

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Ložisková geologie



Bc. Tomáš Pechar

Použití přenosného XRF spektrometru pro hodnocení kvality vápencové suroviny a odhad zásob na ložisku Mořina - východ (Velká Amerika)

Application of portable XRF spectrometer for evaluation of the quality of limestone ore and estimation of reserves at the Mořina - východ (Velká Amerika) deposit

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jiří Zachariáš, Ph.D.

Praha, 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 5.5.2014

Podpis

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat svému školiteli doc. RNDr. Jiřímu Zachariášovi, Ph.D., který mi svými četnými odbornými konzultacemi jak při terénních pracích tak při tvorbě této práce, pomohl objasnit řadu problémů a za vedení a kritické posouzení předkládaného textu.

Za inspiraci a četné odborné rady vděčím také Mgr. Jindřichu Havránkovi, jenž mne nasměroval k tomuto zajímavému tématu. Mé díky dále patří RNDr. Bohumilu Brožovi, který mi byl velmi nápomocný při zpracování a tisku grafických příloh.

Tato práce by také nevznikla bez ochoty a spolupráce ze strany společnosti Lomy Mořina s.r.o., která při tvorbě této práce velmi otevřeně spolupracovala a podělila se o řadu cenných materiálů, chemických analýz a zkušeností z báňského průmyslu. Dále mne umožnila vstup do štol a lomových prostor.

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce přináší posouzení potenciálu ložiska Mořina – východ (Velká Amerika), jako surovinové rezervy za ložisko Kozolupy-Čeřinka. Důvodem zpracování této práce je omezená životnost zásob na ložisku Kozolupy-Čeřinka (cca. 11 – 14 let) neumožňující naplnit požadavek zajištění produkce vápenců pro odsiřování kouřových plynů pro ČEZ až do roku 2035. Cílem této práce bylo proto shrnout všechny dosavadní poznatky o ložisku, definovat předpokládané technologické parametry suroviny a posoudit možnost jejího využití pro odsiřování kouřových plynů. Zvláštní pozornost byla věnována studiu rozsahu a příčin dolomitizace vápenců, neboť zvýšený obsah Mg snižuje kvalitu suroviny. V práci je též navrženo několik možných variant těžebního záměru a výpočtu zásob.

Na základě mikroskopických pozorování lze na lokalitě Velká Amerika rozlišit dva typy dolomitu: diagenetický a epigenetický. Diagenetický dolomit vznikal při mělkém pohřbení společně s rekrystalizací vápenného kalu při teplotách do 50 °C. Teploty homogenizace primárních fluidních inkluzí v epigenetickém dolomitu jsou v rozpětí 76 – 92 °C (vzorek A9) a 63 – 88°C (vzorek A25). Skutečná teplota vzniku těchto inkluzí byla patrně jen nepatrně vyšší (max. o cca 15 °C) než změřené teploty homogenizace. Na základě teplot homogenizací fluidních inkluzí, velikosti zrn dolomitu a plošné distribuce $MgCO_3$ na studované lokalitě lze usoudit, že vznik epigenetického dolomitu souvisí s narůstající hloubkou pohřbení v okolí severní větve kodského přesmyku.

Z analýz získaných prostřednictvím přenosného XRF spektrometru lze konstatovat, že je surovina na lokalitě Velká Amerika po chemické stránce velmi kvalitní, v průměru vykazuje velmi vysoké obsahy karbonátů (> 95 hm. %) a velmi nízké obsahy škodlivin typu SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 . Jediným negativem tak jsou zvýšené obsahy $MgCO_3$, které však limity pro vápencovou surovinu stanovené ze strany ČEZu nepřekračují nikterak výrazně. Ze srovnání jednotlivých variant odhadu zásob pak jednoznačně vyplývá, že za ekonomicky zajímavé lze považovat pouze varianty spojené se zahloubením těžby, přičemž za nejvýhodnější lze považovat zahloubením na kótu 300 m n.m. Tímto odhadem byly vyčísleny zásoby 2 368 tis. m^3 (62 771 t) a poměr mezi zájmovou surovinou a nadložím činí 60/40.

Klíčová slova: XRF spektrometrie, vápenec, dolomitizace, Barrandien, Velká Ameerika, Odhad zásob

Summary

The present thesis provides assessment potential of the Mořina - Východ deposit (Velká Amerika) as a raw material reserves for the Kozolupy - Čeřinka deposit. The reason for this work is limited lifetime of the Kozolupy - Čeřinka deposit (approx. 11-14 years) that does not allow fulfilling the requirement to ensure the production of limestone for flue gas desulphurization for ČEZ until 2035. Objective of this work is to summarize all the existing knowledge of the deposit and define the expected technological parameters of raw materials and consider the possibility of its use as a raw material for flue gas desulphurization. Special attention was paid to dolomitization of the limestone, namely to its extent and nature, because elevated Mg content lowers the quality of the limestone ore. Finally, ore reserve calculations and mining intentions are presented.

On the basis of microscopic research two types of dolomite were distinguish: diagenetic and epigenetic. Diagenetic dolomite originated at shallow burial together with recrystallization of limestone slurry at temperatures up to 50 °C. Homogenization temperatures of primary fluid inclusions in epigenetic dolomite lay in the range 76-92 °C (sample A9) and 63-88 °C (sample A25). The trapping temperature of these inclusions was probably only slightly higher (up to about 15 °C) than the measured homogenization temperature. On the basis of measured inclusion homogenization temperatures, size of dolomite grains and areal distribution of MgCO₃ admixture, we may suggest that epigenetic dolomite formed due to deeper burial associated with the Koda fault.

Chemical analyses of limestone ore, performed by the portable XRF spectrometer, documented overall good quality of the ore: high carbonate content (> 95 wt. %) and low content of contaminants such as SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. The only drawback represents the increased content of MgCO₃, fortunately the upper limit for MgCO₃ admixture specified by the CEZ is exceed only moderately. A comparison of various options of reserve calculation demonstrated that the countersink mining down to 300 m above sea level, represents the only economically viable alternative. The calculated reserves yielded 2 368 thousand m³ (62 771 tons) of limestone ore and the overburden ratio is 60/40.

Key Words: XRF spectrometry, limestone, dolomitization, Barrandian, Velká Amerika, Estimation of reserves

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| 1. ÚVOD | 1 |
| 2. RENTGEN FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE | 2 |
| 2.1 RTG ZÁŘENÍ..... | 2 |
| 2.1.1 EMISE RTG ZÁŘENÍ A JEHO CHARAKTERISTICKÉ SÉRIE | 4 |
| 2.2 XRF ANALYZÁTORY | 5 |
| 2.2.1 KALIBRACE XRF SPEKTROMETRU..... | 6 |
| 2.2.2 ZDROJE A VLIVY CHYB V XRF ANALÝZE..... | 6 |
| 2.2.3 PŘESNOST MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ | 7 |
| 2.3 APLIKACE PŘENOSNÉ XRF SPEKTROMETRIE | 7 |
| 3. KARBONÁTOVÉ HORNINY | 8 |
| 3.1 VÁPENCE..... | 8 |
| 3.1.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ VÁPENCŮ | 8 |
| 3.1.2 SLOŽENÍ VÁPENCŮ | 9 |
| 3.1.3 VZNIK VÁPENCOVÝCH SEDIMENTŮ A JEJICH DIAGENEZE | 9 |
| 3.2 DOLOMITY | 10 |
| 3.2.1 DOLOMITIZACE VÁPENCŮ..... | 10 |
| 3.3 UPLATNĚNÍ VÁPENCOVÉ SUROVINY V ZÁVISLOSTI NA JEJÍM CHEMICKÉM SLOŽENÍ | 13 |
| 3.3.1 OBLASTI POUŽITÍ VÁPENCOVÉ SUROVINY..... | 13 |
| 3.4 TĚŽBA A ZPRACOVÁNÍ VÁPENCŮ V ČR..... | 15 |
| 4. ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ | 17 |
| 4.1 METODY ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ..... | 17 |
| 4.1.1 SUCHÉ METODY ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ..... | 17 |
| 4.1.2 POLOSUCHÁ VÁPENCOVÁ METODA..... | 18 |
| 4.1.3 MOKRÉ METODY ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ | 18 |
| 4.1.4 REGENERAČNÍ METODY..... | 19 |
| 4.2 ZÁKLADNÍ INFORMACE K TECHNOLOGICKÉMU PROCESU ODSIŘOVÁNÍ TEPELNÝCH ELEKTRÁREN SKUPINY ČEZ..... | 20 |
| 4.3 TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY NA SORBENT | 22 |
| 5. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI | 23 |
| 5.1 GEOGRAFIE | 23 |
| 5.2 GEOTEKTONICKÁ POZICE | 23 |
| 5.3 GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA A VÝVOJ PRAŽSKÉ PÁNVE BARRANDIENU | 24 |
| 5.3.1 NEOPROTEROZOIKU – KAMBRIUM | 25 |
| 5.3.2 ORDOVIK..... | 25 |
| 5.3.3 SILUR | 27 |
| 5.3.4 SPODNÍ AŽ STŘEDNÍ DEVON..... | 28 |
| 5.3.5 STŘEDNÍ DEVON - RECENT | 29 |
| 5.4 GEOLOGICKÁ STAVBA A TEKTONICKÉ PORUŠENÍ PRAŽSKÉ PÁNVE | 30 |
| 5.5 DOLOMITIZACE V BARRANDIENU..... | 32 |
| 5.6 GEOLOGICKÁ STAVBA LOMU VELKÁ AMERIKA..... | 33 |
| 5.7 HISTORIE A VÝZNAM LOMU VELKÁ AMERIKA..... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 6. POUŽITÁ METODIKA..... | 37 |
| 6.1 TERÉNNÍ PRÁCE..... | 37 |
| 6.2 PETROGRAFICKÉ ZKOUMÁNÍ HORNIN | 37 |
| 6.3 KATODOVÁ LUMINISCENCE..... | 37 |
| 6.4 OBRAZOVÁ ANALÝZA..... | 38 |
| 6.5 STUDIUM FLUIDNÍCH INKLUZÍ | 38 |
| 6.6 XRF ANALÝZA | 39 |
| 6.7 PŘÍPRAVA A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ | 42 |
| 6.7.1 VZORKY PRO PETROGRAFICKÝ VÝZKUM, OBRAZOVOU ANALÝZU, KATODOVOU LUMINISCENCI A STUDIUM FLUIDNÍCH INKLUZÍ | 42 |
| 6.7.2 VZORKY PRO XRF ANALÝZU | 42 |
| 7. VÝSLEDKY..... | 43 |
| 7.1 ZÁKLADNÍ STRUKTURNÍ VÝZKUM | 43 |
| 7.2 PETROGRAFIE | 43 |
| 7.2.1 MAKROSKOPICKÉ POZOROVÁNÍ | 43 |
| 7.2.2 MIKROSKOPICKÉ POZOROVÁNÍ..... | 44 |
| 7.3 KATODOVÁ LUMINISCENCE..... | 48 |
| 7.4 STUDIUM FLUIDNÍCH INKLUZÍ | 50 |
| 7.5 OBRAZOVÁ ANALÝZA..... | 51 |
| 7.6 XRF ANALÝZA | 51 |
| 7.7 ODHAD VYTĚŽITELNÝCH ZÁSOb..... | 57 |
| 8. DISKUSE..... | 64 |
| 8.1 ROZŠÍŘENÍ A MOŽNOSTI VZNIKU DOLOMITIZACE VE VZTAHU KE GEOLOGICKÝM PODMÍNKÁM NA LOKALITĚ VELKÁ AMERIKA | 64 |
| 8.2 POSOUZENÍ TECHNOLOGICKÉ KVALITY SUROVINY Z POHLEDU MOŽNOSTI JEJÍHO VYUŽITÍ JAKO VÁPENCŮ PRO ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ | 65 |
| 8.3 POSOUZENÍ MOŽNÝCH VARIANT TĚŽBY VZHLEDEM K VYTĚŽITELNÝM ZÁSObÁM A KVALITĚ VÁPENCŮ PRO ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ | 66 |
| 9. ZÁVĚR..... | 67 |
| 10. LITERATURA..... | 68 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1. Elektromagnetické spektrum (převzato z http://energetika.tzb-info.cz/) | 2 |
| Obr. 2. Spektrum rentgenového spojitého a charakteristického záření (převzato z Mestek 2010)..... | 3 |
| Obr. 3. Schematické zobrazení vzniku RTG čárového spektra (převzato z Mestek 2010) | 4 |
| Obr. 4. Popis přenosného energiově disperzního spektrometru DELTA X (dle Bass Rudice 2011) | 5 |
| Obr. 5. Řada horniny vápenc-dolomit (dle Petránek 1963)..... | 8 |
| Obr. 6. Dolomitizace mořskou vodou (dle Tucker et al. 1990)..... | 11 |
| Obr. 7. Dolomitizace v přímořských sebkách (dle Tucker et al. 1990) | 11 |
| Obr. 8. Dolomitizace kombinací evaporace/ průsak-odtok; evaporace/kolísání hladiny (dle Tucker et al. 1990) | 12 |
| Obr. 9. Dolomitizace při kontaktu meteorické a mořské vody (dle Tucker et al. 1990) | 12 |
| Obr. 10. Dolomitizace pohřbením (dle Tucker et al. 1990) | 12 |
| Obr. 11. Evidovaná ložiska vápencové suroviny (Starý et al. 2013)..... | 16 |
| Obr. 12. Schéma odsíření Elektrárny Chvaletice (převzato z ČEZ 2006)..... | 21 |
| Obr. 13. Schematická geologická mapa barrandienského paleozoika (převzato z Kachlík 2003)..... | 24 |
| Obr. 14. Stratigrafické schema ordoviku (dle Chlupáč et al. 2002) | 26 |
| Obr. 15. Stratigrafické schema siluru (dle Chlupáč et al. 2002) | 27 |
| Obr. 16. Stratigrafické schema devonu Barrandienu (dle Chlupáč et al. 2002) | 29 |
| Obr. 17. Strukturní mapa jihozápadního křídla pražské pánve (převzato z Svoboda et al. 1949)..... | 31 |
| Obr. 18. Pozice lomu Velká Amerika na geologické mapě ČR (geology.cz) | 33 |
| Obr. 19. Kalibrační grafy pro mód MOŘINA | 40 |
| Obr. 20. Porovnání vlastního měření po kalibraci s výsledky z laboratoře | 41 |
| Obr. 21. Rovnoploché projekce promítnuté na spodní polokouli..... | 43 |
| Obr. 22. Nejčastěji se vyskytující typy bioklastů | 44 |
| Obr. 23. Charakteristické prvky zkoumaných hornin | 45 |
| Obr. 24. Charakteristické rozšíření dolomitu ve zkoumaných horninách | 46 |
| Obr. 25. Dolomit tvořící čočky a shluky v základní hmotě a kolem švů tlakového rozpouštění | 47 |
| Obr. 26. Charakter idiomorfních klenců dolomitu | 47 |
| Obr. 27. Charakteristické prvky dolomitu ve zkoumaných horninách v katodové luminiscenci | 48 |
| Obr. 28. Charakteristické prvky zkoumaných hornin v katodové luminiscenci | 49 |
| Obr. 29. Ukázka fluidních inkluzí měřených během výzkumu | 50 |
| Obr. 30. Histogramy četností teplot homogenizace fluidních inkluzí vzorků A9 a A25..... | 50 |
| Obr. 31. Grafická závislost velikosti krystalů dolomitu na vzdálenosti od severní větve kodského přesmyku | 51 |
| Obr. 32. Statistické vyhodnocení chemických analýz pomocí histogramů | 52 |
| Obr. 33: Mapa izolinií MgCO ₃ na lokalitě Velká Amerika..... | 56 |
| Obr. 34. Geologické řezy lokalitou Velká Amerika s vyznačením variant odhadu zásob | 58 |
| Obr. 35. Geologické řezy lokalitou Velká Amerika s vyznačením rozsahu odhadu zásob (dle Štefek 1995) | 59 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1. Klasifikace řady vápenec - jíł (dle Vachtla et al. 1952) | 8 |
| Tab. 2. Chemické složení vápenců dle normy ČSN 72 1217 | 13 |
| Tab. 3. Celková těžba vápencové suroviny v ČR (Starý et al. 2013) | 16 |
| Tab. 4. Instalovaná odsíření kouřových plynů z kotlů Skupiny ČEZ | 20 |
| Tab. 5. Požadavky ČEZu na jakost vápencové suroviny pro mokrou vápencovou vypírku | 22 |
| Tab. 6. Přehled zásob evidovaných k 1.1.2014 v bilancích zásob na ložisku Mořina | 35 |
| Tab. 7. Statistické vyhodnocení chemických analýz za jednotlivá stratigrafická souvrství | 53 |
| Tab. 8. Korelační matice (vápence kotýské) | 54 |
| Tab. 9. Korelační matice (vápence koněpruské) | 55 |
| Tab. 10. Korelační matice (vápence slivenecké) | 55 |
| Tab. 11. Korelační matice (vápence loděnické) | 55 |
| Tab. 12. Korelační matice za všechna vápencová souvrství | 56 |
| Tab. 13. Plošné obsahy ložiskové výplně každého řezu | 60 |
| Tab. 14. Výpočet kubatury mezi řezu V-V | 61 |
| Tab. 15. Výpočet kubatury mezi řezu V-VII | 61 |
| Tab. 16. Výpočet kubatury mezi řezu VII-VIII | 61 |
| Tab. 17. Výpočet kubatury mezi řezu VIII-X | 61 |
| Tab. 18. Výpočet kubatury mezi řezu X-XII | 61 |
| Tab. 19. Výpočet kubatury mezi řezu XII-XII | 61 |
| Tab. 20. Výpočet kubatur za jednotlivé ložiskové výplně | 61 |
| Tab. 21. Odhad zásob varianta 1 | 62 |
| Tab. 22. Odhad zásob varianta 2 | 62 |
| Tab. 23. Odhad zásob varianta 3 | 63 |

Seznam příloh za textovou částí

Příloha č. 1 Chemické analýzy vápenců

Seznam příloh volně vložených

Příloha č. 2.1 Mapa obsahů $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$

Příloha č. 2.2A Mapa obsahů MgCO_3

Příloha č. 2.2B Mapa obsahů izolinií MgCO_3

Příloha č. 2.3 Mapa obsahů CaCO_3

Seznam zkratk

| | |
|------|--------------------------|
| CHKO | Chráněná krajinná oblast |
| ČR | Česká republika |
| ČSN | Česká technická norma |
| RTG | Rentgenové záření |
| XRF | Rentgenová fluorescence |

1. ÚVOD

S rozvojem techniky začal být problém znečišťování ovzduší stále citelnější. Zplodiny ze spalování paliv či z průmyslových technologií patří mezi hlavní plynné znečištěniny, s nimiž se ve volném ovzduší setkáváme. Nejrozšířenější látkou znečišťující volné ovzduší je oxid siřičitý (SO_2), jehož přítomnost v atmosféře je z největší části antropogenního charakteru. Jeho hlavními zdroji jsou především elektrárny a teplárny, spalující palivo s vysokým obsahem síry. Proto bylo v roce 1991 přijetím zákona o ovzduší 309/91 Sb., resp. jeho novely zákonem 218/92 Sb. vyvoláno snižování emisí oxidů síry i dusíku a zákon zavedl emisní limity. Dosažení emisních limitů buď vyžaduje přechod na spalování nízkosírných či bezsírných paliv nebo použití procesů a metod na odsiřování kouřových plynů.

Jedním z největších provozovatelů tepelných elektráren v České republice je Skupina ČEZ, a. s., (dále jen „ČEZ“), která na území Čech a Moravy provozuje 13 elektráren. Ve většině svých elektráren používá ČEZ nejefektivnější odsiřovací metodu, a to tzv. metodu mokré vápencové vypírky, jejíž nezbytnou vstupní surovinou je velmi čistý vysokoprocenní vápenec. Nevýhodou mokré vápencové vypírky jsou velmi striktní a náročné kvalitativní požadavky na vápencovou surovinu. Naopak výhodou této metody je výsledný produkt v podobě energosádrovce, který je dále efektivně využíván k dalšímu průmyslovému zpracování ve stavebnictví. Největším dodavatelem ČEZu vysokoprocenní vápencové suroviny je společnost LOMY MOŘINA s.r.o., ve které je ČEZ vlastníkem podílu 51%. LOMY MOŘINA s.r.o. v současné době těží ve třech lomech (Čeřinka, Holý Vrch a Tetín).

Důvodem vzniku zadání mé diplomové práce je omezená životnost zásob na ložisku Čeřinka (cca. 11 let) neumožňující naplnit požadavek zajištění produkce vysokoprocenních vápenců pro ČEZ až do roku 2035. Z důvodu časové náročnosti povoloovacího procesu těžby a nutnosti produktivního roztěžení ložiska, je těžební organizace nucena co nejrychleji zajistit novou surovinovou základnu. Jednou z možných variant, se jeví znovu otevření lomu Mořina – východ neboli Velká Amerika. Plán na vytěžení, zbytkových zásob, na lokalitě Velká Amerika je logickou variantou. Smysluplnou jak z pohledu hospodárného tedy úplného využití ložiska, tak z pohledu legislativního a vstupních investic do těžby (lokalita se nachází v rámci dobývacího prostoru, v území s vyřešenými pozemkovými vztahy a v blízkosti výrobního závodu). Jako problematické se však jeví zvýšené obsahy Mg v surovině nepříznivé z pohledu požadovaného chemismu pro vápenec k odsiřování kouřových plynů. Dalším negativem je vytěženost kvalitních snadno dostupných partií ložiska a tedy reálná výše zbytkových zásob a ekonomika těžby.

Předkládaná diplomová práce přináší posouzení potenciálu Velké Ameriky jako surovinové rezervy za ložisko Čeřinka. Cílem této diplomové práce je výzkum “znečištění“ vápencové suroviny Mg vlivem sekundární dolomitizace, jejího rozšíření a možností jejího vzniku ve vztahu ke geologickým podmínkám na lokalitě Velká Amerika za použití přenosného (terénního) rentgen fluorescenčního spektrometru (dále jen „XRF“) i jiných analytických a progresivních metod.

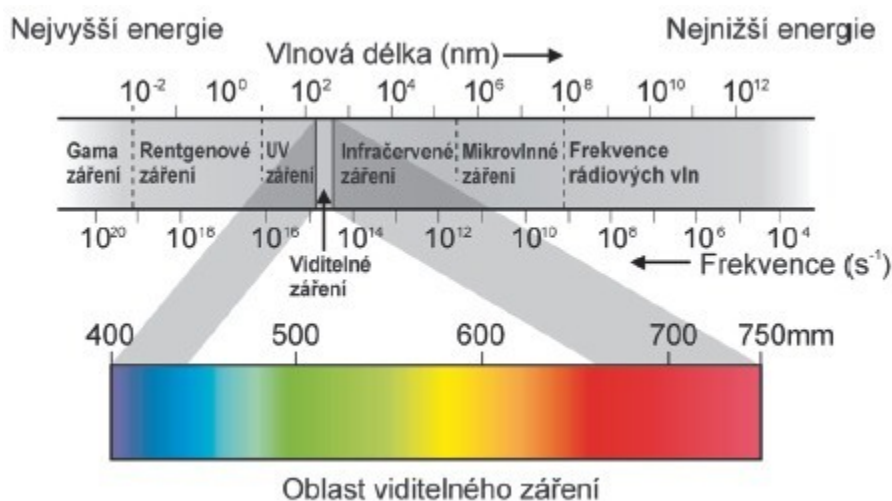
Dalším kladeným cílem je v závislosti na výsledcích vlastního měření pomocí XRF zhodnotit technologické vlastnosti suroviny a posoudit možnost jejího využití jako suroviny k odsiřování kouřových plynů, předložit aktualizovaný odhad vytěžitelných zásob na ložisku Mořina - východ a přinést přehled výhod a nevýhod uvažovaného těžebního záměru.

2. RENTGEN FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE

Rentgenové záření je většinou známé pro diagnostické použití v medicíně, jeho použití je však také základem mnoha analytických technik. Jednou z nich je rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF). XRF spektrometry jsou používány k identifikaci prvků v látce a k určení jejich množství. Každý prvek je identifikovaný jeho charakteristickou emisí záření, vlnovou délkou (λ) nebo energií (E). XRF spektrometrie tedy určuje elementární složení materiálu (Bass Rudice 2011).

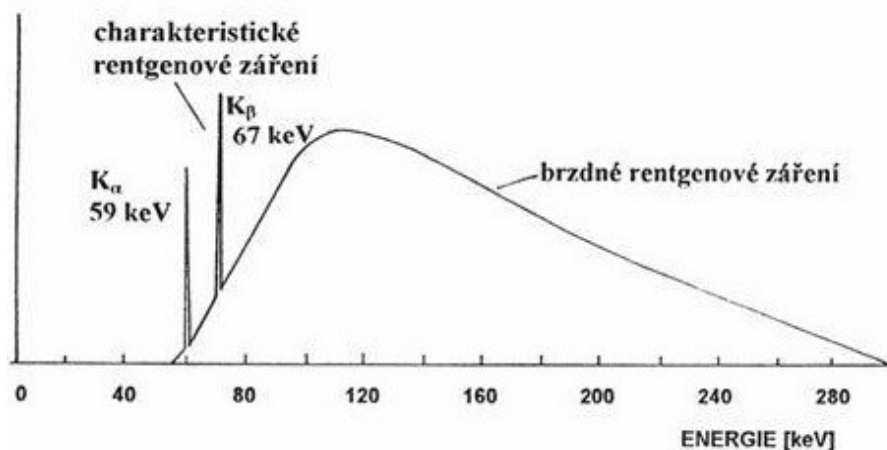
2.1 RTG záření

Definice: „ Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění neboli proud fotonů, jehož vlnové délky leží v intervalu 10^{-8} m až 10^{-12} m. Vzniká při přeměně energie rychle se pohybujících elektronů, které dopadají na povrch materiálu a tím se mění na energii elektromagnetického záření. „ (Jech 1974)



Obr. 1. Elektromagnetické spektrum (převzato z <http://energetika.tzb-info.cz/>)

Podnětem k uvolnění záření mohou být dva procesy, a) ionizace atomů a b) zabrzdění elektronů v elektrickém poli atomového jádra. Při prvním způsobu vzniku, vzniká v atomech spektrum čárové. Při brždění vzniká spektrum spojité (obr. 2.). Čím větší je rychlost elektronů, tím jsou rentgenové paprsky pronikavější (Kraus 1985).



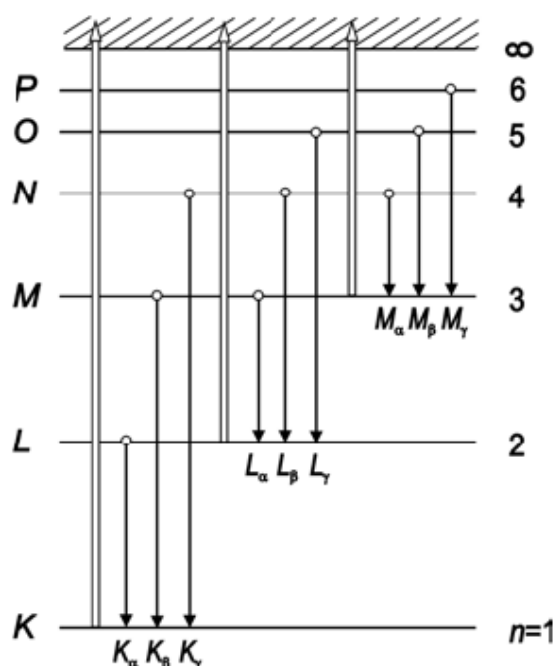
Obr. 2. Spektrum rentgenového spojitého a charakteristického záření (převzato z Mestek 2010)

Brzdné záření vzniká při průchodu urychlené nabitě částice hmotným prostředím, které snižuje její energii. Základní charakteristikou brzdného záření je spojitě spektrum nezávislé na typu brzdícího prostředí (Mestek 2010). Má-li však brzděná částice dostatečnou energii, objevují se ve spektru diskrétní spektrální čáry, jejichž charakter a poloha jsou naopak charakteristické pro složení brzdícího prostředí (Kraus 1985). Brzdné záření se používá např. v lékařské diagnostice.

Vznik *charakteristického záření* lze vysvětlit na základě představy srážky atomů, kde dojde vzájemným proniknutím jejich elektronových slupek, přičemž se ve vnitřní slupce některého z atomů může vytvořit vakance. Při následném zaplnění této vakance dojde k vyzáření charakteristického rentgenového záření (Obr. 2.) (Jech 1974). Charakteristické rentgenové záření se používá v analytické chemii.

2.1.1 Emise RTG záření a jeho charakteristické série

Fluorescenční rentgenové spektrum má čárový charakter a vzniká po tzv. vysokoenergetické ionizaci atomu. Na vzniku rentgenových spekter se podílejí elektrony vnitřních slupek (Jech 1974). Elektronový obal obsahuje slupky K , jejichž hlavní kvantové číslo n je rovno jedné, pro L je $n=2$, M je $n=3$ atd. (Klouda 2003). Při vytržení elektronu například ze slupky K , volné místo pak může být zaplněno elektronem z některé ze slupek L , M , N , čímž vzniká celá skupina spektrálních čar K a následně další série L , M . Elektrony je zaplňují, aby zaujaly nejnižší energetické hladiny. Takovýto vznik čárového RTG spektra znázorňuje obrázek 3. (Mestek 2010). Pro každou ze slupek K , L , M atd., na kterou se elektron vrací, existuje skupina emisních čar zvaná série K , série L , série M atd. (Jech 1974). Ne všechny přechody jsou ale možné. Nejintenzivnější čáry vznikají přechodem na slupku K (série K) a na slupku L (série L). Tyto čáry jsou v analytické chemii využívány nejvíce (Klouda 2003).



Obr. 3. Schematické zobrazení vzniku RTG čárového spektra. Dvojitě šipky naznačují vznik vakance, jednoduché šipky naznačují zaplnění vakací. Řecká písmena označují pořadí čáry v sérii., které odpovídá změně hlavního kvantového čísla (převzato z Mestek 2010)

2.2 XRF analyzátory

Podle způsobu dalšího zpracování fluorescenčního záření může rozlišit dva typy spektrometrů, vlnově disperzní a energiově disperzní.

Rozklad fluorescenčního záření ve *vlnově disperzních* přístrojích se děje difrakcí na krystalové mřížce. Oddělený paprsek o zvolené vlnové délce dopadá na detektor, který registruje prošlé fotony ve formě pulzů, jejichž četnost odpovídá intenzitě záření. Výhodou těchto přístrojů je lepší rozlišení vlnových délek, přesnější rozlišení prvků a malé překryvy píků (Mestek 2010).

Systém *energiově disperzního* spektrometru je mechanicky jednodušší. Záření dopadá na detektor, který registruje dopadlé fotony. Signál je pak dělen podle amplitudy pulzů, odpovídající energii registrovaného fotonu. Četnost fotonů příslušející určité amplitudě pulzu pak odpovídá intenzitě záření dané spektrální čáry (Ersepke 1994). Mezi výhody těchto přístrojů patří simultánní měření a zobrazení všech prvků ve zvolené energetické oblasti a možnost kvalitativní analýzy už v průběhu měření. Podstatnou výhodou těchto přístrojů jsou také malé rozměry a výrazně nižší cena (Helán 2005).

Přes rozdílnost způsobu detekce pracují oba systémy na stejných fyzikálních základech interakce záření s hmotou s cílem získat co nejlepší intenzitu charakteristického záření k následnému vyhodnocení. Oba typy spektrometrů mají společný i způsob kalibrace, jenž lze provést s použitím matematických modelů (Mestek 2010).

První sestava energiově dispersního spektrometru byla představena v druhé polovině 20. století. Jako zdroje primárního záření se používaly radionuklidy. S rozvojem techniky se mez detekce dostala až k jednotkám ppm na tenké vrstvě a spojení s počítačem umožnilo matematicky zpracovat spektrum a použít matematické korekční modely pro kalibraci (Ersepke 1994).

V současné době nabízí trh celou řadu energiově dispersních spektrometrů. Od velmi jednoduchých ručních přístrojů (obr. 4.), které stanovují jen několik prvků nejčastěji kovů, až po výkonné laboratorní přístroje vybavené počítačem a řadou programů k automatickému provedení analýzy. Systém energiově disperzního spektrometru je mechanicky velmi jednoduchý. Tento systém má typicky tři hlavní komponenty: 1) zdroj excitace, 2) detektor, 3) vyhodnocovací jednotku detekovaného signálu.



Obr. 4. Popis přenosného energiově disperzního spektrometru DELTA X (dle Bass Rudice 2011)

2.2.1 Kalibrace XRF spektrometru

Kvantitativní analýza v XRF spektrometrii je provedena použitím empirických metod, kalibračních křivek, které je nutno nastavit pro různé prvky a zájmové materiály. Kalibrací XRF spektrometru se nachází funkční závislost mezi množstvím nebo koncentrací analytu a úrovní měřeného signálu.

$$I_I = f(c_I) \quad (1)$$

I_I ...Intenzita analytické čáry

c_I ... koncentrace analytu

Měřená intenzita analytické čáry je však ovlivněna ostatními obsaženými prvky a stavem, ve kterém se vzorek nachází. Pro nalezení vztahu mezi intenzitou fluorescenčního signálu a koncentrací stanovaného prvku, je nutné přeměřit sadu standardů o známém složení (Kenna et al. 2011).

2.2.2 Zdroje a vlivy chyb v XRF analýze

Energiově dispersním spektrometrem lze analyzovat vzorky pevného, plynného a kapalného skupenství, včetně suspenzí (Kněsl et al. 2009). Vliv použitého spektrometru je možné dle jejich výrobců u nových a moderních přístrojů zanedbat. Celková chyba analýzy může být sumarizována z několika dílčích vlivů.

Vliv přípravy vzorku

Na výsledek analýzy má vliv stav vzorku, tj. jeho zrnitost, fázové složení (vliv chemické vazby, krystalové struktury) nebo metody jeho přípravy. Vzorek musí být připraven tak, aby se zmenšila jeho nehomogenita. Podstatný vliv na analýzu má rovněž drsnost povrchu a granulometrie vzorku (Helán 2005). Vzorky pro analýzu se mohou připravovat buďto mletím, tavením, rozpouštěním nebo napařením (Geršl et al. 2009)

Spektrální interference a vliv pozadí

Spektrální interferencí se označuje jev, kdy analytickou čáru měřeného prvku překrývá některá ze spektrálních čar jiného prvku matrice. Může se jednat o čáru téže série blízkého prvku, o čáru jiné série nebo jiného řádu spektra výrazně těžšího nebo lehčího než je analyt.

Korekci spektrálních interferencí je možné provádět buď přímým odečítáním získaných interpolací vedle analytické čáry nebo matematickou korekcí (Helán 2005).

Vliv absorpce a přibuzování

Při hodnocení vlivů absorpce a přibuzování se obvykle dělí zkoumaný vzorek na dvě složky, analyzovaný prvek a zbytek vzorku neboli matrice. Zdrojem efektu absorpce a přibuzování jsou:

- absorpce primárního záření maticí (primární absorpce),
- absorpce fluorescenčního záření čáry stanovaného prvku maticí (sekundární absorpce)
- vybuzení rentgenfluorescenčního záření atomu stanovaného prvku čarami charakteristického záření prvků matrice, které se nacházejí na krátkovlnné straně absorpční hrany stanovaného prvku

Pokud je hmotový absorpční koeficient matrice větší než hmotový absorpční koeficient stanovaného prvku, jedná se o absorpci zápornou. Ta způsobuje zmenšení intenzit fluorescenčního záření. V opačném případě se jedná o absorpci kladnou, jejíž intenzita fluorescenčního záření je naopak větší. Významným vlivem je také samoabsorpce (Helán 2005).

2.2.3 Přesnost měření a vyhodnocení

Proces měření a dosažené výsledky se průběžně zobrazují na displeji přístroje. Záznam výsledků zobrazuje měřený prvek, vypočtenou koncentraci a chybu měření. Tato chyba je vypočtena jako statistická odchylka 1 sigma. Chyba se snižuje s prodlužující se dobou měření. Mezi detekce se rozumí nejmenší množství analytu ve vzorku, které jsme schopni detekovat. Mez detekce je definována jako trojnásobek statistické chyby vypočtené z měřeného spektra prvku (Kalnicky et al. 2001).

2.3 Aplikace přenosné XRF spektrometrie

Rentgenová fluorescenční spektrometrie je jednou z nejuniverzálnějších metod anorganické analýzy. Výhodou je možnost analyzovat současně prvky od nejnižších koncentrací až po desítky % obsahu základních prvků (Geršl et al. 2009). Další výhodou je ve srovnání s většinou ostatních analytických metod snadná příprava vzorků. Nevýhodou jsou naopak silné mezivprkové ovlivnění vyžadující použití matričních referenčních materiálů pro kalibraci. Další nevýhodou jsou poměrně velké pořizovací náklady a nároky na provoz spektrometrů (Helán 2005).

Hutnictví a strojírenství

Při výrobě legovaných ocelí se rentgenová fluorescenční spektrometrie uplatňuje při analýze složení výchozího surového železa, legujících přísad. Rychlá analýza umožňuje účinné zásahy do technologického procesu a dosažení požadovaných vlastností ocelí. K významným aplikacím patří také analýza odpadů z metalurgických výrob. Ve strojírenství se rentgenová fluorescenční spektrometrie používá pro rychlou a spolehlivou identifikaci konstrukčních materiálů (Helán 2005).

Analýza drahých kovů

Vzhledem k tomu, že je rentgenová fluorescenční spektrometrie používána jako nedestruktivní metoda, může posloužit ke stanovení ryzosti předmětu nebo stanovení obsahu drahých kovů v technických materiálech a odpadech (Karydas et al. 2004).

Životní prostředí

V oblasti životního prostředí se používá rentgenových spektrometrů pro analyzování pevných, kapalných a prašných aerosolů. Tento způsob analýz je také využíván při kontrolních odběrech vzorků půd pro zjištění jejich kontaminace (Szilagyí et al. 2005). Další možné využití v oblasti životního prostředí jen analýza odpadů (Kalnicky et al. 2001).

Metoda rentgenové fluorescenční spektrometrie byla shledána užitečnou také v chemickém průmyslu při analyzování vedlejších produktů destilace těžkých olejů a ropy, v průmyslu silikátů (zejména vápenců a dolomitů) (Helán 2005), v archeologii, v kriminalistice a při geologickém průzkumu (Geršl et al. 2009).

3. KARBONÁTOVÉ HORNINY

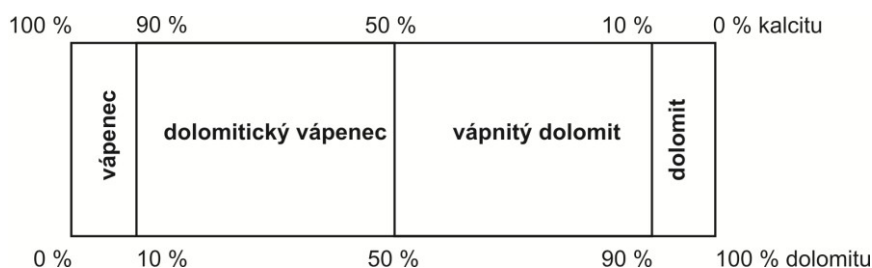
3.1 Vápence

Vápencem nazýváme takovou horninu, která obsahuje více než 50% karbonátu a může vznikat biochemickými i biogenními procesy. Vápence jsou po jílových a pískových sedimentech třetí nejhojnější sedimentární horninou na našem území (Kukal 1986). Hlavní složkou vápenců je uhličitán vápenatý (CaCO_3), který je obsažen především ve formě kalcitu, ale také ne příliš stálého aragonitu. Kalcit je nejhojnější složkou karbonátových hornin a může být přítomen ve formě úlomků nebo jako organoklastický materiál vzniklý desintegrací různých schránek organismů (Petránek 1963). Aragonit snadno podléhá rekrystalizaci a je tak dochován především jen v některých recentních uloženinách (Tucker 2001).

