

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie



Petr Kozlovce

Experimentální výzkum vápenců barrandienské oblasti s ohledem na jejich možné využití pro
výpal hydraulických vápen a přírodního cementu

Experimental study of Palaeozoic limestones of the Barrandian and their
possible use for burning of hydraulic limes and natural cement

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Mgr. Richard Přikryl, Dr.

Praha, 2012

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,

Podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřila na experimentální laboratorní výzkum využitelnosti vybraných devonských vápenců z oblasti pražské pánve, konkrétně historického lomu v místě dnešní PP Branické skály, na výpal hydraulických vápen, případně přírodního cementu. V odkryvu lomové stěny, zvoleném na základě literární rešerše jako srovnávací lokalita, byly odebrány 4 reprezentativní vzorky dvorecko-prokopských vápenců, každý o hmotnosti přibližně 10 kg. Vzorky byly nejprve podrobeny detailnímu petrografickému zkoumání s cílem zjištění mineralogického složení, vnitřní stavby a struktury. K tomu posloužilo mikroskopické studium pomocí optického mikroskopu, pozorování pomocí katodové luminiscence a RTG difrakční rozbor nerozpustného zbytku, získaný rozpuštěním přítomných uhličitánů v kyselině chlorovodíkové a octové. Nejvíce zastoupenou složkou, zjištěnou v nerozpustném materiálu, byl illit, dále doprovázený menším množstvím kaolinitu, křemene a Na – živců (albitů). Ve dvou studovaných vzorcích byl navíc zjištěn i chlorit.

Využitelnost studovaných vápenců pro výrobu hydraulických pojiv typu hydraulických vápen nebo přírodního cementu byla odvozena jednak na základě přepočtů nově získaných chemických analýz s využitím standardních vápenických a cementářských indexů a modulů, dále pomocí experimentálních laboratorních výpalů. Ty proběhly zahříváním dílčích vzorků do maximálních teplot, pohybujících se v rozmezí od 850 do 1200°C (vždy po 50°C) a následným analytickým rozбором fází, vzniklých při výpalu. RTG difrakční analýza prokázala přítomnost hydraulických fází charakteristických pro hydraulická vápna, konkrétně larnitu, brownmilleritu a gehlenitu. Ty byly dále doprovázeny volným vápnem, křemenem a dalšími fázemi SiO₂ a portlanditem. Bylo zjištěno, že množství hlavní hydraulické fáze larnitu se zvyšovalo s narůstající teplotou výpalu. Naopak docházelo ke značnému úbytku v zastoupení volného vápna, křemene a dalších fází SiO₂. Množství portlanditu se vlivem různých teplot výpalu příliš neměnilo. Celkově byly nejvyšší koncentrace larnitu a dalších hydraulických fází zjištěny při nejvyšších teplotách výpalu, tedy při 1200°C, ve vzorcích obsahujících nejvíce příměsí a tudíž i nerozpustného zbytku.

Výsledky z výše uvedených metod byly následně konfrontovány s ostatními pracemi, které se zabývaly výzkumem alternativních hydraulických pojiv.

Studované vzorky dvorecko-prokopských vápenců obsahují vhodné množství příměsí jílových minerálů (především illitu), křemene a dalších fází SiO₂. Představují tak kvalitní surovinu pro výrobu, obvykle středně hydraulických vápen. Při analýzách vypálených vzorků vápenců pak byly v materiálu identifikovány typické fáze pro hydraulická vápna (především larnit). Byl tedy naplněn předpoklad, že studované vápence představují hodnotný materiál k výrobě alternativních hydraulických pojiv.

Summary

In this experimental study, selected Devonian limestones of the Prague Basin (i.e. samples from the historic quarry of Branické skály) were examined to find their suitability for production of hydraulic limes or for natural cement. Four representative samples of the dvorecko-prokopské limestone were sampled in the form of blocks weighing approximately 10 kg each, from the layer of the quarry wall that had been chosen based on literature research. A detailed mineralogical-petrographic examination of samples was the first step, in an attempt to obtain their mineralogical composition, microstructure and texture. Samples were analysed by polarizing microscopy and cathodoluminescence of thin sections, and X-ray diffraction of insoluble residues determined by treatment with both the hydrochloric acid and the acetic acid solution. Mineralogical composition of the insoluble residuals was illite, kaolinite, quartz and Na-plagioclase (albite). Two samples contained among above mentioned mineral phases also chlorite.

The utility of studied limestones for the production of hydraulic binders (hydraulic limes and natural cement) was derived from both the calculations based on obtained chemical analyses (included standard cement and lime indexes and modules) and the firing experiments. The firing experiments were carried out by heating samples within the calcination temperature ranging from 850 to 1250°C (after 50°C). Mineral phases typical of the hydraulic lime, such as larnite, brownmillerite and gehlenite, were identified by X-ray diffraction in products formed during firing. Free lime, quartz and other SiO₂ phases, and portlandite were further detected. The amount of the main hydraulic phase, larnite, was increased with increasing firing temperature. On the other hand, content of free lime, quartz and other SiO₂ phases was decreased. The amount of portlandite was almost independent of the firing temperature. The high amount of larnite and other hydraulic phase were detected during the highest firing temperature (1200°C) in samples including the high amount of mineral phases in insoluble residues.

The results acquired were than compared to the literature research on alternative hydraulic binders.

From the study performed, it was evident that samples of the dvorecko-prokopské limestone, which included advisable amount of clay minerals (mainly illite), quartz and other SiO₂ phases, represent the high quality material for the production of hydraulic limes of moderate hydraulicity. Mineral phases typical of the hydraulic lime (mainly larnite), were identified in products formed during firing. The use of the studied limestone was confirmed to be very suitable material for the production of alternative hydraulic binders.

OBSAH

1. Úvod	1
2. Anorganická stavební pojiva	2
2.1. Základní typy pojiv	2
2.2. Kvalitativní hodnocení vlastností vápencových surovin	2
2.3. Umělé cementy	3
2.4. Hydraulická vápna	4
2.5. Přírodní cementy	5
2.5.1. Rychle tuhnoucí přírodní cementy	6
2.5.2. Pomalu tuhnoucí přírodní cementy	6
3. Charakteristika Barrandienu a barrandienských vápenců	7
3.1. Geotektonická pozice	7
3.2. Obecná geologická charakteristika	8
3.3. Geologická stavba a vývoj Barrandienu	8
3.4. Všeobecná charakteristika vápenců Barrandienu	10
3.5. Historie těžby a zpracování barrandienských vápenců	10
3.6. Zhodnocení využitelnosti barrandienských vápenců na výrobu hydraulických pojiv	12
3.6.1. Kopaninské vápence	12
3.6.2. Přídolské vápence	13
3.6.3. Radotínské vápence	13
3.6.4. Kotýské vápence	14
3.6.5. Kosořské vápence	15
3.6.6. Koněpruské vápence	15
3.6.7. Slivenecké vápence	16
3.6.8. Loděnické vápence	16
3.6.9. Řeporyjské vápence	16
3.6.10. Dvorecko-prokopské vápence	17
3.6.11. Zlíchovské vápence	17
3.6.12. Chýnické vápence	18
3.6.13. Shrnutí využitelnosti barrandienských vápenců	18

4. Branické skály	19
4.1. Výběr studované lokality	19
4.2. Základní charakteristika Branických skal	19
4.3. Historie vzniku umělých odkryvů	19
4.4. Geologická stavba Branických skal	20
4.5. Význam a ochrana Branických skal	21
5. Metodika a zpracování vzorků	22
5.1. Odběr vzorků	22
5.2. Základní principy použitých metod	22
5.2.1. Petrografické zkoumání hornin	22
5.2.2. Stanovení nerozpustného zbytku	22
5.2.3. Silikátová analýza	22
5.2.4. Experimentální výpaly	23
5.2.5. Rentgenová prášková difrakce	23
5.2.6. Katodová luminiscence	25
5.3. Příprava a zpracování vzorků	26
5.3.1. Vzorky pro petrografické zkoumání a pozorování pomocí katodové luminiscence	26
5.3.2. Vzorky pro získání nerozpustného zbytku	26
5.3.3. Vzorky pro silikátovou analýzu	27
5.3.4. Vzorky pro experimentální výpal	27
5.3.5. Vzorky pro rentgenovou práškovou analýzu	27
6. Výsledky	28
6.1. Petrografické vlastnosti hornin	28
6.1.1. Makroskopické pozorování	28
6.1.2. Mikroskopické pozorování	28
6.2. Katodová luminiscence	33
6.3. Analýzy nerozpustného zbytku	36
6.3.1. Stanovení nerozpustného zbytku	36
6.3.2. Fázové a semi-kvantitativní složení nerozpustného zbytku	37
6.4. Silikátová analýza	38
6.5. Analýzy vzorků z experimentálních výpalů	39
6.5.1. Hmotnostní úbytek vypalovaných vzorků	39
6.5.2. Fázové složení experimentálně vypálených vzorků	40

6.5.3. Semi-kvantitativní vyhodnocení experimentálních výpalů	43
7. Diskuse	45
7.1. Barrandienské vápence, jejich zhodnocení a výběr studované lokality	45
7.2. Hydraulicita studovaných vápenců	46
7.3. Nerozpustný zbytek a fázové složení studovaných vápenců	47
7.4. Vliv sedimentačního prostředí na složení studovaných vápenců	47
7.5. Experimentální výpal vápencového materiálu	49
7.6. Využití hydraulických vápen a ekologické aspekty jejich výroby	52
7.7. Možnosti budoucího experimentálního výzkumu	53
8. Závěr	54
9. Literatura	55

SEZNAM OBRÁZKŮ V TEXTOVÉ ČÁSTI

Obr. 1. Rankinův diagram hlavních typů oxidických maltovin v systému SiO_2 , CaO-MgO a Al_2O_3 (Hlaváč 1981).

Obr. 2. Diagram chemických změn ve vypalovaném materiálu s vyznačenými fázovými poli pro běžné přírodní cementy a portlandský cement (Edison 2007).

Obr. 3. Zjednodušená geologická mapa střední a východní části tepelsko-barrandienské jednotky bez mezozoických, terciérních a kvartérních hornin (Chlupáč et al. 2002).

Obr. 4. Zjednodušená geologická mapa centrální části barrandienské pánve a jejího okolí (Chlupáč 1999).

Obr. 5. Homole vzniklá po těžbě v bývalém vápencovém lomu v Praze (Kovanda et al. 1991).

Obr. 6. Poloha Branických lomů s vyznačenou PP Branické skály (Kříž 1999).

Obr. 7. Pohled na hlavní lomovou stěnu Branických skal.

Obr. 8. Průřez schránkou tentakulita *Nowakia?* sp. obklopeného jemnozrnným mikritem (vzorek HPV/I/1).

Obr. 9. Průřez schránkou tentakulita *Styliolina?* sp. v jemnozrnné základní mikritické hmotě (vzorek HPV/I/2).

Obr. 10. Protáhlý úlomek ze schránky ortokonního hlavonožce (vzorek HPV/I/3).

Obr. 11. Vzorek HPV/I/3. Ostrakod (lasturnatka) vyplněný sparitovým tmelem (vzorek HPV/I/3).

Obr. 12. Úlomek kalcitové schránky gastropoda (plže) (vzorek HPV/I/2).

Obr. 13. Průřez článkem těla trilobita (vzorek HPV/I/4).

Obr. 14. Průřez zachycující oko trilobita (vzorek HPV/I/3).

Obr. 15. Článek z ramene krinoida (lilijice) (vzorek HPV/I/1).

Obr. 16. Shluk zrn kalcitu (uprostřed) obklopených drobnými úlomky bioklastů a mikritickou základní hmotou (vzorek HPV/I/1).

Obr. 17. Shluk kalcitových zrn (vpravo nahoře) v jemnozrnném mikritu, pozorováno ve zkřížených nikolech (vzorek HPV/I/3).

Obr. 18. Malé oválné zrnko eolického křemene (uprostřed), pozorováno ve zkřížených nikolech (vzorek HPV/I/4).

Obr. 19. Stejnozrnný sparitový tmel mezi fragmenty bioklastů (vzorek HPV/I/1).

Obr. 20. Vlákňitý sparit vytvořený kolem švu tlakového rozpouštění (vzorek HPV/I/4).

Obr. 21. Drobné shluky zlatavě zbarvených jílových a opakních minerálů v mikritické základní hmotě (vzorek HPV/I/4).

- Obr. 22. Enkláva zlatavě zbarveného materiálu s výskytem jílových a opakních minerálů. (vzorek HPV/I/2).
- Obr. 23. Šev tlakového rozpouštění vyplněný zlatavými jílovými minerály (vzorek HPV/I/4).
- Obr. 24. Křehká porucha vyplněná druhotným sparitem (vzorek HPV/I/2).
- Obr. 25. Dvojice schránek tentakulitů *Nowakia?* sp. v jemnozrnném mikritu (vzorek HPV/I/1).
- Obr. 26. Dvě chránky tentakulitů *Nowakia?* sp. v jemnozrnné základní hmotě (vzorek HPV/I/1).
- Obr. 27. Průřez schránkou tentakulita *Nowakia?* sp. (vzorek HPV/I/1).
- Obr. 28. Oválná schránka tentakulita *Styliolina?* sp. (vzorek HPV/I/2).
- Obr. 29. Velké modře luminiskující zrno K – živce uvnitř schránky tentakulita *Styliolina?* sp. (vzorek HPV/I/4).
- Obr. 30. Drobná modře luminiskující zrnka Na a K – živců ve švu tlakového rozpouštění (vzorek HPV/I/3).
- Obr. 31. Shluk světlejších kalcitových zrn v tmavším jemnozrnném mikritu (vzorek HPV/I/4).
- Obr. 32. Tmavý shluk dolomitizovaného materiálu (vpravo nahoře) (vzorek HPV/I/3).
- Obr. 33. Tmavý šev tlakového rozpouštění protínající jemnozrnnou mikritickou základní hmotu (vzorek HPV/I/1).
- Obr. 34. Stylolit s enklávou světle luminiskujícího sparitu (vzorek HPV/I/4).
- Obr. 35. Procentuální zastoupení nerozpustného zbytku v jednotlivých vzorcích studovaných vápenců připravených pomocí loužení v kyselině chlorovodíkové (HCl) a octové (CH₃COOH), (u označení vzorků jako OC).
- Obr. 36. Procentuální zastoupení jednotlivých minerálních fází obsažených souhrnně ve vzorcích studovaných vápenců loužených v kyselině chlorovodíkové (HCl) a octové (CH₃COOH), (u označení vzorků jako OC).
- Obr. 37. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/1 vypalovaného za různých teplot.
- Obr. 38. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/2 vypalovaného za různých teplot.
- Obr. 49. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/3 vypalovaného za různých teplot.
- Obr. 40. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/4 vypalovaného za různých teplot.
- Obr. 41. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/1 vypalovaného za různých teplot.
- Obr. 42. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/1 vypalovaného za různých teplot.
- Obr. 43. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/2 vypalovaného za různých teplot.

Obr. 44. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/2 vypalovaného za různých teplot.

Obr. 45. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/3 vypalovaného za různých teplot.

Obr. 46. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/3 vypalovaného za různých teplot.

Obr. 47. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/4 vypalovaného za různých teplot.

Obr. 48. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/4 vypalovaného za různých teplot.

Obr. 49. Stratigrafické schéma pražského souvrství na lokalitách Řeporyje a Branické skály (Hladil ústní sdělení 2012).

Obr. 50. Porovnání difrakčních záznamů vzorků HPV/I/1 (1.), HPV/I/2 (2.), HPV/I/3 (3.) a HPV/I/4 (4.) jemné frakce vypalované za teploty 1200°C.

Obr. 51. Porovnání difrakčních záznamů vzorků HPV/I/1 (1.), HPV/I/2 (2.), HPV/I/3 (3.) a HPV/I/4 (4.) hrubé frakce vypalované za teploty 1200°C.

SEZNAM TABULEK V TEXTOVÉ ČÁSTI

Tab. 1. Základní vztahy užívané k hodnocení vápencových surovin.

Tab. 2. Braggova rovnice popisující difrakční jev (Rieder 1994).

Tab. 3. Změny hmotnosti nerozpustného zbytku při ověřovacím pokusu na vzorku HPV/I/3.

Tab. 4. Chemické složení studovaných vápenců.

Tab. 5. Tabulka hodnot vápenických a cementářských indexů a modulů vypočtených pro jednotlivé vzorky zkoumaných vápenců.

Tab. 6. Souhrnná tabulka vybraných charakteristik jednotlivých vápenců Barrandienu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAS – plamenová atomová absorpční spektrometrie

CI – cementační index

EDS – elektronová mikroanalýza chemického složení vzorků

HI – hydraulický index

LGÚ – Laboratoře geologických ústavů

LSF – modul sycení vápnem

M_A – hlinitanový (aluminátový) modul

M_H – hydraulický (vápenný) modul

M_S – křemičitanový (silikátový) modul

RTG – rentgenová prášková difrakce

SEM – skenovací elektronový mikroskop

TEM – transmisní elektronový mikroskop

ÚMNZ – Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

SEZNAM PŘÍLOH

- I. Chemické analýzy vápenců – rozdělení podle lokalit
- II. Chemické analýzy vápenců – rozdělení podle vrstev
- III. Petrografický popis studovaných vzorků
- IV. Nerozpustný zbytek
- V. Úbytek hmotnosti vypalovaných vzorků
- VI. Difrakční záznamy nerozpustných zbytků
- VII. Difrakční záznamy jemné frakce
- VIII. Difrakční záznamy hrubé frakce
- IX. Semi-quantitativní vyhodnocení nerozpustných zbytků
- X. Semi-quantitativní vyhodnocení nerozpustných zbytků

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval lidem, bez jejichž pomoci by tato diplomová práce nemohla vzniknout. Poděkování patří především mému školiteli R. Příkrylovi za věcné připomínky a pomoc při její tvorbě. Dále A. Šťastné za ochotu a interpretaci výsledků katodové luminiscence, J. Hladilovi, L. Koptíkové a K. Martínkovi za pomoc při mikroskopickém studiu, P. Drahotovi a V. Goliášovi za pomoc s rentgenovou práškovou difrakcí a R. Skálovi za rady k vyhodnocování mnohých vzorků. Velký dík taktéž patří M. Fayadové za ochotu a pomoc při práci v geochemické laboratoři ÚGMNZ PřF UK a pracovníkům LGÚ, především V. Vonáskové, L. Jílkové a O. Šebkovi, za rady a provedení silikátové analýzy.

Tato diplomová práce vznikla s finanční podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt MSM 0021620855 „Mechanismy transportu látek ve svrchních sférách Země“.

1. ÚVOD

Přestože je portlandský cement v současnosti nejběžněji využívaným typem hydraulického pojiva, v posledních desetiletí výrazně vzrostl zájem o alternativní hydraulická pojiva typu hydraulických vápen a přírodního cementu. Tento fakt je způsoben nejen hledáním vhodných materiálů uplatňovatelných při opravách v památkové péči, ale taktéž zájmem o nové druhy pojiv, využitelných v moderním stavitelství, které by představovaly alternativu k portlandskému cementu. Z pohledu surovinových zásob je právě Barrandienu velice perspektivní oblastí. Vyskytují se zde totiž horniny, konkrétně různé druhy nepříliš čistých vápenců, které jsou vhodné právě ke zpracování na tyto účely. Barrandienské vápence byly v minulosti těženy za účelem výroby proslaveného hydraulického vápna. Jednalo se o silně hydraulické pojivo, které snadno tuhlo ve vlhku i pod vodu. Toto vápno se vyrábělo především v Praze a přilehlém okolí. V zahraničí bylo označováno jako „*pasta di Praga*“, v Čechách pak jako pražské či staropražské hydraulické vápno (Kovanda et al. 2001). Postupně však byla výroba stále více soustředěna na produkci portlandského cementu. Od výroby ostatních druhů hydraulických pojiv bylo později zcela upuštěno.

Ze starší doby, kdy byly barrandienské vápence využívány k výrobě hydraulických vápen, se příliš informací o charakteristice těžených vápenců a lomech samotných nezachovalo. Vzhledem k pozdějšímu ložiskovému průzkumu, který byl zaměřen především na vyhodnocení zdejších vápenců pro výpal cementářského slínku, nebyly barrandienské vápence hodnoceny pro alternativní hydraulická pojiva. Neznamená to však, že by informace z cementářských průzkumů nebylo možné nijak využít. Mnohdy mohou přinášet velice užitečné údaje, podle kterých se lze orientovat i při hledání zdrojů materiálů určených k výrobě zmiňovaných alternativních hydraulických pojiv.

Právě barrandienskými vápenci a jejich využitím k výrobě hydraulických anorganických pojiv, konkrétně hydraulických vápen a přírodního cementu, se zabývá tato diplomová práce. Jejím hlavním cílem bylo celkově charakterizovat a především experimentálně ověřit vhodnost vzorků vápenců z historické lokality Branické skaly k výrobě hydraulického vápna nebo přírodního cementu. Vzorky vápenců byly odebrány z tohoto bývalého lomu na základě předchozího rešeršního zhodnocení jednotlivých barrandienských vápenců, geologické stavbě Branických skal a historickým zdrojům (Kříž 1999 a práce zde citované), které se zmiňují o využití zde těžených vápenců k výpalu hydraulického vápna.

Zhodnocení jednotlivých vápenců, které se vyskytují na území Barrandienu, bylo provedeno na základě složení a na něm závisících ukazatelích kvality zkoumaných vápenců, konkrétně na jednotlivých vápenických a cementářských indexech a modulech. Podklady pro toto zhodnocení byly převzaty ze závěrečných zpráv a posudků z lokalit, kde se dané vápence těží či v minulosti těžily.

Studium odebraných vzorků bylo zaměřeno na detailní petrografický popis pomocí optické mikroskopie a katodové luminiscence. Z jednotlivých vzorků vápenců byl získán nerozpustný zbytek, který byl dále analyzován rentgenovou práškovou difrakcí. Touto metodou tak bylo zjištěno kvalitativní a semi-kvantitativní složení studovaných vzorků. Hlavní zdroj informací pak představovaly vzorky materiálu získané pomocí experimentálních výpalů. Tyto vzorky byly opět analyzovány pomocí rentgenové práškové difrakce. Celkově byl výběr metodiky koncipován tak, aby výsledky přinesly co nejpřesnější údaje o složení zkoumaných materiálů.

Díličními úkoly této práce pak bylo přibližné určení prostředí vzniku studovaných vzorků, dále pak stručný úvod do jednotlivých skupin anorganických stavebních pojiv, charakterizování geologické stavby a vývoje Barrandienu, uvedení historie těžby barrandienských vápenců, popis Branických skal a stručné představení jednotlivých metod, kterými byly vzorky vápenců experimentálně zkoumány.

2. ANORGANICKÁ STAVEBNÍ POJIVA

2.1. Základní typy pojiv

Anorganická pojiva, vyráběná výpalem z vápenců, lze rozdělit podle mechanismu tuhnutí do dvou základních skupin, a to na pojiva vzdušná a hydraulická. Mezi hydraulická pojiva patří umělé a přírodní cementy a hydraulická vápna (Hlaváč 1981).

Vzdušná pojiva tuhnou pouze na vzduchu v přítomnosti CO_2 . Do této skupiny patří vzdušná vápna, sádry, malty a celá řada tmelů a štuků. Tyto materiály nalézají uplatnění především ve stavebnictví, ale i v chemickém průmyslu a v dalších odvětvích (Bárta 1961). Nejvýznamnějším a nejčastěji užívaným vzdušným pojivem je vzdušné vápno. Jeho základní složkou je oxid vápenatý (CaO), někdy s určitým podílem oxidu hořečnatého (MgO). Surovinou pro výrobu tohoto materiálu jsou vápence bez nežádoucích příměsí, které jsou vypalovány za teplot 900 až 1250°C . Výsledkem výpalu je nehašené vzdušné vápno, které musí před použitím projít procesem hašení. To je spjato s vývinem tepla a nabytím vápna na objemu (Bárta 1961).

Hydraulická pojiva jsou typická svojí hydraulicitou, tedy schopností tuhnout pod vodou bez přístupu vzduchu. Patří sem umělé a přírodní cementy a hydraulická vápna. Umělé cementy se vypalují ze směsi vysokoprocentních či méně čistých vápenců a cementářských korekčních surovin při teplotách 1450 až 1550°C (Hlaváč 1981). Přírodní cementy se vypalují z vápenců, které mají příznivý obsah nekarbonátových složek – zejména jílových minerálů a různých forem SiO_2 . Dělí se podle rychlosti tuhnutí na rychle a pomalu tuhnoucí (Varas et al. 2004). Hydraulická vápna jsou pak dělena podle hydraulických vlastností na slabě, středně a silně hydraulická (Cowper 2000).

2.2. Kvalitativní hodnocení vlastností vápencových surovin

Konkrétní využití suroviny ovlivňuje chemické složení, tedy vzájemné poměry hlavních oxidů (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), vyjádřené pomocí tzv. vápenických a cementářských indexů a modulů. Vápence pro výrobu hydraulického vápna a přírodního cementu se hodnotí pomocí hydraulického a cementačního indexu, vápence pro umělé cementy řadou cementářských modulů (Hlaváč 1981).

Hydraulický index (HI) (1) byl navržen francouzským inženýrem Louisem Vicatem již na začátku 19. století (Eckel 1922). Podle něj lze rozlišit pojiva slabě hydraulická, nabývající hodnot HI $0,1 - 0,2$, středně hydraulická s HI mezi $0,2 - 0,4$ a silně hydraulická, jejichž hodnoty HI leží v intervalu $0,4 - 1,5$. Vysokých hodnot HI dosahují přírodní cementy (Cowper 2000).

Cementační index (CI) (2) byl zaveden na začátku 20. století Eckelem. Vedle obsahu SiO_2 a Al_2O_3 zohledňuje i obsahy Fe_2O_3 a MgO , které nejsou v hydraulickém indexu zahrnuty. Hodnota CI se pro slabě hydraulická pojiva pohybuje v rozmezí $0,3 - 0,5$, pro středně hydraulická mezi $0,5 - 0,7$ a silně hydraulická mezi $0,7 - 1,1$. Hodnoty vyšší CI než $1,1$ mají přírodní cementy (Eckel 1922).

Modul syčení vápnem (LSF – Lime Saturation Factor) (3) podle Lea-Parkera se užívá především pro klasifikaci cementů. Lze s nimi ale hodnotit i hydraulická vápna. Je v mnohém podobný cementačnímu indexu. U běžných cementů se pohybuje v rozmezí $0,85 - 0,92$. Zvýšená hodnota poukazuje na vyšší obsah C_3S a C_3A (Hlaváč 1981).

Hydraulický (vápenný) modul (M_H) (4) se u cementů pohybuje v rozmezí $1,7 - 2,4$ (Cowper 2000). Platí, že s jeho vzrůstající hodnotou roste počáteční pevnost, ale také teplota výpalu, sklon k rozpínání, hydratační teplo a náchylnost k chemickým změnám (Bárta 1961).

Křemičitanový (silikátový) modul (M_S) (5) se u cementů pohybuje mezi $2,2 - 2,8$, případně mezi $1,8 - 3,9$. Vyšší hodnoty značí větší chemickou odolnost, a to např. i k mořské vodě. Nevýhodou však je horší slinování vypalované suroviny, pomalé tuhnutí a poměrně nízká počáteční pevnost (Bárta 1961).

Hlinitanový (aluminátový) modul (M_A) (6) pro cementy nabývá hodnot v rozmezí 1,5 – 2,5. U některých typů cementu však může být výrazně vyšší (Hlaváč 1981). Pokud narůstá, roste s ním i slinovací teplota, hydratační teplo, pevnost a chemická odolnost a zrychluje se tuhnutí (Bárta 1961).

Tab. 1. Základní vztahy užívané k hodnocení vápencových surovin.

$HI = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO} \quad (1)$	Hydraulický index (HI)
$CI = \frac{2,8 \times SiO_2 + 1,1 \times Al_2O_3 + 0,7 \times Fe_2O_3}{CaO + 1,4 \times MgO} \quad (2)$	Cementační index (CI)
$LSF = \frac{CaO}{2,8 \times SiO_2 + 1,2 \times Al_2O_3 + 0,65 \times Fe_2O_3} \quad (3)$	Modul syčení vápnem (LSF)
$M_H = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (4)$	Hydraulický (vápenný) modul (M_H)
$M_S = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (5)$	Křemičitanový (silikátový) modul (M_S)
$M_A = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (6)$	Hlinitanový modul (M_A)

Pozn. Hodnoty jednotlivých oxidů se dosazují do výše uvedených vzorců v hmotnostních procentech.

2.3. Umělé cementy

Tento typ hydraulických pojiv se připravuje umělým nabohacením vypalovaného vápence jílovitou a křemičitou složkou. První, kdo tímto způsobem cement připravil, byl Angličan Joseph Aspdin v roce 1824 (Hlaváč 1981). Vznikl tak tzv. portlandský cement, který je dnes nejpoužívanějším druhem cementu pro přípravu betonu a malty.

Surovinou pro výrobu umělého cementu jsou vápence s příměsí oxidů SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 , které zvyšují tvorbu hydraulicky aktivních fází (Hlaváč 1981) (Obr. 1). Obvykle se používají vápence s obsahem 75 až 80 % $CaCO_3$. V případě přebytku $CaCO_3$ se směs upravuje přidáním korekční suroviny. Při nedostatku $CaCO_3$ je směs obohacována vysokoprocentním vápencem (Bárta 1961). Hydraulické příměsi, též označovány jako pucolány nebo materiály s pucolánovými vlastnostmi, mají ve směsi s vápnem a vodou schopnost vytvářet hydraulické fáze. Obsahují reaktivní formy SiO_2 , zpravidla amorfního (Müller 2005). Používají se skelné sopečné horniny (pucolán, tetin, toscia, trass), sedimentární horniny s amorfním SiO_2 (diatomity a opuky), zvětrávací produkty bazických hornin nebo uměle připravované materiály (keramický stěp či popel z organických zbytků) (Müller 2005).

Škodlivou složkou ve výrobě cementu je MgO v obsazích nad 4 až 6 %, který způsobuje hořčnaté rozpínání (Bárta 1961). Nežádoucí je také přítomnost P_2O_5 nad 0,3 %, která zabraňuje vzniku hydraulicky aktivních fází. Dalšími škodlivinami v cementářské výrobě jsou SO_3 , Pb , Zn , Ba , Hg , F , Mn , sulfidická síra a alkálie (Bárta 1961).

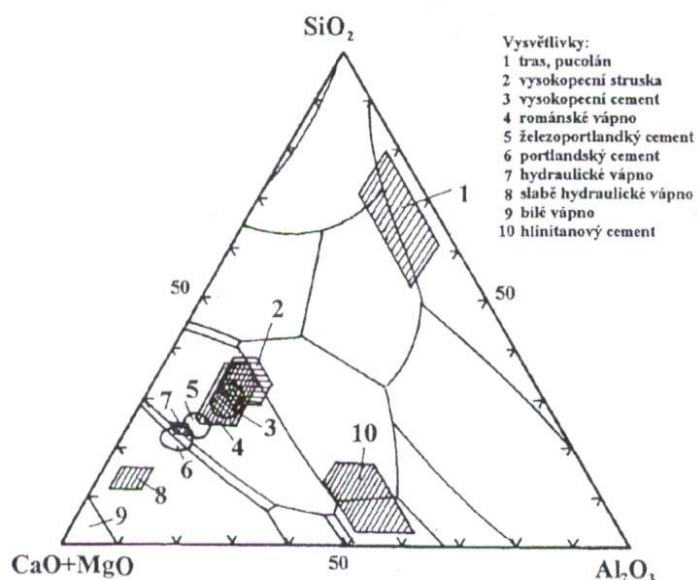
Suroviny určené na výrobu cementu se drtí na požadovanou frakci, homogenizují a následně vypalují v rotačních pecích při teplotách 1450 až 1550°C obvykle 1 až 4 hodiny (Bárta 1961). Při výpalu je tedy výrazně překročena mez slinutí. Do cementářského slínku bývá často přidáván sádrovec z důvodu zpomalení rychlosti tuhnutí. Hodnota CI i LSF se pro vápencový materiál určený k výrobě portlandského cementu pohybuje mezi 0,85 – 0,92, výjimečně až 1,15 (Dibdin 2008).

Hlavní fází ve vypáleném slínku je vápenatý křemičitan alit C_3S (Ca_2SiO_5). Ten je obvykle přítomen v množství 45 %. Zajišťuje rychlé tuhnutí a vysokou počáteční pevnost (Taylor 2004). Druhou významnou fází je belit C_2S (Ca_2SiO_4). Je zastoupen cca. ve 27 % a zajišťuje konečnou pevnost

(Taylor 2004). Dalšími fázemi jsou vápenatý hlinitan C_3A ($Ca_3Al_2O_5$), zastoupený přibližně v 11 % a hlinitoželezitan brownmillerit (celit) C_4AF ($Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$) přítomný zhruba v 8 %. Ty zajišťují vznik hexagonálních krystalů C_4AH_{13} a C_2AH_8 , tvorbu hydrogranátu a počáteční krystalové kostry (Bárta 1961).

Po smísení s vodou cement tuhne a postupně nabývá na pevnosti. Tuhnutí a tvrdnutí probíhá za aktivní účasti vody (Taylor 2004). Reakcí s vodou se původně bezvodé minerální fáze cementu přeměňují na hydratační produkty s chemicky vázanou vodou (Hlaváč 1981). Vzniká hydrokřemičitanový gel, který tvoří slupku okolo zrn původního cementu (Dibdin 2008). Dále krystalizují hydrokřemičitany a destičkovité krystaly $Ca(OH)_2$, vznikající krystalizací přímo z roztoku (Bárta 1961). Postupně se chemicky naváže všechna přítomná voda, což způsobí, že původní gelová hmota utuhne a zvýší svoji pevnost (Hlaváč 1981).

Umělé cementy se dělí na jednosložkové, kde vlastnosti ovlivňuje složení slínku (rozpínavý cement nebo silniční cement) či směsné, jejichž vlastnosti ovlivňují látky s hydraulickým chováním (pucolánové či popílkové cementy a strusková pojiva) (Bárta 1961).



Obr. 1. Rankinův diagram hlavních typů oxidických maltovin v systému SiO_2 , $CaO-MgO$ a Al_2O_3 (Hlaváč 1981).

2.4. Hydraulická vápna

Tato vápna patří do skupiny anorganických pojiv, která jsou schopná tuhnout pod vodou za tvorby nerozpustných produktů. Surovina vhodná pro jejich výrobu musí obsahovat minimálně 6,5 %, lépe však 10 až 20 % SiO_2 , Al_2O_3 , MgO a Fe_2O_3 (Lanas et al. 2004) (Obr. 1). Jako výchozí surovina se užívají různé druhy vápenců, dolomitických vápenců či vápnitých slínů a slínovců s obsahem jílových minerálů a výše zmíněných oxidů (Bárta 1961). Na rozdíl od vzdušných vápen se tedy využívají méně čisté typy vápenců.

Mezi hydraulickými vápnými lze rozlišit několik základních typů, a to: přírodní hydraulická vápna, přírodní hydraulická vápna s pucolánovými složkami a hydraulická vápna vyráběná kombinací vhodných příměsí (Gualtieri et al. 2005).

Hydraulická vápna se vypalují v šachtových nebo rotačních pecích po dobu několika hodin za teplot, při kterých není dosažena mez slinutí, nepřesáhne tedy $1250^\circ C$ (Gualtieri et al. 2005) (Obr. 2). Vypálený materiál se následně upravuje hašením a mletím na požadovanou jemnost. Hašení zajišťuje kompletní hydrataci vzniklého volného vápna (CaO) (Dibdin 2008). Je spojeno s vývinem tepla a

zvětšením objemu. Silně hydraulická vápna není nutné hasit vůbec, svými vlastnostmi se blíží portlandským cementům (Lanas et al. 2004).

Doba tuhnutí hydraulických vápen závisí na jejich hydraulicitě, tedy schopnosti tuhnou ve vlhku a pod vodou. Silně hydraulických vápen trvá 1 až 2 dny, naopak slabě hydraulická vápna mohou tuhnout až 1 měsíc (Cowper 2000). Při tuhnutí vápna vznikají podobné produkty jako u portlandského cementu, tedy hydratované vápenaté hydrokřemičitany a hydrohlinitany, které vyvolávají ve hmotě strukturní přeměny a tím jí i zpevňují (Hlaváč 1981).

V hydraulických vápnech tvoří hlavní minerální fázi vápenatý křemičitan belit C_2S (Ca_2SiO_4) (Lanas et al. 2004). Další přítomnou fází je gehlenit (C_2AS) a brownmillerit (celit) (C_4AF) (Gualtieri et al. 2005). Často bývají zastoupeny i vápenaté hlinitany a železitany CA , C_2A , C_2F , $C_{12}A_7$, dále pak Al_2O_3 , SiO_2 a wollastonit. Jejich přítomnost závisí na složení výchozího materiálu a teplotách výpalu. Fáze C_3S a C_3A mohou být taktéž přítomny, avšak pouze v malém množství kvůli lokálnímu zvýšení teploty v peci (Charola a Henriques 1999). Na rozdíl od portlandského cementu je v hydraulických vápnech přítomný volný CaO , MgO a portlandit ($(Ca(OH)_2)$) (Weber et al. 2007). Cementační index se pro vápence určené k výrobě hydraulických vápen pohybuje obvykle mezi 0,5 a 1. Modul syčení vápnem je většinou vyšší než 1 (Bárta 1961).

Přírodní hydraulická vápna se klasifikují podle pevnosti a podle hydraulického modulu. Ten určuje míru hydraulicity vápna (Hlaváč 1981). Hranicí mezi vzdušným a slabě hydraulickým vápnem je M_H v hodnotě 9. Hydraulická vápna se následně dělí do tří skupin. První skupinou jsou *slabě hydraulická vápna*, jejichž M_H dosahuje hodnot 6 – 9. Obsah hydraulických komponent je 5 – 10 % a jejich minimální pevnost je po 28 dnech 1,5 MPa (Bárta 1961). Používají se především v interiérech a krytých exteriérech. *Středně hydraulická vápna* s M_H 3 – 6 a obsahy hydraulických složek 10 – 15 % se užívají při různých exteriérových aplikacích (Bárta 1961). Třetí klasifikační skupina, tedy *silná hydraulická vápna* s indexem M_H 1,7 – 3 obsahují více než 15 % hydraulických příměsí a po 28 dnech vykazují pevnost vyšší než 4 MPa (Bárta 1961). Užívají se pro zatížené aplikace v exteriéru, např. pro komíny, podlahové desky a podezdívky.

Hydraulická vápna se na rozdíl od portlandského cementu vyznačují delší dobou tuhnutí a při namáhání odolají menšímu tlaku (Cowper 2000). Používání hydraulických vápen mnohdy představuje alternativu k využití portlandského cementu. V některých aplikacích ve stavebnictví je ale téměř nezastupitelné. Kombinují v sobě mnohé vlastnosti vzdušných vápen a cementů. Hydraulická vápna mají nižší modul pružnosti, nezadržují ve stavbách vodu, jsou odolnější vůči povětrnostním vlivům a mají tak i delší životnost. Suroviny spojené tímto druhem pojiva jsou taktéž oproti portlandskému cementu lépe recyklovatelné (Cowper 2000).

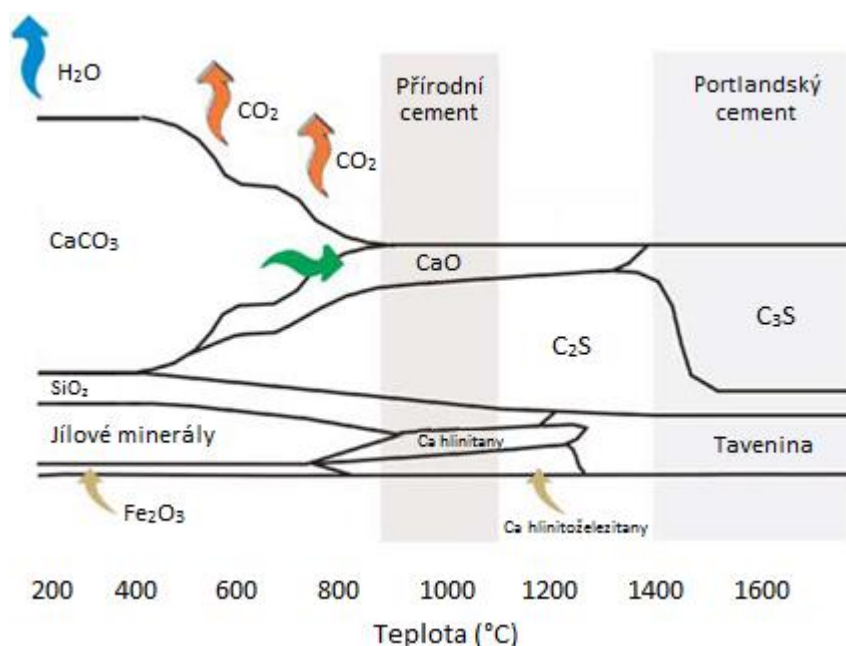
2.5. Přírodní cementy

Tento typ hydraulických pojiv byl používán již v období starověku, především v antickém Římě. Proto bývá taktéž označován jako římský cement. V moderní době byl „znovuobjeven“ v roce 1796 v Anglii Jamesem Parkerem (Charola a Henriques 1999).

