



UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie

**Petrofyzikální a geochemická charakteristika hraničního
intervalu devon / karbon na střední Moravě**

Maria Alexandrova

Vedoucí práce: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

2024

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá petrofyzikální charakterizací a prvkovou geochemií hraničního intervalu devon/karbon a následné spodnotournaiské karbonátové sedimentace na vybraných profilech v České republice. Cílem práce je podrobně prozkoumat a interpretovat geologické procesy, které formovaly tuto klíčovou geologickou hranici, a poskytnout nové poznatky o sedimentárních a diagenetických procesech v moravskoslezské zóně. K dosažení tohoto cíle byla využita kombinace terénního výzkumu a laboratorních analýz, včetně gamaspektrometrie, měření magnetické susceptibility a prvkových analýz vybraných sedimentů pomocí metody EDXRF.

Práce zahrnuje literární rešerši zaměřenou na stratigrafii karbonátových sedimentů, aplikaci gamaspektrometrie a magnetické susceptibility ve stratigrafii karbonátových hornin, a geochemické chování vybraných prvků (Al, Si, Ti, Zr, Ca, Mg, Mn, K, Rb, Sr, U, Th, Pb, Zn, Cu, P a S) v karbonátových sedimentech. Terénní část zahrnovala návštěvy tří lokací - lomu Černotín, Grygova – lomu U dráhy a Jesenec, kde byly prováděny detailní popisy profilů, měření gamaspektrometrie a odběr vzorků pro další analýzy.

V laboratorní fázi byla provedena měření magnetické susceptibility a prvkové analýzy sedimentů, následované zpracováním získaných dat pomocí základní statistiky. Výsledky byly prezentovány formou stratigrafických kolonek profilů a statistických diagramů, což umožnilo detailní interpretaci sedimentárních procesů a diagenetických změn v zkoumaném intervalu. Práce přináší nové pohledy na petrofyzikální a geochemické procesy, které ovlivnily vývoj karbonátových sedimentů na přelomu devonu a karbonu, a její výsledky jsou konfrontovány s regionálně geologickými poznatky a literaturou.

Tato studie přispívá k hlubšímu pochopení geologických procesů, které formovaly moravskoslezské paleozoikum, a poskytuje cenné informace pro regionální a interregionální korelace stratigrafických záznamů.

Klíčová slova: petrofyzikální charakterizace, prvková geochemie, hraniční interval devon/karbon, spodnotournaiská karbonátová sedimentace, moravskoslezská zóna.

Abstract

This bachelor's thesis focuses on the petrophysical characterization and elemental geochemistry of the Devonian/Carboniferous boundary interval and the subsequent Lower Tournaisian carbonate sedimentation at selected sites in the Czech Republic. The objective is to investigate and interpret the geological processes shaping this pivotal geological boundary in detail, providing new insights into the sedimentary and diagenetic processes within the Moravian-Silesian zone. To achieve this goal, a combination of field research and laboratory analyses was utilized, including gamma spectrometry, magnetic susceptibility measurements, and elemental analyses of selected sediments using the EDXRF method.

The work includes a literature review focused on the stratigraphy of carbonate sediments, the application of gamma spectrometry and magnetic susceptibility in the stratigraphy of carbonate rocks, and the geochemical behavior of selected elements (Al, Si, Ti, Zr, Ca, Mg, Mn, K, Rb, Sr, U, Th, Pb, Zn, Cu, P, and S) in carbonate sediments. The field part involved visits to three locations - Černotín quarry, Grygov – U dráhy quarry, and Jesenec, where detailed profile descriptions, gamma spectrometry measurements, and sample collections for further analysis were conducted.

In the laboratory phase, measurements of magnetic susceptibility and elemental analyses of the sediments were performed, followed by the processing of the obtained data using basic statistics. The results were presented in the form of stratigraphic columns of the profiles and statistical diagrams, allowing for a detailed interpretation of the sedimentary processes and diagenetic changes in the studied interval. The study provides new perspectives on the petrophysical and geochemical processes that influenced the development of carbonate sediments at the Devonian-Carboniferous transition, and its findings are confronted with regional geological knowledge and literature.

This study contributes to a deeper understanding of the geological processes that shaped the Moravian-Silesian Paleozoic and provides valuable information for regional and interregional correlations of stratigraphic records.

Keywords: petrophysical characterization, elemental geochemistry, devonian/carboniferous boundary, lower tournaisian carbonate sedimentation, moravian-silesian zone.

Poděkování:

Ráda bych touto cestou vyjádřila svůj upřímný vděk profesoru Mgr. Ondřeji Bábkovi, Dr., za jeho neocenitelnou ochotu a trpělivost během konzultací k mé bakalářské práci. Jeho odborná vedení a podpora mi byly velkou oporou v průběhu celého projektu.

Také bych ráda vyjádřila svou vděčnost Mgr. Danielu Šimíčkoví, Ph.D., za jeho cenný čas a podporu, kterou mi ochotně poskytl v období, kdy jsem čelila absenci vedoucího práce. Jeho ochota naslouchat a sdílet své znalosti byly pro mě neocenitelné.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány. Souhlasím s veřejným půjčováním práce.

Obsah

Abstrakt	1
Abstract.....	2
1. Úvod	6
2. Geografická a geomorfologická charakteristika vybraných lokalit	7
2.1. Geomorfologie zájmového území – Kra Maleník	8
2.2. Geomorfologie Dražanské vrchoviny	8
2.3. Geomorfologie Hornomoravského úvalu.....	9
3. Geologická charakteristika	10
4. Metodika	18
4.2. Gammaspektrometrie.....	18
4.3. Magnetická susceptibilita.....	19
4.4. EDXRF analýza	19
5. Výsledky.....	20
5.1. Jesenec – Litologie.....	20
Jesenec – gammaspektrometrie:	22
Jesenec – magnetická susceptibilita.....	23
Jesenec – geochemická charakteristika	23
5.2. Grygov.....	26
Grygov – gammaspektrometrie.....	27
Grygov – magnetická susceptibilita	28
Grygov – geochemická charakteristika	28
5.3. Černotín.....	31
Černotín – gammaspektrometrie	32
Černotín – magnetická susceptibilita	32
Černotín – geochemická charakteristika	33
6. Diskuse	35
6.1 Prvky a možné nosiče geochemického signálu.....	35
6.2. Gama spektrometrie	38
6.3. Petrofyzikální a geochemická charakteristika intervalu v Evropě	39
7. Závěr	42

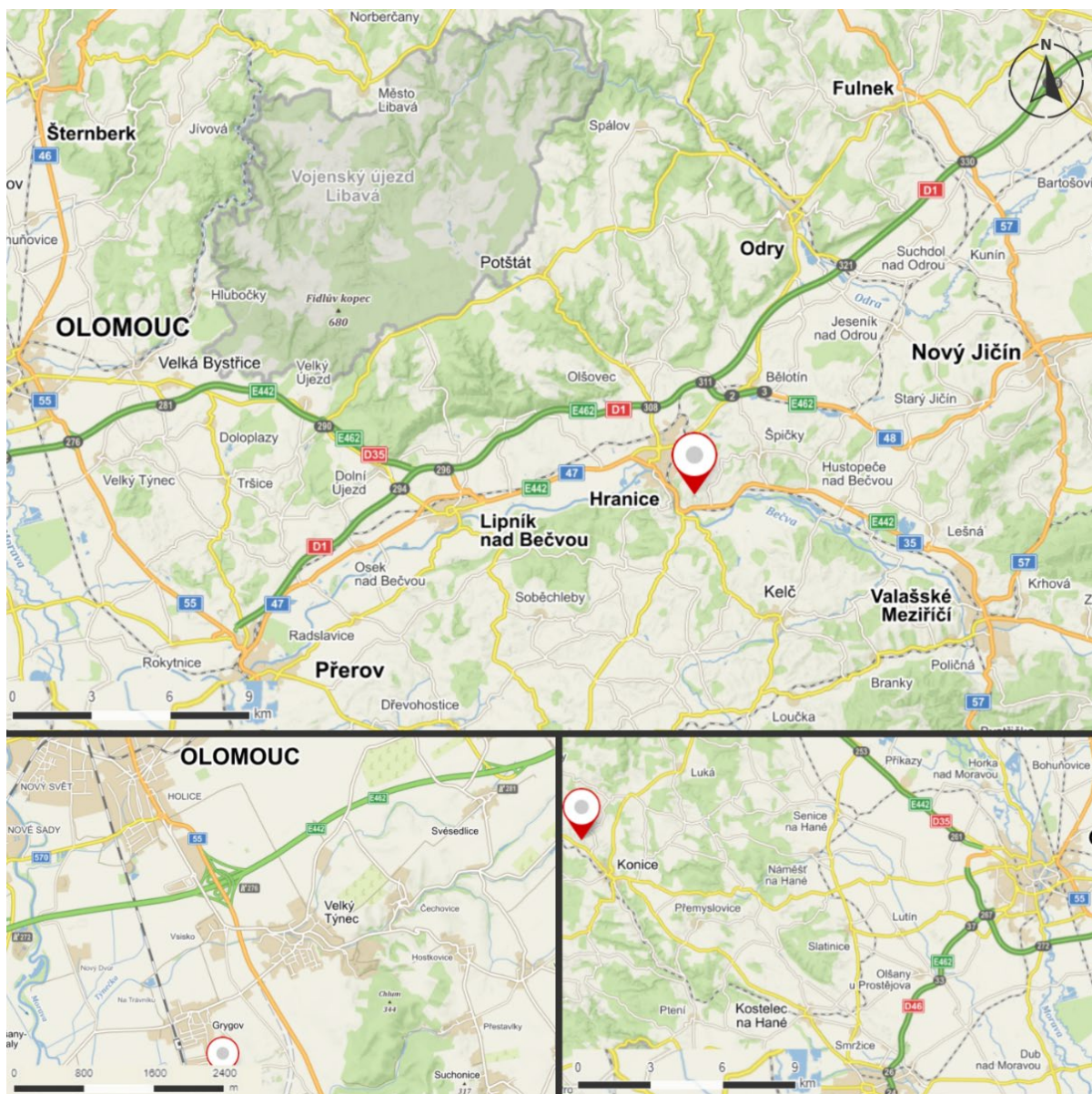
8. Seznam literatury	43
-----------------------------------	-----------

1. Úvod

Báze hranice útvaru devonu a karbonu (spolu s hranicemi stupňů famen/tournai a spodního a svrchního paleozoika) je definována nástupem konodontového taxonu *Siphonodella sulcata* (jižní Francie, Massive Central, La Serre v pohoří Montagne Noire) (Kaiser et al. 2009). Hraniční interval devon/karbon je spojen s výrazným výkyvem globální mořské hladiny v důsledku eustatických oscilací (označovaných jako hangenberský polyfázový event), s krátkodobým zaledněním Gondwany (Kumpan et al. 2012), paleogeografickými změnami a masovým vymíráním zejména v mořském prostředí (Kaiser et al. 2009). Vzhledem k tomu, že *Siphonodella sulcata* a její příbuzná *Siphonodella praesulcata* jsou těžko rozlišitelné, je definice hranice devonu/karbonu vnímána kriticky a bude redefinována (Kaiser et al. 2009). Za účelem stratigrafického měření byly využity následující metodiky gama spektrometrie, magnetické susceptibility (MS) a rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF). Rozlišují vlastní magnetické vlastnosti a prvkové složení hornin, což umožňuje přesnější identifikaci jednotlivých vrstev. Všechny tři metody by mohly být použity k lepší identifikaci hranice mezi devonskými a karbonskými vrstvami, zejména v oblastech s více komplikovanou geologickou stavbou nebo při nepřítomnosti jasně definovaných litologických rozdílů mezi devonem a karbonem. Použití těchto metod by mohlo poskytnout další informace o magnetických vlastnostech a složení hornin na obou stranách hranice a umožnit tak lepší pochopení geologického procesu, který vedl k vytvoření této hranice.

2. Geografická a geomorfologická charakteristika vybraných lokalit

Výzkum proběhl na třech lokalitách Černotín, Jesenec a Grygov. Černotín je obec nacházející se v Olomouckém kraji na Moravě, leží východně od města Hranice na Moravě a patří do okresu Přerov. Geograficky se nachází v oblasti Hornomoravského úvalu, který je součástí Podbeskydské pahorkatiny (Demek J. et al. 1987). Souřadnice pro Černotín (jsou $49^{\circ}32'04.6''\text{N}$ $17^{\circ}45'39.1''\text{E}$). Další lokalita Jesenec vzdálená 28 km severozápadně od Prostějova, se rozprostírá na jižním svahu zámecké Horky při silnici z Konice do Moravské Třebové. Souřadnice této lokality ($49^{\circ}36'39.951''\text{N}$, $16^{\circ}51'52.384''\text{E}$).



Obr.1. Mapa studovaných lokalit (mapy.cz)

Grygov je obec nacházející se v Olomouckém kraji na Moravě. Geograficky se nachází na jihu od města Olomouc, v blízkosti řeky Bystřice. Leží při železniční trati z Olomouce do Přerova a je vzdálen asi 10 km jižně od města Přerov. Lokalita Grygov se nachází v oblasti Hornomoravského úvalu, který je součástí Podbeskydské pahorkatiny (Demek J. a kol. 1987). Jeho souřadnice jsou 49°31'40.2"N 17°18'59.0"E (Obr.1).

2.1. Geomorfologie zájmového území – Kra Maleník

Lokalita Černotín patří z geomorfologického hlediska do podcelku Maleníku, což je členitá vrchovina o rozloze 60 km², s průměrnou nadmořskou výškou 336 m n. m. a průměrným sklonem svahů 5°12'. Oblast na délku dosahuje mírně přes 20 km a na šířku přibližně 6 km. Na východě hraničí s Příborskou pahorkatinou, na jihu s Kelčskou pahorkatinou a na severu sousedí s Moravskou bránou. Maleník leží v jihozápadní části Podbeskydské pahorkatiny (Demek J. a kol. 1987).

Geomorfologická klasifikace:

- **Provincie:** Západní Karpaty
 - **Soustava:** Vněkarpatské sníženiny (VII)
 - **Podsoustava:** Západní Vněkarpatské sníženiny (VIIA)
 - **Celek:** Moravská brána (VIIA-4)
 - **Podcelek:** Maleník

Maleník má v rámci geomorfologických jednotek moravských Karpat zvláštní postavení. Geologicky se jedná o blok fundamentu Českého masivu. Byl však oddělen prolomem Moravské brány a přímo se přimyká k okraji karpatských příkrovů. Prolom Moravské brány způsobil značný sklon okrajových svahů k severozápadu, zatímco v jihovýchodním směru se klínovitá hrást Maleníku svažuje jen mírně.

2. 2. Geomorfologie Dražanské vrchoviny

Lokalita Jesenec patří do Dražanské vrchoviny, což je geomorfologický celek, o rozloze 1 183km², ležící ve středu Moravy. Dražanská vrchovina je součástí Brněnské vrchoviny, střední výška dosahuje 462,8 m a střední sklon 5°20'. Nejvyšším vrcholem jsou Skalky (734,7 m) v Protivanovské planině (Demek et.al 2006). Od Nížkého Jeseníku a Oderských vrchů je oddělena terciárními a kvartérními uloženinami Hornomoravského úvalu, který je vázán na zlomový systém labského lineamentu. Na západě sousedí s Boskovickou brázdou a Doubravskou vrchovinou, na jihu s Dyjsko-svrateckým úvalem a Vyškovskou

bránou, na východě s Hornomoravským úvalem a na severu se Zábřežskou vrchovinou (Dvořák 1993). Dražanská vrchovina je odvodňována celou řadou řek např. Velká a Malá Haná, Bělá i ponorná Punkva. Charakteristické erozní rýhy mnoha bezejmenných toků vytváří ostře zařezaná údolí, která jsou označována jako žleby.

Vrchovina má klenbovitý tvar s nápadnými okraji vystupujícími nad okolní sníženiny. Tuto podobu získala neotektonickými zdvihy. Centrální část jsou tvořeny plochým, mírně zvlňným georeliéfem planin, který je pozůstatkem zarovnaného povrchu z období před svrchní křídou. Jižní, západní a východní okraje vrchoviny jsou tektonicky zprohýbány a rozlámány a také rozřezány hlubokými údolními (Demek J. a kol. 1987) Z části je vyklenutá. Podle odlišné geologické stavby charakteru reliéfu je rozdělená na tři podcelky: **Adamovská vrchovina, Konická vrchovina a Moravský kras** (viz. obr. 4).

Provincie: Česká vysočina

- **Soustava:** Česko-moravská soustava (II)
 - **Oblast:** Brněnská vrchovina (IID)
 - **Celek:** Dražanská vrchovina (IID-3)
 - **Podcelky:** Adamovská vrchovina
 - **Podcelky:** Konická vrchovina
 - **Podcelky:** Moravský kras
 - **Konická vrchovina** se nachází ve východní části Dražanské vrchoviny a zaujímá plochu 817,37 km², při okrajích vrchoviny dosahuje průměrné výšky je 350-400 m n. m. a střední sklon 1°47'. Údolí dna jsou v částech vyplněna různě mocnou vrstvou spodnotornských sedimentů, do nichž zahlubují vodní toky svoje koryta. Okraje vrchoviny jsou klenbovité prohnuty nebo zlomově omezeny.

2.3. Geomorfologie Hornomoravského úvalu

Lokalita Grygov patří do Hornomoravského úvalu, geomorfologický celek je součástí geomorfologické oblasti Západní Vněkarpatské sníženiny.