Ve vápencích je také obsažen dolomit. Primární dolomit, vysrážený z roztoků, není však zdaleka tak hojný jak dolomit vzniklý sekundárními diagenetickými a epigenetickými procesy (Petránek 1963). Vápence mohou dále obsahovat křemen, jílové minerály, hematit, fosfáty, sádrovec, anhydrit (Tucker 2001) a organické hmoty (Petránek 1963).

3.1.1 Chemické složení vápenců

Chemické složení vápenců je významně ovlivněno především obsahem kalcitu (CaCO_3), dolomitu (CaMgCO_3), křemene (SiO_2), jílovými minerály s Al_2O_3 , příměsí železa, síry, fosforu a organických látek. Podle množství a složení přítomných uhličitánů může vápenec přecházet do dolomitu. Horniny se pak v závislosti na obsahu CaCO_3 a $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ označují jako dolomity, vápnité dolomity, dolomitické vápence a vápence (obr. 5).



Obr. 5. Řada horniny vápenec-dolomit (dle Petránek 1963)

Podle obsahu jílových minerálů se vápence klasifikují podle tabulky č. 1.

Tab. 1. Klasifikace řady vápenec - jíl (dle Vachtla et al. 1952)

| Název horniny | Obsah CaCO_3 (%) | Obsah jílu (%) |
|-------------------------|------------------------------|-------------------|
| Vápenec vysokoprocentní | 100-98 | 0-2 |
| Vápenec chemický, čistý | 98-95 | 2-5 |
| Vápenec | 95-90 | 5-10 |
| Jílovitý vápenec | 90-75 | 10-25 |
| Slín vysokoprocentní | 75-40 | 25-60 |
| Slín nízkoprocentní | 40-15 | 60-85 |
| Vápnitý jíl | 15-5 | 85-95 |
| Jíl | 5-0 | 95-100 |

3.1.2 Složení vápenců

Složení vápenců závisí na typu sedimentačního prostředí a faktorech, které sedimentaci ovlivňovaly. Významnou složkou vápenců jsou pozůstatky organismů a jejich schránek. Jedná se o různé druhy měkkýšů, korálů, ostnokožců, brachiopodů, řas a foraminifer (Flügel 2010). Nejvýznamnější složky vápenců jsou ooidy a pisoidy, peloidy, intraklasty a extraklasty, mikrit a sparit (Tucker 2001).

Ooidy jsou zakulacená zrna, která se vysrážela kolem křemenných zrn nebo jiného klastického materiálu. Tato kulovitá tělíska vznikají nejčastěji v mělkovodním prostředí. Ooidy jsou obvykle menší než 2 mm. Zrna s průměrem větším než 2 mm jsou označovány jako pisoidy (Flügel 2010).

Peloidy jsou drobné mikritové nebo „in situ mikritizované“ částice se zaobleným povrchem, která jsou charakteristická pro mělkovodní prostředí. Peloidy jsou velké 0,5 mm a mají organický původ (Tucker 2001).

Intraklasty jsou označovány úlomky karbonátového sedimentu, které jsou erodovány a uloženy v rámci sedimentační pánve. Intraklasty pocházejí z mělkého prostředí, než je hornina, do které byly uloženy. Extraklasty jsou pevné úlomky hornin erodované ze starších geologických jednotek a většinou pocházejí z pevniny (Hladil 1996).

Mikrit je tvořen zrny kalcitu o velikosti 0,004 mm, jenž tvoří matrix kolem zrn minerálů. Jedná se o nejjemnější stavební prvek vápenců a vzniká sedimentací jemného vápenatého kalu tvořeného biochemickým srážením. Jako cement spojující jednotlivé složky vápenců je také *sparit*, jenž tvořen hrubšími kalcitovými krystaly 0,5 - 4 mm (Flügel 2010).

3.1.3 Vznik vápencových sedimentů a jejich diagenese

Karbonátová sedimentace se neuplatňuje snadno (Kukal 1986). Velký vliv na vznik vápenců má prostředí sedimentace. Hloubka jejich usazování ovlivňuje velikost, tvar a čistotu vápenců (Petránek 1963). Většina vápenců usazovaných během paleozoika je mělkovodního původu. Od Mesozoika až po recent se ukládají převážně vápence hlubokovodní, tvořené schránkami planktoních organismů (Kukal 1986). Vysokoprocenní vápence vznikají sedimentací a účinností schránek mořských a útesotvorných organismů v mělké teplé vodě v místech s aktivním prouděním vody (Kužvart 1997). V klidném prostředí hlubšího moře vzniká usazováním vápenného bahna mikritický vápenec s nekarbonátovou jílovitou příměsí (Kužvart 1984). Faktory, které sedimentaci karbonátů zcela zabraňují či omezují, jsou klima a přínos terigenního materiálu (Kukal 1986).

Během diagenese vápenců můžeme rozlišovat šest hlavních procesů: 1) Cementace, 2) mikritizace, 3) neomorfismus, 4) rozpouštění, 5) kompakce a 6) dolomitizace. Při diagenезi probíhá rekrystalizace vápenného kalu, při níž se jemnozrnný a bahnitý sediment mění v pevnou a zrnitou horninu (Tucker 2001). Tento proces může být doprovázen několikanásobným rozpouštěním a znovu vysrážením kalcitu za odlišných podmínek (Svoboda et al. 1957). Přeměna usazeniny v pevnou horninu probíhá zároveň se změnami minerálního složení (Kužvart 1997). Mezi tyto procesy patří především silicifikace a dolomitizace. Během diagenese může nadále vznikat pyrit, fosfát a glaukonit (Petránek 1963). Silicifikace je proces charakteristický pro rané i pozdní fáze diagenese. Při tomto procesu dochází k mobilizaci SiO_2 a k jeho rozptýlení v karbonátovém sedimentu (Tucker 2001). Způsob diagenese závisí značně na genesi a struktuře původně usazeného nezpevněného sedimentu a mění se podle jeho zrnitosti a chemického složení (Svoboda et al. 1957).

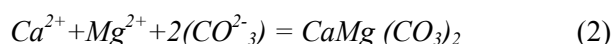
3.2 Dolomity

Dolomity se označují horniny, které obsahují přes 50% uhličitanu - kalcitu a dolomitu, v nichž dolomit převládá nad kalcitem. Dále mohou obsahovat příměsi jako anhydrit, sádrovec, jílovitou složku, organické látky a pyrit (Warren 2000). Podle množství a složení přítomných uhličitanů může dolomit přecházet do vápence (obr. 5).

3.2.1 Dolomitizace vápenců

Dolomity se mohou rozlišovat podle prostředí, ve kterém vznikaly na mořské, lagunární a jezerní. Současně je však možné dělit dolomity podle způsobu jejich vzniku, na dolomity primární a sekundární (Petránek 1963).

Krystalizace primárního dolomitu přímo z roztoku za nízkého tlaku a teplot probíhá špatně nebo neprobíhá vůbec. Primární dolomity se vyznačují jemnozrností, velikost jejich zrn bývá většinou pod 0,01 mm. Tyto dolomity jsou dále charakteristické nedostatkem organických zbytků, častá je i jejich horizontální stálost patrná na tenkých lavicích, které se střídají s vápenci. Vznik těchto dolomitů vyžadují vysrážení podle této reakce (Warren 2000).



Ačkoliv je tento typ dolomitu popsán v mnoha učebních materiálech a publikacích, původ primárního dolomitu je v současné době předmětem silných diskuzí. Přesto, že je roztok k dolomitu mnohokrát přesycen, uspořádávání struktury dolomitu je tak dlouho trvajícím procesem, že se rychleji a jednodušeji z takového roztoku vysráží aragonit a Mg- kalcit (Tucker 2001).

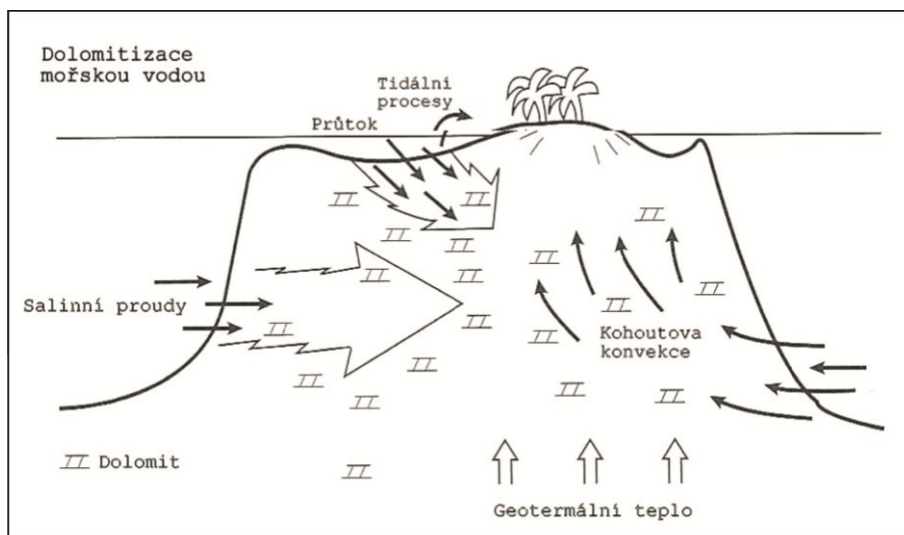
Dolomity sekundárního původu se liší od primárních dolomitů nejen svým původem, ale i makroskopickými a mikroskopickými znaky (Petránek 1963). Tyto dolomity mohou být rozlišovány podle úložných poměrů na:

- 1) *Syngenetický dolomit* vzniklý při sedimentaci v hypersalinních podmínkách (Kukal 1986). Tento dolomit tvoří pravidelné vrstvy rozsáhlé na značnou vzdálenost a ostře oddělené od podloží i nadloží (Petránek 1963). Textura tohoto dolomitu je homogenní a krystalky mívají mikritovou velikost. Vyskytují se často s evapority (Warren 2000).
- 2) *Diagenetický dolomit* vzniklý při rané i pozdní diagenезi, od překrytí sedimenty až po hluboké pohřbení (Kukal 1986). Tvoří nepravidelné čočky a tělesa nezávislá na zvrstvení (Petránek 1963). Jeho textura je heterogenní a je tvořena hrubšími krystaly (Kukal 1986).
- 3) *Epigenetický dolomit* vzniká cirkulací roztoků během tektonických deformací (Tucker 2001). Tento dolomit doprovázejí poruchové zony, zlomy a vrásky (Kukal 1986). V epigenetickém období se dolomitizace projevuje hlavně na puklinách, dutinách a v žilkách (Petránek 1963).

Svým rozsahem bývá epigenetická dolomitizace méně významná než dolomitizace diagenetická (Petránek 1963). Druhotný původ těchto dolomitů dokazují například reliktní struktury původních vápenců (Warren 2000).

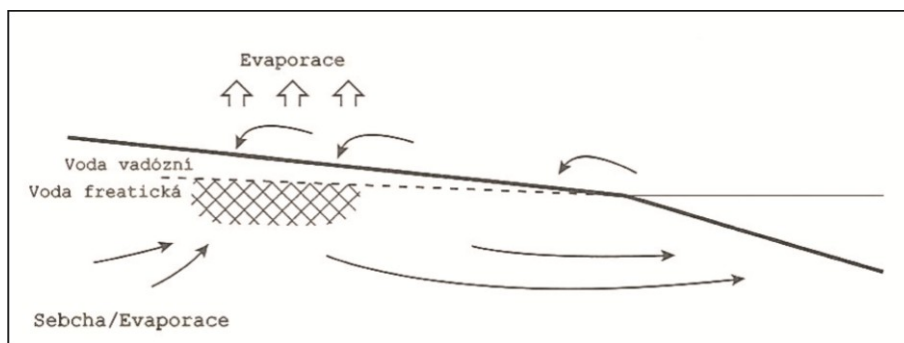
Nejvýznamnějším dolomitizačním pochodem je zatlačení kalcitu uhličitanem hořečnatým. Dolomit vzniká snadněji z Mg-kalcitu a z aragonitu, než z čistého kalcitu s dobře uspořádanou strukturou (Tucker 2001). Rychlost dolomitizace závisí na velikosti zrna zatlačovaného sedimentu, neboť jemnozrné kalové částice podléhají snáze dolomitizaci než hrubší krystalické částice. Významný faktor uplatňující se při dolomitizaci je porozita sedimentů. Ta ovlivňuje cirkulaci a průchod roztoků bohatých hořčíkem (Warren 2000).

První model, který je patrný z následujícího obrázku 6, vysvětluje dolomitizaci vápence působením geotermálního tepla a mořské vody. Ta může být poháněna skrze karbonátovou platformu několika způsoby. Hluboko oceánskými saliními proudy, tidálními procesy, prosakováním mořské vody do podložních sedimentů nebo Kohoutovou konvekcí (Tucker et al. 1990).



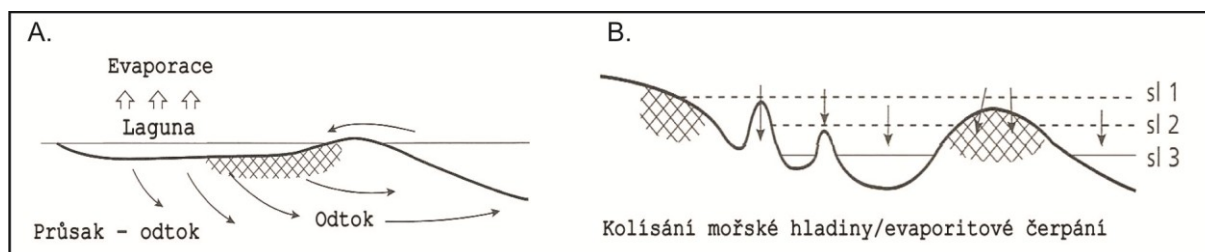
Obr. 6. Dolomitizace mořskou vodou (dle Tucker et al. 1990)

Vznik dolomitu se může také vázat na přímořské sebachy (obr. 7.), kde se dolomit vysráží z roztoku (Warren 2000). Klíčový je v tomto případě poměr Ca/Mg iontů, který je sebachách daleko vyšší oproti mořské vodě. To je způsobeno odčerpáním Ca iontů z roztoku způsobené krystalizací sádrovce a anhydritu (Tucker et al. 1990).



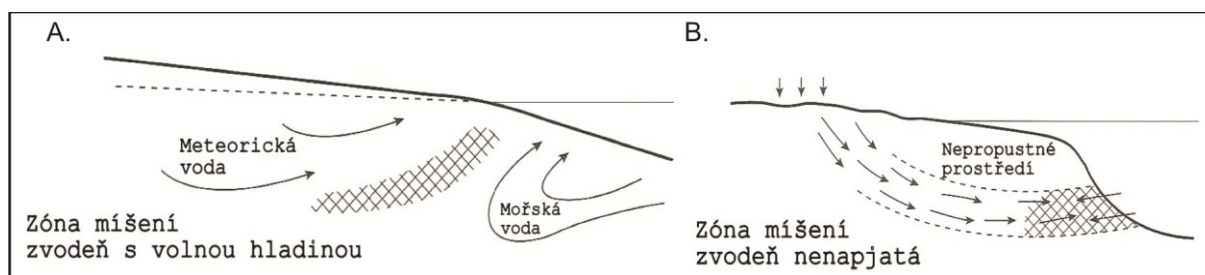
Obr. 7. Dolomitizace v přímořských sebachách (dle Tucker et al. 1990)

Působením evaporizace a průsaků vody v aridních lagunách vzniká dolomitizace při dně a v podložních horninách (Tucker et al. 1990). Takto vzniklá dolomitizace nastává působením vod, přečerpaných přírodními procesy z míst, kde se srážel sádrovec nebo anhydrit (Warren 2000). Tento model demonstruje obrázek č. 8-A. Evaporitové čerpání hraje významnou roli také v modelu na obrázku č. 8-B, kde společně s kolísáním mořské hladiny také mohou tvořit podmínky vhodné pro dolomitizaci (Tucker 2001).



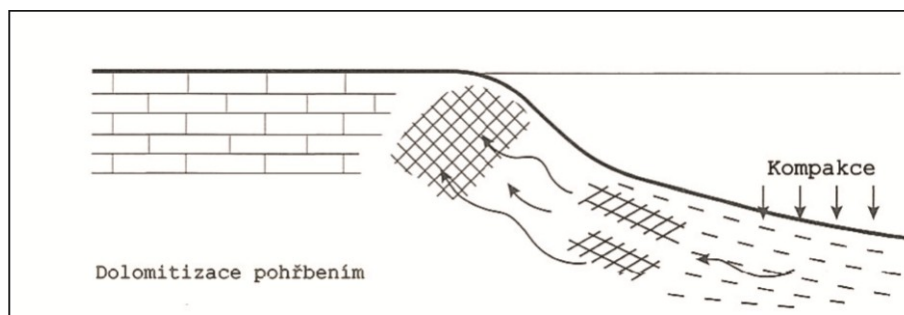
Obr. 8. Dolomitizace kombinací A. evaporace/ průsak-odtok; B. evaporace/kolísání mořské hladiny (dle Tucker et al. 1990)

Za nejvýhodnější podmínky pro dolomitizaci pokládá Folk et al. (1975), míšení podzemních sladkých vod s mořskými. Tento jev probíhá v horninovém prostředí, kde se může vázat na zvrdeň s volnou hladinou (obr. 9-A) a zvrdeň nenapjatou v nepropustném prostředí (obr. 9-B) (Tucker et al. 1990).



Obr. 9. Dolomitizace při kontaktu meteorické a mořské vody A. zvrdeň s volnou hladinou; B. zvrdeň nenapjatá (dle Tucker et al. 1990)

Vznik dolomitu je v mnoha případech přisuzován také pohřbení vápencové formace do značných hloubek, kde hrají významnou roli vysoké tlaky a teploty. Za zdroj Mg^{2+} je v těchto podmínkách považována přeměna jílových (Tucker 2001) a rozklad tmavých minerálů (Kukal 1986). Šíření, cirkulace a pohyb hydrotermálních fluid v tomto horninovém prostředí se především váže na zlomy a jiné dislokace (Tucker et al. 1990).



Obr. 10. Dolomitizace pohřbením (dle Tucker et al. 1990)

3.3 Uplatnění vápencové suroviny v závislosti na jejím chemickém složení

V přírodě se vyskytující vápence obsahují vedle CaCO_3 i různé příměsi a právě ty jsou hlavním rozhodujícím činitelem pro jeho použitelnost, pro způsob těžby a případně pro další úpravu.

V obchodní a technické praxi je jakost vápencové suroviny posuzována podle chemického složení (%) uvedeného v normě ČSN 72 1217 (Těhnik et al. 2011). Vápenec se dělí do osmi tříd I až VIII (tab. 2.)

Tab. 2. Chemické složení vápenců dle normy ČSN 72 1217

| Chemické složení (%) | Třída jakosti | | | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|--------------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ min. | 98,5 | 97,5 | 96,0 | 95,0 | 93,0 | 85,0 | 80,0 | 75,0 |
| Z toho MgCO_3 max. | 0,5 | 0,8 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 10,0 | 15,0 | |
| SiO_2 max. | 0,3 | 0,8 | 1,5 | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 8,0 | 18,0 |
| $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 2,0 | 3,5 | 5,0 | 6,0 | 6,0 |
| z toho Fe_2O_3 min. | 0,03 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | |
| MnO max. | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | nestanoví se | | | |
| SO_3 max. | 0,08 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 2,0 |

Z hlediska použití vápenců jako nerostné suroviny jsou vápence dle Geofondu ČR děleny v registru ložisek na (Starý et al. 2013).

- *Vysokoprocentní vápence (VV)* – s obsahem alespoň 96% karbonátu (z toho max. 2% MgCO_3)
- *Vápence ostatní (VO)* – s obsahem alespoň 80% karbonátu (z toho max. 15% MgCO_3)
- *Vápence jílovité (CK)* - s obsahem CaCO_3 kolem 70 % a s vyššími obsahy SiO_2 a Al_2O_3

3.3.1 Oblasti použití vápencové suroviny

Využívání vápenců má již několika tisíciletou tradici. Počátky výroby vápna sahají až do mladší doby kamenné. Rychlý rozvoj průmyslu od 19. století vedl k tomu, že se vápenec stal významnou surovinou i v dalších průmyslových oblastech jako je stavebnictví, hutnictví, sklářství, v chemickém průmyslu a v zemědělství. S rostoucími požadavky na ochranu životního prostředí se rychle zvyšuje spotřeba vápenců pro čištění spalin ze spalovacích procesů, úpravu odpadních vod a likvidaci odpadů (Těhnik et al. 2007).

Stavební průmysl

Vápence jsou jednou ze základních surovinových složek pro výrobu anorganických pojiv. Jelikož vápence obsahují řadu nečistot, které ovlivňují jejich konečné použití, platí pro vápence při výrobě cementů, vápna a maltovin jisté kvalitativní limity. Pro stavební účely se obecně rozlišují dva hlavní druhy vápna, vzdušné a hydraulické vápno. Při klasifikaci vápenců pro výrobu vápna se obvykle uvádí poměr CaO k tzv. hydraulickým složkám SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 , který u středně hydraulického vápna má hodnotu 3 až 6 (Hlaváč 1988). U vzdušného vápna je součet hlavních složek CaO a MgO vyšší než 85 hmot. %. Na výrobu vápna hydraulického je potřeba méně čistých vápenců, avšak s obsahem nad 10% hydraulických složek. Na výrobu jedné tuny vápna se spotřebuje až 1,9 t vápence (Těhnik et al. 2007)

Pro výrobu cementu je nejlepší vápenec takový, který již obsahuje přirozenou příměs potřebných látek v takových poměrech, které nevyžadují korekci složení pomocí žádné další složky (Gemrich et al. 1998). Vsázka k výrobě slínku obsahuje až 78 % CaCO_3 a významné množství hydraulických složek

SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 (Hlaváč 1988). V cementářství je nevýhodné zpracovávat příliš čisté vápence, protože jsou většinou hůře melitelné, při výpalu jsou méně reaktivní, hůře slinují a ovlivňují tak negativně náklady na mletí a výpal (Těhník et al. 2007).

Díky poměrně dobré odolnosti vůči povětrnostním účinkům a dobré opracovatelnosti, jsou vápence poměrně dobrý stavební kámen. Vápence se využívají k výrobě drceného šterku, který je výhodný zejména při stavbě cest, jako podkladový materiál dopravních komunikací, případně i jako samostatný silniční povrch. Tento šterk je také využíván jako podsyp pod koleje. V neposlední řadě jsou vápence používány jako dekorační kameny (Polák 1972).

Sklářský průmysl

Pro sklářskou výrobu se používají vápence I. – III. jakosti dle normy ČSN 72 1217 (tab. 2.) (Polák 1972). Ve sklářském průmyslu jsou vápence limitovány obsahem zejména Fe_2O_3 . Množství této barvicí složky se pro různé druhy skel liší. Limity pro obsah oxidu železitého se pohybují 0,05% pro sklo optické a křišťálové speciální, přes 0,1% pro sklo křišťálové, dále přes 0,3% pro sklo obalové a skelná vlákna až po 0,5% pro sklo polobílé a barevné (Gregerová 1996). Pozornost je však nutné věnovat obsahu i dalším barvicím oxidům a to TiO_2 a ZrO_2 , které by měly být vždy co nejnižší (Hlaváč 1988). Do sklářského kmene se také přidává dolomit. Hořčík snižuje viskozitu taveniny a obsah $\text{CaO} + \text{MgO}$ působí jako stabilizující složky (Polák 1972). Na jednu tunu sklářské vsázky se spotřebuje až 200 kg vápence (Těhník et al. 2007).

Životní prostředí

Vápenec a vápno jsou nejúčinnějšími sorbenty pro odsiřování spalin elektráren, tepláren a spaloven. Metody, způsoby a kvalitativními požadavky vápenců pro odsiřování kouřových plynů jsou předmětem této práce a jsou detailněji popsány v kapitole 4.

V čističkách odpadních vod se používá hydroxid vápenatý pro úpravu pH, pro srážení organických koloidů, fosfátů a těžkých kovů a pro potlačení nežádoucích pachů (Těhník et al. 2011). Kaly z čistíren odpadních vod jsou vhodným materiálem pro rekultivaci půd (Gemrich et al. 1998).

Vápno, měkce pálený dolomit a vápence se jako nezbytné přísady používají při čiření vody koagulací, úpravě podzemních vod srážením sloučenin Fe a Mn, srážení těžkých kovů a toxických prvků, úpravě tvrdosti pitné vody, odstraňování agresivního oxidu uhličitého, změkčování vody a v řadě dalších aplikací. Pro účely úpravy pitné vody jsou na vápence kromě chemického složení kladeny požadavky hygienické a toxikologické nezávadnosti (Gemrich et al. 1998).

Ostatní průmyslová odvětví

V hutnickém průmyslu poskytuje vápenec důležitou struskotvornou přísadu při výrobě železa (Petránek 1963). Při výrobě jedné tuny železa se spotřebuje až 1500 kg vápence (Těhník et al. 2007).

V chemickém průmyslu jsou vápence významné zejména pro dusíkárný, výrobu celulózy a papírny, výrobu sody a gumárny. V Cukrovarnictví je vápenec zdrojem CO_2 potřebného k saturaci cukerných šťáv (Kuzvart 1984). Při výrobě jedné tuny cukru se spotřebuje až 165 kg vápna (Těhník et al. 2007).

Mleté vápence se dále uplatňují při výrobě kosmetiky, asfaltérské moučky, jako plnivo do asfaltu, čisticí prášky, přípravky na mytí nádobí, neutralizace kyselin, výroba minerálních barev a laků, různé druhy omítkovin, lepidel a tmelů, zubní pasty (Polák 1972).

Hutnictví, chemický průmysl a speciální obory mají zpravidla vyšší požadavky na čistotu vápenců než stavebnictví a zemědělství (Kužvart 1984). Jednotlivé třídy vápenců dle normy ČSN 72 1217 uvedené v tabulce 2. jsou určeny převážně pro tyto účely (Těhník et al. 2011):

I. třída – sklářské, gumárenské, pro chemii, hutě, výrobu stavebních hmot, výrobu vzdušného vápna

II. třída – sklářské, gumárenské, pro chemii, hutě, výrobu stavebních hmot, výrobu vzdušného vápna

III. třída – cukrovarnické, potravinářské, gumárenské, sklářské, pro chemii, odkyselování vod, jemnou keramiku, výrobu stavebních hmot, hutě

IV. třída – sklářské, pro výrobu stavebních hmot, hutě, zemědělské účely

V. třída – sklářské, pro výrobu stavebních hmot, zemědělské účely

VI. a VII. třída – zemědělské, výrobu stavebních hmot a další průmyslové účely

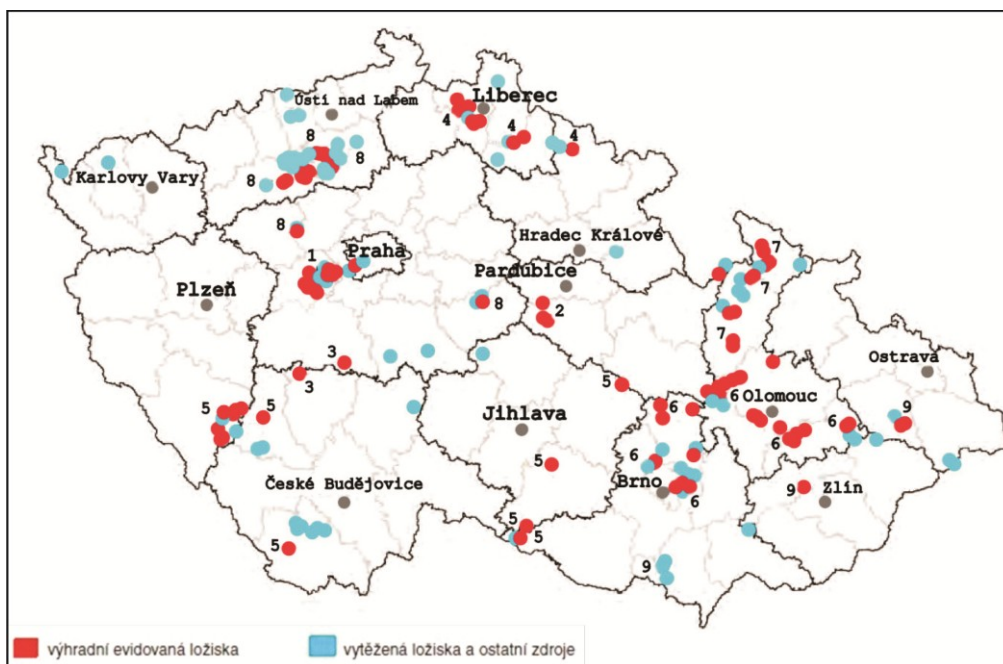
VIII. třída – zemědělské (hnojení) a pro výrobu stavebních hmot

V souhrnu výše uvedených průmyslových odvětví není vápenec nahraditelný, a ani výhledově není známa technologie, jež by v současném průmyslu vápenec ekonomicky nahradila (Kužvart 1997).

3.4 Těžba a zpracování vápenců v ČR

V České republice jsou vápence těženy povrchově a zpracování vytěženého vápence spočívá v drcení a rozdělení výsledné drtě na jednotlivé frakce 22,5 až 120 mm. Jemnější frakce jsou využívány pro odsiřování kouřových plynů, chemický, sklářský a potravinářský průmysl. Hrubší části uvedené frakce se pak používají pro výrobu vápna. Ve frakci pod 22,5 mm se hromadí nejvíce nekarbonátových složek, které jsou využívány jako korekční složky pro výrobu cementu (Kužvart 1997).

Vápencové horniny mají v ČR široké rozšíření téměř ve všech regionálně geologických útvech. Nejvýznamnější z nich jsou ložiska staropaleozoické, vápence středočeského Barrandienu, Železných hor a ostrovní zóny, Moravského krasu, severomoravského krasu a přerovsko–hranického devonu. Další významná ložiska jsou v Jurských bradlech na Moravě (Kužvart 1984). V krystaliniku jsou hlavními ložiskovými oblastmi pestré série moldanubika, krkonošsko-jizerské krystalinikum a série brané na severní Moravě.



Obr. 11. Evidovaná ložiska vápencové suroviny (Starý et al. 2013)

1. devon Barrandienu, 2. paleozoikum Železných hor, 3. středočeské metamorfované ostrovy, 4. krkonošsko-jizerské krystalinikum, 5. moldanubikum jihočeské a moravské, 6. moravský devon, 7. silesikum (skupina Branné), 8. česká křídová pánev (ohárecká a kolínská oblast), 9. vnější bradlové pásmo Západních Karpat

Tab. 3. Celková těžba vápencové suroviny v ČR (Starý et al. 2013)

| Rok | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Počet ložisek celkem | 86 | 85 | 85 | 85 | 85 |
| Z toho těžených | 21 | 21 | 21 | 21 | 22 |
| Zásoby celkem (kt) | 4 265 039 | 4 286 327 | 4 265 944 | 4 252 835 | 4 242 250 |
| bilanční prozkoumané | 1 742 662 | 1 762 240 | 1 742 290 | 1 730 722 | 1 720 472 |
| bilanční vyhledané | 1 777 976 | 1 777 754 | 1 777 529 | 1 777 351 | 1 1 777 016 |
| Nebilanční | 744 401 | 746 333 | 746 125 | 744 762 | 744 762 |
| Vytěžitelné | 1 374 694 | 1 385 719 | 1 361 101 | 1 353 361 | 1 342 133 |
| Těžba (kt) | 10 958 | 9 117 | 9 828 | 10 859 | 9 549 |

4. ODSIŘOVÁNÍ KOUŘOVÝCH PLYNŮ

Odsiřování kouřových plynů je dnes jediná, široce aplikovaná, a pro dodržení emisních limitů nezbytná metoda pro snižování sirmých emisí z energetiky (Hemerka et al. 2010). Je možno sem zařadit celou řadu metod, založených na nejrůznějších chemických či fyzikálně-chemických principech. Pokud bychom chtěli všechny tyto metody systematicky rozdělit, je možné užít dělení na metody regenerační, tedy takové, kde aktivní látka cirkuluje mezi absorpcí a regenerací, a neregenerativní (průtočné), kde aktivní látka po reakci s oxidem siřičitým proces opouští jako produkt odsíření (Pick 1971). Dalším možným rozdělením je dělení na procesy mokré, kde dochází k zachycování oxidu siřičitého v kapalinách nebo v suspenzích aktivní látky (Erdos et al. 1983), polosuché (Vejvoda et al. 2003) a suché, během nichž teplota spalin neklesá pod rosný bod vody. Dalším kritériem může být fyzikální či chemický charakter procesu, pak rozlišujeme procesy absorpční (např. mokrá vápencová metoda), adsorpční a procesy katalytické (Pick 1971).

4.1 Metody odsiřování kouřových plynů

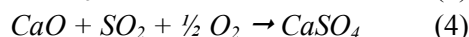
4.1.1 Suché metody odsiřování kouřových plynů

U suchých metod se odsiřuje vápencem při vysokých teplotách, při kterých mechanismus reakce spočívá v heterogenní reakci tuhá fáze – plyn. Proces lze aplikovat buď pro odsíření z klasických práškových, nebo z fluidních kotlů (Vejvoda et al. 2003).

Suchá aditivní vápencová metoda

Princip této metody spočívá v dávkování jemně mletého vápence příp. dolomitu do spalovacího prostoru (Pick 1971). Při procesu dochází nejprve při teplotě 900 °C k endotermické reakci - kalcinaci vápence. Vzniklý oxid vápenatý reaguje při teplotách 600 až 1000 °C s oxidem siřičitým za vzniku siřičitanu vápenatého, který se dále oxiduje na síran vápenatý. Výhodou této metody je jednoduchost a nízká investiční a provozní náročnost. Nevýhody představují nízká účinnost a velké množství přidaného aditiva (Hemerka et al. 2010).

Při tomto procesu probíhají reakce (Vejvoda et al. 2003) :



Fluidní spalování s aditivou

Vyšší účinnosti suché aditivní vápencové metody se dosahuje ve fluidních kotlích. Ve fluidní vrstvě je vhodná pracovní teplota pro kalcinaci a následné reakce 800-850 °C (Hemerka et al. 2010). Při tomto způsobu spalování je podstatně delší doba zdržení paliva a tím i aditiva v horké zóně, čímž lze dosáhnout podstatně lepšího stupně zreagování aditiva (Pick 1971). Velkou výhodou fluidního spalování je možnost spalovat nekvalitní uhlí s nízkou výhřevností (Vejvoda et al. 2003).

4.1.2 Polosuchá vápencová metoda

Tato metoda představuje přechod od suché aditivní metody k metodám mokrým (Pick 1971). Spočívá ve vstřikování vodní suspenze vápna do reaktoru, jímž je rozprašovací sušárna (VeJVoda et al. 2003). Tím dochází k reakci mezi vodní suspenzí a kyselými složkami spalin (Ibler 2002). V reaktoru probíhají tyto reakce:



Vedle siřičitanu vápenatého se tvoří oxidací i malé množství síranu:



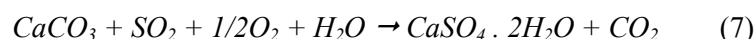
Teplem spalin se voda suspenze odpaří, takže produkty reakcí lze odstranit v tuhé formě odlučovákem (Ibler 2002). Pro tento proces odsiřování je důležité dosáhnout takové teploty spalin, která se co nejvíce přibližuje k rosnému bodu vody (VeJVoda et al. 2003).

4.1.3 Mokrý metody odsiřování kouřových plynů

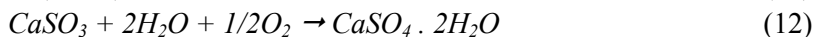
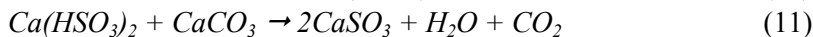
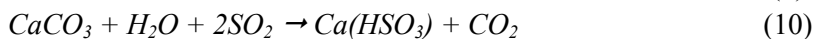
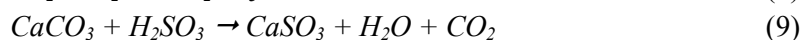
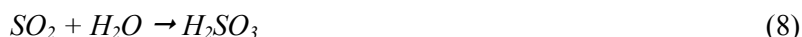
Mokrý vápencová vypírka

V současné době představuje mokrá vápencová vypírka nejužívanější metodu při odsiřování kouřových plynů z velkých zdrojů (Hemerka et al. 2010). Tato metoda se během svého vývoje rozdělila podle získávaného produktu. V Evropě a Japonsku vedl vývoj této metody k získávání využitelného energosádrovce – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, zatímco v USA k produkci nevyužitelného kalu (Pick 1971). Kvůli problémům při skladování tohoto kalu, převládá ve světě způsob produkující komerčně dobře využitelný energosádrovec (Ibler 2002).

Principem této metody je vypírání oxidu siřičitého vodní suspenzí vápence, která probíhá nejlépe při teplotě okolo 60 °C (VeJVoda et al. 2003) podle sumární reakce:



Dílní děje probíhající při tomto procesu vystihují rovnice 6 - 11. Jedná se o absorpci SO_2 ve vodě, rozpouštění vápence, vznik siřičitanu a jeho oxidace na síran (Hemerka et al. 2010):



Jako sorbent se v naprosté většině případů používá vápenec, který musí být dostatečně jemně namlet pro dosažení dobré účinnosti procesu (VeJVoda et al. 2003). Pro omezení tvorby úsad, zvětšení účinnosti odsiřování zvýšením koncentrace vápenatých iontů Ca^{2+} ve vypírací suspenzi i zlepšení kvality energosádrovce se k suspenzi vápence přidávají anorganická a organická aditiva (Pick 1971). Další předností této metody je účinné odstranění dalších škodlivin např. chlorovodíku, fluorovodíku, popílku a stopových sloučenin těžkých kovů (Ibler 2002). Zachycené plyny z elektrofiltrů o teplotě 150 až 200 °C jsou nejdříve zbaveny popílku, částečně chlazeny a jsou zavedeny do absorbéru, kde dochází k samotnému odsiřování (Pick 1971). V absorbéru dojde k reakci oxidů síry s uhličitánem vápenatým (CaCO_3) za vzniku siřičitanu vápenatého (CaSO_3) a po dooxidování zavedeným vzduchem

vznikne konečný krystalický síran vápenatý ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$) – sádrovec (Vejvoda et al. 2003). Sádrovec je z absorberu odčerpáván a zbavován vody (Pick 1971). Vyčištěné kouřové plyny musejí být ohřáty na teplotu nutnou pro rozptyl komínem. Pro ohřev odsířených spalin se používají rotační regenerativní výměníky tepla využívající teplo neodsířených spalin (Hemerka et al. 2010). Dosažení řádného průtoku kouřových plynů a přijatelných tlakových poměrů po celé trase, zajišťuje posilovací kouřový ventilátor (Vejvoda et al. 2003). Vyčištěné a ohřáté kouřové plyny pak procházejí stávajícím komínem a jsou rozptylovány do atmosféry.

4.1.4 Regenerační metody

Výhodou těchto metod je regenerace činidla, jeho návrat do procesu a tedy jeho menší spotřeba (Hemerka et al. 2010). Regenerační metody nejsou zdaleka tak populární jako metody průtočné. Hlavní příčinou je skutečnost, že jsou nákladnější v důsledku materiálové a energetické náročnosti procesu regenerace v s průtočnými procesy (Vejvoda et al. 2003). Regenerační procesy ještě obtížněji uplatňují produkty odsíření než produkty průtočné (Pick 1971). Z regeneračních procesů největšího rozšíření dosáhl proces natrium – sulfitový a proces magnezitový (Hemerka et al. 2010).