Tento druh hydraulického pojiva se částečně podobá portlandskému cementu. Na rozdíl od něj se ale vyrábí z přírodních vápenců, které nejsou dále obohacovány o hydraulické složky (Obr. 1). Liší se taktéž nižší teplotou výpalu, která nepřesáhne mez slinutí (Hlaváč 1981).

Přírodní cementy se liší od hydraulických vápen v charakteristice výchozích surovin, hydraulicitou a současně probíhající hydratací a tuhnutím materiálu (Varas et al. 2004). Dělí se podle rychlosti tuhnutí na rychle a pomalu tuhnoucí přírodní cementy.

Fáze vznikající při výpalu přírodních cementů za teplot v rozmezí 900 až 1100°C a jejich porovnání s fázemi v portlandském cementu jsou uvedeny na obr. 2.



Obr. 2. Diagram chemických změn ve vypalovaném materiálu s vyznačenými fázovými poli pro běžné přírodní cementy a portlandský cement (Edison 2007).

2.5.1. Rychle tuhnutí přírodní cementy

Vápence vhodné na výrobu těchto materiálů mívají významnou příměs jílových minerálů a SiO₂, zpravidla 25 až 30 %. Vypalují se za teplot od 1000 do 1200°C po dobu 12 až 20 hodin. Vyznačují se velkou rychlostí tuhnutí, obvykle pod 30 minut (Varas et al. 2004).

Mezi hlavní fáze přítomné v rychle tuhoucích přírodních cementech patří vápenatý křemičitan belit C₂S (Ca₂SiO₄), vápenatý hlinitan C₃A (Ca₃Al₂O₅) a vápenatý hlinitoželezitan C₄AF (Ca₄Al₂Fe₂O₁₀) (Weber et al. 2007). Poměrně významně bývá zastoupeno volné vápno (CaO) a portlandit (Ca(OH)₂), případně MgO, wollastonit a fáze C₂A, C₂F a C₁₂A₇. Při výpalu kolem 1200°C může být vzhledem k lokálnímu zvýšení teploty vzácně přítomen alit C₃S (Ca₂SiO₅) a křemičitan-uhlíčan spurrit (Varas et al. 2004).

Rozsah cementačního indexu pro rychle tuhnutí přírodní cementy se pohybuje od 0,7 do 3,1. Obecně však platí, že pro kvalitní cementy tohoto typu je vhodný vápenc s CI v rozmezí 1 a 1,7 (Dibdin 2008). Dobré cementy mohou být vyráběny i z materiálů s CI pod 1, ale je nutné, aby tyto nižší hodnoty byly alespoň částečně kompenzovány zvýšeným obsahem MgO (Eckel 1922). Index LSF se pak obvykle pohybuje kolem 1.

2.5.2. Pomalu tuhnutí přírodní cementy

Tento typ přírodních cementů se liší od rychle tuhoucích v charakteru výchozího materiálu, teplotě a době výpalu. Vápence určené k jejich výrobě mohou obsahovat až 40 % jílové složky. Vypalují se za nižších teplot, obvykle při 800 až 1000°C po dobu 8 až 12 hodin. Jejich rychlost tuhnutí se pohybuje od 30 minut až po 12 hodin (Varas et al. 2004).

Fázové složení pomalu tuhoucích přírodních cementů silně závisí na teplotě výpalu. Obvykle převládá belit C₂S (Ca₂SiO₄). Dále je přítomen CaO, MgO, CA, C₂A, C₂F, C₁₂A₇, C₂AS, Al₂O₃ a portlandit (Ca(OH)₂) (Taylor 2004). Tyto cementy bývají taktéž velmi bohaté na SiO₂ (Varas et al. 2004). Cementační index hornin, ze kterých je vyráběn tento typ pojiv, se obvykle pohybuje mezi 1 a 1,15 (Dibdin 2008).

3. CHARAKTERISTIKA BARRANDIENU A BARRANDIENSKÝCH VÁPENCŮ

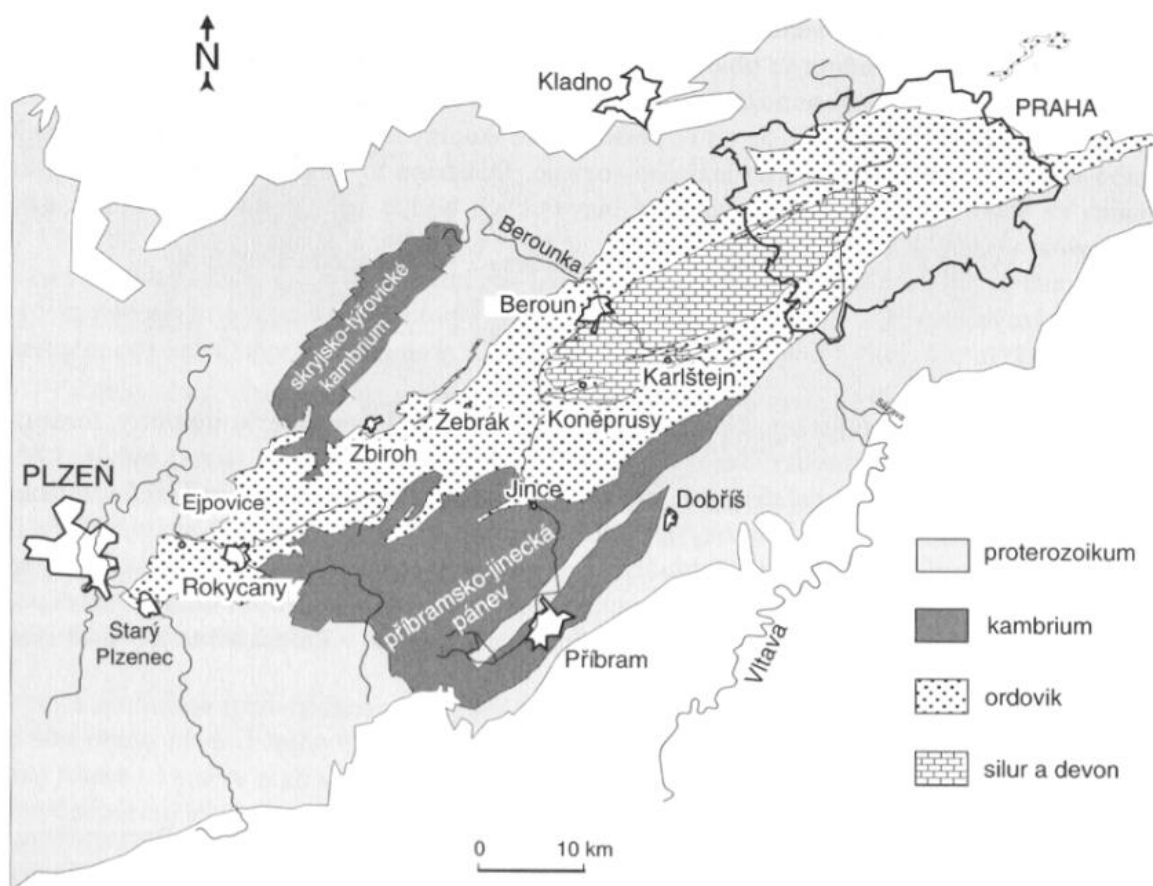
3.1. Geotektonická pozice

Barrandien je jednou z hlavních geologických jednotek, které dohromady tvoří regionální celek českého masivu. Český masiv je v podstatě zbytkem rozsáhlého variského horstva, které bylo vyvrásněno v době středního devonu až svrchního karbonu (Chlupáč 1993).

Jednotka Barrandienu tvoří společně s tepelskou jednotkou tzv. středočeskou oblast (tepelsko-barrandienskou) (Obr. 3). Tato oblast je jednou z pěti základních jednotek, do kterých je dělen český masiv (Chlupáč et al. 2002).

Barrandien zaujímá podstatnou část tepelsko-barrandienské oblasti. Jedná se o pánevní strukturu, ve které docházelo k souvislé sedimentaci trvající přibližně od svrchního proterozoika až do staršího paleozoika (Chlupáč 1993).

Hranice Barrandienu tvoří na jihovýchodě mezi Klatovy a okolím Úval u Prahy předpokládané hlubinné zlomové pásmo (tzv. středočeský šev), které odděluje Barrandien od moldanubika (Chlupáč 1993). Jednou z jednotek moldanubika je středočeský pluton, který tvoří podstatnou část jižní hranice s Barrandiensem. 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). Severní okraj Barrandienu se mezi Kostelcem nad Labem a Rakovníkem noří pod karbonské a křídové sedimenty. Západní hranice této jednotky představuje kontakt s východním okrajem karbonských sedimentů manětínské a plzeňské pánve a východními okraji čistecko-jesenického, stodského a kdyňského masivu (Cháb 1993).



Obr. 3. Zjednodušená geologická mapa střední a východní části tepelsko-barrandienské jednotky bez mladších paleozoických, mezozoických, terciálních a kvartérních hornin (Chlupáč et al. 2002).

3.2. Obecná geologická charakteristika

Území Barrandienu je budováno horninovými celky svrchního proterozoika, které byly modifikovány a většinou i mírně metamorfovány vlivem kadomských horotvorných procesů. Na tyto celky nasedají s výraznou úhlovou diskordancí mořské uloženiny staršího paleozoika. Tyto horniny byly následně postiženy variským vrásněním menší intenzity bez výraznějších projevů metamorfózy (Chlupáč 1993).

Stavba Barrandienu se vyznačuje tektonickými strukturami sv. – jz. směru, které částečně sledují průběh původních sedimentárních prostorů (Chlupáč et al. 2002).

Nejtypičtěji vyvinuté území, zachycující sled paleozoických sedimentů ordovicko-devonského stáří, je centrální část pražské pánve a území Českého krasu. Jedná se o vlastní pánevní jádro zvrásněné do velkého synklinoria (Chlupáč et al. 2002). Tato oblast se rozkládá na území mezi Prahou a dále k jz. přes Karlštejn, Koněprusy až k obci Zdice (Obr. 4).

Nejvýznamnějšími horninami, vyvinutými právě v centrální části pánve, jsou různé typy vápenců. K jejich vzniku docházelo v období od siluru až po vrchol produkce ve středním devonu (Nedvěď 1989). Tyto horniny představují cennou surovinu ve stavebnictví a dalších průmyslových odvětvích.

3.3. Geologická stavba a vývoj Barrandienu

Nejstarší horniny, které se vyskytují na území Barrandienu, patří do období svrchního proterozoika (neoproterozoika). Jedná se o mořské sedimenty, převážně jílovité břidlice, prachovce, droby a slepence (Klářová a Hyršl 2000). Tyto sedimentární sledy jsou často protínány žilami různých typů magmatu a dalšími vulkanickými produkty (Suchý 1992).

Z období kambria se na území Barrandienu zachovaly horniny ve dvou významných oblastech, a to v brdském kambriu v příbramsko-jinecké pánvi a ve skryjském kambriu ve skryjsko-týřovické pánvi (Havlíček 1971). Jedná se o sladkovodní a mořské slepence, pískovce, prachovce a jílovité břidlice (Kukal 1985). Ve svrchních polohách převládají produkty strašického (příbramsko-jinecká pánev) a křivoklátsko-rokycanského (skryjsko-týřovická pánev) vulkanického komplexu (Waldhausrová 1971).

V ordoviku tvořila barrandienská pánev lineárně protaženou depresi, ve které střídavě sedimentovaly hrubozrnnější pískovce a prachovce a jemnozrnné slídnaté a jílovité břidlice (Havlíček 1981). Významné jsou taktéž produkty komárovského vulkanického komplexu (Patočka et al. 1993).

Silur představuje hned po devonu druhou nejvýznamnější epochu v sedimentaci barrandienských karbonátů. Kromě mocných sedimentárních sledů jsou z tohoto období taktéž zachovány polohy vulkanitů, souhrnně označovaných jako diabasy (Patočka et al. 1993). Bázi silurských uloženin tvoří liteňské souvrství s vývojem graptolitových, křemitých a jílovitých břidlic (Suk a Zárubová 1984). V nadloží přechází do kopaninského souvrství, ve kterém jsou vyvinuty graptolitové břidlice s vložkami tufitického materiálu (Chlupáč et al. 2002). Později převládají bioklastické a ortocerové vápence, označované taktéž jako tzv. „lochkovský mramor“ (Rybařík 1992). Nejsvrchnější přídolské (nebo taktéž požárské) souvrství je charakteristické svými kalovými jemnozrnnými vápenci s vložkami vápnitých a slínitých břidlic (Fatka a Kvaček 2006).

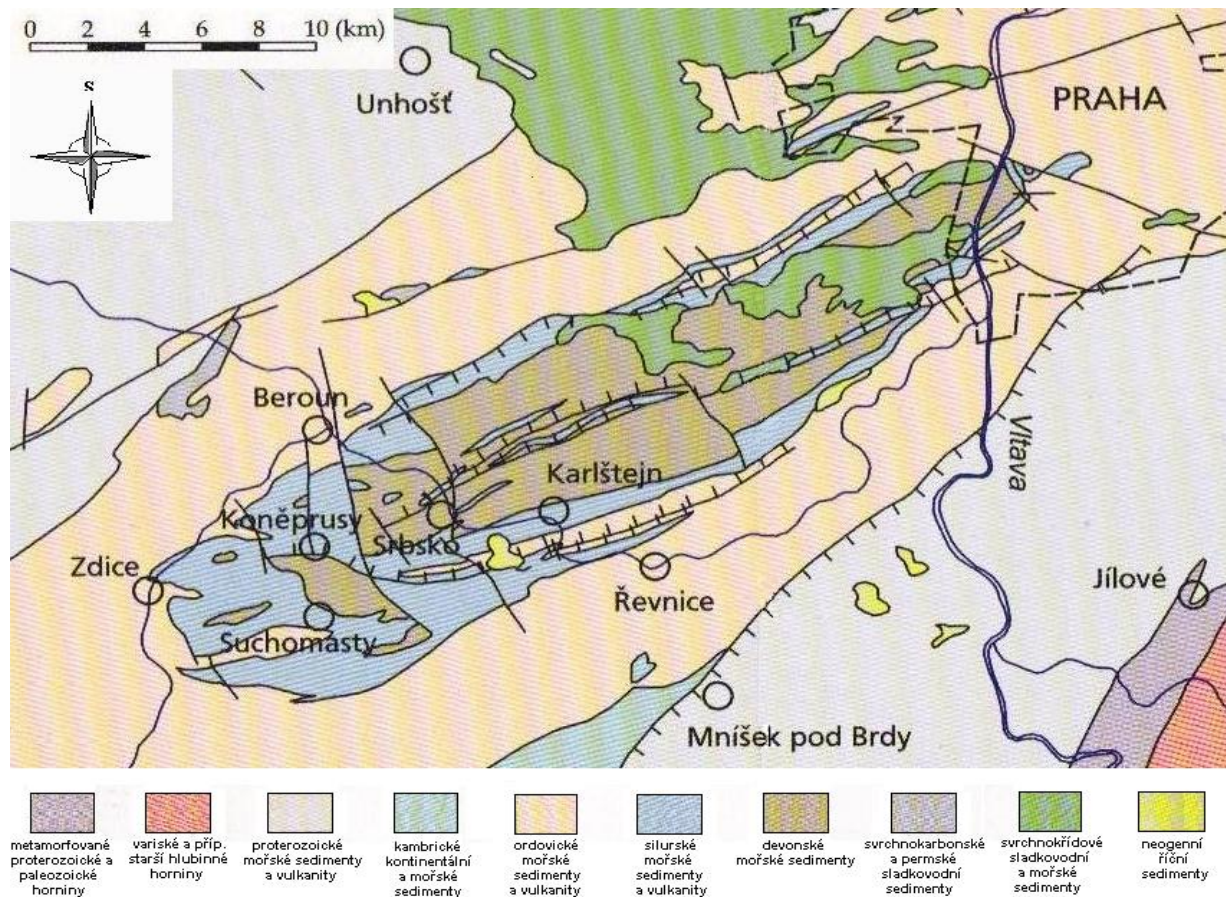
V období devonu došlo k uložení nejvýznamnějších a nejmocnějších vápencových vrstev v celém Barrandienu. Horniny devonského stáří nasedají konkordantně na silurské vrstvy (Suk a Zárubová 1984). Hranici těchto útvarů zachycuje mezinárodní stratotyp v Klonku u Suchomast. Pomocný parastratotyp se pak nachází na Budňanské skále nedaleko Karlštejna (Chlupáč a Oliver 1989). Oblast Barrandienu je jednou z nejklašičtějších oblastí výskytu spodního a středního devonu ve světě (Chlupáč et al. 1992).

Sled sedimentů spodního devonu začíná lochkovským souvrstvím, ve kterém jsou vyvinuty facie jemnozrnných radotínských vápenců s vložkami rohovců (Skoček a Kukal 1998). Další facie je

tvořena organodetrityckými kotýskými vápenci a bioklastickými kosořskými vápenci (Chlupáč 1983). Nadložní pražské souvrství se vyznačuje přechodem z hlubokovodních kalových do mělkovodních útesových sedimentů (Chlupáč a Kukul 1988). První facií tohoto souvrství jsou mikritové dvorecko-prokopské vápence. Další facií tvoří červeně zbarvené hlíznaté řeporyjské vápence a deskovité loděnické vápence. Poslední dvě faciie pražského souvrství tvoří velmi čisté slivenecké a koněpruské vápence s faunou středního devonu světového významu (Chlupáč et al. 2002). Tyto vápence tvoří v oblasti Koneprusy typický útesový komplex. Bazální polohy zlíchovského souvrství tvoří hrubé bioklastické vápence a brekcie, nad kterými se nacházejí drobně zrnité, jemně vrstvené šedivé vápence s tmavými rohovci. Tyto polohy tvoří tzv. korálový obzor, který je někdy označován jako obzor U Kapličky (Skoček a Kukul 1998). V nejvyšší části zlíchovského souvrství je pak vyvinut komplex chýnických vápenců (Chlupáč et al. 1992).

Sedimenty dalejsko – třebotovského souvrství začínají horninové sledy středního devonu. Jsou v něm vyvinuty jílovité břidlice, kalové a krinoidové vápence (Chlupáč 1999). Posledním dochovaným devonským souvrstvím z území Barrandienu je srbské souvrství, tvořené sledy vápnatých břidlic, drob a prachovců (Kukul a Jäger 1988).

V období svrchního devonu až středního karbonu byl Barrandien postižen variským vrásněním (Chlupáč a Kukul 1986). Z karbonských sedimentů se tak dochovaly jen drobné reliktky. Větší množství uloženin se zachovalo z období svrchní křídly (Chlupáč 1999). Sedimentovaly zde převážně pískovce a vápnaté slínovce. V terciéru se ukládaly sladkovodní klastické sedimenty, konkrétně šterky a šterkopísky. Během kvartéru byl reliéf dotvořen do dnešní podoby. Ukládaly se spraše, řeky vytvořily charakteristické terasovité stupně a pokrčovalo krasovění starších vápenců (Chlupáč 1999).



Obr. 4. Zjednodušená geologická mapa centrální části barrandienské pánve a jejího okolí (Chlupáč 1999).

3.4. Všeobecná charakteristika vápenců Barrandienu

Paleozoické vápence tvoří na území Barrandienu několik rozdílných litologických typů. Ty se často značně liší svým charakterem a chemickým složením. O možnostech jejich využití pak rozhoduje právě složení, celková čistota a obsah příměsí. Vápence představují taktéž velmi cennou a často i zcela nenahraditelnou surovinu v mnoha průmyslových odvětvích (Čech et al. 1979). Použití alternativních materiálů mnohdy představuje značné zvýšení provozních nákladů. V cementářství a vápenictví, při odsiřování a výrobě některých druhů plniv jej nahradit nelze vůbec (Brunnerová et al. 1986).

Nejkvalitnější a nejčistší jsou tzv. **vysokoprocentní vápence**. Tyto vápence se vyznačují obsahem CaCO_3 vyšším než 96 %. Jejich další vlastností je maximální obsah MgCO_3 do 2 % (Stow 2005). Patří sem převážně zrnité lavicovité vápence světlého zbarvení a organodetritického vývoje, konkrétně vápence koněpruské, dále pak slivenecké a chýnické vápence. Vysoká čistota značí nepřerušovanou sedimentaci za velmi stabilních podmínek, která trvala miliony let a nebyla ovlivněna vulkanickou činností (Brunnerová et al. 1986).

Druhou skupinu představují tzv. **vápence přechodného typu**. Ty obsahují alespoň 80 % CaCO_3 a do 2 % MgCO_3 . Mnohem výraznější je i obsah křemičité a jílovité příměsí (Stow 2005). Tyto vápence představují přechod mezi litologickým vývojem organodetritických a mikritických vápenců (Kovanda et al. 2001). Do této skupiny patří vápence radotínské, kosořské, kotýské, zlíchovské, chotečské a kopaninské. Jejich častým rysem je nepravidelné střídání deskovitých a lavicovitých vápencových vrstev s vrstvami jílových břidlic a vložkami rohovců (Čech et al. 1979). Ložiskový význam mají především ty polohy, kde je jen malá přítomnost břidličnatých vložek. Tyto vápence se užívají pro výrobu portlandského cementu. Lze z nich taktéž vyrábět hydraulická vápna. Často se taktéž využívají jako stavební kámen nebo jako drcené kamenivo (Brožová 2003).

Vápence kalového vývoje obsahují kolem 70 % CaCO_3 a značné množství nerozpustné jílovité a křemité příměsí, zastoupené v 10 – 25 % (Stow 2005). Jedná se především o loděnické, řeporyjské, dvorecko-prokopské a přídolské vápence. Tyto vápence jsou často vhodnou surovinou pro výrobu hydraulického vápna a přírodních cementů. Hodí se i na zpracování v cementářském průmyslu (Kovanda et al. 2001).

Některé lavicovité vápence slivenecké, kosořské, loděnické a další mohou mít při vhodných úložných poměrech dobrou leštitelnost a opracovatelnost a mohou tak být zpracovávány jako „mramory“ na kamenické účely (Rybařík 1994).

Některé polohy barrandienských vápenců mohou svými obsahy dolomitu přecházet až do dolomitických vápenců a dolomitů. Jedná se např. o krinoidové vápence přídolských vrstev (Kovanda et al. 2001). Větší množství MgCO_3 omezuje použití vápenců jen na ty výroby, kde jeho zvýšené množství není na škodu. Dolomitizované vápence byly dodávány například do kladenských hutí na výrobu železa, využívaly se na dolomitická vápna nebo jako drcený kámen (Nedvěd 1989).

3.5. Historie těžby a zpracování barrandienských vápenců

Těžba a využívání vápenců, má v oblasti Barrandienu bohatou a dlouhou historii. Zdejší vápence byly používány již v paleolitu na jednoduché nástroje, později v době železné jako struskotvorná přísada při hutnění chudých křemičitých železných rud (Chlupáč et al. 2002).

Od středověku byly těženy slivenecké vápence (označované jako mramory) v lomu „Cikánka“ v Radotínském údolí jako stavební kámen k výzdobě budov, výrobě dlažeb a soch v Praze i zahraničí (Kovanda et al. 2001). Slivenecký mramor se těžil ještě v menší míře v lomu Hvížd'ka u Zadní Kopaniny. Dnes se využívá jen na obkladové a dlažební desky (Kovanda et al. 2001). Černé ortocerové vápence byly hojně využívány na leštěné obklady. Dobývaly se od 17. století v lomech poblíž Lochkova (lochkovský mramor), Zadní Kopaniny (kopaninský mramor) a Budenic u Kosoře

(kapitolský mramor) (Rybařík 1992). Růžové suchomastské vápence (označované někdy jako suchomastský mramor) se využívaly v sochařství a kamenictví (Kettner 1924). Dalšími hojně využívanými vápenci byly horniny označované jak řeporyjský, tetínský, zbuzanský, karlštejnský nebo karlický mramor (Rybařík 1994). V okolí Kosoře, Solopysk a v Radotínském údolí se zpracovávaly kosořské a slivenecké vápence na chodníkovou mozaiku. Dobrý materiál, který se uplatňoval při této výrobě, byl i odpad vzniklý při těžbě větších bloků. Vápence jako běžný stavební kámen a štěrk na úpravu cest se těžily z místních příležitostných lůmků, které postupem času zanikly a staly se přirozenou součástí krajiny (Brožová 2003).

Vápence z oblasti BARRANDIENU byly vždy významnou surovinou pro výrobu stavebního vápna. První zmínka o jeho používání pochází již z konce 10. století (Svoboda et al. 1957). Pálení vápna se tehdy provádělo v jámách či milířích přímo na místě těžby. Později vznikaly menší vápenky, kam byl těžený materiál dovážen (Svoboda et al. 1957). Pálení se provádělo ve zděných šachtových pecích, v tzv. cylindrovkách. Velký rozmach těžby a zpracování vápenců na stavební účely nastal především v dobách velké výstavby za vlády Karla IV. nebo Vladislava II. (Kovanda et al. 2001). Hydraulické vápno tak bylo použito na mnohé významné stavby tehdejší doby, např. na stavbu Karlova mostu (Přikryl a Šťastná 2010). Vápno se páliło v centru Prahy přímo na březích Vltavy. Vzhledem ke zvýšenému obsahu jílovité příměsi bylo vápno silně hydraulické a nevyžadovalo přidávání dalších přísad. Toto silně hydraulické vápno se později vyváželo pod názvem „*pasta di Praga*“ do zahraničí, kde se v Hamburku či Benátkách osvědčilo i na mořské stavby (Kovanda et al. 2001). V polovině 19. století bylo pálení vápna v obvodu Prahy zakázáno, a proto se jeho zpracovávání přemístilo z centra do okrajových částí města (Kovanda et al. 2001). V této době bylo také otevřeno několik nových lomů, které zásobovaly tehdejší vápenky. Patří k nim např. lom U Sv. Prokopa v Hlubočepském údolí, lomy v Řeporyjích a v údolí Dalejského potoka. V lomu „Na dolech“ je zachována šachtová pec – cylindrovka, která je dnes chráněnou památkou (Kovanda et al. 2001).

V druhé polovině 19. století se začaly barrandienské vápence využívat pro cementářské účely. První cementárny vznikly v Hlubočepích, později v Podolí-Braníku a v Radotíně. Cement se vyráběl ze stejných jílovitých vápenců, ze kterých se dříve vypalovalo staropražské hydraulické vápno (Kovanda et al. 2001). Dnešním nejvýznamnějším zpracovatelem je cementárna u Lochkova v Radotíně.

Další období rozvoje těžby vápenců nastalo v souvislosti s těžbou sedimentárních železných rud u Nučic a Zdic, poději v souvislosti s výstavbou hutí a rozvojem ocelářského průmyslu v Kladně a Králově Dvoře (Lánik a Cíkr 2001). V této době vznikly lomy u Tachlovic, jižně od Trněného Újezda (lom Čížovec a lom na Holém vrchu), či lomy v okolí Mořiny. Zde vznikla známá soustava lomů Amerika, která se postupem času rozšiřovala. Byly zde otvírány nové lomy, které se postupně vzájemně propojovaly štolami. Další hutní vápence byly těženy na levém břehu Berounky při ústí Kačáku (Loděnice), na pravém břehu u Kody či v Koněpruské oblasti (Lánik a Cíkr 2001).

Závody na výrobu vápna v Berouně, Králově Dvoře a ve Zdicích zpracovávaly vápenec těžený v lomech na Damilu u Tetína a oblasti kolem Koněprus. K nejvýznamnějším koněpruským lomům patří lomy na Kobyle, Homolák a lomy ve Zlatém koni. Vápence taktéž představovaly důležitou surovinu dodávanou do hutí a cukrovarů (Brožová 2003). Od roku 1957 jsou těženy vysokoprocentní vápence ve velkolomu Čertovy schody, který se jako Císařský lom těžil již od konce 19. století. Cementárna v Králově Dvoře byla od počátku zásobována z lomů z Kosova a z Koledníku. Později byl vápenec pro tuto cementárnu těžen v lomech na Damilu a v již zmíněném Císařském lomu u Koněprus (Nedvěd 1989).

Těžba a zpracovávání vápenců v této oblasti od nepaměti velký vliv na životní prostředí. Na mnoha místech taktéž do značné míry formovala a utvářela krajinný ráz (Obr. 5). V současnosti těžba probíhá na 10 ložiscích, dalších 6 ložisek má ověřené zásoby a může být otevřeno v blízké budoucnosti.



Obr. 5. Homole vzniklá po těžbě v bývalém vápencovém lomu v Praze (Kovanda et al. 1991).

3.6. Zhodnocení využitelnosti barrandienských vápenců na výrobu hydraulických pojiv

Rozdílné vlastnosti a složení, které je možné pozorovat mezi jednotlivými litologickými typy vápenců, jsou dány rozdílnými podmínkami v prostoru a v čase, ve kterých jednotlivé vrstvy vápenců vznikaly. Zároveň lze ale předpokládat, že vápence stejného typu budou mít na různých lokalitách výskytu shodné, nebo alespoň z části podobné charakteristiky. Ty jsou dány sedimentací za stejných či podobných podmínek a následným, obvykle téměř totožným vývojem. V současnosti nebo v nedávné minulosti bylo na území Barrandienu těženo 12 typů vápenců. Charakteristika a zhodnocení využitelnosti těchto vápenců je uvedena v následujících podkapitolách. Vápence třebotovské, chotečské, suchomastské a vinařické nejsou níže detailněji hodnoceny, neboť v současnosti ani v nedávné minulosti nebyly těženy na žádném ložisku. Tudiž nebyly zpracovávány ani jejich bližší vlastnosti a charakteristiky.

U jednotlivých vápenců byly zhodnoceny možnosti jejich využití, a to především z pohledu výroby hydraulických vápen a přírodních cementů. Vápence byly posouzeny podle chemického složení, celkové čistoty, obsahu příměsí a z nich vyplývajících charakteristik (především hydraulického a cementačního indexu a hydraulického modulu).

Ložiska, ze kterých byly jednotlivé typy vápenců hodnoceny, jsou v současnosti v provozu, případně na nich byla těžba ukončena v nedávné minulosti, nebo se jedná o ložiska se zhodnocenými a evidovanými zásobami, u nichž lze v budoucnu předpokládat jejich otvírku. Níže zmíněné vápence byly taktéž v minulosti těženy v mnoha lomech, které ale nejsou v současnosti provozu, zanikly nebo se staly dnes již přirozenou součástí krajiny. Charakteristiky a analýzy vápenců z těchto lomů se však bohužel nedochovaly, nebo častěji ani nikdy nebyly provedeny. Není možné tak mnohdy porovnat vápence z historických a současných lokalit. Všechny zprávy, ze kterých byly čerpány analýzy vápenců z níže uvedených ložisek, jsou uloženy v archivu České geologické služby.

3.6.1. Kopaninské vápence

Tyto vápence jsou v Barrandienu přítomny na 4 ložiscích, konkrétně v lomu Kosov u Jarova, velkolomu Čertovy schody, na lokalitě Málkov – Lejškov a Bykoš.

Analýzy těchto vápenců z lomu Kosov uvádí zpráva Bárty et al. (1989), z velkolomu Čertovy schody zpráva Bílka et al. (1993). Anders et al. (1970) uvádí chemické složení vápenců na lokalitě Málkov – Lejškov a Bárta et al. (1974) pro lokalitu Bykoš.

Z chemických analýz uvedených v příloze I. vyplývá, že kopaninské vápence v lomu Kosov a z velkolomu Čertovy schody mají podobný, avšak pro zpracování na výrobu vápen nepříliš vhodný charakter (Ovčarov 1976). Vápence z lomu Kosov mohou být případně užity (ve směsi s čistšími vápenci) jako silná hydraulická vápna (Bárta et al. 1989). Podobný charakter mají i kopaninské vápence z ložiska Čertovy schody. Problémem při jejich možném zpracování ale představuje značné znečištění rohovcovými čočkami (Bosák 1994).

Vzájemně podobné jsou i kopaninské vápence z Málkova a Bykoše. Obsahují ale jen velmi málo CaO a značné množství SiO₂ ve formě rohovců. To značně komplikuje možnosti jejich zpracování. Tyto vápence se proto dají využít pouze jako korekční surovina v cementářství nebo jako stavební kamenivo (Bárta et al. 1974).

Kopaninské vápence mají celkově poměrně variabilní chemické složení. Jejich možnosti využití se proto značně liší mezi jednotlivými těžebnami.

3.6.2. Přídolské vápence

Tyto silurské vápence se vyskytují na těchto ložiscích: v lomu Kosov u Jarova, Loděnice – Liština, Málkov – Lejškov, okrajově na ložisku Čertovy schody a Bykoš. Chemické složení přídolských vápenců je uvedeno v závěrečných zprávách: Bárty et al. (1989) pro lom Kosov, Habarty (1976) pro Loděnice – Lištinu, Anderse et al. (1970) pro Málkov – Lejškov, Bílka et al. (1993) na velkolom Čertovy schody a ve zprávě Bárty et al. (1974) pro ložisko Bykoš.

Průměrně se tyto vápence vyznačují vysokými obsahy SiO₂, které jsou způsobeny častými rohovcovými konkracemi. Obsahy MgO jsou poměrně stabilní a využití vápenců příliš neomezují. Množství CaO je v těchto vápencích nízké, v průměru od 33 do 42,5 %. Zastoupení CaCO₃ se tak pohybuje mezi 60-75 % (viz. Příloha I a II).

Tyto vápence z lomu Kosov jsou silně hydraulické a hodily by se na výpal přírodních cementů. V současné době se však využívají jen na těžbu kameniva (Bárta et al. 1989).

Na lokalitě Loděnice – Liština mají přídolské vápence nízké obsahy CaO. To značně omezuje možnosti jejich využití. Ve směsi s čistším vápencem by však mohly být využívány jako silně hydraulická vápna (Habarta 1976).

Ve velkolomu Čertovy schody se těží svrchní polohy přídolských vápenců. Na rozdíl od ostatních ložisek se zdejší surovina vyznačuje vyššími obsahy CaCO₃ (do 72 %) (viz. Příloha I a II). Přídolské vápence se zde využívají k cementářským účelům (Bílek et al. 1993).

Na lokalitě Bykoš se těží přídolské vápence společně se silurskými diabasy a břidlicemi. Používají se jako cementářská a korekční surovina. K samostatné těžbě a zpracování se nehodí (Bárta et al. 1974).

Vápence těchto vrstev z lomu Málkov – Lejškov se samostatně nehodí na cementářské ani vápenické využití, neboť mají nízké obsahy CaO (Anders et al. 1970).

Přídolské vápence se v současnosti zpracovávají převážně jako kamenivo. V některých lomech je lze využít jako korekční cementářskou surovinu, případně ve směsi s čistšími vápenci jako surovinu pro výrobu silně hydraulických vápencových pojiv.

3.6.3. Radotínské vápence

Radotínské vápence tvoří součást těžených surovin na ložiscích: Kosoř – Hvíždalka, Radotín – Špička, v lomu Málkov – Lejškov a ve velkolomu Čertovy schody. Chemické analýzy těchto vápenců jsou uvedeny ve zprávách: Hrziny et al. (1992) pro Kosoř – Hvíždalka, Čecha et al. (1979) pro

lokalitu Radotín – Špička, Anderse et al. (1970) pro lom Málkov – Lejškov a Bílka et al. (1993) pro velkolom Čertovy schody.

Tyto vápence mají na všech lokalitách podobné složení, vlastnosti a z toho vyplývající využití. Jejich charakteristiky jsou uvedeny v příloze I a II.

Na lokalitě Kosoř – Hvíždalka se radotínské vápence těží společně s ostatními vápenci jako surovina pro výrobu cementu. Svým HI a CI odpovídá surovině na výrobu silně hydraulických vápen (viz. Příloha I a II). Jejich zpracování ale komplikují poměrně vysoké obsahy SiO_2 (Čech et al. 1979).

Podobné parametry mají radotínské vápence v lokalitě Málkov – Lejškov. Jsou vhodné ke stejným účelům. Odlišují se jen vyššími obsahy MgO (Anders et al. 1970).

Okrajově se radotínské vápence vyskytují v lomu Radotín – Špička (Čech et al. 1979). Jejich využívání je ale komplikováno velmi vysokými obsahy MgO (viz. Příloha I a II).

Ve velkolomu Čertovy schody se těží a zpracovávají s ostatními typy vápenců především jako vápenická surovina. Vápna vyráběná z těchto vápenců vykazují středně silnou hydraulicitu (viz. Příloha I a II).

Tyto vápence jsou velmi vhodnou surovinou pro zpracování ve vápenickém a cementářském průmyslu. Hodí se na výrobu slabých i silně hydraulických vápen.

3.6.4. Kotýské vápence

Kotýské vápence se vyskytují na šesti lokalitách. Jsou to lomy Loděnice, Trněný Újezd, Loděnice – Liština, Málkov – Lejškov, Kuchařík a velkolom Čertovy schody.

Tyto vápence mají poměrně stálé složení a obsahy jednotlivých komponent se na různých lokalitách příliš neliší (viz. Příloha I a II). Jejich chemické analýzy uvádí závěrečné zprávy: Bárty et al. (1985) – Loděnice, Hrziny a Mannové (2001) – Trněný Újezd, Habarty (1976) – Loděnice – Liština, Anderse et al. (1970) – Málkov – Lejškov, Čecha (1976) – Kuchařík a Bílka et al. (1993) pro velkolom Čertovy schody.

Kvalitní vápencová surovina, která je vhodná k cementářským a vápenickým účelům, se vyskytuje především na lokalitách Loděnice a Trněný Újezd (Brož a Štefek 2005). Surovina z těchto lokalit je středně hydraulická, hodí se k výpalu slabých nebo středně hydraulických vápen (viz. Příloha I a II).

Na lokalitě Loděnice – Liština se vyskytují kosořské vápence, které by bylo možné zpracovávat na slabě hydraulická vápna (Habarta 1976).

V lomu Málkov – Lejškov jsou kotýské vápence znehodnoceny poměrně vysokou mírou dolomitizace a tudíž vysokými obsahy MgO , což omezuje možnosti jejich využití (Bílek et al. 1993).

Kotýské vápence z lokality Kuchařík představují surovinu využitelnou k výrobě slabě hydraulických vápen (Čech 1976).

Na ložisku Čertovy schody jsou kotýské vápence těženy a zpracovávány na cement nebo na výrobu vápen. Zdejší surovina vykazuje slabou hydraulicitu (viz. Příloha I a II).

Tyto vápence jsou v největší míře těženy v centrální až severovýchodní části barrandienské pánve. Hojně se využívají v cementářství a vápenictví. Tyto vápence jsou celkově vhodnou surovinou pro výrobu slabě až středně hydraulických vápen.

3.6.5. Kosořské vápence

Kosořské vápence se těží na téměř totožných lokalitách, jako vápence radotínské. Vyskytují se v lomech: Kosoř – Hvízd'alka, Radotín – Špička a velkolomu Čertovy schody. Chemické analýzy těchto vápenců uvádějí zprávy: Hrziny et al. (1992) pro Kosoř – Hvízd'alku, Čecha et al. (1979) pro lokalitu Radotín – Špička a Bílka et al. (1993) pro velkolom Čertovy schody.

V lomech Kosoř – Hvízd'alka a Radotín – Špička, mají kosořské vápence podobné charakteristiky. Jsou vhodné pro výrobu slabě hydraulických vápen. Na ložisku Radotín – Špička představuje problém pro jejich využití vysoká míra dolomitizace (viz. Příloha I a II).