Geomorfologická klasifikace:

- **Provincie:** Západní Karpaty
 - **Soustava:** Vněkarpatské sníženiny (VII)

- **Podsoustava:** Západní Vněkarpatské sníženiny (VIIA)
 - **Celek:** Hornomoravský úval (VIIA-3)

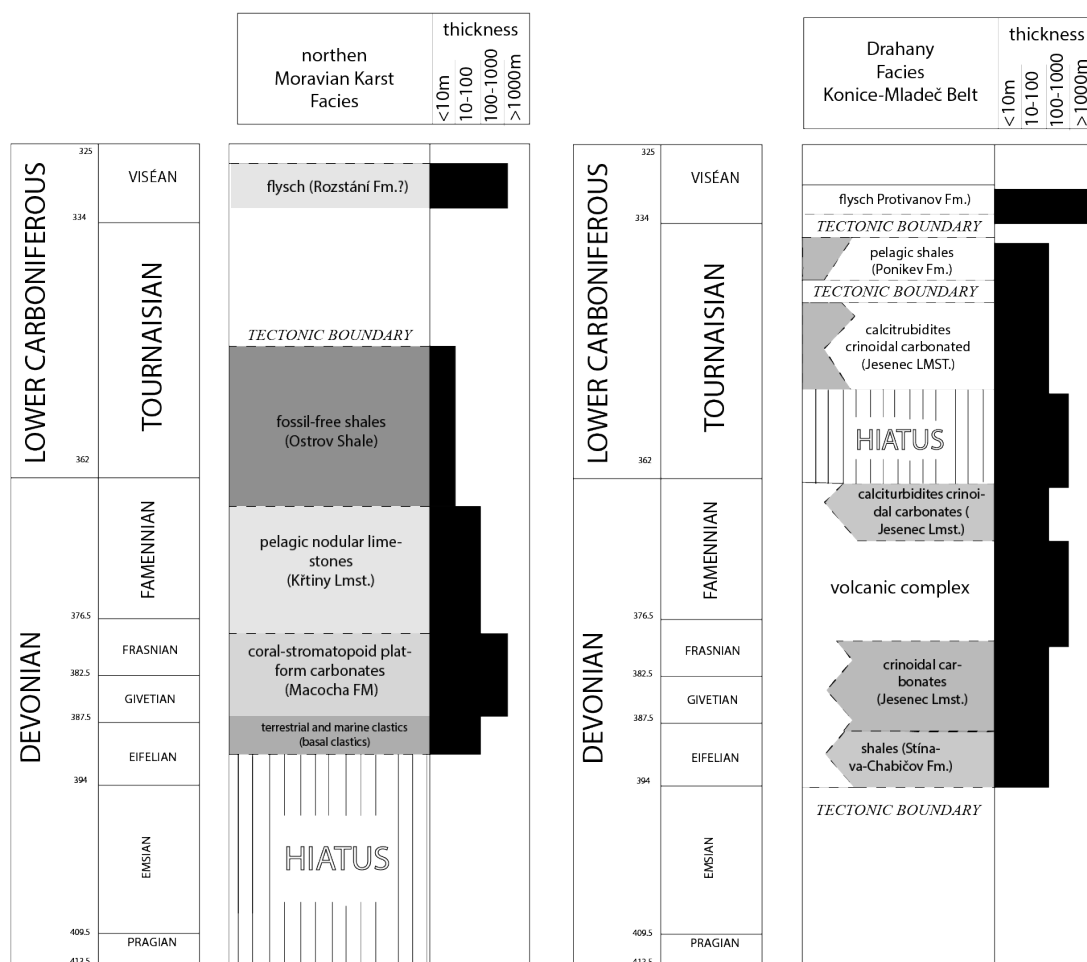
Hornomoravský úval je široká, protáhla sníženina o rozloze 1315 km², průměrné nadmořské výšce 226 m n. m. a středním sklonu 0°54'. Hornomoravský úval se táhne od obce Libina na severu po Napajedla na jihu. Ze severu je Hornomoravský úval vymezen Hanušovickou vrchovinou, na východě Nízkým Jeseníkem, Moravskou bránou a Podbeskydskou pahorkatinou. Jihovýchodní hranici tvoří Vizovická vrchovina, na jihu je oddělen Napajedelskou bránou od Dolnomoravského úvalu. Na jihozápadu sousedí s Chříby a Litenčickou pahorkatinou a na západě s Vyškovskou bránou a Drahanskou vrchovinou. Na severozápadě hraničí se Zábřežskou vrchovinou. Maximální délka úvalu činí 85 km a maximální šířka se blíží 30 km (Demek et al., 1965). Hornomoravský úval je příkopová propadlina orientovaná v jihojihovýchodním a severoseverozápadním směru, vyplněna neogenními a kvartérními sedimenty, z nichž místy vyčnívají kry mnohem starších hornin Českého masivu (Demek J. a kol., 1987).

3. Geologická charakteristika

Studované území patří z regionálně-geologického hlediska do Českého masivu. Toto území je zbytkem variského (hercynského) vrásnění, které proběhlo před 380 až 300 miliony let (střední devon až svrchní karbon) (Chlupáč a Štorch, 1992). Území lze pozorovat na obrázcích č. 3, 4 a 5 a jejich litologie. Vrásnění způsobilo dalekosáhlé změny na povrchu Země i uvnitř zemské kůry. Moře ustupovala a pohyby velkých horninových celků ovlivňovaly geotektonický režim: při kompresních fázích (stlačování prostoru) vznikaly vrásové a jiné deformace, při extenzních fázích vznikaly hlavně zlomy s převahou vertikální složky pohybu až do kilometrových hodnot (Chlupáč et al., 2011). V průběhu tohoto období došlo ke kolizi paleokontinentu Gondwany na jihu s kontinentem Laurussia na severu, což vedlo k formování Českého masivu a k tektonickému sblížení jeho dříve oddělených paleogeografických součástí (Chlupáč a Štorch, 1992).

Studované paleozoické horniny náleží do tzv. spodní stavby Českého masivu, na které se podílejí horniny prekambriického až paleozoického stáří (Chlupáč a Štorch 1992). Spodní stavbu Český masiv lze rozdělit do pěti regionálních celků /oblastí: oblast moldanubická (moldanubikum), oblast středočeská (tepelsko-barrandienska), oblast sasko-durynská (saxothuringikum), oblast západosudetská (lužická) a moravskoslezská (Chlupáč, Brzobohatý

et.al. 2011). Vybrané lokality, na které jsem se soustředila jsou součástí moravskoslezské oblasti a její jednotky moravskoslezské paleozoikum, na které se zaměřím v další kapitole.



Obr.2. Litologická schéma faciálních vývoji Moravského krasu a drahanského vývoje na území konicko-mladečského pruhu, upraveno podle Bábek (2006).

3.1. Moravskoslezské paleozoikum

Na západní hranici Moravskoslezského kraje se nachází tzv. moravskoslezský zlom, zatímco na východě je pravděpodobně pokračování pod flyšovými příkrovy Západních Karpat až k bradlovému pásmu. (Grygar, 2012; Chlupáč et al., 2002; Kalvoda et al., 2002; Mísař et al., 1983) Stratigraficky je moravskoslezská oblast tvořena horninami variského cyklu, které leží v nadloží kadomského brunovistulika, od kterého jsou odděleny úhlovými diskordancemi. Horniny variského cyklu jsou tvořeny sedimenty, vulkanity a slabě metamorfovanými horninami z období kambria, siluru, devonu, karbonu a permu. Významnou součástí moravského paleozoika je devon a předflyšový spodní karbon, jehož hlavní výskyty jsou v Moravském krasu, němčickém pruhu, konicko-mladečském pruhu, šternbersko-benešovském pruhu, drobnější výskyty v Hornomoravském úvalu, na Drahanské vrchovině, při východním

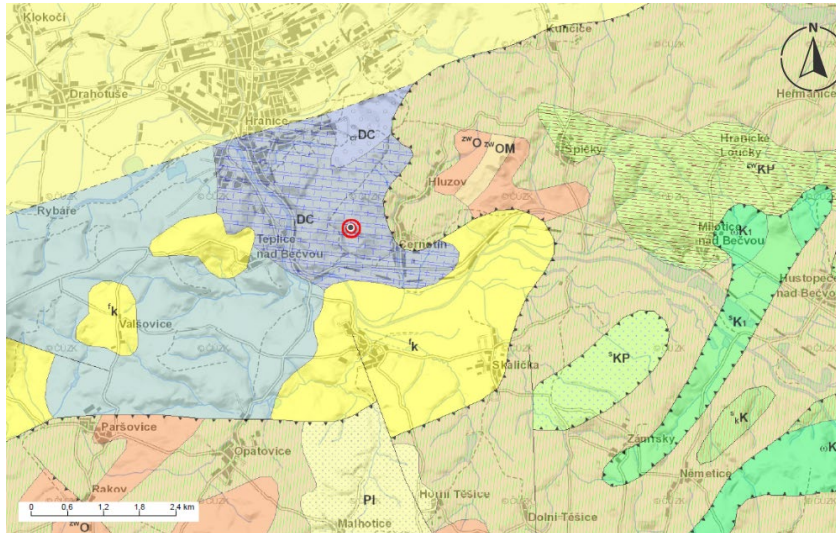
okraji Boskovické brázdy a na Znojemsku. Ve spodním karbonu se v Nížkém Jeseníku a na Dražanské vrchovině a v dalších menších izolovaných povrchových výskytech (kra Maleníku, hornomoravský úval, miroslavská hrást') a ve vrtech vyskytují několik kilometrů mocné (odhad celkové mocnosti je 7-8 km) siliciklastické flyšové sedimenty tzv. kulmské facie stáří svrchní devon až spodní karbon (famen /?/ až visé). Tyto oblasti obsahují také různé druhy hornin, včetně spodního karbonu, jako jsou dražanský kulm, jesenický kulm, mírovský "kulm" a kra Maleníku. (Chlupáč 2002).

Na spodní karbon zpravidla konkordantně nasedají horniny svrchního karbonu, jejich hlavními výskyty jsou hornoslezská pánve a německá pánve. V oblasti hornoslezské pánve jsou svrchnokarbonské horniny zastoupeny zejména v podobě šedých a hnědých jílovců, pískovců, slepenců a uhlí. V oblasti německé pánve jsou svrchnokarbonské horniny tvořeny převážně jílovcí, pískovci a slepenci. Výskyty svrchnokarbonských hornin jsou často zjišťovány pomocí vrtných průzkumů. Vrtání umožňuje získat informace o hloubce, mocnosti a typu hornin v dané oblasti. Mocnost svrchnokarbonských sedimentů v hornoslezské pánvi se pohybuje od několika set metrů až po několik kilometrů (Chlupáč a Svoboda 1963; Bábek 2001A, Bábek 2001B). V Německé pánvi jsou mocnosti menší a stáří se pohybuje v rozmezí 318 až 306 milionů let. Moravskoslezská oblast byla původně jednotným blokem, který byl součástí avalonsko-kadomského orogénu, rozprostírajícího se při severnímokraji gondwanské pevniny. Variská kolize této jednotky s moldanubikem způsobila, že západní část moravoslezika byla silně varisky přepracována – rozlámána na dílčí korové segmenty a později deformována a metamorfována. Dnes tyto mobilizované segmenty vystupují v sileziku a moraviku. V důsledku silného tektometamorfního přepracování v rámci variské orogeneze, získaly odchýlné znaky. Východní brunovistulická část od konce kadomské orogeneze nebyla žádnou další orogenezí výrazněji postižena a je tedy epikadomskou platformní jednotkou, která byla později během variské i alpínské orogeneze deformována víceméně jen křehce (Chlupáč et al.2011).

Moravskoslezský devon and předflyšový spodní karbon

Mezi tyto oblasti patří Moravský kras, německý pruh, konicko-mladečský pruh, šternbersko-benešovský pruh, drobnější výskyty v Hornomoravském úvalu, na Dražanské vrchovině, při východním okraji Boskovické brázdy a na Znojemsku (Chlupáč, I., Štorch, P., 1992).

Moravskoslezské devonské souvrství se skutečně dělí na několik faciálních vývoje, které se liší podle geografického umístění a charakteru sedimentů. Tyto vývoje jsou například drahanský vývoj, ludmírovský vývoj, vývoj Moravského krasu a další, jako například tišnovský nebo vrbenský vývoj (Chlupáč et al., 2002).



Geologická mapa

Indexy hornin

Tektonické linie

- zlom známý
- - - zlom předpokládaný
- přesmyk známý

Hranice hornin

- hranice zjištěná

Horniny

Terciér Karpat

Kenozoikum; Neogén

STŘEDNÍ MIOCÉN (spodní baden)

- i_{b1} jíly, vápnité jíly ("těglí"), podřízeně píský, štěrky a řasové vápence

SPODNÍ MIOCÉN (karpat); marinní vývoj v předhlubni, včetně svrchního otnnangu v její alpské části

- i_k vápnité jíly ("šilr"), podřízeně píský a štěrky

Kenozoikum; Paleogén – neogén

OLIGOCÉN–MIOCÉN (eger)

- z^{wOM} vápnité jílovce, pískovce, podřízeně slepence

Kenozoikum; Paleogén

OLIGOCÉN

- z^wO jílovce, slínovce, vápence, podřízeně pískovce

nerozlišeno

SVRCHNÍ KŘÍDA (maastricht)–spodní oligocén

- z^{wKO} jílovce, zčásti vápnité a pestré, podřízeně pískovce

SVRCHNÍ KŘÍDA (campan)–PALEOCÉN

- z^{KP} pískovce, jílovce, slepence

SVRCHNÍ KŘÍDA (turon)–PALEOCÉN

- z^{wKP} vápnité jílovce, slínovce, pískovce, zčásti glaukonitické

Paleozoikum Českého masivu

Paleozoikum; Karbon předhlubně (karbonský–flyš)

SPODNÍ KARBON (svrchní visé)

- z^{Cv3} převážně laminované břidlice

Paleozoikum; Devon –spodní karbon

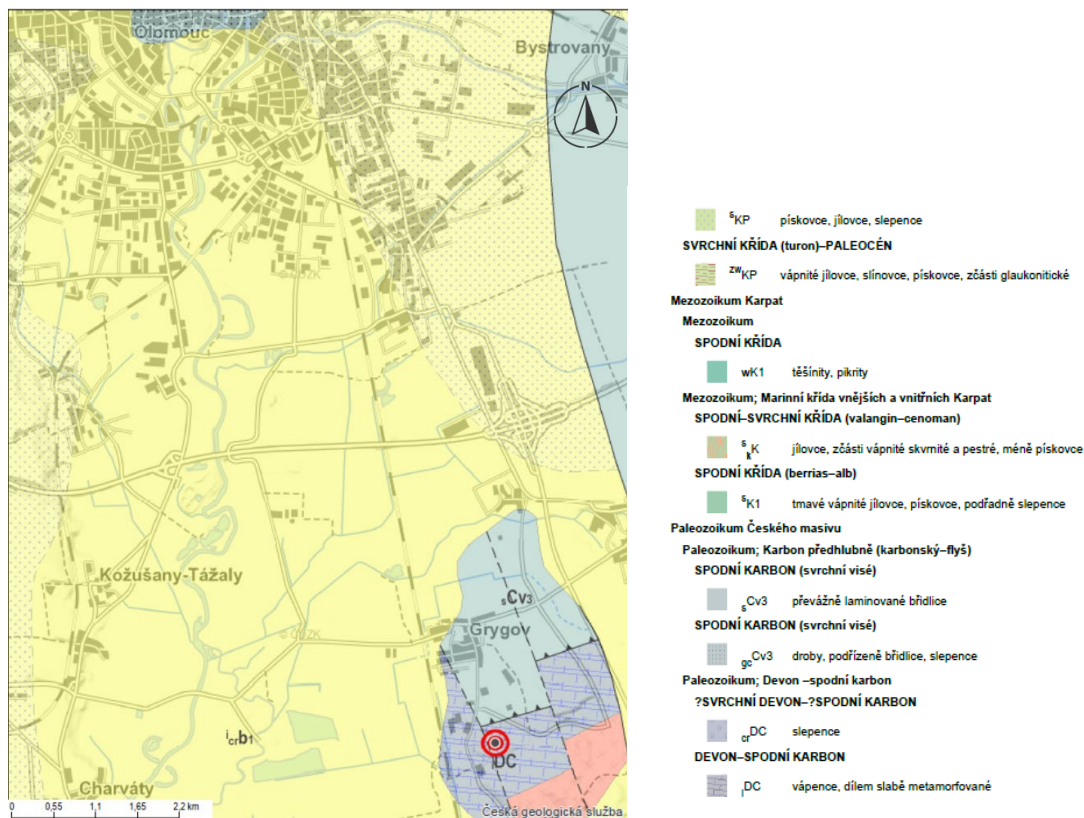
?SVRCHNÍ DEVON–?SPODNÍ KARBON

- z^{DC} slepenec

DEVON–SPODNÍ KARBON

- z^{DC} vápence, dílem slabě metamorfované

Obr.3. Černošín geologická mapa (geology.cz)



Obr.4 .Grygov geologická mapa (geology.cz)

Drahanský vývoj

Devon vystupuje na povrch na Drahanské vrchovině a v Hrubém a Nížkém Jeseníku. Začátek devon je charakterizován velkým sedimentačním prostorem s podílem břidličných, hlubokovodnějších facií (Zukalová a Chlupáč, 1982) a s typickým submarinním vulkanismem tvořený spilit-kerytofyrovou formací. Devonská až spodnokarbonská sedimentace tedy reprezentuje vývojový cyklus na pasivním kontinentálním okraji, který začíná extenzí a končí kompresním uzavřením sedimentační pánve a variskou orogenezí (Hladil 1994). Do tohoto vývoje lze zařadit lokalitu Jesenec, která patří z regionálně-geologického hlediska do konicko-mladečského pruhu.

Drahanský vývoj devonu je typický pro Drahanskou vrchovinu (jižní část konicko-mladečského pruhu, výskyty u Ptení), šternbersko-hornobenešovský pruh, stínavsko-chabičovské souvrství (Buriánek a Streit, 2021). Jedná se o vulkanosedimentární komplex devonského stáří, jehož stavba je důležitá pro pochopení paleozoického vývoje této části Českého masivu.