Natrium sulfitový proces

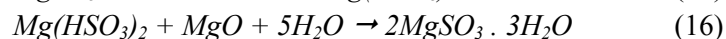
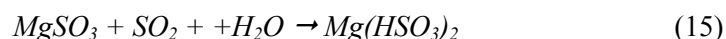
Vstupní surovinou je hydroxid sodný (NaOH) nebo uhličitan sodný (Na_2CO_3) (Vejvoda et al. 2003). Oxid siřičitý reaguje v absorberu se siřičitanem sodným (Na_2SO_3) a vodou za vzniku hydrogen siřičitanu sodného (NaHSO_3) dle rovnice:



Oxid siřičitý z regenerace slouží většinou k výrobě kyseliny sírové nebo elementární síry (Hemerka et al. 2010).

Magnezitová metoda

Vstupní surovinou je oxid hořečnatý (MgO), připravený kalcinací přírodního minerálu magnezitu nebo MgO z mořské vody (Vejvoda et al. 2003). Principem procesu je absorpce oxidu siřičitého do suspenze oxidu hořečnatého. Podstatu metody lze shrnout do rovnic (Pick 1971):



Vedlejšími reakcemi se tvoří síran hořečnatý. Trihydrát se pak suší při cca 170°C a získaný MgSO_3 se kalcinuje při vysoké teplotě (Vejvoda et al. 2003). MgO se vrací do cyklu a SO_2 , který se získává z regenerace, lze zpracovat na kyselinu sírovou, kapalné SO_2 , elementární síry a další sirmé sloučeniny (Erdos et al. 1983).

4.2 Základní informace k technologickému procesu odsiřování tepelných elektráren Skupiny ČEZ

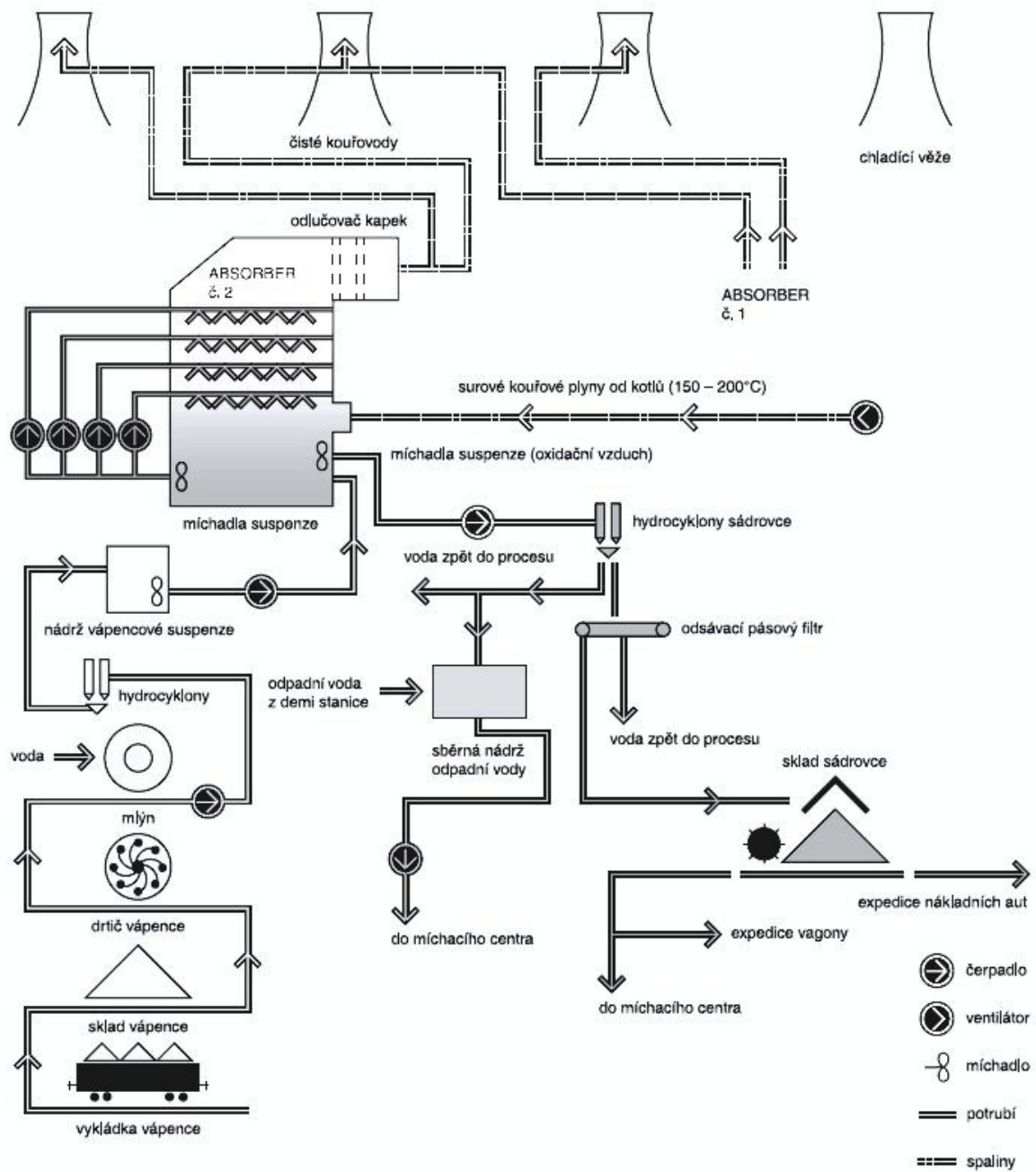
Snižování emisí oxidů síry bylo vyvoláno přijetím zákona o ovzduší 309/91 Sb., resp. jeho novely zákonem 218/92 Sb. Zákon zavedl emisní limity pro střední a velké zdroje znečišťování. Za velký zdroj považuje zákon zařízení na spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, za velký zdroj o tepelném výkonu nad 5 MW. Každý existující střední a velký zdroj měl stanoven emisní limit pro stávající zdroje, který vycházel z minima dosažitelných emisí na daném zdroji. Ten stanovila individuálním posouzením Česká inspekce životního prostředí (Vejvoda et al. 2007). Z tohoto důvodu byla do konce minulého století v 9 uhelných elektrárnách Skupiny ČEZ instalována technologie (32 bloků) pro odsiřování palin o celkovém instalovaném výkonu 5930 MW.

V elektrárnách Skupiny ČEZ jsou používány dvě neregenerativní metody odsiřování kouřových plynů z kotlů, a to mokrá metoda, při níž jsou spaliny vedeny přes mokrou vápencovou vypírku, a tzv. polosuchá metoda, při které jsou škodliviny ze palin absorbovány na částicích vápenné suspenze a částice takto vzniklého produktu jsou následně vlivem tepla kouřových plynů usušeny. Sádovec vzniklý u mokrých metod je z procesu odstraňován a následně odvodněn a použit buď k průmyslovému zpracování ve stavebnictví, nebo společně s popelem z kotlů uložen na úložiště. Polosuché metody vyžadují zachycení produktů odsiřování společně s popílkem v elektroodlučovačích. Takto zachycený produkt je dále zpracováván a využíván.

Fluidní kotle jsou technologií spalování, která umožňuje přímé snižování emisí. Vápenec je přidáván přímo do ohniště a k zachycení oxidů síry dochází přímo ve spalovací komoře. V tabulce 4. je přehled odsiřovacích systému v jednotlivých tepelných elektrárnách Skupiny ČEZ (ČEZ 2006)

Tab. 4. Instalovaná odsiřování kouřových plynů z kotlů Skupiny ČEZ

| Elektrárna | Bloky | Metoda |
|------------------------|--|---|
| Elektrárna Dětmarovice | 4 x 200 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Hodonín | 50 MW, 55 MW | fluidní spalování |
| Elektrárna Chvaletice | 4 x 200 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Ledvice | 3 x 110 MW | 2 x polosuchá metoda 1 fluidní kotel |
| Elektrárna Mělník II | 2 x 110 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Mělník III | 500 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Počeradky | 5 x 200 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Poříčí II | 3 x 55 MW | fluidní spalování |
| Elektrárna Pruněřov I | 4 x 110 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Pruněřov II | 5 x 210 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Tisová I | 2 kotle pro 3 x 57 MW + 1 x 12,8 MW | fluidní spalování |
| Elektrárna Tisová II | 112 MW | mokrá vápencová |
| Elektrárna Tušimice II | 4 x 200 MW | mokrá vápencová |



Obr. 12. Schéma odsíření Elektrárny Chvaletice - Mokrý vápencová vypírka (převzato z ČEZ 2006)

4.3 Technologické požadavky na sorbent

U metod odsiřování spalin používaných v ČR se k zachycení SO₂ a dalších kyselých složek používají především vápence, vápna a vápenný hydrát.

Spotřeba sorbentu závisí především na (Ibler 2002).

- obsahu síry v palivu (v původním vzorku) S^r (kg/kg)
- na požadované účinnosti odsíření
- použitém poměru Ca/S
- typu a čistotě sorbentu, hmotnostním poměru sorbent/vápník
- reaktivitě a dalších specifických vlastnostech sorbentu, např. jemnosti mletí
- vhodných podmínkách pro průběh příslušných reakcí, závisí na konstrukci zařízení

Rozpustnost – určuje koncentraci sorbentu v suspenzi. Rozpustnost vápence ve vodě je poměrně nízká. Mezi 17 a 25 °C činí 14 – 15 mg.dm⁻³. Při 100°C dosáhne asi 30 - 40 mg.dm⁻³. V přítomnosti CO₂ se rozpustnost vápence zvyšuje se zvyšujícím se parciálním tlakem CO₂. Vyšší rozpustnost vápna umožňuje pracovat s vyšší koncentrací vápníku v suspenzi (Ahlbeck et al. 1995)

Reaktivita – je ukazatel, udávající kolik procent vzorku sorbentu reaguje s SO₂. Reaktivita závisí na chemickém složení odsiřovací suroviny. Reaktivita vápenců roste s rychlostí rozpouštění vápence ve vypírací suspenzi (Ahlbeck et al. 1995)

Granulometrie - velikost částic vápence je nepřímo úměrná povrchu, tzn. se zmenšující se velikostí částic, se zvětšuje povrch vztažený k jednotce objemu vypírací suspenze. Rozemletí bývá na velikost částic pod 40μm (De Blasio et al. 2012).

Melitelnost – vápenec by měl být co nejlépe melitelný. Hůře melitelné vápence vyžadují vyšší náklady na mletí (De Blasio et al. 2012).

Chemické složení – vápenec by měl být co nejčistší, protože chemická reakce probíhá výhradně mezi CaO a SO₂. S SO₂ reaguje také MgCO₃, avšak ve velmi malé míře. Ostatní látky obsažené ve vápenci jsou nežádoucí (Ahlbeck et al. 1995)

Požadavky tepelných elektráren ČEZu na jakost vápencové suroviny pro mokrou vápencovou vypírku pro Lomy Mořina s.r.o. jsou znázorněny v tabulce 5.

Tab. 5. Požadavky ČEZu na jakost vápencové suroviny pro mokrou vápencovou vypírku

| CaCO ₃ (hm %) | MgCO ₃ (hm %) | SiO ₂ (hm %) | Al ₂ O ₃ (hm %) | Fe ₂ O ₃ (hm %) |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| min. 95 | 2 - 4 | max. 2 | max. 0,5 | max. 0,2 |

Pro polosuché metody je jako sorbent používáno mleté vápno a vápenný hydrát. U fluidních kotlů je požadován vápnitý slín, jehož obsah CaCO₃ je v rozmezí 70 až 75 hm % (Těhnik et al. 2007).

5. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI

5.1 Geografie

Ložisko vápenců Mořina – východ (Velká Amerika) se nachází ve středočeském kraji v okrese Beroun a v katastrální území Mořina. Vlastní lom leží severozápadně, cca. 1 km od obce Mořina při silnici Mořina – Bubovice. Lokalita je dobře komunikačně dostupná prostřednictvím účelové komunikace - tunelu pod silnicí Mořina - Bubovice. Její jižní předpolí pak po účelové komunikaci z výrobního závodu společnosti Lomy Mořina. Potenciál přístupu na lokalitu pak nabízí i část z vyražených štol.

Morfologie území je relativně mírná. Lokalita se nachází v prostoru nevýrazné elevace s nadmořskými výškami mezi 390 až 415 m n.m. (Štefek 1995). Její okolí je převážně zemědělsky obdělávané s četnými doklady předchozí těžby reprezentovanými opuštěnými lomy a deponiemi skrývkového a výklizového materiálu. Východní část území je odvodňována do Karlického potoka, západní část k jihu do Budínského potoka. Komunikačně je lom přístupný ze silnice Mořina – Bubovice nebo účelovou komunikací od výrobního závodu a konečné stanice železniční vlečky Nučice – Mořina.

Z hydrologického hlediska je východní část území odvodňována do Karlického potoka (místní erozní báze v úrovni cca. 330 m n.m.), západní část území do potoka Budňanského (místní erozní báze v úrovni cca. 300 m n.m.) (Chybík 1956).

Z pohledu ochrany přírody je lokalita situována ve 3. zóně CHKO Český kras. Severně od ložiska je vyhlášena přírodní památka opuštěný Lom u Kozolup. Dále západně od lomu je státní přírodní rezervace Karlštejn.

Lokalita je tvořena jámovým lomem 750 až 800 m dlouhým, 120 až 150 m širokým a 60 až 90 m hlubokým. Východní část lokality je zahloubena na úroveň 5. patra (335 až 340 m n.m.). Západní částečně zatopená část lokality je zahloubena na úroveň 6. patra (322 až 327 m n.m.). Úroveň hladiny vody se v zatopené části vytěženého prostoru pohybuje okolo 333 m n.m. (Štefek 1995).

5.2 Geotektonická pozice

Zájmová oblast se nachází v regionálně geologické jednotce označované jako Barrandien. Barrandien spolu s dalšími regionálními jednotkami tvoří regionální celek Českého masívu. Český masiv je zbytkem rozsáhlého variského horstva, které bylo vyvrásněno v období středního devonu až svrchního karbonu (Cháb et al. 2008). Na stavbě Českého masívu se podílejí především horniny prekambriického a paleozoického stáří. Jejich velké celky spolu před variským vrásněním přímo nesouvisely a teprve procesy variského vrásnění je spojily v jeden kratonizovaný celek. Český masiv je členěn do pěti základních oblastí, na oblast moldanubickou, oblast tepelsko-barrandienskou (středočeskou), oblast sasko-durynskou (saxothuringikum) a oblast západosudetskou (lužickou) (Chlupáč et al. 2002).

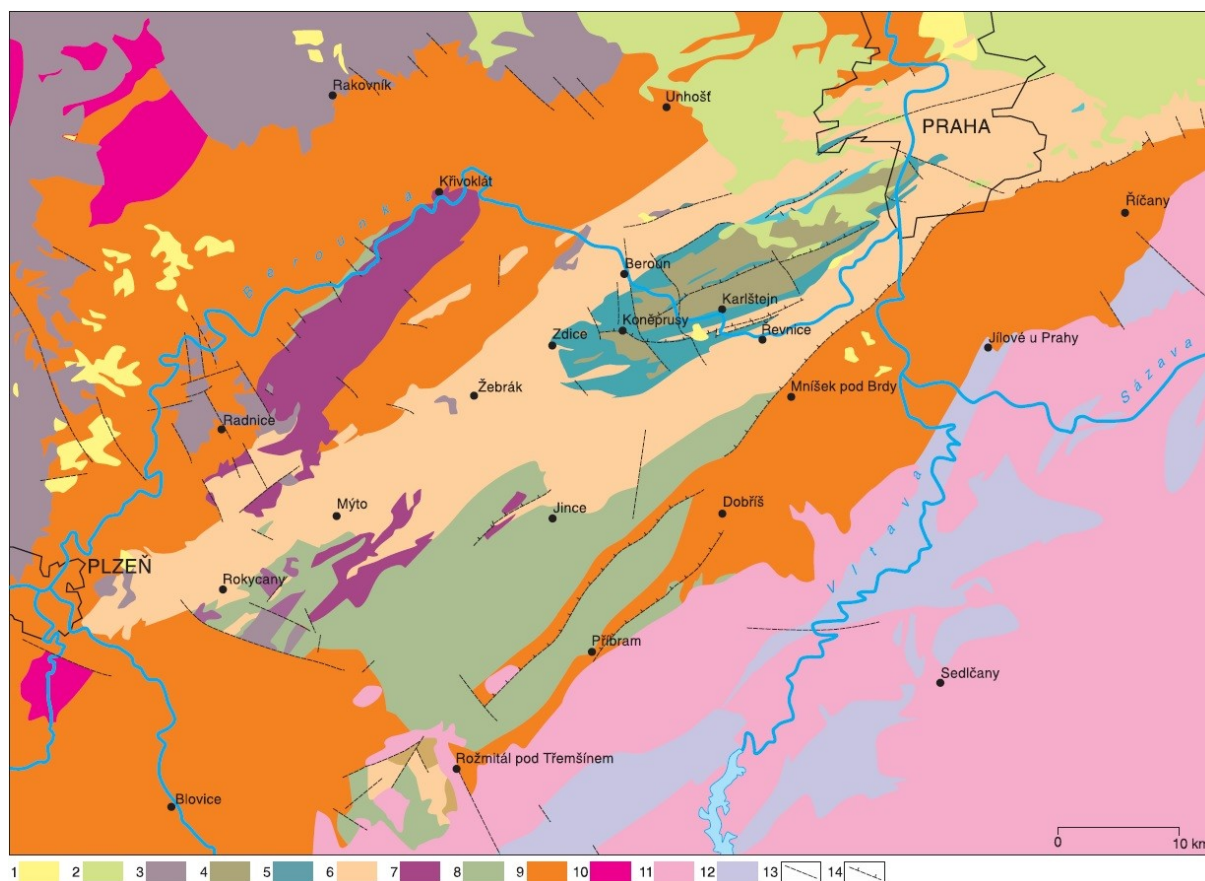
Jihovýchodní ohraničení Barrandienu mezi Klatovy a okolím Úval tvoří hlubinné zlomové pásmo, které odděluje Barrandien od oblasti moldanubika. Jižní hranice s Barrandiensem tvoří středočeský pluton, jenž je jednou ze základních jednotek moldanubika. Na granitoidních horninách středočeského plutonu jsou místy zachovány zbytky hornin, které sedimentovaly společně s horninami uloženými v barrandienské pánvi. Jedná se o tzv. metamorfované ostrovy (Chlupáč et al. 2002). Západní hranice představuje kontakt s východním okrajem karbonských sedimentů manětínské a plzeňské pánve a východními okraji čistecko-jesenického, stodského a kdyňského masívu. Severní okraj Barrandienu se mezi Kostelcem nad Labem a Rakovníkem noří pod karbonské a křídové sedimenty (Cháb et al. 2008).

5.3 Geologická charakteristika a vývoj pražské pánve Barrandienu

Barrandien je budován celky proterozoika, které jsou postižené a často přeměněné již kadomským vrásněním a metamorfózou. Na proterozoikum nasedají, s výraznou diskordancí uloženiny staršího paleozoika tzn. kambrium, ordovik, silur a devon. Horniny těchto útvarů, pak byly od středního devonu dále postiženy variským vrásněním (Chlupáč 1999).

Stavba Barrandienu se vyznačuje tektonickými strukturami SV-JZ směru. Uložení paleozoických vrstev je pánvovité, s nejmladšími silursko-devonskými soubory ve střední části pánve mezi Prahou a jižním okolím Berouna. Jedná se o vlastní pánevní jádro zvrásněné do velkého synklinoria (Chlupáč et al. 2002).

Pražská pánev se nachází na území Barrandienu v jeho střední až severovýchodní části. Pražská pánev je úzká lineární deprese riftového charakteru, která se táhne barrandienským směrem, od Starého Plzně na JZ přes území Prahy až k Úvalům a Brandýsu n. Labem na SV, kde se noří pod uloženiny svrchní křídly (Chlupáč et al. 1992). Počátkem ordoviku do pražské pánve vniklo moře, jež sem zasahovalo nepřetržitě až do konce středního devonu. To nám zanechalo v pražské pánvi úplný sedimentární sled přes všechny tyto období. Sedimentace byla doprovázena silnou vulkanickou činností a sedsedimentární deformací pánve (Havlíček 1981).



Obr. 13. Schématická geologická mapa barrandienského paleozoika (převzato z Kachlík 2003)

1) neogenní kontinentální sedimenty, 2) svrchnokřídové kontinentální a mořské sedimenty, 3) svrchnokarbonské a permské kontinentální sedimenty, 4) devonské marinní sedimenty, 5) silurské marinní sedimenty a vulkanity, 6) ordovické marinní sedimenty a vulkanity, 7) svrchnokambričské vulkanické horniny, 8) kambričské kontinentální a mořské sedimenty, 9) proterozoické marinní sedimenty a vulkanity, 10) prevariské plutonity, 11) variské plutonity, 12) proterozoické a paleozoické metasedimenty a metavulkanity ostrovní zóny střečeského plutonu, 13) zlomové linie, 14) významné směrné přesmyky

5.3.1 Neoproterozoiku – kambrium

Nejstarší horniny, které se vyskytují na území Barrandienu, patří do období svrchního proterozoika (neoproterozoika). Neoproterozoické sekvence jsou tvořeny rytmicky zvrstvenými flyšoidními komplexy hornin, drob, břidlic a slepenců, ve kterých jsou hojně rozšířena tělesa podmořských polštářových láv a bulžníků, které vznikaly v souvislosti s podmořskou vulkanickou činností (Chlupáč 1999).

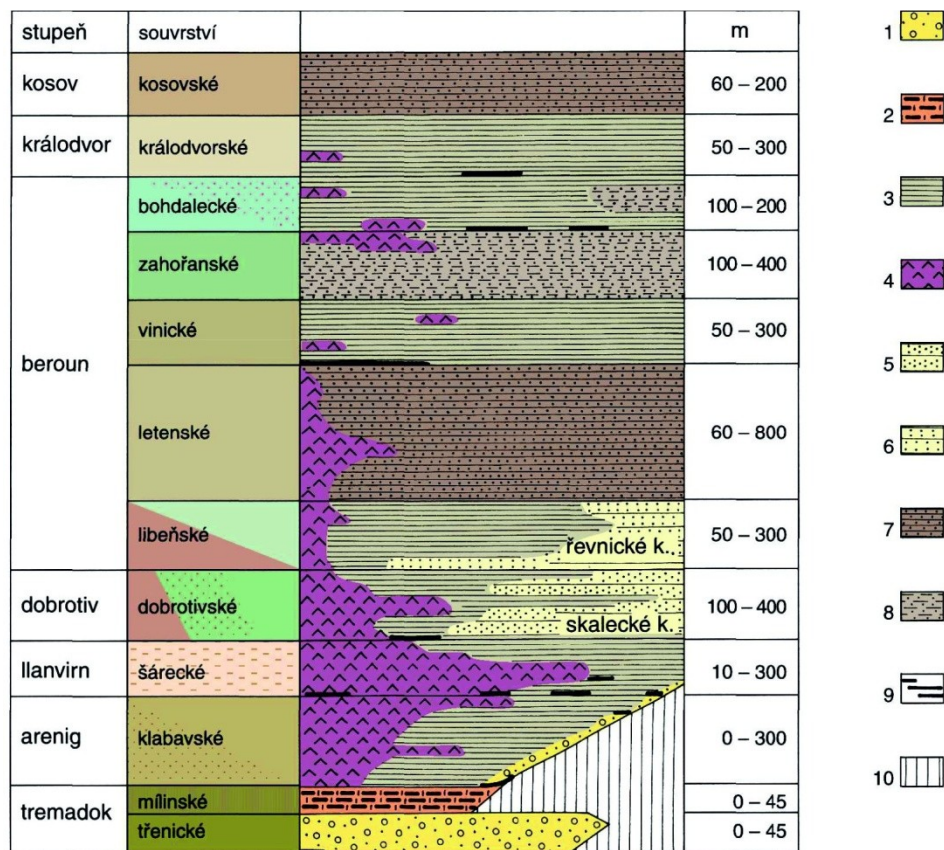
Horniny kambrického stáří jsou zastoupeny ve dvou hlavních oblastech ve středních a západních Čechách. Nejúplnější vývoj kambria je doložen v příbramsko-jinecké pánvi, kde na povrch vystupuje mocná sekvence slepenců, pískovců a drob. Méně úplný vývoj kambria byl zjištěn v skryjsko-týřovické pánvi, kde bazální breccie a slepence do nadloží postupně zjemňují a přecházejí do pískovců, drob a břidlic (Havlíček 1981). Ve svrchním kambriu se zvyšuje vulkanická aktivita, která se váže na křivklátsko rokycanské pásmo a strašický komplex. Na přelomu kambria a ordoviku vzniká vlastní pražská pánev (Chlupáč et al. 1992).

5.3.2 Ordovik

Ordovická sedimentace nastupuje v pražské pánvi po dlouhotrvajícím hiátu, kdy sedimentace byla přerušena během celého svrchního kambria (Havlíček 1981). S postupem ordovické transgrese a eustatických zdvihů mořské hladiny se během svrchního ordoviku rozsah pánve zvětšoval a prostor nabýval charakteru okrajového moře (Chlupáč et al. 2002). Ordovické uloženiny tvoří spodní část pánevní výplně a leží diskordantně na neoproterozoickém a kambrickém podloží. Ordovik je v pražské pánvi vyvinut ve dvou základních faciích, jílovité a písčité. Toto střídání břidličných a pískovcových uloženin souvisí s deformací pánve, doprovázenou periodickým vystupováním elevačních zón a tím i periodickým zvyšováním erozní báze (Havlíček 1981). Sedimenty jsou výhradně klastické a jen výjimečně se vyskytují karbonáty. Význačnými horninami z tohoto období, které měly v minulosti velký hospodářský význam, jsou sedimentární železné rudy (Košťák et al. 2011). Od spodního ordoviku je téměř celé toto období doprovázeno bazickým vulkanismem, soustředěným do úzkého komárovského vulkanického pásma JJZ – SSV směru. Maximální intenzita vulkanismu spadá na počátek středního ordoviku. Ordovik pražské pánve se východním směrem noří pod uloženiny svrchní křídly a přechází tak do monotonie facie budované převážně černými jílovitými břidlicemi (Chlupáč et al. 1992).

Sedimentace v pražské pánvi začala uložením pískovců a drob *třenického* souvrství. K výrazné faciální změně došlo počátkem arenigu. Tuto změnu v režimu mořské pánve a postupující mořskou transgresi odráží souvrství *klabavské*. V důsledku dalšího formování pánve a diferenciaci jednotlivých poklesávajících bloků narostla faciální pestrost v jejích jednotlivých částech. V hlubších partiích se usazovaly šedavé břidlice, v mělčích sedimentovaly červené prachovce a tufity (Chlupáč et al. 1992). K další změně došlo počátkem středního ordoviku. Po krátké regresi, která se projevila uložením sedimentárních železných rud, nastalo výrazné prohloubení doprovázené disoxií. Tento proces se projevuje sedimentací s výraznou převahou šedých břidlic (Košťák et al. 2011). Význačným rysem *šáreckého* souvrství je přítomnost křemitých nodulí, které se vyskytují v polohách uvnitř břidlic (Chlupáč et al. 1992). V nadložním *dobrotivském* souvrství se opět výrazně projevila diferenciaci pánve. Přejít z disoxického do anoxického režimu, je v hlubších částech pánve zaznamenán sedimentací černošedých až černých břidlic (Chlupáč et al. 2002).

Mělké části jsou charakteristické nástupem mocných poloh křemenců. Facie *libeňského* souvrství na počátku svrchního ordovíku mají podobný charakter jako v přímém podloží. Další *letenské* souvrství odpovídá nástupu rytmické sedimentace, vyznačující se rychlým střídáním hrubších a jemnějších uloženin. Nadložní *vinické* souvrství, tvořené převážně černými břidlicemi, ukazuje na dočasné prohloubení pánve (Chlupáč et al. 1992). Přechodné změlčení pánve dokládají tmavošedé prachovce *záhořanského* souvrství s malým podílem karbonátů v základní hmotě. Opětovné prohloubení poklesávajících bloků poté vrátilo charakter sedimentů zpět k převaze tmavých břidlic, tvořících jednotku *bohdaleckého* souvrství (Košťák et al. 2011). Následující souvrství *královské* odráží vyrovnání sedimentačních podmínek. Převažují zelenošedé, velmi jílovité břidlice karbonátovými konkréciemi (Chlupáč et al. 2002). Chudá fauna nejvyšších partií *královského* souvrství signalizuje změnu podmínek, které představují prudké ochlazení. Odrazem rozsáhlého zalednění jsou sedimenty nevyššího ordovického souvrství, které se nazývá *kosovské* (Košťák et al. 2011). Báze kosovu jsou vyvinuta dvě tělesa takzvaných diamiktitů, u kterých lze předpokládat transport v ledových krách (Chlupáč et al. 2002). Nadložní diamiktitů je tvořeno křemenci, místy s polohami břidlic (Chlupáč et al. 1992). Tyto horniny svědčí o výrazném změlčení, jež bylo způsobeno poklesem hladiny oceánů v důsledku zalednění (Košťák et al. 2011).

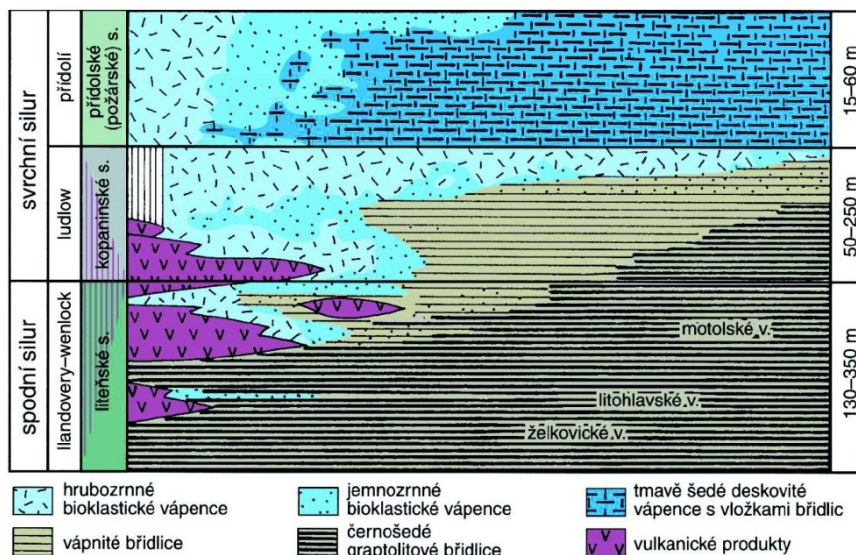


Obr. 14. Stratigrafické schéma ordovíku (dle Chlupáč et al. 2002)

5.3.3 Silur

Úplný vývoj siluru je zachován v pražské pánvi zhruba mezi Prahou a Zdicemi. Silurské uloženiny nasedají na ordovické sedimenty bez přerušení pánevní sedimentace místy je však místy je však vyvinut hiát zejména v okolí Prahy (Štorch 1986). Charakter spodního siluru byl ještě ovlivněn dozvuky svrchnoordovického zalednění (Havlíček 1981). Pro spodní silur jsou zcela charakteristické černé graptolitové břidlice. Střední silur je typický pro výlevy bazaltů tzv. diabasů, která se soustřeďovala na poruchová pásma SV-JZ směru v místech křížení pražského a tobolského zlomu, tobolského a tachlovického zlomu a podél tachlovického zlomu (Chlupáč et al. 1992). Ve svrchním siluru pak začíná rozsáhlá sedimentace karbonátů, především organodetritických a biogenních vápenců. Silur představuje po devonu druhou nejvýznamnější etapu v sedimentaci barrandienských karbonátů (Košťák et al. 2011).

Silur v pražské pánvi počíná náhlým nástupem černých graptolitových břidlic, které jsou odrazem eustatického zdvihu mořské hladiny. Bazální *liteňské* souvrství lze rozdělit na tři nižší jednotky, vrstvy želkovické, litohlavské a motolské. *Želkovické* vrstvy se vyznačují převahou černých graptolitových břidlic, které mají ve své spodní části zvýšený přínos písčitého materiálu. Výše se objevují i vložky křemitých břidlic a černých silicitů. *Litohlavské* vrstvy jsou charakteristické střídáním černošedých graptolitových a nazelenalých jílových břidlic. Převládajícími horninami nadložních vrstev *motolských* jsou vápnité graptolitové břidlice, v nichž jsou hojné tufitické vložky a vápencové konkrce (Chlupáč et al. 1992). Faciální vývoj spodní části nadložního *kopaninského* souvrství plynule navazuje na vývoj motolských vrstev. S výjimkou území vulkanických akumulací převažuje sedimentace vápnitých břidlic s tufitickou příměsí a do nadloží přibývá karbonátová složka (Chlupáč et al. 1992). Ve svrchní části kopaninského souvrství ustala vulkanická činnost a po všeobecném změlčení se usazovali biogenní vápence (Chlupáč et al. 2002). *Požárecké* souvrství nejvyššího stupně siluru se vyznačuje nástupem tmavých jemnozrnných vápenců s vložkami vápnitých břidlic. Tato změna odráží tzv. bazální přídolský event, vyznačený prohloubením a mořskou transgresí (Chlupáč et al. 1992).

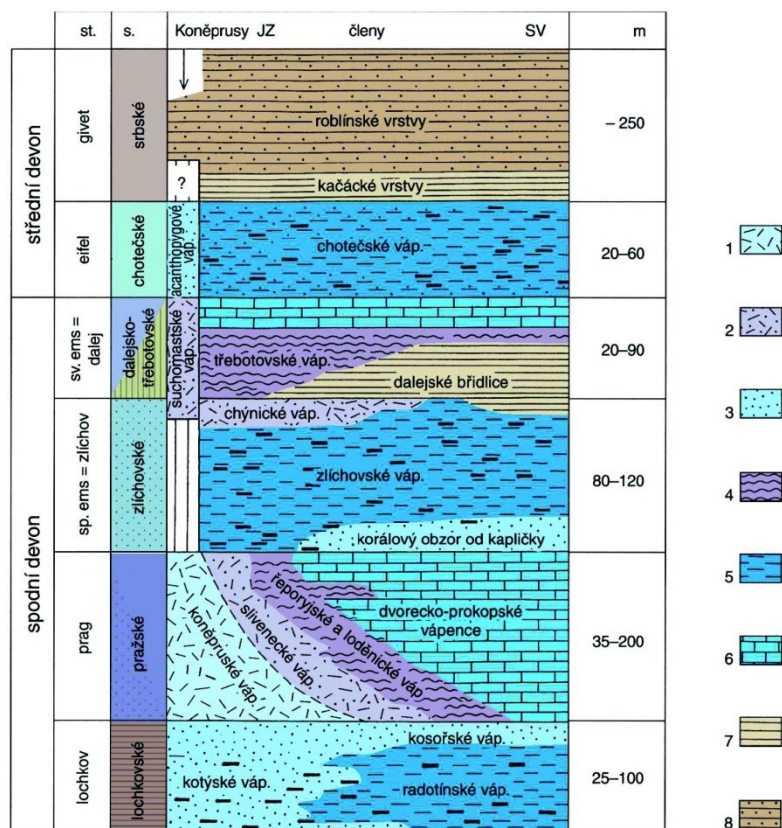


Obr. 15. Stratigrafické schéma siluru (dle Chlupáč et al. 2002)

5.3.4 Spodní až střední devon

Barrandien je nejklašičtější oblastí výskytu devonu na světě, není tedy divu, že hranice mezi silurem a devonem byla zvolena právě zde v Klonku u Suchomast (Chlupáč et al. 1992). V důsledku tehdejšího teplého klimatu je devon Barrandienu velmi faciálně i sedimentologicky pestrý (Košťák et al. 2011). Devon je v pražské pánvi zastoupen svým spodním a středním oddělením. S výjimkou nejvyššího srbskéhou souvrství v něm převládá karbonátový vývoj, který bez přerušení pokračuje z podložního siluru (Chlupáč et al. 1992). V tomto období došlo k uložení nejmocnějších vápencových vrstev v celém barrandienu (Svoboda et al. 1957). Díky korálovým útesům, jejich svahům i okolnímu hlubšímu dnu se zde vyskytují vápence útesové, mělkovodní bioklastické, mikritické, hlíznaté i obsahující rohovce. Barrandienské vápence se také liší barvou, od bílých přes červené až po šedé. Počátkem vyššího středního devonu dochází v Barrandienu k výrazné faciální změně. Vápencová sedimentace je vystřídána klastickými sedimenty flyšoidního rázu, což bylo zapříčiněno tektonickými pohyby způsobené variským orogénem (Havlíček 1981). Na rozdíl od siluru byla vulkanická činnost ve středočeském devonu jen slabá a velice krátká, omezovala se jen pouze na nejvyšší spodní devon, tedy dále (Chlupáč et al. 1992).

V pražské pánvi, stejně jako v celých středních Čechách spočívá devon zcela konkordantně na podložním vrstevním komplexu silurském (Svoboda et al. 1957). Spodní devon začíná *lochkovským souvrstvím*, ve kterém je možné rozlišit dvě hlavní facie, vápence radotínské a vápence kotýské (Chlupáč et al. 1992). Hlubokovodní radotínské vápence jsou tvořeny rytmickým střídáním vrstev tmavě šedých jemnozrnných vápenců s černošedých vápnitých břidlic. Místy jsou hojné i černé rohovce. Vápence kotýské jsou světle šedé bioklastické krinoidové vápence, usazované v mělkovodním prostředí. Přechodní facií mezi těmito dvěma typy jsou tzv. vápence kosořské (Chlupáč et al. 2002). Ve vyšším lochkovu roste sedimentační rychlost a změlčování, které vrcholí na bázi nadložního *pražského souvrství*. To se vyznačuje přechodem z hlubokovodních kalových do mělkovodních útesových sedimentů (Chlupáč et al. 1992). První facií tohoto souvrství jsou šedé, jemnozrnné dvorecko-prokopské vápence. Druhou facií jsou jemnozrnné hlíznaté vápence řeporyjské, které mají charakteristickou červenohnědou barvu (Chlupáč et al. 2002). Další facie tohoto souvrství jsou vápence loděnické, které jsou pestře skvrnité. Dále načervenalé, krinoidové slivenecké vápence a světle šedé, krinoidové vápence koněpruské (Svoboda et al. 1957). Během sedimentace pražského souvrství se uplatňuje trend postupného prohlubování, které je narušeno eventem na bázi *zličovského souvrství*. Ten se projevuje transportem hrubého bioklastického materiálu od JV (Chlupáč et al. 1992). Faciální vývoj zličovského souvrství je podstatně stálejší než podložního pražského souvrství (Chlupáč et al. 2002). V celém sledu převládají šedé vrstevnaté jemně biodetritické a mikritové vápence s tmavými rohovci. Střední devon začíná *dalejsko - třebotovským souvrstvím*. Počátkem tohoto souvrství nastupuje etapa prohloubení, která provází eustatický výzdvih mořské hladiny (Chlupáč et al. 1992). Ten vedl k sedimentaci dalejských břidlic a jemnozrnných hlíznatých třebotovských vápenců (Chlupáč et al. 2002). Do staršího středního devonu náleží souvrství chotečské s převahou šedých vápenců s rohovci (Chlupáč et al. 2002). Karbonátová sedimentace pak byla vystřídána flyšovou sedimentací srbského souvrství (Kettner 1937), jehož posledním dochovaným sledem jsou vrstvy *roblínské*, které jsou charakteristické náhlým zvýšením přínosu pevninského materiálu (Svoboda et al. 1957). Ten byl vyvolán tektonickou aktivitou zapříčiněnou variským orogénem (Kukal et al. 1988).