Na lokalitě Čertovy schody dosahují tyto vápence jen malých mocností, neobjevují se taktéž na celém ložisku, ale jen v některých jeho částech. Těží se společně s ostatními, převážně vysokoprocentními vápenci (Ovčarov a Zelinková 1972).

Tyto vápence mají poměrně vhodné vlastnosti pro využití v cementářství a vápenickém průmyslu. Na žádném ložisku se však nevyskytují ve velkých mocnostech, proto jsou zpracovávány s ostatními typy vápenců. Celkově se vyznačují slabou hydraulicitou.

3.6.6. Koněpruské vápence

Koněpruské vápence patří mezi nejčistší karbonáty, které se na území Barrandienu vyskytují. Nejvyšších mocností dosahují v oblasti Koněprus, a to až 250 m. Tato oblast zároveň představuje místo jejich nejzazšího jihozápadního výskytu (Nedvěd 1989). Směrem k severovýchodu jejich mocnost ubývá a snižuje se i jejich chemická čistota (Kovanda et al. 2001). Koněpruské vápence jsou těženy v těchto lomech: Řeporyje, Kozolupy – Čeřinka, Loděnice, Tetín u Berouna, Trněný Újezd, Loděnice – Liština, Kuchařík a velkolom Čertovy schody. Chemické analýzy koněpruských vápenců uvádějí závěrečné zprávy: Cmunťové et al. (1966) – Řeporyje, Krause (1955) – Kozolupy – Čeřinka, Bárty et al. (1985) – Loděnice, Lanara a Šteřka (1988) – Tetín u Berouna, Hrziny a Mannové (2001) – Trněný Újezd, Habarty (1976) – Loděnice – Liština, Čecha (1976) – Kuchařík a Bílka et al. (1993) pro velkolom Čertovy schody.

Koněpruské vápence se vyznačují značnou chemickou čistotou. Až na výjimky mají velmi nízký obsah SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 a MgO (viz. Příloha I a II). Jsou typickým příkladem vysokoprocentních vápenců. Množství CaO se pohybuje kolem 55 %, ekvivalentně k tomu je zastoupeno CaCO_3 v hodnotách nad 96 %.

Na některých lokalitách je kvůli rozdílným vlastnostem nutné rozlišovat spodní a svrchní polohy koněpruských vápenců. Je tomu tak např. u velkolomu Čertovy schody a ložisku Kuchařík (Ovčarov a Zelinková 1972).

Nejvýznamnějším ložiskem koněpruských vápenců a zároveň největší těžebnou vápenců v celém Barrandienu je velkolom Čertovy schody. Produkují se v něm suroviny na výrobu vzdušných vápen a pro užití v ostatních průmyslových odvětvích. Mezi další významné lokality, kde se tyto vápence vyskytují, patří ložiska Tetín u Berouna, Loděnice a Loděnice – Liština (Ovčarov a Zelinková 1972).

Koněpruské vápence z ložiska Řeporyje se odlišují od ostatních koněpruských vápenců nižšími obsahy CaO (49 %) a zvýšenými obsahy hydraulických složek (viz. Příloha I a II). Polohy těchto vápenců jsou navíc poměrně silně dolomitizovány, obsahují v průměru 3,78 % MgO (Cmunťová et al. 1966).

Tyto vápence jsou hojně užívány na výpal vzdušných vápen. Často jsou zpracovávány i v dalších průmyslových odvětvích. Vzhledem k chemické čistotě a nízkému obsahu příměsí vykazují velice nízkou hydraulicitu, tudíž se na výpal hydraulických pojiv nehodí.

3.6.7. Slivenecké vápence

Slivenecké vápence jsou přítomny na těchto lokalitách: Kosoř – Hvízd'alka, Radotín – Špička, Řeporyje, Kozolupy – Čeřinka, Loděnice, Tetín u Berouna, Trněný Újezd a Kuchařík. Chemické analýzy těchto vápenců uvádějí závěrečné zprávy: Hrziny et al. (1992) pro Kosoř – Hvízd'alku, Čecha et al. (1979) pro lokalitu Radotín – Špička, Cmuntové et al. (1966) – Řeporyje, Krause (1955) – Kozolupy – Čeřinka, Bárty et al. (1985) – Loděnice, Lanara a Štefka (1988) – Tetín u Berouna, Hrziny a Mannové (2001) – Trněný Újezd a Čecha (1976) pro lokalitu Kuchařík.

Na ložiscích Kozolupy – Čeřinka, Loděnice, Tetín u Berouna a Trněný Újezd se vyskytují velice čisté slivenecké vápence, které již spadají do kategorie vápenců vysokoprocenních. Tyto vápence se vzhledem ke své nízké hydraulicitě na výrobu hydraulických pojiv nehodí (Bártů et al. 1973). Mají stálé složení a díky vysokým obsahům CaO mohou při výrobě korigovat i další, méně čisté typy vápenců (Bárta et al. 1985). Slivenecké vápence z lokalit Radotín – Špička, Řeporyje, Kosoř – Hvízd'alka a Kuchařík jsou postiženy slabou dolomitizací (viz. Příloha I a II).

Slivenecké vápence představují kvalitní zdroj suroviny na výrobu vzdušného vápna. Na některých ložiscích se těží jako vápence na odsiřování. Vzhledem k jejich chemické čistotě a minimu příměsí je lze jen výjimečně použít na výrobu slabě hydraulických vápen.

3.6.8. Loděnické vápence

Loděnické vápence jsou těženy v lomech: Řeporyje, Kozolupy – Čeřinka, Loděnice, Tetín u Berouna, Trněný Újezd a Kuchařík. Chemické analýzy těchto vápenců jsou uvedeny v těchto zprávách: Cmuntové et al. (1966) – Řeporyje, Krause (1955) – Kozolupy – Čeřinka, Bárty et al. (1985) – Loděnice, Lanara a Štefka (1988) – Tetín u Berouna, Hrziny a Mannové (2001) – Trněný Újezd a Čecha (1976) pro lokalitu Kuchařík.

Loděnické vápence z lokalit Kozolupy – Čeřinka, Loděnice, Tetín u Berouna a Trněný Újezd vykazují jen slabou hydraulicitu a poměrně vysoký obsah CaO (průměrně 52 %) (viz. Příloha I a II). Na výrobu hydraulických vápen se tudíž příliš nehodí. V ložiscích Řeporyje a Kuchařík mají tyto vápence podobný charakter, avšak nižší obsahy CaO. V Řeporyjích navíc komplikuje zpracování suroviny značně této suroviny silná dolomitizace a s ní spjaté zvýšené obsahy MgO (viz. Příloha I a II).

Lanar a Štefek (1994) uvádí, že loděnické vápence jsou vhodnou surovinou pro výrobu hydraulických vápen. Na současných ložiscích však tyto vápence příliš vhodné parametry nevykazují. Většinou se hodí jen na výrobu vzdušných vápen. Na hydraulická vápna je lze využít jen ve směsi s méně čistými typy vápenců.

3.6.9. Řeporyjské vápence

Tyto vápence se těží na lokalitách: Kosoř – Hvízd'alka, Radotín – Špička, Kozolupy – Čeřinka, Řeporyje, Loděnice a Trněný Újezd, Mořina a Kuchařík. Závěrečné zprávy, které uvádějí chemické analýzy jsou: Hrziny et al. (1992) pro Kosoř – Hvízd'alku, Čecha et al. (1979) pro Radotín – Špičku, Krause (1955) pro Kozolupy – Čeřinku, Cmuntové et al. (1966) pro Řeporyje, Bárty et al. (1985) pro Loděnice, Chybík (1956) pro Mořinu, Hrziny a Mannové (2001) pro Trněný Újezd a Čecha (1976) pro lokalitu Kuchařík.

Vhodné parametry na zpracování v cementářské a vápenické výrobě mají řeporyjské vápence především na lokalitách Kosoř – Hvízd'alka a Radotín – Špička. Suroviny z těchto lomů vykazují střední až silnou hydraulicitu. Navíc mají tyto vápence velmi vhodné obsahy jednotlivých hydraulických komponent a CaO (viz. Příloha I a II).

Velmi podobné parametry mají řeporyjské vápence i v lokalitách Mořina a Kuchařík (viz. Příloha I a II). Lze je využít jako surovinu na pálení středně hydraulických vápen a k cementářským účelům (Čech 1976). Nevýhodou je ale jejich malé rozšíření na těchto ložiscích.

Na lokalitě Loděnice jsou tyto vápence těženy společně s vápenci dvorecko-prokopskými k cementářským účelům. Vykazují střední hydraulicitu a vzhledem k jejich celkovému charakteru je lze použít na výrobu slabých až středně silných hydraulických vápen (Bárta et al. 1985).

Vápence z lokality Řeporyje mají obdobné parametry jako v předchozích případech. Obsahují ale vyšší podíl MgO (5,61 %) (Cmuntová et al. 1966). To výrazně snižuje jejich využitelnost v cementářství.

V lomech Kozolupy – Čeřinka a Trněný Újezd jsou řeporyjské vápence zastoupeny jen v omezeném množství (Štefek 1996). Lze je však zpracovávat společně s ostatními typy vápenců na slabě až středně hydraulická vápna (Lanar a Štefek 1994).

Celkově lze konstatovat, že řeporyjské vápence mají nejhodnější vlastnosti na výrobu hydraulických vápen v severovýchodní části Barrandienu poblíž Radotína (Čech et al. 1979). Zde jsou taktéž nejvíce těženy a zpracovávány. Představují kvalitní surovinu pro cementářské účely a výrobu slabých až středně hydraulických vápen.

3.6.10. Dvorecko-prokopské vápence

Tento typ vápenců se vyskytuje a těží v lomech: Kosoř – Hvížd'alka, Radotín – Špička, Řeporyje, Kozolupy – Čeřinka, Loděnice, Mořina, Trněný Újezd a Kuchařík. Chemické analýzy dvorecko-prokopských vápenců jsou uvedeny v těchto závěrečných zprávách: Hrziny et al. (1992) – Kosoř – Hvížd'alka, Čecha et al. (1979) – Radotín – Špička, Krause (1955) – Kozolupy – Čeřinka, Cmuntové et al. (1966) – Řeporyje, Bárty et al. (1985) – Loděnice, Hrziny a Mannové (2001) – Trněný Újezd a Čecha (1976) pro lokalitu Kuchařík.

Dvorecko-prokopské vápence jsou velmi vhodnou surovinou k výrobě hydraulických vápen. Velké uplatnění mají taktéž jako surovina určená pro výrobu cementu. Nejlepší vlastnosti mají tyto vápence na ložiscích Loděnice a Řeporyje. Hodí se na výrobu středně hydraulických vápen (viz. Příloha I a II). Na lokalitách Radotín – Špička, Mořina a Kosoř – Hvížd'alka mají tyto vápence nižší obsahy CaO (viz. Příloha I a II). Na lokalitách Trněný Újezd, Kuchařík a Kozolupy – Čeřinka tvoří dvorecko-prokopské vápence jen okrajové partie ložisek. I tak ale představují kvalitní surovinu pro výpal vápen a využití v cementářství (Lanar a Štefek 1994).

Nejsilnější hydraulicitu mají dvorecko-prokopské vápence v lokalitách Kosoř – Hvížd'alka a Radotín – Špička (viz. Příloha I a II). Ty lze použít na výrobu středně až silně hydraulických vápen (Čech et al. 1979).

Dvorecko-prokopské vápence představují velmi kvalitní surovinou na výrobu hydraulických vápen. V současnosti se však nejvíce využívají v cementářství pro výpal cementářského slínku. Právě z těchto vápenců byla v minulosti pálena věhlasná historická hydraulická vápna.

3.6.11. Zlíchovské vápence

Tyto vápence jsou těženy v lomech: Kosoř – Hvížd'alka, Řeporyje, Loděnice, Loděnice – východ, Málkov – Lejškov, Kuchařík a Trněný Újezd. Chemické analýzy těchto vápenců uvádějí zprávy: Hrziny et al. (1992) – Kosoř – Hvížd'alka, Cmuntové et al. (1966) – Řeporyje, Bárty et al. (1985) – Loděnice, Chybíka (1956) – Mořina, Lanara a Štefka (1971) – Loděnice – východ, Hrziny a Mannové (2001) – Trněný Újezd a Čech (1976) – Kuchařík.

Podobně jako předchozí dvorecko-prokopské vápence jsou i vápence zlíčovské vhodnou surovinou pro výrobu alternativních hydraulických pojiv. Na rozdíl od nich ale obsahují v průměru méně CaO a jsou tedy více hydraulické (viz. Příloha I a II). Velmi silnou hydraulicitou se vyznačují zlíčovské vápence z lokalit Řeporyje a Mořina. Hodí se proto na výrobu silně hydraulických vápen a přírodních cementů. V lomech Kosoř – Hvížd'alka, Loděnice, Loděnice – východ a Trněný Újezd mají zlíčovské vápence střední hydraulicitu (viz. Příloha I a II). Na ložisku Kuchařík, se zlíčovské vápence vyskytují jen v malém množství, které nelze samostatně zpracovávat (Čech 1976). Taktéž se zde ve velké míře vyskytují rohovce, které značně komplikují případné využití této suroviny.

Zlíčovské vápence mají na všech lokalitách podobné složení a parametry. Výjimkou je jen lokalita Kuchařík, kde se vlastnosti zlíčovských vápenců značně liší. Jsou velmi vhodným typem vápenců pro výrobu středně až silně hydraulických vápen, případně se hodí i k výrobě přírodních cementů.

3.6.12. Chýnické vápence

Tyto vápence se v Barrandienu vyskytují pouze na jediné lokalitě, a tou je Loděnice - východ. Jejich charakteristiky uvádí závěrečná zpráva z této lokality (Lanar a Štefek 1971). Vyznačují se poměrně vysokým obsahem CaO (52,41 %) a nízkými obsahy hydraulických příměsí (viz. Příloha I a II). Vzhledem ke své chemické čistotě jsou vhodnou surovinou pro výrobu vzdušných vápen. K výrobě hydraulických pojiv se nehodí.

3.6.13. Shrnutí využitelnosti barrandienských vápenců

Mnohé z běžně těžených barrandienských vápenců představují velmi zajímavou a vhodnou surovinu pro výrobu hydraulických pojiv typu portlandského cementu i alternativních pojiv typu hydraulického vápna a přírodního cementu. Své uplatnění nalézají taktéž v cementářském průmyslu.

Celkově se na výrobu slabě hydraulických vápen hodí kotýské vápence, především z lokalit Loděnice, Loděnice – Liština a Trněný Újezd. Kosořské vápence z lomů Kosoř – Hvížd'alka a Radotín – Špička jsou taktéž velmi kvalitní surovinou pro tyto účely.

K výrobě středně hydraulických vápen se hodí většina radotínských, řeporyjských, dvorecko-prokopských a zlíčovských vápenců. Vápence dvorecko-prokopské a zlíčovské pak lze označit za nejvhodnější surovinu pro výrobu hydraulických vápen z celé oblasti Barrandienu.

Silně hydraulická vápna a přírodní cementy lze vyrábět z některých vápenců radotínských (např. z ložiska Kosoř – Hvížd'alka) nebo zlíčovských (z lomu Řeporyje). Další vápence vhodné pro výrobu silně hydraulických pojiv jsou silurské kopaninské a předolské vápence.

Nejčistší barrandienské vápence – vápence koněpruské, některé slivenecké a mnohé loděnické, lze na hydraulická vápna využít jen omezeně (např. z ložiska Řeporyje). Své uplatnění nalézají spíše v průmyslových výrobcích, které vyžadují vyšší čistotu vápencové suroviny. Hojně se využívají na výrobu vzdušných vápen.

4. BRANICKÉ SKÁLY

4.1. Výběr studované lokality

Vhodný výběr lokality pro odběr vzorků a detailnější studium mělo zásadní vliv na další směřování celé diplomové práce. Bylo tedy nutné provést tento krok s rozmyslem a zvážit všechny okolnosti svědčící pro i proti výběru dané lokality.

Jak již bylo uvedeno v úvodu této práce, jejím hlavním cílem bylo experimentálně ověřit vhodnost vybraných barrandienských vápenců na výpal hydraulických vápen a přírodních cementů a zjistit tak charakteristiku nejen zdrojových hornin, ale i parametry samotných materiálů vzniklých výpalem daných surovin.

Ze závěrů kapitoly 3 vyplývá, že nejhodnější vlastnosti pro výrobu hydraulických pojiv mají především dva typy vápenců, a to vápence dvorecko-prokopské a zlíčovské. V historických zdrojích je pak uváděno, že k těmto účelům byly častěji využívány dvorecko-prokopské vápence. Polohy těchto vápenců mají obvykle vyšší mocnosti a bývají tak častěji zastíženy v jednotlivých současných i historických lomech.

Historicky neznámější a nejvýznamnější lokalitou výskytu dvorecko-prokopských vápenců, užívaných na výrobu hydraulických vápen, je lom v Branické skále. Právě zde byly těženy vápence na výrobu proslaveného staropražského hydraulického vápna, které si získalo věhlas v Čechách i v zahraničí (Kovanda et al. 2001). Tato, ač dnes již historická lokalita, byla zvolena pro odběr vzorků a navazující experimentální studium.

4.2. Základní charakteristika Branických skal

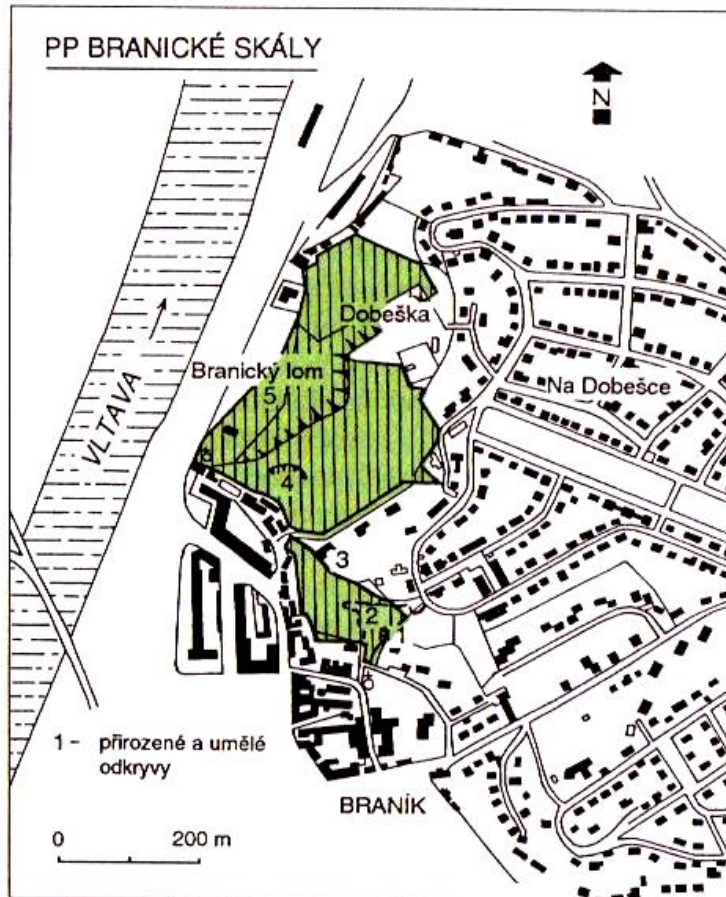
Studovaná lokalita se nachází v Praze – Braníku na pravém břehu Vltavy (Obr. 6). Rozkládá se mezi Školním vrchem u kostela sv. Prokopa na jihu a ulicí U pražských lomů na severu. Ulice Stará cesta rozděluje území Branických skal na dvě poloviny. V severnější části se nachází hlavní lomové stěny s parkově upraveným dnem a k nim přilehlou částí kopce, jižní část leží na západním svahu Školního vrchu. Historický komplex Branických lomů je dnes kvůli svému významu chráněnou přírodní památkou. Tato ochrana byla vyhlášena v roce 1968.

4.3. Historie vzniku umělých odkryvů

Těžba vápenců má v Branických lomech dlouhou historii. O zpracovávání vápenců se zmiňuje již v 18. století jezuita Zeno (Kříž 1999), který taktéž popisuje odtud pocházející zkameněliny.

Komplex Branických skal tvoří kromě hlavních lomových stěn ještě několik menších lůmků. Tyto drobné pozůstatky těžby byly v provozu v různých obdobích. Mnohé z nich už dávno zanikly, zůstaly skryty pod navážkou z novějších otvírek (Kříž 1999). Tyto lůmky neposkytovaly pouze vápencový materiál. V silurské (jižní) části Branických lomů se kromě vápence na výrobu vápna těžily bazalty určené na výrobu štětu a stavebního kamene (Kříž et al. 1993).

V hlavním Branickém lomu probíhala těžba především v 19. a na začátku 20. století. K ukončení těžby došlo mezi roky 1927 a 1928 (Prokop 1951). Vytěžený vápenc byl zpracováván ve vápence, která stála na dně lomu. Vyráběla staropražské silně hydraulické vápno. V Praze bylo využito při stavbě vltavského nábřeží od Palackého mostu až k Vyšehradu, vyšehradského tunelu a vodní stavby firmy Lanna (Kříž 1999). Velké vápencové bloky se taktéž příležitostně využívaly jako stavební kámen (Prokop 1951). V době maximální těžby zde byly v provozu dvě kruhové pece, z nichž jedna měla 16 a druhá 10 komor. Pracovalo zde až 40 dělníků. Průměrná roční těžba činila v Branických lomech 10 000 m³ vápence (Prokop 1951).



Obr. 6. Poloha Branických lomů s vyznačenou PP Branické skály (Kříž 1999).

4.4. Geologická stavba Branických skal

Nejstarší horniny, které jsou zachyceny v geologickém profilu Branických skal, náleží do období spodního siluru. Jedná se o tmavé graptolitové břidlice, které částečně podléhaly kontaktní metamorfóze působením bazaltových intruzí (Kříž 1999). Bazalt, který se zde vyskytuje, vytváří až 4 m mocné polohy. Lze ho zařadit do skupiny křemenných doleritických bazaltů, které jsou na území Barrandienu poměrně vzácné (Fiala 1970). V nadloží této intruze jsou vyvinuty mocné polohy tufiticko-vápnitých břidlic s ojedinělými vápencovými konkrkami a graptolitovou faunou (Kříž 1992). Nad těmito polohami se vyskytují vulkanické tufy a tufity náležící k nejvyššímu wenlocku (Chlupáč 1993). Nadložní vrstvy nad těmito polohami jsou z velké části zasuceny (Kříž 1999). Některé partie však byly odkryty při hloubení sondy při výzkumu opěrného profilu k mezinárodnímu stratotypu hranice ludlow-přídolí (kopaninské a požárské souvrství) na přelomu 60. a 70. let (Kříž et al. 1993). Tato sonda zastihla nejvyšší polohy šedavých vápnitých břidlic s čočkami tmavých mikritických vápenců. Nad těmito vápnitými břidlicemi je vyvinuta 110 cm mocná vrstva nápadného hlavonožcovitého vápence (Kříž et al. 1993). Nadloží vápence tvoří cca. 10 m mocná poloha tmavě šedých deskovitých vápenců požárského souvrství (přídolí). Svrchní částí požárského souvrství a hranice se spodnovevonským lochkovským souvrstvím není zastížena v žádné části Branických skal (Chlupáč 1983).

Mladší uloženiny jsou zachovány v severní části lomu. Jedná se o spodní a střední polohy pražského souvrství, které jsou vyvinuty ve facii hlízatých mikritických dvorecko-prokopských vápenců (Prokop 1951). Tyto vápence tvoří hlavní stěny Branických lomů a představovaly nejdůležitější těženou surovinu z tohoto ložiska. Velmi názorně jsou odkryty vrstevní plochy porušené radiálními

poruchami a puklinami (Chlupáč 1993). Předpokládá se, že pod dvorecko-prokopskými vápenci je vyvinuta facie nepříliš mocných sliveneckých vápenců, případně i koněpruských vápenců, které však nejsou odkryty. Celková mocnost pražského souvrství není v této oblasti přesně určena, neboť zde není zastížen kontakt s podložními silurskými horninami, ale ani s nadložním zlíčovským souvrstvím (Kříž 1999). Mocnost těchto hornin však lze odvodit z okolní geologické stavby. Na protějším břehu Vltavy, v oblasti Barrandových skal, se mocnost pražského souvrství pohybuje kolem 180 m. V Branických lomech se předpokládá celková mocnost 120 až 180 m (Kříž 1999). Severním směrem jsou devonské horniny omezeny směrným zlomem, který tyto horniny odděluje od břidlic ordovického stáří. Tento zlom však není v žádném profilu zastížen (Chlupáč 1993).

4.5. Význam a ochrana Branických skal

Tato lokalita je významným geologickým a geomorfologickým objektem na území Prahy (Obr. 7). Jedná se o jednu z klasických paleontologických lokalit, ze které zřejmě pochází historicky první vyobrazené zbytky trilobitů v Čechách. Významný je též profil silurskými horninami, který umožňuje detailní studium hranic mezi wenlockem, ludlovem a přídolíím (Chlupáč 1993). V neposlední řadě je taktéž lom historickým dokladem těžby a zpracování vápenců na výrobu pražského hydraulického vápna, které bylo hojně užíváno na stavbách v Praze i zahraničí v minulém a předminulém století.



Obr. 7. Pohled na hlavní lomovou stěnu Branických skal.

5. METODIKA A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ

5.1. Odběr vzorků

Odběr studovaných vzorků byl proveden po zhodnocení jednotlivých vápenců a lokalit uvedených v předchozích kapitolách. Vzorky byly odebrány v září 2011 doc. Příkrylem. Vzhledem k ochraně celého komplexu Branických skal nebylo možné odebrat dostatečné množství vzorků přímo z hlavní lomové stěny. Jako zdroj vápenců, určených k jednotlivým analýzám, posloužil suťový materiál nacházející se pod hlavní lomovou stěnou. Konkrétně byly vzorky HPV/I/1 a HPV/I/2 odebrány z jižní části Branických lomů, vzorky HPV/I/3 a HPV/I/4 pak ze suti v severní části defilé skal. Celkově tak byly odebrány 4 vzorky vápenců, každý o přibližné hmotnosti 10 kg.

5.2. Základní principy použitých metod

Z odebraných vápenců byly připraveny vzorky určené k podrobnému zkoumání celou řadou metod a analýz. Záměrem bylo získat co nepřesnější údaje o zdrojových vápencích a o materiálu, který je po zpracování možný z těchto vápenců získat. Metodika a principy použitých metod jsou přiblíženy v této kapitole.

5.2.1. Petrografické zkoumání hornin

Účelem petrografického pozorování bylo určení přítomných minerálů a přeměn, zjištění vlastností, geneze a klasifikace zkoumaných hornin. Bylo provedeno makroskopickým a mikroskopickým pozorováním.

Makroskopické pozorování proběhlo na nezpracovaných odebraných vzorcích vápenců. Byly charakterizovány viditelné minerály, zrnitost, stavba, barva a přítomnost přeměn.

Mikroskopické zkoumání horninových výbrusů bylo provedeno na binokulárním mikroskopu Leica DMLP v laboratoři optické mikroskopie ÚGMNZ PřF UK. Při tomto pozorování byly určeny hlavní, vedlejší, akcesorické a sekundární minerály. Dále pak původ a charakter bioklastů, jejich tvar a velikost. Celkově byla popsána horninová stavba a pórový prostor pozorovaných hornin. Z těchto zjištěných charakteristik bylo určeno předpokládané prostředí vzniku a následná diageneze.

5.2.2. Stanovení nerozpustného zbytku

U vápenců a dalších karbonátových hornin není vhodné provádět kvalitativní a semi-quantitativní analýzu doprovodných nekarbonátových fází přímo ze vzorků neupravené horniny. Vzhledem k dominantnímu zastoupení kalcitu by ve výsledcích z rentgenové práškové analýzy byly značně potlačeny ostatní přítomné fáze, např. jílové minerály, fáze SiO_2 a živce. Řešení tohoto problému představuje přístup založený na odloužení karbonátů ze směsných vzorků pomocí různých kyselin.

Dále byl tedy analyzován pouze nerozpustný zbytek vzniklý loužením. Užití této metody je vhodné pro detailní studium kvalitativního složení výchozích vápenců.

5.2.3. Silikátová analýza

Silikátová analýza představuje významný zdroj informací o charakteristikách a celkové použitelnosti studovaných vápenců. Oxidické komponenty, které jsou hlavními nositeli hydraulických vlastností v materiálech hodnocených z pohledu výroby hydraulických vápen a přírodních cementů, jsou nejnadhěji kvantifikovány právě tímto typem analýzy.

Při silikátové analýze byl nejdříve proveden rozklad sintrací a vážkové stanovení SiO_2 . Zároveň tak byl získán zásobní roztok, ze kterého byly komplexometrickou titrací stanoveny obsahy oxidů Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO a MgO . Pomocí spektrofotometrie bylo následně zjištěno množství TiO_2 . Zásobní roztok získaný kyselým rozkladem, byl posloužit pro stanovení Na_2O a K_2O metodou plamenové atomové absorpční spektrometrie (AAS) a P_2O_5 spektrofotometrickým stanovením (Potts 1995). Obsah FeO byl určen ze samostatného rozkladu kyselinami potenciometrickou titrací. Vážkově byl zjištěn obsah CO_2 a síranů (SO_4^{2-}) po žihání na 1000°C (Johnson a Maxwell 1981).

Silikátová analýza byla provedena v chemické laboratoři geologických ústavů na PřF UK v Praze.

5.2.4. Experimentální výpaly

Vzorky z experimentálních výpalů představují nejvýznamnější zdroj zkoumaného materiálu v této diplomové práci. Jedná se o vzorky vápenců, které byly vypalovány v teplotním rozmezí 850 až 1200°C . V těchto podmínkách docházelo ve studovaném materiálu k fázovým změnám a tvorbě nových složek typických pro hydraulická vápna či přírodní cementy.

Výpal materiálu byl prováděn v chemické laboratoři ÚGMNZ PřF UK v Praze v elektrické peci firmy Clasic, typ 0612 Van se jmenným výkonem 2000 W. Tento typ pece neumožňoval automaticky naprogramovat průběh výpalu. Bylo tedy nutné výpal řídit a regulovat ručně. Teploty, za kterých byl materiál vypalován, byly stanoveny na 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150 a 1200°C . Před dosažením požadované teploty byl kontinuální teplotní nárůst zajištěn ruční regulací krokem po 50°C . Doba výpalu probíhala u všech vzorků po dobu 3 hodin.

U vzorků vápenců byly při experimentálním výpalu rozlišovány dvě různé zrnitostní frakce. Jemná frakce byla namleta na analytickou jemnost (velikost částic přibližně $500\ \mu\text{m}$), hrubá frakce byla nadrcena na velikost částic od 1,25 do 3 mm.

Materiál, který vznikl experimentálním výpalem, byl dále analyzován rentgenovou práškovou difrakcí. Touto metodou tak bylo zjištěno přesné fázové a přibližné semi-kvantitativní složení směsi vypáleného materiálu.

5.2.5. Rentgenová prášková difrakce

Rentgenová prášková difrakce (RTG) je nedestruktivní analytická metoda používaná při strukturní identifikaci pevných krystalických látek (Kraus 1985). Tato metoda je založena na identifikaci krystalových ploch na základě měření zesílených intenzit (difrakčních maxim) odraženého rentgenového záření. Analyzuje se práškový preparát, ve kterém je v ideálním případě přítomno nekonečné množství zcela nahodile orientovaných částic. K odrazu rentgenového záření dochází, pokud jsou splněny geometrické podmínky mezi svazkem dopadajícího záření a orientací struktury krystalu. Ty jsou dány elementární Braggovou rovnicí, popisující difrakční jev (Tab. 2), nebo soustavou tří vzájemně ekvivalentních Launeho rovnic (Kraus 1985).

Tab. 2. Braggova rovnice popisující difrakční jev (Rieder 1994).

$2d \ hkl \ \sin \Theta = n\lambda$
d – meziorovinné vzdálenosti (Å), indexy h, k, l – Millerovy symboly, Θ – difrakční úhel (theta), n – řád difrakce, λ – vlnová délka rentgenového záření (Å)

Každá krystalová struktura má jedinečnou stavbu krystalových ploch. Poskytuje tak unikátní difrakční záznam. Ten je vyjadřován tzv. difraktogramem, který je zobrazením četnosti impulzů detekovaného záření v závislosti na difrakčním úhlu 2θ . Z intenzity a polohy jednotlivých difrakčních maxim je pak možné vypočítat mřížkové parametry buňky, určit meziovinové vzdálenosti a především identifikovat fázové složení vzorku. Vlastní analýza pak spočívá ve srovnávání difrakčních obrazů s vybranou databází minerálů a dalších fází a jejich postupným určováním ve vzorku. Pokud vzorek obsahuje větší množství krystalových fází, nazývá se jejich identifikace kvalitativní fázovou analýzou. Významnou roli při této analýze představují doplňkové informace o barvě, tvaru a velikosti krystalických fází, fyzikálních vlastnostech a především chemické prvkové analýze vzorku. Znalost alespoň přibližného chemického složení výrazně upřesní možné interpretace fází přítomných ve vzorku (Fiala 1994).

Při kvantitativní fázové analýze se vychází z měření integrální intenzity (plochy pod příslušným difrakčním záznamem), která je úměrná koncentraci příslušné minerální fáze v analyzovaném vzorku. Tato intenzita difrakčních linií závisí na struktuře základní buňky, parametrech experimentálního zařízení, tvarech, rozměrech a charakteru povrchu vzorku a jeho reálné krystalové struktuře, tedy na velikosti, poruchách a uspořádání mozaikových bloků a textuře polykrystalického agregátu (Fiala 1994). Při kvantitativním určování je hlavním zdrojem chyb závislost intenzity na reálné krystalové struktuře. Tento problém lze vyřešit vhodnou separací (jemnozrnnost, izotropie) a proměřením co největšího množství difrakčních linií každé fáze přítomného vzorku (Fiala 1994). Výsledná chyba ve stanovení se pak pohybuje od 1 do 10 %.

Podle způsobu určování závislosti koncentrace dané fáze a intenzity jejich difrakcí v analyzovaném vzorku, se rozlišují tři základní metody kvantitativní difrakční fázové analýzy, a to: metoda s vnějším standardem, metoda s vnitřním standardem a tzv. bezstandardová metoda (Fiala 1994). Pro svoji jednoduchost a účelnost je nejčastěji při kvantitativní analýze využívána bezstandardová metoda.

Polykrystalický materiál bývá složen z velkého počtu malých, nezávisle difraktujících krystalů, které mají zcela nahodilou orientaci. Citlivost analýzy je dána nejmenším množstvím fází ve vzorku, které postačuje k vytvoření difrakčního spektra. Někdy bývá citlivost i kvantitativní výpočet ovlivněny přednostní orientací krystalů. Přednostně jsou orientovány ty minerály, které mají tabulkový habitus či vrstevnaté struktury. Tato vlastnost bývá cíleně využívána k identifikaci některých specifických fází, např. jílových minerálů.

Semi-quantitativní analýza, která byla v této práci využita, je založena na znalosti tzv. korundového čísla. Toto číslo závisí na tzv. intenzitních faktorech jednotlivých fází. Je experimentálně odvozeno od nejsilnější linie ve směsi studované fáze a korundu (v poměru 50 : 50), slouží tak jako referenční záznam (Pecharsky a Zavalij 2009). Díky relativní intenzitě linií každé fáze a tomuto číslu je pak v reálných vzorcích pomocí příslušného vyhodnocovacího programu možné provést porovnání intenzit jednotlivých fází a určit kvantitativní zastoupení složek v dané směsi. Toto určení však není zcela přesné, a to především ve špatně krystalických látkách (Pecharsky a Zavalij 2009). Přináší pouze přibližný odhad o množství přítomných fází. Jedná se tedy o formu semi-quantitativní analýzy.

Rentgenová difrakční analýza (RTG) byla v této diplomové práci využita pro kvalitativní a semi-quantitativní analýzu 64 vzorků z experimentálních výpalů a 32 vzorků nerozpustných zbytků.

RTG analýza byla provedena na difraktometru PANalytical X'Pert Pro vybaveného monochromátorem X'Celerator s multikanálovým detektorem (Drahota et al. 2009). Podmínky měření byly následující: Cu katoda α , 40 kV, 30 mA, krok měření $0,05^\circ/200$ s v úhlu $2,99 - 70^\circ 2\theta$.

Výsledné difraktogramy byly zpracovány a vyhodnoceny v programu X'Pert High Score 1.0d obsahující fázovou databázi JCPDS PDF-2.

5.2.6. Katodová luminiscence

Termínem katodová luminiscence je označována emise viditelného světla, která je vyvolána dopadem proudu urychlených elektronů na horninový vzorek (Barbin et al. 1992). Působením elektronů na minerály ve vzorku vede ke vzniku fotonů v široké oblasti ultrafialového, viditelného a infračerveného záření. Jako důsledek srážky fotonů s minerály, vznikají čtyři základní typy interakcí. Některé fotony se přímo odráží od povrchu minerálů, u dalších dojde k lomu, jiné jsou minerálem absorbovány a další procházejí minerálem bez zjevné interakce (Pagel et al. 2000).

Chemické prvky obsažené v minerálech výrazně ovlivňují katodoluminiscenční jev. Podle jejich účinků je lze rozdělit na tzv. aktivátory, stabilizátory a zhašedla. Aktivátory katodoluminiscenčního jevu jsou stopové prvky (tranzitní kovy, prvky vzácných zemin a aktinoidy) obsažené v krystalové mřížce daného minerálu. Velký význam má pak celková symetrie a valence atomu daného prvku.

Katodová luminiscence představuje důležitou metodu při pozorování nejrůznějších typů hornin. Velmi významné je pak především při pozorování karbonátových hornin. Katodovou luminiscencí lze studovat petrografické vlastnosti sedimentárních i hydrotermálních karbonátů. Pomocí luminiscenční zonálnosti lze určovat stratigrafii přítomných tmelů. Velmi dobře taktéž lze identifikovat některé fosílie. Při kombinaci katodové luminiscence a vybraných geochemických metod (analýza stabilních izotopů, měření fluidních inkluzí, paleomagnetická měření) lze zjistit celou řadu informací, např. salinitu, teplotu, Eh či směr toku původních roztoků (Machel 2000). Pomocí katodové luminiscence lze poměrně přesně odlišit kalcitovou a dolomitovou složku v pozorované hornině a dobře rozlišovat jednotlivé karbonátové generace (Houzar a Leichmann 2003).

Jak bylo výše zmíněno, lze rozlišovat tři typy prvků, které výrazně ovlivňují luminiscenci studovaných hornin. Tyto prvky s charakteristickou funkcí aktivátorů, stabilizátorů a zhašedel lze rozlišit i u karbonátů.

Nejvýznamnější aktivátory katodové luminiscence u karbonátů jsou Mn^{2+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} a Eu^{3+} . Jejich minimální efektivní koncentrace v kalcitu a dolomitu je více než 10 – 20 ppm. Mezi stabilizátory patří především Pb^{2+} a Ce^{3+} v koncentracích převyšujících 10 ppm. Nejvýznamnějšími zhašedly pak jsou Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} a Co^{2+} v minimálních koncentracích 30 – 35 ppm (Machel 2000).

Další faktor, který výrazně ovlivňuje intenzitu katodové luminiscence u karbonátových hornin, je zonálnost (Machel 2000). Jsou definovány čtyři základní typy zónování karbonátů, a to jednoduché koncentrické zónování, oscilační zónování, sektorové zónování a vnitřně sektorové zónování (Machel 2000). Ty vznikají za různých podmínek v průběhu růstu krystalu. Studium zonálnosti karbonátů lze využívat jako zdroj informací o sekvenční stratigrafii a původním složení roztoků.

Luminiscence karbonátů bývá značně ovlivněna přemístěním, resedimentací a rekrystalizací. Při těchto procesech dochází k porušení a vymazání růstových zón v kystaloch (Machel 2000). Značný vliv má taktéž celková geochemie vodního prostředí a distribuční koeficienty (Pagel et al. 2000).

Zařízení, umožňující pozorování katodové luminiscence, se dělí podle budící energie na tzv. „studené“ a „horké“ katody. „Studené“ katody jsou připojovány k optickým mikroskopům. „Horké“ katody pracují ve spojení se skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM) nebo transmisním mikroskopem (TEM).