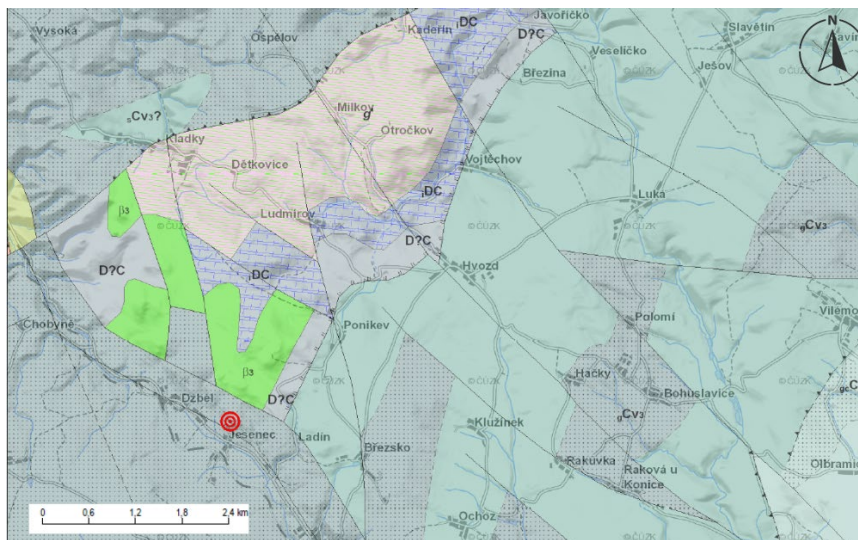
Konicko – mladěčský pruh je vymezen menším výchozem spodnodevonských až spodnokarbonských sedimentů a vulkanitů, které vystupují společně se svým krystalickým

podloží (kladecká jednotka) v severní části Dražanské vrchoviny, obklopený spodnokarbonskými flyšovými sedimenty kulmské facie. Podle Chlupáče a Svobody (1963) se území konicko-mladěčského pruhu, vyskytují tři faciální vývoje: vývoj Moravského krasu, vývoj ludmírov a vývoj dražanský.

V jižní části konicko-mladěčského pruhu začíná litostratigrafický sled dražanského faciálního vývoje klastickými sedimenty (**obr.2**). **Bazální klastika** (patří sem křemenné slepence, pískovce, arkózy, prachovce (Chlupáč et al., 2002). **a stínavsko–chabičovské souvrství** (složeným z anchimetamorfovaných jílových, prachovitých a místy i vápnitých břidlic staří střední devon, eifel) leží transgresivně na krystalinických horninách brunovistulika. V nadloží tohoto komplexu vystupují jesenecké vápence. Převážně se jedná o sled mikritických, biomikritických až biodetritických vápenců, který primárně při bázi obsahuje také polohy písčitých vápenců a vápencových brekcií s korálovou faunou a fosfority (Chlupáč a Svoboda 1963; Bábek 2001A, Bábek 2001B)

Stratigrafický rozsah jeseneckých vápenců byl biostratigraficky zařazen do středního eifelu až svrchního tournai (Bábek et al. 1994, Bábek 2001 a, Bábek 2001b) Jesenecké vápence nejsou z litostratigrafického hlediska jednoznačně zařazeny do souvrství. Místy jsou jasně odlišitelné od podloží a nadloží a mohou být chápány jako souvrství, avšak vápence se také prostorově zastupují s produkty podmořského **vulkanismu** a lokálně mají charakter drobných vložek, což může jejich definici snižovat na úroveň členu (Zukalová a Chlupáč 1982). Z tohoto důvodu používáme pro tyto horniny termín jesenecké vápence.

Na profilech byla prokázána přítomnost následujících standardních konodontových zón. Studovaný profil Jesenec náleží do jeseneckých vápenců; jeho stáří odpovídá rozsahu zón *Siphonodella isosticha*– svrchní *Si. crenulata*. V této zóně se objevuje *Si. lobata* Branson a Mehl, *Si. isosticha- obsoleta* sensu Sanderberg et al 1978, které nevystupuje výše než ve spodní části této zóny, a *Gnathodus punctatus* Cooper, který nastupuje ve spodní části zóny *Si. isosticha* – svrchní *Si. crenulata* (Sandberg et al. 1978).



Geologická mapa

Indexy hornin

Tektonické linie

- zlom známý
- - - zlom předpokládaný
- vedlejší násunový (příkrovový) zlom známý

Hranice hornin

- hranice zjištěná
- - - hranice předpokládaná

Horniny

Paleozoikum Českého masivu

Paleozoikum; Karbon předhlubně (karbonský-flyš)

SPODNÍ KARBON (svrchní visé)-SVRCHNÍ KARBON (?spodní namur)

- $_{4}Cv3?$ převážně laminované břidlice
- $_{9}Cv3$ droby často masivní, podřízeně břidlice

Paleozoikum; Devon –spodní karbon

DEVON-?SPODNÍ KARBON

- D7C břidlice, pískovce, vápence

DEVON-SPODNÍ KARBON

- DC vápence, dílem slabě metamorfované

Prekambrické a paleozoické vulkanity a metavulkanity

Prekambríum nerozlišené

PALEOZOIKUM (ordovik–spodní karbon)

- b3 bazalty, bazaltické andesity a jejich alkalické ekvivalenty a tufy, nejvyšš anohimetamorfované

Obr.5. Geologická mapa lokality Jesenec (geology.cz)

Vývoj Moravského krasu

Vývoj Moravského krasu vystupuje na povrch v Moravském krasu a v menším výskytu např. u Hranic. V průběhu devonského období se v Moravském krasu postupně měnilo prostředí, ve kterém sedimenty vznikaly. Na začátku devonu převládala mořská transgrese s občasnými přílivy, která umožňovala vznik mělkovodních sedimentů jako jsou písky, šterky a slepence. Postupem času se však moře prohlubovalo a vytvářelo se hlubší mořské prostředí, kde se ukládaly vápnité usazeniny (Chlupač 2002) Tyto sedimenty se staly základem pro vznik krasových útvarů v Moravském krasu. V devonských sedimentech Moravského krasu lze pozorovat převahu karbonátových sedimentů. V období spodního

karbonu se v Moravském krasu vytvořila řada dalších sedimentárních vrstev, které jsou důležité pro litostratigrafii. Mezi tyto vrstvy patří například facie kulmu, která se skládá z pískovců a jílovců a je charakteristická výskytem fauny a flóry typické pro spodní karbon. Dalšími vrstvami jsou těžební vrstvy, které obsahují uhlí, a vápencové vrstvy s výskytem zkamenělin. Tento vývoj zahrnuje dvě důležité lokality Černotín a Grygov **viz obr.3**.

Stratigrafie vývoje Moravského krasu podle obr. 2 začíná červeně zbarvenými **bazálními klastiky** (Chlupáč 2002). Jde především o křemenné slepence, pískovce, arkózy a prachovce velmi proměnlivé mocnosti. Svým červeným zbarvením bývají označovány jako „facie Old Redu“ (Kalvoda et al. 2002). Bazální devonská klastika vznikla splavováním horninového materiálu z okolní pevniny v období teplého klimatu (Musil et al. 1993). Staří devonských bazálních klastik se pohybuje od stupních od eifel až do givet. V nadloží bazálních klastik vystupuje **macošské souvrství**, které reprezentuje mělkovodní sedimentaci karbonátové platformy s hojnou korálovou a stromatoporoidovou faunou. Na jeho bázi vystupují vápence **vavřínecké** obsahující čočkovité polohy s bohatou stromatoporoidovou faunou. Ve spodní části se nacházejí vápence **josefovské** – tmavě šedé, písčité, dolomitické vápence s hojnými brachiopody (*Bornhardtina*, *Stringocephalus*). Nad vápenci josefovskými se nacházejí vápence **lažánecké** – tmavě šedé jemnozrnné, lavicovité vápence nebo dolomity s polohami větvnatých stromatoporoidů (*Amphipora*, *Stachyodes*) a korály. (Chlupáč et al. 2002) Posledním členem macošského souvrství jsou světle šedé vápence **vilémovické** s hojnou korálovou a stromatoporoideovou faunou. V nadloží macošského souvrství leží **líšeňské souvrství**, které se dělí na tři členy: hádko-říčské vápence, křtinské vápence a hněvotínské vápence

Hádko-říčské vápence jsou tvořeny převážně šedými až šedobílými, jemnozrnnými až střednězrnnými vápenci, které obsahují zkameněliny. Vápence jsou často silně zvrasněné a lámavé. Stáří těchto vápenců je svrchní devon až spodní karbon.

Křtinské vápence jsou většinou světle šedé až bílé, jemnozrnné až středně zrnité vápence s vložkami jílovitých břidlic a pískovců. Vápence obsahují bohatou faunu zkamenělin, zejména korálů, ramenonožců a mlžů. Stáří těchto vápenců je svrchní devon až spodní karbon.

Hněvotínské vápence jsou šedé, střednězrnné až hrubozrnné vápence, které obsahují vložky jílovitých břidlic a pískovců. (Musil et al. 2003) Vápence obsahují také fosilie, zejména ramenonožců a korálů. Stáří těchto vápenců je spodní karbon až svrchní devon. Vzácně se objevuje slabá silicifikace a krystalky dolomitu. Mezerní jílovitá hmota je většinou

šedá až tmavě šedá, místy pestře zelenavě a fialově zbarvená, se slabou příměsí klastického křemenného prachu. Koncem stupně famen a začátkem tournai, jsou pozorovatelné břidlice. Lokalita Černotín ve kře Maleníku spadá do plástevnatých (hněvotínských) vápenců líšeňského souvrství do tohoto souvrství lze zařadit i lokalitu Grygov (Bábek a Sedlák, 2000).

Dle Bábka a Otavy (2006) se v Černotíně setkáváme s plástevnatými hněvotínskými vápenci stáří svrchní famen (? *Pa. marginifera* – *Pa. expansa*), které uzavírají výraznou čočku brekcí s fosfority, stáří střední tournai (*sp. Si. crenulata* až spodní části *Si. isosticha* – *sv. Si. crenulata*), lze taky pozorovat na profilu č.3.

4. Metodika

Metodika se skládá ze třech etap: na začátku proběhla terénní etapa, kdy na vybraných profilech byla provedena základní dokumentace, která zahrnuje popis profilu, identifikace hlavních litologických typů, měření mocnosti vrstev, měření geologickém kompasem a fotodokumentace. Na každém profilu byly odebrány vzorky s vertikálním krokem 5-10cm pro další analýzy. Profily pak byly změřeny terénním gama spektrometrem (GT-30 Super-Spec) pro stanovení celkového dávkového příkonu (nGy/h) obsahu draslíku (%), uranu a thoria (ppm). V etapě laboratorních prací byly odebrané vzorky zváženy s přesností na 0,01g, a byla u nich změřena magnetická susceptibilita na laboratorním kapamůstku (KLY-4). Následně vzorky byly rozemlety vibračním mlýnem na prášek pro účely prvkové analýzy metodou energiově-disperzní rentgenové fluorescence (EDXRF) pomocí přístroje Innov-X Delta. Ve třetí etapě, byla získaná data zpracována metodami statistiky jedné proměnné a dvou proměnných a následně graficky zpracována pomocí programů Adobe Illustrator a Microsoft Excel.

4.2 Gamaspektrometrie

Gamaspektrometrie je radiometrická geofyzikální metoda, která slouží ke kvalitativní a kvantitativní vyhodnocení energetického spektra γ záření (IAEA 2003). Spektrum gamazáření je analyzováno přístrojem nazývaným *gamaspektrometr*. Získaná spektra se přepočítávají na koncentrace K, U a Th na základě kalibrace – porovnání spektra se spektrem získaným z radioaktivního materiálu o známých koncentracích K, U a Th (Bábek 2013).

Výsledkem měření jsou koncentrace draslíku vyjádřené v procentech (%), vyjádření uranu a thoria v ppm, z naměřených koncentrací lze spočítat hodnotu tzv. computed gama-

ray(CGR), které díky odlišnému geochemickému chování uranu zohledňuje pouze prvkové koncentrace draslíku a thoria. Podle Rider 1999, CGR se vypočítá podle vzorce:

$$\text{CGR} = 16.32 * \text{K}(\%) + 3.93 * \text{Th}(\text{ppm}).$$

Měření gamaspektrometrie probíhalo přímo v terénu na profilech Jesenec, Černotín a Grygov. Použit byl přístroj (GT-30 Super-spec, GT-31 BGO Super-Spec). Doba měření vrstev každém bodě byla 120 vteřin.

4.3. Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita je bezrozměrná veličina, která vyjadřuje míru magnetizace materiálu v magnetickém poli. MS lze vyjadřovat vícero způsoby: objemová, hmotnostně specifická, teplotní závislá, frekvenčně závislá susceptibilita a případně jako tenzor magnetické susceptibility (Bábek 2013)

Měření magnetické susceptibility probíhá formou aplikace vnějšího magnetického pole na vzorek, u kterého je následně zaznamenána změna magnetismu, zapříčiněná působícím polem. Hodnota magnetické susceptibility se uvádí v jednotkách SI (Dolníček a Sulovský, 2013). Tato práce je zaměřena především na měření hmotnostně specifické magnetické susceptibility. U přístroje, a začátku se měřila magnetická susceptibilita plastového nosiče s polypropylenovým sáčkem, která se pak odečítá od měřené susceptibility vzorků. Vzorky byly jednotlivě vkládány do plastového nosiče a po zaznění signálu vloženy do přístroje a po opětovném zaznění signálů vytáhnout. Pro získání spolehlivých výsledků je důležitý objem vzorku, ideálně 11 cm³. Pokud je objem menší, lze výsledky normalizovat na hmotnostní základě pro vzájemné porovnání pomocí uvedeného vztahu (Jensen, Mackintosh 1991):

$$\chi [\text{m}^3 \times \text{kg}^{-1}] = \text{K}[\text{SI}] * 10 / \text{m}[\text{g}] / 1000$$

4.4. EDXRF analýza

Energiově disperzní rentgenová fluorescence (z anglického Energy Dispersive X-Ray Fluorescence, EDXRF) (Dolníček a Sulovský 2013) je analytická metoda založena na zachycení sekundárního rentgenového záření, které bylo emitováno vzorkem pomocí budícího

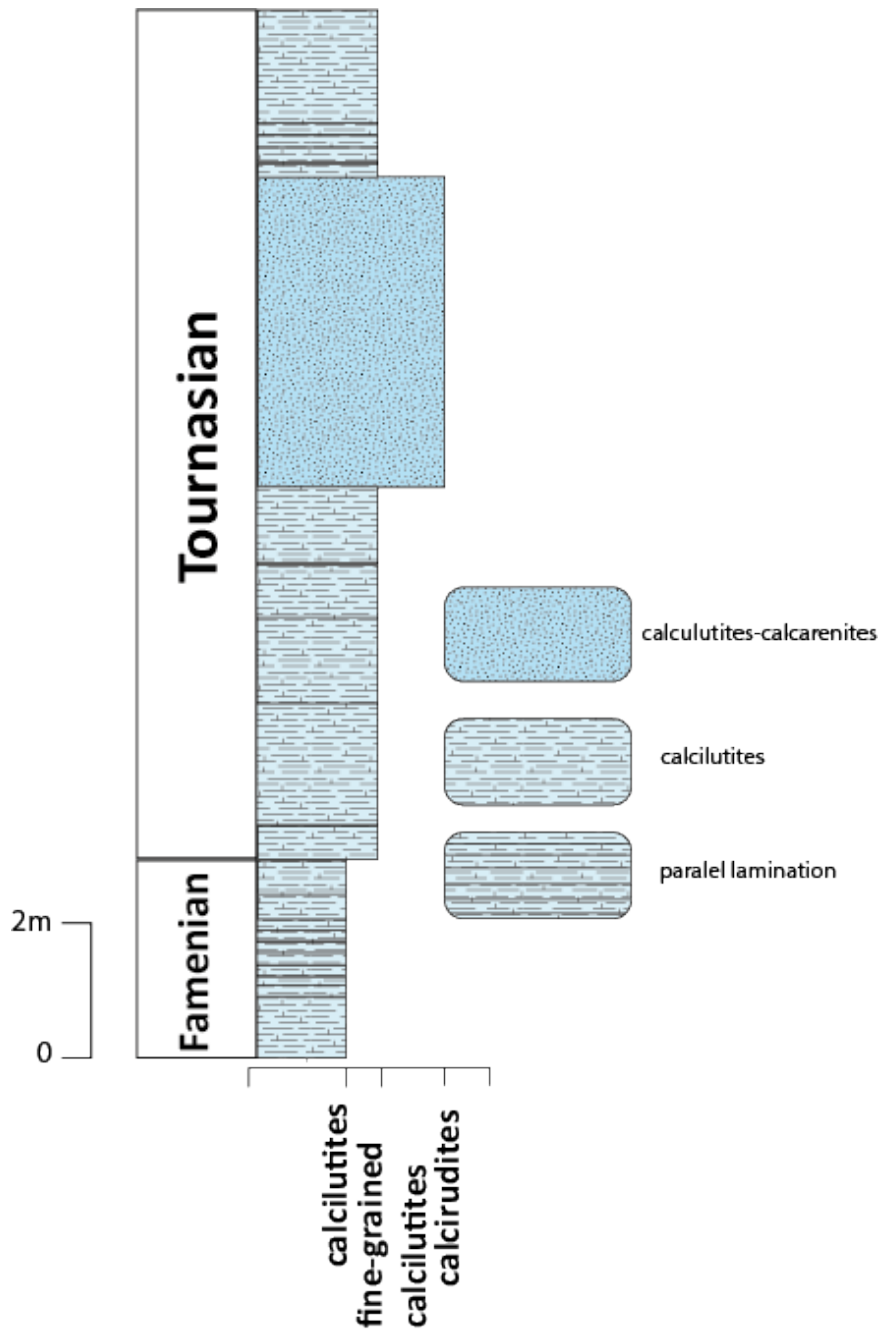
primárního polychromatického rentgenového záření (Shackley 2011). XRF jedna z nejpoužívanějších metod, je přesná, levná a netrvá dlouho na zpracování vzorku (Shackley 2011).

Před prací s touto metodou, je třeba vzorek upravit v případě, jestli je to hrubozrnější hornina je třeba vzorek rozpráškovat. Vzorky byly nadrceny a rozetřeny na analytickou jemnost a v kyvetách s Mylarovou fólií analyzovány laboratorním EDXRF analyzátozem DELTA (Innov-X, Inc., USA) v měřicím modu GEOCHEM s dobou měření 2 x 120s. Zde byly změřeny následující prvky: Al, Si, P, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr., Zr, Pb.