Obr. 16. Stratigrafické schéma devonu Barrandienu (dle Chlupáč et al. 2002)

5.3.5 Střední devon - recent

Od středního devon až po svrchní karbon byl Barrandien ovlivňován a postižen variským vrásnění (Kukal et al. 1988). Z karbonických, permských a mezozoických sedimentů se pak na území Barrandienu dochovaly pouze relikty. Intenzivnější sedimentace probíhala až ve svrchní křídě, kdy se usazovaly pískovce a vápnité slínovce. V terciéru se ukládaly říční klastické sedimenty, štěrky a štěrkopísky (Cháb et al. 2008). V kvartéru docházelo k ukládání spraší a svahových sedimentů a vytvářely se říční písčité a štěrkové terasovité stupně (Růžičková et al. 2001).

5.4 Geologická stavba a tektonické porušení pražské pánve

V počátečním stádiu měla pražská pánev charakter mělkého zálivu, na území Prahy zúženého na méně než 15 km (Chlupáč et al. 1992). Toto stádium bylo brzy vystřídáno diferenciací sedimentačního prostoru na podélné a příčné segmenty o různé subsidenci. Rychle klesající segmenty se změnilly v synklinální struktury nebo hluboce zakleslé kry. Segmenty s pomalou subsidencí nebo bez sedimentace se později staly antiklinálami (Havlíček 1981). Během siluru segmentace pánve pokračovala a vzniká synsedimentární tachlovický zlom, oddělující kry o nestejně subsidenci a různém litologickém vývoji, a dále také zlomy pražský a kodský (Chlupáč et al. 1992). Po ukončení sedimentace v devonu je možné tektonické porušení barrandienského paleozoika zapříčiněné variským vrásněním rozdělit do několika fází.

V první *pogivetské* fázi byl původní epirogentický vývoj vystřídán tektogenezí. Staropaleozoické uloženy v centrální části Barrandienu byly v území mezi Prahou a Zdicemi velmi intenzivně zvrásněny. Intenzita vrásnění není všude stejná, což souvisí s rozčleněním pražské pánve na různé mobilní příčné a podélné segmenty. V období od skončení sedimentace v givetu do počátku nového sedimentačního cyklu ve vestfálu byl Barrandien ještě jednou postižen tektogenními pohyby a to ve fázi *předvestfálské* (Havlíček 1963). Tato fáze je etapou výrazných deformací za působení tangenciálního tlaku (Kodym 1921).

Stavba severozápadního křídla je poměrně jednoduchá. Kompletní stratigrafický sled vrstev, jdoucí od středu pánve z nejmladších vrstev srbských až do nejspodnějších vrstev silurských, zde komplikují pouze dvě významné směrné a příčné poruchy (Svoboda et al. 1947). Diametrálně odlišná je naopak geologická stavba jihovýchodního křídla pánve. Při vrásnění tohoto území došlo k mocnému porušení vrstev, a to jak poruchami směrnými, tak i mladšími poruchami příčnými (Kodym 1924). Intenzita vrásových deformací ve východobarrandienském segmentu klesá jak směrem k okrajům pánve, tak i do hloubky (Havlíček 1963).

Osa pražské pánve prochází *Synklinálou holyňsko-hostimskou*. Její boky tvoří souvrství vápenců hlubočepských, střed vyplňují provrásněné vrstvy srbské. Vlastní střed pánve je mírně zvlněn a zprohýbán do drobných synklinál a antiklinál. Jihovýchodním křídlem se tektonicky stýká podél hlavního tetínského přesunu se sousední antiklinálou Doutnáče (Svoboda et al. 1949).

Antiklinála doutnáče je nejvnitřnějším mocným antiklinálním pruhem jihovýchodního křídla. V jejím vyvrásněném středu se antiklinála mocně rozevívá a vystupují v ní silurské vápence budňanské. Od nejvíce rozevřeného středu se tento strukturní pruh jak severovýchodu tak k jihozápadu postupně zužuje a uzavívá. Antiklinála Doutnáče přechází k jihovýchodu ve strukturní pruh synklinály chlumu poruchy (Svoboda et al. 1947).

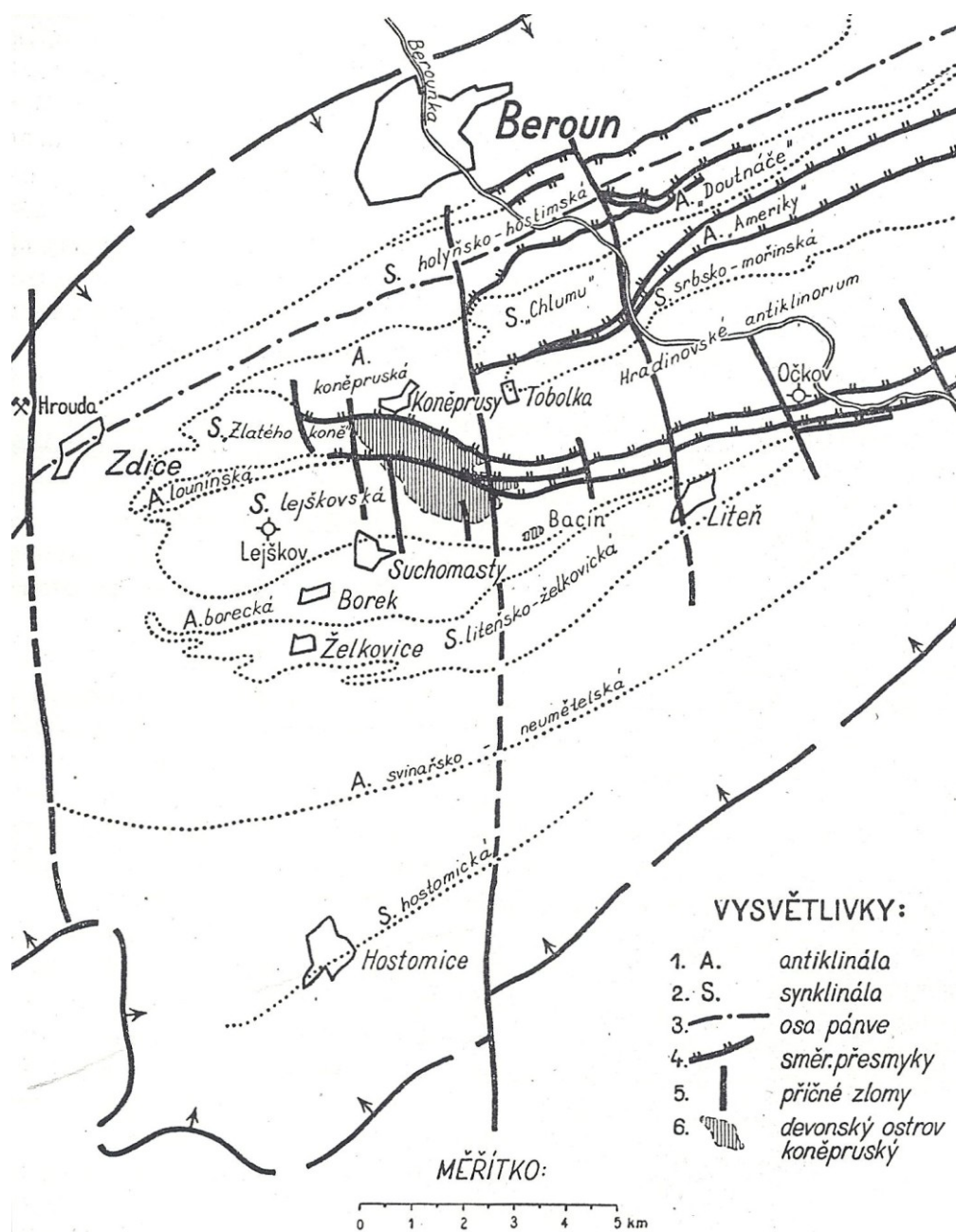
Synklinála *Chlumu* vystupuje mezi dvěma hlavními antiklinálními pruhy JV křídla, antiklinálou Doutnáče a antiklinálou Ameriky. Tento strukturní pruh je velmi nepravidelný a zejména ve střední části pánve silně zmáčklý a tektonicky porušený (Svoboda et al. 1949). Od sousedních antiklinál je tento synklinální pruh oddělen směrnými poruchami. Budují jej převážně vápence třebotovské a chotečské. Jihovýchodním křídlem se synklinála Chlumu stýká podél severní větve kodského přesmyku s antiklinálou Ameriky (Svoboda et al. 1955)

Strukturní pruh *antiklinály Ameriky* je oddělen od sousedních synklinálních pruhů oběma větvemi kodského přesmyku. Tato antiklinála nejvíce rozevřena v okolí Mořiny, kde je to komplikovaná antiklinála s oběma velmi strmými křídly, místy až překocnými, jejíž střed je detailně provrásněn a porušen směrnými poruchami. Jižní křídlo antiklinály Ameriky vykazuje složitější tektoniku nežli křídlo severní. To je dáno bezprostředním vlivem severní větvi kodského přesmyku, který antiklinálu

mocně porušuje a vysunuje jádro vlastní antiklinály, tvořené diabasovými tufy a tufity budňaských vrstev přes jižnější část antiklinály. Strukturálním pruhem antiklinály Ameriky končí mohutné vyvrásnění středu pánve (Svoboda et al. 1955).

Jižní větví kodskeho přesmyku je oddělena antiklinála Ameriky od jižnějšího strukturálního pruhu *synklinály srbsko-mořinské*. Je to překocená a detailně provrásněná synklinála, která je rozdělena mocnějším antiklinálním strukturálním pruhem na dvě části. Ve svém středu je synklinála vyplněna nejmladšími vrstvami srbskými a v křídlech pak vápenci hlubočepskými. K jihovýchodu přechází synklinála srbsko-mořinská ve strukturální pruh hradinovského antiklinoria (Svoboda et al. 1953).

Hradinovské antiklinorium je tvořeno řadou větších i menších antiklinál a synklinál, silně stlačených až překocených nebo porušených malými směrnými přesmyky. Tento strukturální pruh je budován převážně vrstvami vápenců branických a dále souvrstvím vápenců silurských (Svoboda et al. 1953).



Obr. 17. Strukturální mapa jihozápadního křídla pražské pánve (převzato z Svoboda et al. 1949)

5.5 Dolomitizace v Barrandienu

Vápence střeodočeského siluru a devonu jsou více méně dolomitické. Otázka vzniku a rozšíření těchto hornin v Barrandienu nebyla doposud soustavněji studována. Různé formy a intenzita dolomitizace zřetelně poukazuje na to, že jsou dolomitizační pochody různého stáří a probíhaly odlišně.

Podle Kodyma (1953 in Svoboda et al. 1957) mohou být dolomitické partie v Barrandienu vázány na blízkost útesové facie a to na místa, kde tato facie přechází do facie neútesové. Vznik dolomitu tak přisuzuje působení mořských proudů, které smývaly jemný karbonátový kal z biogenních lavic. Méně rozpustný $MgCO_3$ sedimentoval v bezprostřední blízkosti útesů, kdežto $CaCO_3$ byl přepravován do větších vzdáleností. Takto vzniklý dolomit vznikl již při sedimentaci a původ Mg je tak syngenetický.

Vznik dolomitických hornin z devonských vápenců může být podle Petránka (1951) vázán na období diagenetických pochodů v souvislosti s akumulacemi krinoidových článků. Žijící krinoidi obsahují až 13% $MgCO_3$, a mohou tak být dobrým zdrojem Mg pro procesy dolomitizace.

Náprstek (1954) rozlišuje také dolomit časně diagenetický, dolomit pozdně diagenetický, případně epigenetický. Vznik dolomitu přikládá mělkému prostředí se stojatou až mrtvou vodou, v němž při dnu vznikla silná koncentrace Mg-iontů.

Diagenetickou a epigenetickou dolomitizaci svrchnosilurských vápenců přisuzuje Kukul (1955) působení Mg iontů z mořské vody, která mohla obsahovat více anorganických solí následkem vyluhování tufitického materiálu.

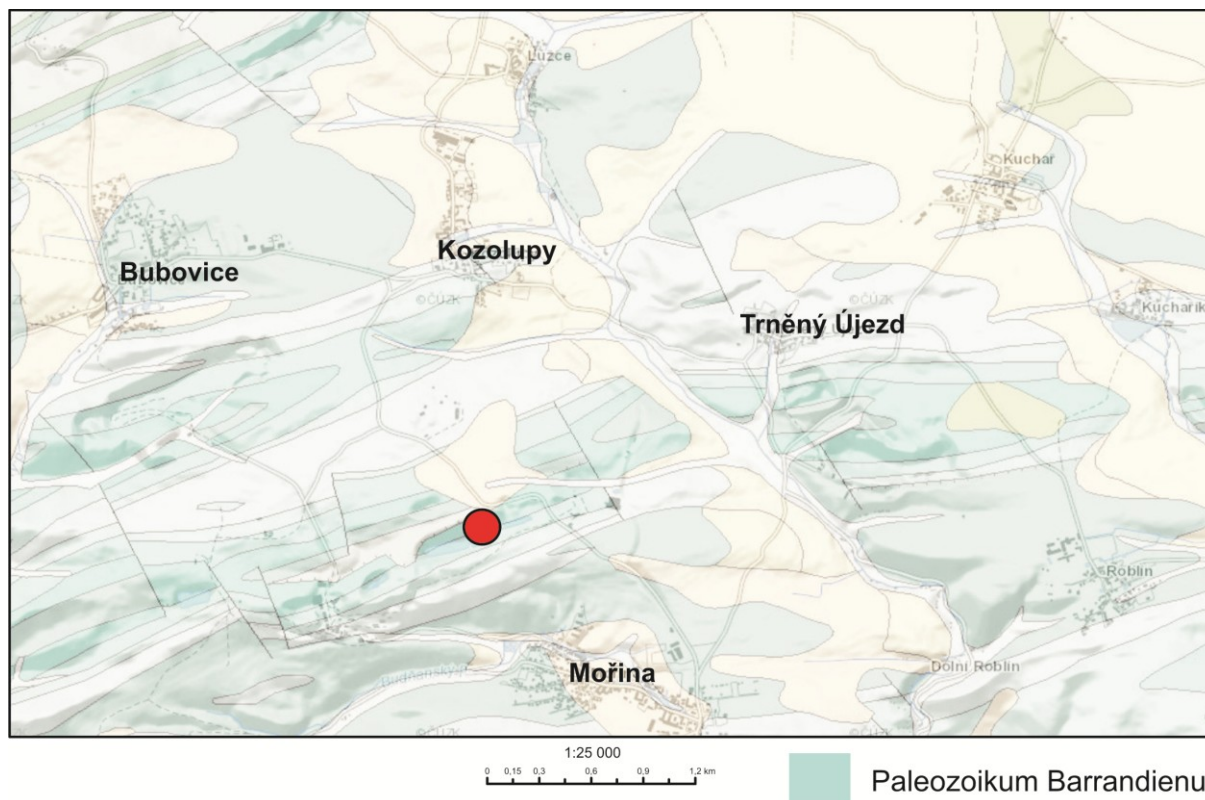
S nejnovější interpretací v této problematice přichází Suchý et al. (1996). Ten zaznamenává v nejsvrchnějších svrchnosilurských vrstvách dolomitizaci epigenetickou. Její vznik interpretuje rekrystalizací působením horkých fluid během hlubokého pohřbení následkem Variského vrásnění, přičemž za zdroj Mg považuje souvrství silurských břidlic.

Z dosavadních výzkumů a prací lze sledovat intenzitu dolomitizace ve stratigrafickém sledu barrandienských souvrství následovně. Maximální obsah MgO byl zjištěn ve vápencích *budňanského* souvrství svrchního siluru. Do nadloží průměrný obsah MgO klesá přes vápence *lochkovské*, *spodní koněpruské* až k vápencům *svrchním koněpruským*, kde dosahuje minima. U *sliveneckých*, *řeporyjských* a *dvoreckoprokopských* vápenců průměrné procento MgO opět stoupá. Do nadložních vápenců *zlíchovských* obsah MgO opět klesá. Nízké procento MgO je také v nejsvrchnějších devonských barrandienských vápencových souvrstvích, vápencích *třebotovských* a *chotečských* (Svoboda et al. 1957).

5.6 Geologická stavba lomu Velká Amerika

Území lomu Mořina – východ geologicky náleží do centrální části pražské pánve, ke struktuře jižního křídla antiklinály Ameriky. Antiklinála Ameriky vznikla v první fázi variského vrásnění působením tangenciálního tlaku. Druhá fáze variského vrásnění dislokovala vápencová souvrství podle radiálních zlomů do ker poklesového nebo přesmykového charakteru (Kodym 1921). Tyto poruchy je možné rozdělit do dvou skupin: starší s úklonem příkrým k východu a mladší. Působením těchto poruch došlo k rozmístění tektonických ker a to tak, že východní kry u poruch první skupiny jsou posunuty k jihu, kdežto poruchy druhé skupiny je posunují k severu. Při konečné stavbě antiklinály Ameriky pak hrála roli skupina mladších poruch severojižního směru. Poslední fáze variského orogénu se na stavbě antiklinály již významně nepodepsala (Kodym 1924).

Antiklinální pásmo Ameriky se prostírá v délce 4 km barrandienského směru a šířce asi 0,8 km (Chybík 1956). Osa této antiklinály je orientována ve směru VSV-ZJZ. Směrem SSZ přechází do synklinály Chlumu a směrem JJV do synklinály srbsko – mořinské (Svoboda et al. 1955). Sklon vrstev není na lokalitě stálý, obvykle se však pohybuje mezi 50 až 80°. Výjimku tvoří západní část lokality, kde vlivem severní větve kodského přesmyku došlo k výraznému prohybu vrstev a obvyklému strmému upadání vrstev, zde předchází jejich mírný sklon. Dominantní variská vrásňovací stavba území je na lokalitě porušena jednak tektonikou směrnou (severní větve kodského přesmyku), jednak tektonikou příčnou převažujících směrů SZ-JV a S-J. Výsledkem severní větve kodského přesmyku je nasunutí podložních vápenců budňanských (ve vulkanickém vývoji) až k ložiskovému nadloží a související překocení vápenců kotýských a koněpruských pod přesmykovou plochou a navazující výše zmíněný prohyb vrstev (Svoboda et al 1955). Výsledkem příčné tektoniky je segmentace jižního křídla antiklinály do vzájemně posunutých ker (Kodym 1924).



Obr. 18. Pozice lomu Velká Amerika na geologické mapě ČR (geology.cz)

V jádře této antiklinály vystupují faciálně proměnlivé vápence *budňanského souvrství*, které jsou vyvinuty jednak ve facii vápenců kopaninských, jednak ve facii vápenců podolských. K jádru antiklinály Ameriky se souběžně příkládají obě její křídla, severní i jižní, jejichž stratigrafický sled pokračuje směrem do nadloží vápenci *lochkovského souvrství* – vápence kotýské a spodní koněpruské. Na tento středočeský silur nasedají spodnodevonské svrchní koněpruské vápence, vápence slivenecké, vápence loděnické a hlíznaté vápence řeporyjské (Horný 1955). Nad nimi dále sedimentovaly vápence prokopsko – dvorecké, vápence zlíchovské a vápence chýnické, které severovýchodním směrem vyznívají (Svoboda et al. 1957).

Vlastní ložiskový prostor je tvořen horninami spodního devonu ve stupni zlíchov (vápence zlíchovské), prag (vápence dvorecko-prokopské, řeporyjské, loděnické, slivenecké, koněpruské) a lochkov (vápence kotýské), které náleží k jižnímu křídlu antiklinály Ameriky.

Obvyklý stratigrafický sled je zachován i na této lokalitě. Přehled hlavních charakteristik po jednotlivých vrstvách od nadloží:

Vápence *zlíchovské* jsou většinou světle šedé, dobře vrstevnaté, mikritové a biodetritické vápence s uzlovitým povrchem vrstevních ploch (Chlupáč et al. 1992). V řadě případů mají tenké mezivrstevní vložky břidličného charakteru (Chlupáč et al. 2002). Časté jsou u těchto vápenců tmavé rohovce, které významně ovlivňují jejich chemické složení (Chlupáč et al. 1992). Celková pravá mocnost na ložisku bývá 70-85 m (Štefek 1995).

Vápence *dvorecko prokopské* jsou světle šedé, mikritové vápence s malým podílem vápnitých břidlic a nápadnou hlíznatou texturou. Bývají deskovité až lavicovité, přičemž povrch vrstevních ploch bývá nerovný (Chlupáč et al. 2002). Celková pravá mocnost bývá nejčastěji 10 m výjimečně i 13m (Štefek 1995).

Vápence *řeporyjské* mají charakteristickou červeno hnědou až cihlově červenou barvu. Bývají mikritové až biomikritové, hlíznaté s uzlovitým povrchem vrstevních ploch. Jílové komponenty netvoří souvislé vložky a koncentrují se jen v mezerní hmotě mezi vápencovými hlízami (Chlupáč et al. 2002). Mocnost bývá nejčastěji asi 17 m, na ložisku kolísá mezi 7 až 25 m. Mocnost proti ostatním polohám vápenců relativně nejvíce kolísá (Štefek 1995).

Vápence *loděnické* jsou přechodní facií mezi vápenci mikritovými a biodetritickými z podloží. Převážně jsou vápence biomikritové, deskovité, místy i masivní, někdy s uzlovitým povrchem vrstevních ploch. Barva vápenců je nejčastěji bělošedá a pestře skvrnitá s různobarevnými odstíny (Chlupáč et al. 2002). Celková pravá mocnost bývá 18 až 35 m (Štefek 1995).

Vápence *slivenecké* jsou typicky biodetritické, nejčastěji krinoidové, hrubě zrnité. Barva je nejčastěji světle šedá, narůžovělá až načervenalá, místy i slabě nahnědlá. Vápence jsou masivní až tlustě lavicovité (Chlupáč et al. 1992). Vápence slivenecké patří k nejkvalitnějším karbonátovým surovinám na ložisku (Chybík 1956). Celková pravá mocnost kolísá mezi 16 – 38 m, nejčastěji je okolo 30 m (Štefek 1995).

Vápence *koněpruské* jsou bělavé a světle šedé krinoidové vápence. Koněpruské vápence tvoří typický útesový komplex, v němž jde rozlišit facie vlnovzdorného útesového jádra (Chlupáč et al. 2002). Tyto vápence jsou obvykle tlustě lavicovité až masivní (Chlupáč et al. 1992). Směrem k bázi bývá vrstevnatost výraznější, často deskovitá. Podle těchto hledisek byla dříve poloha dělena na svrchní nebo spodní. Opět patří mezi kvalitní vápencovou surovinu. Celková mocnost bývá mezi 45 až 55 m (Štefek 1995).

Vápence *kotýské* jsou většinou šedé až tmavě šedé, bioklastické krinoidové vápence. Jsou výrazně vrstevnaté, lavicovité až deskovité s nerovnými uzlovitými vrstevními plochami. Vrstvy těchto vápenců bývají oddělovány tenkými vrstvičkami šedých vápničných prachovců až jílovců, břidličného vzhledu (Chlupáč et al. 1992). Běžná bývá přítomnost různě velkých rohovců. Právě rohovce jsou příčnou výrazně zvýšeného obsahu oxidů Si a tudíž málo použitelné (Chybík 1956). Vápence kotýské byly minimálně ověřovány, obvykle jejich mocnost je mezi 60 až 80 m (Štefek 1995).

Podložní horniny nebyly systematicky ověřovány. Pro vlastní ložisko je významná poloha silurských diabasů a jejich tufů, které jsou podle kodského přesmyku vyneseny na vápence kotýské. Charakter diabasových hornin a jejich nevhodné mechanické vlastnosti znemožňují účelné využití podložních hornin. Nadloží ložiska tvoří břidlice dalejské. Krasové projevy jsou na ložisku omezeny především na při povrchovou část a na zóny tektonického porušení a rozpukání. Krasové jevy, které významným způsobem ovlivňují surovinu, jsou ve formě dutin, malých komínů často s hlinito-kamenitou až jílovitou výplní. Projevují se do hloubky 40m, v hlubších úrovních jsou zcela minimálně. Skrývky jsou většinou tvořeny hlinito-kamenitými rezidui a deluvii (Chybík et al 1962).

5.7 Historie a význam lomu Velká Amerika

Počátky průmyslové těžby vápenců na lokalitě Velká Amerika spadají již do konce devatenáctého století. Těžbu zde provozoval nejprve Gottfried Bächer a následně Pražská železářská společnost. Surovinu dodávala především do hutí v Kladně, Neštémicích a Králově Dvoře.

Rozsah těžby se odvíjel především od potřeb hutnického průmyslu. Jak plyne z požadavků na množství vytěženého materiálu, jednalo se, v případě ložiska Mořina – východ o významný surovinový zdroj. Již na začátku 20. století se zde těžba pohybovala mezi 100 až 200 tis. t vápencové suroviny ročně. V padesátých letech 20. století pak již roční těžba činila více jak 500 tis. t vápencové suroviny. I přes značný hospodářský význam ložiska zde těžba skončila v roce 1964 po velkém sesuvu v rámci jižní stěny lomu. Po válce a znárodnění se na správě ložiska vystřídal hned několik organizací, zejména Báňské ředitelství v Nučicích, Železorudné doly a hrdkovny Ejpovice a Rudné doly Příbram (Štefek 1995). V současné době je ložisko v zajištění a ve správě organizace Lomy Mořina a je terčem neoficiálních rekreačních aktivit a turisticky vyhledávaným přírodním úkazem.

Do počátku padesátých let byla těžba prováděna s minimální mechanizací, převážně ručně. Pro dopravu materiálu k drtiči byly vyraženy dopravní tunely a byly používány kolejové vozíky. Později byly nahrazeny automobilovou dopravou a pro nakládku byly používány lžicové bagry. Mimo dopravních tunelů byla vyražena důlní díla charakteru důlních štol.

Ještě během období těžby byly provedeny některé průzkumné práce s výpočtem zásob vápencové suroviny. Jedná se o výpočty zásob z roku 1956 a 1962 zpracované prof. Chybíkem a kolektivem pracovníků. Jedná se o výpočet zásob vysokoprocentních vápenců, ale i nadložních vápenců pro výrobu stavebních a silničních šterků. Současný stav zásob na ložisku přináší následující tabulka 6.

Tab. 6. Přehled zásob evidovaných k 1.1.2014 v bilancích zásob na ložisku Mořina (převzato od organizace)

| Kategorie zásob | Surovinový typ | |
|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| | vápence vysokoprocentní (tis. tun) | vápence ostatní (tis. tun) |
| Bilanční prozkoumané | | 8 416 |
| Bilanční vyhledané volné | | 13 982 |
| Nebilanční | 15 743 | |
| Celkem | 15 743 | 22 398 |

Výše uvedené zásoby v tabulce 6. jsou však zcela nereálné a to jak z pohledu ložiska Mořina, tak z pohledu dílčí části tohoto ložiska, lokality Velká Amerika. Důvodů je hned několik:

Souhrnný charakter zásob na ložisku Mořina

Prvním dokumentovaným ložiskovým průzkumem (Chybík 1956) byly hodnoceny zásoby vápencové suroviny v rámci obou křídel antiklinály Ameriky. V rámci severního křídla na lokalitě Kamenný vrch. V rámci jižního křídla na lokalitách Mořina východ (Velká Amerika), Mořina západ a Velká hora. Zásoby lokality Velká Amerika tak nejsou vykazovány samostatně a nelze je ani ze souhrnných zásob vyčlenit.

Změny nároků na technologickou kvalitu suroviny

Prvním dokumentovaným ložiskovým průzkumem (Chybík 1956) byly jako vysokoprocenní (hutní) vápence hodnoceny pouze vápence koněpruské a slivenecké. Vykázané zásoby tak nezahrnují vápence loděnické, které byly hodnoceny pouze jako přibírka (technické zásoby). V současné době však lze považovat za surovinu využitelnou pro potřeby ČEZu nejen vápence koněpruské a slivenecké, ale i vápence loděnické. Vyčíslené zásoby tak reprezentují pouze část z využitelné suroviny.

Nekomplexnost předchozích ložiskových průzkumů

Prvním dokumentovaným ložiskovým průzkumem (Chybík 1956), byly hodnoceny zásoby vápencové suroviny v rámci obou křídel antiklinály Ameriky. V rámci severního křídla na lokalitě Kamenný vrch. V rámci jižního křídla na lokalitách Mořina východ, Mořina západ a Velká hora. Vyčísleny však byly pouze zásoby vysokoprocenních (hutních) vápenců zahrnující vápence koněpruské a slivenecké. V rámci druhého dokumentovaného ložiskového průzkumu Chybík et al. (1962) již byly hodnoceny pouze dílčí části ložiska Mořina. Vyčísleny však byly přitom pouze zásoby stavebního kamene v rámci nadložních a podložních vápenců. Navíc výsledky tohoto druhého ložiskového průzkumu nejsou evidovány v bilancích zásob.

Vliv dlouhodobé těžby a přesunů a odpisů zásob po skončení těžby na ložisku Mořina - východ

Dlouhodobá těžba vede vždy nutně ke zkreslování stavu zásob na ložisku. V případě ložiska Mořina navíc zvýrazněným nevhodně zvoleným členěním suroviny v rámci prvního výpočtu. Konečný zmatek okolo stavu zásob na ložisku byl pak završen přesuny a odpisy zásob po skončení těžby.

Z výše uvedeného je zřejmé, že zásoby evidované na ložisku Mořina-východ jsou z pohledu těžebního záměru zcela neuchopitelné. K získání reálného pohledu na výši vytěžitelných zásob vápenců pro odsiřování kouřových plynů na lokalitě Velká Amerika bylo proto nezbytné realizovat odhad zásob.

6. POUŽITÁ METODIKA

6.1 Terénní práce

Pro potřeby této diplomové práce bylo realizováno na lokalitě Velká Amerika třífázové technologické vzorkování. V rámci první fáze (srpen 2013) bylo odebráno celkem 102 technologických vzorků, které byly analyzovány v laboratořích společnosti GEMATEST s.r.o. V rámci druhé fáze vzorkování (rovněž srpen 2013) bylo v lomu odebráno celkem 180 technologických vzorků analyzovaných prostřednictvím přenosného XRF spektrometru Delta X. V Březnu 2014 byla uskutečněna návštěva štol, zejména tzv. hlavního severního překopu spojujícího ložiska Mořina – východ a Holý vrch. Během návštěvy štol bylo odebráno 30 vzorků, které byly opět analyzovány pomocí přenosného XRF spektrometru.

Pro lepší pochopení geologických poměrů na studované lokalitě, byl v rámci terénních prací proveden základní strukturně geologický výzkum. Pomocí geologického kompasu byla měřena orientace žil, ploch vrstevnatosti a švů tlakového rozpouštění. Naměřené parametry byly prostřednictvím softwaru Stereo32 promítnuty na spodní polokouli ve stereografické sférické projekci.

6.2 Petrografické zkoumání hornin

Makroskopický popis vzorků byl proveden na nezpracovaných odebraných vzorcích vápenců. Byla charakterizována barva, zrnitost a stavba horniny, přítomnost makroskopicky rozeznatelných minerálů a přeměn.

Hlavním účelem mikroskopického zkoumání bylo pozorování horninových výbrusů, jehož předmětem byla snaha o nalezení a rozpoznání charakteristických znaků indikujících původ a charakter dolomitizace. Mikroskopické pozorování bylo provedeno na mikroskopu Leica DMLP v laboratoři optické mikroskopie ÚGMNZ PřF UK .

6.3 Katodová luminiscence

Katodovou luminiscencí se označuje emise viditelného světla vyvolaná dopadem urychlených elektronů na horninu či minerál. Katodoluminiscenční jev výrazně ovlivňují chemické prvky obsažené v minerálech. Podle jejich účinků je lze rozdělit na aktivátory, stabilizátory a zhášedla. Intenzita emitovaného světla je závislá především na koncentraci aktivátorů. Hlavními aktivátory katodoluminiscenčního jevu jsou tranzitní kovy (Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+}), prvky vzácných zemin a aktinoidy (U^{6+}) obsažené v krystalové mřížce daného minerálu (Boggs et al. 2006).

Katodová luminiscence je velmi užitečnou metodou při zkoumání a pozorování zejména karbonátových hornin. Pomocí luminiscenční zonálnosti lze přesně odlišit kalcitovou a dolomitovou složku v hornině dobře rozlišovat jednotlivé karbonátové generace (Machel 2000).

Účelem studia na katodové luminiscenci bylo rozlišení kalcitové a dolomitové složky. V této diplomové práci byla katodová luminiscence pozorována v optickém mikroskopu Leica DMLP na ÚGMNZ PřF UK, ke kterému byla připojena studená katoda CCI 8200 Mk4. Podmínky pozorování luminiscence byly: napětí 14,1 – 14,5 kV a proud 320 – 350 μA .

6.4 Obrazová analýza

Celý tento proces lze shrnout do několika základních kroků: 1) snímání a digitalizace obrazu, 2) předzpracování obrazu, 3) segmentace neboli vyčlenění objektu, 4) analýza a 5) interpretace dat. Klíčovým krokem analýzy obrazu je tzv. segmentace, při které jsou v obraze označeny objekty určené k hodnocení, teprve pak je možné provést měření a stanovit požadované parametry objektů jako je například plocha, obvod, délka, kulatost objektů. Obrazová analýza nachází uplatnění při výzkumu živé i neživé přírody (Heilbronner et al. 2014).

V této práci bylo účelem obrazové analýzy porovnání velikosti krystalů dolomitu ve výbrusech ve vztahu ke vzdálenosti od kodskeho přesmyku. Vzorky byly vybrány ve vzájemných liniích cca kolmých na směr vrstev (tj. SZ – JV). Vzdálenost na liniích je měřena od severozápadní stěny lomu (vystupuje zde severní větev kodskeho přesmyku). Vzdálenost 0 byla určena jako lomová stěna porušená již zmiňovaným zlomem.

Fotografie výbrusů byly pořízeny mikroskopem Leica DMLP s digitální kamerou JEUOPTIK v laboratoři optické mikroskopie ÚGMNZ PřF UK. Segmentace digitalizovaných obrazů byla provedena ručně prostřednictvím grafického vektorového editoru CorelDRAW. Zpracování mikroskopických digitalizovaných obrazů pak bylo provedeno pomocí programu ImageJ. Prostřednictvím tohoto programu byl zjišťován tzv. Feretův průměr (funkce - feret), jednotlivých krystalů dolomitu. Jedná se o parametr používaný k charakterizaci disperzních částic nepravidelného tvaru. Je roven vzdálenosti bodů, v nichž se dvě paralelní tečny dotýkají obvodu průmětu částice. Takto zjištěné parametry jednotlivých krystalů pak byly následně vyhodnoceny pomocí programu Excel. Výsledky měření byly zobrazeny do bodového grafu, na jehož vertikále je vzdálenost od kodskeho přesmyku.

6.5 Studium fluidních inkluzí

Inkluze reprezentuje část krystalu, která z látkového hlediska neodpovídá jeho zákonité struktuře a je během krystalizace popřípadě růstu krystalu hermeticky izolována a vytváří s ním fázovou hranici.

Základní metodou studia fluidních inkluzí je tzv. mikrotermometrie, jejíž princip spočívá v zahřívání nebo ochlazování studovaného vzorku a sledování, při jakých teplotách se fázové složení fluidní inkluze mění. Ze získaných teplot fázových přeměn lze získat informace, jako jsou teplota vzniku minerálu, tlak při vzniku minerálu, látkové složení fluida, z něhož minerál vznikl a přibližnou koncentraci jednotlivých složek v tomto fluidu (Zachariáš 2000).

Mikrotermometrická analýza byla prováděna jak na fluidních inkluzích v krystalech dolomitu, tak na krystalech kalcitu v dolomitizovaných vápencích (tj. nebyly studovány hydrotermální kalcitové žíly). Mikrotermometrická měření byla provedena na mikrotermometrickém stolku Linkam THMSg-600 v laboratoři optické mikroskopie ÚGMNZ PřF UK a byla jím sledována teplota homogenizace, která představuje minimální teplotu uzavření fluida v inkluzích. Salinita inkluzí nebyla vzhledem k malým rozměrům inkluzí studována.

6.6 XRF analýza

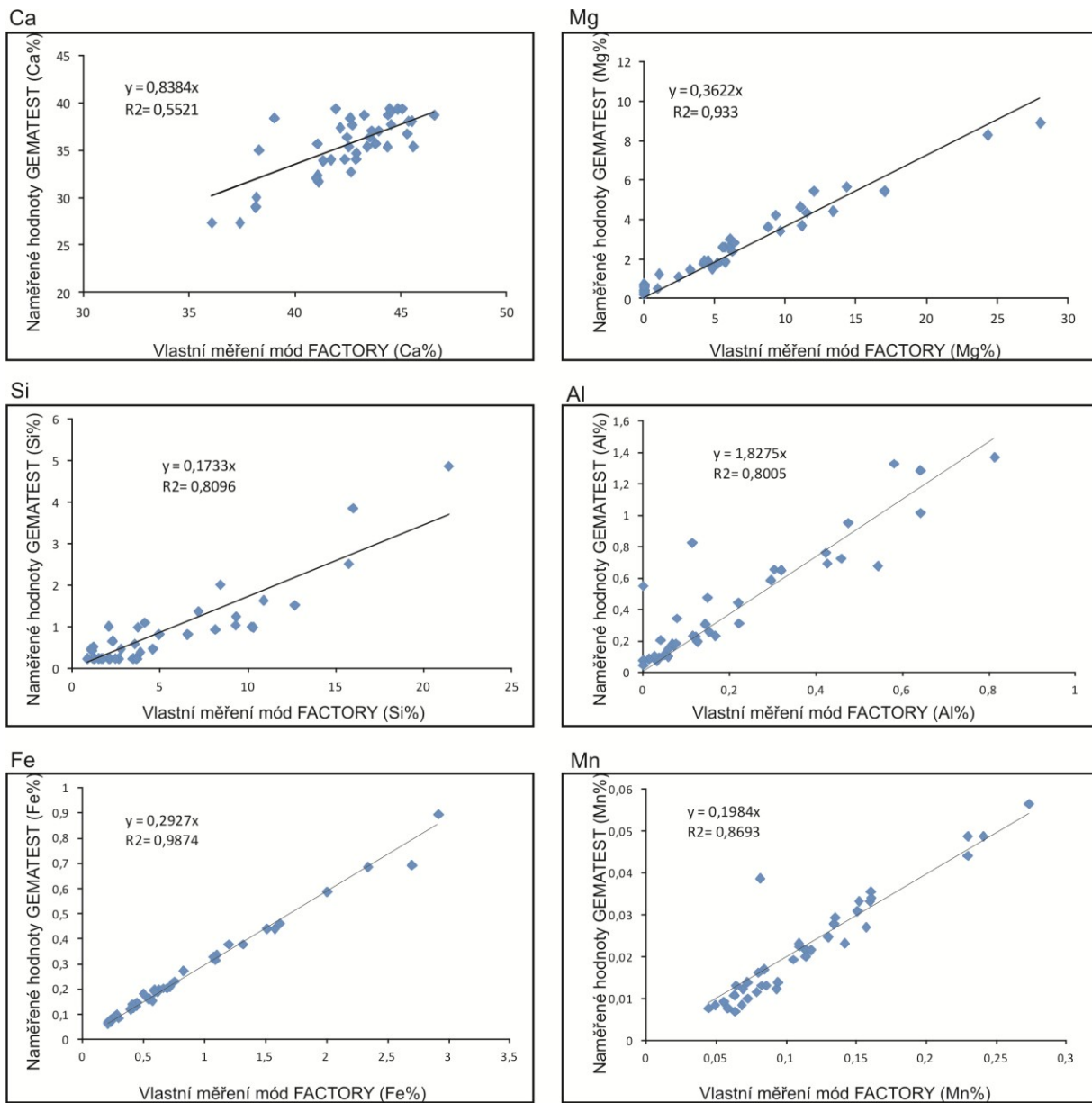
Hlavní část laboratorních měření v této diplomové práci představují XRF analýzy za použití přenosného XRF spektrometru DELTA X od firmy Olympus Innov-X (obrázek 4.). Spektrometr DELTA umožňuje uživateli výběr ze tří kalibračních módů, přičemž byl pro měření zvolen *Těžební mód* (Mining), který je vhodný pro analýzu zemin a hornin a umožňuje uživateli vytvoření vlastní sady faktorů pro jednotlivé prvky. Navíc jako jediný, ze všech nabízených interních kalibračních módů detekuje lehké prvky jako Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca.