Výstupními daty z horké katody je katodoluminiscenční emisní spektrum, tedy závislost vlnové délky na intenzitě dané difrakce. Z těchto dat pak lze zjistit údaje o charakteru atomů dané fáze. Pomocí studené katody je vzorek pozorován v optickém mikroskopu a podle luminiscenčních barev, které jsou dány rozdílnými druhy přítomných aktivátorů, jsou rozpoznávány jednotlivé minerální fáze. Zjednodušeně platí, že v případě přítomnosti aktivátoru Mn^{2+} je u karbonátů pozorována oranžově zbarvená luminiscence, v případě přítomnosti většího množství Fe^{2+} či Fe^{3+} je luminiscence nevýrazná, případně není pozorována žádná (Machel 2000).

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 14,3 – 14,7 kV a proud 323 – 349 μ A. Výsledný barevný obraz byl zachycen digitálním fotoaparátem Olympus C-2000 Z s nastavením dlouhé expozice, při zvětšení objektivu 5x, 10x nebo 20x.

Účelem studia katodové luminiscence bylo především detailní pozorování vybraných mikrofosilií a jejich následné určení. Dále byla katodová luminiscence použita pro pozorování kalcitových tmelů a karbonátových zrn a rozlišení kalcitové a dolomitové složky. Taktéž posloužila pro identifikaci některých nekarbonátových minerálů zastižených ve výbrusech (např. živců).

5.3. Příprava a zpracování vzorků

5.3.1. Vzorky pro petrografické zkoumání a pozorování pomocí katodové luminiscence

Pro petrografické pozorování hornin pod mikroskopem byly zhotoveny zakryté výbrusy o rozměrech 1 x 2 cm. Výchozím materiálem byly čerstvé nezvětralé vápence. V případě přítomnosti kalcitových žilek či jiných významných struktur byl výbrus zhotoven tak, aby danou strukturu zastihnul.

Katodová luminiscence byla pozorována na leštěných nezakrytých výbrusech určených speciálně pro katodoluminiscenční pozorování. Pro tyto účely nebylo možné využít klasické zakryté výbrusy používané při mikroskopickém pozorování, neboť by zde nebyla zajištěna vzájemná interakce elektronů a horniny, která vede ke vzniku katodové luminiscence.

Zakryté i nezakryté výbrusy byly zhotoveny z odebraných vzorků vápenců v brusárně České geologické služby v Praze na Barrandově.

5.3.2. Vzorky pro získání nerozpustného zbytku

Na přípravu nerozpustných zbytků byly použity části odebraných vzorků horniny, které byly upraveny v drtárně ÚGMNZ PřF UK v Praze. Zde byly na velkém čelistovém drtiči primárně drceny úlomky vápenců na frakci 2 – 3 cm. Tento materiál byl sekundárně a terciárně drcen v menším typu čelistového drtiče na frakci do 3 mm. Následně byl materiál zpracováván mletím ve vibračním mlýnu po dobu 30 minut.

Samotné loužení bylo uskutečněno v geochemické laboratoři ÚGMNZ PřF UK v Praze. Jemně rozetřené vzorky o analytické jemnosti byly naváženy na hmotnost 4 g do skleněných kádinek. K nim bylo následně přidáno 400 ml 1 M roztoku kyseliny chlorovodíkové (HCl) nebo octové (CH₃COOH), tedy 1 g vzorku na 100 ml roztoku. Loužení dvěma různými druhy kyselin bylo provedeno z důvodu kontroly vlivu kyselin na materiál a s ním spjaté množství nerozpustného zbytku. Loužení probíhalo za občasného promíchávání po dobu 12 hodin.

Doba vyloužení veškerého kalcitu, který byl ve vzorcích obsažen, byla stanovena ověřovacím pokusem na vzorku HPV I 3 (Tab. 3). Tímto způsobem bylo zjištěno, že pro rozpuštění kalcitu přítomného ve vzorcích postačuje doba loužení 8 hodin. Z pokusu vyplývá, že i po delších časových intervalech se procentuelní zastoupení nerozpustného zbytku dále neměnilo. Absence kalcitu ve vyloužených zbytcích byla potvrzena i rentgenovou difrakcí. Doba loužení 12 hodin byla v této diplomové práci prováděna především vzhledem ke vhodné návaznosti na další procedury a analýzy.

Tab. 3. Změny hmotnosti nerozpustného zbytku při ověřovacím pokusu na vzorku HPV/I/3.

Druh kyseliny	Hmotnost vzorku před loužením (g)	Doba loužení (h)	Hmotnost vzorku po loužení (g)	Hmotnostní úbytek (%)
HCl	4,001	8	0,679	83,029
HCl	4,003	10	0,685	82,887
HCl	4,000	12	0,681	82,975
HCl	4,001	14	0,678	83,054
HCl	4,002	16	0,683	82,933
CH ₃ COOH	4,002	8	0,685	82,883
CH ₃ COOH	4,000	10	0,687	82,825
CH ₃ COOH	4,001	12	0,684	82,904
CH ₃ COOH	4,003	14	0,691	82,738
CH ₃ COOH	4,002	16	0,689	82,784

Po dvanácti hodinách loužení byly vzorky odstředěny a promyty destilovanou vodou. Tímto způsobem byly odstraněny vzniklé chloridy. Po usazení nerozpustného zbytku a odsátí destilované vody byly vzorky filtrovány na laboratorním odsávacím zařízení přes filtrační papír. Takto upravené vzorky byly vysušeny do konstantní hmotnosti a dále analyzovány pomocí rentgenové práškové analýzy.

5.3.3. Vzorky pro silikátovou analýzu

Vzorky určené na tuto analýzu byly připraveny v drtárně ÚGMNZ PŘF UK v Praze. Vápencový materiál byl nejdříve nadrcen v čelistových drtičích a následně namlet na analytickou jemnost. Nadrcený a namletý materiál byl kvartován a vážen na vzorky o hmotnosti 15 g. Pro zvýšení jemnosti byl materiál následně přetřen v achátové misce z důvodu odstranění všech přítomných hrubších částic.

5.3.4. Vzorky pro experimentální výpal

Vzorky vápenců pro experimentální výpal byly připravovány obdobným způsobem, jako vzorky pro silikátovou analýzu. Vápence však byly upravovány na dvě odlišné zrnitostní frakce. Hrubá frakce byla pouze drcena, a to ve dvou typech čelistových drtičů na zrna velká 0,1 – 0,3 mm. Jemná frakce byla navíc mleta ve vibračním mlýnu na analytickou jemnost. Výsledný nakvartovaný materiál byl vážen na hmotnost kolem 2 g a následně vypalován v platinových miskách v elektrické peci po dobu 3 hodin. Hrubá i jemná frakce byly vypalovány odděleně.

Po skončení výpalu byly misky s vypálenými vzorky umístěny do desikátoru, kde vychladly na laboratorní teplotu. Následně byly vzorky váženy, aby byl zjištěn hmotnostní úbytek materiálu způsobený výpalem.

5.3.5. Vzorky pro rentgenovou práškovou analýzu

Vzorky pro tento typ analýzy pocházejí z výše uvedených experimentálních výpalů a z loužení v kyselinách. V obou případech byly všechny vzorky, z důvodu zajištění homogenity a analytické jemnosti nutné ke kvalitní RTG analýze, přetřeny v achátové misce.

6. VÝSLEDKY

6.1. Petrografické vlastnosti hornin

Petrografický výzkum vzorků proběhl makroskopickým a mikroskopickým pozorováním na nezpracovaných horninách, resp. na horninových zakrytých výbrusech. Byly určeny základní vlastnosti a charakteristiky zkoumaných vápenců.

6.1.1. Makroskopické pozorování

Pozorované vápence jsou zpevněné masivní horniny. Mají většinou šedou až šedobílou barvu, místy přecházející do světle hnědé až béžové. Na žádném ze vzorků není makroskopicky patrná laminace. Základní hmota pozorovaných vápenců je tvořena jemnozrnným šedavým materiálem – mikritem, s příměsí jílových minerálů, jejichž přítomnost byla ověřena dalšími analytickými metodami. V základní hmotě lze dále pozorovat drobné fragmenty bioklastů. Ty jsou patrné především díky své tmavší šedé až šedočerné barvě. Často bývají výrazně protažené a vytváří nevelké shluky. Jejich velikost obvykle nepřesahuje 1 mm. V některých vzorcích se vyskytují i makroskopicky pozorovatelná zrnka čirého kalcitu velká do 0,5 mm. Zkoumané vápence protínají četné žilky vyplněné kalcitem. Vznikly v místech křehkého porušení hornin. Barva kalcitu je čirá, místy bělavá. Některé partie hornin jsou lehce navětralé.

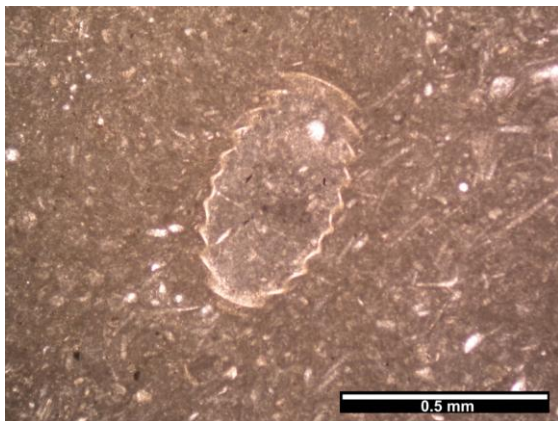
6.1.2. Mikroskopické pozorování

Při mikroskopickém pozorování byly ve zkoumaných vzorcích rozlišeny jednotlivé stavební komponenty. Ve všech vápencích převládá mikrit, který tvoří základní hmotu. Dále byly pozorovány různé bioklasty, kalcitové a křemenné klasty, druhotný sparitový tmel a jílové minerály. Výjimečně bylo možné pozorovat i zbytky organické hmoty, Fe oxidy a další opakní minerály.

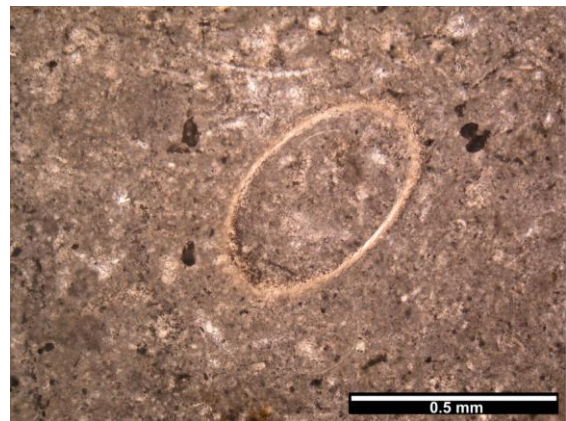
Základní hmota (matrix) je u pozorovaných vápenců tvořena jemnozrnným **mikritem**. Jedná se o homogenní materiál tvořený drobnými zrnky kalcitu, místy s příměsí jílového materiálu. Mikrit vyplňuje mezizrnový prostor mezi ostatními klasty, případně tvoří vnitřní výplň u některých bioklastů. Velikost mikritových zrn není možné přesně rozlišit, nepřesahuje však 10 μm . Mikrit má většinou monotónní šedou až světle šedou barvu. V některých vápencích, především pak ve vzorku HPV/1/2 vytváří větší shluky, tzv. „mikritové nodule“. Ty se liší od svého okolí především tmavším zbarvením. Pravděpodobně se jedná o lehce odlišný materiál vzniklý během sedimentace a následného zpevňování horniny. Celkově tvoří mikrit ve všech vzorcích přibližně polovinu, častěji však nadpoloviční většinu celkového objemu horniny. Jeho přítomnost značně závisí na prostředí, ve kterém hornina vznikala (Hladil 1996). V klidném prostředí o nízké energii procesů vznikají vápence bohaté na mikritovou hmotu (Petránek 1963). V prostředí s vysokou energií pak mnohdy nedochází k usazování mikritické hmoty, nebo je následně z horniny vymyta (Petránek 1963). Různé změny v zastoupení mikritu mohou zapříčinit i následné diagenetické procesy, ale i tak lze z jeho přítomnosti získat poměrně přesnou představu o prostředí vzniku horniny (Tucker 2001).

Bioklasty tvoří hlavní detritickou složku pozorovaných vápenců. Jedná se o pozůstatky drobných živočichů, méně pak o zbytky vápnitých řas. Z bioklastů jsou ve zkoumaných horninách zachovány celé schránky živočichů, nebo častěji jen fragmenty jejich těl a krunýřů. Velikost bioklastů je značně variabilní a liší se mezi jednotlivými skupinami živočichů. Nejmenší úlomky bioklastů mají 100 μm , největší pak až 1500 μm . Jejich celkové zastoupení se obvykle pohybuje mezi 20 – 35 obj. %. Bioklasty se v hornině vyskytují nahodile, případně vytvářejí větší shluky.

Mezi pozorovanými bioklasty mají dominantní zastoupení tentakuliti (*dacryoconarida*). Ve zkoumaných výbrusech jsou většinou zachyceny příčné či podélné průřezy jejich schránkami. Orientačně byly rozlišeny dva rody tentakulitů, a to *Nowakia?* sp. s rýhovaným povrchem schránky, typický především pro vzorek HPV/I/1 (Obr. 8) a *Styliolina?* sp. s hladkým povrchem převažující v ostatních výbrusech (Obr. 9). Pozůstatky tentakulitů se vyskytují ve vzorcích přibližně ve 30 – 35 % z celkového množství bioklastů. Další významnou skupinou pozorovaných živočichů jsou ortokonní hlavonožci. Jejich schránky jsou obvykle zachyceny v dlouhých průřezích (Obr. 10). Vyskytují se obvykle v 10 – 20 % z celkového množství bioklastů. Výrazné srdcovité schránky ostrakodů (lasturnatek) bývají často vyplněny novotvořeným kalcitovým tmelem – sparitem (Obr. 11). Jejich zastoupení mezi bioklasty taktéž kolísá mezi 10 – 20 %. Gastropodi (plži) představují přibližně 10 – 15 % pozorovaných bioklastů. Jedná se převážně o velké fragmenty schránek (Obr. 12). Poměrně významné je taktéž zastoupení článků trilobitů (Obr. 13) a dalších fragmentů (Obr. 14). Vyskytují se v množství do 10 % z celkového množství bioklastů. Jsou často zachyceny průřezy jejich krunýři, nebo jen fragmenty jejich článků. Z ostatních skupin byly ve výbrusech zjištěny pozůstatky krinoidů (lilijic) (Obr. 15), brachiopodů (ramenonožců) a jehlic hub. Některé fragmenty bioklastů jsou vlivem sedimentačních a pozdějších diagenetických procesů natolik fragmentovány, že není možné přesněji určit jejich původ. Obvykle se jedná o 20 – 30 % všech bioklastů v každém vzorku.



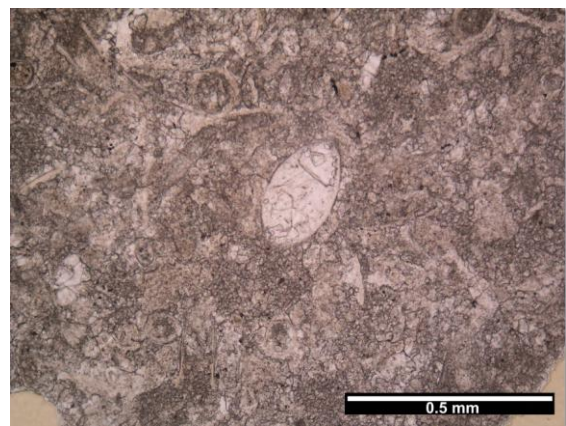
Obr. 8. Průřez schránkou tentakulita *Nowakia?* sp. obklopeného jemnozrnným mikritem (vzorek HPV/I/1).



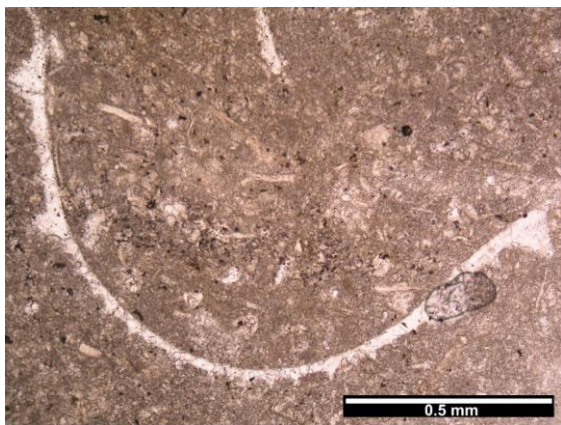
Obr. 9. Průřez schránkou tentakulita *Styliolina?* sp. v jemnozrnné základní mikritické hmotě (vzorek HPV/I/2).



Obr. 10. Protáhlý úlomek ze schránky ortokonního hlavonožce (cephalopoda) (vzorek HPV/I/3).



Obr. 11. Vzorek HPV/I/3. Ostrakod (lasturnatka) vyplněný sparitovým tmelem (vzorek HPV/I/3).



Obr. 12. Úlomek kalcitové schránky gastropoda (plže) (vzorek HPV/I/2).



Obr. 13. Průřez článkem těla trilobita (vzorek HPV/I/4).



Obr. 14. Průřez zachycující oko trilobita (vzorek HPV/I/3).

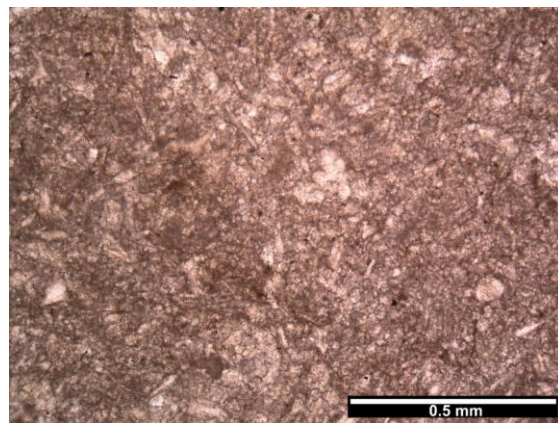


Obr. 15. Článek z ramene krinoida (lilijice) (vzorek HPV/I/1).

Přechod mezi detritickým a diagenetickým materiálem představují **kalcitová zrna**. Některá zřejmě sedimentovala společně s bioklasty a mikritem v rané fázi vývoje sedimentu jako klastický materiál (Obr. 16). Další však vznikla při pozdější diagenезi vysrážením kalcitových tmelů ve volném pórovém prostoru horniny (Obr. 17). Kalcitová zrna se objevují především ve vzorcích HPV/I/1 a HPV/I/4, méně pak i ve vzorku HPV/I/3. Spíše klastický charakter mají zrna ve vzorku HPV/I/4, diagenetický původ mají kalcity ze vzorků HPV/I/1 a HPV/I/3. Silně alkalické prostředí, ve kterém hornina vznikala, zapříčinilo mírné „naleptání“ okrajů těchto zrn. Velikost zrn se pohybuje v rozmezí 50 – 200 μm . Celkově se ve výbrusech vyskytují v množství do 5 – 10 obj. %.

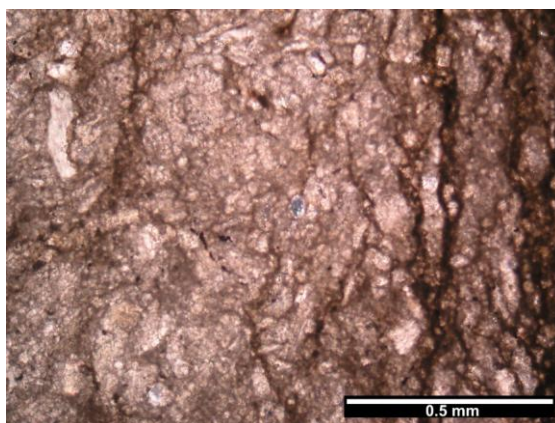


Obr. 16. Shluk kalcitových zrn (vpravo nahoře) v jemnozrnném mikritu, pozorováno ve zkřížených nikolech (vzorek HPV/I/3).



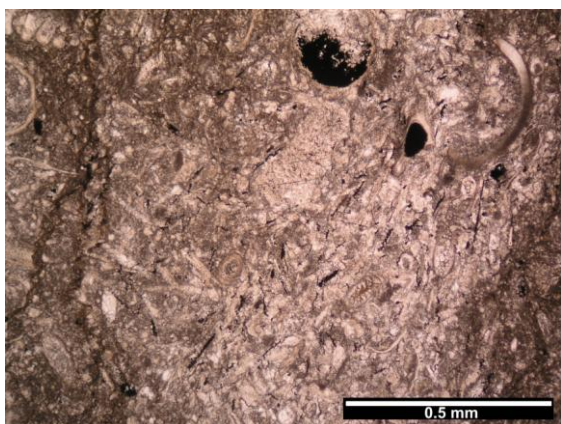
Obr. 17. Shluk zrn kalcitu (uprostřed) obklopených drobnými úlomky bioklastů a mikritickou základní hmotou (vzorek HPV/I/1).

Drobná zrnka **křemene** jsou patrná pouze ve vzorku HPV/I/4, méně pak i ve vzorku HPV/I/3. Jedná se o malá oválná klastická zrna (Obr. 18). Jejich velikost nepřesahuje 100 μm . Ve výbrusech jsou akumulována především do okolí diagenetických stylolitů a švů tlakového rozpouštění. Jedná se zřejmě o zrnka prachového křemene transportovaného do prostředí sedimentační pánve eolickými procesy. Množství těchto klastů se ve výbrusech pohybuje do 2 – 5 obj. %.

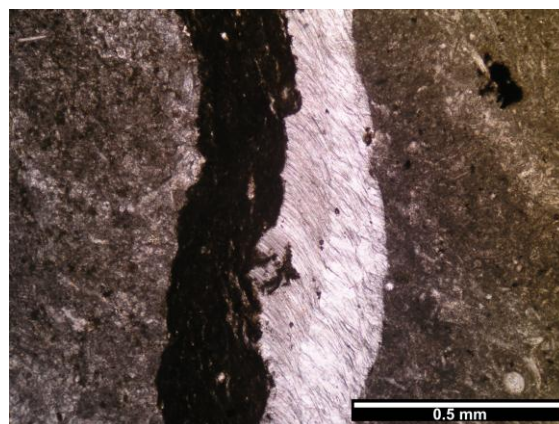


Obr. 18. Malé oválné zrnko eolického křemene (uprostřed), pozorováno ve zkřížených nikolech (vzorek HPV/I/4).

Nejvýznamnější diagenetickou komponentou zastoupenou ve studovaných vápencích je sekundární tmel **sparit**. Ve výbrusech se vyskytuje ve dvou formách. Stejnozrnný mezizrnový sparit lze pozorovat mezi bioklasty, mikritem a dalšími horninovými složkami (Obr. 19). Někdy vytváří větší shluky v základní hmotě. Často vyplňuje prostory uvnitř bioklastů, případně kolem nich vytváří izopachové nárůsty. Jeho drobné kalcitové krystalky jsou velké max. 50 μm . Vlákňitý sparit se vyskytuje především kolem stylolitů a švů tlakového rozpouštění (Obr. 20). Je typický především pro vzorek HPV/I/4, méně často se vyskytuje i ve vzorku HPV/I/3. Sekundární sparit taktéž tvoří kalcitovou výplň žilek, které vznikly křehkou deformací při pozdější diagenézi. V pozorovaných vápencích se sparit obvykle vyskytuje v množství 15 – 25 obj. %. V některých partiích je jeho zastoupení nižší, přibližně 5 obj. %.



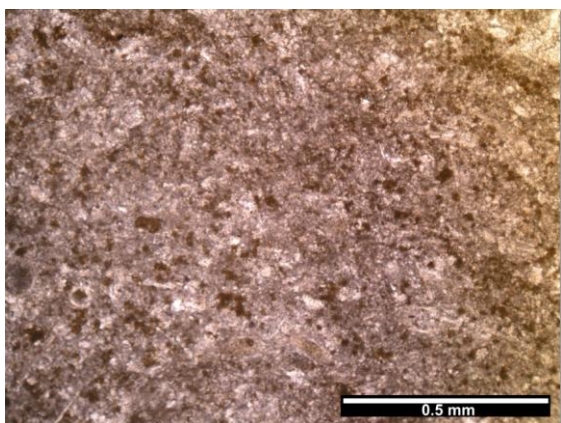
Obr. 19. Stejnzrný sparitový tmel mezi fragmenty bioklastů (vzorek HPV/I/1).



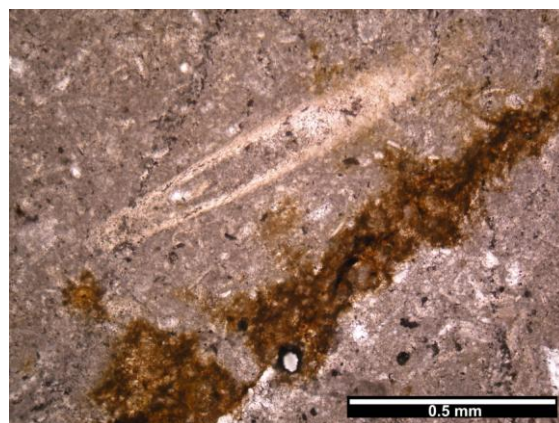
Obr. 20. Vlákňitý sparit vytvořený kolem švu tlakového rozpouštění (vzorek HPV/I/4).

Jílové minerály vytváří v hornině menší shluky (Obr. 21). Jedná se o polohy jemného žlutohnědého až zlatavě zbarveného materiálu. Vyskytují se především podél stylolitů a švů tlakového rozpouštění (Obr. 22). V menší míře jsou mikroskopicky rozlišitelné i v základní hmotě. Nejčastěji je lze pozorovat ve výbrusech vzorků HPV/I/4 a HPV/I/3. Množství tohoto materiálu lze pomocí mikroskopického pozorování odhadnout na 2 – 6 obj. %. V některých partiích tvoří výjimečně až 15 obj. % všech složek.

Ve výbrusu HPV/I/4, konkrétně v oblastech kolem stylolitů a švů tlakového rozpouštění jsou místy patrné tmavé pozůstatky po **organické hmotě a pyritu**. Akcesoricky se zde vyskytují i drobné **opakní minerály**. Tyto složky byly ve výbrusech potvrzeny kontrolní elektronovou mikroskopií (EDS).



Obr. 21. Drobné shluky zlatavě zbarvených jílových a opakních minerálů v mikritické základní hmotě (vzorek HPV/I/4).

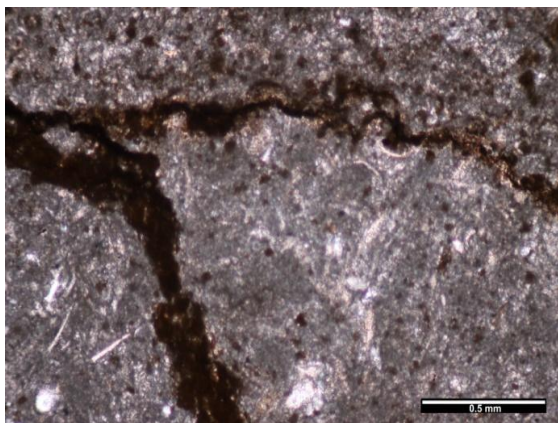


Obr. 22. Enkláva zlatavě zbarveného materiálu s výskytem jílových a opakních minerálů. (vzorek HPV/I/2).

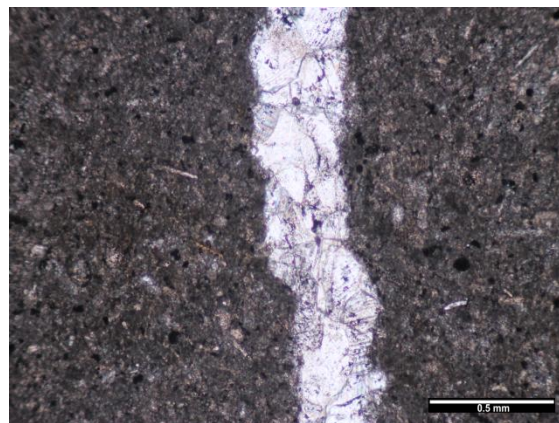
Některé partie výbrusů mají vzájemně poměrně rozdílné zastoupení jednotlivých komponent. Jedná se především o vzorek HPV/I/4. Tato charakteristika byla zapříčiněna především složením horniny a působením pozdější kompakce. Původně měla hornina v každé části lehce odlišné složení. V partiích bohatších na bioklasty probíhalo intenzivnější tmelení, které zapříčinilo vyšší tvrdost materiálu a vyšší odolnost vůči pozdější deformaci. Tyto partie jsou také charakteristické světlejším zbarvením.

V částech horniny s převahou mikritu neprobíhalo tmelení tak intenzivní. Tyto partie následně méně odolávaly deformačním procesům. Tmavší barva těchto oblastí byla způsobena primárním nabohacením o nerozpustné zbytky a jílové minerály. Následné působení tlaků zapříčinilo ještě větší koncentraci tmavších složek do měkčích částí horniny, její zprohýbání a deformaci. Kontrast mezi světlejší tmelenou a tmavou netmelenou partií se tím ještě více zvýraznil.

Ve studovaných vzorcích vápenců bylo zaznamenáno několik druhů přeměn a neomorfismů, které vznikly v důsledku různých diagenetických pochodů. Lze pozorovat přechody mikritu na mikrosparit až sparit, případně pak větší zrna kalcitu. Původní slabě laminovaná stavba vápenců je zprohýbána do švů tlakového rozpouštění a stylolitů (Obr. 23). Na těchto plochách je pak koncentrován nerozpustný materiál. Často patrné jsou taktéž pozůstatky tlakového rozpouštění. Po zpevnění byly pozorované horniny křehce porušeny. Vznikly tak extenzní pukliny, které byly následně vyplněny kalcitovým materiálem (Obr. 24). Výsledné kalcitové žilky jsou typické především pro vzorek HPV/I/2. Výjimečně se v některých žilkách vyskytuje kromě kalcitové i křemenná výplň. Tyto křehké deformace vznikly při pohřbení pravděpodobně během variských procesů.



Obr. 23. Šev tlakového rozpouštění vyplněný jílovými minerály (vzorek HPV/I/4).



Obr. 24. Křehká porucha vyplněná druhotným sparitem (vzorek HPV/I/2).

Detailní petrografický popis jednotlivých vzorků a další mikrofotografie z optického pozorování jsou uvedeny v příloze III.

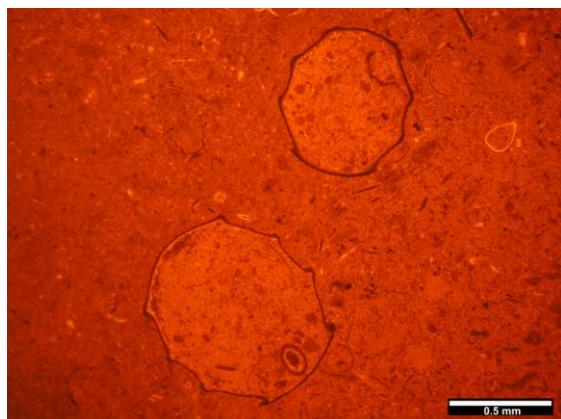
6.2. Katodová luminiscence

Pomocí katodové luminiscence byly na leštěných výbrusech podrobně zkoumány struktury a komponenty, které nebyly v běžném optickém mikroskopu příliš patrné.

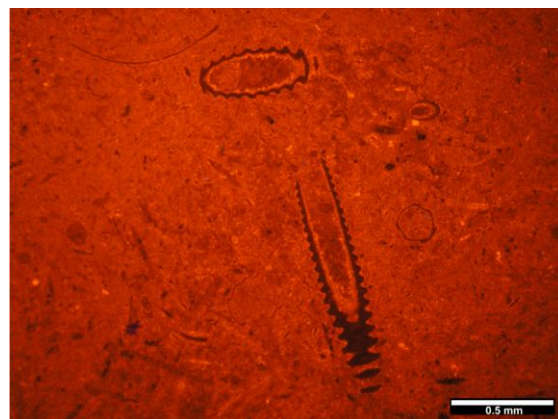
Jemnozrná základní hmota – mikrit, je ve všech vzorcích charakteristická jasně oranžovou luminiscenční barvou, která svědčí o přítomnosti Mn^{2+} . Shluky mikritu, které lze pozorovat především ve výbrusu HPV/I/2, jsou typické tmavším odstínem oranžové luminiscence. Hrubozrnější partie horniny, stejně tak i sparitický tmel, se vyznačují světlejšími odstíny oranžové luminiscence. V základní hmotě jsou tedy přechody jemnozrného a hrubozrného materiálu jasně patrné. Tmavší luminiscence základní hmoty byla pozorována u vzorků HPV/I/3 a HPV/I/4. V těchto horninách převažovaly spíše tmavší odstíny oranžové barvy.

Z jasně luminiskující základní hmoty výrazně vystupují velké bioklasty. Tyto komponenty jsou většinou tmavé, nevykazují žádný druh luminiscence. Jedná se především o různé fragmenty a celé schránky tentakulitů (*dacryoconarida*) (Obr. 25 – 28). Pozůstatky těchto živočichů převládají ve všech

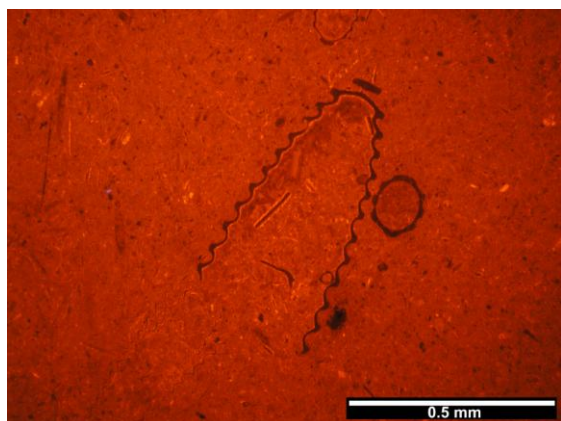
výbrusech. V hojném množství lze dále pozorovat fragmenty brachiopodů (ramenonožců) a trilobitů. Pozůstatky schránek ostrakodů (lasturnatek), gastropodů (mlžů) a cephalopodů (hlavonožců) bývají složeny z nově vykrystalizovaného sparitu. Jsou tedy charakteristické světle oranžovou luminiscencí. Výplň bioklastů je často mikritická základní hmota nebo sparitický tmel.



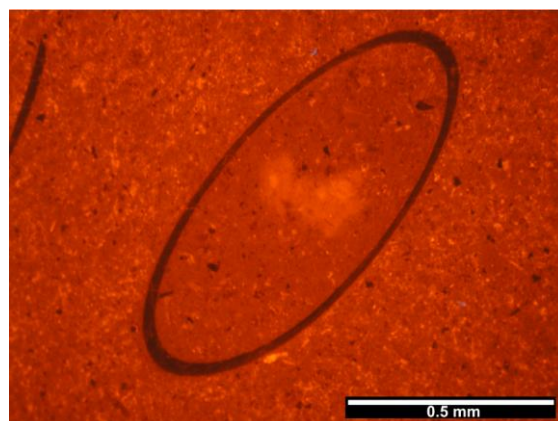
Obr. 25. Dvojice schránek tentakulitů *Nowakia?* sp. v jemnozrnném mikritu (vzorek HPV/I/1).



Obr. 26. Dvě chránky tentakulitů *Nowakia?* sp. v jemnozrnné základní hmotě (vzorek HPV/I/1).

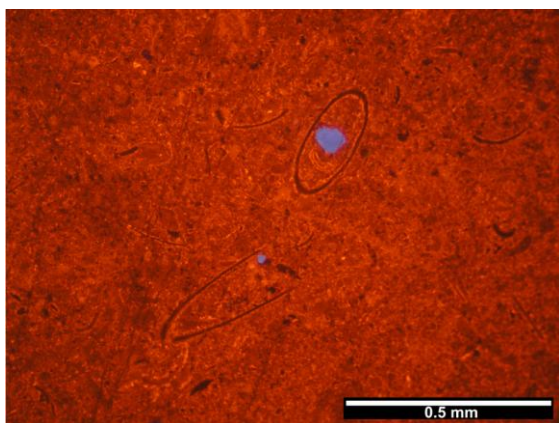


Obr. 27. Průřez schránkou tentakulita *Nowakia?* sp. (vzorek HPV/I/1).

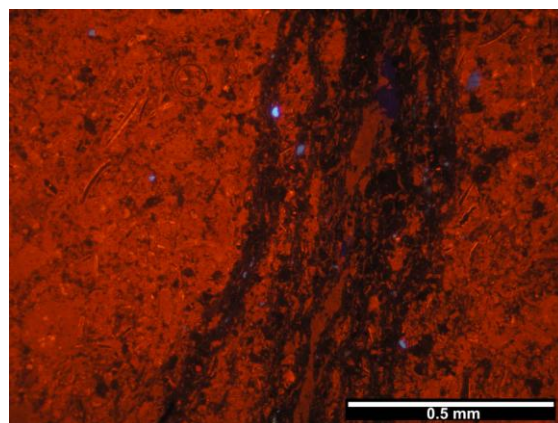


Obr. 28. Oválná schránka tentakulita *Styliolina?* sp. (vzorek HPV/I/2).

Katodovou luminiscencí lze ve výbrusech pozorovat modře luminiskující zrna, která se značně liší od okolního oranžového kalcitového materiálu. Tmavě modrou až fialovou luminiscenci vykazují zrna kaolinitu. Nevýrazně světle modře luminiskují drobné Na – živce (plagioklasy), většinou albity. Velice výraznou světle modrou luminiscenci pak vykazují K – živce, pravděpodobně mikroklíny (Obr. 29). Tento materiál nelze pozorovat v běžném optickém mikroskopu, naopak v katodoluminiscenčním pozorování je velice výrazný. Nejvýznamněji jsou tato zrnka zastoupena ve vzorcích HPV/I/3 a HPV/I/4. Všechny uvedené minerály tvoří klasty velké kolem 80 – 100 μm . Místa jsou však patrné jen drobné fragmenty velké 20 až 40 μm (Obr. 30). Přítomnost těchto minerálních fází pak potvrdila doplňující elektronová mikroskopie (EDS).



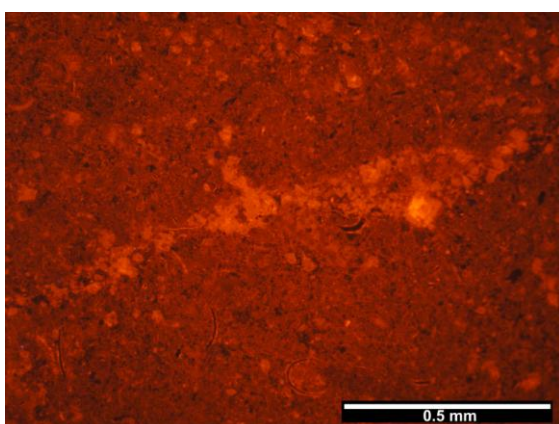
Obr. 29. Velké modře luminiskující zrno K – živce uvnitř schránky tentakulita *Styliolina?* sp. (vzorek HPV/I/4).



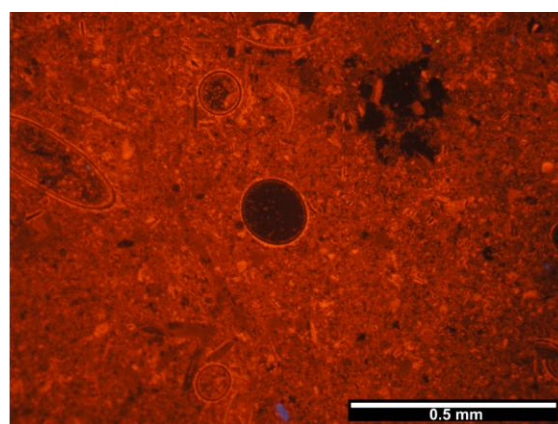
Obr. 30. Drobná modře luminiskující zrnka Na a K – živců ve švu tlakového rozpouštění (vzorek HPV/I/3).

Větší zrna kalcitu, která lze pozorovat ve vzorcích HPV/I/1 a HPV/I/4, se vyznačují světle oranžovou až žlutavou luminiscencí (Obr. 31). Jsou velmi podobná menším krystalkům sparitu.

