. V případné diplomové práci by bylo dobré rozšířit počet studovaných lokalit a odebraných vzorků pokrývačských břidlic tak, aby výsledky byly reprezentativnější a bylo zřejmé, že vzorky odrážejí obecné vlastnosti břidlic v daném souvrství a nikoli jen lokální variabilitu. Diplomová práce by mohla zahrnovat také více metod porovnávající mechanické vlastnosti pokrývačských břidlic.

10. Literatura

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

Brouwer, P. (2003): *Theory of XRF – Getting acquainted with the principles*. Lelyweg: PANanalytical B.V. 71 s. ISBN 90-9016758-7

Cárdenes, V., Rubio-Ordóñez, Á., López-Munguira, A., De la Horra, R., Monterroso C., Paradelo, R., Calleja, L. (2010): *Mineralogy and modulus of rupture of roofing slate: Applications in the prospection and quarrying of slate deposits*. – *Engineering Geology*, 114 (2010), pp. 191-197.

Cárdenes, V., Prieto, B., Sanmartín, P., Ferrer, P., Rubio, A., Monterroso C. (2012): *The influence of chemical–mineralogical composition on the color and brightness of Iberian roofing slates*. – *J. Mater. Civ. Eng.*, 24 (4) (2012), pp. 460-467.

Cárdenes, V., Rubio-Ordóñez, Á., Wichert, J., Pierre Cnudde, J., P., Cnudde, V. (2014): *Petrography of roofing slates*. – *Engineering Geology*, 138 (2010), pp. 435-453.

Czudek, T. (1988). *Údolí Nizkého Jeseníku*. – Československá akademie věd, Praha.

Čopjaková, R., Škoda, R. (2012): *Vznik autigenního xenotimu-(Y) v podmínkách velmi slabé metamorfózy drobné a břidlic moravsko-slezského kulmu*. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 97, 1, 55–69.

Dalajková, K., Zimák, J., Štelcl, J., & Všianský, D. (2016): *Využitelnost kolorimetrie při studiu hornin – na příkladu vápenců ve velkolomu Mokrý*. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 22(1-2), 48-51.

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.

Dědáček, K., Gnojek, I., Chlupáčová, M. (1997): *Regionální magnetické anomálie a jejich zdroje v hlubší stavbě Moravy a Slezska*. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v roce 1996*. Brno.

- Dolníček, Z., Sulovský, P.** (2013): *Laboratorní metody výzkumu*. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Dvořák, J., Friáková, O., Kukul, Z.** (1973): *Paleozoikum ve vrtu Karlov 1 (Sovinecký devon, JZ část Nížkého Jeseníku)*. – Čas. Slez. Mus, Series A, XXII, 25-36, Opava.
- Dvořák, J.** (1994): *Variský flyšový vývoj v Nížkém Jeseníku na Moravě a ve Slezsku*. – Česká geologická služba, ISBN 80-7075-160-6. Praha.
- Ersepke, Z.** (1994): Sborník přednášek z kurzu 13.-15.1994 v Komorní Lhotce.
- Fettes, D. J., Desmons, J., Árkai, P., Brodie, K., Bryhni, I.** (2007): *Metamorphic rocks: a classification and glossary of terms*. – Cambridge university press. Cambridge.
- Foldyha, J., Vašíček, Z.** (1969): Příspěvek ke strukturní stavbě kyjovických vrstev na Hlučínsku. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě. Řada hornicko-geologická* [online]. **15**(3), 53-77 [cit. 2020-04-27]. ISSN 0474-8476. Ostrava.
- Gómez-Fernandez, F., Castañón, A.M., Bauluz, B., Ward, C.R.** (2009): *Optical microscope and SEM evaluation of roofing slate fissility and durability*. – *Materiales de Construcción*, 59 (296), pp. 91-104.
- Hartley, A., Otava, J.** (2001): *Sediment provenance and dispersal in a deep marine foreland basin: the Lower Carboniferous Culm Basin*. – *Journal of the Geological Society*, Brno 2001, 158, 137–150. Brno.
- Halfar, J., Plášek, V.** (2014): *Recent findings of the epiphytic mosses from Orthotrichaceae family in Zlatohorská vrchovina highlands (Silesia, Czech Republic)*. – *Acta Mus. Siles. Sci. Natur.*, 63, 123-138. Ostrava.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Straník, Z.** (2002): *Geologická minulost České republiky*. – Academia. Praha.
- Jachowicz, M., Přichystal, A.** (1997): *Lower Cambrian sediments in deep boreholes in South Moravia*. – *Věst. čes. geol. Úst.*, 72, 329–332. Praha.
- Janoška, M.** (2001): *Nížký Jeseník očima geologa*. – Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc.