Kalibrace přístroje byla provedena na vzorcích, odebraných v rámci první terénní etapy, analyzovaných v centrální laboratoři firmy GEMATEST s.r.o. Vzorky byly rozloženy směsí kyselin a v rozloženém vzorku se pak stanovily následující složky. Al_2O_3 , K_2O , MnO a Na_2O byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií. Stejně tak tomu bylo do obsahu cca 3 hm. % u MgO , nad 3 hm. % pak titračním stanovením (dle ČSN 72 0114). CaO bylo stanovené titračně podle ČSN 72 0113. Spektrofotometrickým stanovením pak byly získány Fe_2O_3 (dle ČSN 72 0110) a TiO_2 (dle ČSN 72 0112). Z důvodu, že bylo nutné získat výsledky v co nejkratším termínu, byla hodnota SiO_2 stanovena dopočtem za použití výše uvedených hodnot.

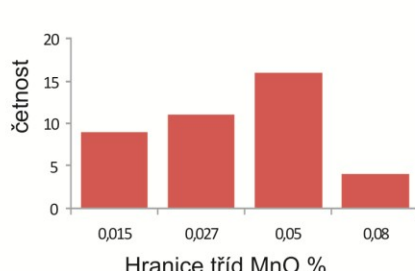
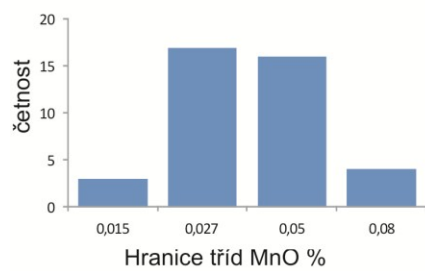
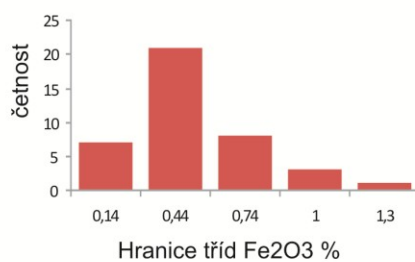
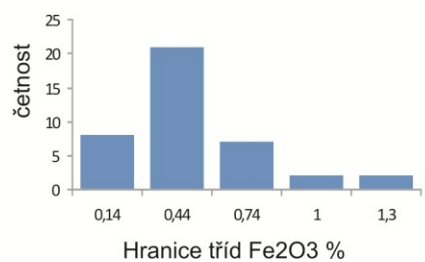
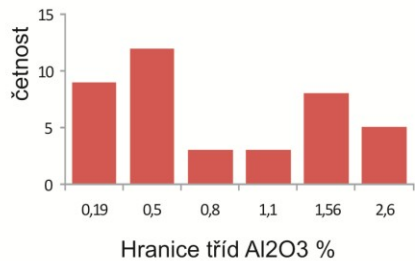
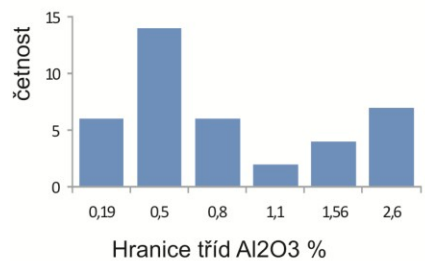
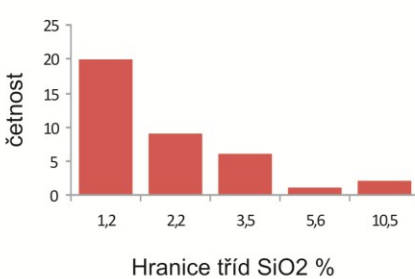
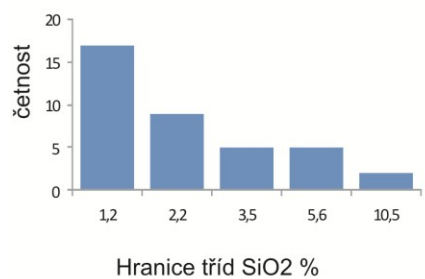
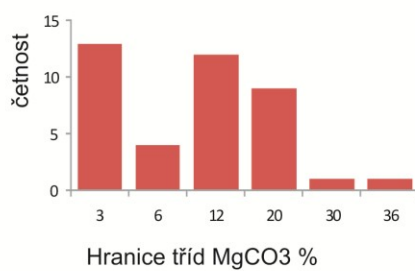
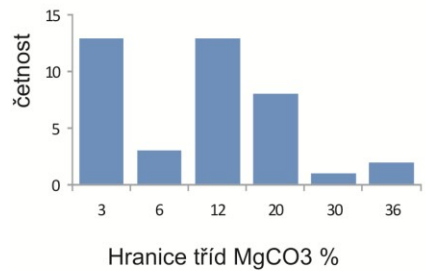
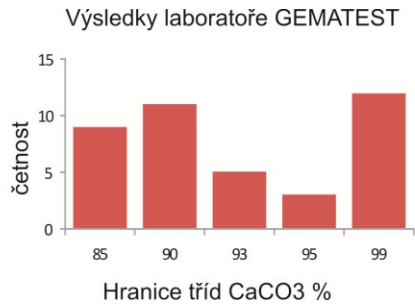
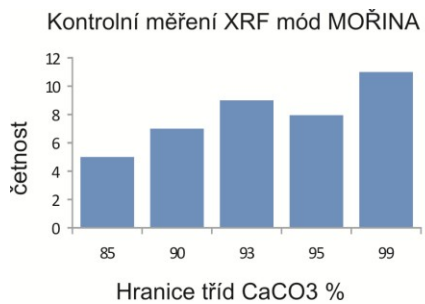
Kalibrační hodnoty byly získány pro prvky Ca, Mg, Si, Al, Fe a Mn. Kalibrační křivky jsou patrné z grafů na obrázku 19., kde na horizontále je hodnota měřená analyzátozem Delta při faktoru = 1 (offset = 0), na vertikále hodnota z certifikované laboratoře. Získanými body byla proložena lineární regresní přímka procházející počátkem. Po kalibraci a nastavení vlastního módů MORĪNA, bylo na tentýž homogenizovaných vzorcích provedeno kontrolní měření, jehož výsledky byly pro přehlednost zpracovány do jednotlivých histogramů, které jsou patrné z obrázku 20. Z těchto histogramů pak vyplývá, že měření pomocí XRF lze považovat za věrohodné.

Měření vzorků přenosným XRF bylo prováděno za následujících podmínek. Před vlastním měřením byl přístroj standardizován vnějším kovovým standardem dodaným výrobcem. Pro samotné měření byl zvolen přístrojový těžební mód s vlastní kalibrací MORĪNA. Obsahy sledovaných elementů byly stanoveny jako aritmetický průměr dvou měření, každé v délce 2 minut. Jde o automatickou proceduru v rámci nastavení přístroje. Výsledky pak byly uloženy do interní paměti přístroje a následně zpracovány pomocí softwaru MS Active Sync. Obsahy prvků získané měřením byly přepočteny na oxidy a karbonáty, které byly následně pro vzájemné porovnání normalizovány na 100%. Naměřené hodnoty se tak normalizací změnily pouze v řádu setin až desetin %, výjimečně v řádu jednoho procenta.

Výsledky XRF spektrometrie na lokalitě Velká Amerika pak byly zpracovány statistickými metodami v programu Excel v podobě celkové databáze, korelační matice, průměrných chemických složení za jednotlivá stratigrafická souvrství atd. Dále byly tyto výsledky zpracovány v podobě map obsahů karbonátů, CaCO_3 a MgCO_3 včetně izolinií. Jako podkladová mapa tak sloužila důlní mapa lokality Velké Amerika zpracovaná Štefkem (1995) k plánu zajištění ložiska.



Obr. 19. Kalibrační grafy pro mód MOŘINA



Obr. 20. Porovnání vlastního měření po kalibraci s výsledky z laboratoře

6.7 Příprava a zpracování vzorků

6.7.1 Vzorky pro petrografický výzkum, obrazovou analýzu, katodovou luminiscenci a studium fluidních inkluzí

Pro petrografický výzkum, katodoluminiscenční pozorování a následnou obrazovou analýzu byly zhotoveny leštěné nezakryté výbrusy. Studium fluidních inkluzí si vyžádalo zhotovení oboustranně leštěných destiček. Všechny preparáty byly zhotoveny ze vzorků, jež byly odebrány v rámci terénních etap. Výbrusy byly zhotoveny z odebraných a čerstvých vápencových hornin, které představovaly buďto zajímavou polohu neboli partii na ložisku, v terénu nebo podle svého výjimečného chemického složení. Leštěné nezakryté výbrusy byly vyhotoveny v Praze ve fakultní brusárně na Alberotově 6.

6.7.2 Vzorky pro XRF analýzu

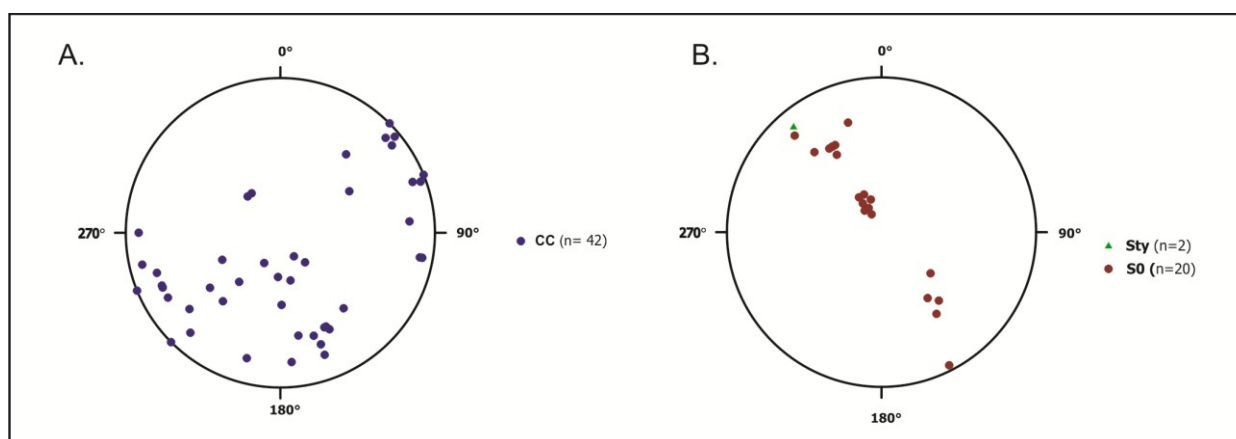
Přenosným RTG fluorescenčním spektrometrem je možné měřit přímo v terénu. Výsledky terénních měření však mohou být výrazně zkresleny rozdílnou heterogenitou, reologií povrchu a různou vlhkostí získaných vzorků. Z těchto důvodů bylo měření prováděno v provozní laboratoři po pečlivé přípravě vzorků. Vzorky byly nejprve sušeny při pokojové teplotě do 22 °C a následně byl jejich povrch upraven úhlovou bruskou, přičemž byl povrch vzorků broušen a následně leštěn. Brusné i leštící kotouče pro tuto úpravu byly pečlivě vybrány tak, aby nedocházelo ke kontaminaci upravovaných vzorků. To bylo následně potvrzeno i kontrolním měřením pomocí XRF spektrometru. Pro měření byly použity tak velké vzorky, aby jim bylo zcela zakryto měřicí okénko přístroje.

7. VÝSLEDKY

7.1 Základní strukturní výzkum

Na lokalitě Velká Amerika je dominantním strukturním prvkem velmi strmý sklon vrstev, který se obvykle pohybuje v rozmezí 50 až 80°. Nejstrmější sklon vrstev je přitom v západní části lokality, kde vlivem severní větve kodského přesmyku došlo k výraznému pohybu vrstev a jejich velmi strmému upadání SSZ/JJV směrem. Na několika místech byly na lokalitě makroskopicky pozorovatelné švy tlakového rozpouštění, přičemž všechny měly shodnou orientaci jako strmě upadající vrstevnatost. Jejich množství bylo dosti variabilní, přičemž jejich největší četnost byla zaznamenána v severozápadní části lomu. Naměřené hodnoty vrstevnatosti a švů tlakového rozpouštění jsou patrné z obrázku 21-B.

Při terénních pracích byly dále pozorovány hydrotermální žíly s kalcitovou výplní, které jsou zpravidla mocné cca 15cm. Žíly mají nepravidelný tvar, přičemž je velmi patrná jejich vazba ke strukturním prvkům okolních provrásněných hornin. Žíly tak pravděpodobně vykazují genetickou spjatost s variskou deformací. U těchto žil byly zjištěny dva převládající směry orientace SV-JZ a SZ-JV (obr. 21-A).



Obr. 21. Rovnoploché projekce promítnuté na spodní polokouli, A- zjištěné převládající směry kalcitových žil (CC - kalcitové žíly), B.- Vrstevnatost (SO), Švy tlakového rozpouštění (Sty)

7.2 Petrografie

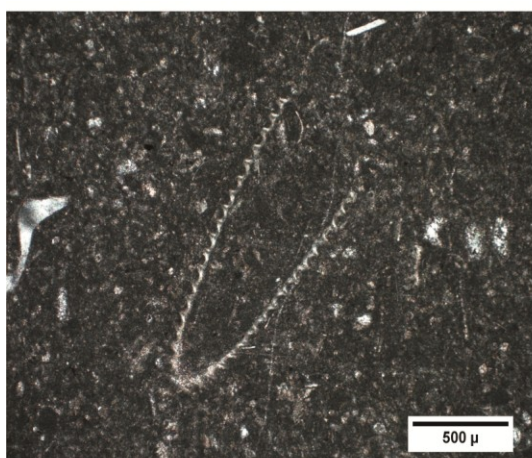
7.2.1 Makroskopické pozorování

Hornina je na zkoumané lokalitě zpevněná, masivní a stupeň zvětrání vápenců je různý. *Kotýské vápence* jsou šedé, jemnozrné s uzlovitou strukturou. Středně zrnité až jemnozrné *spodní koněpruské vápence* jsou se svou barvou a strukturou shodné s vápenci kotýskými. *Svrchní vápence koněpruské* jsou hrubozrné a šedobílé. Hrubě zrnité *vápence slivenecké* mají na lokalitě charakteristickou narůžovělou barvu. Barva jemnozrných *loděnických vápenců* je nejčastěji bělošedá a středně zrnité *vápence řeporyjské* mají barvu červeno hnědou.

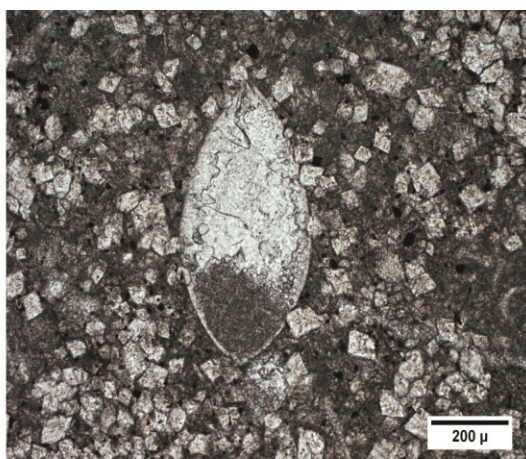
Na žádném ze vzorků není makroskopicky patrná laminace. V základní hmotě je možné u vybraných vzorků pozorovat drobné fragmenty bioklastů. V některých vzorcích se vyskytují makroskopicky pozorovatelné krystalky čírého kalcitu a ve vybraných vzorcích vápenců kotýských, spodních a svrchních koněpruských lze rozeznat i zrnka zelenošedého dolomitu. Všechny typy vápenců protínají četné žilky vyplněné hydrotermálním kalcitem. Barva kalcitu je většinou čirá, bělavá, šedavá a místy nažloutlá. U vápenců řeporyjských se o kolo kalcitových žilek vyskytují vybělené alterované partie.

7.2.2 Mikroskopické pozorování

Základní hmotou všech vápenců tvoří mikrit, který má většinou tmavě šedou až světle šedou barvu. Ve většině případů tvoří mikrit ve studovaných vzorcích přibližně poloviční většinu. Výjimkou je vzorek A6, který má podpůrnou stavbu sekundárního tmelu neboli sparitu. Z bioklastů jsou ve zkoumaných vzorcích zachovány převážně fragmenty schránek živočichů a jejich těl, přičemž se v hornině vyskytují velmi nerovnoměrně. Jejich velikost je značně variabilní, nejmenší úlomky mají 150 μm a největší pak až 1700 μm a jejich obvyklé zastoupení se pohybuje v rozmezí 20% - 40%. Ve výbrusech byly pozorovány schránky tentakulitů (obr. 22-A), ostrakodů (obr.22-B), poměrně hojně jsou zastoupeni také části trilobitů (obr. 22-C), krinoidů (obr. 22-D) a brachiopodů.



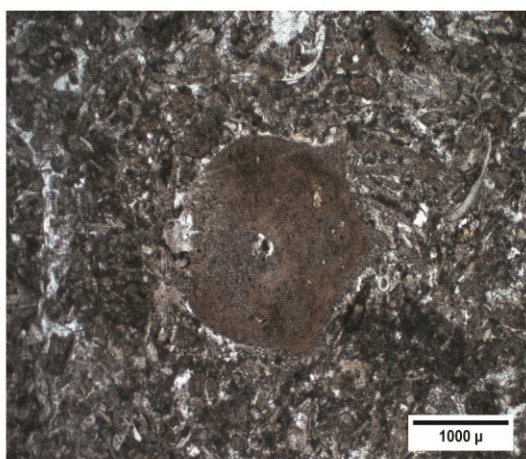
A. Tentakulit (*Nowakia*) obklopený základní hmotou (vzorek A158)



B. Spojené misky ostrakoda s geopetalní výplní a sparitem. V okolním sedimentu jsou klence dolomitu (vzorek A173)



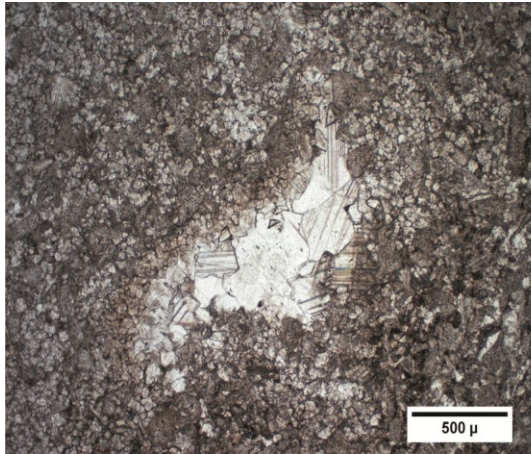
C. Část trilobita v základní hmotě obklopená shluky sparitu (vzorek A1)



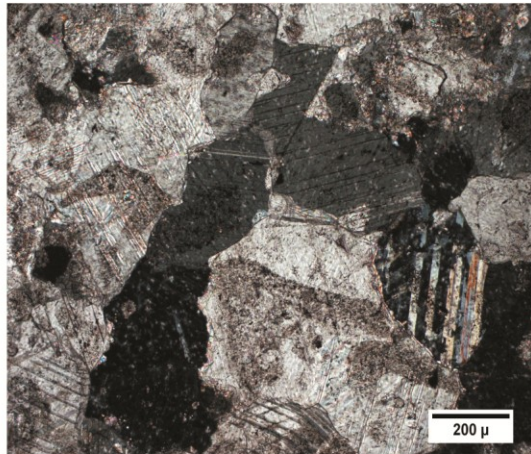
D. Krinoid s koncentrickou stavbou obklopený dalšími bioklasty (pozorováno ve X nikolech) (vzorek A70)

Obr. 22. Nejčastěji se vyskytující typy bioklastů

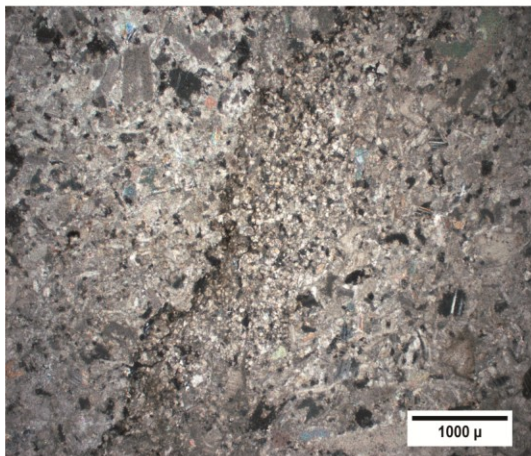
Zrna kalcitu se nacházejí téměř ve všech vzorcích (obr. 23-E) a jejich obvyklé zastoupení je kolem 15 – 25%. Výjimkou je vzorek A6, kde jsou zrna kalcitu zastoupeni v hojnějším množství zhruba 40 objemových % a tvoří tlakové syntaxiální nárůsty (obr. 23-F). Kromě vzorku A6, kde tvoří sparit podpůrnou stavbu, je ho možné pozorovat ve výbrusech mezi bioklasty a dalšími horninovými složkami. Také vyplňuje prostory uvnitř bioklastů, vytváří shluky v základní hmotě nebo se vyskytuje podél švů tlakového rozpouštění (obr. 23-G). Podél švů tlakového rozpouštění se dále vyskytují jílové minerály, malá zrnka křemene či pozůstatky po organické hmotě. Výjimečně byl pozorován také pyrit (obr. 23-H).



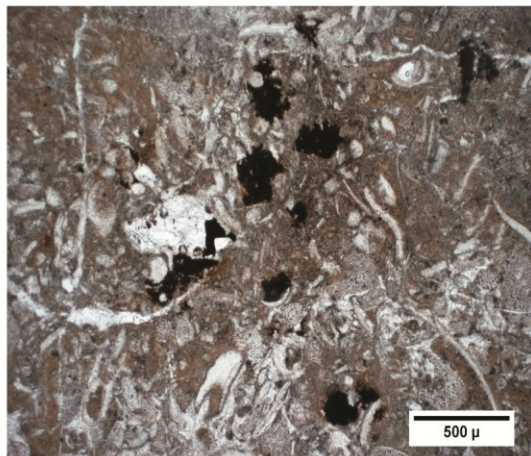
E. Shluk kalcitových zrn, zleva obklopen sparitem, shora dolomitem (vzorek A53)



F. Kalcitová zrna tvořící syntaxiální nárůsty v důsledku působení větších tlaků (pozorováno ve X nikolech) (vzorek A6)



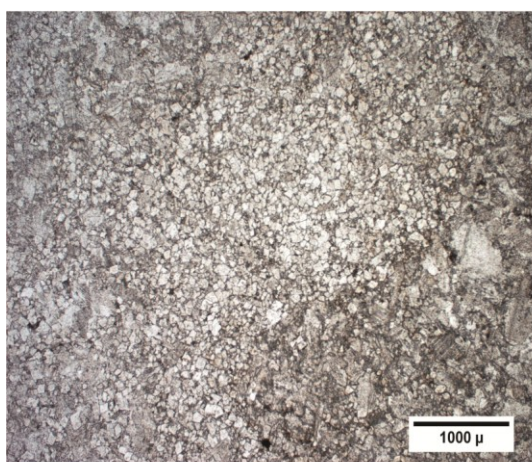
G. Šev tlakového rozpouštění obklopený sparitem (pozorováno ve X nikolech) (vzorek A12)



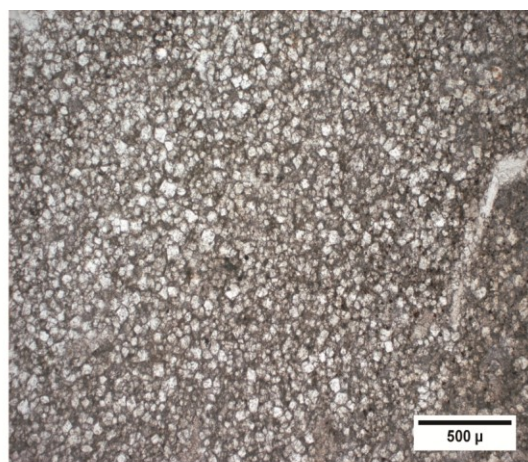
H. Zrnka pyritu roztroušeného v základní hmotě mezi bioklasty (vzorek A86)

Obr. 23. Charakteristické prvky zkoumaných hornin

Mikroskopickým výzkumem bylo zjištěno, že je dolomit ve vápencích rozmístěn velmi nepravidelně. Nepravidelné a neuspořádané rozmístění dolomitu je charakteristické například pro vzorky A9, A83, A148, jehož celkové zastoupení se v některých případech pohybuje v rozmezí až 35 - 50 objemových %. Tato hornina se většinou skládá z nepravidelných přes sebe nakupených klenců dolomitu s povolnými přechody až do mozaikové struktury (obr. 24-I, 24-J). Klence dolomitu tvoří v některých případech celý objem horniny nebo je v mezerách mezi nimi velice jemnozrnný mikrit (obr. 24-J, 25-L, 26-N). Velikost zrn dolomitu v tomto případě kolísá v rozmezí 100 – 300 μm . Tento dolomit se vyskytuje v relativně čistších polohách a je pro něho charakteristická přítomnost pigmentu, jenž tvoří železité sloučeniny. Velmi často je tento dolomit současně s řídkým výskytem idiomorfních klenců také v hornině vázán na jílovitě znečištěné polohy okolo švů tlakového rozpouštění a tvoří nepravidelné čočky, žilky, shluky neboli hnízda což je typické zejména pro vzorky A12, A53, A173 (obr. 25-L). V tomto případě jsou dolomity o něco málo menší než v předchozím případě a jejich velikost se pohybuje okolo 200 μm .



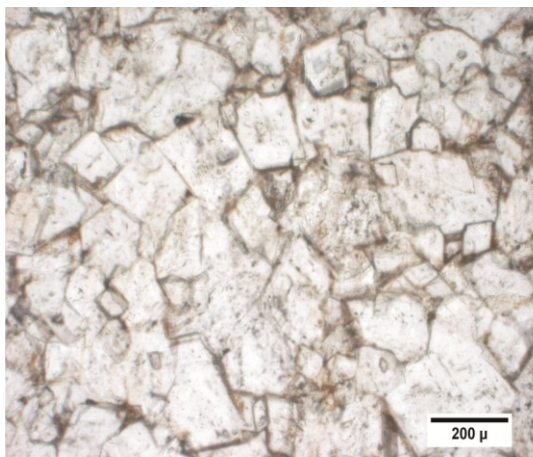
I. Mozaiková struktura tvořená klenci dolomitu (vzorek A7)



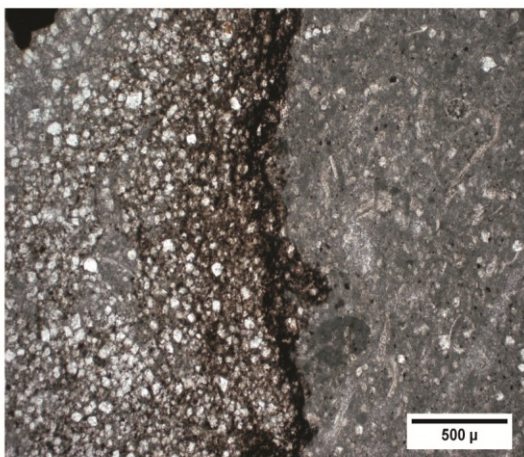
J. Prostor mezi klenci dolomitu vyplněný základní hmotou (vzorek A173)

Obr. 24. Charakteristické rozšíření dolomitu ve zkoumaných horninách

Podle Gregga et al. (1984) je tento typ dolomitu diagenetického původu a krystaloval současně s rekrytalizací kalového materiálu v mikrit. Při krystalizaci se vyvinulo mnoho krystalizačních center, krystaly nedorostly do větších rozměrů a zůstaly nepravidelně omezeny. Rychlá krystalizace, nepravidelné omezení krystalů a hojnost pigmentu jsou charakteristické znaky pro krystalizaci diagenetickou (Tucker 2001). S tímto tvrzením se ztotožňuji a mohu tento fakt opřít o další argument. Hojné švy tlakového rozpouštění v několika případech protínají zrna tohoto dolomitu a byly evidentně příčinou jeho částečného rozpouštění. Tento fakt dokládá, že je dolomit staršího původu a musel být vykrytalizován již před vznikem tlakového švu. To však bylo lépe patrné až při pozorování v katodové luminiscenci (obr. 27-D). Vznik shluků a hnízd s řídkým množstvím lépe omezeného dolomitu v jílovitě znečištěných partiích v okolí tlakových švů přikládám pozdějším eventům. Při nich docházelo ke vzniku tlakových švů a k následnému rozpouštění karbonátu. Zbylé jílové minerály pak mohly být zdrojem Mg^{2+} pro mladší a dokonaleji omezený dolomit, jenž se v těchto shlucích nahodile vyskytuje (obr. 26-M). Podle Kukala (1955) tak při této dolomitizaci působil diagenetický dolomit jako jeho krystalizační centrum.



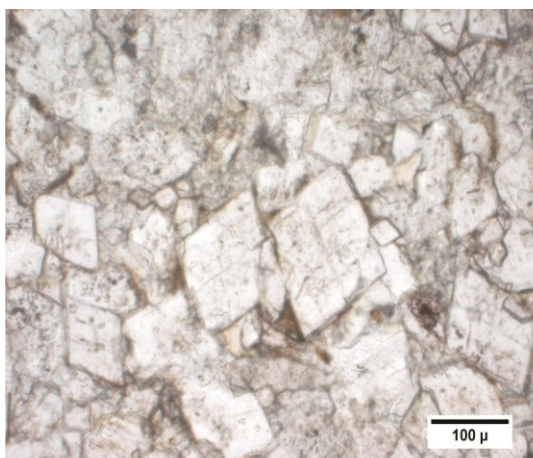
K. Přes sebe nakupené nedokonale omezené klence diagenetického dolomitu (vzorek A53)



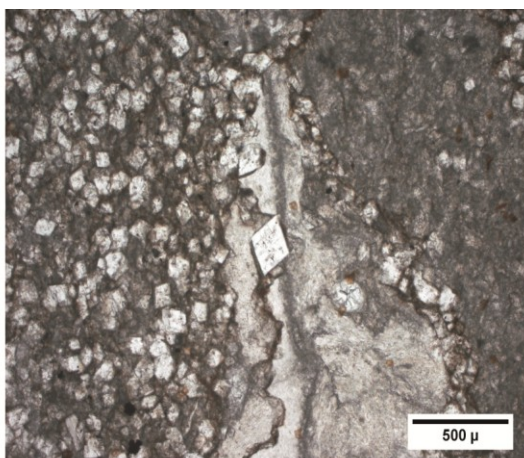
L. Dolomit se váže na jílovitě znečištěné partie v okolí švů tlakového rozpouštění (vzorek A1)

Obr. 25. Dolomit tvořící čočky a shluky v základní hmotě a kolem švů tlakového rozpouštění

Tato dokonale omezená dolomitová zrna jsou druhým pozorovaným typem dolomitu v hornině. Mají většinou tvar idiomorfních klenců, přibližně stejné velikosti, která se pohybuje v průměru kolem 0,4 mm. Větší velikost jeho zrn a dokonalé omezení krystalů poukazuje na pomalý růst, což je charakteristickým znakem dolomitu epigenetického (Tucker 2001). Jeho zastoupení v hornině je oproti obsahu dolomitu diagenetického menší (zhruba v poměru 35/65) a vyskytují se v izolovaných krystalech nebo shlucích (obr. 26-M, N). Období vzniku epigenetického dolomitu mohlo být velmi mnoho, podmínkou je však přítomnost dolomitu vytvořeného v předešlém období a dostatečná koncentrace iontů Mg^{2+} v roztoku, který byl přítomen v hornině.



M. Idiomorfni klence dolomitu ve shluku špatně omezených dolomitových zrn (vzorek A12)



N. Izolovaný idiomorfni krystal dolomitu epigenetického původu (A158)

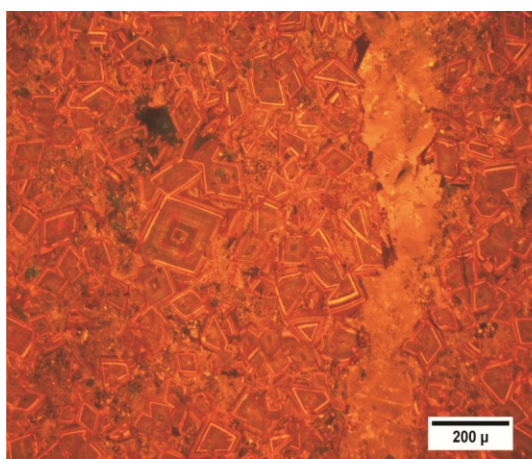
Obr. 26. Charakter idiomorfních klenců dolomitu

Výjimečně se vyskytují také vzorky, ve kterých je dolomit zastoupen jen sporadicky nebo jsou úplně bez dolomitu, zejména se jedná o vzorky A6, A86.

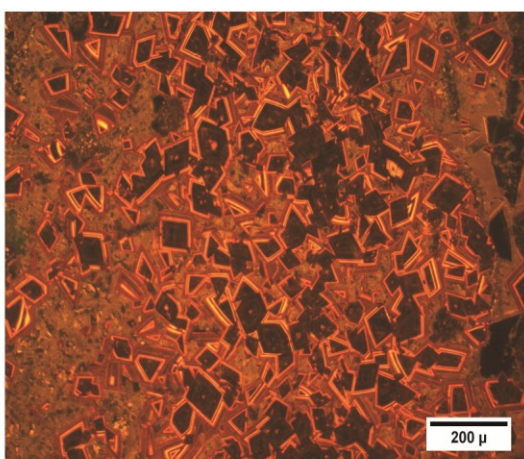
7.3 Katodová luminiscence

Pozorování v katodové luminiscenci pomohlo s větší přesností rozeznat dolomitovou složku od kalcitové a bylo možné pomocí luminiscenčních barev identifikovat i další komponenty, které nebylo snadné v optickém mikroskopu více méně rozpoznat.

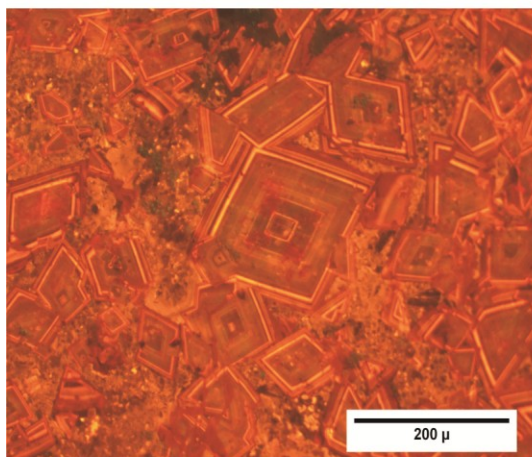
Intenzita katodoluminiscenčních barev je u dolomitové složky obecně nižší než u kalcitové a mají tlumené hnědo - oranžové odstíny (obr. 27-A, B). Luminiscence také umožnila rozlišit několik růstových zón, které jsou díky ostrému střídání luminiscenčních a neluminiscenčních až slabě luminiscenčních partií dobře odlišitelné (obr. 27-C). V katodové luminiscenci bylo také možné zachytit, částečně rozpuštěná zrna dolomitů v důsledku tlakového rozpouštění (obr. 27-D).



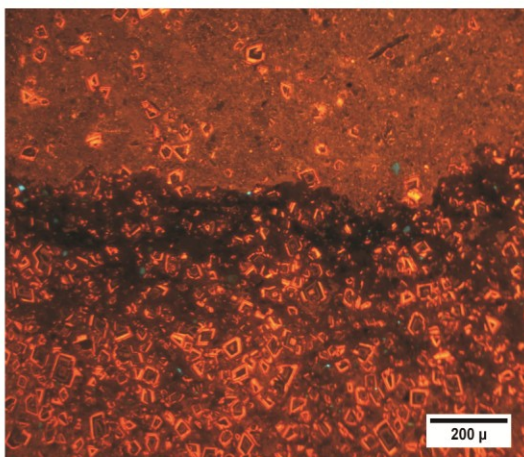
A. Kontrast intenzit katodoluminiscenčních barev dolomitu a kalcitové žíly (vpravo) (vzorek A9)



B. Zrna dolomitu v základní hmotě (vzorek A7)



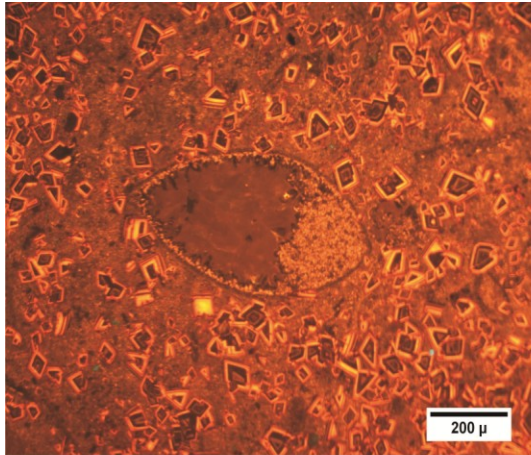
C. Jednotlivé růstové zóny v dolomitu zvýrazněné odlišnou luminiscencí (vzorek A9)



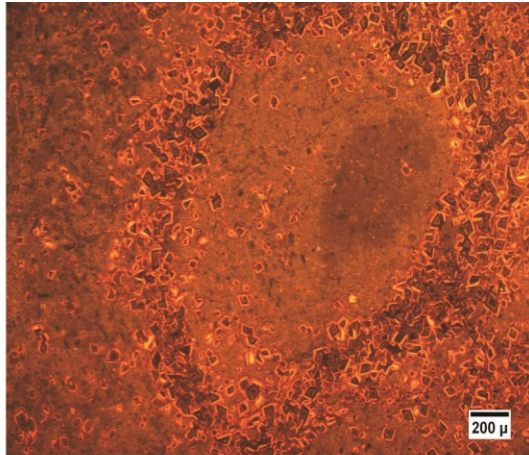
D. Rozpuštění dolomitových zrn v důsledku tlakového rozpouštění (vzorek A173)

Obr. 27. Charakteristické prvky dolomitu ve zkoumaných horninách v katodové luminiscenci

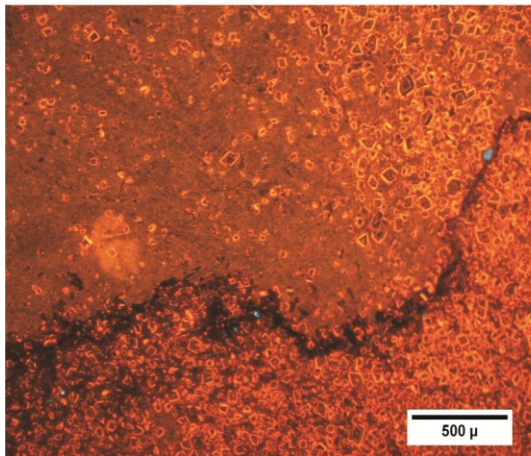
V jasně oranžovém mikritu jsou také velmi dobře patrné tmavé bioklasty, které vykazují jen velmi nízkou luminiscenci. V těchto bioklastech a v základní hmotě lze někdy snadno rozpoznat světle oranžový sparit (obr. 28-E, H). Bez luminiscenčních barev jsou také švy tlakového rozpouštění, kolem nichž je možné pozorovat modře luminiskující jílové minerály, pravděpodobně kaolinit (obr. 28-G).