5. Výsledky

5.1. Jesenec – Litologie

Litologie a mocnosti vrstev studovaného profilu jsou zobrazeny na obr. 6, celková naměřená mocnost profilu je 14,5 m. Vzorky na laboratorní analýzy byly odebrány krokem 0,5 metru. Chronostratigrafické zařazení je převzato z Bábka (2001). Báze profilu je charakterizována tenkými deskovitými jemnozrnnými kalciarenity (vrstvy o mocnosti 4 cm). Svrchní část fámenských vápenců 4 až 6 m je tvořena třemi faciemi: 1) světle-šedé, paralelně laminované nebo masivní kalcilutity až jemnozrnné kalciarenity, 2) světlé, jemnozrnné kalciarenity (dobře rozříděné wakestones/floatstones) s krinoidy a masivní texturou, a 3) hrubozrnné kalciarenity (wakestones/packstones) s masivní texturou a ojedinělými úlomky fosforitů. Ve spodní fámenské části profilu jsou facie uloženy vertikálně a tvoří parasekvence. Začátek tournai tvoří vrstvu až 2 m tmavě-šedých vápenců s masivní texturou. V intervalu 8 m až 12 m jsou pozorovatelné horniny svrchního famenu. Ve svrchní části tournai je střídání tmavě-šedých a světle šedých vápenců.



Obr. 6. Jesenec-Litologie profilu lokality.



Obr.7. Profil Jesenec (stav k 11.11.2022; vrstevní plochy jsou naznačeny čárkovanou čarou; na fotografii je



uvedena přibližná pozice hranice devon/karbon)

Obr.8. Jemnozrná vápence.



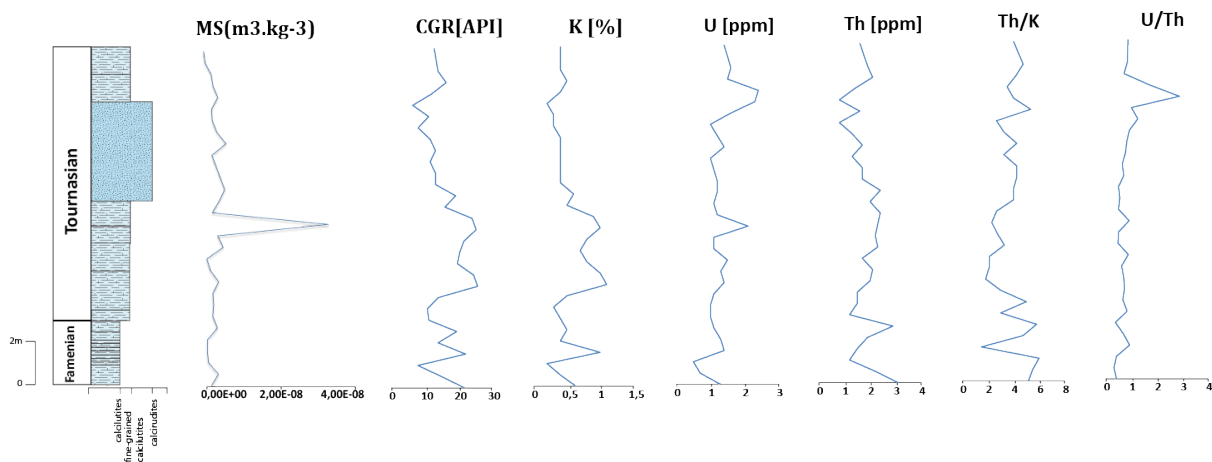
Obr.9. Hrubozrná vápence.

Jesenec – gamaspektrometrie:

V průběhu terénního výzkumu bylo změřeno 28 gamaspektrometrických bodů. Profily byly měřeny vertikálním krokem 0,5m. Průměrné hodnoty naměřených koncentrací K, Th, U, a hodnot CGR jsou:

Hodnoty **K** dosahují minimálních hodnot 0,2 % ve výšce 1 m, maxima koncentrací draslíku lze pozorovat ve výšce 4,5m, kde hodnoty jsou 1,1 %. Hodnoty **Th** dosahují minimálních

hodnot 0,8 ppm ve výšce 11,5 m, maxima koncentrací thoria lze pozorovat ve výšce 1 m, kde hodnoty jsou 3,1 ppm. Hodnoty U dosahují minimálních hodnot 0,5 ppm ve výšce 3 m, maxima koncentrací uranu lze pozorovat ve výšce 13 m, kde hodnoty jsou 2,4 ppm. Hodnoty CRG dosahují minimálních hodnot ve výšce 12,5 m s hodnotami 6,4API, maxima hodnot, lze pozorovat ve výšce 4,5 m s hodnotami 25,8API. Vypočítaný medián je 15,7API.



Obr.10. Profil Jesenec – křivky gama spektrometrií a magnetické susceptibility

Jesenec – magnetická susceptibilita

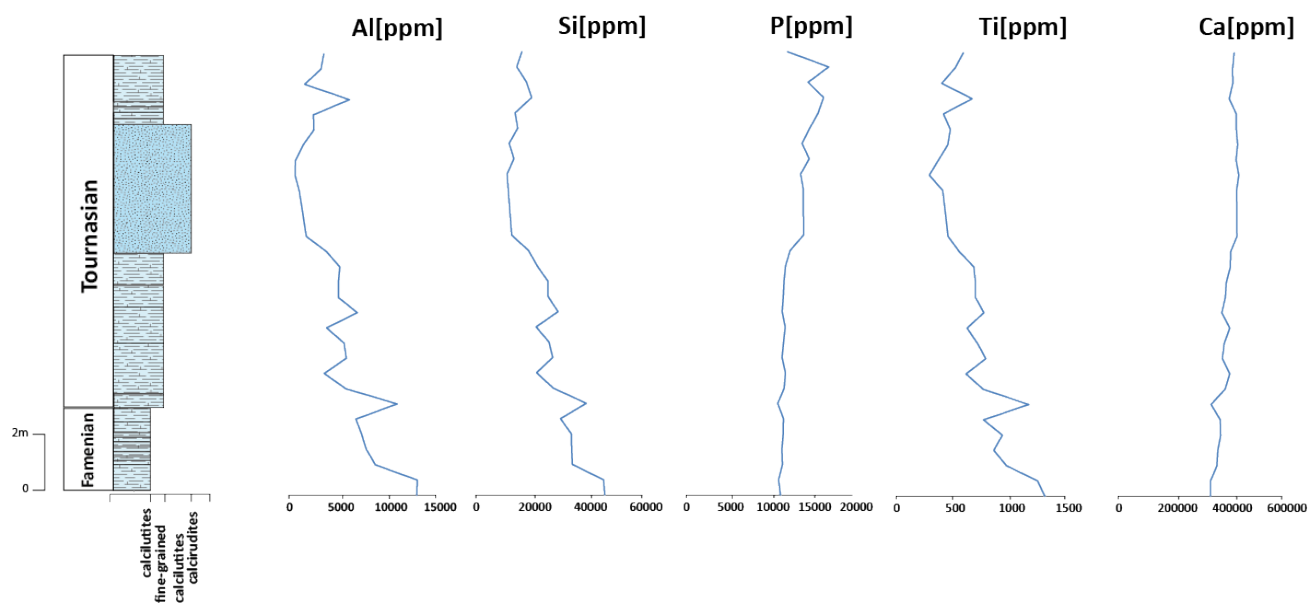
V průběhu měření magnetické susceptibility bylo změřeno a zváženo 28 bodů. Průměr hodnot tohoto profilu se pohybuje $2,04E-09 \text{ m}^3.\text{kg}^{-3}$, maxima hodnot, lze pozorovat v 7 m s hodnotou $3,80E-08 \text{ m}^3.\text{kg}^{-3}$, minima hodnot je dosaženo v bodu 14,5 m; s hodnotami $-2,62E-09 \text{ m}^3.\text{kg}^{-3}$. MS jeseneckých vápenců lze pozorovat velký skok v intervalu 7-8 m.

Jesenec – geochemická charakteristika

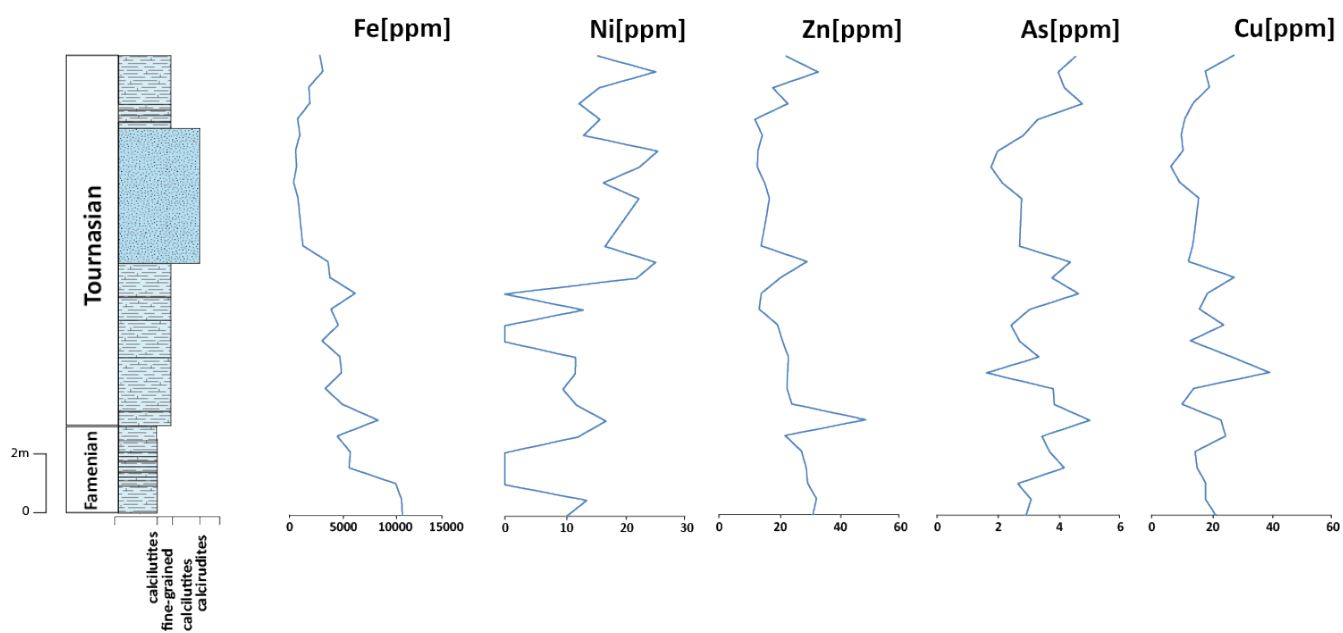
Na prvkovou analýzu bylo nadrcené celkem 28 vzorků. Nejvyšších koncentrací dosahuje Ca, který je vázán v kalcitu (CaCO_3) (maximum 44,73 hm.% a minimum 33,17 hm%).

Rozsah koncentrací a průměrné koncentrace jednotlivých prvků na profilu jsou následující: Al (min: 665 ppm, max: 1309 ppm, průměr: 5162 ppm), Si (min: 11416 ppm, max: 465 ppm, průměr: 24254 ppm), P (min: 11034 ppm, max: 1716 ppm, průměr: 12894 ppm), Ca (min: 3378 ppm max: 4413 ppm, průměr: 399074 ppm), Ti (min: 296 ppm, max: 1321 ppm, průměr: 695 ppm), Fe (min: 444 ppm, max: 11114 ppm, průměr: 4279 ppm), Ni (min: 0 ppm, max: 25 ppm, průměr: 13 ppm), Cu (min: 7 ppm, max: 39 ppm, průměr: 17 ppm), Zn (min: 12 ppm, max: 49 ppm, průměr: 23 ppm), As (min: 1 ppm, max: 5 ppm, průměr: 3 ppm), Rb (min: 4 ppm, max: 48 ppm, průměr: 20 ppm), Sr (min: 131 ppm, max: 408 ppm, průměr:

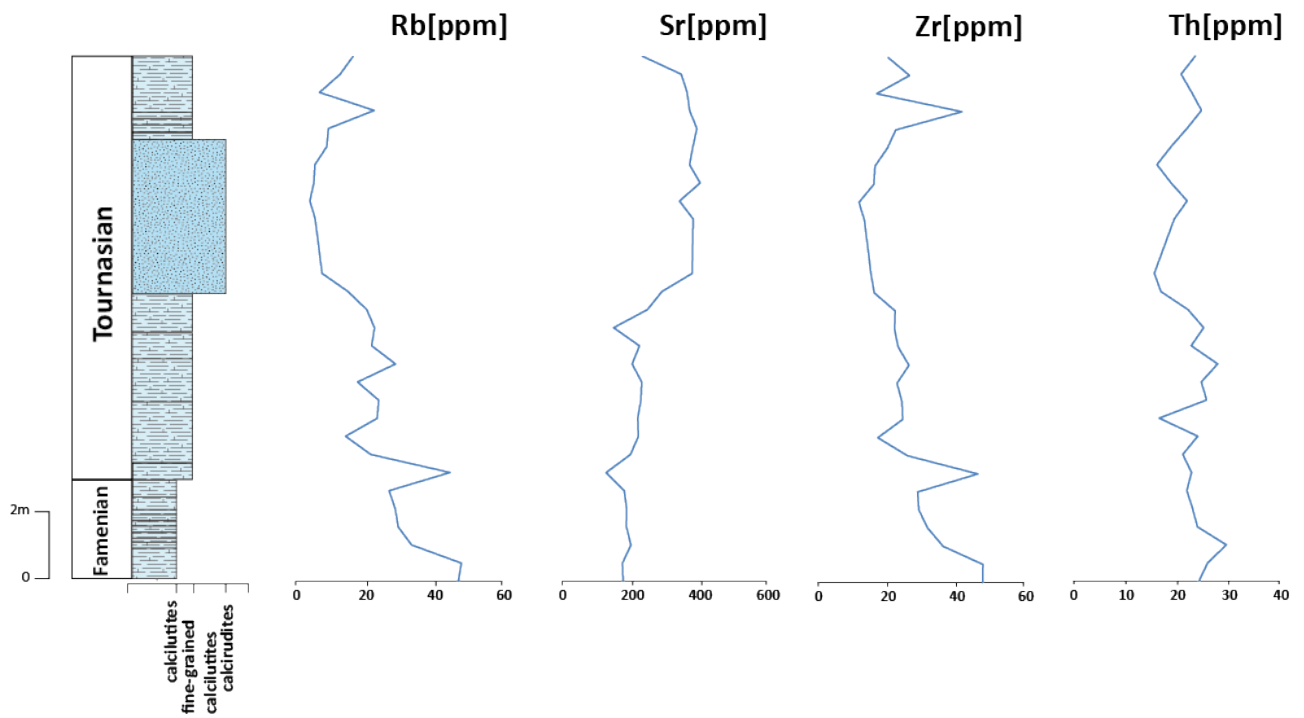
21 ppm), Zr (min: 12 ppm, max: 48 ppm, průměr: 26 ppm), Th (min: 16 ppm, max: 30 ppm, průměr: 22 ppm)



Obr.11. Profil Jesenec – křivky prvkových koncentrací Al, Si, P, Ti, Ca



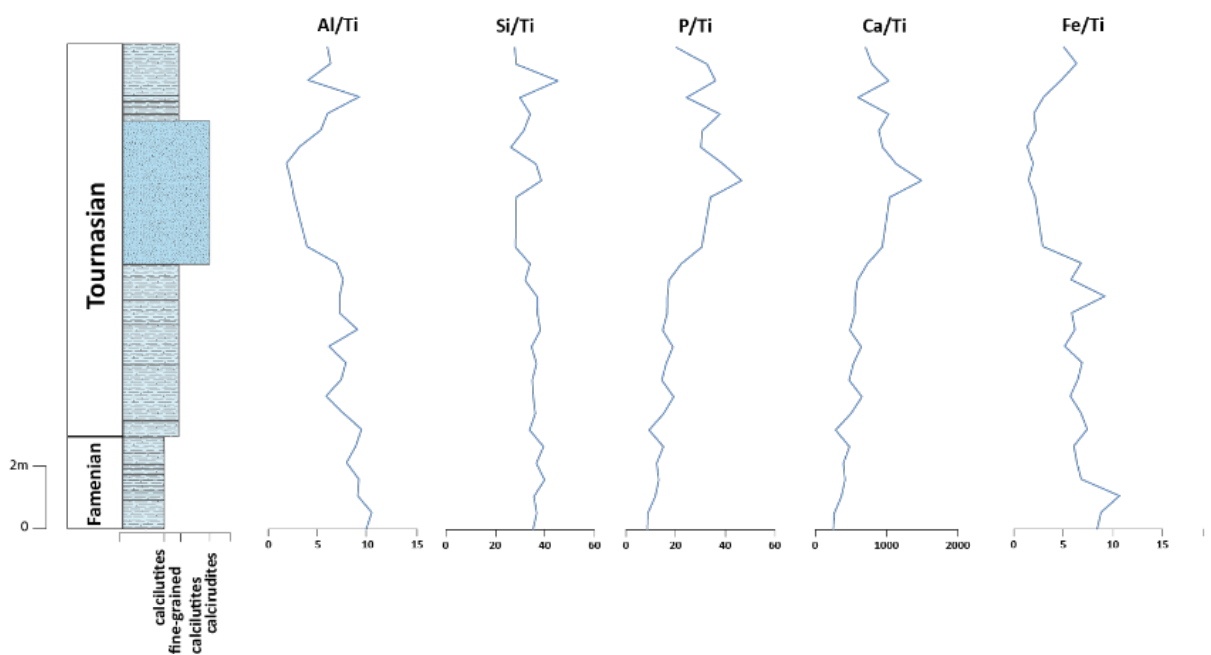
Obr.12. Profil Jesenec – křivky prvkových koncentrací Fe, Ni, Zn, As, Cu

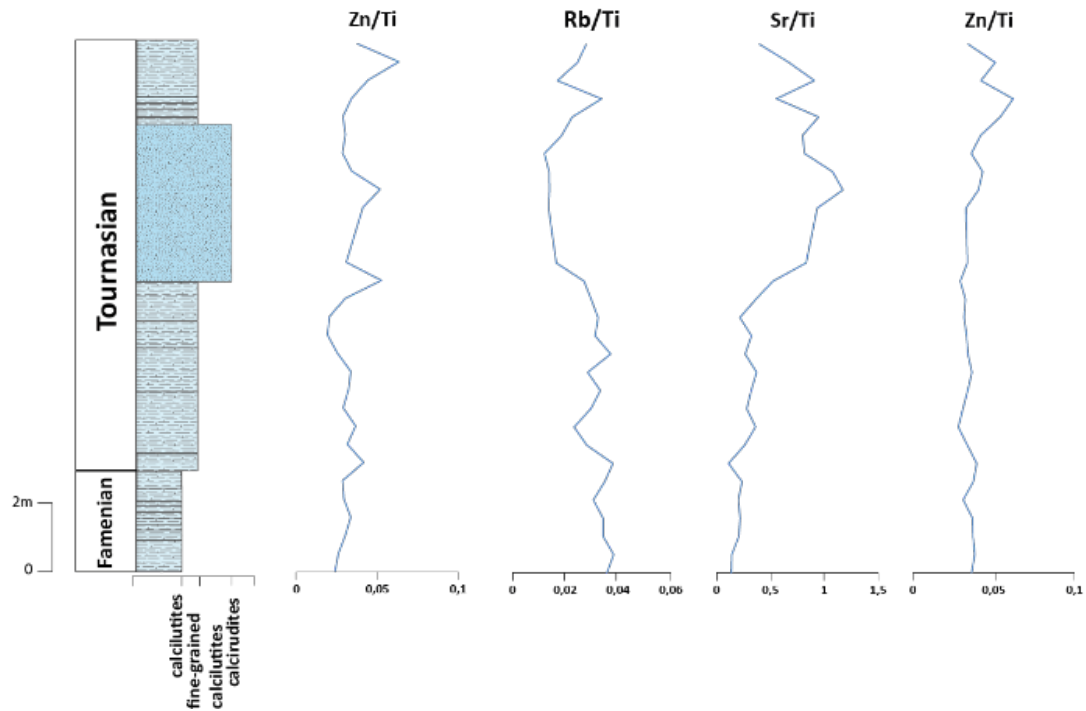


Obr.13. Profil Jesenec – křivky prvkových koncentrací Rb, Sr, Zr, Th

Podle grafu 12 můžeme pozorovat vertikální distribuci prvků a prvkových poměrů v horninových vrstvách. Na ose x je znázorněna hloubka v metrech a na ose y je uvedena koncentrace jednotlivých prvků.