Jirásek, J., Matýsek, D., Přibil, M., Šmehil, K., & Minaříková, A. (2019): *Těžba pokrývačských břidlic v oblasti Zálužné - Mokřinky (Slezsko, Česká republika) a s ní spojené supergenní minerály.* – Bull Mineral Petrolog stránky, 27, 89-107. Ostrava.

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 stran. Praha.

Kukal, Z. (1980): *The sedimentology of Devonian and Lower Carboniferous deposits in the western part of the Nízky 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.

Kukal, Z. (1985b): *Vývoj sedimentů Českého masivu.* – ÚÚG/Knihovna ÚÚG, 61. Praha. 221 s.

Kumpera, O. (1976): *Stratigrafie spodního karbonu jeseníckého bloku (2. část: kulmská souvrství a jejich stratigrafické ekvivalenty) moravické souvrství.* – Sbor. Věd. prací VŠB, roč. XXII, č.1, čl. 419, 141 – 163. Ostrava.

Kumpera, O. (1983): *Geologie spodního karbonu jeseníckého bloku.* – ČSAV, 4-50. Praha.

Kříž, P. (2010): *Hlubinná těžba uranové rudy Důl Rožná I.*

In: bakalářská práce KONCEPCE DOBÝVÁNÍ 1. - ZÓNY V SEVERNÍ ČÁSTI DOBÝVACÍHO POLE JÁMY R7S od Tserennadmid Oyunbaatar v Ostravě 2013

Lach, V., Daňková, M. (1991): *Mikrostruktura stavebních látek.* – VUT, 2. vydání. Brno.

Lehotský, T., Zapletal, J. (2008): *Muzeum břidlice v Budišově nad Budišovkou – nová expozice.* In: Časopis Slezského zemského muzea – Vědy přírodní (A). Opava, roč. 57, č. 3. s. 37-38. ISSN 1211-3026. Opava.

Manová M., Matolín M. (1995): Radiometricka mapa Česke republiky 1 : 500 000. ČGÚ, Praha.

Maštera, L. (1975): *Petrografie slepenců moravických vrstev a hradeckých drob Nizkého Jeseníku*. – Výzk. práce ÚÚG, 8, 25-36. Praha.

Maštera, L. (1995): *Petrofacie ve spodnokarbonských drobách na severním okraji Dražanské vrchoviny*. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1994, 57-60. Brno.

Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V. (1983): *Geologie ČSSR I, Český masív*. – Státní pedagogické nakladatelství, 7-246. Praha.

Müller, P., Novák, Z., Bubík, M., Buriánková, K., Čurda, J., Eliáš, M., Gilíková, H., Gregerová, M., Grym, V., Hanák, J., Hanžl, P., Havlíček, P., Hrádek, M., Kadlec, J., Krejčí, O., Květoňová, E., Melichar, R., Müller, V., Müllerová, H., Novák, M., Otava, J., Pálenský, P., Petrová, P., Piše, J., Sedlák, J., Šmerdová, B., Valoch, K., Vít, J. (2000): *Geologie Brna a okolí*. – Český geologický ústav, 1-90. Praha.

Petránek, J. (2011). *Za tajemstvím kamenů*. – Grada Publishing a.s. Praha.

Raymond, L. A. (2007): *Petrology: the study of igneous, sedimentary, and metamorphic rocks*. – Waveland Press, 2007. 2nd ed. Long Grove: ISBN 978-1-57766-520-5.

René, M. (1996): *Příspěvek ke geochemii spodnokarbonských hornin Nizkého Jeseníku. Geologické výkumy na Moravě a ve Slezsku*. – Český geologický ústav. Sekce geologických věd PřF Masarykovy univerzity. Brno.

Sahoo P. K., Guimaraes J. T. F., Souza-Filho P. W. M., Silva M. S., Nascimento W., Powell M. A., Reis L. S., Pessenda L. C. R., Rodrigues T. M., Da Silva D. F., Costa V. E. (2017): *Geochemical characterization of the largest upland lake of the Brazilian Amazonia: Impact of provenance and processes*. – Journal of South American Earth Sciences, 80, 541-558

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

Seigas, M. L. (2007): *Architecture and Techniques of Slate Roofing*. – Asociación Gallega de Pizarristas. Spain.

Stille, H. (1948): *Ur-und Neuozeane*. – Akademie-Verlag. Berlin.

Strohalm, P. (2012): Oživlý svět technických památek. *Pokryvačská břidlice v Nížkém Jeseníku*. – Místní akční skupina Opavsko, 21-26. Hradec nad Moravicí.