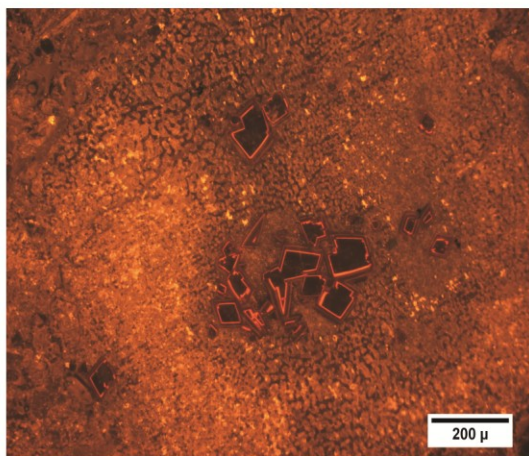
E. Schránka ostrakoda zčásti vyplněná sparitem obklopená zrna diagenetického dolomitu (vzorek A173)



F. Bioturbace vyplněná diagenetickým dolomitem (vzorek A53)



G. Shluk dolomitických zrn a drobná modře luminiskující zrna kaolinitu ve švu tlakového rozpouštění (vzorek A48)

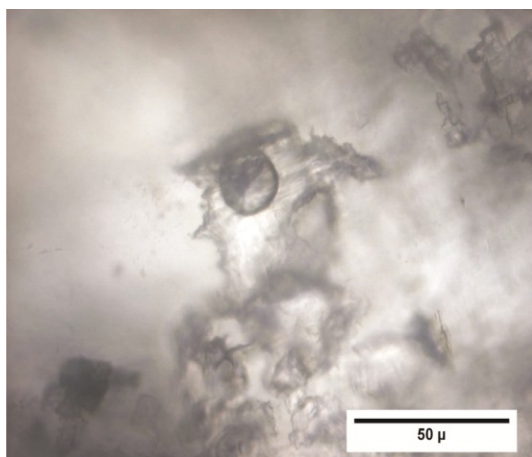


H. Shluk zrn dolomitu (uprostřed) a jemnozrnného sparitu (vlevo) v základní hmotě (vzorek A145)

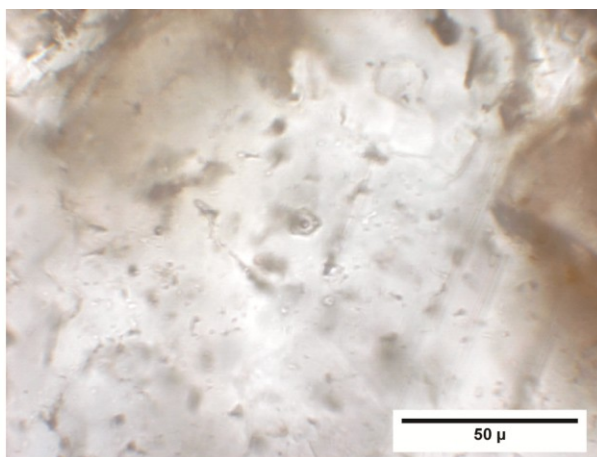
Obr. 28. Charakteristické prvky zkoumaných hornin v katodové luminiscenci

7.4 Studium fluidních inkluzí

Velikost fluidních inkluzí v krystalech dolomitu a kalcitu kolísala mezi 1 μm a 25 μm (obr. 29-A, B). Vzhledem k malým rozměrům fluidních inkluzí (většinou menších než 5 μm) bylo obtížné pozorovat teploty eutektika či teploty tání ledu. V dolomitech i kalcitech byly studovány pouze primární inkluze. Počet studovaných inkluzí v jednotlivých vzorcích byl ovlivněn četností a velikostí inkluzí, přičemž bylo změřeno zhruba 30 inkluzí na každý studovaný vzorek (obvykle 2-3 inkluze na 1 minerální zrno). Pro studovaný vzorek A9 teploty homogenizace kolísaly v rozmezí 76 – 92°C s maximální četností teplot homogenizace okolo 86,2 °C. Teploty homogenizace u vzorku A25 byly v průměru o něco nižší a kolísaly v rozmezí 63 – 88°C. Nejvyšší četnost teplot homogenizace pak byla o cca 10 °C nižší než v předešlém případě, tedy 75,5°C. Histogramy četností teplot každého vzorku jsou pak patrné z obrázku 30.



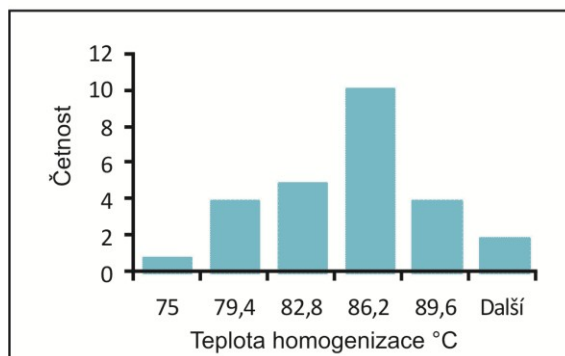
A. Primární dvoufázová inkluze v kalcitu (vzorek A9)



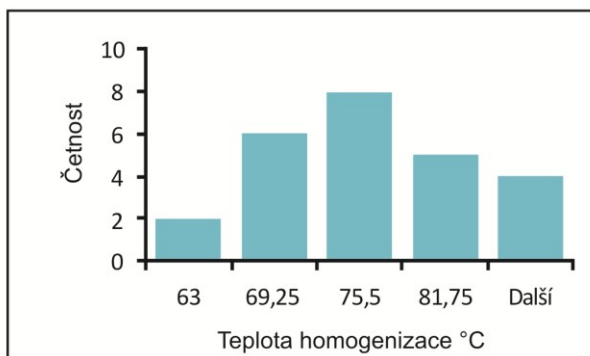
B. Primární dvoufázová inkluze v dolomitu (vzorek A25)

Obr. 29. Ukázka fluidních inkluzí měřených během výzkumu

Vzorek A9



Vzorek A25

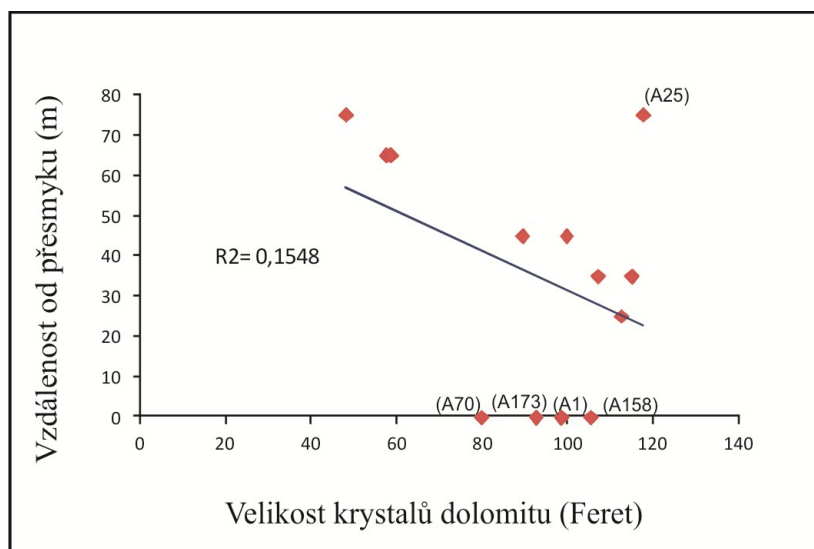


Obr. 30. Histogramy četností teplot homogenizace fluidních inkluzí vzorků A9 a A25.

7.5 Obrazová analýza

Pomocí obrazové analýzy se zkoumala možná souvislost mezi velikostí krystalů dolomitu a vzdáleností od struktury severní větve kodského přesmyku. Zkoumala se tak možnost jeho vlivu na anomální dolomitizaci na ložisku, která by se mohla projevovat větší velikostí krystalů dolomitu v hornině v blízkosti zlomu, jakožto možné přírodní dráhy fluid zodpovědných za dolomitizaci. Ačkoliv jsou z grafu na obrázku 31. patrné jisté anomálie, můžeme říci, že jistá lineární závislost mezi zkoumanými parametry existuje. Za extrémně anomální považují vzorky A25 a A70. Vzhledem k tomu, že se při pohledu na graf jedná o jediné takto anomální vzorky z jednotlivých stratigrafických souvrství, lze jejich extrémní povahu přisuzovat statistické chybě nebo chybnému měření. Dále se pak jedná zejména o vzorky A1, A158 a A173. Ve všech případech se jedná o vápence loděnické, tedy vzorky ze stejného stratigrafického souvrství a ze souvrství, které vystupuje v současném těžebním řezu nejdále od severní větve kodského přesmyku.

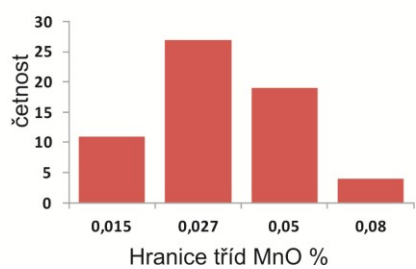
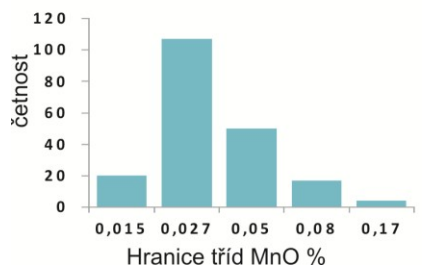
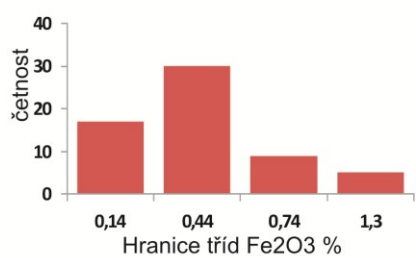
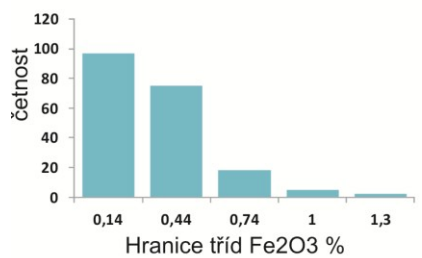
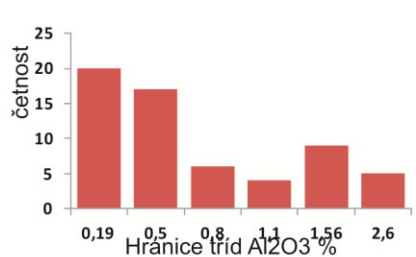
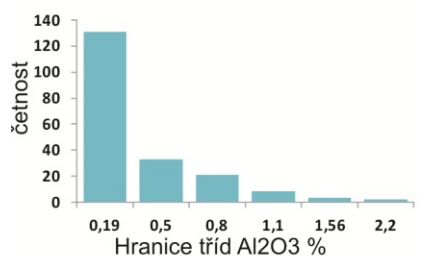
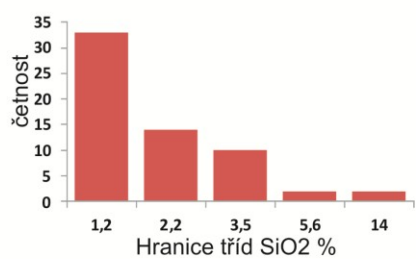
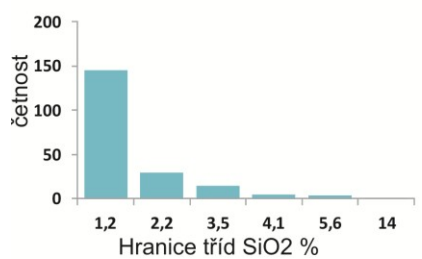
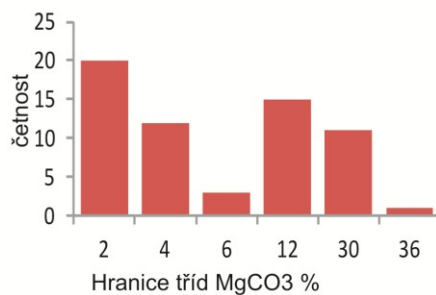
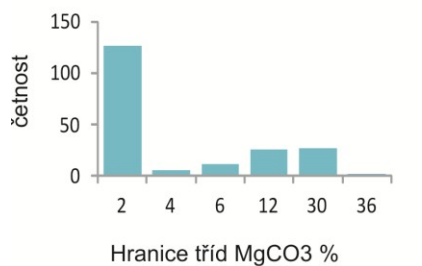
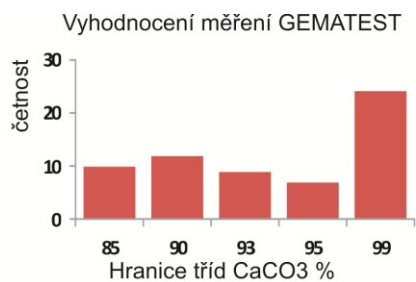
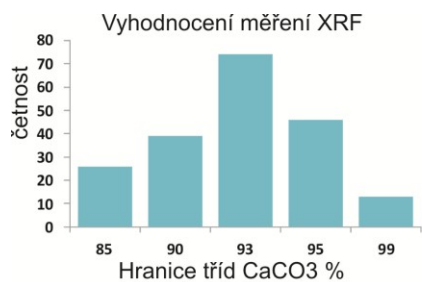
Pomineme-li odlehlé hodnoty, lze pak konstatovat, že s rostoucí vzdáleností od přesmykem porušené stěny se velikost krystalů zvětšuje (obr. 31). Tento trend lze interpretovat jako pokles koncentrace Mg ve fluidech s rostoucí vzdáleností od přesmyku (nižší míra saturace roztoku vede k tvorbě menšího počtu krystalů, ty ale mají větší velikost).



Obr. 31. Grafická závislost velikosti krystalů dolomitu na vzdálenosti od severní větve kodského přesmyku

7.6 XRF analýza

Po kontrolním měření, jímž byla potvrzena věrohodnost přístroje a jehož výsledky jsou zpracovány do histogramů na obrázku 21., byla provedena analýza upravených vzorků odebraných v rámci terénních etap technologického vzorkování. Výsledky všech měření jsou uvedeny v databázi (viz příloha č. 1). Dále byly výsledky těchto analýz pro přehlednost zpracovány hned několika způsoby. V první řadě byly vytvořeny histogramy a to jak za vlastní měření XRF (histogramy modré barvy) tak za chemické analýzy z laboratoře GEMATEST (histogramy červené barvy) (obr. 32.). V tomto případě se nerozlišoval druh vápencové suroviny resp. vápencových souvrství a jedná se tak o obecné zastoupení a rozšíření chemismu v rámci všech odebraných vzorků na lokalitě Velká Amerika. Histogramy modré barvy (XRF) jsou zpracovány pro odlišné vzorky, než pro které jsou zpracovány histogramy červené barvy (GEMATEST), nejedná se nikoliv o jejich vzájemné porovnávání.



Obr. 32. Statistické vyhodnocení chemických analýz pomocí histogramů

Z histogramů zpracovaných pro 210 analyzovaných vzorků prostřednictvím XRF a 62 vzorků analyzovaných v laboratoři platí následující. CaCO₃ vykazuje největší četnost při obsahu 93 hm. %, 95 hm. % a 99 hm. %. Nejméně pak 85%, v této třídě lze očekávat např. nízkoprocentní vápence řeporyjské a kotýské, které, které by v případě těžby nebyly zájmovou surovinou. Lze tedy konstatovat, že měření prokázalo značné množství vápenců “vysokoprocentních“, ty jsou na ložisku zastoupeny vápenci koněpruskými (spodí i svrchní), sliveneckými a loděnickými.

V případě MgCO₃ vykazují vzorky největší četnost při obsahu 2 hm. %. Jedná se tedy o vzorky, které splňují ČEZem stanovené limity. Významnou četnost však vykazují také třídy při obsazích 30 hm. %, 12 hm. % a 6 hm. %. Při pohledu na histogramy je pak jasné, že vzorků, které nesplňují požadované limity ČEZu (nad 2 hm. %) pak při součtu četností nadlimitních tříd, je jen o něco méně než tříd podlimitních. Zvýšené obsahy Mg a jeho poměrně velké rozšíření na lokalitě Velká Amerika se tak zdá být tímto potvrzeno.

Poměrně jednoznačné se zdají být výsledky v případě SiO₂, přičemž drtivá většina analyzovaných vzorků spadá do třídy s obsahem 1,2%. Poněkud zvýšené četnosti mají i třídy s obsahem 2,2 hm. % a 3,5 hm. %, a to však ve velkém nepoměru s předchozí třídou. Velmi podobné je to na zkoumané lokalitě i se zastoupením Al₂O₃. Dominantní třídou obsahu je 0,19 hm. %. Poměrně významná je také třída pro obsah 0,5 hm. %. Nejčetnější třídy Fe₂O₃ jsou přibližně ve stejném poměru pro obsahy o 0,44 hm. % a 0,14 hm. %, méně často pak 0,74 hm. %. U MnO jsou pak významnými třídami četností 0,027 hm. % a 0,05 hm. %. U žádného z těchto oxidů pak nedochází nikterak významně k překračování ČEZem stanovených limitů a dají se tak považovat za příznivé pro uvažovaný záměr.

Dále byla zpracována tabulka statistických parametrů za každé stratigrafické souvrství (tab. 7.).

Tab. 7. Statistické vyhodnocení chemických analýz za jednotlivá stratigrafická souvrství

| Druh vápence | (n) | | CaCO ₃ | MgCO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | Celkem karbonátu |
|--|-----|----------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|------------------|
| | | | (hm. %) | (hm. %) | (hm. %) | (hm. %) | (hm. %) | (hm. %) | (hm. %) |
| <i>kotýské</i> | 8 | Průměr | 90,06 | 8,11 | 1,02 | 0,28 | 0,42 | 0,10 | 98,18 |
| | | Medián | 90,08 | 7,04 | 0,78 | 0,20 | 0,38 | 0,08 | 98,44 |
| | | Sm. Odch | 8,63 | 8,15 | 0,85 | 0,24 | 0,24 | 0,04 | 1,27 |
| <i>konepruské spod.</i> | 68 | Průměr | 91,23 | 6,90 | 1,08 | 0,32 | 0,37 | 0,11 | 98,13 |
| | | Medián | 94,03 | 3,89 | 0,70 | 0,12 | 0,30 | 0,09 | 98,61 |
| | | Sm. Odch | 7,66 | 7,20 | 1,64 | 0,38 | 0,23 | 0,05 | 1,80 |
| <i>konepruské svrch.</i> | 24 | Průměr | 91,99 | 6,59 | 0,64 | 0,29 | 0,37 | 0,12 | 98,58 |
| | | Medián | 95,55 | 2,62 | 0,49 | 0,09 | 0,30 | 0,09 | 99,03 |
| | | Sm. Odch | 8,01 | 6,98 | 0,55 | 0,55 | 0,24 | 0,07 | 1,33 |
| <i>slivenecké</i> | 60 | Průměr | 96,30 | 2,59 | 0,52 | 0,21 | 0,30 | 0,08 | 98,89 |
| | | Medián | 98,08 | 1,24 | 0,36 | 0,09 | 0,17 | 0,07 | 99,33 |
| | | Sm. Odch | 5,64 | 4,66 | 0,45 | 0,40 | 0,31 | 0,04 | 1,11 |
| <i>lodeňické</i> | 45 | Průměr | 91,65 | 4,44 | 2,20 | 1,05 | 0,60 | 0,07 | 96,08 |
| | | Medián | 94,26 | 1,23 | 1,98 | 0,75 | 0,48 | 0,05 | 96,50 |
| | | Sm. Odch | 8,22 | 6,20 | 1,43 | 0,91 | 0,57 | 0,06 | 2,60 |
| <i>řeporyjské</i> | 5 | Průměr | 87,91 | 5,47 | 3,12 | 1,75 | 1,54 | 0,20 | 93,38 |
| | | Medián | 91,60 | 1,20 | 3,34 | 1,91 | 1,55 | 0,09 | 93,03 |
| | | Sm. Odch | 8,76 | 8,55 | 0,60 | 0,26 | 0,42 | 0,19 | 0,84 |
| <i>stratigraficky nezařazené (měření GEMATEST)</i> | 62 | Průměr | 90,55 | 6,76 | 1,72 | 0,63 | 0,32 | 0,03 | 97,31 |
| | | Medián | 92,83 | 3,96 | 1,01 | 0,36 | 0,25 | 0,02 | 98,34 |
| | | Sm. Odch | 7,75 | 6,78 | 1,79 | 0,64 | 0,25 | 0,01 | 2,56 |
| <i>celkem za všechny souvrství</i> | 272 | Průměr | 92,65 | 5,46 | 1,26 | 0,35 | 0,25 | 0,03 | 98,12 |
| | | Medián | 95,83 | 1,38 | 0,68 | 0,14 | 0,17 | 0,02 | 98,92 |
| | | Sm. Odch | 7,54 | 6,71 | 1,52 | 0,48 | 0,23 | 0,02 | 2,05 |

Z tabulky 7. vyplývá následující. Vápence koněpruské (spodní i svrchní), slivenecké a loděnické vykazují v průměru velmi vysoké obsahy karbonátů (> 95 hm. %) a velmi nízké obsahy škodlivin typu SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃. Po chemické stránce se tak nacházejí hluboko pod limity vápenců pro odsiřování kouřových plynů stanovenými ze strany ČEZu. Jediným negativem tak jsou potvrzené zvýšené obsahy MgCO₃. Nejvyšší průměrné obsahy MgCO₃ vykazují vápence kotýské cca 8 hm. % a vápence koněpruské (spodní i svrchní) cca 6,7 hm. %. U vápenců loděnických pak průměrný obsah MgCO₃ činí cca 4,5 hm. % a nejnižší průměrný obsah MgCO₃ mají vápence slivenecké cca 2,5 hm. %. Průměrný obsah MgCO₃ cca 5,5 hm. % u vápenců řeporyjských je nutné brát s jistou rezervou, díky malému množství analyzovaných vzorků těchto vápenců se statisticky nejedná o příliš věrohodná data.

Vzorky odebrané při návštěvě severního překopu jsou zahrnuty do kategorie vápenců loděnických, přičemž jako samostatná skupina vykazují průměrný obsah MgCO₃ cca 2 hm. %. Vzorky, které se nepodařilo stratigraficky klasifikovat jsou zahrnuty ve skupině “ stratigraficky nezařazené“, zejména se jedná o 62 vzorků odebraných v první fázi technologického vzorkování, analyzovaných v certifikované lobarotoři GEMATEST. U těchto vzorků byl prokázán průměrný obsah MgCO₃ 7 hm. %. Celkem za všechny odebrané vzorky pak vychází průměrné množství karbonátů cca 98 hm. %, z čehož průměrné množství MgCO₃ činí 5,5 hm. %.

Za jednotlivá vápencová souvrství byly také zpracovány korelační matice (tab. 8 - 11), s nimiž se hledala souvislost mezi zvýšenými obsahy MgCO₃ a jinými oxidy, zejména pak MnO, jenž je typickým indikátorem uplatnění vodních roztoků. Významné korelační koeficienty jsou barevně zvýrazněny (záporná korelace modrá barva, kladná korelace červená barva). Pro vápence řeporyjské se z malé vypovídací schopnosti malého množství naměřených dat, korelační matice nezpracovala.

Tab. 8. Korelační matice (vápence kotýské)

| | CaCO ₃ | MgCO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| CaCO ₃ | 1,00 | -0,98 | -0,10 | -0,42 | -0,75 | -0,89 |
| MgCO ₃ | -0,98 | 1,00 | 0,11 | 0,40 | 0,78 | 0,94 |
| SiO ₂ | -0,10 | 0,11 | 1,00 | 0,91 | 0,70 | 0,00 |
| Al ₂ O ₃ | -0,42 | 0,40 | 0,91 | 1,00 | 0,83 | 0,24 |
| Fe ₂ O ₃ | -0,75 | 0,78 | 0,70 | 0,83 | 1,00 | 0,67 |
| MnO | -0,89 | 0,94 | 0,00 | 0,24 | 0,67 | 1,00 |

Tab. 9. Korelační matice (*vápence koněpruské)

| | CaCO ₃ | MgCO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| CaCO ₃ | 1,00 | -0,92 | -0,28 | -0,59 | -0,72 | -0,83 |
| MgCO ₃ | -0,92 | 1,00 | 0,06 | 0,48 | 0,71 | 0,87 |
| SiO ₂ | -0,28 | 0,06 | 1,00 | 0,27 | 0,13 | 0,03 |
| Al ₂ O ₃ | -0,59 | 0,48 | 0,27 | 1,00 | 0,65 | 0,56 |
| Fe ₂ O ₃ | -0,72 | 0,71 | 0,13 | 0,65 | 1,00 | 0,73 |
| MnO | -0,83 | 0,87 | 0,03 | 0,56 | 0,73 | 1,00 |

*spodní i svrchní

Tab. 10. Korelační matice (vápence slivenecké)

| | CaCO ₃ | MgCO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| CaCO ₃ | 1,00 | -0,96 | -0,82 | -0,87 | -0,71 | -0,74 |
| MgCO ₃ | -0,96 | 1,00 | 0,82 | 0,86 | 0,69 | 0,78 |
| SiO ₂ | -0,82 | 0,82 | 1,00 | 0,95 | 0,76 | 0,64 |
| Al ₂ O ₃ | -0,87 | 0,86 | 0,95 | 1,00 | 0,72 | 0,58 |
| Fe ₂ O ₃ | -0,71 | 0,69 | 0,76 | 0,72 | 1,00 | 0,65 |
| MnO | -0,74 | 0,78 | 0,64 | 0,58 | 0,65 | 1,00 |

Tab. 11. Korelační matice (vápence loděnické)

| | CaCO ₃ | MgCO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| CaCO ₃ | 1,00 | -0,95 | -0,80 | -0,92 | -0,90 | -0,70 |
| MgCO ₃ | -0,95 | 1,00 | 0,74 | 0,82 | 0,81 | 0,77 |
| SiO ₂ | -0,80 | 0,74 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,64 |
| Al ₂ O ₃ | -0,92 | 0,82 | 0,95 | 1,00 | 0,93 | 0,62 |
| Fe ₂ O ₃ | -0,90 | 0,81 | 0,90 | 0,93 | 1,00 | 0,69 |
| MnO | -0,70 | 0,77 | 0,64 | 0,62 | 0,69 | 1,00 |

Všechny typy vápenců vykazují vysoký negativní korelační koeficient mezi CaCO₃ a MgCO₃ (vápence kotýské -0,98; koněpruské -0,92; slivenecké -0,96 a loděnické -0,95).

Pro všechny typy vápenců dále platí poměrně vysoká hodnota kladného korelačního koeficientu mezi MgCO₃ a MnO (vápence kotýské 0,94; koněpruské 0,87; slivenecké 0,78 a loděnické 0,77) a MgCO₃ a Fe₂O₃ (vápence kotýské 0,78; koněpruské 0,71; slivenecké 0,69 a loděnické 0,81).

Zajímavý kladný lineární vztah u vápenců sliveneckých a loděnických, vykazují také MgCO₃ a SiO₂ (slivenecké 0,82; loděnické 0,74) a MgCO₃ a Al₂O₃ (slivenecké 0,86; loděnické 0,82).

Korelační matice za všechny vápencová souvrství pak ukazuje tabulka 12.

Tab. 12. Korelační matice za všechna vápencová souvrství

| | CaCO ₃ | MgCO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|
| CaCO ₃ | 1,00 | -0,90 | -0,38 | -0,52 | -0,61 | -0,73 |
| MgCO ₃ | -0,90 | 1,00 | 0,18 | 0,40 | 0,48 | 0,73 |
| SiO ₂ | -0,38 | 0,18 | 1,00 | 0,69 | 0,60 | 0,19 |
| Al ₂ O ₃ | -0,52 | 0,40 | 0,69 | 1,00 | 0,81 | 0,39 |
| Fe ₂ O ₃ | -0,61 | 0,48 | 0,60 | 0,81 | 1,00 | 0,55 |
| MnO | -0,73 | 0,73 | 0,19 | 0,39 | 0,55 | 1,00 |

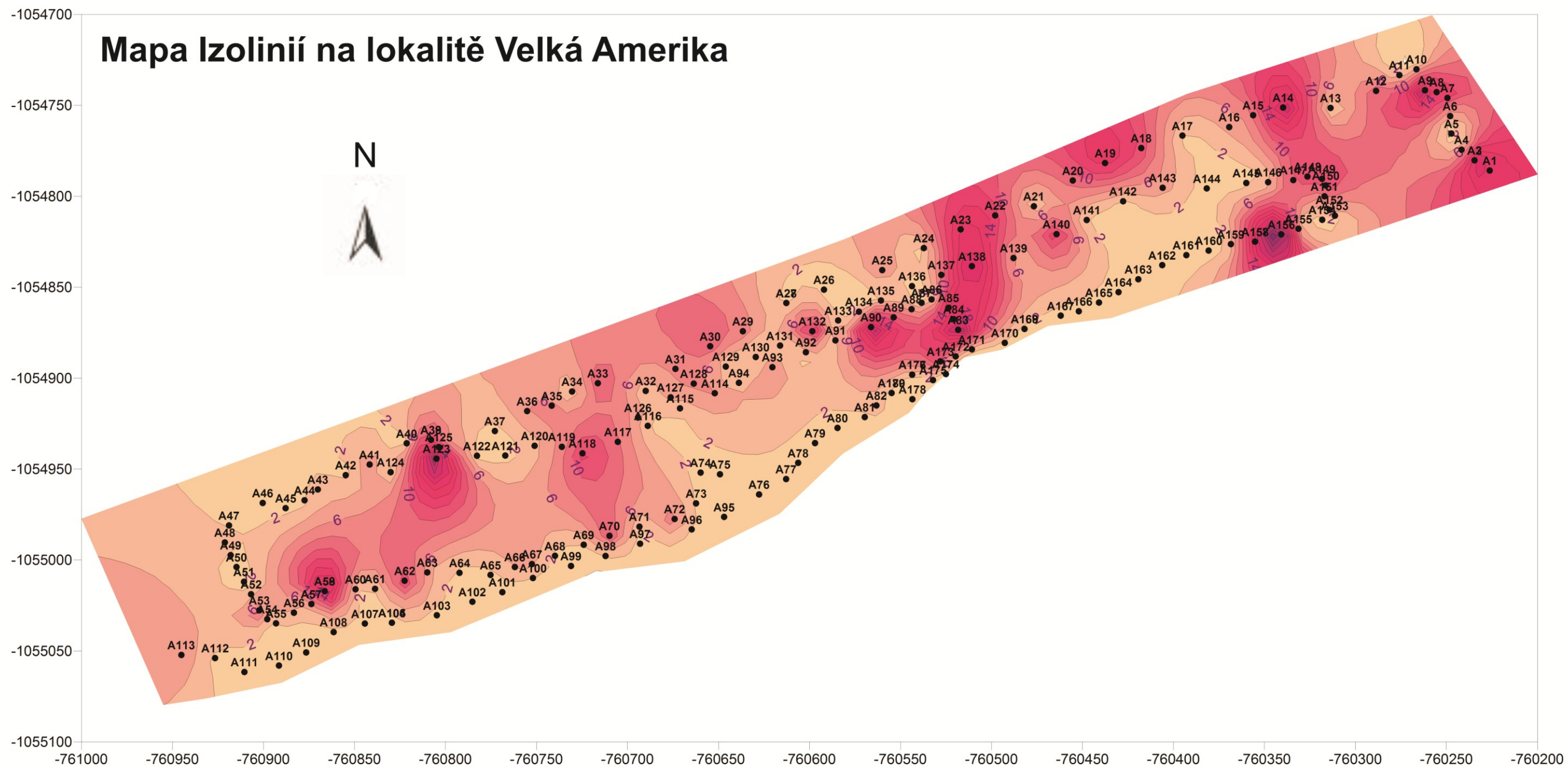
Korelační koeficient mezi MgCO₃ a CaCO₃ za všechna vápencová souvrství činí -0,90. Mezi MgCO₃ a MnO je jeho hodnota 0,73, přičemž mezi MgCO₃ a Fe₂O₃ činí 0,48.

Další statisticky významné kladné korelační hodnoty vykazují dvojice Fe₂O₃ a Al₂O₃ (0,81), Al₂O₃ a SiO₂ (0,69) a MnO a Fe₂O₃ (0,55), přičemž záporný lineární vztah vyjadřují CaCO₃ a Fe₂O₃ (-0,61) nebo CaCO₃ a MnO (-0,73).

Pro zjištění distribuce MgCO₃ na lokalitě Velká Amerika byly prostřednictvím softwaru Surfer8 vytvořeny izolinie (obr. 33.), přičemž byla použita geostatistická lineární metoda odhadu - kríging. Porovnání izolinií MgCO₃ s lokální tektonikou pak přináší mapa v příloze 2.2B.

Dále byly prostřednictvím softwaru GIS, zpracovány mapy obsahů karbonátů, CaCO₃, MgCO₃, které přináší samostatné přílohy 2.1, 2.2A, 2.3.

Z výsledků XRF-spektrometrie, vytvořených izolinií (obr. 33.) a zpracovaných map (přílohy 2.2A, 2.2B) je patrné, že distribuce MgCO₃ je v surovině na lokalitě Velká Amerika velmi nepravidelná, přesto lze pozorovat jisté zákonitosti. Nejvyšší obsahy MgCO₃ mají vápence kotýské a koněpruské, tedy vápence, které leží nejbližší severní větve kodského přesmyku. Naopak jednoznačně nejnižší obsahy MgCO₃ vykazují vápence slivenecké, tedy vápence vystupující v současném těžebním řezu nejdále od severní větve kodského přesmyku.



Obr. 33. Mapa izolinií MgCO₃ na lokalitě Velká Amerika

7.7 Odhad vytěžitelných zásob

S ohledem na geologické podmínky, které na lokalitě panují a stavu roztěžení ložiska se jako nejvhodnější metoda pro zrealizování odhadu zásob jeví metoda geologických řezů.

Tato metoda se používá pro výpočet zásob deskovitých, čočkovitých nebo nepravidelných ložisek větších mocností, prozkoumaných systémy zpravidla vertikálních nebo horizontálních průzkumných řezů, ze kterých se určují parametry výpočtu. Hlavní předností této metody je, že plně respektuje geologický model ložiska a že nevyžaduje žádné účelové konstrukce (Schejbal 2003).

Podkladem tohoto odhadu zásob jsou důlní mapa lokality Velké Amerika zpracovaná Štefkem (1995) k plánu zajištění ložiska a vybrané geologické řezy zpracované k druhému ložiskovému průzkumu Chybík et al. (1962) upravené dle konečného stavu roztěžení lokality v plánu zajištění ložiska.

Za surovinu potenciálně využitelnou jako vápenců pro odsiřování kouřových plynů (VA) lze považovat vápence koněpruské (spodní i svrchní), slivenecké a loděnické. Využitelnost vápenců řeporyjských a dvorecko-prokopských jako VA je již vzhledem ke zvýšeným obsahům SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 problematická. Jako VA jsou tak využitelné pouze ve směsi s čistšími vápenci koněpruskými, sliveneckými a loděnickými. Z tohoto důvodu byla ložisková výplň účelově rozdělena na:

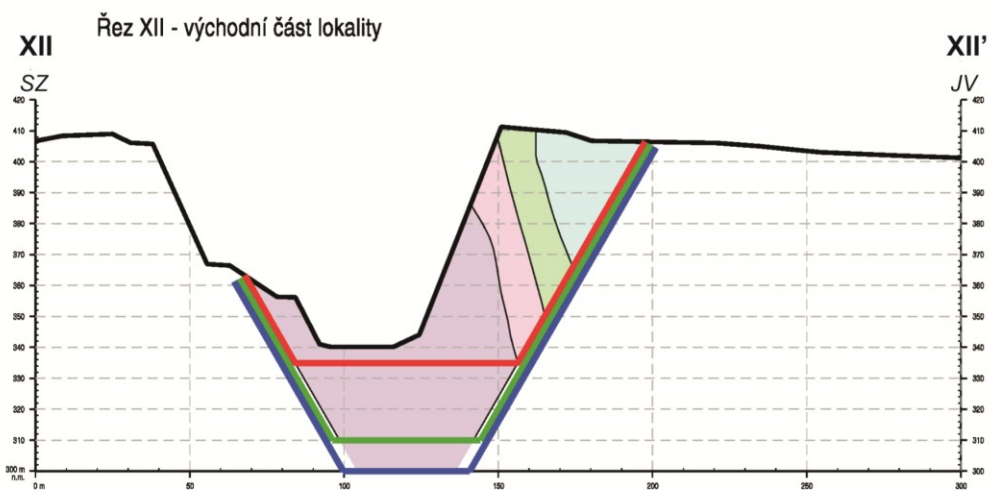
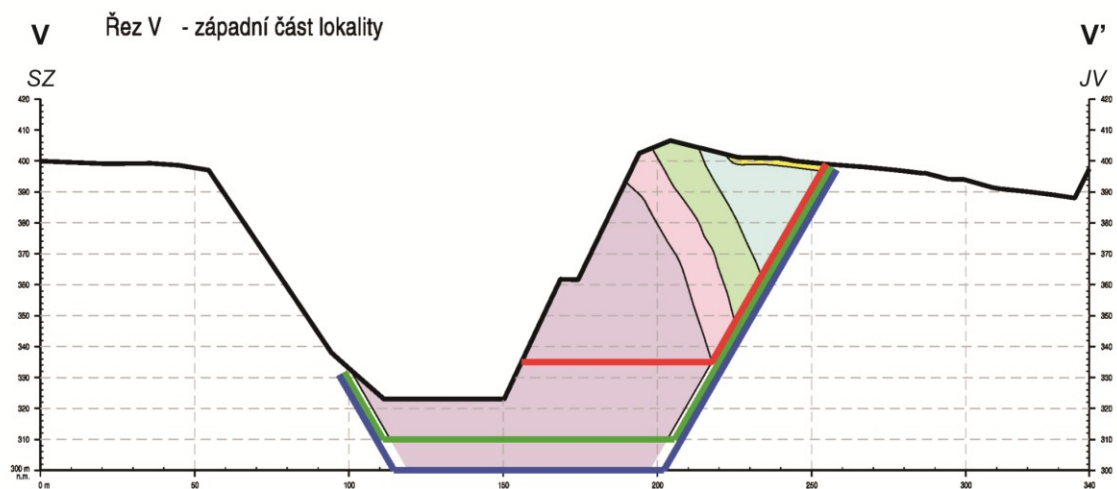
- VA (vápence loděnické, slivenecké, koněpruské ± svrchní kotýské)
- vápence řeporyjské
- vápence dvorecko-prokopské
- vápence zlíčovské
- kvartér

Odhad zásob byl realizován ve třech variantách (obr. 34):

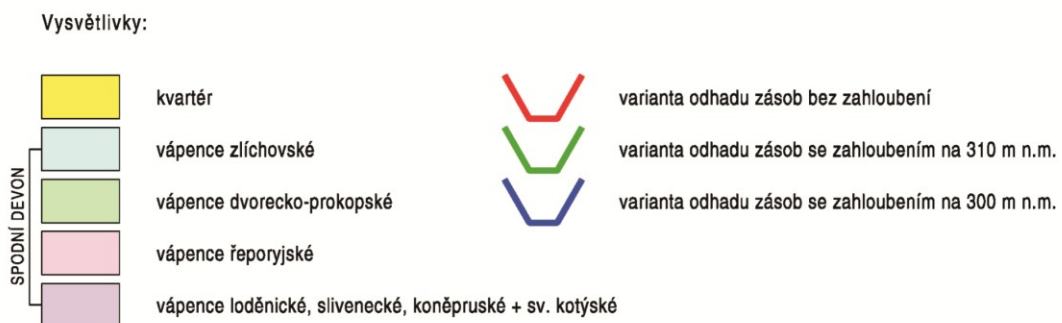
1. Varianta bez zahloubení, s bází zásob v úrovni 335 m n.m.,
2. Varianta se zahloubením, s bází zásob v úrovni 310 m n.m.
3. Varianta se zahloubením, s bází zásob v úrovni 300 m n.m.