Zrnka dolomitu lze poměrně jednoduše odlišit od převládajícího materiálu. Jsou charakteristická tmavě červenou, hnědou až černou luminiscenční barvou (Obr. 32).

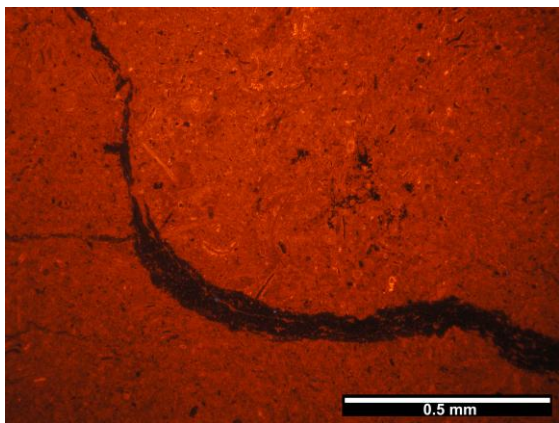


Obr. 31. Shluk světlejších kalcitových zrn v tmavším jemnozrnném mikritu (vzorek HPV/I/4).

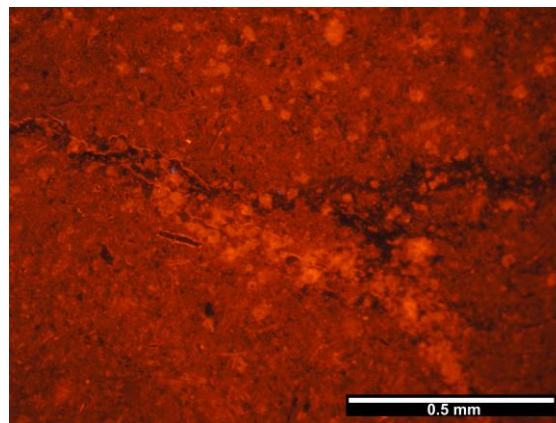


Obr. 32. Tmavý shluk dolomitizovaného materiálu (vpravo nahoře) (vzorek HPV/I/3).

Četné stylolity a švy tlakového rozpouštění jsou tvořeny tmavým materiálem, který nevykazuje žádný druh luminiscence (Obr. 33). Kolem stylolitů jsou však často vytvořeny enklávy světle oranžového, hrubě krystalického sparitu (Obr. 34). Podobný sparitový materiál pak vyplňuje drobné pukliny, vzniklé pozdějším křehkým porušením horniny. Nejtypičtější je pro vzorek HPV/I/3.



Obr. 33. Tmavý šev tlakového rozpouštění protínající jemnozrnnou mikritickou základní hmotu (vzorek HPV/I/1).



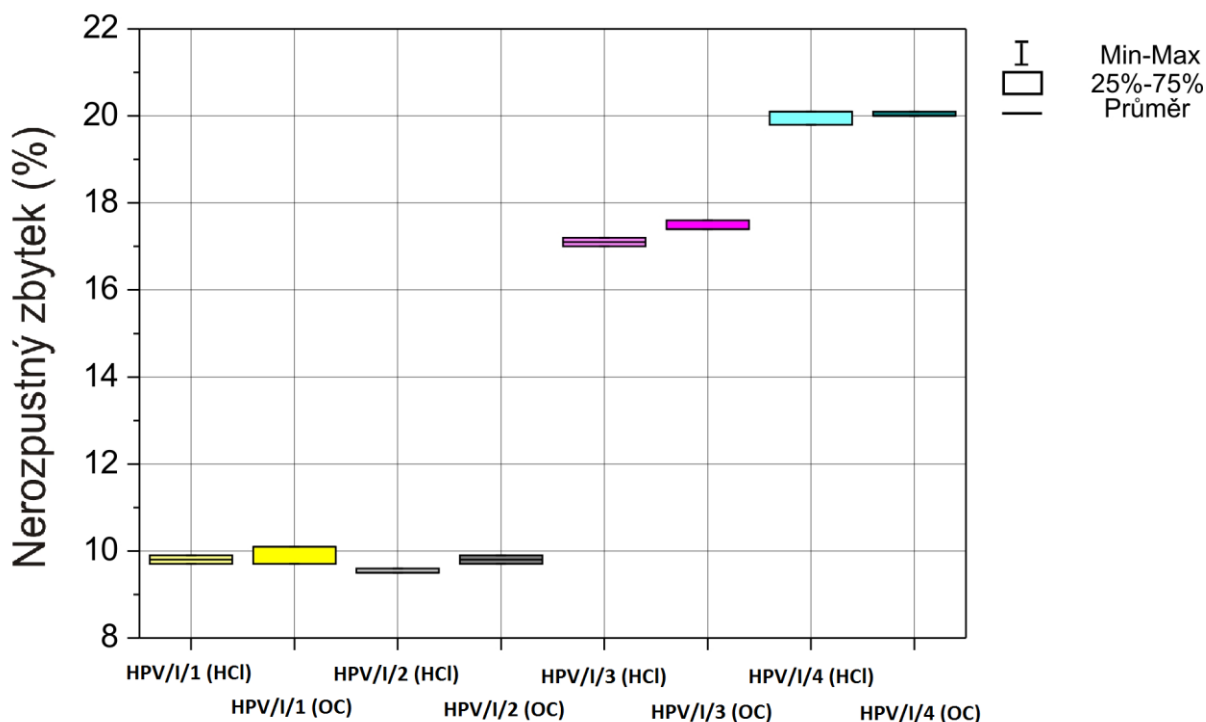
Obr. 34. Stylolit s enklávou světle luminiskujícího sparitu (vzorek HPV/I/4).

Popis katodové luminiscence pro jednotlivé vzorky a další mikrofotografie jsou uvedeny v příloze III.

6.3. Analýzy nerozpustného zbytku

6.3.1. Stanovení nerozpustného zbytku

Výsledky loužení vzorků vápenců ukazují, jaký podíl horniny je tvořen materiálem rozpustným v kyselinách (kalcitem) a jakou část vzorků tvoří nerozpustný zbytek. Z výsledků vyplývá, že vzorek HPV/I/4 obsahuje nejvyšší podíl materiálu nerozpustného v kyselinách (Obr. 35). Naopak vzorky, které obsahují nejmenší podíl nerozpustného zbytku, jsou HPV/I/1 a HPV/I/2. Obsahy nerozpustného materiálu jsou v těchto vápencích velmi podobné (Obr. 35). Platí, že vzorek HPV/I/2 obsahuje nepatrně nižší podíl nerozpustných příměsí, než vzorek HPV/I/1. Obsahy nerozpustného materiálu ve všech vzorcích jsou uvedeny v příloze IV (Tab. 1p).



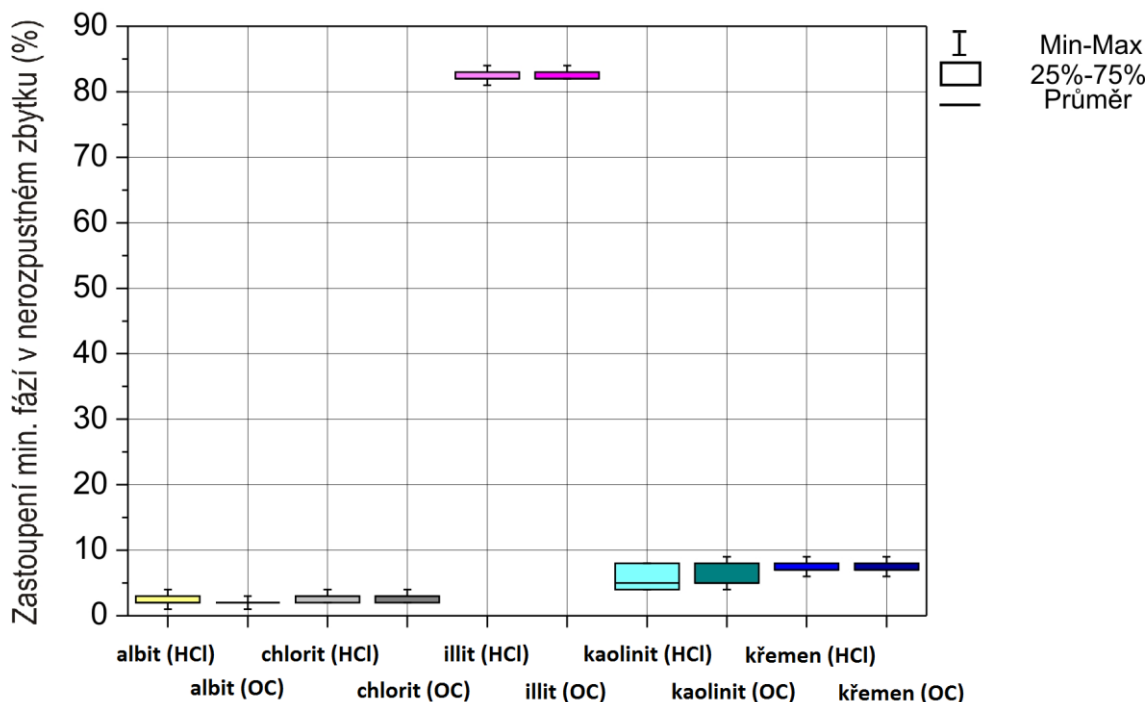
Obr 35. Procentuální zastoupení nerozpustného zbytku v jednotlivých vzorcích studovaných vápenců připravených pomocí loužení v kyselině chlorovodíkové (HCl) a octové (CH_3COOH), (u označení vzorků jako OC).

6.3.2. Fázové a semi-kvantitativní složení nerozpustného zbytku

Z výsledků RTG difrakčního rozboru (viz. Příloha VI) je zřejmé, že všechny studované vzorky vápenců obsahují v nerozpustném zbytku jílové minerály (převládá výrazně illit nad kaolinitem), křemen a živce (albit). Ve dvou vzorcích, HPV/I/3 a HPV/I/4 byl dále identifikován chlorit.

Semi-kvantitativní vyhodnocení RTG difrakčních dat jednoznačně potvrzuje převahu illitu v nerozpustném zbytku a minoritní zastoupení ostatních fází (Obr. 36) (viz. Příloha X).

Z důvodu ověření přítomnosti chloritu byl navíc pořízen difrakční záznam glykolovaných vzorků HPV/I/3 a HPV/I/4. Byla tak potvrzena přítomnost této fáze v obou studovaných vzorcích (viz. Příloha VI).



Obr. 36. Procentuální zastoupení jednotlivých minerálních fází obsažených souhrnně ve vzorcích studovaných vápenců loužených v kyselině chlorovodíkové (HCl) a octové (CH₃COOH), (u označení vzorků jako OC).

6.4. Silikátová analýza

Silikátová analýza jednotlivých vzorků představuje významný zdroj informací o vlastnostech zkoumaných vápenců. Tabulka 4 názorně ukazuje procentuální zastoupení jednotlivých složek zjištěných silikátovou analýzou.

Tab. 4. Chemické složení studovaných vápenců.

Složky	HPV/I/1	HPV/I/2	HPV/I/3	HPV/I/4
SiO ₂	6,70	6,48	13,94	15,76
Al ₂ O ₃	1,23	1,26	1,29	1,62
Fe ₂ O ₃	0,45	0,43	0,44	0,75
CaO	50,01	49,76	44,88	43,97
MgO	0,77	0,78	1,23	0,78
MnO	0,05	0,06	0,03	0,03
TiO ₂	0,06	0,06	0,06	0,09
Na ₂ O	0,03	0,03	0,07	0,02
K ₂ O	0,37	0,35	0,35	0,44
P ₂ O ₅	0,05	0,08	0,06	0,05
H ₂ O+	0,12	0,10	0,12	0,18
H ₂ O-	1,20	1,17	1,18	1,35
CO ₂	38,54	38,90	35,57	34,36
Suma	99,79	99,60	99,55	99,57
CaCO ₃	89,30	88,86	80,143	78,52

Z výsledků silikátové analýzy bylo možné vypočítat jednotlivé vápenické a cementářské indexy a moduly, které slouží k hodnocení vlastností vápenců (Tab. 5).

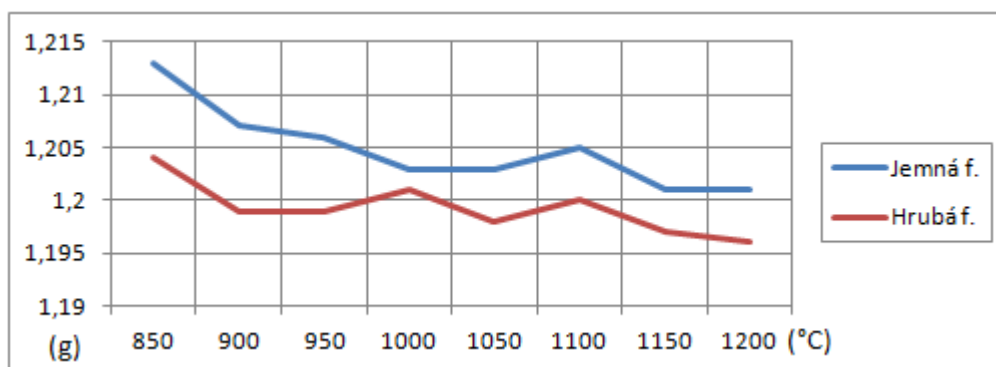
Tab. 5. Tabulka hodnot vápenických a cementářských indexů a modulů, vypočtených pro jednotlivé vzorky zkoumaných vápenců.

Index/modul	HPV/I/1	HPV/I/2	HPV/I/3	HPV/I/4
HI	0,16	0,16	0,34	0,40
CI	0,40	0,39	0,87	1,03
LFS	2,44	2,50	1,10	0,94
M _H	5,97	6,09	2,86	2,43
M _S	3,99	3,83	8,06	6,65
M _A	2,73	2,93	2,93	2,16

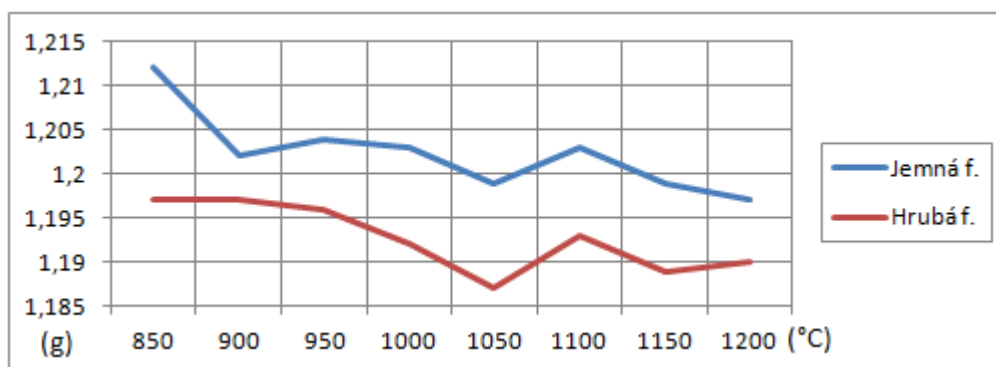
6.5. Analýzy vzorků z experimentálních výpalů

6.5.1. Hmotnostní úbytek vypalovaných vzorků

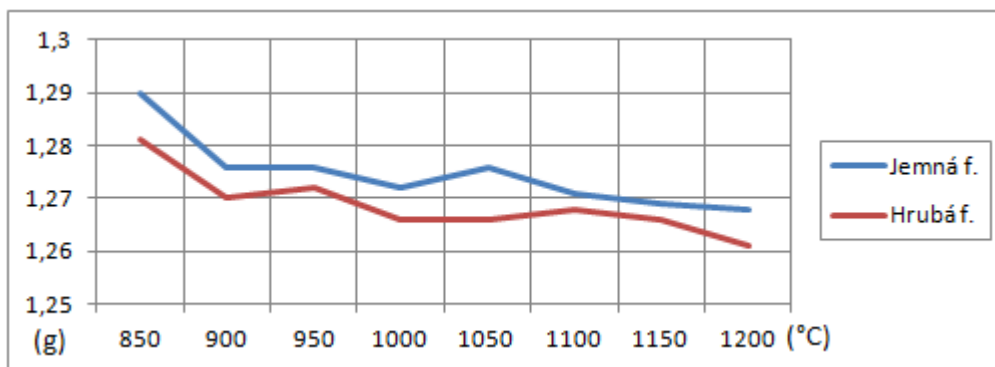
Výsledky úbytku hmotnosti způsobeného experimentálním výpalem za různých teplot uvádějí následující grafy (Obr. 37 – 40). Tabulky hmotností vzorků společně s hmotnostním úbytkem jsou uvedeny v příloze V (Tab. 2p – 5p).



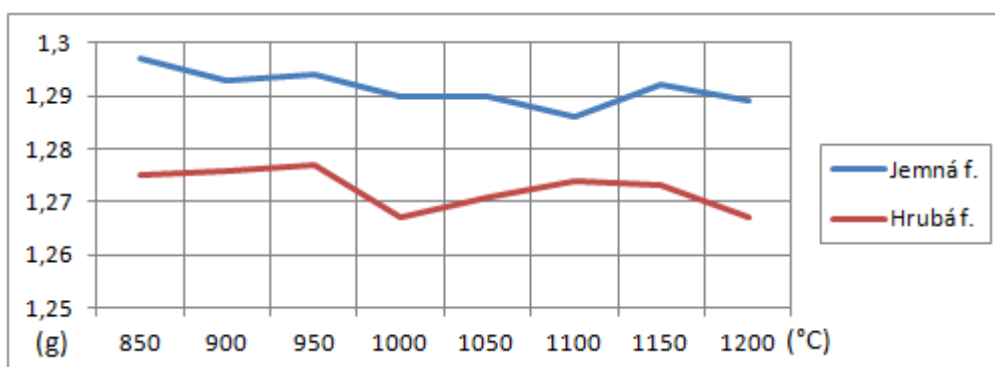
Obr. 37. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/1 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 38. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/2 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 39. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/3 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 40. Úbytek hmotnosti vzorku vápence HPV/I/4 vypalovaného za různých teplot.

6.5.2. Fázové složení experimentálně vypálených vzorků

Jemná frakce vzorku HPV/I/1 obsahuje za různých teplot výpalu tyto hlavní fáze: larnit, volné vápno, křemen a další fáze SiO_2 a portlandit. Dále se vyskytuje brownmillerit, gehlenit, wollastonit, oxid železitý, Al_2O_3 , vápenatý hlinitan a spurrit.

Vápenatý křemičitan larnit (β forma C_2S – belitu) se ve vypalovaném materiálu vyskytuje již od teploty 850°C . Se vzrůstající teplotou však výrazně přibývá počet identifikovaných difrakcí této fáze. Maximální množství jeho difrakcí bylo identifikováno při teplotě výpalu 1200°C . Volnému vápnu (CaO) náleží v difrakčním záznamu tohoto vzorku nejintenzivnější difrakce. Postupně však vlivem vzrůstající teploty dochází k úbytku intenzity jeho difrakcí. Objevuje se za všech vypalovaných teplot, tedy od 850 do 1200°C . Difrakcí křemene a dalších fází SiO_2 vlivem vyšších teplot v materiálu taktéž výrazně ubývá. Nejvyšší úbytek nastává při přechodu z teploty 1000 na 1050°C . U portlanditu ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) lze nejvyšší difrakce zaznamenat při teplotách výpalů 850°C a 1000°C . Lze ho identifikovat při všech teplotách, tedy od 850 do 1200°C .

Z dalších fází se v jemné frakci vzorku HPV/I/1 objevuje vápenatý hlinitoželezitan brownmillerit (C_4AF). První difrakce se objevují při 950°C a jsou patrné až do 1200°C . Nejvyšší difrakce této fáze jsou zaznamenány při 1100 a 1150°C . Vápenatý hlinitokřemičitan gehlenit (C_2AS) se v tomto materiálu objevuje při 950°C . Se vzrůstající teplotou počet jeho difrakcí neubývá, ale v některých případech se jeho difrakce začínají překrývat se záznamy larnitu. Wollastonit se v tomto materiálu objevuje od teploty 900°C . Nejvýraznější difrakce byly zaznamenány při teplotách 900 až 1000°C . Fáze oxidu železitého (Fe_2O_3) se objevuje jen za teploty 900 a 950°C . Nejvýraznější difrakce je zaznamenána při 900°C . Vápenatý hlinitan (CA) se v difrakčním záznamu objevuje pouze do teploty 950°C . Jeho difrakce jsou nízké a nevýrazné. Je zastoupen jen minoritně. Poslední fází, kterou lze

v difrakčním záznamu rozpoznat, je vápenatý křemičitan-uhličitan spurrit ($\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{CO}_3)$). Tato fáze se objevuje za teplot výpalu mezi 900 a 1150°C.

Hrubá frakce vzorku HPV/I/1 obsahuje stejné hlavní fáze jako frakce jemná. Charakter difrakcí se však u některých složek výrazně liší. Difrakce larnitu mají v tomto materiálu výraznější (vyšší i širší) záznamy již při teplotě 850°C. S nárůstem teploty narůstá jejich počet i velikost. Stejně tak i portlandit se vyznačuje vyššími a výraznějšími difrakcemi. Volné vápno má naopak v této frakci výrazně nižší, s přibývajícím teplotou ubývající difrakce. Záznamy difrakcí křemene a dalších fází SiO_2 se v hrubém a jemném materiálu příliš neliší.

Brownmillerit se v hrubém materiálu objevuje později, až při dosažení teploty 1050°C. Jeho záznamy jsou však nízké a nevýrazné. U gehlenitu byl v hrubší frakci zaznamenán nižší počet difrakcí, než v jemnozrnějším materiálu. Stejně jako brownmillerit má zde nízké a nevýrazné difrakce. Difrakční záznamy wollastonitu, Al_2O_3 a vápenatého hlinitanu mají v obou frakcích stejný charakter. Fáze oxidu železitého a spurritu se v hrubé frakci neobjevují vůbec.

Souhrnný obrázek difrakčního záznamu jemné frakce vzorku HPV/I/1 (Obr. 22p) a hrubé frakce (Obr. 26p) je uveden v příloze VII, resp. příloze VIII.

U jemné frakce vzorku HPV/I/2 lze kvalifikovat tyto hlavní fáze: larnit, volné vápno, křemen a další fáze SiO_2 a portlandit. Z dalších fází se vyskytují brownmillerit, gehlenit, wollastonit, Al_2O_3 , vápenatý hlinitan a spurrit.

Larnit se v této frakci objevuje za všech teplot, avšak množství jeho difrakcí výrazněji narůstá až se stoupající teplotou. Difrakce volného vápna jsou ve vypalovaném materiálu přítomné taktéž při všech teplotách. Vlivem narůstající teploty se však jeho difrakce snižují. Křemen a další fáze SiO_2 jsou stejně jako u předchozího vzorku HPV/I/1 přítomny při všech teplotách. Vyšší teploty výpalu však výrazně snižují počet i velikost jeho difrakcí. Portlandit lze taktéž identifikovat za všech teplot. Nejvýraznější difrakce této fáze se objevují při 850 až 1050°C.

Brownmillerit je stejně jako ve vzorku HPV/I/1 přítomen od 950 až do 1200°C. Má však nízké a nevýrazné difrakce. Gehlenit je přítomen již od 850°C. Jeho difrakce se však při vyšších teplotách často překrývají s difrakcemi larnitu. Wollastonit má první a zároveň nejvyšší difrakce zaznamenané při 900°C. S rostoucí teplotou výpalu se jeho záznamy snižují. Vápenatý hlinitan se stejně jako v předcházejícím vzorku objevuje od 850 do 950°C. Nejvyšší difrakce je zaznamenaná za teploty 900°C. Křemičitan-uhličitan spurrit je přítomný při teplotách 950 až 1100°C. Má nízký a nevýrazný difrakční záznam.

Hrubá frakce vzorku HPV/I/2 se fázovým složením neliší od jemnozrnější. Charakter difrakcí se v mnohém podobá záznamům z hrubé frakce vzorku HPV/I/1. Výrazné difrakce larnitu se v materiálu objevují již za nižších teplot. Podobně se vyznačují i difrakce portlanditu. Jejich záznamy jsou vyšší a výraznější než v jemné frakci tohoto vzorku. Charakter difrakcí křemene a dalších fází SiO_2 se v hrubém a jemném materiálu neliší.

Difrakce brownmilleritu se stejně jako v hrubé frakci vzorku HPV/I/1 objevují při teplotě 1050°C. Gehlenit se začíná objevovat již při teplotě výpalu 850°C, avšak je charakteristický pouze nízkými a nevýraznými záznamy. Difrakční záznamy wollastonitu, Al_2O_3 a vápenatého hlinitanu mají v obou frakcích tohoto vzorku stejný charakter. Spurrit nebyl v hrubé frakci zaznamenán vůbec.

Difrakční záznam jemné frakce vzorku HPV/I/2 (Obr. 23p) i hrubé frakce (Obr. 27p) je uveden v příloze VII a VIII.

Hlavní fáze **jemné frakce vzorku HPV/I/3** se neliší od předchozích vzorků. Jsou to: larnit, volné vápno, křemen a další fáze SiO_2 a portlandit. Ostatní fáze jsou: brownmillerit, gehlenit, wollastonit, Al_2O_3 , vápenatý hlinitan a spurrit.

Difrakce larnitu jsou zaznamenány při všech teplotách, na rozdíl od předcházejících vzorků však přibýlo množství jeho záznamů i při nižších teplotách. Záznamy volného vápna jsou taktéž identifikovány při všech teplotách výpalu. Při výpalu nad 1100°C však dochází k výraznému poklesu výšky jednotlivých difrakcí. V jemné frakci vzorku HPV/I/3 je zaznamenán vyšší počet difrakcí křemene a dalších fází SiO_2 . Narůstající teploty však výrazně snižují intenzitu jeho difrakcí. Nejvýraznější změna intenzity nastává mezi teplotami 1050 a 1100°C . Portlandit lze stejně jako předchozí fáze identifikovat za všech teplot. Nejvýraznější úbytek jeho difrakcí byl zaznamenán při teplotě výpalu 1150°C .

Brownmillerit je identifikován při teplotách od 950 až do 1200°C . Nejvýraznější difrakce má v tomto vzorku při teplotě 1200°C . Gehlenit a wollastonit se objevují v záznamu od teploty 900°C . Jeho difrakce jsou zároveň při této teplotě nejintenzivnější. Vápenatý hlinitan má v tomto vzorku jen nepatrné záznamy, a to do teploty výpalu 950°C . Difrakce poslední fáze – spurritu, se objevují od 900 až do 1200°C .

U hrubé frakce vzorku HPV/I/3 lze identifikovat stejné fáze jako v jemné frakci. Záznam larnitu se vyznačuje vyššími a výraznějšími difrakcemi. Stejně tak i portlandit má v této frakci výraznější difrakce. Naopak záznamy volného vápna jsou poměrně nízké. K jejich poklesu dále dochází vlivem zvyšující se teploty výpalu. Stejným způsobem jako volné vápno reaguje na narůstající teplotu křemen a další fáze SiO_2 . Jeho difrakce se při vyšších teplotách výrazně snižují, některé zcela mizí.

Fáze brownmilleritu se objevuje od teploty 1050°C . Gehlenit je přítomen od 900°C . Difrakce wollastonitu jsou zaznamenány při všech teplotách výpalu. Spurrit se objevuje od teploty 950 do 1100°C . Má však velmi nevýrazné difrakce. Záznam Al_2O_3 je shodný v obou frakcích tohoto vzorku. Vápenatý hlinitan nebyl v této frakci vůbec zaznamenán.

Difrakční záznam jemné frakce vzorku HPV/I/3 (Obr. 24p) a hrubé frakce (Obr. 28p) je uveden v příloze VII, resp. příloze VIII.

V **jemné frakci vzorku HPV/I/4** jsou přítomny tyto hlavní fáze: larnit, volné vápno, křemen a další fáze SiO_2 a portlandit. Dále se zde vyskytuje brownmillerit, gehlenit, wollastonit, Al_2O_3 , vápenatý hlinitan a spurrit.

Křemičitan larnit se vyskytuje za všech teplot. Množství a intenzita jeho difrakčních záznamů se velmi podobá jemné frakci vzorku HPV/I/3. Volné vápno je zaznamenáno při všech teplotách výpalu. Nad 1100°C však dochází k výraznému poklesu výšky jednotlivých difrakcí této fáze. Záznamy křemene mají podobný charakter jako u jemné fáze předcházejícího vzorku. U portlanditu lze nejvyšší difrakce zaznamenat při teplotách 850°C a 1000°C .

Brownmillerit se objevuje od 950°C . Nejvyšší difrakce má v teplotním rozmezí od 1100 do 1200°C . Gehlenit je přítomen od 900 až po 1200°C . Wollastonit se objevuje od teploty 900°C . Výška jeho difrakcí však výrazně neklesá ani při vyšších teplotách. Vápenatý hlinitan má velmi nevýrazný záznam. Objevuje se do teploty 950°C . Difrakce spurritu se objevují od 900 až po 1200°C . Jsou však velmi malé a nevýrazné.

Hrubá frakce vzorku HPV/I/4 obsahuje stejné hlavní fáze jako frakce jemná. Larnit má i při nižších teplotách výpalu intenzivní difrakce, které dále narůstají se stoupající teplotou. Difrakce další fáze – portlanditu, jsou vyšší a výraznější než v jemné frakci tohoto vzorku. Záznam difrakcí volného vápna se snižuje s narůstající teplotou výpalu. Stejným způsobem reagují i záznamy křemene a dalších fází SiO_2 . Vlivem narůstající teploty dochází k poklesu jeho difrakčních záznamů.

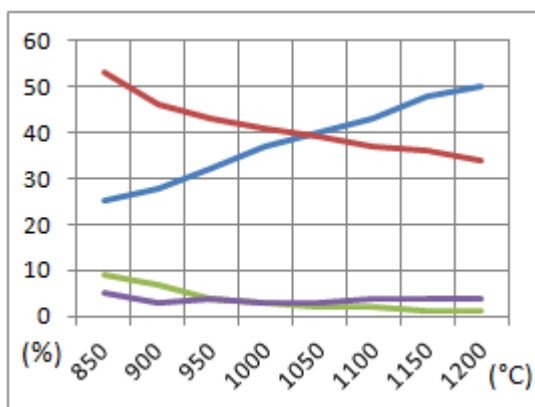
Brownmillerit se v záznamu objevuje od teploty 1050°C. Gehlenit je přítomen již od 850°C. Jeho difrakce jsou však nízké a nevýrazné. Difrakční záznamy wollastonitu a Al_2O_3 mají v obou frakcích tohoto vzorku stejný charakter. Spurrit se objevuje od teploty 950 do 1200°C. Má však velmi nevýrazné difrakce. Vápenatý hlinitan nebyl v této frakci vůbec zaznamenán.

Záznam difrakcí jemné frakce vzorku HPV/I/4 (Obr. 25p) a hrubé frakce (Obr. 29p) je uveden v příloze VII a VIII.

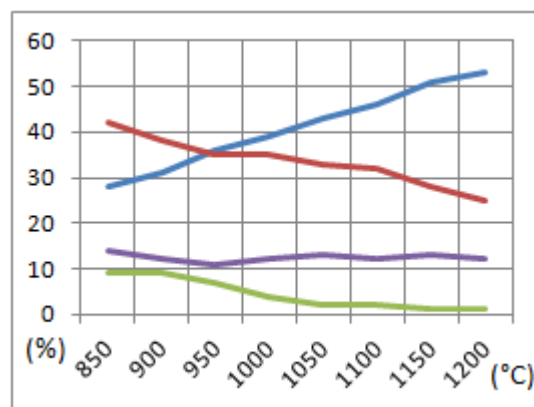
6.5.3. Semi-kvantitativní vyhodnocení experimentálních výpalů

U vzorků vápenců získaných experimentálním výpalem bylo zjištěno semi-kvantitativní zastoupení jednotlivých fází. Jejich procentuelní zastoupení v jemné a hrubé frakci vypalovaného materiálu je uvedeno v příloze IX. (Tab. 6p – 9p). Grafické znázornění čtyř hlavních fází (larnitu, volného vápna, křemene a dalších fází SiO_2 a portlanditu) je vyjádřeno v níže uvedených grafech (Obr. 41 – 44). Minoritně zastoupené fáze nebyly do grafů zařazeny.

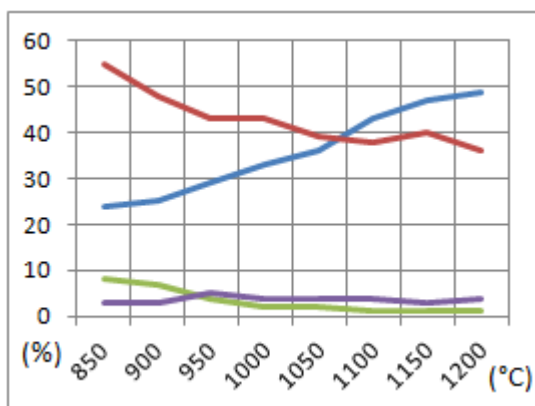
Vysvětlivky ke grafům: červená křivka – larnit, modrá k. – volné vápno, zelená k. – křemen a další fáze SiO_2 , fialová k. – portlandit.



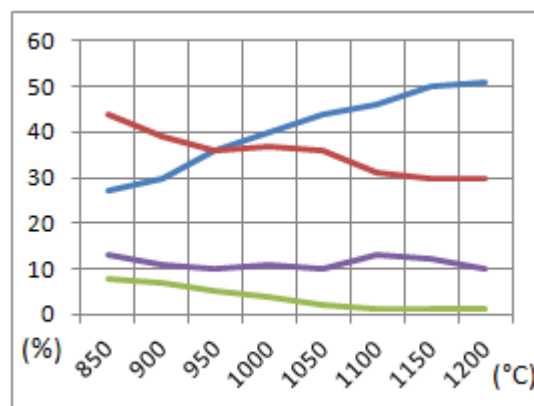
Obr. 41. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/1 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 42. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/1 vypalovaného za různých teplot.

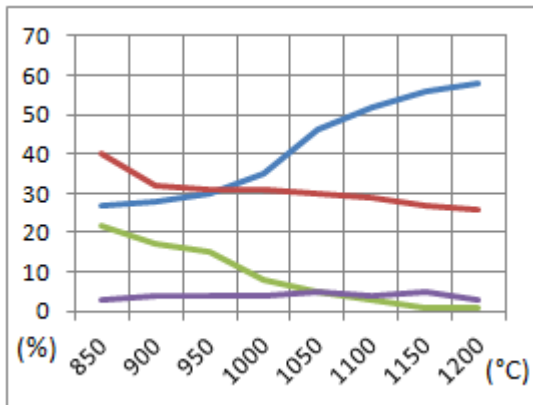


Obr. 43. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/2 vypalovaného za různých teplot.

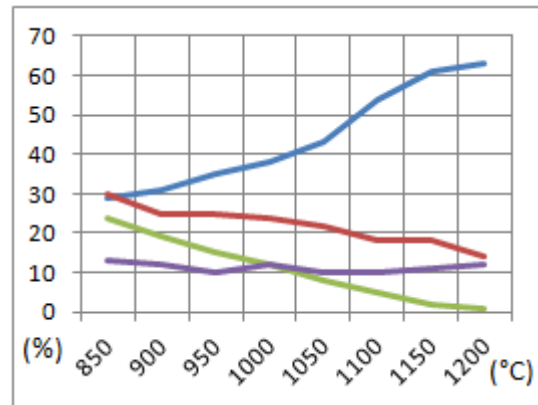


Obr. 44. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/2 vypalovaného za různých teplot.

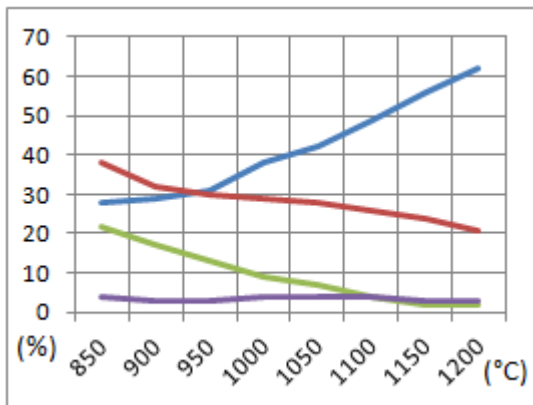
Vysvětlivky ke grafům: červená křivka – larnit, modrá k. – volné vápno, zelená k. – křemen a další fáze SiO₂, fialová k. – portlandit.



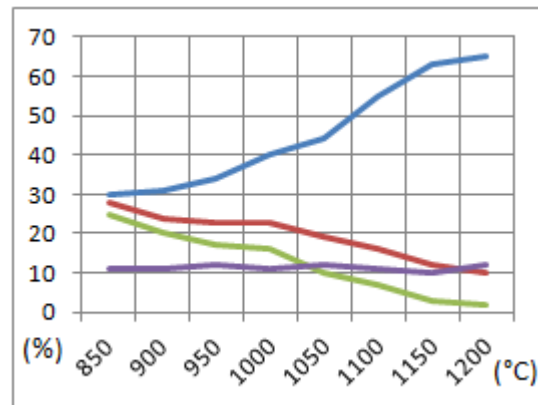
Obr. 45. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/3 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 46. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/3 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 47. Procentuální zastoupení hlavních fází v jemné frakci vzorku HPV/I/4 vypalovaného za různých teplot.



Obr. 48. Procentuální zastoupení hlavních fází v hrubé frakci vzorku HPV/I/4 vypalovaného za různých teplot.

7. DISKUSE

7.1. Barrandienské vápence, jejich zhodnocení a výběr studované lokality

Jedním z cílů této diplomové práce bylo přehodnotit vápence Barrandienu z pohledu možného využití pro výrobu hydraulických vápen nebo přírodního cementu. Následně pak bylo nutné podle tohoto zhodnocení vybrat historickou lokalitu s vhodným typem vápenců, odebrat, popsat a charakterizovat daný materiál a experimentálními výpaly ověřit využitelnost těchto vápenců k výrobě alternativních hydraulických pojiv.

Barrandienské vápence byly hodnoceny na základě oxidického složení. Pro zjištění hydraulických vlastností daného materiálu jsou nejdůležitější obsahy CaO (CaCO_3), SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 a MgO . Podle zastoupení těchto oxidů byly následně vypočteny jednotlivé vápenické a cementářské indexy a moduly, podle kterých byly vápence hodnoceny (viz. Příloha I a II). Z provedeného srovnání vyplynulo, že vápence vykazující podle HI , CI , M_H a rozsahu v zastoupení CaCO_3 slabě hydraulické vlastnosti, jsou v rámci celého Barrandienu vápence kotýské a kosořské (Tab. 6). Tyto vápence jsou tak použitelné k výrobě slabě hydraulických vápen. Na výrobu středně hydraulických vápen se hodí většina radotínských, řeporyjských, dvorecko-prokopských a zlíčovských vápenců (Tab. 6). Tyto typy vápenců vykazují na většině ložisek středně hydraulické vlastnosti. Rozsah v zastoupení CaCO_3 je taktéž příznivý, obvykle se pohybuje v rozmezí 75 – 90 %. V těchto vápencích je tak přítomno dostatečné množství příměsí (převážně jílových minerálů a různých forem SiO_2), které způsobují hydraulické chování. Některé radotínské, zlíčovské, kopaninské nebo přídolské vápence lze využívat i k výrobě silně hydraulických vápen nebo přírodních cementů (Tab. 6). Tyto vápence vykazují silnou hydraulicitu, a to především kvůli vysokému obsahu příměsí. V některých, především v silurských kopaninských vápencích, bývá ale často obsah SiO_2 (obvykle rohovců) tak vysoký, že znemožňuje jejich využití na hydraulická pojiva. Obsahují totiž velmi malé množství CaCO_3 (35 – 50 %), které pak chybí při výpalu a při tvorbě hydraulicky aktivních fází.

Celkově pak z posuzovaných vápenických a cementářských indexů a modulů a celkového složení jednotlivých vápenců vyplývá, že dvorecko-prokopské a zlíčovské vápence představují nejvhodnější materiál použitelný k výrobě hydraulických vápen v rámci celého Barrandienu.

Kromě výše zmíněných vápenců se v Barrandienu vyskytují i další typy vápenců, které však nepředstavují z hlediska využití na alternativní hydraulická pojiva příliš vhodný materiál. Obvykle se jedná o velmi čisté vápence s vysokými obsahy CaCO_3 . Jsou to především koněpruské, slivenecké, loděnické a chýnické vápence. Ty jsou vhodné k využití v ostatních průmyslových odvětvích. Na výrobu hydraulických pojiv lze využít pouze ve směsi s méně čistými vápenci, nebo po přidání příslušných korekčních surovin.