Z grafu lze vyčíst, že při změně jeseneckých vápenců na hrubozrnější a tmavší, klesnou hodnoty Al, P, Ti, Fe, Zn, Rb a Zr.

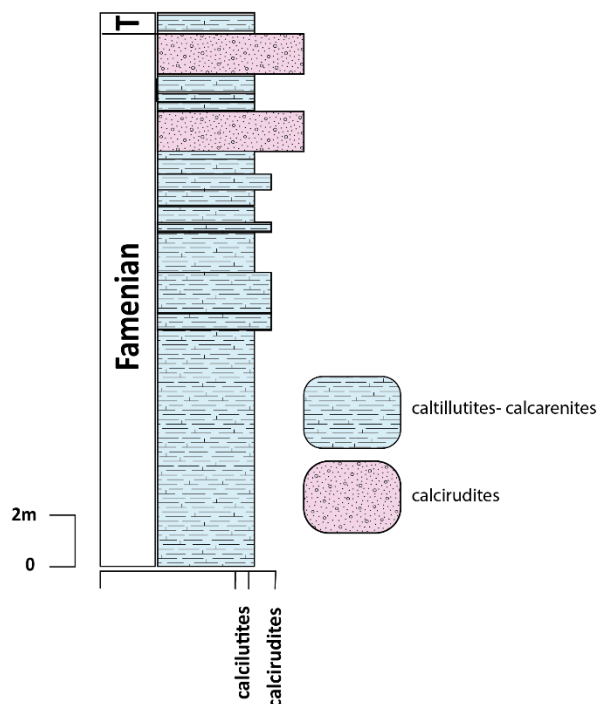




Obr.14. Profil Jesenec – vybrané prvkové poměry normalizované na litogenní Ti

5.2. Grygov

Mocnost studovaného profilu je 15 m, viz obr. 15. Vrstvy v intervalu 1 až 6 m jsou charakterizovány světlošedými, velmi jemnozrnnými kalciarenity s masivní až plošně-paralelní texturou. V intervalu 6 až 10 m lze pozorovat mocnější lavicovité vrstvy s pozitivní gradací intraklastů a litoklastů kalciruditu s plošně-paralelní, občas masivní texturou. Vrstvy od 10 m do 15 m jsou charakterizovány deskovitými až lavicovitými vrstvami kalciarenitu s plošně-paralelní a občas masivní texturou.

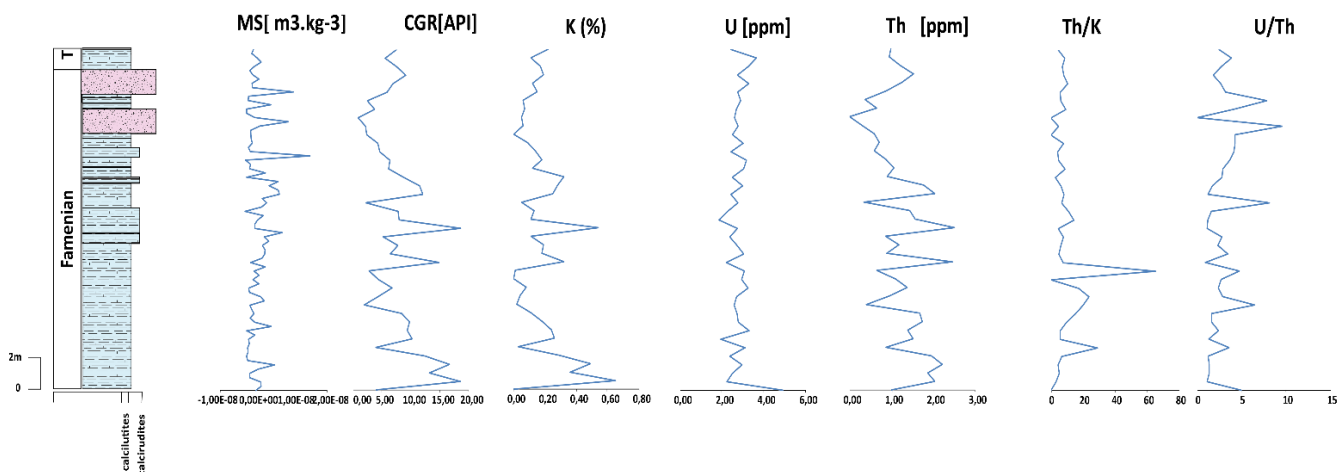


Obr.15. Profil Grygov-Litologie profilu lokality

Grygov – gamaspektrometrie

V průběhu terénního výzkumu bylo změřeno 41 gamaspektrometrických bodů. Profily byly měřeny vertikálním krokem 0,5m.

Hodnoty **K** dosahují minimálních hodnot 0,2 % ve výšce 1 m, maxima koncentrací draslíku lze pozorovat ve výšce 4,5m, kde hodnoty jsou 1,1 %. Hodnoty **Th** dosahují minimálních hodnot 0,8ppm ve výšce 11,5 m, maxima koncentrací draslíku lze pozorovat ve výšce 2,5m, kde hodnoty jsou 2,9 ppm. Hodnoty **U** dosahují minimálních hodnot 0,5 ppm ve výšce 1 m, maxima koncentrací draslíku lze pozorovat ve výšce 13 m, kde hodnoty jsou 2,4 ppm. Hodnoty **CRG** dosahují minimálních hodnot ve výšce 7 m s hodnotami 6,4API, maxima hodnot, lze pozorovat ve výšce 4,5 m s hodnotami 25,8API. Vypočítaný medián je 14,0API.



Obr.16. Grygov –měření magnetické susceptibilitě a gamaspektrometrií.

Hodnoty v lokalitě Grygov jsou odlišné než na předchozí lokalitě, pozorujeme zde větší výkyvy křivek CGR, K a Th. Na **obr.16** lze pozorovat podobné průběhy křivek CGR, K a Th. Báze začíná CGR s hodnotami 3,93 API, kde postupně kolísá do výšky 6 m průměrem 10,66 API, pro něj charakteristické calcilutity. Násled je vrstva calciruditu, kterou lze také vidět na křivce CGR s hodnotami 14,89 API, a na něj vrstva hrubozrnných kalkarenitu s dalším větším píkem. Spodní karbon je charakterizovan hodnotami CGR v průměru 5,24 API.

Grygov – magnetická susceptibilita

V průběhu měření magnetické susceptibilitě bylo změřeno a zváženo 41 vzorků.

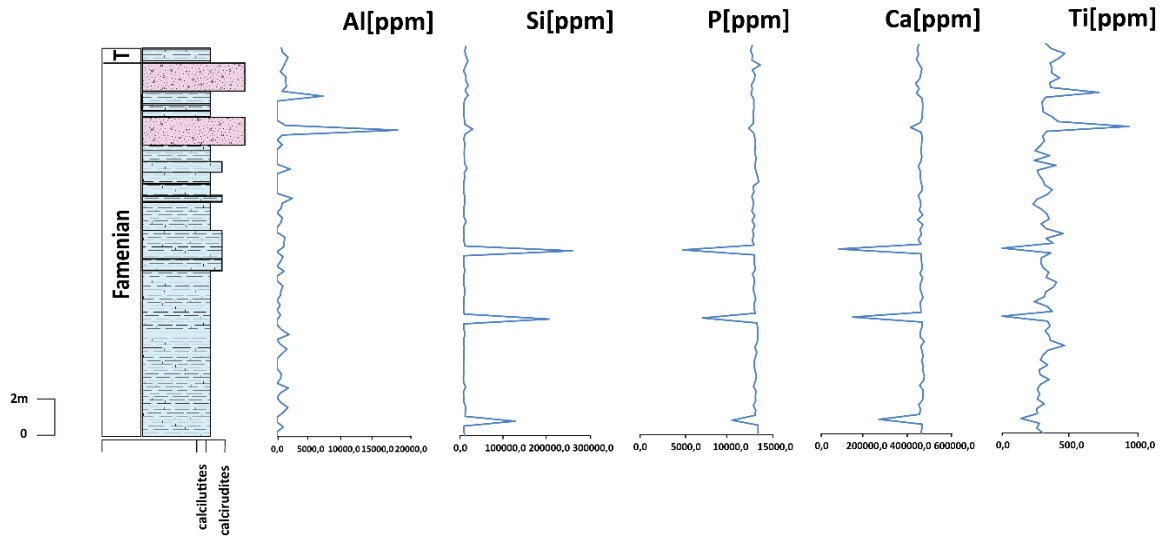
Průměr hodnot tohoto profilu se pohybuje $2,04E-09 \text{ m}^3.\text{kg}^{-3}$, maxima hodnot, lze pozorovat v 7 m s hodnotou $3,80E-08 \text{ m}^3.\text{kg}^{-3}$, minimálních hodnot je dosaženo v bodu 14,5 m ($2,62E-09 \text{ m}^3.\text{kg}^{-3}$).

Grygov – geochemická charakteristika

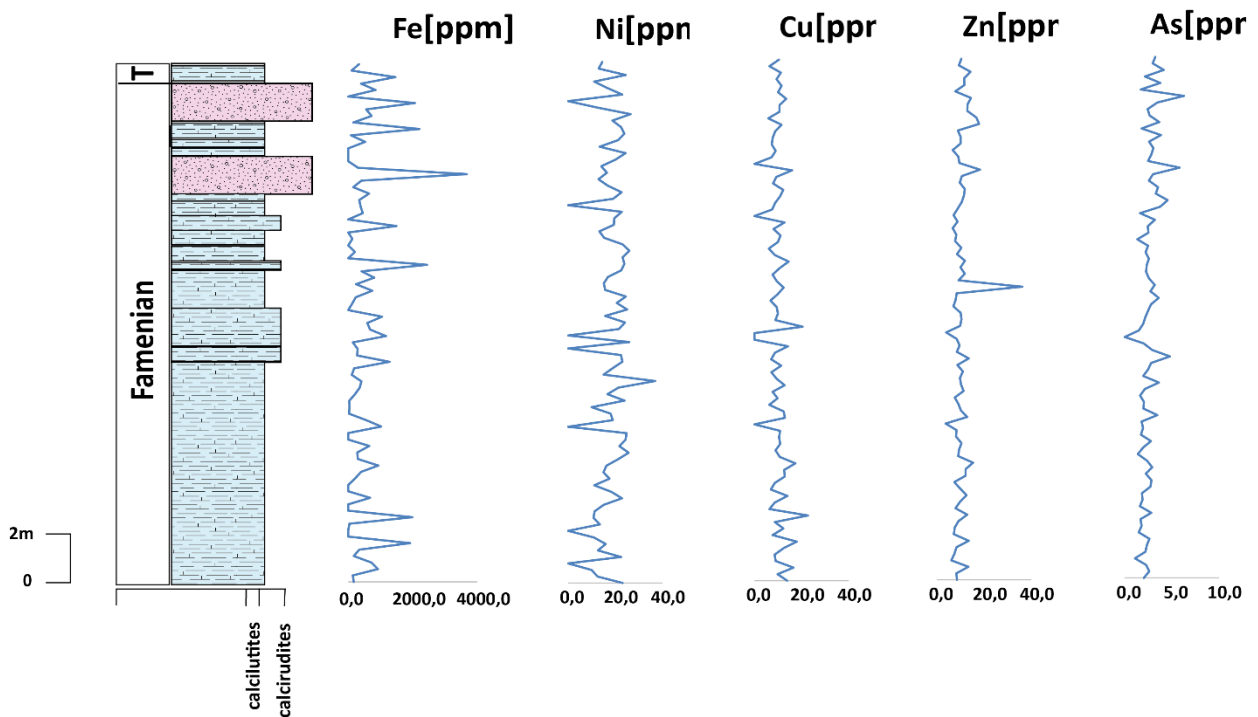
Na prvkovou analýzu bylo nadrcené celkem 41 vzorků. Nejvyšších koncentrací dosahuje Ca, který je vázán v kalcitu (CaCO_3). Koncentrace Ca dosahují maxima 47,27 hm.% a minima 8,2049 hm.%.

Rozsah koncentrací a průměrné koncentrace jednotlivých prvků na profilu jsou následující: Al (min 0 ppm, max: 18013 ppm, průměr: 819 ppm), Si (min: 9029 ppm, max: 257610 ppm, průměr: 18565 ppm), P (min: 4832 ppm max: 13517 ppm průměr: 12678 ppm), Ca (min: 82049 % max: 472736 %, průměr: 445521 %), Ti (min: 138 ppm, max: 929 ppm, průměr:

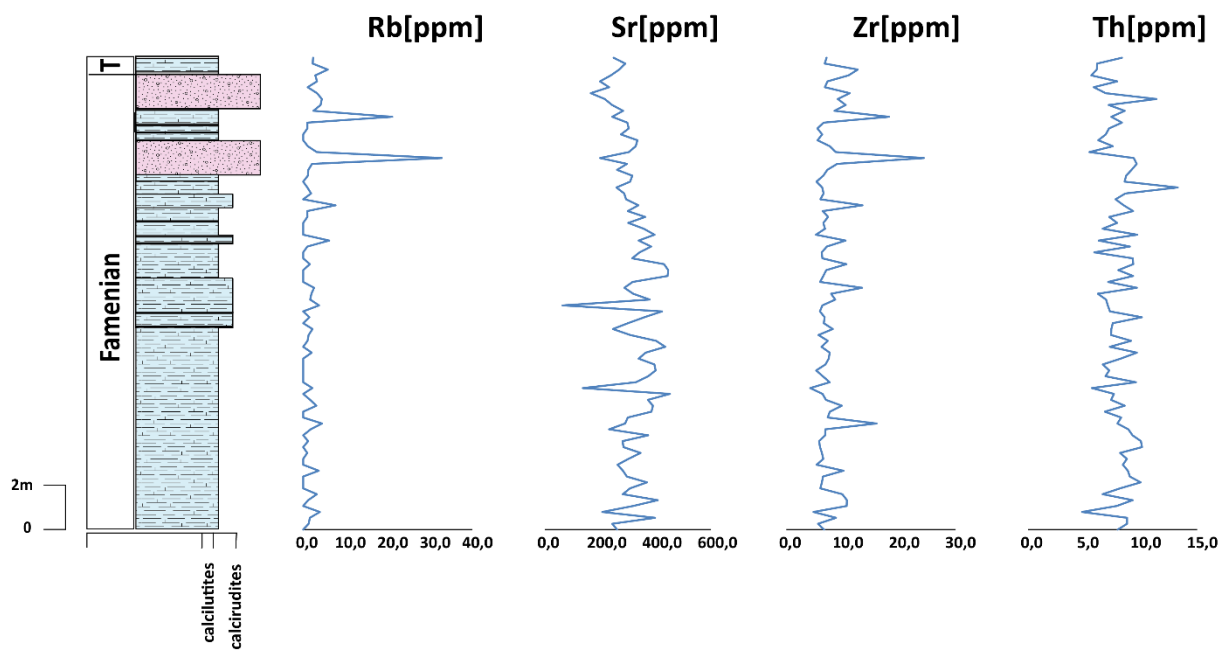
332 ppm), Fe (min: 0 ppm, max: 3685 ppm, průměr: 505 ppm), Ni (min: 0 ppm, max: 36,9 ppm, průměr: 17 ppm), Cu (min: 0 ppm, max: 23 ppm, průměr: 10 ppm), Zn (min: 3 ppm, max: 36, ppm, průměr: 10 ppm), As (min: 0 ppm, max: 6 ppm, průměr: 2 ppm), Rb (min: 0 ppm, max: 33 ppm, průměr: 2 ppm), Sr (min: 64 ppm, max: 452 ppm, průměr: 312 ppm), Zr (min: 4 ppm, max: 24 ppm, průměr: 8 ppm).