Svoboda, J. (1964): *Regionální geologie ČSSR. Díl 1, Český masív. Sv. 1, Krystalinikum*. – Nakladatelství Československé akademie věd, 377 s. Praha.

Šimíček, D., Krulová, V. (2018): *Petrofyzikální charakteristika spraše a fosilní půdy v hliníku u Litovle*. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 25, 1–2, 58–64.

Všianský, D. (2020): *Rtg – difrakční analýza*. – Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta MU. Brno.

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, Scotland, United Kingdom, s.1095-1103.

Zapletal, J., Dvořák, J., Kumpera, O. (1989): *Stratigrafická klasifikace kulmu Nížkého Jeseníku*. – Věst. Ústř. Úst. geol., 243-249. Praha.

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

Zimák, J. (2012): *Přirozená radioaktivita kulmských sedimentů na východním okraji Českého masívu*. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 19, 1–2, 130–133.

Zimák, J. (2016): *Vztah mezi přirozenou radioaktivitou hornin a půd na nich vytvořených – Základní problém interpretace dat získaných leteckou a terénní gamaspektrometrií*. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 22(1-2), 80-83.

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., Slobodník, M., Pořádek, P. (2019): *Geochemie a radioaktivita paleozoických hornin na listech 15-31 Bruntál a 15-33 Moravský Beroun a jejich souvislost se složením variské hydrotermální mineralizace*. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 26(1-2).

Internetové zdroje:

www1: Historie těžby. Dostupné z: <https://www.ceskabridlice.cz/clanky/historie-tezby/>

www2: Břidlicový průmysl. Dostupné z: <http://www.technicke-pamatky.cz/sekce/44/bidlicov-prmysl/>

www3: Metody těžby. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2504474/>

www4: Metoda velkých komor. Dostupné z: <http://badber.blog.cz/1808/putovani-za-bridlici-4>

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1: Fotografie zkoumaných lokalit

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

Příloha 3: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie

Příloha 4: Výsledky práškové rentgenové difrakční analýzy

Příloha 5: Výsledky indexu nahromadění slíd (MSI) a pevnosti v tahu za ohybu

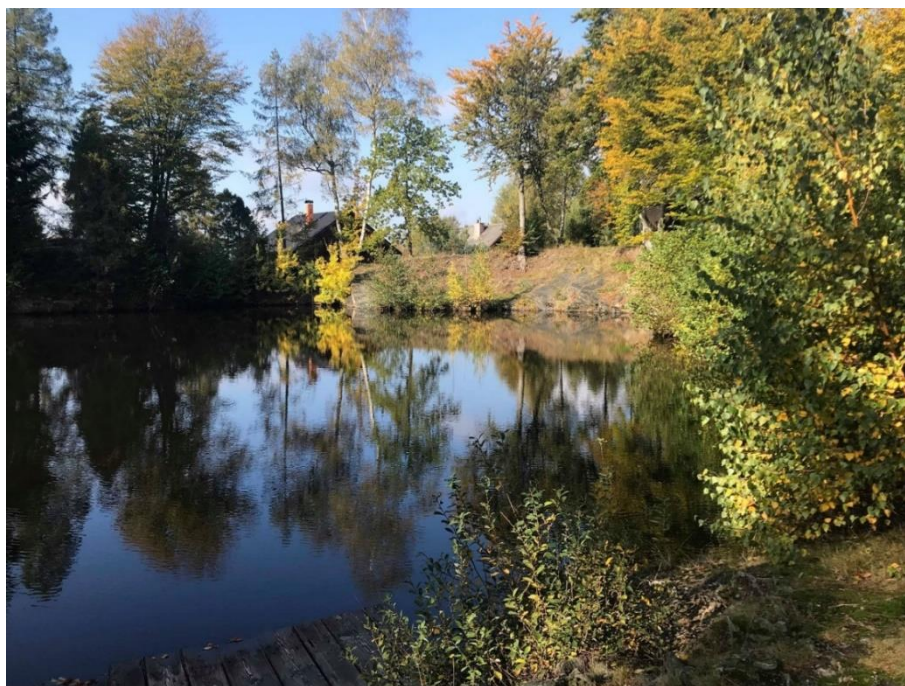
Příloha 1: Fotografie zkoumaných lokalit



Příloha 1a: Bývalý břidlicový lom v Ondřejově u Rýmařova, reprezentuje andělskohorské souvrství. Jílovité břidlice lze na lokalitě sbírat na haldách po těžbě. Stav lokality je stále dobrý, přestože haldy zarůstají náletovou vegetací. Lokalita je volně přístupná (foto: Tereza Franková, říjen 2019).