Na základě přepočtu těchto dříve publikovaných analytických dat (rozbor viz. Příloha I a II) a na základě dostupné literatury (Kříž a publikace zde uvedené), byla vybrána k odběru vzorků a jejich bližšímu experimentálnímu výzkumu historická lokalita Branické skály. V těchto bývalých lomech jsou odkryty mocné polohy dvorecko-prokopských vápenců, které byly v minulosti využívány na výrobu hydraulického vápna, označovaného jako pražské či staropražské (Kovanda et al. 2001). Podle Prokopa (1951) bylo vápno z Branických lomů silně hydraulické, bez obtíží tuhlo ve vlhku a po zpracování i pod vodou. Tento hydraulický materiál byl podle historických zdrojů využit při stavbě vltavského nábřeží od Palackého mostu až k Vyšehradu a ke stavbě Vyšehradského tunelu. Firma Lanna pak zdejší hydraulické vápno využívala na mnoha dalších, převážně vodních stavbách (Prokop 1951).

Tab. 6. Souhrnná tabulka vybraných charakteristik jednotlivých vápenců Barrandienu.

Vápence	Počet zhodnoc. lokalit	Obsah CaCO ₃ (rozsah v %)	HI (rozsah)	CI (rozsah)	M _H (rozsah)	Využití vápenců
Kopaninské v.	4	34,4 – 76,61	0,4 – 2,6	1,1 – 5,5	0,36 – 2,21	ST – PC
Přídolské v.	5	47,71 – 72,86	0,4 – 1,5	0,9 – 3,8	0,61 – 2,23	ST – PC
Radotínské v.	4	69,64 – 83,57	0,2 – 0,5	0,3 – 1,2	1,95 – 6,05	SL – ST
Kotýské v.	6	77,32 – 90,46	0,1 – 0,2	0,3 – 0,5	4,45 – 8,98	SL – ST
Kosořské v.	3	74,07 – 89,64	0,1 – 0,2	0,3 – 0,4	5,96 – 7,19	SL
Koněpruské v.	10	87,5 – 98,48	0 – 0,1	0 – 0,2	9,12 – 49	SL
Slivenecké v.	8	84,61 – 95,86	0 – 0,1	0 – 0,4	6,12 – 23,2	SL
Loděnické v.	6	77,2 – 92,66	0,1 – 0,2	0,1 – 0,4	4,26 – 12,8	SL – ST
Řeporyjské v.	8	77 – 90,3	0,1 – 0,3	0,3 – 0,6	3,41 – 7,56	SL – ST
Dvorecko-prokopské v.	8	77,59 – 92,73	0,1 – 0,5	0,3 – 1,2	2,44 – 10,3	ST
Zlíchovské v.	7	55,43 – 83,55	0,2 – 1,3	0,6 – 1	0,78 – 3,53	ST – SI
Chýnické v.	1	97,52	0,1	0,1	14,6	–

Vysvětlivky: SL – slabě hydraulická vápna, ST – středně hydraulická vápna, SI – silně hydraulická vápna, PC – přírodní cementy

7.2. Hydrauličita studovaných vápenců

Z výsledků silikátové analýzy vyplývá, jaké je oxidické složení jednotlivých vzorků. Největší význam má pak zastoupení oxidů, které ovlivňují hydraulické vlastnosti zkoumaných vápenců. Jedná se především o obsahy CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ a MgO (Tab. 3). Jednotlivé vzorky se vzájemně liší, avšak mezi některými z nich jsou patrné jasné spojitosti. Podobné složení bylo zjištěno u dvojice vzorků HPV/I/1 a HPVI/2 a u dvojice HPV/I/3 a HPVI/4.

Průměrně obsahy CaO, tudíž i CaCO₃, jsou v rámci všech vzorků 47,15 %, resp. 84,2 %, což představuje dostatečné množství na uvolnění Ca²⁺ při výpalu a jeho vazbě v novotvořených fázích. Nejvyšší obsahy CaO (CaCO₃) byly zjištěny u vzorků HPV/I/1, nejnižší u HPV/I/4 (Tab. 4). Průměrné množství hlavních fází, zajišťujících hydraulické vlastnosti, je ve vzorcích následující: SiO₂ 10,72 %, Al₂O₃ 1,35 % a Fe₂O₃ 0,51 %. Nejvíce jsou tyto fáze zastoupeny ve vzorku HPV/I/4, tudíž je tento materiál hydraulicky nejsilnější. Obsahy MgO dosahují v průměru 0,89 %, což svědčí o nízkém stupni dolomitizace v těchto horninách.

Podle zjištěných obsahů oxidů mohly být vypočteny jednotlivé vápenické a cementářské indexy a moduly. Z nich jsou patrné hydraulické vlastnosti studovaných vápenců a možnosti jejich využití na jednotlivé druhy hydraulických pojiv (Tab. 5).

Průměrné obsahy hydraulického (HI) a cementačního indexu (CI) i hydraulického modulu (M_H) svědčí o slabé hydrauličitě vzorků HPV/I/1 a HPVI/2 a střední až silné hydrauličitě vzorků HPV/I/3 a HPVI/4 (Cowper 2000). Hodnoty vypočteného stupně sycení vápnem (LFS), křemičitanového (silikátového) (M_S) a hlinitanového (aluminátového) (M_A) modulu naznačují, že vzorky HPV/I/1 a HPVI/2 dosahují slabé až střední hydrauličity, zatímco vzorky HPV/I/3 a HPVI/4 se jeví jako středně až silně hydraulické (Cowper 2000).

7.3. Nerozpustný zbytek a fázové složení studovaných vápenců

Obsah nerozpustného zbytku, který byl zjištěn v jednotlivých vzorcích, souvisí s množstvím příměsí, které studované vápence obsahují. Vzorky obsahující zvýšené množství nerozpustného materiálu jsou bohatší především na jílové minerály a různé formy SiO_2 . Tyto fáze jsou pak hlavními zdroji oxidů SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , které ovlivňují hydraulické vlastnosti vápenců (Weber et al. 2007).

Nejnižší koncentrace nerozpustného zbytku a nejvyšší zastoupení kalcitu bylo zjištěno u vzorků HPV/I/1 a HPVI/2. To odpovídá výsledkům ze silikátové analýzy, kdy právě u těchto dvou vzorků byly zjištěny nízké obsahy oxidů SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , a naopak poměrně vysoké koncentrace CaO (CaCO_3). Celkově slabá až střední hydraulická těchto vápenců následně vyplývá z jednotlivých vápenických a cementářských indexů a modulů. Naopak nejvyšší obsahy nerozpustných zbytků, současně i nejnižší zastoupení kalcitu, bylo zjištěno ve vzorcích HPV/I/3 a HPVI/4. Tyto výsledky byly opět konfrontovány s provedenou silikátovou analýzou, při které bylo zjištěno nejvyšší množství hydraulických oxidů (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) a nejnižší obsahy CaO (CaCO_3) právě v těchto vzorcích. Tyto vápence tudíž vykazují nejsilnější hydraulické vlastnosti.

Podle Müllera (2005) patří k minerálním fázím, které výrazně ovlivňují hydraulické vlastnosti vápenců, především křemen (a další amorfní fáze SiO_2) a jílové minerály. Konkrétně kaolinit, illit a montmorillonit. Další fáze, které mohou ovlivňovat hydraulicitu zkoumaných vápenců jsou mnohé křemičitany a puculánové materiály (Lanas et al. 2004). Analýzou nerozpustného zbytku bylo zjištěno kvalitativní a semi-kvantitativní fázové složení studovaných vápenců. Ve všech vzorcích byla zjištěna přítomnost illitu, křemene, kaolinitu a albitu, ve vzorcích HPV/I/3 a HPVI/4 byl navíc zaznamenán i chlorit. Nejvyšší zastoupení měl ze všech nalezených fází illit, a to v průměru 82 % v rámci nerozpustného materiálu všech vzorků. Vysoké zastoupení illitu odpovídá analýzám vápenců studovaných Weberem et al. (2007). Illit představuje významný zdroj prvků Fe^{3+} , Al^{3+} a Si^{4+} , které značně ovlivňují hydraulicitu studovaných vápenců a při výpalu vstupují do nových fází (Müller 2005). Dalším minerálem zjištěným v nerozpustném zbytku byl kaolinit. Ten byl průměrně přítomen v množství 6,69 %. Kaolinit během výpalu podléhá strukturním změnám (přechází na metakaolinit) a poskytuje Al^{3+} a Si^{4+} (Müller 2005). Křemen byl ve vzorcích průměrně zastoupen v 7,65 %. Jeho přítomnost má zásadní vliv na hydraulicitu materiálu, neboť je hlavním zdrojem Si^{4+} , který vstupuje při výpalu do novotvořených křemičitanů (např. belitu) (Lanas et al. 2004). Albit, případně i chlorit, tvořily 2,26 %, resp. 2,83 % nerozpustných zbytků. Tyto minerální fáze představují minoritní zdroj Al^{3+} a Si^{4+} .

Studiem nerozpustných zbytků a fázového složení vzorků byly potvrzeny rozdíly mezi některými analyzovanými vápenci, které byly patrné již z provedené silikátové analýzy a celkového srovnání hydraulicity. Svými charakteristikami jsou si vzájemně velmi podobné vzorky HPV/I/1 a HPVI/2 z jižní části Branických lomů a dvojice vzorků HPV/I/3 a HPVI/4 ze severní části defilé skal. Platí, že první dva zmíněné vzorky obsahují nejnižší množství příměsí a mají tudíž nejslabší hydraulické vlastnosti. Vzorek HPVI/4 naopak obsahuje nejvíce příměsí a vykazuje nejsilnější hydraulicitu.

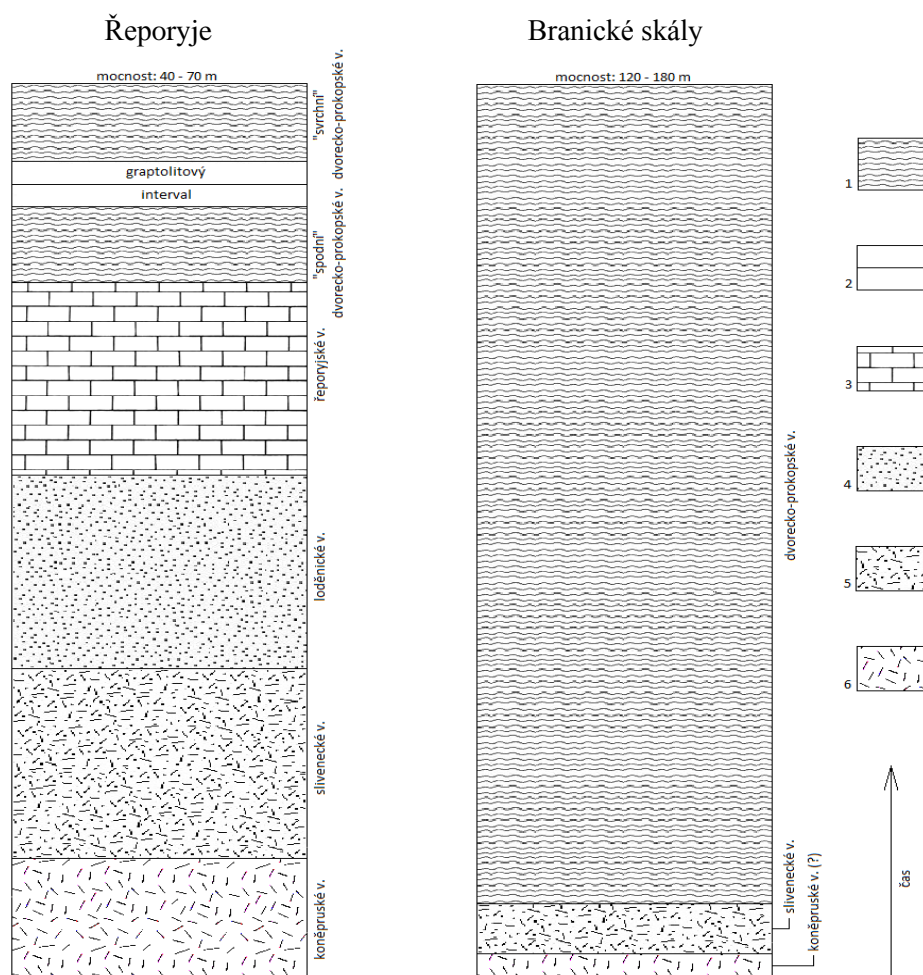
7.4. Vliv sedimentačního prostředí na složení studovaných vápenců

Sedimentace vápenců uvnitř Barrandienu neměla během období spodního devonu zcela jednotný charakter. V rámci mnohých souvrství lze rozlišovat kombinace hlubokovodních mikritických vápencových facií s faciemi mělkovodnějších vápenců bioklastických (Chlupáč et al. 2002). Ve stejném čase tak mohlo docházet v odlišných částech pánve k sedimentaci různých typů karbonátů. To bylo způsobeno odlišnými procesy a podmínkami, které působily na vznikající horniny. Největší vliv měla především pozice v pánvi, kde k sedimentaci docházelo. Jako dobrý příklad odlišného litofaciálního vývoje v různých místech pánve může posloužit srovnání sedimentárních profilů

spodního devonu Branických skal ze s.s.v. cípu pražské synformy a lokality Řeporyje ze s.v. cípu bližšímu k centru pánve.

Na lokalitě Řeporyje sedimentovaly na bázi pražského souvrství světlé útesové koněpruské vápence, které se v Branických skalách pravděpodobně vůbec nevyvinuly, nebo jsou přítomny pouze v malé mocnosti, která nebyla zastížena v žádném odkryvu. V profilu v Řeporyjích výše v nadloží pokračují bioklastické slivenecké vápence, které se v Braníku vyskytují jen ve velmi malých mocnostech (Hladil ústní sdělení 2012). Převážně mikritické loděnické a řeporyjské vápence, které jsou dále v Řeporyjích vyvinuty, se v Branických skalách neobjevují vůbec. Jejich sedimentaci odpovídá v Braníku mocná poloha šedých mikritických dvorecko-prokopských vápenců, které tvoří hlavní část hornin v daném profilu (Obr. 49). Dvorecko-prokopské vápence jsou v Řeporyjích vyvinuty pouze v menší mocnosti (Hladil ústní sdělení 2012). Přibližně uprostřed záznamu těchto vápenců je zachován tzv. graptolitový interval, který se na lokalitě Branických skal vůbec nevytvořil.

Rozdílná je i celková mocnost pražského souvrství na obou lokalitách. V Řeporyjích je tento horninový sled zachován v mocnostech od 40 do 50 m, pražské souvrství v Braníku dosahuje mocnosti 120 až 180 m.



Obr. 49. Stratigrafické schéma pražského souvrství na lokalitách Řeporyje a Branické skály (Hladil ústní sdělení 2012).

1 – dvorecko-prokopské vápence (šedé, mikritické, hlíznaté), 2- graptolitový interval (šedé mikritické vápence s bohatou graptolitovou faunou), 3 – řeporyjské vápence (červenavé, mikritové), 4 – loděnické vápence (červenavé, mikritické), 5 – slivenecké vápence (červenavé bioklastické vápence), 6 – koněpruské vápence (světlé útesové a s nimi spjaté bioklastické vápence)

7.5. Experimentální výpal vápencového materiálu

Vlivem vysokých teplot dochází při výpalu k výrazným hmotnostním, strukturním a fázovým změnám. Vznikají tak nové fáze typické pro hydraulická vápna (Weber et al. 2007).

U studovaných vzorků byl při experimentálních výpalech zjištěn hmotnostní úbytek. Nejvyšší úbytek vykazovaly všechny vzorky při nejvyšších teplotách výpalu, tedy 1200°C, nejnižší pak při teplotě 850°C. Celkově lze hmotnostní úbytek poměrně přesně spojit s obsahem CaCO₃, který se vlivem narůstající teploty rozkládá na volné vápno (CaO) a unikající CO₂ (Edison 2007). Tento proces pak způsobuje pozorovaný úbytek hmotnosti. Nejvýraznější úbytek byl tak zjištěn u vzorků s nejvyšším obsahem CaCO₃ (HPV/I/1 a HPV/I/2), nejnižší pak u vzorku HPV/I/4, ve kterém je zastoupení CaCO₃ nejnižší. Vyšší úbytek byl taktéž zaznamenán ve všech vzorcích v hrubé frakci vypalovaných vzorků. Jemná frakce vykazuje výrazně nižší úbytky. To je pravděpodobně způsobeno lepší vzájemnou interakcí jednotlivých složek v rámci zrn materiálu v hrubé frakci vzorku.

Varas et al. (2004) zmiňují hlavní fáze vznikající při výpalu v hydraulických vápnech a přírodních cementech. Jedná se o belit (C₂S), volné vápno (CaO), křemen a další fáze SiO₂ a portlandit ((Ca(OH)₂). Stejně hlavní fáze byly identifikovány i v experimentálně vypálených vzorcích z Branických skal. Weber et al. (2007) uvádí vedlejší fáze, které jsou často přítomné ve vypalovaném materiálu. Jedná se o vápenaté křemičitanu CS, C₃S₂, C₃A, vápenatý hlinitokřemičitan gehlenit (C₂AS) a vápenatý hlinitoželezitan brownmillerit (C₄AF). Ve vzorcích studovaných v této práci byly z výše zmíněných fází zaznamenány pouze gehlenit a brownmillerit. Z vedlejších fází však byla navíc zaznamenána přítomnost wollastonitu a Al₂O₃. Minoritní fáze byly zjištěny buď ve velmi malém množství, nebo jen v některých vzorcích. Konkrétně byla zjištěna přítomnost vápenatého hlinitanu CA, Fe₂O₃ a křemičitanu-uhličitanu spurritu.

Minoritní fáze zjištěné v experimentálně vypálených vzorcích pravděpodobně představují přechodné fáze, které se postupně vlivem nárůstu teploty stávají méně stabilními a následně přecházejí do ostatních přítomných fází. Vápenatý hlinitan CA byl zaznamenán pouze při nízkých teplotách. S nárůstem teploty pravděpodobně dochází k jeho rozpadu a přechodu Al³⁺ do gehlenitu či brownmilleritu a Ca²⁺ do nových vápenatých křemičitanů (např. belitu). Fáze Fe₂O₃ byl zjištěn pouze ve vzorku HPV/I/1, a to za teplot 900 a 950°C. Postupně ale přechází do nových železitých fází (brownmilleritu). Křemičitan-uhličitan spurrit (Ca₅(SiO₄)₂(CO₃)) pravděpodobně představuje jeden z meziproductů vznikajících reakcemi ostatních fází. Spurrit nejčastěji vzniká reakcemi vápenatých křemičitanů (CS, C₃S₂, C₂S a C₃S) nebo křemene a CaCO₃ (Bolio-Arceo a Glasser 1990). Tato fáze je obvykle stabilní v teplotním rozmezí kolem 900 – 1100°C (Glasser 1973). Ve studovaných vápencích byl spurrit zjištěn ve všech vzorcích v jemné frakci a ve vzorcích HPV/I/3 a HPV/I/4 i v hrubé frakci. Jeho nejvyšší zastoupení bylo zjištěno za stejných teplot, jaké uvádí Glasser (1973). Avšak v některých vzorcích (HPV/I/3 a HPV/I/4) byl zjištěn i za teplot výpalu kolem 1200°C. Tento fakt byl pravděpodobně způsoben vhodnými podmínkami v peci, za kterých byl tento minerál stabilní, konkrétně vysokou koncentrací přítomného CO₂ a dostatečným množstvím vápenatých křemičitanů.

Ze srovnání jednotlivých vzorků HPV/I/1, HPV/I/2, HPV/I/3 a HPV/I/4, vypalovaných při teplotách od 850 do 1200°C, jsou patrné mnohé rozdíly ale i vzájemné spojitosti. Stejně jako tomu bylo u analýz nevypálených vápenců, tak i v difrakčních záznamech z experimentálně vypálených vzorků mají podobný charakter dvojice vzorků HPV/I/1 a HPV/I/2 a dvojice HPV/I/3 a HPV/I/4.

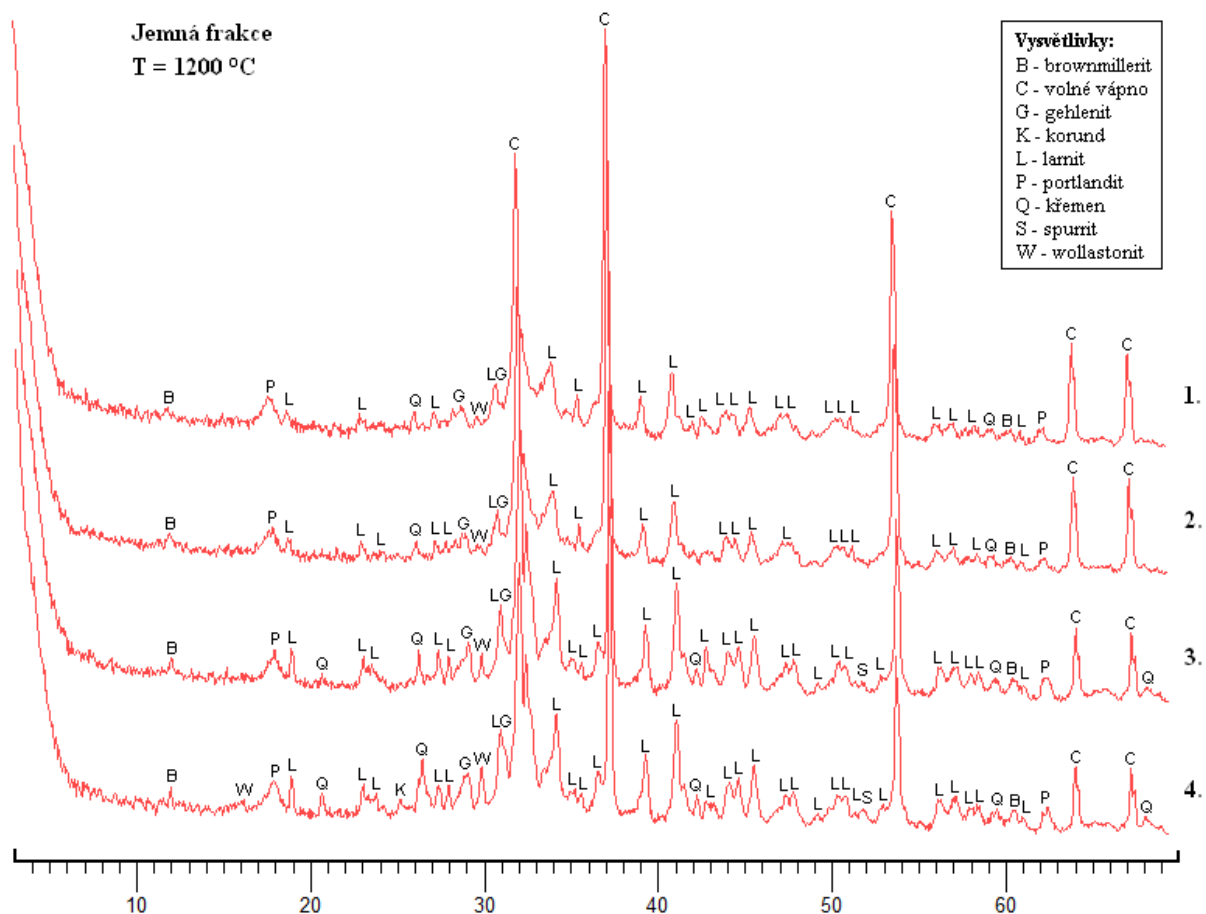
Vzorky HPV/I/1 a HPV/I/2 vzhledem k nižšímu obsahu příměsí, a tudíž i vyššímu zastoupení CaO (CaCO₃), jsou ve srovnání se vzorky HPV/I/3 a HPV/I/4 chudší na hydraulicky aktivní fáze, především larnit. Ten se ve vzorcích objevuje již za nejnižší teploty výpalu (850°C), ale počet jeho evidovaných difrakcí i jeho celkové množství se v prvních dvou vzorcích výrazně nižší. To je způsobeno celkově nízkým zastoupením Si⁴⁺ ve vypalovaném materiálu. Tento prvek pak schází při vazbě s Ca²⁺, který je naopak dostatečně zastoupen. Ke vzniku většího množství této fáze dochází až při vyšších teplotách

výpalu kolem 1200°C (Obr. 51 a 52). Menší zastoupení mají taktéž gehlenit, brownmillerit a wollastonit, jejichž vznik je taktéž vázán na dostatečné množství příměsí, konkrétně přítomnost prvků Si^{4+} , resp. Al^{3+} a Fe^{3+} . Naopak v těchto dvou vzorcích jsou výrazněji zastoupeny fáze typické pro slabě hydraulická vápna, především volné vápno a portlandit. Ty vznikají rozpadem převládajícího $CaCO_3$, případně jeho slabou hydratací. Zastoupení křemene a dalších fází SiO_2 je v těchto vzorcích nízké. Výrazně se snižuje vlivem nárůstu teploty výpalu, kdy přechází do nově se vytvářejících fází (převážně vápenatých křemičitanů).

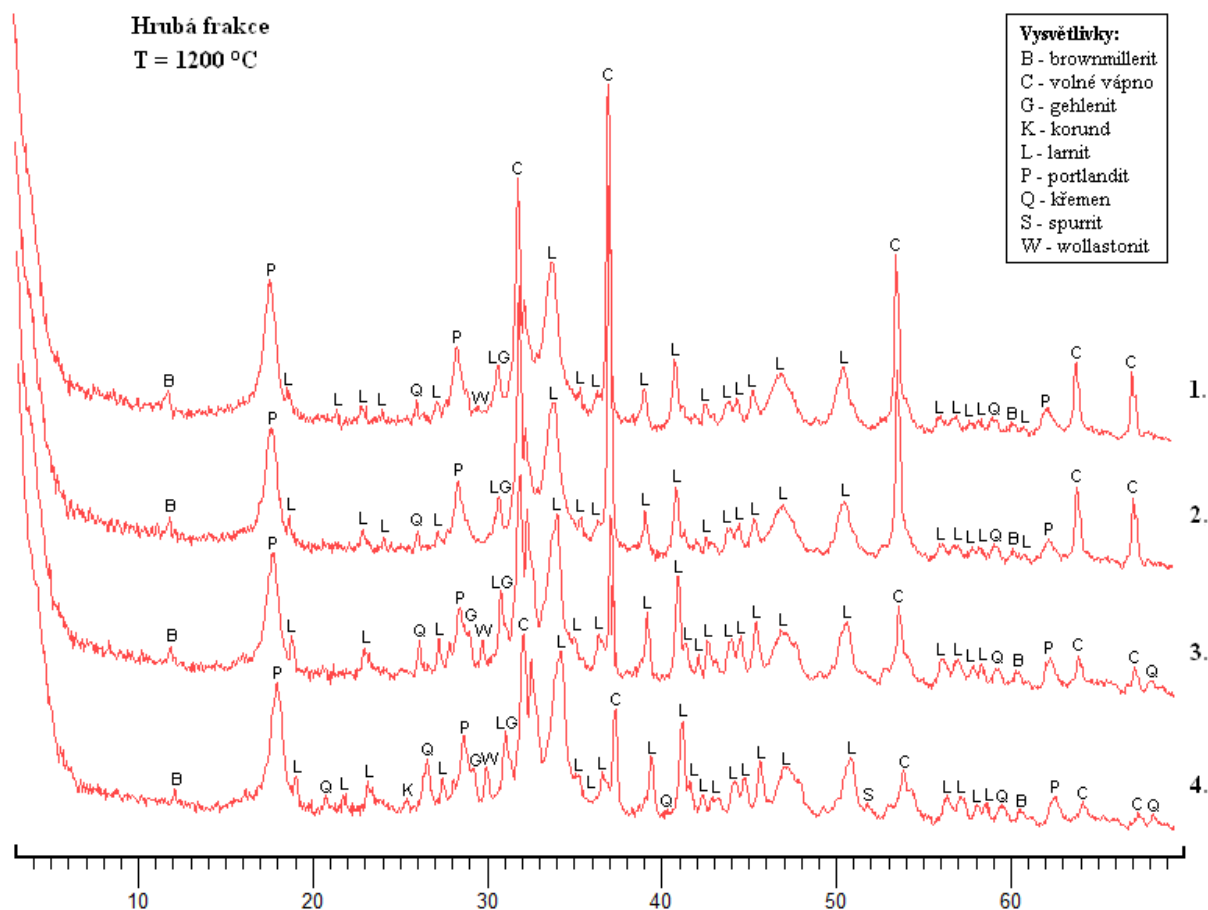
Ve vzorcích HPV/I/3 a HPV/I/4 bylo zjištěno vyšší zastoupení příměsí, díky kterým následně snadněji vznikají různé hydraulické fáze. Larnit je tak v těchto vzorcích výrazněji zastoupen již při nižších teplotách výpalu. Jeho množství pak značně narůstá při teplotách kolem 1200°C (Obr. 50 a 51). Vyšší je taktéž zastoupení gehlenitu, brownmilleritu a wollastonitu. Díky přítomnosti prvků Si^{4+} , Al^{3+} a Fe^{3+} mohou tyto fáze vznikat ve větším množství. V těchto dvou vzorcích je taktéž ve větším množství zastoupen Al_2O_3 , který při vyšších teplotách výpalu vstupuje do dalších fází. Vlivem nižšího obsahu $CaCO_3$ jsou tyto vzorky v porovnání s HPV/I/1 a HPV/I/2 chudší na volné vápno a portlandit.

Zastoupení minoritních fází se mezi jednotlivými vzorky výrazněji neliší. Vápenatý hlinitan CA a křemičitan-uhlíčan spurrit vznikají ve všech vzorcích, fáze Fe_2O_3 je přítomna pouze ve vzorku HPV/I/1.

Celkově pak z porovnání všech vzorků vyplývá, že nejvyšší množství hydraulických fází (larnitu, gehlenitu a brownmilleritu) vzniká ve vzorku HPV/I/4. Naopak nejvyšší zastoupení fází typických pro slabě hydraulická vápna (volné vápno a portlandit) vzniká ve vzorcích HPV/I/1 a HPV/I/2.



Obr. 50. Porovnání difrakčních záznamů vzorků HPV/I/1 (1.), HPV/I/2 (2.), HPV/I/3 (3.) a HPV/I/4 (4.) jemné frakce vypalované za teploty 1200°C.



Obr. 51. Porovnání difrakčních záznamů vzorků HPV/I/1 (1.), HPV/I/2 (2.), HPV/I/3 (3.) a HPV/I/4 (4.) hrubé frakce vypalované za teploty 1200°C.

Ze srovnání difrakčních záznamů jemné a hrubé frakce vypalované za různých teplot vyplývá, že největší rozdíly v intenzitách jednotlivých difrakcí jsou patrné u larnitu, volného vápna a portlanditu. Larnit má v jemné frakci nižší a méně početné záznamy, než ve frakci hrubé. Je zde taktéž zastoupen v menším množství. Podobný charakter mají i difrakce portlanditu, jehož difrakce jsou výraznější v hrubé frakci. Opačnou tendenci pak mají difrakce volného vápna. Ty jsou výraznější v jemné frakci vypalovaného materiálu. V hrubé, především vlivem narůstající teploty výpalu, se výrazně snižují. To souvisí i s celkovým úbytkem volného vápna ve vzorcích vypalovaných za vysokých teplot.

Různé chování jednotlivých fází je pravděpodobně ovlivněno velikostí zrn vypalovaného materiálu. V hrubší frakci dochází v rámci jednotlivých částic ke snazší interakci přítomných prvků. Prvky jsou v rámci jednotlivých zrn velmi blízko u sebe, tudíž snadno dochází ke vzniku nových fází. Hydraulické fáze, především larnit, tak vznikají i za nižší teploty výpalu. Dochází i k rychlejšímu a výraznějšímu úbytku volného vápna, neboť Ca^{2+} přechází do nově vznikajících vápenatých fází. Difrakce portlanditu jsou výrazně vyšší v hrubé frakci, kde snadněji zůstává (OH^-) skupina zabudovaná ve struktuře této fáze, a to právě vzhledem k velikosti zrnitostní frakce. V jemné frakci jsou procesy výměny prvků mezi jednotlivými částicemi zpomaleny, a to z důvodu namletí na drobnou velikost zrn. Mezi jednotlivými zrny nedochází tak snadno k výměně jednotlivých prvků, a tudíž k tvorbě nových fází. V jemné frakci naopak dochází vzhledem k menší velikosti částic ke snazšímu úniku vlhkosti a ztrátě (OH^-) skupiny ze struktury portlanditu. K výraznějším interakcím by pravděpodobně došlo až po překročení slinovací teploty, tedy při výpalu materiálu nad 1250°C.

Celkově pak lze z provedených experimentálních výpalů a následných analýz vypálených vzorků potvrdit předpoklad, že studovaný materiál představuje vhodnou surovinu použitelnou k výrobě nejčastěji středně hydraulických vápen. Při nejvyšší teplotě výpalu (1200°C) dochází k nejvýraznějším fázovým změnám. Vzniká zde i nejvyšší množství hydraulicky aktivních fází, především larnitu, méně pak i brownmilleritu či gehlenitu. Naopak je zde nejnižší zastoupení v obsazích volného vápna, křemene a dalších fází SiO₂. Tyto složky nebyly za vysokých teplot přítomné z důvodu jejich nestability a přechodu jednotlivých prvků do nově vytvořených fází.

7.6. Využití hydraulických vápen a ekologické aspekty jejich výroby

V současné době převládá v památkové péči snaha využívat při opravách a restaurátorských zásazích původní materiály, nebo alespoň materiály jim velmi blízké (Lánik a Cikrt 2001). Nabízí se tedy možnost využívat k těmto účelům takové vápence a z nich vyráběná hydraulická vápna, které mají stejné vlastnosti a charakteristiky jako zde zkoumané a analyzované materiály. Vzhledem k tomu, že v dnešní době nejsou barrandienské vápence zpracovávány na hydraulická vápna a jejich produkce je nahrazována dovozem a produkcí cementů nižších tříd, mohou dvorecko-prokopské vápence představovat zdroj kvalitního hydraulického vápna vhodného na opravu řady pražských památek (Keprová et al. 1998). Tyto vápence však nemusí představovat zdroj stavebního vápna určeného pouze k opravám. Mohou taktéž nalézat uplatnění v moderním stavitelství, kde v mnoha aplikacích mohou konkurovat portlandskému cementu (Keprová et al. 1998).

Portlandský cement je v současnosti nejpoužívanějším hydraulickým pojivem (Cahn et al. 1997). Jeho produkce však představuje globálně poměrně velkou ekologickou zátěž. Při jeho výrobě je totiž produkováno velké množství CO₂. Konkrétně se odhaduje, že při výrobě 1 tuny portlandského cementu je do ovzduší uvolněna 1 tuna CO₂ (Cahn et al. 1997). V roce 2010 dosahovala světová výroba portlandského cementu 3,3 miliardy tun ročně (Worrell et al. 2001). Při celkové produkci CO₂, která dosahovala v tomtéž roce přibližně 33 miliard tun, se tak cementářský průmysl podílel 10 % na světových emisích CO₂ (Worrell et al. 2001). Dalším problémem produkce portlandského cementu je vysoká energetická náročnost jeho výroby. Vápencový materiál určený na jeho výrobu je vypalován za teplot od 1450 až do 1550°C (Bárta 1961). To v průměru představuje spotřebu 3500 MJ na 1 tunu cementu (Cahn et al. 1997). Celkově tak bylo v roce 2010 na výrobu portlandského cementu využito 11550 miliard MJ vyprodukované energie (Worrell et al. 2001).

Určitou alternativu k produkci portlandského cementu představují právě hydraulická vápna. Jejich výroba je energeticky méně náročná, při jejich produkci je uvolňováno méně emisí a díky svému složení při tuhnutí absorbují zpět část uvolněného CO₂ (Cahn et al. 1997). Materiál určený k výrobě hydraulických vápen není nutné vypalovat za tak vysokých teplot, jako při výrobě portlandského cementu. Běžná hydraulická vápna se pálí při teplotách od 850 do 1200 až 1250°C (Bárta 1961). To představuje rozdíl v teplotách výpalu minimálně o 200, častěji však o 300 a více °C. Na výrobu 1 tuny hydraulického vápna je tak spotřebováno průměrně 2000 až 2800 MJ (Cahn et al. 1997). To celkově představuje energetickou úsporu 20 až 40 % při výrobě hydraulického vápna. Při výpalu vápence za nižší teploty se taktéž uvolňuje do ovzduší menší množství CO₂ (Worrell et al. 2001). Navíc, díky přítomnosti oxidu vápenatého (volného vápna), které bývá ve větším množství zastoupeno především ve slabě hydraulických vápnech, je při tuhnutí absorbován CO₂ z atmosféry (Cowper 2000). Pokud by tedy v budoucnu byla alespoň 1/3 světové produkce portlandského cementu nahrazena výrobou hydraulického vápna, klesla by energie využívaná v cementářském průmyslu na cca. 8000 miliard MJ ročně. Výrazně by taktéž došlo ke snížení emisí CO₂ z cementářské výroby, pravděpodobně o 15 až 20 % (Worrell et al. 2001). V celkovém kontextu tak lze hydraulická vápna považovat za materiály šetrnější k životnímu prostředí, než jakým je portlandský cement. Jejich uváženým využitím by byla nejen snížena ekologická zátěž cementářského průmyslu, ale taktéž by výrazně došlo ke snížení energetických, a tudíž i finančních nároků v tomto odvětví.

7.7. Možnosti budoucího experimentálního výzkumu

Využití barrandienských vápenců za účelem výroby alternativních hydraulických pojiv nemusí být pouze uzavřenou historickou kapitolou. Obnova jejich výroby by byla v budoucnu logickým krokem, který by přinesl řadu výhod v restaurátorství, stavitelství i v otázkách ekologičtější výroby stavebních materiálů. Nabízí se tak i výhledově pokračování ve výzkumu barrandienských vápenců studovaných za účelem výroby těchto hydraulických pojiv. V další práci by bylo vhodné zkoumat dvorecko-pokopské vápence těžené v současných lomech a experimentálně ověřit jejich využitelnost na hydraulická vápna. Bylo by tak možné provést srovnání historické lokality Branických skal s aktivními těžebními a porovnat tak chování jednotlivých vápenců při experimentálním výpalu. Výsledky by následně přinesly další informace o Barrandienských vápencích a možnostech jejich alternativního využití.

8. ZÁVĚR

Úvodní přehodnocení jednotlivých typů barrandienských vápenců bylo provedeno na základě přepočtu chemických analýz pomocí vápenických a cementářských indexů a modulů. Z těchto údajů vyplývá, že surovinou vhodnou k výrobě slabě hydraulických vápen jsou vápence kotýské a kosořské. K výrobě středně hydraulických vápen se hodí většina radotínských, řeporyjských, dvorecko-prokopských a zlíčovských vápenců. K výrobě silně hydraulických vápen, případně přírodních cementů je pak možné použít některé radotínské, zlíčovské, kopaninské nebo přídolské vápence. Celkově pak platí, že dvorecko-prokopské a zlíčovské vápence představují nejvhodnější materiál k výrobě hydraulických vápen v rámci celého Barrandienu. Ze studia dostupné literatury vyplynulo, že nejrozšířenější typem vápencům, využívaným v minulosti pro výrobu anorganických stavebních pojiv, byly dvorecko-prokopské vápence. Z tohoto důvodu byly v této práci zvoleny jako základní materiál pro experimentální studium. Jako typová lokalita jejich výskytu byl vybrán areál opuštěných lomů v Praze v Bráníku.