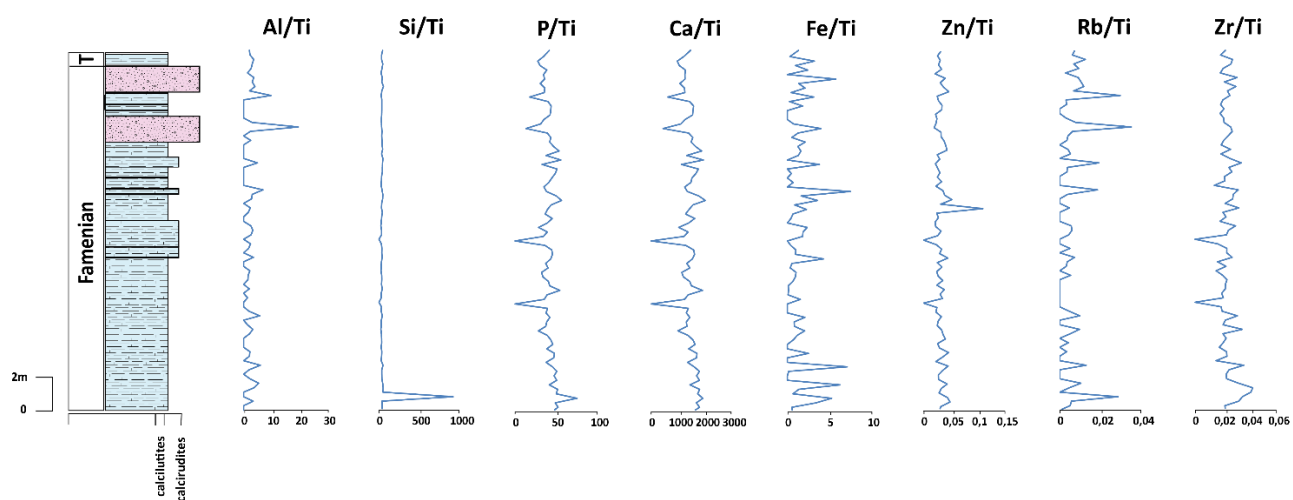
Obr.17. Grygov – křivky prvkových koncentrací Al, Si, P, Ti, Ca



Obr.18. Grygov – křivky prvkových koncentrací Fe, Ni, Cu, Zn, As



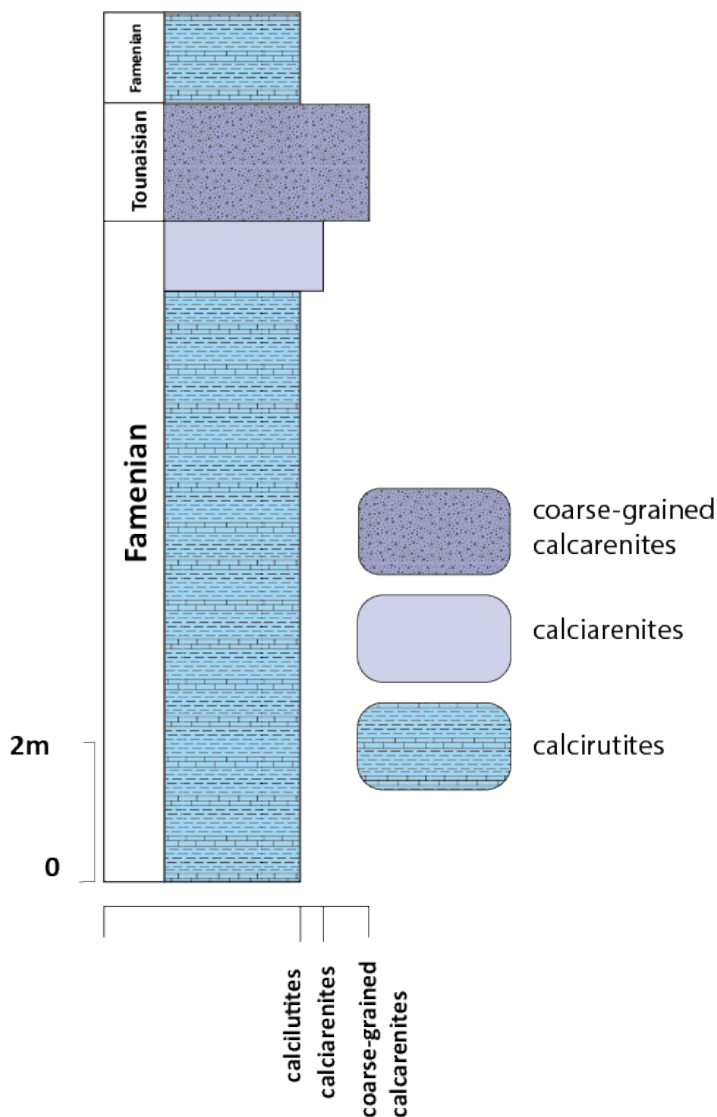
Obr.19. Grygov – křivky prvkových koncentrací Rb, Sr, Zr, Th



Obr.20. Grygov – vybrané prvkové poměry normalizované na litogenní Ti

5.3. Černotín

Mocnost studovaného profilu je 15 m. Vrstvy v intervalu 1 až 8.8 m jsou charakterizované světlešedými velmi jemnozrnnými kalcilitity, s plošně-paralelní texturou („plástevnatá“ textura hněvotínských vápenců/ foliace), na 3 m profilu vystupují čocky do 4 mm vyplněné kalcitem. Ve výši 8,8 nad bází začínají převládat tmavě-šedé až černé kalcarenity v kterých foliace už není pozorovatelná a končí na 9.2 m, kde hornina je silicifikovaná. Směrem do nadloží lze od 9.4 m až do 11,4m, pozorovat organodetritické vápence s množstvím úlomků krinoidů. Začátkem 11.4 m je pozorovatelný přechod jemnozrnných vápenců do hrubozrnných vápenců s krinoidy, který odpovídá biostratigraficky doložené hranici famen/tournai (Bábek a Otava, 2006). Na báze profilu 11,4-12,5m vystupují podobné vrstvy, které jsme pozorovali na v intervalu 1 až 8,8m.



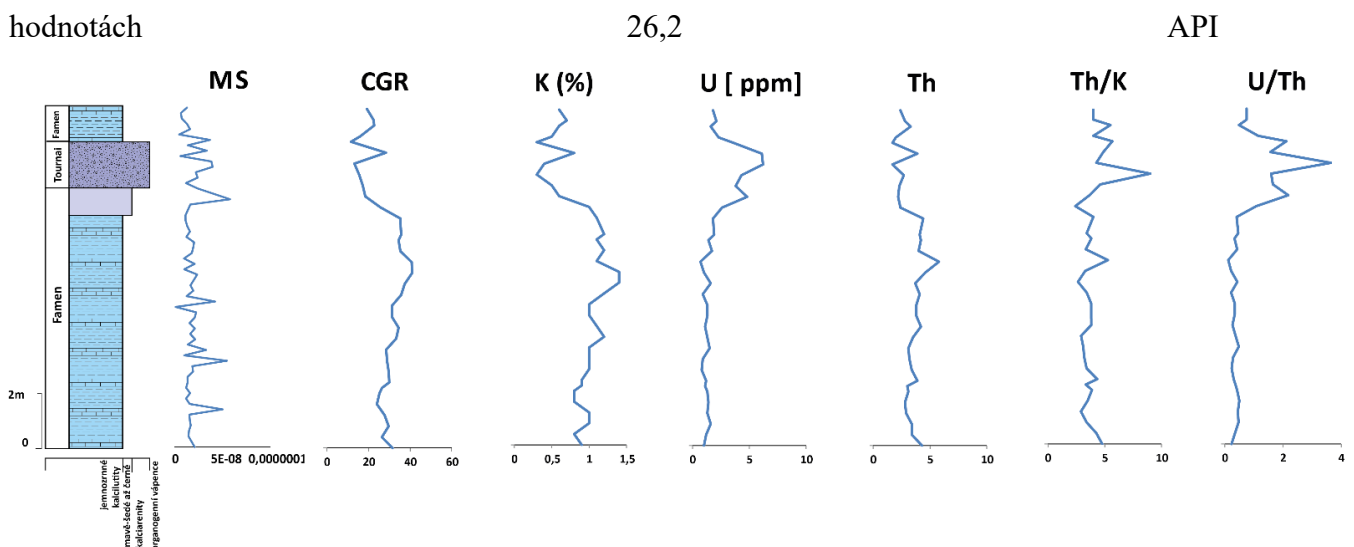
Obr.21. Černotín – Litologický profil

Černotín – gamaspektrometrie

V průběhu terénního výzkumu bylo změřeno 15 gama spektrometrických bodů. Profily byly měřeny vertikálním krokem 0,5m.

Hodnoty **K** dosahují minimální hodnota 0,3 % ve výšce 11,2 m, maxima koncentrací draslíku lze pozorovat ve výšce 6,4m, kde hodnoty jsou 1,4 %. Hodnoty **Th** dosahují minimálních hodnot 1,7 ppm ve výšce 11,2 m, maxima koncentrací draslíku lze pozorovat ve výšce 6,8 m, kde hodnoty jsou 5,8 ppm. Hodnoty **U** dosahují minimálních hodnot 0,7 ppm ve výšce 6,8 m, maxima koncentrací uranu lze pozorovat ve výšce 10,4 m, kde hodnoty jsou 6,2 ppm. Hodnoty **CRG** dosahují minimálních hodnot ve výšce 7 m s hodnotami 6,4API, maxima hodnot, lze pozorovat ve výšce 4,5 m s hodnotami 25,8API. Vypočítaný medián je 14,0API.

Na rozdíl od předchozích dvou lokalit svrchní devon této lokality poměrně klidný začátek charakterizován kalciluty v průměru 31,65 API. Na bázi tmavě šedých kalciazenitů CGR klesají a dále pohybují se v průměrných hodnotách 16,1 API. Hranice devon/karbon zde charakterizována velkým skokem všech hodnot U a CGR, kde hodnoty uranu jsou 6,1 ppm a hodnoty CGR 53,5 API. Sedimentace dále pokračuje famenskými kalcilutity v průměrných hodnotách



Obr.22. Černotín – křivky magnetické susceptibility a gama spektrometrií

Černotín – magnetická susceptibilita

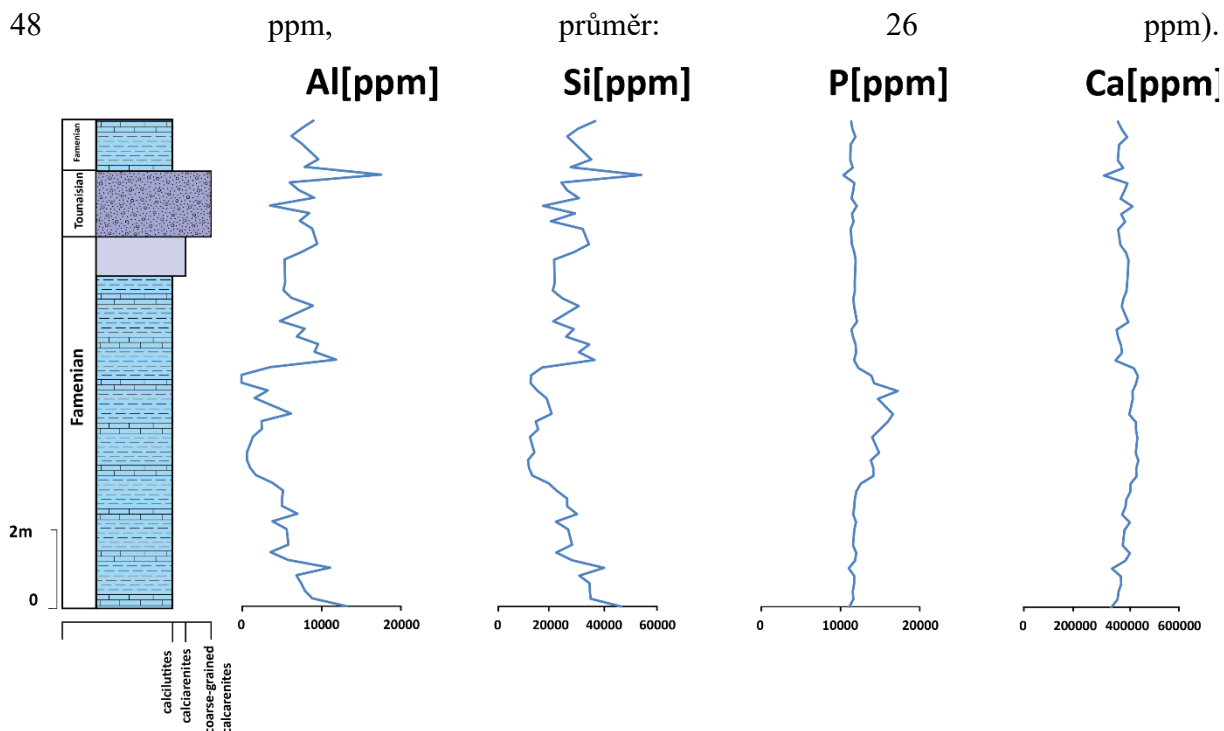
V průběhu měření magnetické susceptibility bylo zvaženo 15 bodů.

Průměr hodnot tohoto profilu se pohybuje 2,04E-09, maxima hodnot, lze pozorovat v 7 m s hodnotou 3,80E-08, minima hodnot je dosaženo v bodu 14,5 m s hodnotami -2,62E-09.

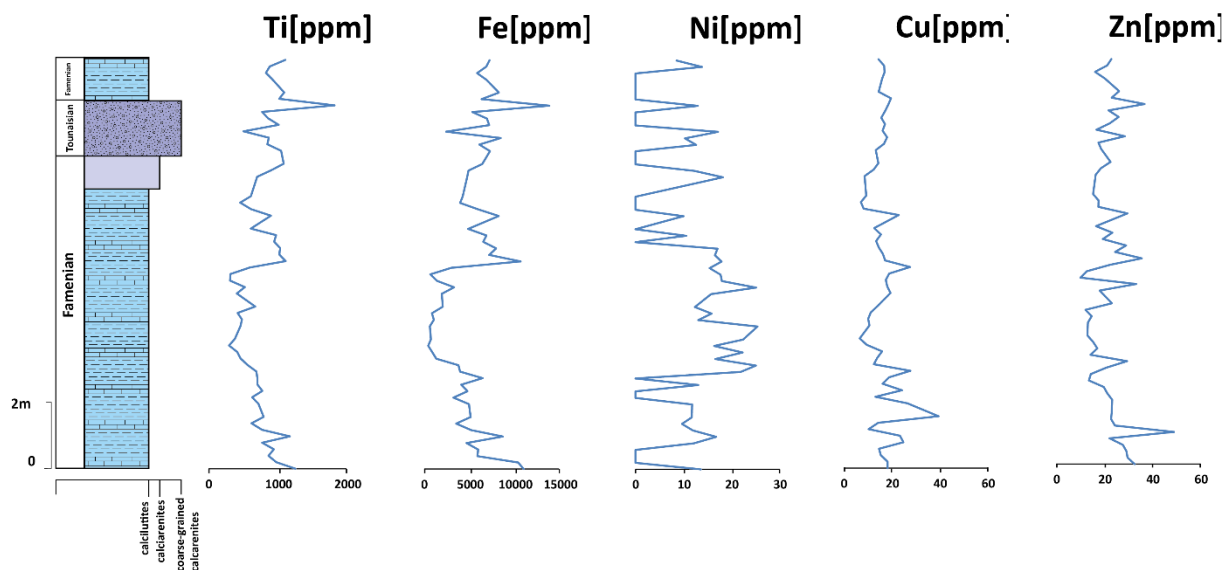
MS jeseneckých vápenců lze pozorovat velký skok v intervalu 7-8 m.

Černotín – geochemická charakteristika

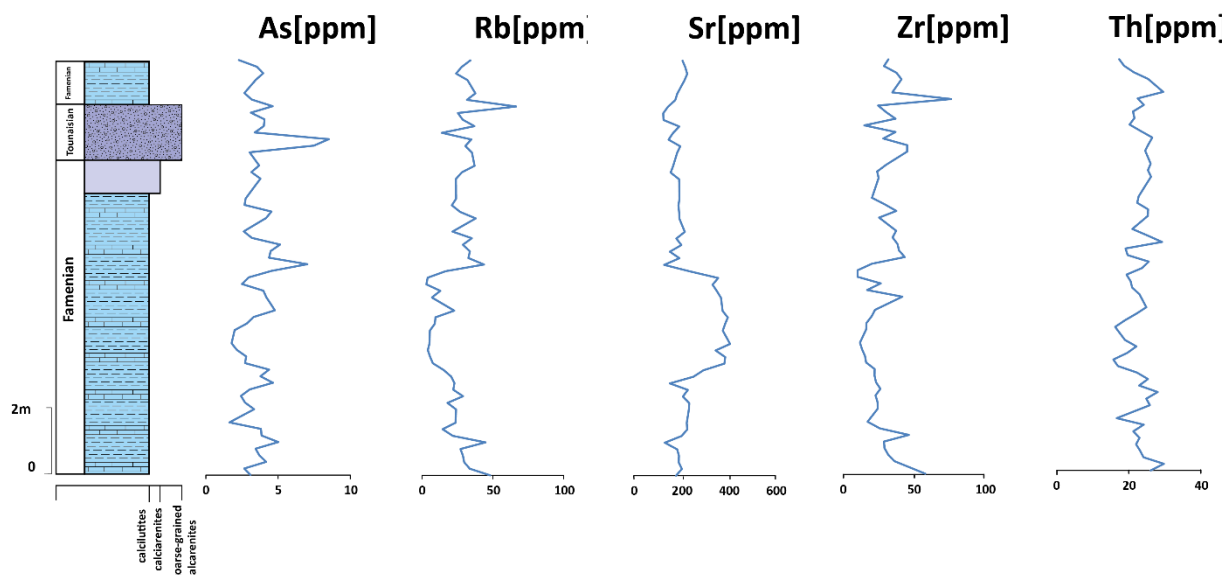
Na prvkovou analýzu bylo nadrženo celkem 30 vzorků. Nejvyšších koncentrací dosahuje Ca, který je vázán v kalcitu (CaCO_3). Koncentrace Ca dosahují maxima 45 hm.% a minima 33 hm.%. Rozsah koncentrací a průměrné koncentrace jednotlivých prvků na profilu jsou následující: Al (min: 66 ppm, max: 14 ppm, průměr: 51 ppm), Si (min: 12 ppm, max: 46 ppm, průměr: 2469 ppm), P (min: 11 ppm, max: 17 ppm, průměr: 13 ppm), Ca (min: 33 ppm, max: 45 ppm, průměr: 40 ppm), Ti (min: 29 ppm, max: 13 ppm, průměr: 69 ppm), Fe (min: 44 ppm, max: 11 ppm, průměr: 42 ppm), Ni (min: 0 ppm, max: 25 ppm, průměr: 12 ppm), Cu (min: 7 ppm, max: 39 ppm, průměr: 18 ppm), Zn (min: 12 ppm, max: 49 ppm, průměr: 18 ppm), As (min: 2 ppm, max: 5 ppm, průměr: 3 ppm), Rb (min: 4 ppm, max: 48 ppm, průměr: 21 ppm), Sr (min: 131 ppm, max: 408 ppm, průměr: 21 ppm), Zr (min: 12 ppm, max: 48 ppm, průměr: 26 ppm).