Rozsah odhadu zásob v prostoru lomu je určen uvažovaným generelním sklonem závěrných svahů po skončení těžby, který bude činit zhruba 60° . Rozsah odhadu zásob v jižním předpolí lomu je určen průmětem povrchu a uvažovaného generelního sklonu závěrného svahu vedeného od průmětu horizontální roviny v úrovni 335 m n. m. a stropu polohy loděnických vápenců.

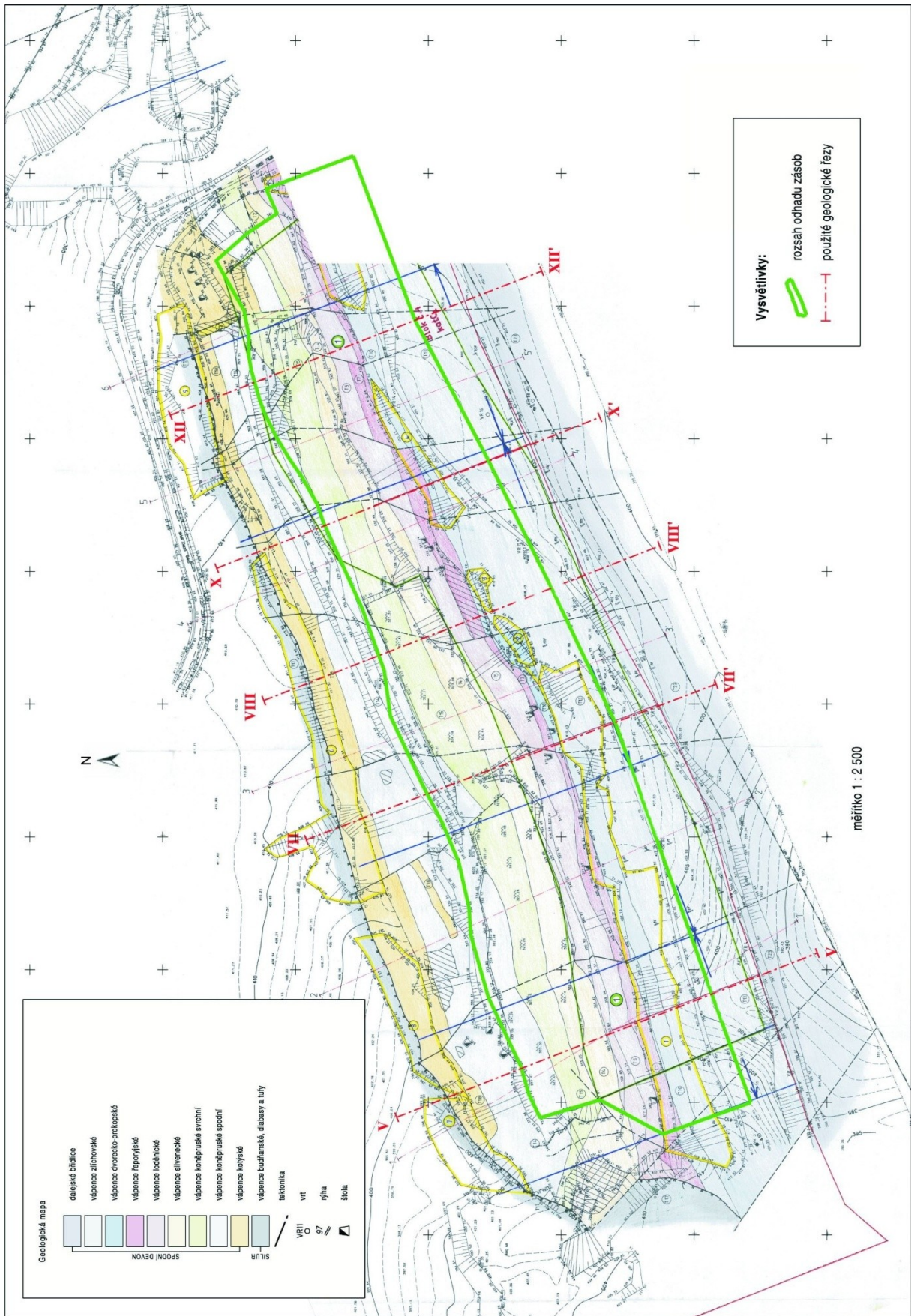
Odhad zásob byl proveden následovně. Ložisko bylo 5-ti řezy rozděleno na 6 geologických bloků. Řezy byly vybrány tak, aby členily ložisko na geologicky co nejhomogenější bloky a odhad byl tak nejpřesnější. Byly vybrány řezy V – V', VII – VII', VIII – VIII', X – X' a XII – XII'. Rozsah odhadu zásob v rámci mapového podkladu přináší obrázek 35.



Měřítko délek a výšek 1 : 2 000



Obr. 34. Geologické řezy lokalitou Velká Amerika s vyznačením variant odhadu zásob



Obr. 35. Geologické řezy lokalitou Velká Amerika s vyznačením rozsahu odhadu zásob (dle Štefek 1995)

Nejprve byly prostřednictvím softwaru MicroStation vypočteny plošné obsahy zásob užitkové suroviny každého řezu při uvažovaném závěrném svahu 60° (tab. 13.).

Tab. 13. Plošné obsahy ložiskové výplně každého řezu

| | řez V (m ²) | řez VII (m ²) | řez VIII (m ²) | řez X (m ²) | řez VII (m ²) |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| kvartér | 69 | 48 | 0 | 20 | 1 |
| zlíchovské | 699 | 979 | 942 | 1 272 | 812 |
| dvorecko-prokopské | 667 | 564 | 662 | 757 | 631 |
| řeporyjské | 744 | 505 | 721 | 659 | 680 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 1 967 | 627 | 1 390 | 1 440 | 1 414 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 2 025 | 2 171 | 1 754 | 1 868 | 1 446 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 840 | 706 | 655 | 545 | 376 |
| plocha v řezu celkem | 7 011 | 5 600 | 6 124 | 6 561 | 5 360 |

Následně byly vypočteny pomocí vzdálenosti ($h_{j,j+1}$) sousedních řezů zásoby tělesa, která vychází z následujícího vztahu:

$$Q = \sum_{j=1}^m 0.5(Q_j + Q_{j+1})h_{j,j+1} \quad (17)$$

Kde Q je obsah zásob celého tělesa, Q_j obsah suroviny řezu a Q_{j+1} je obsah užitkové suroviny sousedního řezu. Parametr h je pak vzájemná vzdálenost mezi sousedními řezy. Obsah zásob celého tělesa je pak sumou zásob geologických bloků, které jsou vypočteny jako součin průměrného obsahu plošných zásob sousedních řezů a jejich vzájemnou vzdáleností. Vzdálenost mezi bloky vypočtena pomocí softwaru GIS.

Množství zásob mezi sousedními řezy ukazují tabulky 14. až 19. a celkové výsledky kubatur za jednotlivé ložiskové jsou patrné z tabulky 20. Skryvka a výkliz jsou vyjádřeny jako podíl z hrubých kubatur jednotlivých typů ložiskové výplně, jenž vychází z geologického a morfologického uložení ložiska a dosavadních zkušeností na sousedním, v současné době těženém ložisku Kozolupy-Čeřinka.

Tab. 14. Výpočet kubatury mezi řezy V - V

| Vzdálenost mezi řezy 85 m | řez V' (m ²) | řez V (m ²) | kubatura (m ³) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| kvartér | 69 | 69 | 5 865 |
| zlíchovské | 699 | 699 | 53 124 |
| dvorecko-prokopské | 667 | 667 | 45 356 |
| řeporyjské | 744 | 744 | 46 128 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 1 967 | 1 967 | 98 350 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 2 025 | 2 025 | 66 825 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 840 | 840 | 20 160 |
| Celkem | 7 011 | 7 011 | 335 808 |

Tab. 16. Výpočet kubatury mezi řezy VII - VIII

| Vzdálenost mezi řezy 111,1 m | řez VII (m ²) | řez VIII (m ²) | kubatura (m ³) |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| kvartér | 48 | 0 | 2 666 |
| zlíchovské | 979 | 942 | 106 712 |
| dvorecko-prokopské | 564 | 662 | 68 104 |
| řeporyjské | 505 | 721 | 68 104 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 627 | 1 390 | 112 044 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 2 171 | 1 754 | 218 034 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 706 | 655 | 75 604 |
| Celkem | 5 600 | 6 124 | 651 268 |

Tab. 18. Výpočet kubatury mezi řezy X - XII

| Vzdálenost mezi řezy 119,4 m | řez X (m ²) | řez XII (m ²) | kubatura (m ³) |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| kvartér | 20 | 1 | 1 254 |
| zlíchovské | 1 272 | 812 | 124 415 |
| dvorecko-prokopské | 757 | 631 | 82 864 |
| řeporyjské | 659 | 680 | 79 938 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 1 440 | 1 414 | 170 384 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 1 868 | 1 446 | 197 846 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 545 | 376 | 54 984 |
| Celkem | 6 561 | 5 360 | 711 684 |

Tab. 15. Výpočet kubatury mezi řezy V - VII

| Vzdálenost mezi řezy 218,1 m | řez V (m ²) | řez VII (m ²) | kubatura (m ³) |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| kvartér | 69 | 48 | 12 759 |
| zlíchovské | 699 | 979 | 182 986 |
| dvorecko-prokopské | 667 | 564 | 134 241 |
| řeporyjské | 744 | 505 | 136 203 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 1 967 | 627 | 282 876 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 2 025 | 2 171 | 457 574 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 840 | 706 | 168 591 |
| Celkem | 7 011 | 5 600 | 1 375 230 |

Tab. 17. Výpočet kubatury mezi řezy VIII - X

| Vzdálenost mezi řezy 106,2 m | řez VIII (m ²) | řez X (m ²) | kubatura (m ³) |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| kvartér | 0 | 20 | 1 062 |
| zlíchovské | 942 | 1 272 | 117 563 |
| dvorecko-prokopské | 662 | 757 | 75 349 |
| řeporyjské | 721 | 659 | 73 278 |
| loděnické ad. nad 335 m n.m. | 1 390 | 1 440 | 150 273 |
| loděnické ad. 310-335 m n.m. | 1 754 | 1 868 | 192 328 |
| loděnické ad. 300-310 m n.m. | 655 | 545 | 63 720 |
| Celkem | 6 124 | 6 561 | 673 574 |

Tab. 19. Výpočet kubatury mezi řezy XII - XII

| Vzdálenost mezi řezy 133 m | řez XII (m ²) | řez XII' (m ²) | kubatura (m ³) |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| kvartér | 1 | 1 | 67 |
| zlíchovské | 812 | 812 | 50 344 |
| dvorecko-prokopské | 631 | 631 | 36 598 |
| řeporyjské | 680 | 680 | 37 400 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 1 414 | 1 414 | 69 286 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 1 446 | 1 446 | 58 563 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 376 | 376 | 13 536 |
| Celkem | 5 360 | 5 360 | 265 794 |

Tab. 20. Celkové výsledky kubatur za jednotlivé ložiskové výplně

| | Celkem | Výkliz | | Zásoby suroviny |
|----------------------------|----------------|--------|----------------|-----------------|
| | m ³ | % | m ³ | m ³ |
| kvartér | 23 672 | | | |
| zlíchovské | 635 144 | 20% | 127 029 | 508 115 |
| dvorecko-prokopské | 442 511 | 10% | 44 251 | 398 260 |
| řeporyjské | 441 052 | 10% | 44 105 | 396 947 |
| loděnické (nad 335 m n.m.) | 883 213 | 5% | 44 161 | 839 052 |
| loděnické (310-335 m n.m.) | 1 191 170 | 5% | 59 558 | 1 131 611 |
| loděnické (300-310 m n.m.) | 396 595 | 5% | 19 830 | 376 765 |

Takto vypočtené kubatury pak byly přehledně shrnuty dle zvolených variant odhadu zásob. Ty jsou patrné z tabulek 21 -23. Při přepočítávání kubatury vápencové suroviny na tuny byla uvažována hustota vápencové suroviny 2,65 g/cm³.

Tab. 21. Odhad zásob varianta 1

| | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------|
| Kubatura bloku vápenců loděnic kých, sliveneckých, koněpruských ± svrch. kotýských včetně výklizu (nad 335 n.m.n.) | | |
| 883 213 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura výklizu | Zásoby suroviny (VA) | |
| 44 tis. m³ (5%) | 839 tis. m³ (95%) | 2 223 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců řeporyjských včetně skrývky a výklizu | | |
| 441 052 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 44 tis. m³ (10%) | 396 tis. m³ (90%) | 1 051 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců dvorecko -prokopských včetně skrývky a výklizu | | |
| 442 511 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 44 tis. m³ (10%) | 398 tis. m³ (90%) | 1 055 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců zlíčovských včetně skrývky a výklizu | | |
| 635 144 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 127 tis. m³ (20%) | 508 tis. m³ (80%) | 1 346 tis. tun |

Poměr zásoby VA/ostatní = 35/65

Tab. 22. Odhad zásob varianta 2

| | | |
|--|---------------------------------------|------------------------|
| Kubatura bloku vápenců loděnických, sliveneckých, koněpruských ± svrch. kotýských včetně výklizu (do 310 m n.m.) | | |
| 2 096 792 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura výklizu | Zásoby suroviny (VA) | |
| 104 tis. m³ (5%) | 1 991 tis. m³ (95%) | 52 786 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců řeporyjských včetně skrývky a výklizu | | |
| 441 052 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 44 tis. m³ (10%) | 396 tis. m³ (90%) | 1 051 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců dvorecko -prokopských včetně skrývky a výklizu | | |
| 442 511 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 44 tis. m³ (10%) | 398 tis. m³ (90%) | 1 055 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců zlíčovských včetně skrývky a výklizu | | |
| 635 144 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 127 tis. m³ (20%) | 508 tis. m³ (80%) | 1 346 tis. tun |

Poměr zásoby VA/ostatní = 55/45

Tab. 23. Odhad zásob varianta 3

| | | |
|--|---------------------------------------|------------------------|
| Kubatura bloku vápenců loděnických, sliveneckých, koněpruských ± svrch. kotýských včetně výklizu (do 300 m n.m.) | | |
| 2 493 386 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura výklizu | Zásoby suroviny (VA) | |
| 124 tis. m³ (5%) | 2 368 tis. m³ (95%) | 62 771 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců řeporyjských včetně skrývky a výklizu | | |
| 441 052 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 44 tis. m³ (10%) | 396 tis. m³ (90%) | 1 051 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců dvorecko -prokopských včetně skrývky a výklizu | | |
| 442 511 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 44 tis. m³ (10%) | 398 tis. m³ (90%) | 1 055 tis. tun |
| Kubatura bloku vápenců zlíchovských včetně skrývky a výklizu | | |
| 635 144 m ³ | | |
| Z toho: | | |
| Kubatura skrývky + výklizu | Zásoby suroviny | |
| 127 tis. m³ (20%) | 508 tis. m³ (80%) | 1 346 tis. tun |

Poměr zásoby VA/ostatní = 60/40

Odhad zásob pro variantu 1 (rozšíření těžby bez zahloubení) nad kótu 325 m n.m. stanovil zásoby VA 839 tis. m³ (2 223 tis. tun) a vykazuje poměr mezi zásobami VA a nadložím 35/65. Z těchto parametrů lze jednoznačně usoudit, že je tato varianta bez ekonomického potenciálu a lze ji vyloučit jako možnou variantu pro rozšíření těžby.

Naopak varianty (2 a 3) spojené se zahloubením vykazují jak dostatečnou kubaturu zásob VA, tak relativně příznivý poměr mezi VA a nadložím. Pro variantu 2 se zahloubením na kótu 310 m n.m. byly odhadem vyčísleny zásoby 1 991 tis. m³ (52 786 tis. tun), přičemž poměr mezi VA a nadložím činí 55/45. Zahloubením na kótu 300 m n.m. (varianta 3) by bylo možné získat zásoby 2 368 tis. m³ (62 771 t) s tím, že parametr poměru zásob VA a nadloží činí 60/40. Ze srovnání jednotlivých variant odhadu zásob tedy jednoznačně vyplývá, že lze za ekonomicky zajímavé považovat pouze varianty spojené se zahloubením těžby tedy variantu 2 a variantu 3.

Zvolený rozsah těžebního záměru považuji za optimální. Z geologických řezů je dobře patrné, že zmenšování rozsahu těžebního záměru severozápadním směrem by sice po určitý úsek znamenalo postupné zlepšování poměru mezi VA a nadložím, ovšem za cenu rychle klesající kubatury zásob. A naopak, že rozšiřování těžebního záměru jihovýchodním směrem by již znamenalo pouze nízký nárůst kubatury VA a to za cenu rychle se zhoršujícího poměru mezi VA a nadložím.

8. DISKUSE

8.1 Rozšíření a možnosti vzniku dolomitizace ve vztahu ke geologickým podmínkám na lokalitě Velká Amerika

Hlavním zdrojem vápencové suroviny pro odsiřování kouřových plynů elektráren ČEZu je v současnosti ložisko Kozolupy-Čeřinka. Toto ložisko je založeno v severním křídle antiklinály Doutháče, nachází se přibližně 1,7 km severovýchodně od lomu Velká Amerika a je od něj odděleno kodským přesmykem. Obsahy $MgCO_3$ na ložisku Kozolupy-Čeřinka jsou však i přes obdobnou litologii, stratigrafii, či prostorovou blízkost výrazně nižší než na Velké Americe. Například u vápenců řeporyjských a loděnických se pohybuje průměrný obsah $MgCO_3$ kolem 1,3 hm. %, u vápenců sliveneckých a koněpruských činí 1,6 hm. % a u vápenců kotýských 2,1 hm. % (Lanar et al. 1994). V lomu Velká Amerika však tyto obsahy činí 4,5, 4,3 a 2,1 hm. % (Tab. 7). Z tohoto prostého srovnání vyplývá, že za „anomální“ dolomitizaci na lokalitě Velká Amerika musíme hledat nějakou lokální příčinu.

Na základě mikroskopických pozorování lze rozlišit dva typy dolomitu na lokalitě Velká Amerika: diagenetický a epigenetický. Diagenetický dolomit je jemnozrný a v hornině se vyskytuje ve formě přes sebe nakupených klenců dolomitu s povolnými přechody až do mozaikové struktury. Podle Gregga et al. (1984) tento „mozaikový“ dolomit vzniká rekrystalizací velmi jemného vápenného kalu za působení zvýšených teplot cca 50 °C a to již při mělkém pohřbení. Roztoky bohaté ionty Mg a Fe se během diagenese koncentrovaly do míst, kde byly optimální podmínky pro krystalizaci diagenetického dolomitu (Suchý et al. 1996).

Epigenetický dolomit je naopak středně zrnitý až hrubozrný a vyskytuje se v izolovaných krystalech nebo v malých shlucích. Tento dolomit vykristaloval již v litifikované hornině, při hlubším pohřbení a z roztoků bohatých Mg, jejichž teplota se obvykle pohybuje v rozmezí 60 – 150 °C (Radke et al. 1980). Teploty homogenizace primárních fluidních inkluzí v epigenetickém dolomitu z Velké Ameriky ležely v rozpětí 76 – 92 °C (vzorek A9) a 63 – 88 °C (vzorek A25). Nejvíce inkluzí homogenizovalo při teplotách okolo 86,2 °C (vzorek A9), či 75,5 °C (vzorek A25). Skutečná teplota vzniku těchto inkluzí byla patrně jen nepatrně vyšší (max. o cca 15 °C) než změřené teploty homogenizace. Poměr diagenetického a epigenetického dolomitu na lokalitě odhaduji přibližně na 65 : 35.

Vhledem ke geologické stavbě studované oblasti a jejímu vývoji, pak považuji za pravděpodobné, že by epigenetická dolomitizace mohla souviset se severní větví kodského přesmyku, respektive s Mg bohatým vulkanickým vývojem v rámci nasunuté kry vápenců budňanských. Podle Suchého et al. (1996) bylo v Barrandienu v rámci povariské eroze odneseno až 3 km nadloží, což by znamenalo hluboké pohřbení a podmínky přijatelné pro epigenetickou dolomitizaci. Nositel této dolomitizace by tak mohly být posttektonické metamorfní vody, které umožnily iontové výměnné reakce mezi Mg^{2+} , $HCO_3^-/CO_3^{2-}/SO_4^{2-}$ a $CaCO_3$. Naznačují to i korelace mezi obsahem $MgCO_3$ a obsahem dalších prvků, zejména Mn (jednoznačně nejvyšší pozitivní korelační koeficient). Mn je považován za typický indikátor uplatnění vodních roztoků. Ačkoli distribuce $MgCO_3$ v lomu Velká Amerika je značně nepravidelná (viz. obr. 33., příloha 2.2A, 2.2B), lze pozorovat jisté zákonitosti: nejvyšší obsahy $MgCO_3$ mají vápence kotýské a koněpruské, tedy vápence, které leží nejbliže severní větve kodského přesmyku. Naopak jednoznačně nejnižší obsahy $MgCO_3$ vykazují vápence slivenecké, tedy vápence vystupující v současném těžebním řezu nejdále od severní větve kodského přesmyku. V případě vápenců loděnických a řeporyjských je pak nezbytné uvážit předpokládaný průběh severní větve kodského přesmyku před současným erozním řezem. Jistou závislost mezi severní větví kodského přesmyku a intenzitou dolomitizace naznačila i obrazová analýza velikostí krystalů dolomitu –

velikost krystalů klesá s rostoucí vzdáleností od přesmyku a mohla by tak indikovat prostorově podmíněný pokles saturace roztoků Mg.

Výrazná selektivnost dolomitizace pak nejspíše souvisí s rozdílnou propustností horninového prostředí. Nejvyšší obsahy $MgCO_3$ očekávám v okolí silně namáhaných – drcených partií a zlomů. To je dobře patrné i z přílohy č. 2.2B, kde izolinie $MgCO_3$ vykazují jistou vazbu na lokální tektoniku. Vedle tektonického postižení a odlišných reologických vlastností hornin však mohou mít vliv na selektivnost dolomitizace i další faktory, jako je například podíl jílových minerálů, pórovitost, velikost minerálních zrn a struktura horniny. Nepravidelný výskyt dolomitu v jednotlivých vrstvách lze pak přisuzovat rozdílnému odporu různých poloh/druhů vápenců proti vzniku nebo růstu dolomitu.

8.2 Posouzení technologické kvality suroviny z pohledu možnosti jejího využití jako vápenců pro odsiřování kouřových plynů

Distribuce $MgCO_3$ v surovině na lokalitě Velká Amerika je velmi nepravidelná. Vápence koněpruské, slivenecké a loděnické vykazují v průměru velmi vysoké obsahy karbonátů (> 95 hm. %) a velmi nízké obsahy škodlivin typu SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 (viz. příloha č. 2.1, 2.3). Po chemické stránce se tak nacházejí hluboko pod limity vápenců pro odsiřování kouřových plynů stanovenými ze strany ČEZu. Jediným negativem tak jsou zvýšené obsahy $MgCO_3$. Průměrný obsah $MgCO_3$ činil u 62 vzorků odebraných v první fázi technologického vzorkování cca. 7 hm. %, u 210 vzorků odebraných v druhé fázi technologického vzorkování byl cca. 5,5 hm. %. Archivní data reprezentovaná průměrnými chemismy dodávané suroviny z lomu Velká Amerika v letech 1955 a 1956 pak ukazují průměrné obsahy $MgCO_3$ mezi 5,5 až 6,5 hm. %. Shrňme-li výše uvedené, lze za průměrný obsah $MgCO_3$ v surovině na lokalitě považovat cca. 6 hm. %.

Limity pro vápencovou surovinu stanovené ze strany ČEZu přitom připouští max. 2 až 4 hm. % $MgCO_3$ v surovině. Překročení limitů obsahů $MgCO_3$ však není nikterak kritické (6 hm. % oproti 4 hm. %), důležitější je, že obsahy SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 nepřekračují požadované limity. Reaktivnost $MgCO_3$ s SO_2 je pouze o něco nižší než reaktivnost $CaCO_3$. Proces odsiřování kouřových plynů je však souhrou celé řady parametrů a opomenout nelze ani nároky na vedlejší ekonomický produkt odsiřování – energosádrovec. Ze strany ČEZu by proto mělo ve vztahu k využitelnosti suroviny pro odsiřování kouřových plynů na lokalitě zaznít jednoznačné stanovisko podpořené nejlépe odbornou studií, či laboratorním odzkoušením vhodnosti suroviny k uvažovanému účelu.

V případě, že by takto zjištěný vysoký obsah $MgCO_3$ na ložisku Mořina – východ představoval opravdu problém pro využívání suroviny pro odsiřování kouřových plynů, navrhuji následující řešení. Vzhledem k tomu, že stanovené limity $MgCO_3$ ze strany ČEZu nejsou překračovány nikterak výrazně, stále se zde nabízí možnost suroviny ložiska Mořina – východ dobývat a míchat ji na požadovaný chemismus se surovinou z ložiska Kozolupy-Čeřinka. Tím by se tak výrazně prodloužila životnost ložiska Kozolupy-Čeřinka cca o dalších 10-15 let a „méně kvalitní“ surovina z již roztěženého lomu Velká Amerika by byla hodnotně využita.

8.3 Posouzení možných variant těžby vzhledem k vytěžitelným zásobám a kvalitě vápenců pro odsiřování kouřových plynů

Z těžebního pohledu je zřejmé, že značně nepravidelná distribuce $MgCO_3$ v surovině zcela znemožňuje selektivní těžbu a vyklízení nejvíce dolomitizovaných partií. Naopak příslibem ve vztahu k uvažovanému těžebnímu záměru je indikované snižování obsahů $MgCO_3$ s rostoucí vzdáleností od severní větve kodského přesmyku (viz. příloha č. 2.2A, 2.2B). Snižování $MgCO_3$ v surovině jihovýchodním směrem tzn. ve směru uvažovaného rozšíření lomu, také potvrdila i analýza vzorků odebraných v rámci vzorkování severního podzemního překopu (průměrný obsah $MgCO_3$ cca 2 hm. %).

Ze srovnání jednotlivých variant odhadu zásob jednoznačně vyplývá, že za ekonomicky zajímavé lze považovat pouze varianty spojené se zahloubením těžby. Z výsledků realizovaného odhadu zásob vyplývá, že při rozšíření těžebního záměru jihovýchodním směrem a při zahloubení těžby se na lokalitě nachází stále značné množství vytěžitelných zásob vápenců pro odsiřování kouřových plynů v akceptovatelném poměru s nadložím. Pro variantu se zahloubením na kótu 310 m n.m. byly odhadem vyčísleny zásoby 1 991 tis. m^3 (52 786 tis. tun), přičemž poměr mezi zájmovou surovinou a nadložím činí 55/45. Zahloubením na kótu 300 m n.m. by bylo možné získat zásoby 2 368 tis. m^3 (62 771 t) s tím, že parametr poměru zásob zájmové suroviny a nadloží činí 60/40. Varianta bez zahloubení těžby již nevykazuje dostatečný ekonomický potenciál (poměr zájmová surovina a nadloží 35/65).

Za hlavní argumenty ve prospěch uvažovaného těžebního záměru považují zájem na dlouhodobé zajištění produkce vápenců pro odsiřování kouřových plynů pro ČEZ. Pouze omezená životnost zásob v POPD na ložisku Kozolupy-Čeřinka a skutečnost, že dotěžení zásob na lokalitě Velká Amerika představuje jednu ze dvou možných variant zajištění produkce suroviny pro ČEZ po skončení těžby na ložisku Kozolupy-Čeřinka. Druhou variantu představuje otvírka ložiska Kamenný vrch, kde se organizace potýká s významnými střety zájmů, další reálné varianty však neexistují. Za další argument ve prospěch uvažovaného těžebního záměru považují zájem na hospodárném (úplném) využití ložiska a nízká výše vstupních investic. Ekonomická hodnota ložiska je stále značná, lokalita se navíc nachází v blízkosti výrobního závodu, v území s vyřešenými pozemkovými vztahy. Za neméně významné pak považují možnost prosazení těžebního záměru. Lokalita se nachází v rámci stanoveného dobývacího prostoru Mořina, v území s vyřešenými pozemkovými vztahy. Zásadní by však bylo stanovisko CHKO Český kras.

Za hlavní negativa a nejistoty ve vztahu k uvažovanému těžebnímu záměru považují zejména vytěženost snadno dostupných partií vysokoprocentních vápenců. A tedy méně příznivý poměr mezi zájmovou surovinou a nadložím oproti otvírce nového těžbou dosud nedotčeného ložiska. Dále to jsou již potvrzené zvýšené obsahy $MgCO_3$ v surovině představující možný problém ve využití suroviny pro odsiřování kouřových plynů (nutnost stanoviska ČEZu). Nejasné jsou také hydrogeologické poměry ve vztahu k uvažovanému zahloubení. Nevyřešený je také způsob využití nadloží využitelné suroviny (výklizu) a nakládání s odtěženou masou těchto hornin. Nevyužití těchto hornin tzn. vápenců řeporyjských, dvorecko-prokopských a vápenců zlíčovských by přitom byla jednoznačným plýtváním hodnoty ložiska. V povolovacím procesu otvírky je v současné době také odpor veřejnosti. V případě lomu Velká Amerika jde o jedinečnou a všeobecně známou lokalitu. Lze tedy očekávat odpor spolků ochránců přírody a CHKO Český kras.

9. ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce byl na lokalitě Velká Amerika potvrzen zvýšený rozsah dolomitizace. Mikroskopickým studiem (polarizační mikroskop a katodová luminiscence) byly pozorovány v dolomitizovaných vápencích dva hlavní typy dolomitu. Diagenetický dolomit vznikal při mělkém pohřbení společně s rekrystalizací vápnitého kalu při teplotách do 50 °C. Epigenetický dolomit vykristaloval již v litifikované hornině v důsledku většího pohřbení a v souvislosti s variským vrásněním. Teploty homogenizace primárních fluidních inkluzí ležely v rozmezí 63 – 92 °C s maximy kolem 86,2 a 75,5 °C. Přírodní dráhou fluid pro epigenetický dolomit tak mohla být severní větev kodského přesmyku jenž antiklinálu Ameriky bezprostředně porušuje. Nositelom dolomitizace a zdrojem Mg tak byly pravděpodobně posttektonické metamorfnní vody obohacené Mg bohatým vulkanickým vývojem v rámci nasunuté kry vápenců budňanských. Dokladem toho je vysoká pozitivní korelace mezi obsahy $MgCO_3$ a MnO , který je jako typický indikátor uplatnění vodních roztoků. Z výsledků obrazové analýzy pak vyplývá, že existuje vztah mezi vzdáleností od přesmyku a velikostí krystalů epigenetického dolomitu: s rostoucí vzdáleností od přesmykem porušené stěny se velikost krystalů směrem do nadloží zvětšuje.

Z analýz získaných prostřednictvím přenosného XRF spektrometru pak lze konstatovat, že je surovina na lokalitě Velká Amerika je po chemické stránce velmi kvalitní, v průměru vykazuje velmi vysoké obsahy karbonátů (> 95 hm. %) a velmi nízké obsahy škodlivin typu SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 . Jediným negativem tak jsou zvýšené obsahy $MgCO_3$, které však limity pro vápencovou surovinu stanovené ze strany ČEZu nepřekračují nikterak výrazně (6 hm. % oproti max. 4 hm. %; ideální hodnota je ale méně než 2 hm. %). Ze zpracovaných map vyplývá, že distribuce $MgCO_3$ v surovině na lokalitě je sice značně nepravidelná (viz. příloha č. 2.2A, 2.2B), ale obecně nejvyšší obsahy $MgCO_3$ vykazují vápence kotýské a koněpruské. Tedy vápence vystupující nejbližše severní větvi kodského přesmyku. Naopak jednoznačně nejnižší obsahy $MgCO_3$ vykazují vápence slivenecké, tedy vápence vystupující v současném těžebním řezu nejdále od severní větve kodského přesmyku.

Snižování obsahů $MgCO_3$ s rostoucí vzdáleností od severní větve kodského přesmyku (tzn. jihovýchodním směrem) v rámci lomu pak bylo potvrzeno i analyzováním vzorků ze severního podzemního překopu, přičemž za tyto vzorky činil průměrný obsah $MgCO_3$ pouze 2 hm. %. Tento fakt je tak pozitivním příslibem k plánovanému těžebnímu záměru a rozšíření současného lomového prostoru jihovýchodním směrem. Ze srovnání jednotlivých variant odhadu zásob pak jednoznačně vyplývá, že za ekonomicky zajímavé lze považovat pouze varianty spojené se zahloubením těžby. Při rozšíření těžebního prostoru jihovýchodním směrem a při zahloubení těžby se na lokalitě nachází stále značné množství vytěžitelných zásob vápenců pro odsiřování kouřových plynů v akceptovatelném poměru s nadložím, přičemž za nejvýhodnější lze považovat zahloubením na kótu 300 m n.m. Tímto odhadem byly vyčísleny zásoby 2 368 tis. m^3 (62 771 t) a poměr mezi zájmovou surovinou a nadložím činí 60/40.

10. LITERATURA

- Ahlbeck J., Engman T., Faltén S., Vihma M., 1995. *Measuring the reactivity of limestone for wet flue-gas desulfurization*. Chem. Engineer. Science, 50, 7, 1081-1089 str.
- BAS Rudice spol. s r.o., 2011. *Uživatelský manuál pro ruční ED-XRF spektrometr DELTA*.
- Boggs S., Krinsley D., 2006. *Application of cathodoluminescence imaging to the study of sedimentary rocks*. Cambridge University Press, Cambridge 165 str.
- ČEZ, 2006. *Odsiřování spalin v elektrárnách ČEZ*. Prezentační brožurka, TOP Partners s r.o. Praha, 14 str.
- De Blasio C., Mäkilä E., Westerlund T., 2012. *Use of carbonate rocks for flue gas desulfurization: Reactive dissolution of limestone particles*. Applied Energy, 90, 175–181 str.
- Erdős E., Mocek K., 1983. *Separace oxidu siřičitého z plynů*. Academia, Praha, 146 str.
- Ersepke Z., 1994. *Sborník přednášek z kurzu 13.-15.1994 v Komorní Lhotce*.
- Flügel., 2010. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer, Berlin, 984 str.
- Folk R. L., Land L. S., 1975. *Mg/Ca ratio and salinity: two controls over crystallization of dolomite*. Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol., 59, 60-68 str.
- Gemrich J., Lahovský J., Táborský T., 1998. *Ochrana životního prostředí a využití vápenců*. MŽP ve spolupráci s VÚMO Praha, Praha, 48 str
- Geršl M., Knésl I., 2009. *Validace terénního rentgenfluorescenčního spektrometru pro potřeby analýz půd, říčních sedimentů a suspendované hmoty*. Geol. Výzk. Mor. Slez., Brno, 126–130 str.
- Gregerová M., 1996. *Petrografie technických hmot*. Vydavatelství PřF Masarykovy university v Brně, 139 s.
- Gregg J.M., Sibley D. F., 1984. *Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture*. J. Sed. Petrol., 54, 908-931 str.
- Havlíček V., 1963. *Tektonické porušení barrandienského paleozoika*. Sbor. geol. Věd, Geol. 1, 77–102.
- Havlíček V., 1981. *Development of a linear sedimentary depression exemplified by the Prague basin (Ordovician - Middle Devonian, Barrandian, Central Bohemia)*. Sbor. geol. Věd, řada G, str. 7-48.
- Helán V., 2005. *Rentgenová spektrometrie Sborník přednášek z kurzu 2 (upravené a doplněné vydání)*. 2 THETA Český Těšín
- Hemerka J., Vybíral P., 2010. *Ochrana ovzduší*. České vysoké učení technické v Praze, 148 str.
- Heilbronner R., Barrett S., 2014. *Image analysis in earth sciences: microstructures and textures of earth materials*. Springer, Berlin, 520 str.
- Hladil J., 1996. *Karbonátová sedimentární tělesa I. - Jejich vznik a vývoj*. Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. Katedra geologie a paleontologie, Brno, 100 str.
- Hlaváč J., 1981. *Základy technologie silikátů*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 516 str.
- Horný R., (1955). *Studie o vrstvách budňanských v západní části barrandienského siluru*. Sbor. Ústř. Úst. geol., odd. geol. 21. 3, 315-447 str.
- Cháb J., Breiter K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J., 2008. *Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu*. Česká geologická služba, Praha, 283 str.
- Chlupáč I., 1999. *Výcházky za geologickou minulostí Prahy a okolí*. Academia, Praha, 280 str.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stránil Z., 2002. *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 436 str.
- Chlupáč I., Havlíček V., Kříž J., Kukul Z., Štorch P., 1992. *Paleozoikum Barrandienu (kambrium - devon)*. Vydavatelství Českého geologického ústavu, Praha, 292 str.

- Ibller Z. 2002. *Technický průvodce energetika*. BEN - technická literatura, Praha, 616 str.
- Jech Č., 1974. *Interakce energetických atomů v pevných látkách*. Academia, Praha, 118 str.
- Kachlík V., 2003. *Geologický vývoj území České republiky - Doplněk k publikaci „Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva“*, UK, SÚRAO Praha, 65 str.
- Kalnicky J., Singhvi R., 2001. *Field portable XRF analysis of environmental samples*. J. of Hazard. Mat., 83, 93–122 str.
- Karydas A. G., Kotzamani D., Bernard R., Barrandon J. N., Zarkadas Ch., 2004. *A compositional study of a museum jewellery collection (7th–1st BC) by means of a portable XRF spectrometer*. Nuc. Inst. and Met. in Phy. Res., 226, 15–28 str.
- Kenna T. C., Nitsche F. O., Herron M.M., Mailloux B., J., Peteet D., Sritrairat S., Sands E., Baumgarten J., 2011. *Evaluation and calibration of a Field Portable X-Ray Fluorescence spectrometer for quantitative analysis of siliciclastic soils and sediments*. J. of Anal. At. Spec., 26, 395-405
- Kettner R., 1937. *Tektonický vývoj Barrandienu*. Čas. Nár. Mus., Odd. přírodověd., 111, 6–96 str.
- Kužvart M., 1997 in Keprová A., Štingl M., Schneider P., 1998. *Těžba a zpracování vápenců v Českém krasu a životní prostředí: sborník příspěvků ze stejnojmenného semináře*. Děti Země, Praha, 38 str.
- Klouda P., 2003. *Moderní analytické metody*. Ostrava, 132 str.
- Knésl I., Lukeš P., Dempřová L., Kříbek B., 2009. *Rychlé stanovení stopových prvků přenosnou rentgen-fluorescenční spektrometrií v geologickém výzkumu, při prospekci a v některých environmentálních aplikacích*. Česká geologická služba, Praha, 161-166 str.
- Kodym O., 1921. *Druhá fáze vrásnění Variského v Barrandienu*. Sbor. St. Geol. Úst. ČR. 1, 84-109 str.
- Kodym O., 1924. *Směrné přesmyky v Barrandienu*. Rozpr. Čes. Akad. Věd. Umění, Tř. II., 33, 1, 1–30 str.
- Košťák M., Mazuch M., 2011. *Putování naším pravěkem*. Granit, Praha, 192 str.
- Kraus I., 1985. *Úvod do strukturní rentgenologie*. Academia, Praha. 231 str.
- Kukal Z., 1986. *Základy sedimentologie*. Československá akademie věd, Academia, Praha, 466 str.
- Kukal Z., 1955. *Výzkum silurských dolomitických vápenců u Mořiny*. Sbor. Ústř. Úst. geol., Odd. geol. 21, 2, 225–251 str.
- Kukal Z., Jäger O. 1988. *Siliciclastic signal of the Variscan orogenesis: the Devonian Srbsko Formation of Central Bohemia*. Věst. Ústř. Úst. geol., 63, 65–81 str.
- Kužvart M., 1984. *Ložiska nerudných surovin*. Academia, Praha, 439 str.
- Machel H. G., 2000. *Application of Cathodoluminescence to Carbonate Diagenesis*. In: Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D. (ed.). *Cathodoluminescence in Geosciences: An Introduction*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 271-301 str.
- Mestek O., 2010. *Stanovení prvků pomocí přenosného rentgenově fluorescenčního analyzátoru - pracovní text pro Podzemní výukové středisko JOSEF*. Vysoká škola chemicko-technická v Praze, 19 str.
- Náprstek V., 1955. *Příspěvek k řešení otázky sedimentace dolomitace a silicifikace svrchnosilurských vrstev Barrandienu*. Univ. Carolina, Praha, 64 str.
- Petránek J., 1963. *Usazené horniny*. Academia, Praha, 720 str.
- Petránek J., 1951. *Nové poznatky o některých otázkách sedimentace a diagenese devonských vrstev u Prahy*. Věst. Král. čes. Společ. Nauk, Tř. mat.-přírodověd. 11, 1–13 str.
- Pick P., 1971. *Reakce v systému C(s) + SO₂(g) a možnost jejich využívání k odsiřování spalín*, Praha b. t., 116 str.
- Polák A., 1972. *Nerudné nerostné suroviny*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 392 str.
- Radke B., Mathis R., 1980. *On the formation and occurrence of saddle dolomite*. J. Sed. petrol., 50, 1149- 1168 str.