Čtyři základní studované vzorky vápenců byly na základě mikroskopického studia klasifikovány jako biomikritické vápence (pomocí Folkovy klasifikace), případně jako wackstone až packstone (podle Dunhamovy klasifikace). Ze studia pomocí optického mikroskopu a katodové luminescence byl potvrzen převládající kalcit v podobě mikritické složky v základní hmotě, méně často též jako diagenetický sparit. Dále byla zjištěna přítomnost četných bioklastů příslušejících tentakulitům, brachiopodům, ostrakodům, gastropodům či trilobitům. Obsah nekarbonátové příměsi byl stanoven odloužením uhličitánů v kyselinách (octová, chlorovodíková). Fázové složení tohoto nerozpustného zbytku bylo analyzováno pomocí práškové RTG difrakce. Převládající složkou byl illit, doprovázený kolísajícím obsahem kaolinitu, křemene, případně též živců. Ve dvou ze čtyř studovaných vzorků byla zjištěna přítomnost chloritu. S celkovým složením a vnitřní stavbou studovaných hornin souvisí i předpokládané prostředí vzniku. Lze předpokládat, že vzorky HPV/I/1 a HPV/I/2 vznikaly v prostředí s nízkou energií v hlubších partiích šelfového moře. U vzorků HPV/I/3 a HPV/I/4 je předpokládán vznik v prostředí s vyšší energií, tedy v menší hloubce na hrazeném šelfu či karbonátové rampě.

Z výsledků silikátové analýzy, tedy ze zastoupení jednotlivých oxidických komponent horniny, byly vypočteny příslušné vápenické a cementářské indexy a moduly. Z nich vyplynulo, že vzorky HPV/I/1 a HPV/I/2 představují vhodnou surovinu pro výrobu slabě až středně hydraulických vápen, zatímco vzorky HPV/I/3 a HPV/I/4 se hodí k výrobě vápen vykazujících střední hydraulicitu.

Experimentální ověření využitelnosti studovaných vápenců pro výpal hydraulických pojiv pomocí laboratorního výpalu v rozmezí maximální teploty 850 – 1200°C a následnou práškovou RTG difrakční analýzou potvrdilo vznik četných hydraulických fází (larnit, brownmillerit, gehlenit), doprovázených volným vápnem a portlanditem. Fáze přítomné ve vypáleném produktu bylo možné rozdělit do tří skupin, a to na hlavní, vedlejší a minoritní. Hlavní fáze representoval larnit, volné vápno, křemen a další fáze SiO₂ a portlandit. K vedlejším fázím patřil brownmillerit, gehlenit, wollastonit a Al₂O₃. Minoritní fáze, zjištěné ve vypalovaných materiálech, pak byly vápenatý hlinitan CA, Fe₂O₃ a spurrit. Přítomnost a četnost zjištěných fází byla ovlivněna maximální teplotou dosaženou během výpalu. S nárůstem teploty výpalu docházelo k výraznému zvyšování procentuálního zastoupení larnitu, naopak ubývalo volné vápno a křemen a další fáze SiO₂. Množství portlanditu se vlivem různých teplot výpalu příliš neměnilo. Nejvyšší koncentrace larnitu a dalších fází typických pro hydraulická vápna byly zaznamenány při vysokých teplotách výpalu kolem 1200°C, a to především v hrubé frakci vzorků HPV/I/3 a HPV/I/4, tedy vzorků s nejvyššími obsahy nekarbonátové složky.

Z analýz uvedených v této práci souhrnně vyplývá, že všechny studované vzorky vápenců představují velmi kvalitní materiál, vhodný pro výrobu převážně středně hydraulických vápen. Byly tak potvrzeny informace z historických zdrojů, podle kterých byl v minulosti těžen v Branických skalách velmi kvalitní materiál, používaný k výrobě proslaveného staropražského hydraulického vápna.

9. LITERATURA

- Barbin V., Ramseyer K., Decrouez D., Burns S. J., Chamay J., Maier J. L., 1992. *Cathodoluminescence of White Marbles: Determination of Provenance by Isotopic Analysis*. Science, 176, str.
- Bárta R., 1961. *Chemie a technologie cementu*. Nakladatelství Československé akademie věd. Praha, 1108 str.
- Bolio-Arceo H., Glasser F. P., 1990. *Formation of spurrite, $Ca_5(SiO_4)_2CO_3$* . Pergamon Press, United States. Cement and Concrete Research, roč. 20, str. 301-307.
- Brožová J., 2003. *Rekultivace vápencových lomů v CHKO Český kras*. Diplomová práce. PřF UK Praha, Ústav pro životní prostředí, 73 str., 6 příl.
- Cahn, D., Greer W., Moir R., 1997. *Atmospheric CO₂ and the U.S. Cement Industry*. World Cement, roč. 28, č. 8, str. 64-68.
- Cowper A. D., 2000. *Lime and Lime Mortars*. Donhead Publishing Ltd. Shaftesbury. First Publisher in 1927 for the Building Research Station, London, 96 str.
- Dibdin W. J., 2008. *Lime, Mortar, & Cement: Their Characteristics And Analyses - With An Account Of Artificial Stone And Asphalt*. Real Books, London, 238 str.
- Drahota P., Rohovec J., Filippi M., Mihaljevič M., Rychlovský P., Černý V., Pertold Z., 2009. *Mineralogical and geochemical controls of arsenic speciation and mobility under different redox conditions in soil, sediment and water at the Mokrsko-West gold deposit, Czech Republic*. Elsevier, Science of the Total Environment, 407, str. 3372-3384.
- Eckel E. C., 1922. *Cements, Limes and Plasters: Their Materials, Manufacture, and Properties*. 2. vydání, John Wiley & Sons, New York, 752 str.
- Edison M. P., 2007. *Natural Cement in the 21st Century*. Journal of ASTM International, Vol. 4, No. 1. 10 str.
- Fatka O., Kvaček J., 2006. *Excursions field guide book of the 7th EPPC*. National Museum, Praha, 94 str.
- Fiala F., 1970. *Silurské a devonské diabasy Barrandienu*. Sbor. geol. Věd, Geol., 17, Praha, str. 7-89.
- Fiala J., 1994. *Kvalitativní a kvantitativní fázová analýza*. In: Smrček Ľ. (ed.) *Difrakcia na polykrystalických látkách*. Vydavatelstvo R & D Print, Bratislava. Kapitola 10, str. 231-254.
- Glasser F. P., 1973. *The formation and thermal stability of spurrite, $Ca_5(SiO_4)_2CO_3$* . Pergamon Press, United States. Cement and Concrete Research, roč. 3, str. 23-28.
- Gualtieri A. F., Viani T, A., Montanari C., 2005. *Quantitative phase analysis of hydraulic limes using the Rietveld method*. Elsevier, Cement and Concrete Research, Science direct, 36, str. 401-406.
- Havlíček V., 1971. *Stratigraphy of the Cambrian of Central Bohemia*. Sbor. geol. Věd, Geol., č. 20, Praha, str. 7-52.
- 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, Praha, str. 7-48.
- Hladíl 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.
- Houzar S., Leichmann J., 2003. *Application of cathodoluminescence to study of metamorphic textures in marbles from the eastern part of Bohemian Massif*. Bulletin of Geosciences, roč. 78, č. 3, str. 241-250.

- Cháb J., 1993. *General problems of the TB (Teplá-Barrandian) Precambrian, Bohemian Massif, the Czech Republic*. Věst. ČGÚ, č. 68, Praha, str. 1-6.
- Charola E. A. a Henriques F. M. A., 1999. *Hydraulicity in lime mortars revisited*. International Workshop, University of Paisley, 9 str.
- Chlupáč, I., 1983. *Stratigraphical position of Barrande's paleontological localities in the Devonian of Central Bohemia*. Čas. Min. Geol., 23 (3), Praha, str. 261-275.
- Chlupáč I., 1993. *Geology of the Barrandian: a field trip guide*. Published by the Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft. Frankfurt am Main, 163 str.
- Chlupáč I., 1999. *Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí*. Academia, Praha, 280 str.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník 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.
- Chlupáč I., Kukul Z., 1986. *Reflection of possible global Devonian event in the Barrandian area, ČSSR*. Lecture Notes Earth sci., 8, Global Bio-Events, Göttingen, str. 171-179.
- Chlupáč I., Kukul Z., 1988. *Possible global events and the stratigraphy of the Barrandian Palaeozoic (Cambrian-Devonian)*. Sbor. geol. Věd, Geol., č. 43, Praha, str. 83-146.
- Chlupáč I., Oliver W. A., 1989. *Decision on the Lochkovian-Pragian boundary stratotype (Lower Devonian)*. Episodes, č. 12, Washington, str. 109-113.
- Johnson W. M., Maxwell J. A., 1981. *Rock and Mineral Analysis*. J. Wiley, New York., 2. vydání, 489 str.
- Keprová A., Schneider P., Štingl M., 1998. *Těžba a zpracování vápenců v Českém krasu a životní prostředí*. Sborník příspěvků. Děti země, Praha, 40 str.
- Kettner R., 1924. *Výskyty vápencových ložisek v Československu*. Zprávy 2. sjezdu vápenického průmyslu, Praha, 12 str.
- Klápová H., Hyršl J., 2000. *Correlation of Neoproterozoic conglomerates of the Barrandian and Saxothuringian units*. Věst. ČGÚ, č. 75, Praha, str. 217-228.
- Kovanda J., Balatka B., Bernard J., Brunnerová Z., Březinová D., Bukanovská M., Cílek V., Fridrichová M., Havlíček V., Holub V., Hrdlička V., Chlupáč I., Kadlecová R., Kachlík V., Kaprasová E., Kleček M., Král J., Kříž J., Lochmann Z., Lysenko V., Mašek J., Šalanský K., Tomášek M., Zelenka P., 2001. *Neživá příroda Prahy a jejího okolí*. Academia, Praha, 216 str.
- Kraus I., 1985. *Úvod do strukturní rentgenologie*. Academia, Praha, 231 str.
- Kříž J., 1992. *Silurian field excursions: Prague Basin (Barrandien) Bohemia*. National Museum of Wales, Geological Series, 111 str.
- Kříž J., 1999. *Geologické památky Prahy*. Český geologický ústav, Praha, 278 str.
- Kříž J., Dufka P., Jaeger H., Schönlaub H. P., 1993. *The Wenlock/Ludlov boundary in the Prague Basin (Bohemia)*. Jb. Geol. Bundesanst, 136, 4, Wien, str. 809-839.
- Kukul Z., 1985. *Vývoj sedimentů Českého masivu*. Ústřední ústav geologický, Academia, Praha, 223 str.
- Kukul Z., Jäger O., 1988. *Siliciclastic signal of the Variscan orogenesis: The Devonian Srbsko Formation of Central Bohemia*. Věst. ÚÚG, č. 63, Praha, str. 65-81.
- Lanas J., Pérez Bernal J.L, Bello M.A., Alvarez Galindo J.I., 2004. *Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars*. Pergamon, Cement and Concrete Research, Science direkt, 34, str. 2191-2201.

- Láník J., Cikrt M., 2001. *Dvě tisíciletí vápenictví a cementářství v českých zemích*. Svaz výrobců cementu a vápna Čech, Moravy a Slezska, Výzkumný ústav maltovin Praha spol. s r. o., Praha, 201 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, str. 271-301.
- Müller Ch. J., 2005. *Pozzolanic activity of natural clay minerals with respect to environmental geotechnics*. Disertační práce na Swiss Federal Institute of Technology, Zürich. 159 str.
- Nedvěd P., 1989. *Vliv těžby a zpracování vápenců na životní prostředí v CHKO Český kras*. PřF UK Praha, Ústav pro životní prostředí, 130 str., 2 příl.
- Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D., 2000. *Cathodoluminescence in Geosciences: An Introduction*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, str. 1-21.
- Patočka F., Vlašímský P., Blechová K., 1993. *Geochemistry of Early Paleozoic Volcanics of the Barrandian Basin (Bohemian Massif, Czech Republic): Implications for Paleotectonic Reconstructions*. Jahrbuch der Geol. Bundesanstalt., AV ČR, GLÚ, roč. 136, č. 4, str. 873-896.
- Pecharsky V., Zavalij P., 2009. *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*. Springer, 744 str.
- Petránek J., 1963. *Usazené horniny*. Academia, Praha, 720 str.
- Potts P. J., 1995. *A handbook of silicite rock analysis*. Blackie Academic and Professional, London. 662 str.
- Prokop F., 1951. *Soupis lomů ČSR, 42. Okresy Praha-město a Praha venkov-sever*. Ústř. úst. geol., Praha. 181 str.
- Přikryl R., Šťastná A., 2010. *Contribution of clayey-calcareous silicite to the mechanical properties of structural mortared rubble masonry of the medieval Charles Bridge in Prague (Czech Republic)*. Engineering Geology 115, str. 257-267.
- Rybařík V., 1992. *Barrandienské mramory*. SbGV, Ložisk. geol., mineral., č. 30, str. 91-123.
- Rybařík V., 1994. *Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky*. Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské v Hořicích v Podkrkonoší, 218 str.
- Skoček V., Kukul Z., 1998. *Oncoidal and Ooidal Ironstone in the Lower Devonian Limestone Sequence, Barrandian, Czech Republic*. Věst. ČGÚ, roč. 73, č. 1, Praha, str. 23-32.
- Stow D. A. V., 2005. *Sedimentary Rocks in the Field*. Manson Publishing, London, 320 str.
- Suchý V., 1992. *Lečice black Shale (Barrandian Upper Proterozoic, central Czechoslovakia): euxenic facies of a starved preflysch basin*. In Kříbek B. (ed) *Metallogeny and Anoxic Environments (IGCP 254)*, Praha, str. 13-15.
- Suk M., Zárubová H., 1984. *Geological history of the territory of the Czech Socialist Republic*. ÚÚG, Academia Praha, 396 str.
- 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.
- Taylor H. F. W., 2004. *Cement chemistry*. Thomas Telford Publishing, London, 415 str.
- Tucker M. E., 2001. *Sedimentary Petrology: an introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Blackwell Science, Oxford, 3. vydání, 262 str.
- Varas M. J., Alvarez de Buergo M., Fort R., 2004. *Natural cement as the precursor of Portland cement. Methodology for its identification*. Elsevier, Cement and Concrete Research, Science direct, 35, str. 2055-2065.

Waldhausrová J., 1971. *The chemistry of the Cambrian volcanites in the Barrandian area*. Krystalinikum, č. 8, Praha, str. 45-75.

Weber J., Gadermayr N., Kozłowski R., Mucha D., Hughes D., Jaglin D., Schwarz W., 2007. *Microstructure and mineral composition of Roman cements produced at defined calcination conditions*. Elsevier, Materials Characterization, 58, str. 1217-1228.

Worrell, E., Price L., Martin N., Hendriks C., Ozawa Meida L., 2001. *Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry*. Annual Review of Energy and the Environment, str. 303-329.

Nepublikované závěrečné zprávy a posudky:

Anders E., Kořalková J., Ovčarov K., 1970. *Závěrečná zpráva Lejškov. Surovina: Cementářská. Etapa: vyhledávací*. Geindustria, Praha (GF P022987), 37 str., 87 příl.

Bárta J., Boháček J., Ježková H., Němec V., Štefek V., Zelinková Z., 1985. *Loděnice IV. Surovina: vápenec pro výrobu vápen*. Geindustria, Praha (GF FZ006051), 57 str., 123 příl.

Bárta J., Bursíková I., Cmuntová M., Čech J., Koubcová J., Lanar M., Němec V., Neumannová Š., Pacáková L., Vejvodová H., Zelinková Z., 1989. *Kosov - Komplexní přehodnocení. Surovina: cementářské sialitické suroviny. Etapa průzkumu: podrobná*. Geindustria, Praha (GF FZ006245), 71 str., 158 příl.

Bárta J., Kořalková J., Ovčarov K., Pátková E., Pokorná Z., Šindelář J., Zelinková Z., 1974. *Závěrečná zpráva Bykoš - siality. Surovina: cementářská*. Geindustria, Praha (GF FZ005400), 68 str., 321 příl.

Bártů J., Lanar M., Machotka O., Maroušek J., Rybařík V., 1973. *Závěrečná zpráva Tetín. Surovina: kámen*. Geindustria, Jihlava (GF P023911), 81 str., 31 příl.

Bílek P., Bosák P., Herčík M., Kučera M., Štefek V., Zima K., 1993. *Závěrečná zpráva Velkolom Čertovy schody - západ. Surovina vápence vysokoprocenní*. Geindustria, GMS, Praha (GF P097053), 133 str., 45/13 příl.

Bosák P., 1994. *Rozbor surovinových vstupů do technologie výroby vápna a cementu na ložisku Čertovy schody - západ*. Geofond. Praha (GF P083267), 21 str.

Brož B., Štefek V., 2005. *Závěrečná zpráva a výpočet zbytkových zásob ložiska Trněný Újezd - Holý vrch v dobývacím území Trněný Újezd*. GET, s.r.o., Praha (GF FZ006771), 16 str., 6/8 příl.

Brunnerová Z., Cílek V., Procházka J., Reichmann F., Zima L., 1986. *Prognózní zhodnocení paleozoických vápenců v sv. části Barrandienu*. Ústřední ústav geologický, Praha (GF P053851), 47 str., 92 příl.

Cmuntová M., Hadač J., Němec V., Roessler J., Schmidt K., Zelinková Z., 1966. *Řeporyje. Surovina: cementářská*. Geindustria, Praha (GF FZ004794), 52 str., 22 příl.

Čech J., 1976. *Závěrečná zpráva úkolu Kuchařík. Surovina: cementářská*. Geindustria, Praha (GF P025457), 58 str., 44 příl.

Čech J., Lanar M., Štefek V., 1979. *Souborné hodnocení surovinové základny cementárny Lochkov*. Geofond. Praha (GF FZ005720), 37 str., 75 příl.

Habarta P., 1976. *Závěrečná zpráva úkolu Loděnice – Liština. Surovina: kámen. Etapa průzkumu: vyhledávací*. Geindustria, Praha (GF P025274), 32 str., 62 příl.

Hrzina P., Kebrt M., Lanar M., Pacáková L., Štefek V., 1992. *Kosoř - Hvízdalka. Surovina: cementářská. Etapa: těžební*. GMS Praha. MS Geofond Praha (GF P076496), 48 str., 58 příl.

Hrzina P., Mannová D., 2001. *Výpočet zbytkových zásob nerostných surovin ložiska Trněný Újezd - Holý Vrch. Surovina: vápenec ostatní*. GET, s.r.o., Praha (FZ006644), 16 str., 9/2 příl.

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.

- Kraus J., 1955. *Závěrečná zpráva resp. výpočet zásob chemicky čistých vápenců na lokalitě Čeřinka. ŽD Nučice. Geofond Praha (GF FZ001219), 20 str., 162 příl.*
- Lanar M., Štefek V., 1971. *Loděnice - východ. Surovina: vápenec. Geoindustria, Praha. (GF FZ005183), 72 str., 72 příl.*
- Lanar M., Štefek V., 1988. *Závěrečná zpráva úkolu Tetín. Surovina: vápenec. Geoindustria, Praha (GF P037506), 51 str., 14 příl.*
- Lanar M., Štefek V., 1994. *Závěrečná zpráva Kozolupy - Čeřinka. Surovina: vápenec vysokoprocenní, vápenec ostatní. GET, s.r.o., Praha (GF FZ006503), 83 str.*
- Ovčarov K., 1976. *Závěrečná zpráva úkolu Kosov – Siality. Surovina: cementářská. Etapa průzkumu: dodavatelský. Geoindustria, Praha (GF P025112), 43 str., 69 příl.*
- Ovčarov K., Zelinková Z., 1972. *Vyhodnocení vápenických a cementářských surovin v západní části Barrandienu. Surovina: vápenická a cementářská. Geoindustria, Praha (GF FZ005232), 189 str., 94 příl.*
- Štefek V., 1996. *Přehodnocení ložiska Trněný Újezd - Čížovec. Surovina: stavební kámen. Kategorie zásob: vyhledávané. GET, s.r.o., Praha (GF FZ006529), 18 str., 2 příl.*

OBSAH PŘÍLOH

I. Chemické analýzy vápenců – rozdělení podle lokalit	1p
II. Chemické analýzy vápenců – rozdělení podle vrstev	4p
III. Petrografický popis studovaných vzorků	7p
Vzorek HPV/I/1	7p
Vzorek HPV/I/2	10p
Vzorek HPV/I/3	13p
Vzorek HPV/I/4	16p
IV. Nerozpustný zbytek	19p
V. Úbytek hmotnosti vypalovaných vzorků	20p
VI. Difrakční záznamy nerozpustného zbytku	22p
VII. Difrakční záznamy jemné frakce	28p
VIII. Difrakční záznamy hrubé frakce	32p
IX. Semi-kvantitativní vyhodnocení nerozpustného zbytku	36p
X. Semi-kvantitativní vyhodnocení nerozpustného zbytku	38p

III. PETROGRAFICKÝ POPIS STUDOVANÝCH VZORKŮ

Vzorek HPV/I/1

Makroskopický popis

Jedná se o tmavě šedý vápenec masivního a kompaktního charakteru bez znatelného zvrstvení. V jemnozrné základní hmotě, patrně mikritu, se vyskytují drobné fragmenty bioklastů. Jejich velikost dosahuje 1 až 1,5 mm. Místy vytvářejí nevelké shluky. V hornině jsou taktéž patrné drobné žilky vyplněné novotvořeným kalcitem. Některé partie horniny jsou lehce navětralé, vyskytují se zde rezavě zbarvené povlaky.

Mikroskopický popis – optická mikroskopie

Základní hmota popisované horniny je tvořena mikritem. Detritická složka je zastoupena bioklasty. V hornině se dále vyskytuje druhotný sparitový tmel a kalcitová zrna. Obě komponenty vznikly pozdějšími diagenetickými procesy. Hornina je středně dobře vytríděna.

Složky:

Matrix tvoří homogenní jemnozrný kalcitový materiál – mikrit. Ten představuje přibližně 55 obj. %. Velikost zrněk mikritu nepřesahuje 8 μm .

Bioklasty jsou v hornině zastoupeny přibližně v množství 25 – 35 obj. %. Jedná se o úlomky schránek drobných živočichů, převážně pak tentakulitů *Nowakia?* sp. (zastoupených 30 %) (Obr. 1p) a ostrakodů (zastoupených v 15 – 20 %). Různé úlomky schránek krinoidů (Obr. 2p), gastropodů a cephalopodů pak představují přibližně 25 – 30 % bioklastů. Zbývajících 20 – 30 % bioklastů nelze přesněji identifikovat. Některé schránky ostrakodů či tentakulitů, méně pak i další bioklasty, jsou vyplněny sekundárním kalcitovým tmelem – sparitem. Velikost bioklastů se pohybuje v rozmezí 100 – 450 μm , výjimečně až 1400 μm .

Z diagenetických složek se vyskytuje sekundární tmel sparit, konkrétně stejnozrný mezizrnový sparit. Ten je zastoupen zhruba v 5 – 10 obj. %. Tvoří drobné krystalky s velikostí kolem 50 μm . Ty vyplňují některé bioklasty nebo vytvářejí nevelké shluky v základní hmotě. Sekundární sparit vyplňuje i žilky vzniklé křehkou deformací při pozdější diagenézi.

Další složkou horniny jsou nápadná zrna kalcitu. Jejich velikost se pohybuje mezi 200 – 450 μm , množství odpovídá 5 – 10 obj. %. Jsou lehce zaoblená, bez sféricity. Jedná se o materiál, který vznikl ve volném pórovém prostoru horniny vysrážením kalcitových tmelů. Jedná se tedy o diagenetickou složku horniny.

Vznik horniny:

Složky sedimentu naznačují, že vznik této horniny probíhal v hlubším a klidnějším prostředí pod dosahem mořského vlnění. Mikrit sedimentoval ze suspenze a vzhledem k nízké energii prostředí nebyl později z horniny vymyt. Hornina pravděpodobně vznikla v hlubším šelfovém moři.

Diagenese:

Hornina prodělala nízký až střední stupeň kompakce. Při diagenезi vznikly enklávy sekundárního sparitu a hojné, kalcitem vyplněné žilky. Švy tlakového rozpouštění, patrné v některých částech výbrusu, jsou následkem slabého tlakového rozpouštění.

Klasifikace:

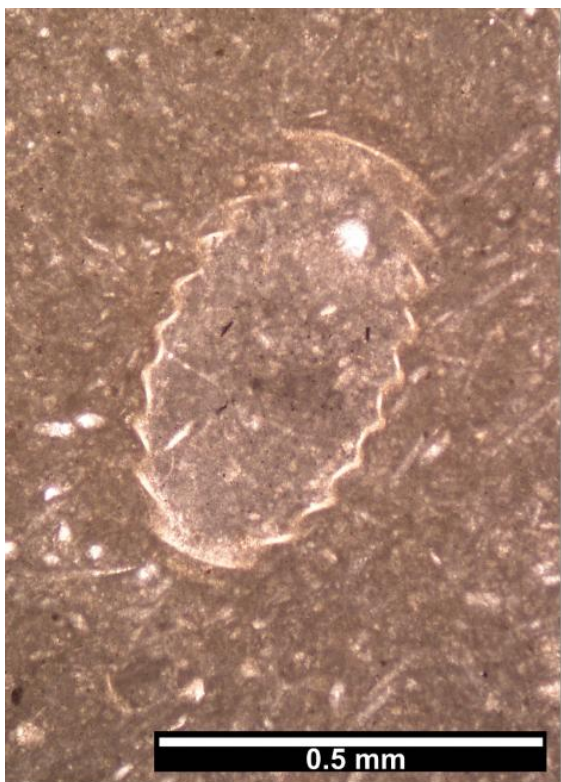
Při zařazení do Folkovy klasifikace se jedná o biomikritický vápenec, podle Dunhamovy klasifikace o wackestone.

Pozorování pomocí katodové luminiscence

Základní jemnozrnná hmota – mikrit – má v katodové luminiscenci jasně oranžovou barvu. Jsou v ní jasně patrné přechody z jemnějšího materiálu do hrubozrnnějšího, s vyšším zastoupením drobných úlomků bioklastů. V hrubozrnnějších partiích základní hmoty se také častěji vyskytuje sparitový tmel s výraznými světle oranžovými odstíny, popř. nevelké krystaly dolomitu s tmavě červenou luminiscencí.

Z jemnozrnné základní hmoty nápadně vystupují velké bioklasty. Nejčastější jsou to pozůstatky tentakulitů *Nowakia?* sp. (Obr. 3p a 4p). Některé schránky těchto živočichů jsou v hornině velmi dobře zachovány. Jejich okrajové partie mají tmavé zbarvení, uvnitř jsou často vyplněny základní hmotou či druhotným sparitem.

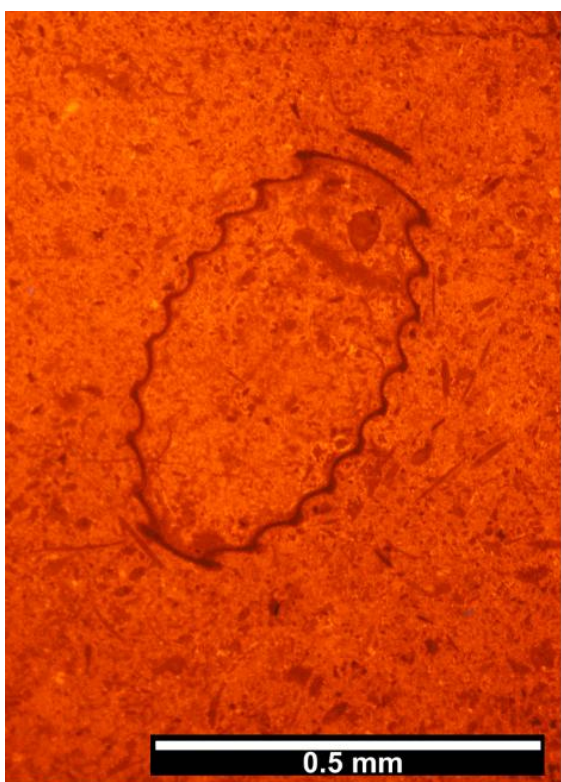
Katodovou luminiscencí lze ve výbrusu pozorovat nápadná světle modrá až fialová zrna, která se značně liší od okolního oranžově luminiskujícího kalcitového materiálu. Jedná se o drobné klasty živců a kaolinitu, které nejsou v optickém mikroskopu patrné. Světle modrou luminiscenci vykazují Na – živce (albity), tmavou pak K – živce (mikroklíny). Kaolinit se vyznačuje tmavě fialovým luminiscenčním zbarvením. Jejich množství v hornině nepřesahuje 10 – 20 obj. %. Vyskytují se jako malá zrnka s velikostí do 50 μm , výjimečně jsou zastoupeny větší klasty velké až 100 μm .



Obr. 1p. Schránka tentakulita *Nowakia?* sp. v jemnozrnné základní hmotě.



Obr. 2p. Článek ramene lilijice (krinoida) v jemnozrnném mikritu.



Obr. 3p. Schránka tentakulita *Nowakia?* sp. v jemnozrnné základní hmotě. Snímek z pozorování katodové luminiscence.



Obr. 4p. Průřez schránkou tentakulita *Nowakia?* sp. Snímek z pozorování katodové luminiscence.

Makroskopický popis

Pozorovaný vápenec má světle šedobílou barvu bez známek zvrstvení. Vyskytují se v něm drobné tmavé bioklasty, velké kolem 0,5 mm. Tyto složky jsou výrazně protažené. Základní hmota je jemnozrnná, mikritická, pravděpodobně s příměsí jílových minerálů. Místy se v hornině vyskytují drobné žilky vyplněné kalcitem. Na povrchu jsou často patrné lehce navětralé partie s hnědavými povlaky.

Mikroskopický popis – optická mikroskopie

Základní hmota vápence je složena z mikritu. Další složky, které lze ve výbrusu pozorovat, jsou bioklasty různého druhu a původu a sparitový tmel. Celkové je hornina středně dobře vytříděná.

Složky:

Mikrit je hlavní složkou základní hmoty zkoumané horniny. Vyskytuje se jako jemnozrnná výplň prostoru mezi ostatními klasty. Tvoří přibližně 60 – 65 obj. %. Jedná se o kalcitový materiál s příměsí jílových minerálů. Jeho velikost nepřesahuje 8 μm . Mikrit vytváří i větší shluky tmavého zbarvení – „mikritové nodule“. Ty se vyskytují v množství kolem 5 obj. %. Jejich velikost nepřesahuje 200 μm . Jemný mikrit taktéž tvoří výplň některých bioklastů.

Hlavní detritickou složkou jsou bioklasty. Vyskytují se zhruba ve 20 obj. %. Převládají zbytky schránek tentakulitů *Styliolina?* sp. (cca. 30 %) (Obr. 6p), gastropodů (10 %) (Obr. 5p) a ostrakodů (10p %) (Obr. 7p). Zbytky cephalopodů, brachiopodů, jehlic hub a trilobitů tvoří přibližně 20 %. U zbylých 30 % pozorovaných bioklastů není možné přesněji určit jejich původ. Bioklasty se v hornině vyskytují nahodile, případně vytvářejí větší shluky. Jejich velikost se pohybuje od 300 do 900 μm .

Diagenetickou složkou horniny je mezizrnový tmel – sparit. Ten vytváří izopachové nárůsty kolem bioklastů (v množství 5 – 10 obj. %), nebo se vyskytuje jako výplň pozdě diagenetických žilek (taktéž cca. v množství 5 – 10 obj. %).

Vznik horniny:

Pozorovaná hornina pochází z mořského prostředí z teplé šelfové oblasti. V porovnání se vzorkem HPV/I/1 však pravděpodobně vznikala ve větších hloubkách v podmínkách s celkově nižší energií. To lze zdůvodnit menším podílem bioklastů zastoupených v hornině a větším množstvím jemnozrnného mikritu, který charakterizuje právě hlubší a klidnější prostředí na šelfu.

Diagenese:

Vápenec byl při pozdější diagenезi postižen nízkým až středním stupněm kompakce. V hornině vznikly četné švy tlakového rozpouštění, které jsou vyplněny materiálem s příměsí jílových minerálů. Po zpevnění byla hornina křehce porušena a nově vzniklé trhlinky byly vyplněny kalcitem.

Klasifikace:

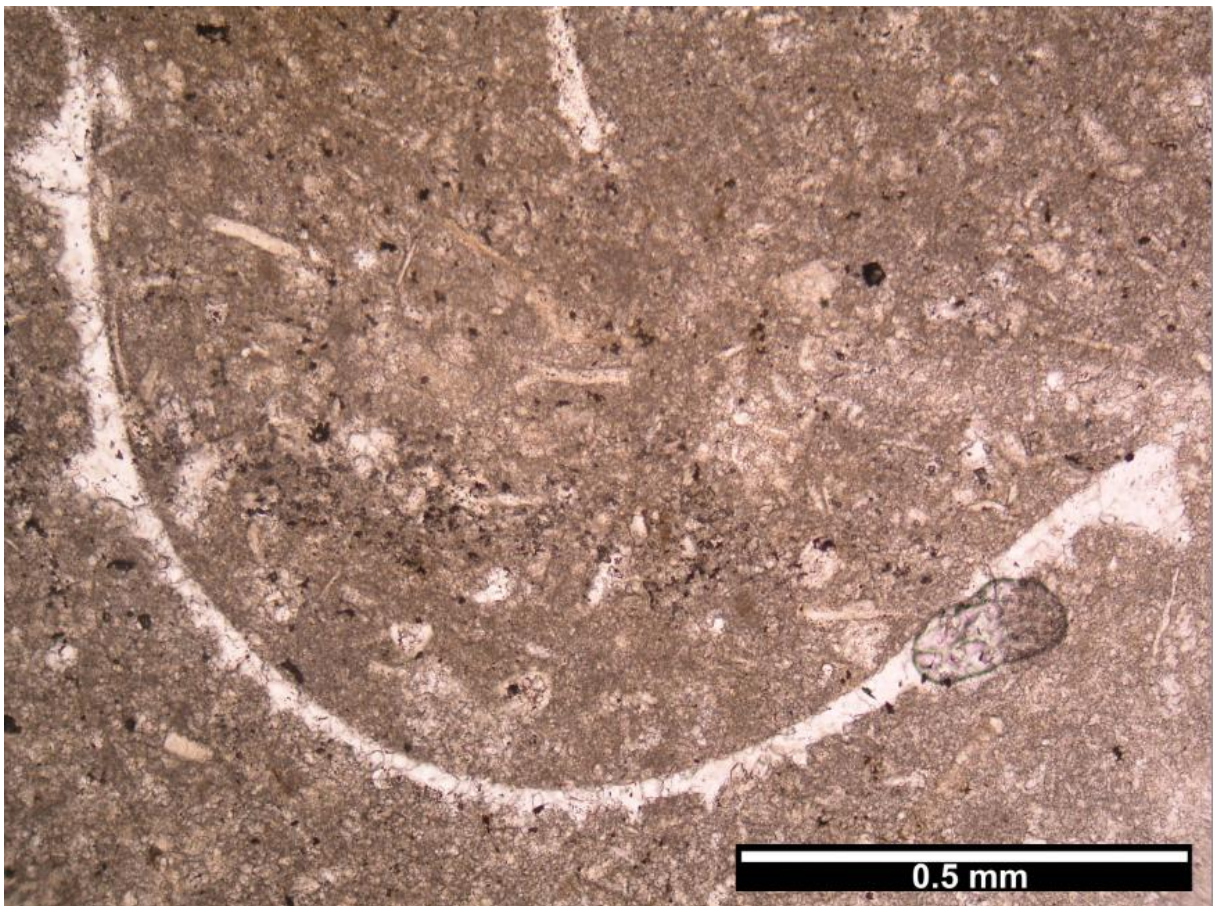
Podle Folkovy klasifikace je hornina biomikritickým vápencem, podle Dunhamovy klasifikace se jedná o wackestone.

Pozorování pomocí katodové luminescence

Při pozorování leštěného výbrusu je patrné střídání tmavších jemnozrnějších (mikritických) poloh a světlejších hrubozrnějších partií, v nichž převažuje sparit. Často lze pozorovat shluky, jak jemnějšího mikritu či pozůstatků po bioklastech, tak i světlejšího sparitového materiálu. Celkově má základní hmota horniny oranžovou až tmavě oranžovou luminescenční barvu.

Bioklasty výrazně vystupují z jemnozrné základní hmoty. Nejsou charakteristické žádnou luminescencí, tudíž se jeví jako tmavé až černé objekty. Převažují průřezy schránkami tentakulitů *Styliolina?* sp. (Obr. 8p a 9p), dále pak cephalopodů, brachiopodů a trilobitů.

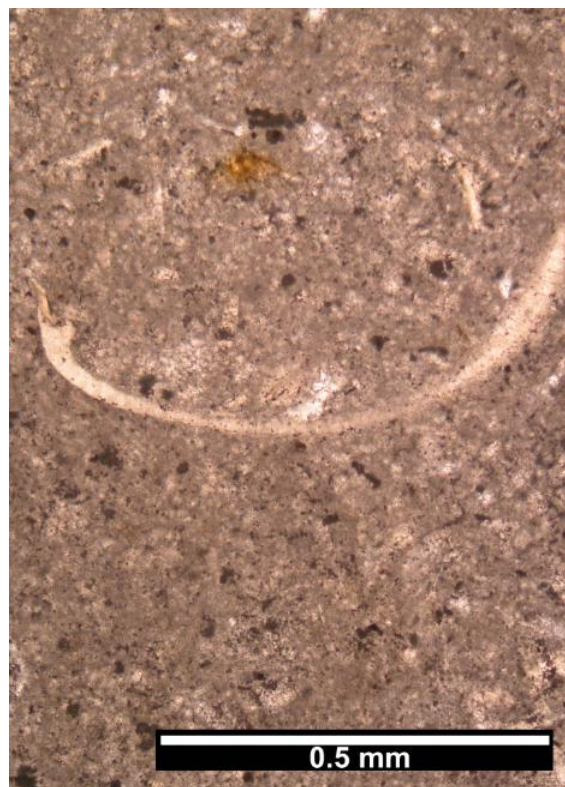
Detritický materiál je kromě bioklastů tvořen výraznými, světle modře až fialově zářícími zrnky. Patrné jsou jak světle modře luminskující zrnka Na – živců (albitů), tak i tmavě modře klasy K – živců (mikroklinů) a fialově luminskující partie bohaté na kaolinit. Jejich množství dosahuje 1 až 2 obj. %. Velikost těchto zrn se pohybuje mezi 50 – 80 μm .



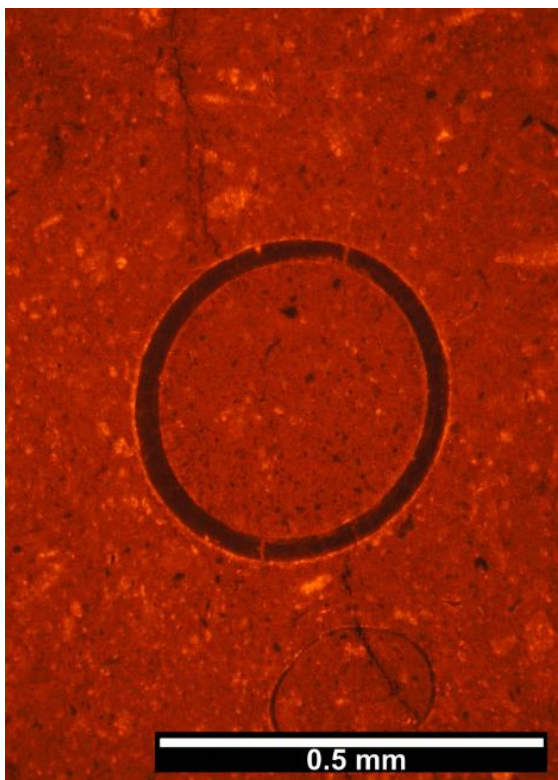
Obr. 5p. Průřez schránkou gastropoda (plze) v jemnozrném mikritu (základní hmotě).



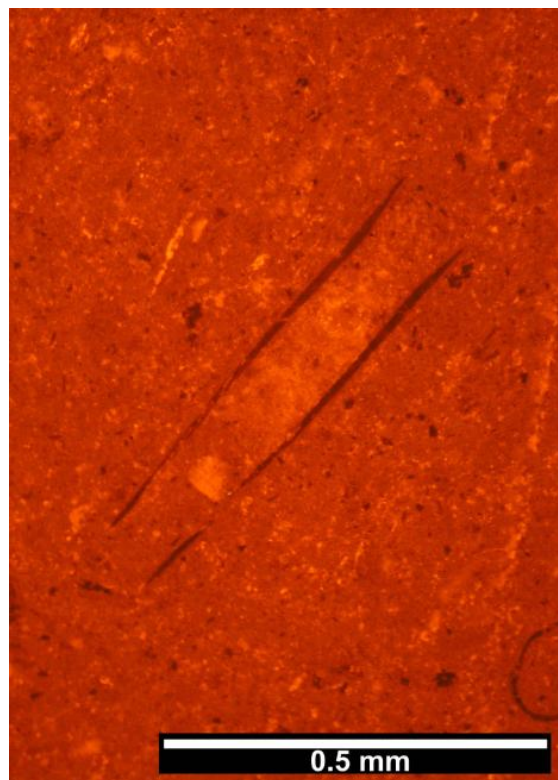
Obr. 6p. Průřez schránkou tentakulita *Styliolina?* sp. v mikritické základní hmotě.