Příloha 1b: Bývalý břidlicový lom v Břidličné (andělskohorské souvrství), v současné době je v lomu veřejná střelnice. Břidlice lze sbírat na haldách, které zarůstají náletovou vegetací nebo přímo ve stěně lomu (foto: Tereza Franková, říjen 2019).



Příloha 1c: Jeden z mála příkladů těžby pokrývačských břidlic v horninách hornobenešovského souvrství se nachází poblíž obce Dalov. Lom se nachází v areálu chatového tábora. Nyní je již téměř zcela zatopen. Břidlice se dají sbírat na několika výchozech na břehu vodní nádrže (foto: Tereza Franková, říjen 2019).



Příloha 1d: Břidlicový lom Šifry u Svobodných Heřmanic (moravické souvrství) dnes slouží k rekreačním a potápěčským účelům. Jílovité břidlice lze na lokalitě sbírat na haldách po těžbě (foto: Tereza Franková, červenec 2019).



Příloha 1e: Jeden ze zatopených lomů v Jakartovicích (moravické souvrství). V blízkosti se nacházejí zbytky hornických domků a hald, ze kterých lze sbírat jílovité břidlice (foto: Tereza Franková, červenec 2019).



Příloha 1f: Bývalý Wondruškův lom v Budišovicích (hradecko-kyjovické souvrství). V současné době je lom součástí chatové oblasti. Jediná připomínka těžby břidlice je starý kamenný transformátor a výchozy, ze kterých se dá sbírat břidlice (foto: Tereza Franková, září 2019).



Příloha 1g: Opuštěný břidlicový lom Bártův mlýn u Kyjovic (hradecko-kyjovické souvrství). V současné době lom zarůstá vegetací. Jílovité břidlice lze sbírat na výchozech nebo z nedaleké haldy (foto: Tereza Franková, říjen 2019).

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

Magnetická susceptibilita			Spektrální odraznost		
Vzorek	Stratigrafie	MS (m ³ *kg ⁻¹)	CIE L*	CIE a*	CIE b*
OUR3	andělskohorské s.	8,5168E ⁻⁸	68,59	-0,12	1,09
BŘID6	andělskohorské s.	9,2088E ⁻⁸	64,31	-0,41	0,25
D2	hornobenešovského s.	8,8884E ⁻⁸	76,64	0,97	7,21
JAK7	moravické s.	1,6151E ⁻⁷	64,90	-0,21	1,03
SH4	moravické s.	1,4243E ⁻⁷	63,13	-0,38	0,53
WON5	hradecko-kyjovického s.	1,3514E ⁻⁷	60,55	0,51	1,54
BM1	hradecko-kyjovického s.	1,4016E ⁻⁷	60,92	0,35	1,12

Příloha 3: Výsledky laboratorní gamaspektrometrie

Vzorek	Stratigrafie	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K/Th	U/Th
OUR3	andělskohorské s.	5,2	4	31,5	6,1	7,9
BŘID6	andělskohorské s.	2,8	3,4	14,4	5,1	4,2
D2	hornobenešovské s.	1,5	2,3	8,0	5,3	3,5
JAK7	moravické s.	2,6	4,2	11,0	4,2	2,6
SH4	moravické s.	2,8	3,8	13,5	4,8	3,6
WON5	hradecko-kyjovické s.	3,2	3,0	13,5	4,2	4,5
BM1	hradecko-kyjovické s.	3,0	3,6	5,2	1,7	1,4

Příloha 4: Výsledky práškové rentgenové difrakční analýzy

Vzorek	Stratigrafie	křemen	plagioklasy (+albit)	K-živec	slídy (vč.illitu)	chlorit
OUR3	andělskohorské s.	10,5	23,1	1,8	55,4	8,6
D2	hornobenešovské s.	44,4	23,3	1,2	19,4	11,2
SH4	moravické s.	32,6	17,9	0,9	27,4	19,8
BM1	hradecko-kyjovické s.	30,1	17,5	0,8	35,1	15,8

Příloha 5: Výsledky indexu nahromadění slíd (MSI) a pevnosti v tahu za ohybu

Vzorek	Stratigrafie	Počet vrstev slíd	Průměrná tloušťka vrstvy	MSI	Pevnost v tahu v podélném směru (MPa)
OUR3	andělskohorské s.	32	0,027	9,3	43,9
BŘID6	andělskohorské s.	39	0,022	9,2	43,8
D2	hornobenešovské s.	43	0,041	23,9	51,4
JAK7	moravické s.	51	0,013	5,9	42,1
SH4	moravické s.	83	0,016	6,8	42,6
WON5	hradecko-kyjovické s.	36	0,021	10,2	44,3
BM1	hradecko-kyjovické s.	57	0,012	5,8	42,0