Schejbal C., 2003. *Problematika výpočtu a klasifikace zásob a zdrojů pevných nerostných surovin*. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*, řada hornicko-geologická, 49, 139-161 str.

Starý J., Sitenký I., Mašek D., Hodková T., Kavina P. 2013. *Surovinové zdroje České republiky: nerostné suroviny (2012)*. Česká geologická služba, 304 str.

Suchý V., Rozkošný I., Žák K., Franců J., 1996. *Epigenetic dolomitization of the Přídolí formation (Upper Silurian), the Barrandian basin, Czech Republic implications for burial history of Lower Paleozoic strata*. *Geol. Rundsch*, 85, 264–277 str.

Svoboda J., Prantl F., 1947. *O stratigrafii a tektonice v okolí Třebotova*. *Sbor. St. geol. Úst.*, 14, 281-324 str.

Svoboda J., Prantl F., 1949. *Stratigraficko-tektonická studie devonské oblasti koněpruské*. *Sbor. St. geol. Úst.*, 16, 5–92 str.

Svoboda J., Prantl F., 1953. *O stratigrafii a tektonice staršího paleozoika mezi Srbskem a Sv. Janem pod Skalou*. *Sbor. Ústř. Úst. geol.*, 20, 205-276 str.

Svoboda J., Prantl F., 1955. *Príspevek k detailnímu výzkumu devonu koněpruské oblasti*. *Sbor. Ústř. Úst. geol.*, Odd. geol., 21, 433–447.

Svoboda J., Prantl F., Kukul Z., 1957. *Vysokoprocentní vápence Barrandienu*. *Geotechnica*, sbírka prací z praktické geologie, svazek 23. Nakladatelství Československé akademie věd. Praha, 128 str.

Szilagyi V., Hartyani Z., 2005. *Development of an X-ray fluorescence spectrometric method for the analysis of atmospheric aerosol sample*. *Microchem. J.*, 79, 37-41 str.

Štorch P., 1986. *Ordovician-Silurian boundary in the Prague Basin (Barrandian area, Bohemia)*. *Sbor. geol. Věd, Geol.*, 41, 69–103 str.

Růžičková E., Růžička M., Zeman A., Kadlec J., 2001. *Quaternary clastic sediments of the Czech Republic: textures and structures of the main genetic types*. Český geologický ústav, Praha, 68 str.

Tucker M. E., Wright P., 1990. *Carbonate sedimentology*. Blackwell, Oxford, 482 str.

Tucker M. E., 2001. *Sedimentary Petrology: an introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Blackwell Science, Oxford, 262 str.

Vachtl J., Konta J., Soukup J., 1952. *Návrh na pojmenování vápencových hornin*. Ústřední Ústav Geologický. Praha 25 str.

Vejvoda J., Machač P., Buryan P., 2003. *Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů*. VŠCHT, Praha, 226 str.

Vejvoda J., Buryan P., 2007. *Emise z plynárenských zařízení*. VŠCHT, Praha, 50 str.

Warren J., 2000. *Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations*. *Earth-Science Reviews*, 52, 1–81

Zachariáš J., 2000. *Úvod do studia plynokapalných inkluzí*. PřF UK, Praha, 44 str.

Nepublikované závěrečné zprávy:

Chybík J., 1956. *Průzkum a výpočet zásob chemicky čistých vápenců v ložiscích Mořina (antiklinály Ameriky)*. ŽD Nučice. Geofond Praha (GF FZ001613), 31 str., 17 příl.

Chybík J., Zahrádková A., 1962. *Výpočet zásob silničních a stavebních vápenců Mořina*. ŽDH Ejpovice, závod Mořina. MS ČGS, Geofond Praha (FZ 004638), 20 str., 18 příl.

Lanar M., Štefek V., 1994. *Závěrečná zpráva Kozolupy - Čeřinka. Surovina: vápence vysokoprocentní, vápence ostatní*. GET s.r.o., Praha (GF FZ006503), 83 str.

Štefek V., 1995. *Plán a projekt zajištění lomu Mořina - východ (Amerika)*. GET s.r.o., Praha. MS LOMY MORINA spol. s r.o., Mořina.

Internetové zdroje

<http://energetika.tzb-info.cz/>, 23.2.2014

<http://geology.cz>, 14.4. 2014

PŘÍLOHA Č. 1

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ

Tato příloha přináší celkovou databázi naměřených výsledků prostřednictvím přenosného XRF spektrometru, včetně chemických analýz provedených v centrální laboratoři firmy GEMATEST s.r.o.

Použité zkratky:

| | |
|------|----------------------------|
| kot | vápence kotýské |
| spo | vápence spodní koněpruské |
| svr | vápence svrchní koněpruské |
| sliv | vápence slivenecké |
| lod | vápence loděnické |
| řep | vápence řeporyjské |

Vysvětlivky:

Vzorky označené “A“ byly odebrány z lomu a analyzovány prostřednictvím přenosného XRF spektrometru

Vzorky označené “P“ byly odebrány ze severního podzemního překopu a analyzovány prostřednictvím přenosného XRF spektrometru

Vzorky označené “G“ byly odebrány z lomu a analyzovány v centrální laboratoři firmy GEMATEST s.r.o.

| VZOREK | CaCO3 | MgCO3 | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | Celkem karbonátu | Celkem | TYP |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|--------|------------|
| | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | |
| A1 | 76,63 | 17,42 | 3,75 | 1,49 | 0,67 | 0,05 | 94,05 | 100 | lod |
| A2 | 72,29 | 23,15 | 2,22 | 1,01 | 1,17 | 0,17 | 95,44 | 100 | řep (opad) |
| A3 | 95,20 | 1,19 | 2,65 | 0,61 | 0,30 | 0,05 | 96,39 | 100 | lod (opad) |
| A4 | 98,39 | 1,25 | 0,25 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 99,64 | 100 | sli |
| A5 | 98,32 | 1,23 | 0,33 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 99,54 | 100 | svr |
| A6 | 98,20 | 1,27 | 0,37 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 99,47 | 100 | svr |
| A7 | 82,49 | 15,48 | 1,28 | 0,42 | 0,29 | 0,04 | 97,97 | 100 | spo |
| A8 | 87,66 | 11,37 | 0,64 | 0,05 | 0,22 | 0,05 | 99,03 | 100 | spo |
| A9 | 72,34 | 26,27 | 0,78 | 0,18 | 0,38 | 0,06 | 98,61 | 100 | kot |
| A10 | 98,16 | 1,27 | 0,41 | 0,05 | 0,10 | 0,02 | 99,43 | 100 | kot |
| A11 | 98,22 | 1,23 | 0,41 | 0,04 | 0,07 | 0,02 | 99,46 | 100 | kot |
| A12 | 88,37 | 10,23 | 0,96 | 0,22 | 0,21 | 0,02 | 98,60 | 100 | kot |
| A13 | 98,20 | 1,27 | 0,37 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 99,48 | 100 | spo |
| A14 | 74,92 | 23,13 | 1,28 | 0,41 | 0,21 | 0,05 | 98,04 | 100 | spo |
| A15 | 91,96 | 7,09 | 0,70 | 0,07 | 0,15 | 0,03 | 99,05 | 100 | spo |
| A16 | 94,28 | 5,06 | 0,42 | 0,04 | 0,15 | 0,03 | 99,35 | 100 | spo |
| A17 | 97,93 | 1,24 | 0,59 | 0,11 | 0,11 | 0,03 | 99,17 | 100 | spo |
| A18 | 87,58 | 11,78 | 0,46 | 0,04 | 0,10 | 0,03 | 99,36 | 100 | spo |
| A19 | 81,73 | 16,79 | 0,98 | 0,20 | 0,25 | 0,05 | 98,52 | 100 | spo |
| A20 | 89,56 | 9,59 | 0,59 | 0,05 | 0,17 | 0,04 | 99,15 | 100 | spo |
| A21 | 98,20 | 1,26 | 0,39 | 0,05 | 0,08 | 0,03 | 99,46 | 100 | spo |
| A22 | 85,98 | 13,36 | 0,43 | 0,04 | 0,16 | 0,03 | 99,34 | 100 | svr |
| A23 | 81,51 | 17,33 | 0,70 | 0,15 | 0,26 | 0,04 | 98,84 | 100 | spo |
| A24 | 97,70 | 1,25 | 0,69 | 0,11 | 0,23 | 0,02 | 98,95 | 100 | spo |
| A25 | 92,24 | 7,07 | 0,52 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 99,31 | 100 | svr |
| A26 | 96,55 | 1,23 | 1,60 | 0,48 | 0,12 | 0,02 | 97,78 | 100 | spo |
| A27 | 98,04 | 1,23 | 0,59 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 99,27 | 100 | spo |
| A28 | 79,06 | 19,23 | 1,03 | 0,35 | 0,28 | 0,05 | 98,29 | 100 | spo (opad) |
| A29 | 88,55 | 7,58 | 3,06 | 0,39 | 0,39 | 0,03 | 96,13 | 100 | kot |
| A30 | 88,38 | 10,06 | 1,12 | 0,16 | 0,25 | 0,03 | 98,44 | 100 | kot |
| A31 | 92,45 | 6,58 | 0,72 | 0,04 | 0,18 | 0,02 | 99,03 | 100 | kot |
| A32 | 96,97 | 2,05 | 0,79 | 0,05 | 0,13 | 0,02 | 99,02 | 100 | kot |
| A33 | 87,31 | 10,54 | 1,50 | 0,29 | 0,34 | 0,03 | 97,85 | 100 | spo (opad) |
| A34 | 97,87 | 1,23 | 0,74 | 0,04 | 0,11 | 0,02 | 99,09 | 100 | spo |
| A35 | 91,84 | 7,38 | 0,57 | 0,04 | 0,14 | 0,03 | 99,22 | 100 | spo |
| A36 | 91,93 | 6,36 | 1,37 | 0,13 | 0,19 | 0,02 | 98,29 | 100 | spo |
| A37 | 97,90 | 1,25 | 0,74 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 99,14 | 100 | spo |
| A38 | 81,74 | 16,86 | 0,87 | 0,21 | 0,25 | 0,06 | 98,60 | 100 | spo (opad) |
| A39 | 97,09 | 1,26 | 1,52 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 98,35 | 100 | spo |
| A40 | 96,38 | 1,19 | 2,28 | 0,06 | 0,06 | 0,02 | 97,57 | 100 | spo |
| A41 | 89,14 | 6,62 | 2,75 | 0,99 | 0,46 | 0,04 | 95,76 | 100 | spo |
| A42 | 98,13 | 1,26 | 0,47 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 99,39 | 100 | spo |
| A43 | 95,54 | 3,79 | 0,48 | 0,05 | 0,13 | 0,03 | 99,32 | 100 | spo |
| A44 | 98,03 | 1,24 | 0,53 | 0,06 | 0,11 | 0,02 | 99,28 | 100 | spo |
| A45 | 98,06 | 1,24 | 0,57 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 99,30 | 100 | spo |
| A46 | 98,12 | 1,24 | 0,44 | 0,04 | 0,14 | 0,02 | 99,36 | 100 | spo |
| A47 | 97,87 | 1,26 | 0,54 | 0,05 | 0,27 | 0,02 | 99,13 | 100 | spo |
| A48 | 94,27 | 4,55 | 0,53 | 0,06 | 0,55 | 0,04 | 98,82 | 100 | spo |
| A49 | 98,02 | 1,25 | 0,44 | 0,05 | 0,22 | 0,03 | 99,26 | 100 | spo |
| A50 | 98,17 | 1,27 | 0,37 | 0,05 | 0,11 | 0,03 | 99,44 | 100 | svr (opad) |
| A51 | 98,22 | 1,26 | 0,37 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 99,47 | 100 | svr |
| A52 | 98,27 | 1,27 | 0,28 | 0,05 | 0,10 | 0,03 | 99,54 | 100 | svr |
| A53 | 88,07 | 10,86 | 0,72 | 0,12 | 0,20 | 0,03 | 98,93 | 100 | svr |
| A54 | 97,12 | 1,65 | 0,81 | 0,17 | 0,22 | 0,03 | 98,78 | 100 | svr |
| A55 | 98,17 | 1,22 | 0,41 | 0,04 | 0,14 | 0,02 | 99,39 | 100 | sli |
| A56 | 94,74 | 4,60 | 0,41 | 0,05 | 0,17 | 0,04 | 99,34 | 100 | sli |
| A57 | 98,23 | 1,23 | 0,41 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 99,46 | 100 | sli |

| VZOREK | CaCO3 | MgCO3 | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | Celkem karbonátu | Celkem | TYP |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|--------|------------|
| | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | |
| A58 | 65,49 | 25,52 | 5,18 | 2,24 | 1,50 | 0,07 | 91,01 | 100 | lod (opad) |
| A59 | 98,04 | 1,24 | 0,54 | 0,05 | 0,12 | 0,02 | 99,28 | 100 | sli |
| A60 | 98,27 | 1,23 | 0,36 | 0,04 | 0,07 | 0,02 | 99,50 | 100 | sli |
| A61 | 98,00 | 1,23 | 0,54 | 0,06 | 0,15 | 0,02 | 99,23 | 100 | sli |
| A62 | 85,67 | 13,10 | 0,67 | 0,18 | 0,32 | 0,06 | 98,77 | 100 | sli |
| A63 | 94,78 | 4,42 | 0,60 | 0,05 | 0,13 | 0,03 | 99,20 | 100 | sli |
| A64 | 98,02 | 1,23 | 0,54 | 0,04 | 0,14 | 0,03 | 99,25 | 100 | sli |
| A65 | 98,15 | 1,24 | 0,45 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 99,39 | 100 | lod |
| A66 | 94,20 | 4,40 | 0,94 | 0,18 | 0,24 | 0,04 | 98,60 | 100 | lod |
| A67 | 93,45 | 5,78 | 0,57 | 0,04 | 0,12 | 0,03 | 99,23 | 100 | lod |
| A68 | 98,37 | 1,24 | 0,26 | 0,04 | 0,07 | 0,02 | 99,61 | 100 | sli |
| A69 | 98,27 | 1,23 | 0,36 | 0,04 | 0,09 | 0,01 | 99,50 | 100 | sli |
| A70 | 87,03 | 11,45 | 0,89 | 0,18 | 0,39 | 0,05 | 98,48 | 100 | sli |
| A71 | 97,59 | 1,25 | 0,66 | 0,16 | 0,32 | 0,02 | 98,84 | 100 | sli |
| A72 | 89,11 | 8,47 | 1,50 | 0,29 | 0,56 | 0,06 | 97,58 | 100 | sli |
| A73 | 98,33 | 1,24 | 0,33 | 0,04 | 0,05 | 0,01 | 99,57 | 100 | sli |
| A74 | 98,35 | 1,24 | 0,28 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 99,59 | 100 | sli |
| A75 | 98,15 | 1,27 | 0,41 | 0,05 | 0,10 | 0,03 | 99,42 | 100 | sli |
| A76 | 98,17 | 1,26 | 0,38 | 0,05 | 0,12 | 0,02 | 99,43 | 100 | sli |
| A77 | 98,27 | 1,23 | 0,34 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 99,50 | 100 | sli |
| A78 | 98,41 | 1,23 | 0,25 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 99,64 | 100 | sli |
| A79 | 98,27 | 1,22 | 0,36 | 0,05 | 0,08 | 0,03 | 99,49 | 100 | sli |
| A80 | 98,30 | 1,23 | 0,34 | 0,04 | 0,08 | 0,01 | 99,53 | 100 | sli |
| A81 | 98,38 | 1,21 | 0,30 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 99,59 | 100 | sli |
| A82 | 95,25 | 3,70 | 0,82 | 0,04 | 0,16 | 0,02 | 98,95 | 100 | sli |
| A83 | 66,07 | 28,79 | 3,09 | 1,44 | 0,52 | 0,10 | 94,86 | 100 | svr |
| A84 | 85,77 | 13,36 | 0,44 | 0,04 | 0,33 | 0,06 | 99,13 | 100 | spo/svr |
| A85 | 79,47 | 19,39 | 0,54 | 0,15 | 0,37 | 0,08 | 98,86 | 100 | spo/svr |
| A86 | 98,18 | 1,25 | 0,36 | 0,05 | 0,13 | 0,03 | 99,43 | 100 | spo |
| A87 | 98,03 | 1,22 | 0,53 | 0,05 | 0,15 | 0,02 | 99,26 | 100 | svr |
| A88 | 93,97 | 5,40 | 0,35 | 0,04 | 0,20 | 0,04 | 99,37 | 100 | svr |
| A89 | 88,13 | 10,97 | 0,68 | 0,05 | 0,15 | 0,02 | 99,10 | 100 | spo |
| A90 | 74,20 | 24,88 | 0,51 | 0,06 | 0,29 | 0,06 | 99,08 | 100 | spo |
| A91 | 97,97 | 1,27 | 0,57 | 0,05 | 0,11 | 0,02 | 99,24 | 100 | svr |
| A92 | 98,25 | 1,24 | 0,36 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 99,49 | 100 | svr |
| A93 | 92,33 | 7,04 | 0,35 | 0,04 | 0,19 | 0,04 | 99,37 | 100 | svr |
| A94 | 93,84 | 3,92 | 1,58 | 0,31 | 0,33 | 0,03 | 97,76 | 100 | spo |
| A95 | 98,28 | 1,23 | 0,35 | 0,04 | 0,08 | 0,02 | 99,51 | 100 | sli |
| A96 | 98,32 | 1,26 | 0,29 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 99,58 | 100 | sli |
| A97 | 98,32 | 1,25 | 0,29 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 99,56 | 100 | sli |
| A98 | 98,40 | 1,26 | 0,22 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 99,67 | 100 | sli |
| A99 | 98,21 | 1,27 | 0,40 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 99,48 | 100 | sli |
| A100 | 98,34 | 1,24 | 0,28 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 99,58 | 100 | sli |
| A101 | 98,37 | 1,26 | 0,25 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 99,63 | 100 | sli |
| A102 | 98,26 | 1,24 | 0,37 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 99,50 | 100 | sli |
| A103 | 98,37 | 1,22 | 0,26 | 0,04 | 0,08 | 0,02 | 99,60 | 100 | sli |
| A104 | 97,55 | 1,26 | 0,33 | 0,05 | 0,79 | 0,02 | 98,81 | 100 | sli |
| A105 | 96,59 | 1,23 | 1,44 | 0,44 | 0,28 | 0,02 | 97,82 | 100 | lod (opad) |
| A106 | 93,31 | 1,21 | 3,65 | 1,01 | 0,79 | 0,03 | 94,52 | 100 | řep (opad) |
| A107 | 98,27 | 1,23 | 0,31 | 0,04 | 0,13 | 0,02 | 99,50 | 100 | sli |
| A108 | 98,34 | 1,28 | 0,27 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 99,62 | 100 | sli |
| A109 | 98,25 | 1,27 | 0,32 | 0,05 | 0,09 | 0,01 | 99,52 | 100 | sli |
| A110 | 98,25 | 1,26 | 0,36 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 99,51 | 100 | sli |
| A111 | 94,48 | 1,23 | 2,73 | 0,97 | 0,57 | 0,01 | 95,72 | 100 | lod |
| A112 | 95,83 | 1,24 | 1,96 | 0,56 | 0,39 | 0,01 | 97,07 | 100 | lod |
| A113 | 89,78 | 6,46 | 2,49 | 0,77 | 0,46 | 0,05 | 96,23 | 100 | lod |
| A114 | 92,91 | 6,22 | 0,66 | 0,06 | 0,13 | 0,03 | 99,13 | 100 | spo |

| VZOREK | CaCO3 | MgCO3 | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | Celkem karbonátu | Celkem | TYP |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|--------|------------|
| | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | |
| A115 | 96,16 | 1,97 | 1,50 | 0,21 | 0,13 | 0,02 | 98,14 | 100 | spo |
| A116 | 96,56 | 1,45 | 1,12 | 0,34 | 0,47 | 0,05 | 98,02 | 100 | svr |
| A117 | 90,78 | 8,48 | 0,54 | 0,04 | 0,12 | 0,03 | 99,27 | 100 | svr |
| A118 | 85,44 | 12,86 | 0,97 | 0,27 | 0,41 | 0,04 | 98,30 | 100 | spo |
| A119 | 90,98 | 6,62 | 1,52 | 0,54 | 0,32 | 0,02 | 97,60 | 100 | spo |
| A120 | 95,41 | 3,21 | 0,96 | 0,26 | 0,14 | 0,02 | 98,62 | 100 | spo |
| A121 | 97,63 | 1,22 | 0,86 | 0,16 | 0,10 | 0,02 | 98,86 | 100 | spo |
| A122 | 98,11 | 1,25 | 0,54 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 99,35 | 100 | spo |
| A123 | 65,89 | 29,85 | 2,68 | 0,99 | 0,50 | 0,08 | 95,74 | 100 | spo |
| A124 | 96,68 | 1,25 | 1,41 | 0,44 | 0,20 | 0,02 | 97,94 | 100 | spo |
| A125 | 94,47 | 4,88 | 0,46 | 0,04 | 0,10 | 0,04 | 99,35 | 100 | spo (opad) |
| A126 | 92,60 | 5,94 | 1,05 | 0,18 | 0,19 | 0,03 | 98,55 | 100 | spo |
| A127 | 92,68 | 5,38 | 1,54 | 0,21 | 0,17 | 0,02 | 98,06 | 100 | spo |
| A128 | 91,21 | 7,16 | 1,18 | 0,24 | 0,18 | 0,03 | 98,37 | 100 | spo |
| A129 | 97,96 | 1,21 | 0,70 | 0,04 | 0,07 | 0,02 | 99,17 | 100 | spo |
| A130 | 97,05 | 1,25 | 1,53 | 0,05 | 0,10 | 0,02 | 98,30 | 100 | spo |
| A131 | 97,75 | 1,24 | 0,78 | 0,13 | 0,08 | 0,02 | 98,99 | 100 | spo |
| A132 | 79,25 | 17,64 | 2,18 | 0,43 | 0,46 | 0,04 | 96,89 | 100 | spo |
| A133 | 97,79 | 1,25 | 0,83 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 99,04 | 100 | spo |
| A134 | 84,29 | 1,21 | 14,35 | 0,04 | 0,10 | 0,01 | 85,50 | 100 | spo |
| A135 | 96,27 | 1,24 | 1,97 | 0,36 | 0,14 | 0,02 | 97,50 | 100 | spo |
| A136 | 97,45 | 1,26 | 1,15 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 98,71 | 100 | spo |
| A137 | 91,06 | 7,98 | 0,56 | 0,12 | 0,24 | 0,03 | 99,04 | 100 | spo |
| A138 | 77,89 | 21,30 | 0,50 | 0,05 | 0,22 | 0,05 | 99,19 | 100 | spo |
| A139 | 95,53 | 3,44 | 0,65 | 0,16 | 0,20 | 0,02 | 98,97 | 100 | spo |
| A140 | 84,73 | 14,20 | 0,69 | 0,17 | 0,18 | 0,03 | 98,93 | 100 | spo |
| A141 | 96,93 | 1,24 | 1,05 | 0,58 | 0,17 | 0,03 | 98,17 | 100 | spo (opad) |
| A142 | 98,10 | 1,22 | 0,51 | 0,04 | 0,10 | 0,03 | 99,32 | 100 | spo |
| A143 | 94,02 | 5,33 | 0,44 | 0,06 | 0,13 | 0,03 | 99,35 | 100 | spo |
| A144 | 97,96 | 1,35 | 0,53 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 99,32 | 100 | spo (opad) |
| A145 | 98,14 | 1,23 | 0,49 | 0,04 | 0,08 | 0,02 | 99,37 | 100 | svr |
| A146 | 98,28 | 1,25 | 0,33 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 99,53 | 100 | svr (opad) |
| A147 | 86,99 | 12,20 | 0,59 | 0,05 | 0,14 | 0,02 | 99,19 | 100 | spo |
| A148 | 88,64 | 10,55 | 0,58 | 0,05 | 0,16 | 0,03 | 99,19 | 100 | spo (opad) |
| A149 | 86,23 | 12,18 | 1,05 | 0,30 | 0,21 | 0,04 | 98,41 | 100 | svr |
| A150 | 84,31 | 14,13 | 0,99 | 0,26 | 0,28 | 0,04 | 98,44 | 100 | svr |
| A151 | 95,67 | 3,61 | 0,49 | 0,05 | 0,15 | 0,03 | 99,29 | 100 | svr |
| A152 | 90,16 | 7,39 | 1,36 | 0,56 | 0,49 | 0,04 | 97,55 | 100 | sli |
| A153 | 98,39 | 1,23 | 0,27 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 99,62 | 100 | sli |
| A154 | 98,35 | 1,25 | 0,27 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 99,60 | 100 | sli (opad) |
| A155 | 98,30 | 1,24 | 0,32 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 99,54 | 100 | sli |
| A156 | 59,18 | 35,24 | 3,23 | 1,50 | 0,79 | 0,06 | 94,41 | 100 | sli |
| A157 | 74,46 | 19,56 | 3,63 | 1,53 | 0,77 | 0,04 | 94,03 | 100 | lod (opad) |
| A158 | 82,22 | 14,17 | 2,47 | 0,74 | 0,36 | 0,03 | 96,40 | 100 | lod (opad) |
| A159 | 97,08 | 1,24 | 1,06 | 0,30 | 0,30 | 0,02 | 98,32 | 100 | sli |
| A160 | 98,19 | 1,26 | 0,41 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 99,45 | 100 | sli |
| A161 | 98,35 | 1,22 | 0,32 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 99,57 | 100 | sli |
| A162 | 98,08 | 1,26 | 0,41 | 0,05 | 0,18 | 0,02 | 99,35 | 100 | sli |
| A163 | 98,28 | 1,26 | 0,33 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 99,54 | 100 | sli |
| A164 | 98,30 | 1,24 | 0,35 | 0,04 | 0,07 | 0,00 | 99,54 | 100 | sli |
| A165 | 98,31 | 1,22 | 0,33 | 0,04 | 0,08 | 0,01 | 99,53 | 100 | sli |
| A166 | 98,31 | 1,27 | 0,30 | 0,05 | 0,06 | 0,01 | 99,58 | 100 | sli |
| A167 | 98,19 | 1,26 | 0,39 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 99,45 | 100 | sli |
| A168 | 98,28 | 1,22 | 0,40 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 99,49 | 100 | sli |
| A169 | 93,91 | 1,22 | 3,39 | 0,80 | 0,65 | 0,02 | 95,13 | 100 | řep (opad) |
| A170 | 97,17 | 1,56 | 0,93 | 0,16 | 0,17 | 0,01 | 98,73 | 100 | sli |
| A171 | 98,08 | 1,23 | 0,38 | 0,04 | 0,22 | 0,03 | 99,31 | 100 | sli |

| VZOREK | CaCO3 | MgCO3 | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | Celkem karbonátu | Celkem | TYP |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|---------------|------------|
| | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm.% | |
| A172 | 94,51 | 1,20 | 3,09 | 0,78 | 0,38 | 0,02 | 95,72 | 100 | lod (opad) |
| A173 | 83,27 | 12,06 | 3,11 | 0,77 | 0,74 | 0,06 | 95,33 | 100 | lod (opad) |
| A174 | 96,52 | 1,24 | 1,48 | 0,46 | 0,27 | 0,02 | 97,77 | 100 | sli |
| A175 | 96,74 | 1,23 | 1,35 | 0,42 | 0,23 | 0,02 | 97,97 | 100 | sli |
| A176 | 93,07 | 1,23 | 3,86 | 0,97 | 0,80 | 0,06 | 94,30 | 100 | řep (opad) |
| A177 | 96,57 | 1,22 | 1,71 | 0,27 | 0,21 | 0,02 | 97,79 | 100 | lod (opad) |
| A178 | 98,27 | 1,24 | 0,34 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 99,52 | 100 | sli |
| A179 | 98,27 | 1,24 | 0,33 | 0,04 | 0,10 | 0,01 | 99,51 | 100 | sli |
| A180 | 94,83 | 1,21 | 2,76 | 0,67 | 0,52 | 0,02 | 96,03 | 100 | řep (opad) |
| P1 | 96,83 | 1,18 | 1,31 | 0,51 | 0,13 | 0,03 | 98,01 | 100 | lod |
| P2 | 93,77 | 1,18 | 3,99 | 0,80 | 0,24 | 0,02 | 94,95 | 100 | lod |
| P3 | 94,26 | 1,22 | 3,66 | 0,67 | 0,17 | 0,02 | 95,48 | 100 | lod |
| P4 | 92,89 | 1,14 | 5,24 | 0,52 | 0,18 | 0,02 | 94,04 | 100 | lod |
| P5 | 93,82 | 1,16 | 4,34 | 0,50 | 0,16 | 0,02 | 94,98 | 100 | lod |
| P6 | 95,84 | 1,20 | 2,02 | 0,75 | 0,16 | 0,03 | 97,04 | 100 | lod |
| P7 | 97,20 | 1,25 | 0,60 | 0,43 | 0,47 | 0,05 | 98,45 | 100 | lod |
| P8 | 95,27 | 1,24 | 2,03 | 0,82 | 0,62 | 0,03 | 96,50 | 100 | lod |
| P9 | 97,46 | 1,19 | 0,65 | 0,55 | 0,11 | 0,04 | 98,64 | 100 | lod |
| P10 | 96,54 | 1,24 | 0,98 | 0,67 | 0,53 | 0,04 | 97,78 | 100 | lod |
| P11 | 96,99 | 1,22 | 0,82 | 0,45 | 0,49 | 0,05 | 98,20 | 100 | lod |
| P12 | 96,49 | 1,21 | 1,40 | 0,51 | 0,31 | 0,08 | 97,70 | 100 | lod |
| P24 | 97,78 | 1,21 | 0,55 | 0,32 | 0,11 | 0,03 | 98,99 | 100 | lod |
| P25 | 83,01 | 13,78 | 1,73 | 0,88 | 0,53 | 0,06 | 96,79 | 100 | lod |
| P26 | 97,35 | 1,21 | 0,72 | 0,42 | 0,28 | 0,03 | 98,55 | 100 | lod |
| P27 | 97,43 | 1,23 | 0,69 | 0,50 | 0,12 | 0,03 | 98,66 | 100 | lod |
| P28 | 96,37 | 1,23 | 1,46 | 0,72 | 0,20 | 0,02 | 97,60 | 100 | lod |
| P29 | 86,60 | 5,07 | 5,09 | 2,11 | 1,08 | 0,05 | 91,67 | 100 | lod |
| P30 | 95,29 | 1,20 | 1,98 | 1,05 | 0,47 | 0,01 | 96,49 | 100 | lod |

| VZOREK | CaCO3 | MgCO3 | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | Celkem karbonátu | Celkem |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|--------|
| | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm.% |
| G1 | 95,36 | 1,55 | 2,37 | 0,43 | 0,27 | 0,011 | 96,91 | 100 |
| G2 | 87,60 | 9,05 | 1,74 | 1,10 | 0,48 | 0,029 | 96,65 | 100 |
| G3 | 79,84 | 15,95 | 2,12 | 1,42 | 0,62 | 0,042 | 95,79 | 100 |
| G4 | 85,48 | 2,62 | 8,33 | 2,53 | 1,00 | 0,050 | 88,09 | 100 |
| G5 | 90,94 | 4,41 | 2,94 | 1,24 | 0,45 | 0,018 | 95,36 | 100 |
| G6 | 84,33 | 9,74 | 3,46 | 1,78 | 0,65 | 0,030 | 94,07 | 100 |
| G7 | 87,18 | 6,68 | 4,34 | 1,24 | 0,54 | 0,025 | 93,86 | 100 |
| G8 | 74,37 | 19,49 | 3,22 | 1,90 | 0,97 | 0,046 | 93,86 | 100 |
| G9 | 94,54 | 2,56 | 1,76 | 0,83 | 0,30 | 0,017 | 97,10 | 100 |
| G10 | 87,21 | 9,02 | 1,97 | 1,29 | 0,46 | 0,039 | 96,23 | 100 |
| G11 | 80,83 | 14,60 | 2,65 | 1,35 | 0,53 | 0,042 | 95,42 | 100 |
| G12 | 67,53 | 28,43 | 2,09 | 1,26 | 0,62 | 0,062 | 95,96 | 100 |
| G13 | 79,51 | 6,30 | 10,45 | 2,44 | 1,28 | 0,021 | 85,81 | 100 |
| G14 | 72,27 | 18,89 | 5,37 | 2,58 | 0,84 | 0,063 | 91,16 | 100 |
| G15 | 97,60 | 1,66 | 0,50 | 0,14 | 0,10 | 0,009 | 99,26 | 100 |
| G16 | 87,60 | 10,44 | 1,01 | 0,58 | 0,33 | 0,044 | 98,04 | 100 |
| G17 | 86,27 | 12,74 | 0,49 | 0,19 | 0,28 | 0,037 | 99,01 | 100 |
| G18 | 98,37 | 0,86 | 0,50 | 0,14 | 0,12 | 0,010 | 99,23 | 100 |
| G19 | 88,20 | 9,80 | 1,25 | 0,43 | 0,28 | 0,036 | 98,00 | 100 |
| G20 | 95,15 | 3,88 | 0,50 | 0,18 | 0,27 | 0,028 | 99,03 | 100 |
| G21 | 97,18 | 1,47 | 1,01 | 0,14 | 0,19 | 0,011 | 98,65 | 100 |
| G22 | 92,41 | 6,59 | 0,49 | 0,31 | 0,18 | 0,022 | 99,00 | 100 |
| G23 | 96,52 | 2,09 | 1,12 | 0,16 | 0,10 | 0,016 | 98,60 | 100 |
| G24 | 83,85 | 14,91 | 0,49 | 0,48 | 0,23 | 0,032 | 98,77 | 100 |
| G25 | 97,93 | 1,19 | 0,50 | 0,21 | 0,17 | 0,012 | 99,11 | 100 |
| G26 | 90,90 | 8,27 | 0,49 | 0,17 | 0,14 | 0,029 | 99,18 | 100 |
| G27 | 91,75 | 6,35 | 1,42 | 0,28 | 0,18 | 0,016 | 98,10 | 100 |
| G28 | 95,67 | 1,48 | 2,16 | 0,39 | 0,29 | 0,014 | 97,15 | 100 |
| G29 | 97,12 | 1,26 | 0,49 | 1,03 | 0,09 | 0,010 | 98,38 | 100 |
| G30 | 79,88 | 18,92 | 0,50 | 0,37 | 0,26 | 0,073 | 98,80 | 100 |
| G31 | 97,31 | 1,61 | 0,50 | 0,34 | 0,23 | 0,017 | 98,92 | 100 |
| G32 | 92,08 | 6,47 | 0,49 | 0,64 | 0,29 | 0,028 | 98,55 | 100 |
| G33 | 93,33 | 5,46 | 0,93 | 0,15 | 0,11 | 0,018 | 98,79 | 100 |
| G34 | 95,13 | 1,92 | 2,14 | 0,59 | 0,21 | 0,013 | 97,05 | 100 |
| G35 | 84,01 | 15,26 | 0,49 | 0,09 | 0,13 | 0,026 | 99,26 | 100 |
| G36 | 86,10 | 12,32 | 0,49 | 0,88 | 0,19 | 0,027 | 98,42 | 100 |
| G37 | 90,88 | 5,14 | 2,21 | 1,54 | 0,22 | 0,017 | 96,02 | 100 |
| G38 | 87,41 | 11,69 | 0,49 | 0,20 | 0,18 | 0,034 | 99,10 | 100 |
| G39 | 96,25 | 2,27 | 0,99 | 0,35 | 0,13 | 0,015 | 98,52 | 100 |
| G40 | 67,71 | 30,59 | 0,82 | 0,44 | 0,39 | 0,056 | 98,30 | 100 |
| G41 | 93,67 | 3,84 | 1,74 | 0,47 | 0,27 | 0,021 | 97,50 | 100 |
| G42 | 97,63 | 1,66 | 0,50 | 0,10 | 0,10 | 0,021 | 99,29 | 100 |
| G43 | 94,78 | 2,99 | 1,74 | 0,26 | 0,22 | 0,019 | 97,76 | 100 |
| G44 | 94,28 | 2,93 | 1,81 | 0,59 | 0,36 | 0,025 | 97,22 | 100 |
| G45 | 91,85 | 6,17 | 1,51 | 0,23 | 0,20 | 0,025 | 98,03 | 100 |
| G46 | 91,27 | 6,23 | 2,00 | 0,28 | 0,19 | 0,027 | 97,50 | 100 |
| G47 | 97,23 | 1,26 | 0,50 | 0,09 | 0,90 | 0,016 | 98,49 | 100 |
| G48 | 95,49 | 3,27 | 0,65 | 0,27 | 0,31 | 0,019 | 98,76 | 100 |
| G49 | 98,46 | 0,84 | 0,52 | 0,10 | 0,07 | 0,014 | 99,30 | 100 |
| G50 | 98,08 | 0,96 | 0,81 | 0,07 | 0,07 | 0,012 | 99,04 | 100 |
| G51 | 98,15 | 0,93 | 0,67 | 0,09 | 0,14 | 0,018 | 99,08 | 100 |
| G52 | 97,90 | 0,94 | 0,95 | 0,07 | 0,11 | 0,018 | 98,85 | 100 |
| G53 | 97,99 | 1,35 | 0,50 | 0,08 | 0,06 | 0,018 | 99,35 | 100 |
| G54 | 97,45 | 1,48 | 0,64 | 0,17 | 0,24 | 0,022 | 98,93 | 100 |
| G55 | 97,87 | 1,38 | 0,57 | 0,07 | 0,09 | 0,016 | 99,25 | 100 |
| G56 | 97,71 | 1,40 | 0,68 | 0,08 | 0,11 | 0,019 | 99,11 | 100 |
| G57 | 90,23 | 6,57 | 2,49 | 0,28 | 0,38 | 0,042 | 96,80 | 100 |

| VZOREK | CaCO3 | MgCO3 | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | Celkem karbonátu | Celkem |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|---------------|
| | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm. % | hm.% |
| G58 | 96,46 | 2,77 | 0,49 | 0,14 | 0,11 | 0,030 | 99,23 | 100 |
| G59 | 75,04 | 19,67 | 3,29 | 1,42 | 0,54 | 0,046 | 94,71 | 100 |
| G60 | 94,40 | 1,65 | 2,79 | 0,75 | 0,39 | 0,015 | 96,05 | 100 |
| G61 | 91,18 | 4,04 | 3,52 | 0,84 | 0,40 | 0,020 | 95,22 | 100 |
| G62 | 93,25 | 2,95 | 2,75 | 0,67 | 0,35 | 0,017 | 96,20 | 100 |