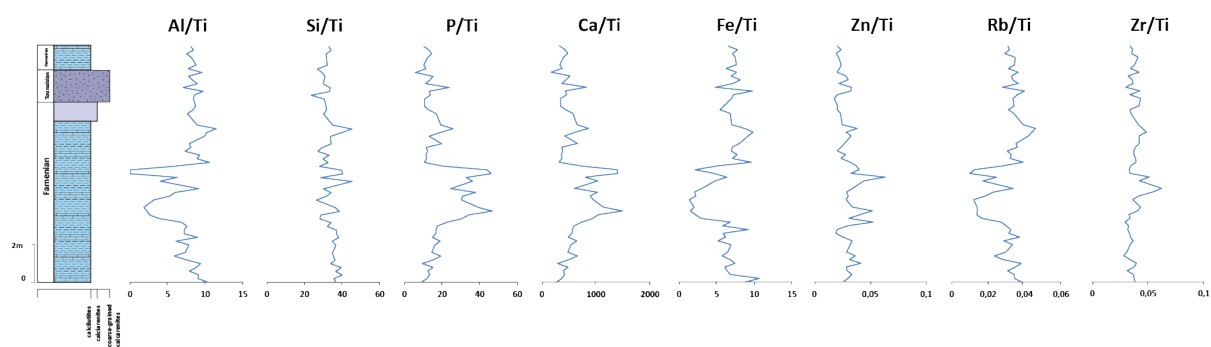
Obr.23. Černotín – křivky prvkových koncentrací Al, Si, P, Ca, Ti



Obr. 24. Černotín – křivky prvkových koncentrací Ti, Fe, Ni, Cu, Zn



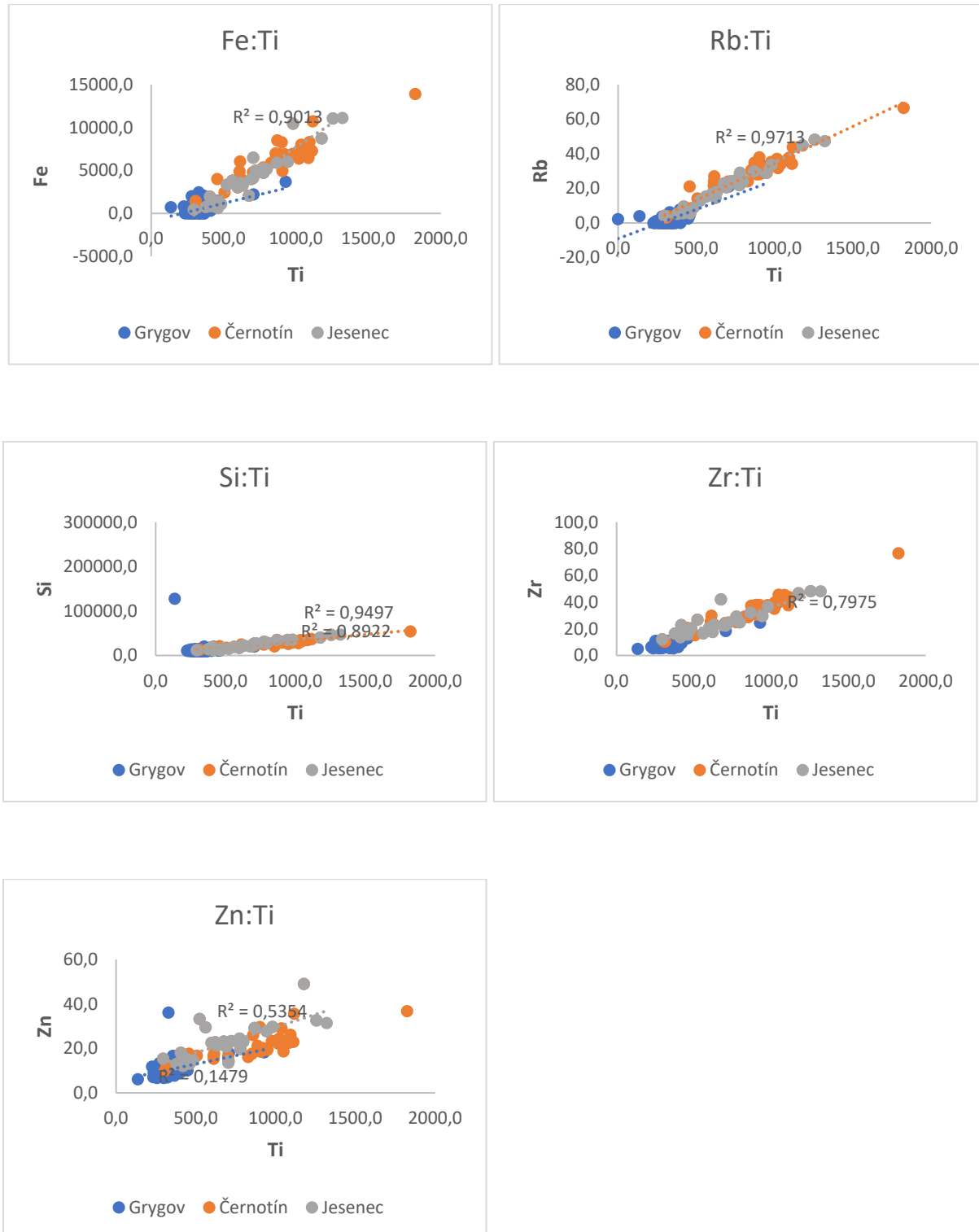
Obr. 25. Černotín – křivky prvkových koncentrací As, Rb, Sr, Zr Th



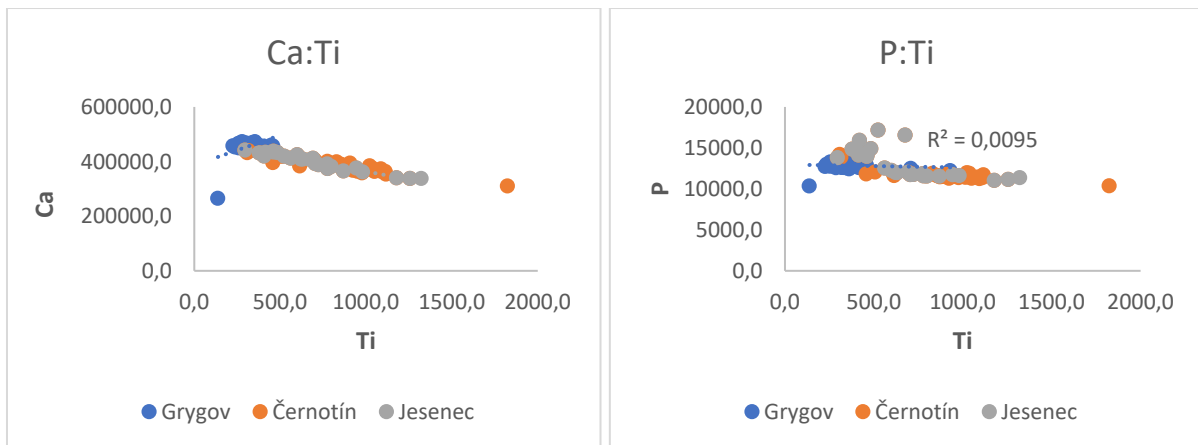
Obr. 26. Černotín – vybrané prvkové poměry normalizované na litogenní Ti

6. Diskuse

6.1 Prvky a možné nosiče geochemického signálu

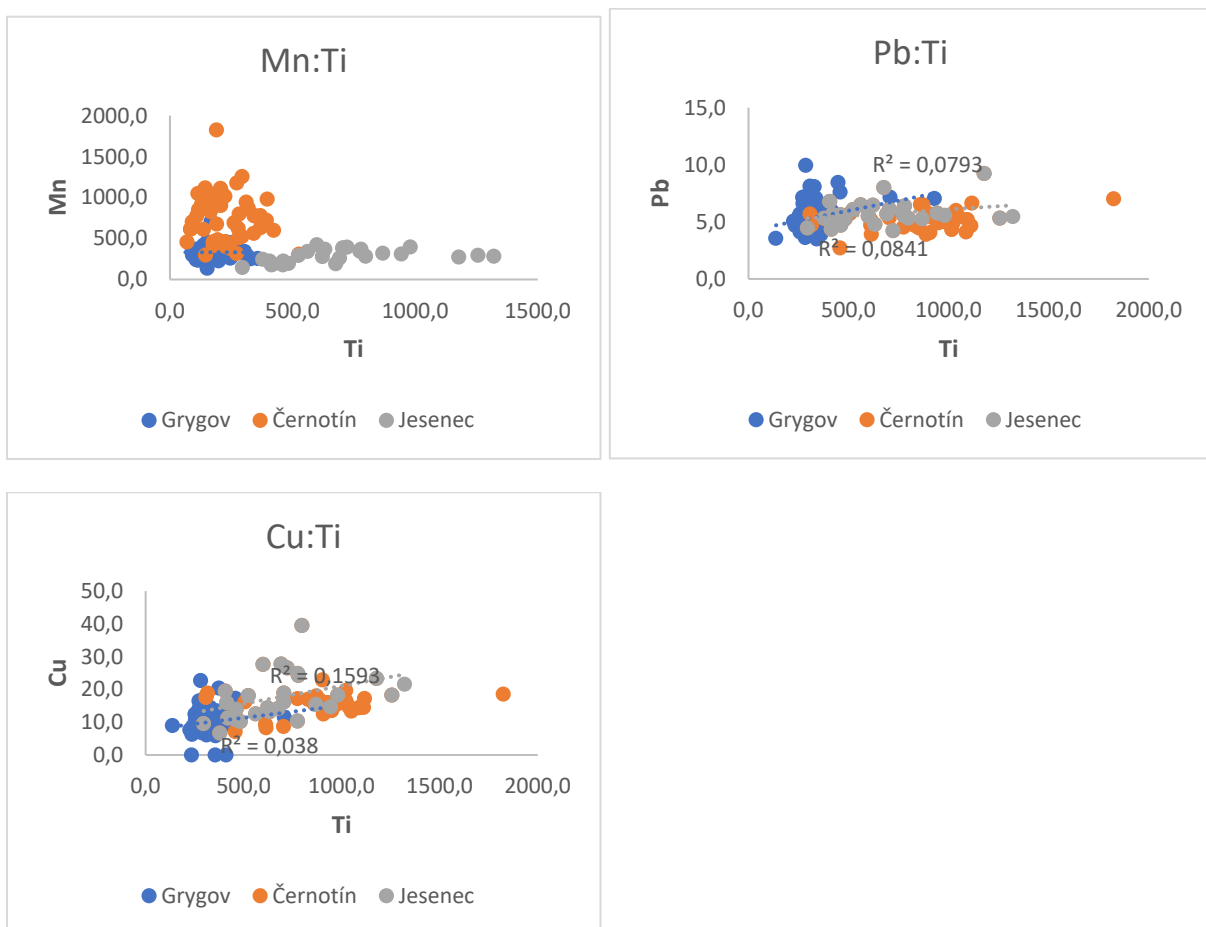


Obr.27. Dvousé diagramy koncentrací vybraných prvků (Rb,Fe,Si, Zr a Zn) na jednotlivých lokalitách s vyjádřením závislosti na litogenním titanu(Ti).



Obr.28. Dvouosé diagramy závislosti koncentrací Ca a P na litogenním Ti; data z jednotlivých lokalit. Povšimněte si statisticky významné negativní korelace

Na obrázku 27 a 28 jsou zobrazeny výsledky prvkových koncentrací pro tři různé lokality: Grygov (modrá), Černotín (červená) a Jesenec (zelená), které jsou založeny na poměrech dvou prvků, Ca:Ti (vápník a titan) a P:Ti (fosfor a titan). Osa x ukazuje na prvek Ti, a y na prvek s kterým to koreluje.



Obr. 29. Dvouosé diagramy koncentrací vybarvných prvků (Mn, Pb a Cu) s vyjádřením jejich závislosti na litogenním Ti. Povšimněte si chybějící korelace mezi prvky.

Shluky bodů v grafu Rb : Ti a koeficienty lineární regrese pro analýzy z profilu Grygov, Jesenec a Černotín poukazují na lineární závislost koncentrací Rb a Ti. Podobné lineární závislosti můžeme pozorovat u diagramů Fe : Ti, Zr : Ti, Si : Ti a Zn : Ti (obr. 27). Tyto lineární závislosti jsou způsobeny společným výskytem zmíněných prvků ve stejných minerálních nosičích. Nosiči Ti, Rb, Al, Fe a Si jsou nejčastěji detritické aluminosilikáty jílové minerály, slídy).

Jelikož všechny měřené profily byly vzorkovány ve vápencových faciích, lze předpokládat, že zmíněné lineární závislosti jsou výsledkem ředění detritických aluminosilikátů hlavní horninotvornou složkou – kalcitem. Vysoké koncentrace Ca (cca 35 až 45 %) tento předpoklad potvrzují. Ředění detritických (alumo)silikátů kalcitem je dále potvrzeno negativní korelací mezi Ca a Ti (obr. 28).

Diagramy na obr. 27 dále ukazují, že data z Černotína a Jesence se překrývají, což znamená, že tyto profily mají podobné chemické složení. Naopak profil Grygov vykazuje výrazně nižší koncentrace, Ti, Rb, Si, Zr, a vyšší koncentrace Ca, tj. že se jedná o velmi čisté vápence s minimem detritické příměsi.

Minerální nosiče signálu

Výše uvedené minerální nosiče signálu představují různé minerály a jejich spojení s určitými chemickými prvky.

1. Kalcit (Ca): Kalcit je minerál složený z uhličitanu vápenatého (CaCO_3). Je to běžná složka sedimentárních hornin jako jsou vápence a mramory. V geochemických studiích je vápník (Ca) často spojován s kalcitem.

2. Jílové minerály / fylosilikáty (illit, sericit, muskovit): Tyto minerály patří do skupiny vrstevnatých silikátů. Jsou důležité pro zaznamenávání geochemických signálů v horninách, protože mohou obsahovat prvky jako hliník (Al), rubidium (Rb), titan (Ti) a křemík (Si). Illit, sericit a muskovit jsou různé formy slíd, které se liší ve svém složení a vzniku.

3. Křemen – rohovec a detritické silikáty: Křemen je jeden z nejrozšířenějších minerálů na zemském povrchu a je téměř čistý oxid křemičitý (SiO_2). Rohovec je druh velmi tvrdé

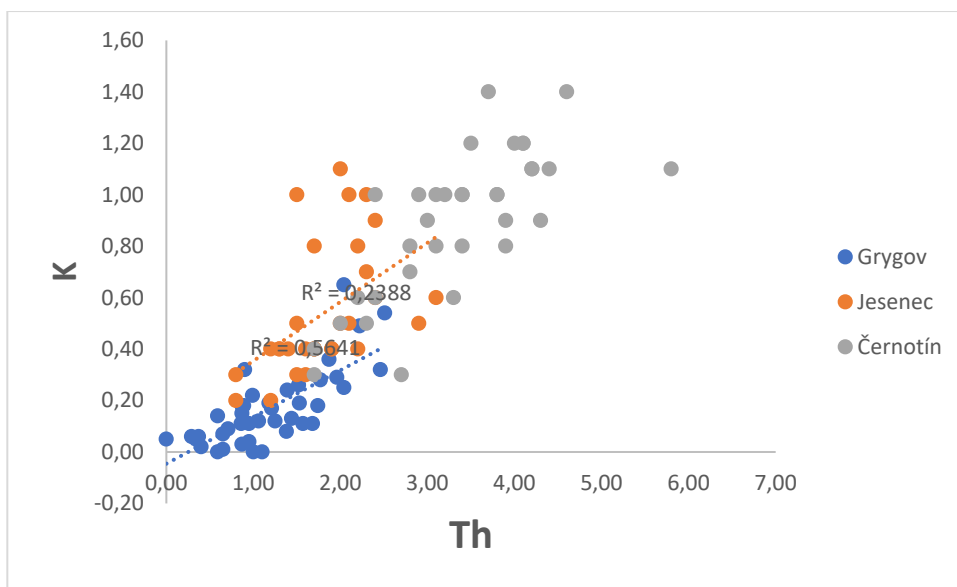
křemenné horniny, která vzniká diagenézí a se často vyskytuje v sedimentárních karbonátových horninách. Křemík je dále obsažen v detritických silikátových minerálech.

4. Zirkon (Zr): Zirkon je minerál obsahující zirkon ($ZrSiO_4$). Je to důležitý minerál pro určování geologického stáří pomocí uran-olovového datování, protože může obsahovat stopové množství uranu.

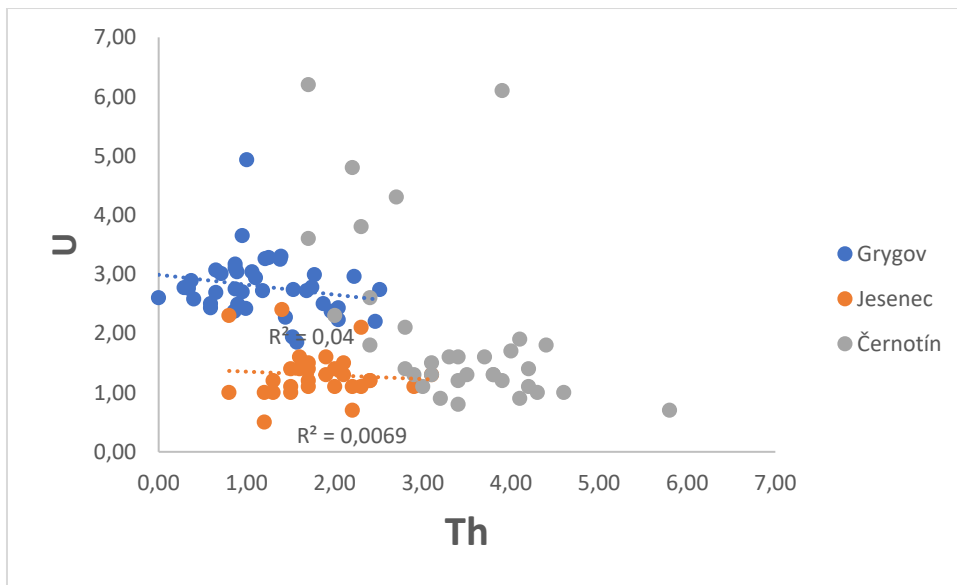
5. Fosfority (P): Fosfority jsou sedimentární horniny bohaté na fosfátové minerály, které obsahují prvek fosfor (P). Jsou důležité jako zdroj fosfátů pro hnojiva.

6. Sekundární minerály Fe (goethit) (Fe): Goethit je hydroxid železnatý ($FeO(OH)$) a patří mezi sekundární minerály, které se tvoří v důsledku chemických změn primárních minerálů. Je indikátorem oxidačních podmínek v horninách a půdách.

6.2. Gama spektrometrie



Obr. 30. Lineární závislost dvou prvků U vůči Th



Obr. 31. Lineární závislost dvou prvků K vůči Th

Následující prvky, které můžeme pozorovat na diagramech K: Th a U: Th (**Obr.30 a Obr.31**) jsou K, Th a U, tyto prvky jsou radioaktivní, minerálním nosičem prvků Th je monazit (vzácný fosfatový minerál), draslík můžeme pozorovat minerálech jako živce (ortoklas), a uranit se projevuje v radioaktivních minerálech jeden z příkladu je Uraninit.

Diagram na **obr.30** nám ukazuje, že lineární závislost dvou radioaktivních prvků U: Th, je negativní korelaci, kde hodnoty Černotín, Grygov a Jesenec. Další diagram s lineární závislosti radioaktivních prvků K: Th ukazují, že tyto prvky hodnoty se pohybují společně ve stejném směru. To znamená, že když se zvýší koncentrace jednoho prvku (například draslíku – K), očekáváme také zvýšení koncentrace druhého prvku (v tomto případě thoria – Th), a naopak, pokles jednoho způsobí pokles druhého.

6.3. Petrofyzikální a geochemická charakteristika intervalu devon/karbon v Evropě

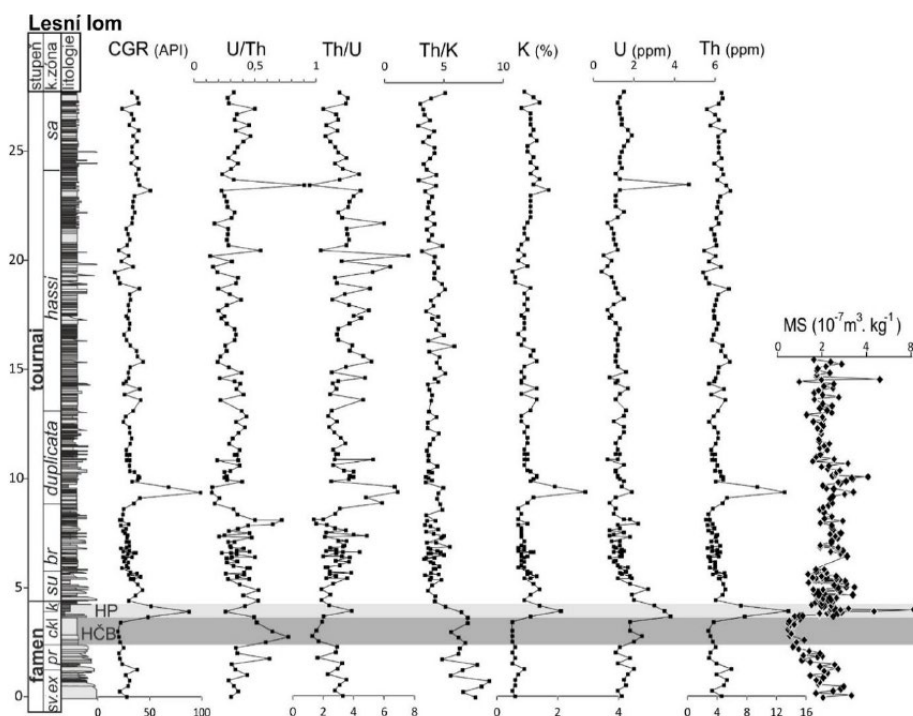
Hranice mezi devonským a karbonským obdobím (D/C hranice) je v geologii důležitým referenčním bodem, který je výzkumníky zkoumán pomocí různých metod, včetně geochemie, gamaspektrometrie a měření magnetické susceptibility. Tyto metody poskytují cenné informace o změnách v prostředí a klimatu, které se odehrály na přelomu těchto dvou geologických period.

Pro tuto bakalářskou práci bylo zvolné tři profily ze zahraničí a Moravského Krasu, jsou to Brno – profil Lesní Lom (**Obr 32**), Rýnské břidličné pohoří (**Obr.33**) a Namursko-Dinantská pánev (**Obr.34**) (Kumpan et al., 2015).

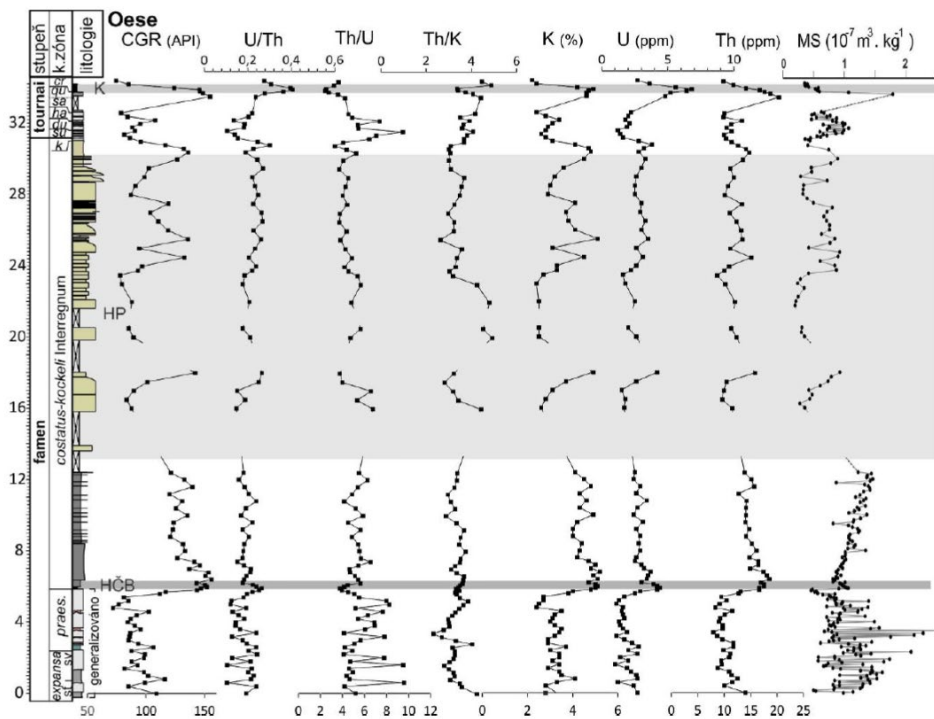
Gamaspektrometrie a magnetická susceptibilita

Pro korelaci profilů Lesní Lom (Moravský kras), Gendron-Celles (Belgie), a Oese v Rýnském břidličné pohoří (německo) s lokalitami Černotín, Grygov a Jesenec má největší potenciál křivka CGR společně s Al, Fe, Rb, Ar, případně Ti. Nízké hodnoty jsou pozorovatelné ve svrchním devonu všech lokalit.

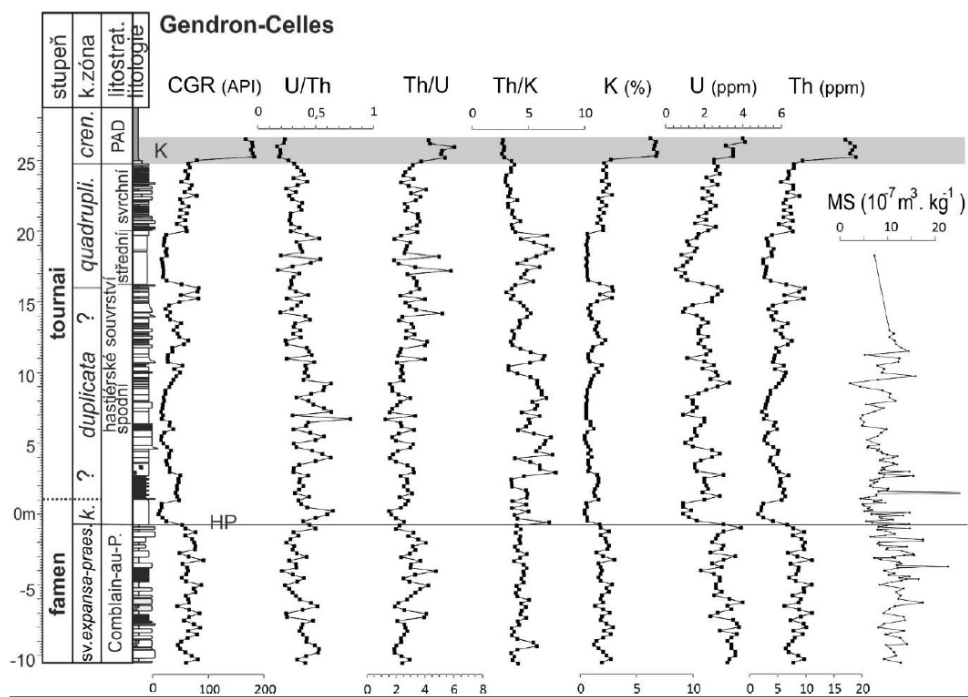
Dalším společným znakem je nárůst křivky U/Th na těchto hranicích. Nejdůležitějším klíčovým bodem je také pohyb MS ve většině lokalit, můžeme pozorovat náhlý skok křivek na hranice D/C, což může souviset s vyšší koncentrací feromagnetických minerálů. Tento nárůst může být spojen s určitými geologickými událostmi nebo procesy, které zvyšují přítomnost feromagnetických minerálů v sedimentech.



Obr.32 Brno – profil Lesní Lom – měření gamaspektrometrie a křivka magnetické susceptibilita (Kumpan et al. 2015)



Obr.33 Rýnské břidličné pohoří, profil Oese – gamaspektrometrické křivky a křivka magnetické susceptibility (Kumpan et al. 2015)



Obr.34 Namursko-Dinantská pánev Profil Gendron-Celles – gamaspektrometrické křivky a křivka magnetické susceptibility (Kumpan et al. 2015)

7. Závěr

Ve studii byly zkoumány terénní hodnoty gamaspektrometrie, magnetické susceptibility a koncentrace prvků ze vzorků tří profilů v moravskoslezském paleozoiku. Tyto profily obsahují různé sedimentární horniny, jako jsou kalciarenity, kalcirudity a kalcilutity, s přítomností krinoidů, fosforitů a tektonické laminace.

Zjištěné korelace mezi hodnotami computed gamma ray (CGR) a koncentracemi K a Th ukazují na vliv biogenního kalcitu na ředění detritických minerálů. Obdobné korelace byly zaznamenány i u prvků Rb, Fe, Si, Zr, Zn a Ti. Naopak, negativní korelace mezi Ca, P, U na jedné straně a Th a Ti na straně druhé podporují hypotézu o ředění kalcitem.

Porovnání křivek výsledků gamaspektrometrických měření, magnetické susceptibility a koncentrací prvků s křivkami z jiných regionů (Moravský kras, Namur-dinantské synklinorium, Rýnské břidličné pohoří) ukázalo jen minimální odchylky na hranici devon/karbon v profilech Jesenec, Grygov a Černotín.

8. Seznam literatury

Bábek, O. (1996). *Tafonomie a biofacie konodontových společenstev jeseneckých vápenců na Dražanské vrchovině a jejich význam pro faciální analýzu.* – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1995, 3, 76–78. Brno.

Babek, O. (1997). *Microfacies analysis of Devonian to Lower Carboniferous carbonates and its impact on the interpretation of internal architecture of the Konice-Mladeč Belt, Moravia, Czech Republic.* – Journal of the Czech Geological Society, 42, 59–73.

Bábek, O., Sedlák, P. (2000). *Konodontová biofacie Hradsko-Říčských vápenců u Grygova,* Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2000, 7, 24–22 Prostějov, 25–13 Přerov.

Babek, O. (2001a). *Konodontová biostratigrafie jeseneckých vápenců na území konicko - mladečského pruhu na Moravě, Český masív.* – Acta Musei Moraviae, Scientiae Geologicae, 86, 1–2, 161–173. Brno.

Bábek, O. (2001b). *Konodontová biostratigrafie vápenců přechodního (ludmírovského) vývoje na území konicko-mladečského pruhu, Dražanská vrchovina, Český masív.* – Přírodovědné studie Muzea Prostějovska, 4, 17–29. Prostějov.

Bábek O. (2005): *Biostratigrafie a devonských a spodnokarbonských karbonátů na profilech Zbrašov – Mariánské údolí a lom Černotín, Geologické mapování oblasti Hranice-Maleník 1:25 000.* – MS, pr. 3212.

Bábek, O., Otava, J. (2006): *Biostratigrafické doklady pro tenec šupinovitou stavbu hranického paleozoika, moravskoslezská zóna.* – Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2005, 8, s. 60–63., Brno.

Bábek, O., Tomek, Č., Melichar, R., Kalvoda, J., Otava, J. (2006): *Structure of unmetamorphosed Variscan tectonic units of the southern Moravo-Silesian zone, Bohemian Massif: a review.* – N.Jb. Geol. Palaont. Abh., 239, 37-75. Stuttgart.

Buriánek D, Streit R. (2021): *Geneze fosfátu v jeseneckých vápencích konicko mladečského pruhu (drahanský faciální vývoj moravskoslezského paleozoika na Moravě).* – Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2021, Brno.

Chlupáč, I. (2002). *Geologická minulost*: Academia. Praha.

Chlupáč, I., Štorch, P. *Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky.* Čas. Mineral. Geol., 37, 4, 258-275. Praha, 1992.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): *Geologická minulost České republiky.* Academia, Praha.

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

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, Brno.

Dolníček, Z., Sulovský, P. (2013). *Laboratorní metody výzkumu.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

Dvořák J., Růžička B. (1960): *Historická geologie. I. díl, Geologická minulost Země.* Státní nakladatelství technické literatury. Praha.

Dvořák J. (1993): *Moravské paleozoikum*, Geologie Moravy a Slezska, *Sborník příspěvků k 90 výročí narození prof. dr. K. Zapletala*. Brno.

Dvořák J. (1997): *Geologie paleozoika v okolí u Macochy*. Czech Geological Society, 42/1-2, Brno.

Engel, W., Franke, W. (1983). *Flyschsedimentation: its relations to tectonism in the European Variscides*. – In: Martin, H., Eder, F. W. (eds). – *Intracontinental Fold Belts*. Springer, Berlin, 289–322.

Finger, F., Steyrer, H. P. (1995). *A tectonic model for the eastern Variscides: Indication from a chemical study of amphiboles in the south-eastern Bohemian Massif*. – *Geologica Carpathica*, 46, 137–151.

Hladil, J. (1994). *Moravian Middle and Late Devonian Buildups: evolution in time and space with respect to the Laurussian shelf*. – *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 172, 111–125.

Jensen, J. O., Mackintosh, A. R. (1991). *Rare Earth Magnetism: Structures and Excitations*. Oxford University Press.

Kaiser S. I. (2009): *The Devonian/Carboniferous boundary stratotype section (La Serre, France) revisited*. – *Newsletter on Stratigraphy* v r. 2009, vol.43/2:195-205. Gebrüder Borntraeger.

Kalvoda J., Bábek O., Brzobohatý R. (2002): *Historická geologie*. Univerzita Palackého. Olomouc.

Kalvoda J., Bábek O. (1999): *Sedimentary and Biofacies Records in Calciturbidites at the Devonian-Carboniferous Boundary in Moravia (Moravian-Silesian Zone, Middle Europe)* - *Periodical*. v r. 1999, 49. Brno.

Kumpan T., Bábek O., Kalvoda J. (2012): *Petrofyzikální charakteristika hraničního intervalu devonu a karbonu v Moravském krasu*. — Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2012, 24–41. Vyškov.

Kumpan, T., Bábek, O., Kalvoda, J., Grygar, T., Frýda, J., Becker, T., Hartenfels, S. *Petrophysical and geochemical signature of the Hangenberg Events: an integrated stratigraphy of the Devonian–Carboniferous boundary interval in the Northern Rhenish Massif (Avalonia, Germany)*. Bulletin of Geosciences (printed version), 2015, roč. 90, č. 3, s. 677-694. ISSN: 1214-1119.

Misař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Regionální geologie ČSSR I*. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Musil R. et al. (1993): *Moravský kras – labyrinty poznání*. – GEO program. Adamov.

Rider, M.H., 1999. *The Geological Interpretation of Well Logs*. Whittles Publishing Services, Dunbeath.

Sandberg, C.A., Ziegler, W., Leuteritz, K. & Brill, S.M.(1978): *Phylogeny, speciation, and zonation of Siphonodella (Conodonts, Upper Devonian and Lower Carboniferous)*. – Newsl. Stratigr., 7 (2) 102-120.

Shackley, M.S. 2011. *An Introduction to X-Ray Fluorescence (Xrf) Analysis in Archaeology*. Springer, New York.

Voženilek V. (1994): *The impact of morpho structural development on the extension of the North European Ice at the main European water shed in the Moravian Gate (Czech Republic)* — GeoJournal. v r. 1993, V. 32.3; 241–245 Olomouc.

Zukalová V., Chlupáč I. (1982): *Stratigrafická klasifikace nemetamorfovaného devonumoravskoslezské oblasti*. - Časopis pro mineralogii a geologii, 27, 3, 225-240. Praha. 11.

Internetové zdroje

mapy.cz: Mapy.cz. z: <http://www.mapy.cz> (cit. 25. 12. 2022).