Obr. 7p. Úlomek schránky ostrakoda (lasturnaty) v jemnozrnném mikritu.



Obr. 8p. Průřez schránkou tentakulita *Styliolina?* sp. Snímek z pozorování katodové luminescence.



Obr. 9p. Podélný průřez schránkou tentakulita *Styliolina?* sp. Snímek z pozorování katodové luminescence.

Makroskopický popis

Hornina má tmavošedé zbarvení, bez patrné laminace. Základní hmota je masivní, jemnozrnná, složená z mikritu. V ní jsou patrné šedavé klasty velké do 1,5 mm. Mezi monotónní základní hmotou se místy objevují drobné bělavé partie složené ze světlejšího kalcitového materiálu. Kalcit taktéž vytváří malá, makroskopicky pozorovatelná zrnka. Místy se vyskytují i drobné žilky s kalcitovou výplní.

Mikroskopický popis – optická mikroskopie

Pozorovaná hornina má základní hmotu složenou z jemnozrnného mikritu. Detritickými komponentami jsou bioklasty a drobná zrnka křemene, diagenetický materiál tvoří kalcitový tmel sparit, větší novotvořená kalcitová zrna a shluky jílových minerálů. Složky horniny jsou celkově nedokonale vytřízeny.

Složky:

Jemnozrnný mikrit tvoří základní hmotu horniny. Skládá se z velmi drobných kalcitových zrněk, jejichž velikost jen zřídka přesahuje 10 µm. Hmota mikritu vyplňuje značnou část prostoru mezi ostatními detritickými složkami. Tvoří 40 – 50 obj. % vzorku.

Detritická složka je v hornině zastoupena bioklasty a zrny kalcitu. Bioklasty tvoří 30 – 35 obj. %. Velikostní rozpětí bioklastů je menší než v ostatních vzorcích. Pohybuje se od 300 do 1500 µm, nejčastěji ale kolem 500 µm. Bioklasty lze identifikovat především jako zbytky tentakulitů *Styliolina?* sp. (cca. 35 – 40 %) (Obr. 10p), cephalopodů (10 %), ostrakodů (10 %) krinoidů (5 %) gastropodů (5 %) (Obr. 10p) a trilobitů (5 %) (Obr. 11p). Přibližně 20 – 30 % bioklastů nelze přesněji identifikovat.

Detritická křemenná zrnka se vyskytují volně v základní hmotě, častěji však tvoří akumulace v okolí stylolitů a švů tlakového rozpoštění. Jedná se o drobná oválná prachová zrnka velká kolem 100 µm. Vyskytují se v množství 3 – 5 obj. %.

Sparit tvoří 15 – 25 obj. % horniny. Vyskytuje se ve formě menších či větších shluků v základní hmotě, ale taktéž jako sekundární výplň bioklastů. Místy vytváří izopachové lemy kolem stylolitů.

Kalcitová zrna tvoří jen cca. 5 obj. %, ale jejich velikost je poměrně značná, kolísá mezi 50 – 150 µm. Vznikly druhotným vyplněním pórových prostor kalcitovým materiálem.

Jílové minerály vytváří v hornině menší shluky, především v místech podél švů tlakového rozpouštění. Mají nápadné zlatavé zbarvení. Jejich množství v hornině dosahuje 3 – 5 obj. %.

Vznik horniny:

Prostředí, ve kterém pozorovaná hornina vznikla, byla pravděpodobně hlubší partie karbonátové rampy nebo hrazeného šelfu. Oproti vzorkům HPV/I/1 a HPV/I/2 se jednalo o prostředí s vyšší energií, a to vzhledem k nižšímu podílu v zastoupení mikritu a většímu množství hrubších bioklastů.

Diagenese:

Diagenetické procesy, které po sedimentaci danou horninu postihly, zapříčinily vznik stylolitů. Patrné jsou i pozůstatky slabého tlakového rozpouštění.

Klasifikace:

Pozorovanou horninu lze klasifikovat podle Folkovy klasifikace jako biomikritický vápenec, podle Dunhamovy klasifikace jako wackestone až packstone.

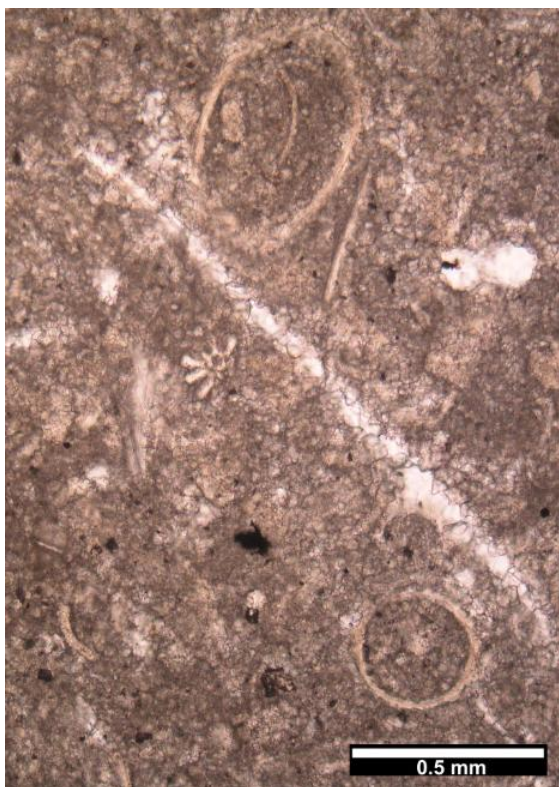
Pozorování pomocí katodové luminescence

Základní hmota tohoto vápence se v katodové luminescenci jeví jako hrubozrnnější a tmavší, než u vzorků HPV/I/1 a HPV/I/2. Její barva je tmavě oranžová až temně červená. Poměrně značné zastoupení, cca. 30 obj. %, mají ve vzorku tmavé klasty nevykazující žádný druh luminescence. Jedná se převážně o zbytky větších schránek tentakulitů *Styliolina?* sp. (Obr. 12p a 13p). Tyto fragmenty jsou v hornině nestejně rozmístěny, často vytváří větší shluky.

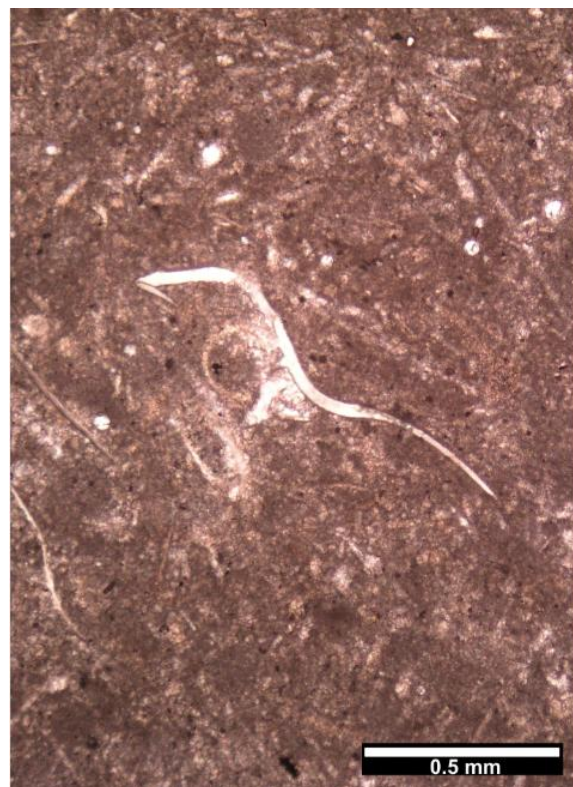
Bioklasty představují zbytky schránek v základní hmotě. Některé z nich jsou celistvé a dobře zachované, jiné tvoří jen malé fragmenty.

Živce se vyskytují ve formě drobných modře lumineskujících zrněk. Jsou zastoupeny ve větším množství než v ostatních výbrusech, a to ve 3 až 5 obj. %. Jejich velikost nepřesahuje 100 µm. Světlem modrou luminescenci vykazují Na – živce (albity), tmavší a výraznější pak K – živce (mikroklíny). Patrný je i tmavě modrý až fialový kaolinit.

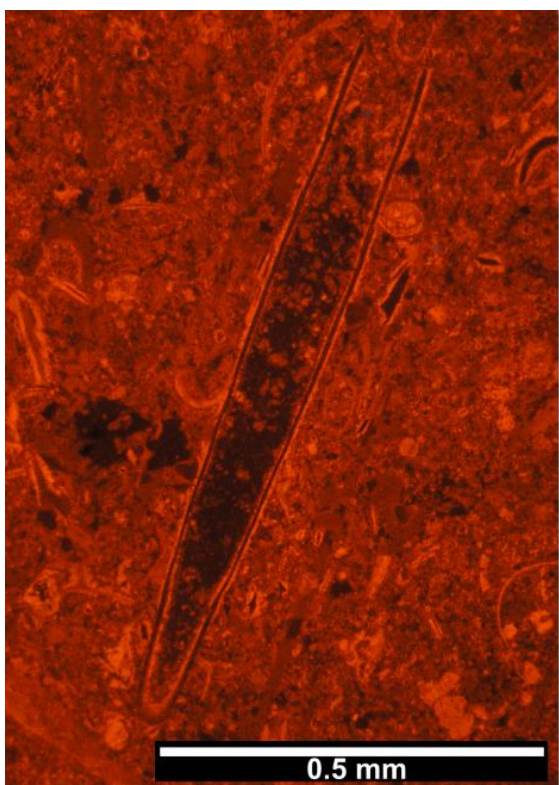
Často lze ve výbrusu pozorovat sytě oranžová zrnka. Jedná se zřejmě o čistý kalacitový tmel, který tvoří sparitové lemy kolem stylolitů. Ty jsou charakteristické světle oranžovou barvou. Občas lze pozorovat i krystaly dolomitu, které mají sytě červenou luminescenci, tmavší než okolní kalcit.



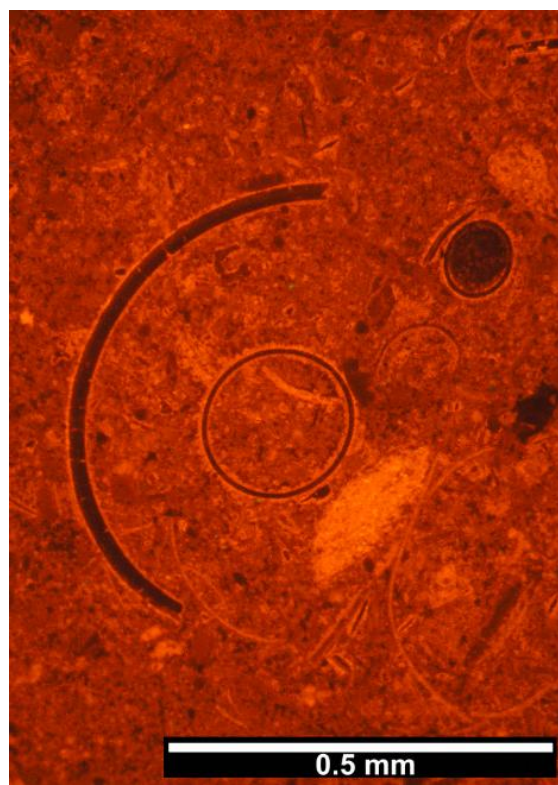
Obr. 10p. Snímek zachycující schránky dvou tentakulitů *Styliolina?* sp., gastropoda (plže) a dalších drobných bioklastů v jemnozrnném mikritu.



Obr. 11p. Průřez článkem těla trilobita obklopeného jemnozrnnou mikritickou základní hmotou.



Obr. 12p. Podélný průřez schránkou tentakulita *Styliolina?* sp. Snímek z pozorování katodové luminescence.



Obr. 13p. Schránky tentakulitů *Styliolina?* sp. a jejich fragmenty. Snímek z pozorování katodové luminescence.

Makroskopický popis

Vzorek studovaného vápence je masivní, bez patrné laminace. Jeho zbarvení je šedé až světlešedé, některé partie horniny jsou však hnědé až rezavé. V jemnozrnné mikritické matrix se vyskytují světlejší enklávy kalcitu i drobná samostatná zrnka. Makroskopicky jsou patrné bioklasty, jejich velikost nepřesahuje 1 mm. Horninu protínají četné kalcitové žilky čiré barvy. Některé partie vápence jsou navětralé.

Mikroskopický popis – optická mikroskopie

Pozorovaná hornina má základní hmotu složenou z jemnozrnného mikritu. Dále lze pozorovat detritické komponenty, konkrétně bioklasty, kalcitová a křemenná zrna, diagenetický sparit, zbytky organické hmoty a opakní minerály. Celkové vytřídění horniny je nedokonalé.

Složky:

Základní hmota vzorku je tvořena mikritem. Jedná se o jemný kalcitový materiál s velikostí zrn nepřesahujících 10 μm . Jeho zastoupení se v hornině prostorově mění. Obvykle je zastoupen v množství odpovídajícím 40 – 50 obj. % vzorku.

Bioklasty představují hlavní detritickou složku horniny. Jejich velikost kolísá od 300 do 600 μm , maximálně 1500 μm . Převládají zbytky tentakulitů *Styliolina?* sp. (30 – 40 %), cephalopodů (15 %), ostrakodů (Obr. 14p) (15 %) krinoidů (5 %) a trilobitů (5 %). Přibližně 20 – 30 % přítomných bioklastů nelze blíže identifikovat. Bioklasty jsou celkově ve vzorku zastoupeny přibližně ve 25 – 35 obj. %.

Přechod mezi detritickým a diagenetickým materiálem představují ostrohranná zrna kalcitu. Některá zřejmě sedimentovala společně s bioklasty a mikritem v rané fázi vývoje sedimentu, další však vznikla krystalizací během pozdější fáze při diagenезi. Jejich velikost dosahuje až 200 μm . Jsou zastoupeny v množství 3 – 5 obj. %.

Drobné křemenné klasty jsou akumulovány především do okolí stylolitů a švů tlakového rozpoštění. Jedná se o drobná oválná, max. 100 μm velká zrnka prachového křemene, transportovaného zřejmě eolickými procesy. Množství křemenných zrn nepřesahuje 4 obj. %.

Sparit je tvořen drobnými kalcitovými krystalky. Vyskytuje se v menších shlucích v základní hmotě nebo jako spritový (izopachový) lem kolem stylolitů (Obr. 15p). Sparit tvoří 15 – 25 obj. %.

Četně se vyskytující stylolity jsou vyplněny sparitem s příměsí jemného, žluto-hnědo-zlatavého materiálu. Tyto nápadně zbarvené shluky jsou zastoupeny i samostatně v základní hmotě horniny. Tvoří přibližně 6 obj. %.

Ve stylolitech a švech tlakového rozpouštění jsou místy patrné tmavé pozůstatky po organické hmotě. Akcesoricky se vyskytují i drobné opakní minerály.

Vznik horniny:

Hornina pravděpodobně vznikla v prostředí v hlubších partiích karbonátové rampy nebo pod hrazeným šelfem. Toto sedimentační prostředí mělo pravděpodobně podobnou energii, jako prostředí vzniku vzorku HPV/I/3.

Diageneze:

Pozdější diagenezí vznikly četné stylolity a pozůstatky tlakového rozpouštění. Vlivem kompakce se taktéž zřejmě vytvořily enklávy hrubozrnnějšího materiálu.

Klasifikace:

Jedná se o biomikritický vápenec (Folkova klasifikace), případně wackestone (Dunhamova klasifikace).

Pozorování pomocí katodové luminescence

Základní hmota pozorované horniny má při pozorování katodové luminescence tmavě oranžovou až červenou barvu. Lze v ní rozlišit dvě odlišné partie. První část výbrusu obsahuje větší podíl jemnozrnnějšího materiálu (mikritu) a má jasně oranžovou barvu (Obr. 16p). Obsahuje menší podíl detritického materiálu a bioklastů. Druhá z nich je tmavší, s četnějšími světle luminskujícími zrny sparitu (Obr. 17p). Vyskytuje se v ní více detritického materiálu a je hrubozrnnější. Tyto dvě partie do sebe vzájemně přecházejí nebo jsou odděleny stylolity.

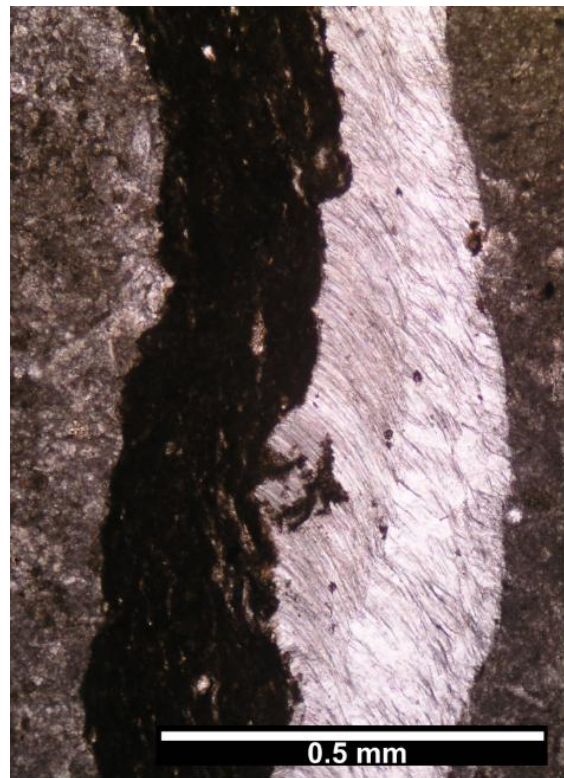
Materiál stylolitů je tmavý, bez luminescence. Kolem nich jsou časté enklávy světle oranžového, hrubě krystalického sparitu.

Bioklasty se vyskytují buď ve formě dobře zachovaných schránek, nebo jako drobné úlomky v základní hmotě. Nevykazují žádný druh luminescence.

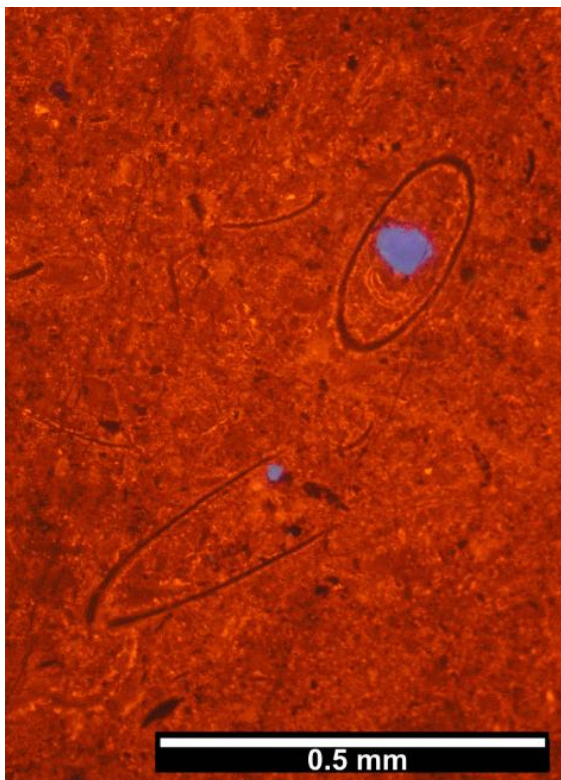
Detritický materiál je kromě bioklastů zastoupen klasty živců a kaolinitu. Na – živce (albity) mají světle modrou luminescenci, K – živce (mikroklíny) jsou pak typické svoji výraznou tmavě modrou luminescencí. Kaolinit má pak při katodoluminiscenčním pozorování fialovou barvu. Množství této složky je odhadováno na 2 – 4 obj. %. Jejich velikost nepřesahuje 100 µm.



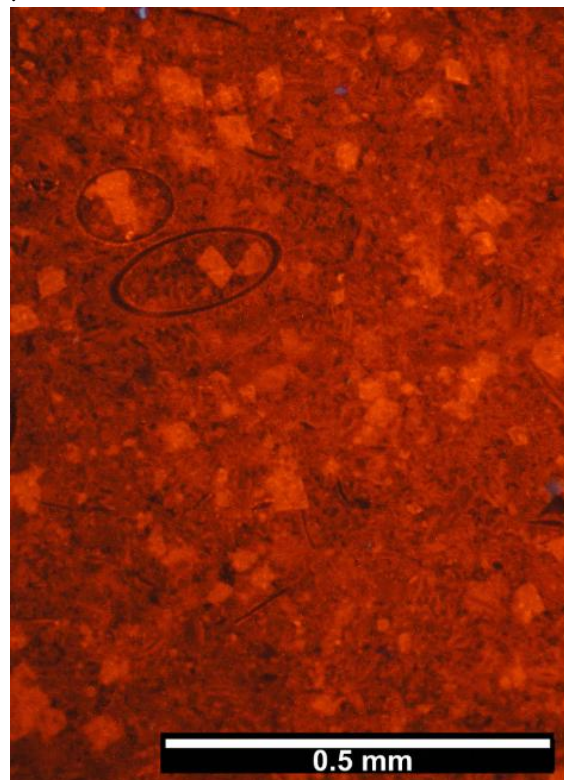
Obr. 14p. Schránka ostrakoda (lasturnatky) .



Obr. 15p. Vlákenný sparit kolem stylolitu.



Obr. 16p. Velké modře luminiskující zrno K – živce (mikroklínu) uvnitř schránky tentakulita *Styliolina?* sp. v jemnozrnnější partii výbrusu. Snímek z pozorování katodové luminescence.



Obr. 17p. Dvojice tentakulitů *Styliolina?* sp. v hrubozrnnější partii horniny bohaté na na druhotný sparit (světější zrna). Snímek z pozorování katodové luminescence.

IV. NEROZPUSTNÝ ZBYTEK

Tab. 1p. Stanovení nerozpustného zbytku ve studovaných vápencích pomocí loužení v kyselině chlorovodíkové (HCl) a octové (CH₃COOH), (u označení vzorků jako OC).

Označení vzorku	Hmotnost vzorku před loužením (g)	Hmotnost vzorku po loužení (g)	Zastoupení nerozpustného zbytku (%)
HPV/I/1_HCl_A	4	0,395	9,9
HPV/I/1_HCl_B	4	0,386	9,7
HPV/I/1_HCl_C	4	0,389	9,8
HPV/I/2_HCl_A	4	0,38	9,5
HPV/I/2_HCl_B	4	0,378	9,5
HPV/I/2_HCl_C	4	0,381	9,6
HPV/I/3_HCl_A	4	0,678	17,0
HPV/I/3_HCl_B	4	0,681	17,2
HPV/I/3_HCl_C	4	0,687	17,1
HPV/I/4_HCl_A	4	0,791	19,8
HPV/I/4_HCl_B	4	0,804	20,1
HPV/I/4_HCl_C	4	0,801	20,1
HPV/I/1_OC_A	4	0,402	10,1
HPV/I/1_OC_B	4	0,396	9,7
HPV/I/1_OC_C	4	0,401	10,1
HPV/I/2_OC_A	4	0,388	9,7
HPV/I/2_OC_B	4	0,395	9,9
HPV/I/2_OC_C	4	0,391	9,8
HPV/I/3_OC_A	4	0,695	17,4
HPV/I/3_OC_B	4	0,695	17,4
HPV/I/3_OC_C	4	0,703	17,6
HPV/I/4_OC_A	4	0,798	20,0
HPV/I/4_OC_B	4	0,797	20,0
HPV/I/4_OC_C	4	0,802	20,1

V. ÚBYTEK HMOTNOSTI VYPALOVANÝCH VZORKŮ

Tab. 2p. Úbytek hmotnosti vypalované jemné a hrubé frakce vzorku HPV/I/1.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	M vzorku před výpalem	M vzorku po výpalu	Hmotnostní úbytek (g)	Hmotnostní úbytek (%)
Jemná	850°C	2,001	1,213	0,788	39,38
Jemná	900°C	2,001	1,207	0,794	39,68
Jemná	950°C	2,002	1,206	0,796	39,76
Jemná	1000°C	2,003	1,203	0,800	39,94
Jemná	1050°C	2,003	1,203	0,800	39,94
Jemná	1100°C	2,001	1,205	0,796	39,78
Jemná	1150°C	2,002	1,201	0,801	40,01
Jemná	1200°C	2,002	1,201	0,801	40,01
Hrubá	850°C	2,002	1,204	0,798	39,86
Hrubá	900°C	2,000	1,199	0,801	40,05
Hrubá	950°C	2,003	1,199	0,804	40,14
Hrubá	1000°C	2,006	1,201	0,805	40,13
Hrubá	1050°C	2,000	1,198	0,802	40,10
Hrubá	1100°C	2,003	1,200	0,803	40,09
Hrubá	1150°C	2,005	1,197	0,808	40,29
Hrubá	1200°C	2,006	1,196	0,810	40,37

Tab. 3p. Úbytek hmotnosti vypalované jemné a hrubé frakce vzorku HPV/I/2.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	M vzorku před výpalem	M vzorku po výpalu	Hmotnostní úbytek (g)	Hmotnostní úbytek (%)
Jemná	850°C	2,003	1,212	0,791	39,49
Jemná	900°C	2,000	1,202	0,798	39,90
Jemná	950°C	2,000	1,204	0,796	39,80
Jemná	1000°C	2,001	1,203	0,798	39,88
Jemná	1050°C	2,001	1,199	0,802	40,08
Jemná	1100°C	2,001	1,203	0,798	39,88
Jemná	1150°C	2,001	1,199	0,802	40,08
Jemná	1200°C	2,002	1,197	0,805	40,21
Hrubá	850°C	2,000	1,197	0,803	40,15
Hrubá	900°C	2,003	1,197	0,806	40,24
Hrubá	950°C	2,004	1,196	0,808	40,31
Hrubá	1000°C	2,001	1,192	0,809	40,43
Hrubá	1050°C	2,000	1,187	0,813	40,65
Hrubá	1100°C	2,002	1,193	0,809	40,41
Hrubá	1150°C	2,004	1,189	0,815	40,66
Hrubá	1200°C	2,000	1,190	0,810	40,50

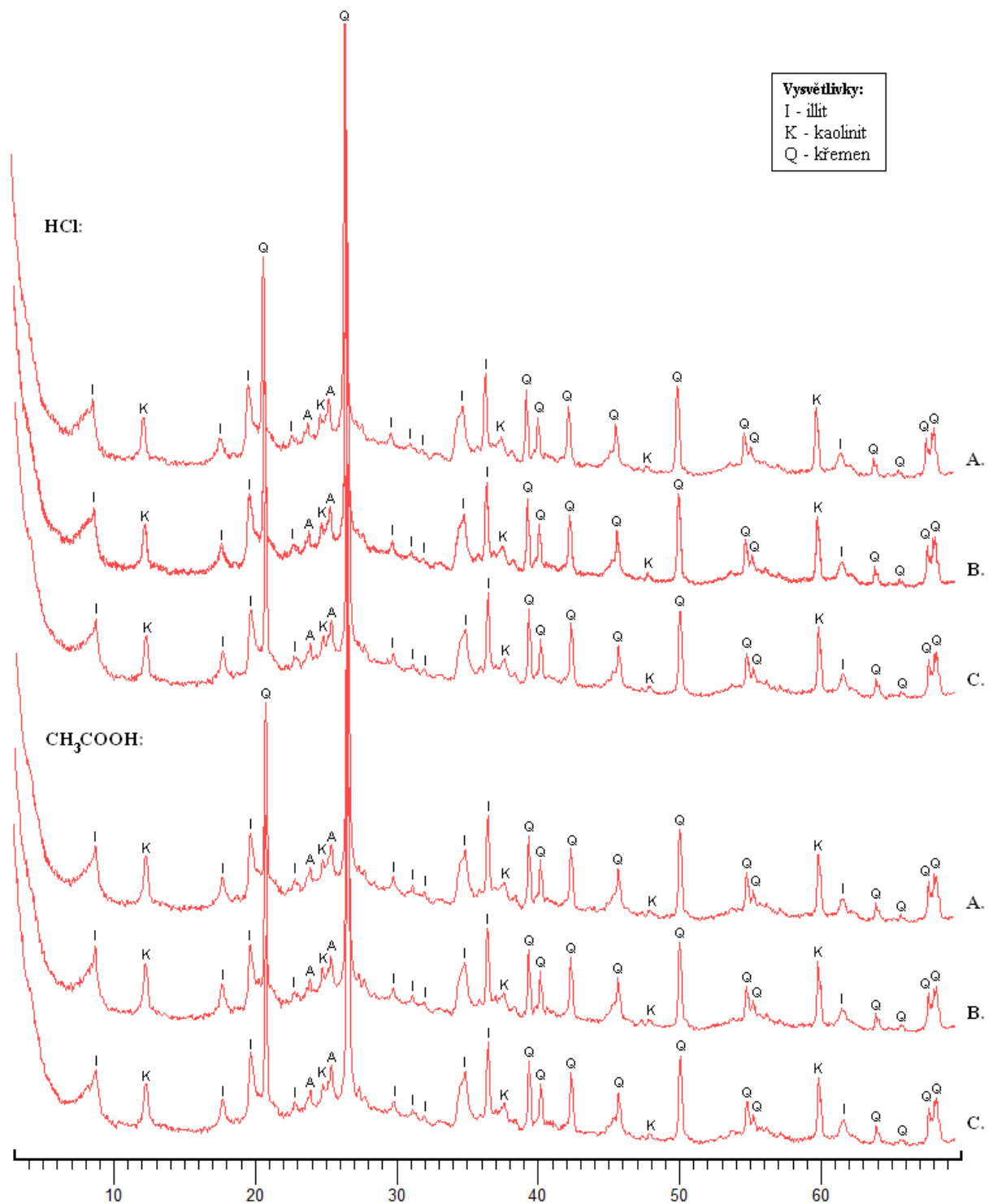
Tab. 4p. Úbytek hmotnosti vypalované jemné a hrubé frakce vzorku HPV/I/3.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	M vzorku před výpalem	M vzorku po výpalu	Hmotnostní úbytek (g)	Hmotnostní úbytek (%)
Jemná	850°C	2,002	1,290	0,712	35,56
Jemná	900°C	2,000	1,276	0,724	36,20
Jemná	950°C	2,002	1,276	0,726	36,26
Jemná	1000°C	2,000	1,272	0,728	36,40
Jemná	1050°C	2,003	1,276	0,727	36,29
Jemná	1100°C	2,000	1,271	0,729	36,45
Jemná	1150°C	2,000	1,269	0,731	36,55
Jemná	1200°C	2,000	1,268	0,732	36,60
Hrubá	850°C	2,003	1,281	0,722	36,04
Hrubá	900°C	2,003	1,270	0,733	36,59
Hrubá	950°C	2,004	1,272	0,732	36,52
Hrubá	1000°C	2,003	1,266	0,737	36,79
Hrubá	1050°C	2,004	1,266	0,738	36,82
Hrubá	1100°C	2,000	1,268	0,732	36,60
Hrubá	1150°C	2,002	1,266	0,736	36,76
Hrubá	1200°C	2,000	1,261	0,739	36,95

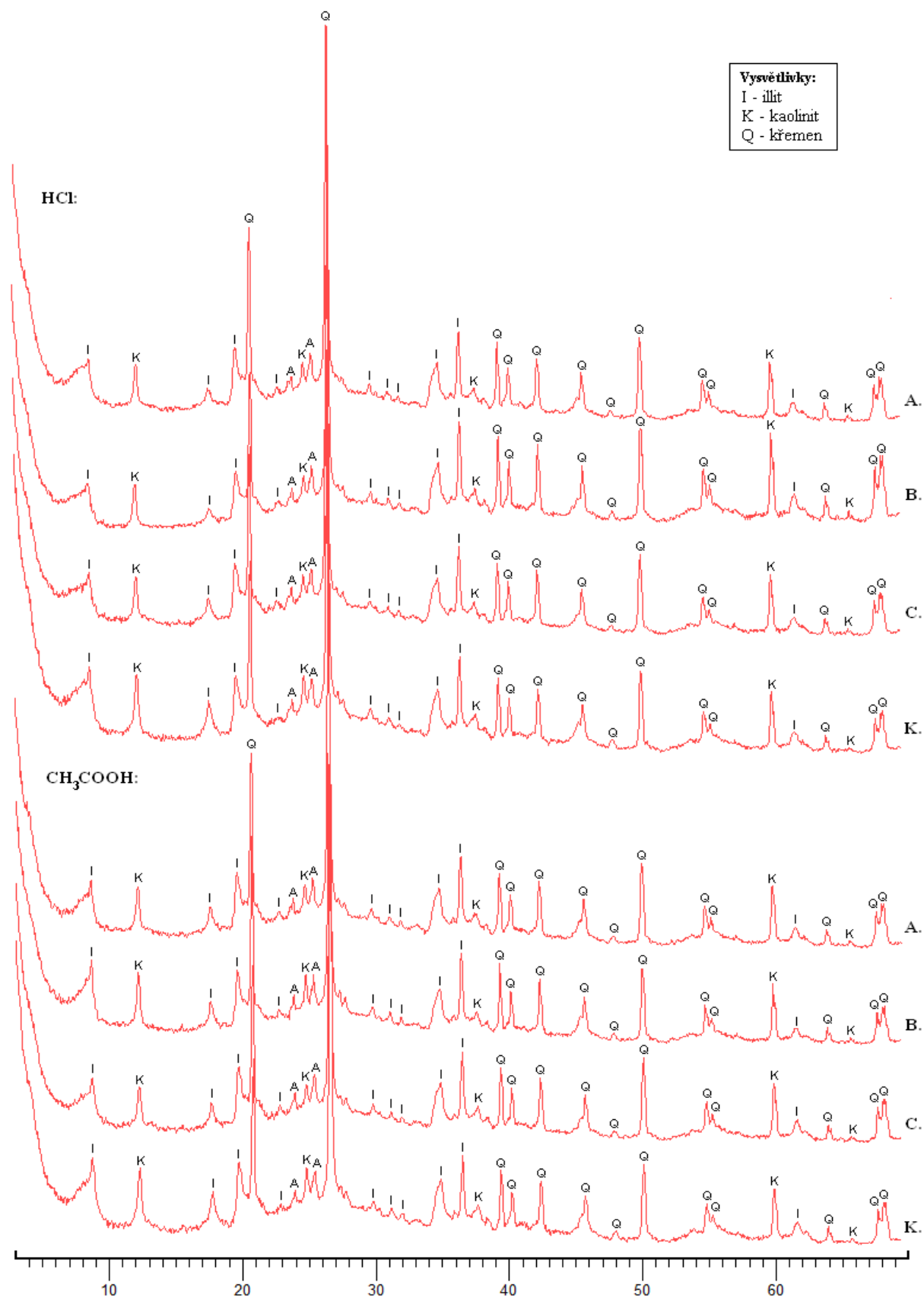
Tab. 5p. Úbytek hmotnosti vypalované jemné a hrubé frakce vzorku HPV/I/4.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	M vzorku před výpalem	M vzorku po výpalu	Hmotnostní úbytek (g)	Hmotnostní úbytek (%)
Jemná	850°C	2,000	1,297	0,703	35,15
Jemná	900°C	2,000	1,293	0,707	35,35
Jemná	950°C	2,002	1,294	0,708	35,36
Jemná	1000°C	2,001	1,290	0,711	35,53
Jemná	1050°C	2,002	1,290	0,712	35,56
Jemná	1100°C	2,000	1,286	0,714	35,70
Jemná	1150°C	2,005	1,292	0,713	35,56
Jemná	1200°C	2,005	1,289	0,716	35,71
Hrubá	850°C	2,003	1,275	0,728	36,34
Hrubá	900°C	2,000	1,276	0,724	36,20
Hrubá	950°C	2,004	1,277	0,727	36,27
Hrubá	1000°C	2,000	1,267	0,733	36,65
Hrubá	1050°C	2,006	1,271	0,735	36,64
Hrubá	1100°C	2,004	1,274	0,730	36,42
Hrubá	1150°C	2,001	1,273	0,728	36,38
Hrubá	1200°C	2,005	1,267	0,738	36,80

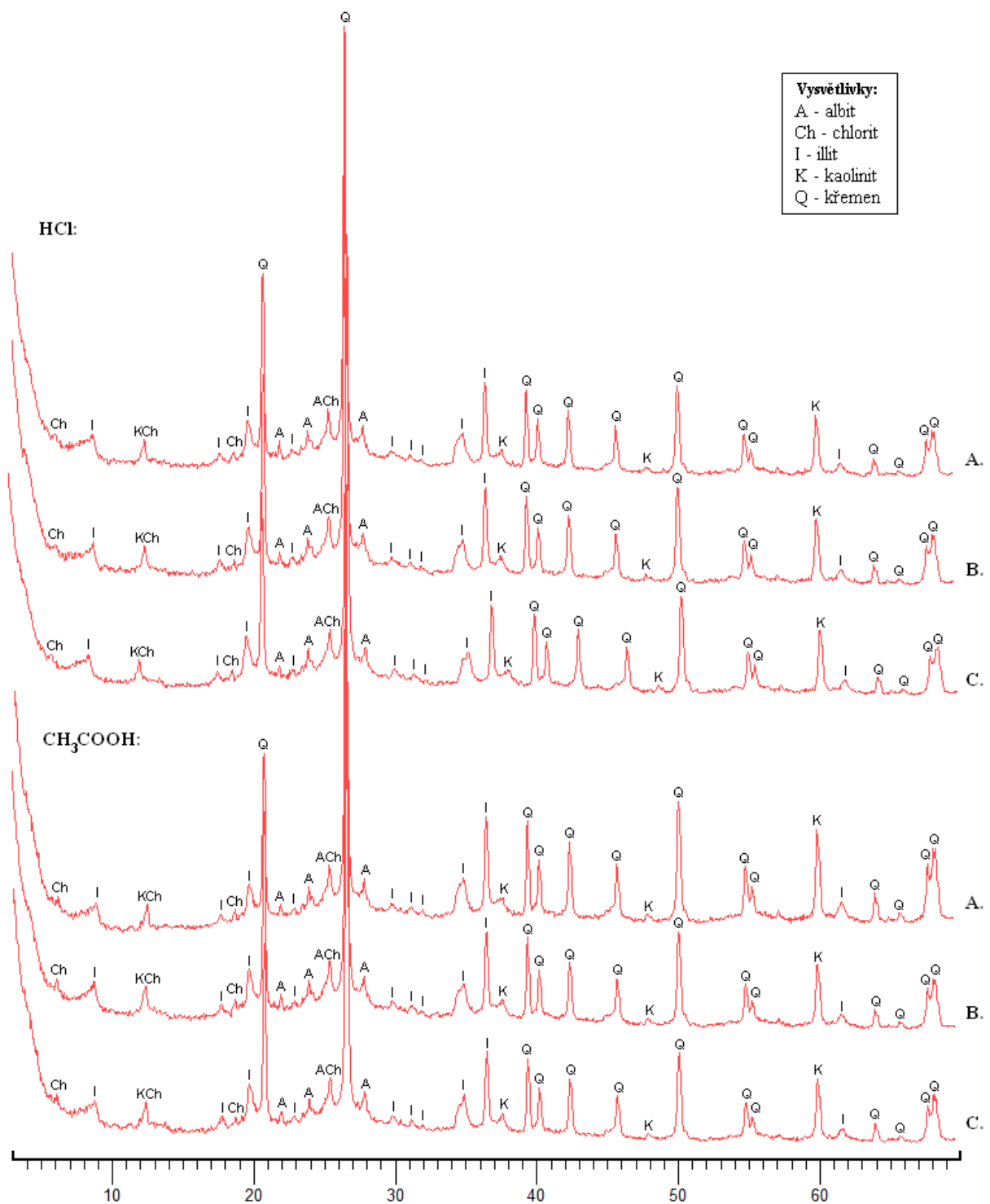
VI. DIFRAKČNÍ ZÁZNAMY NEROZPUSTNÉHO ZBYTKU



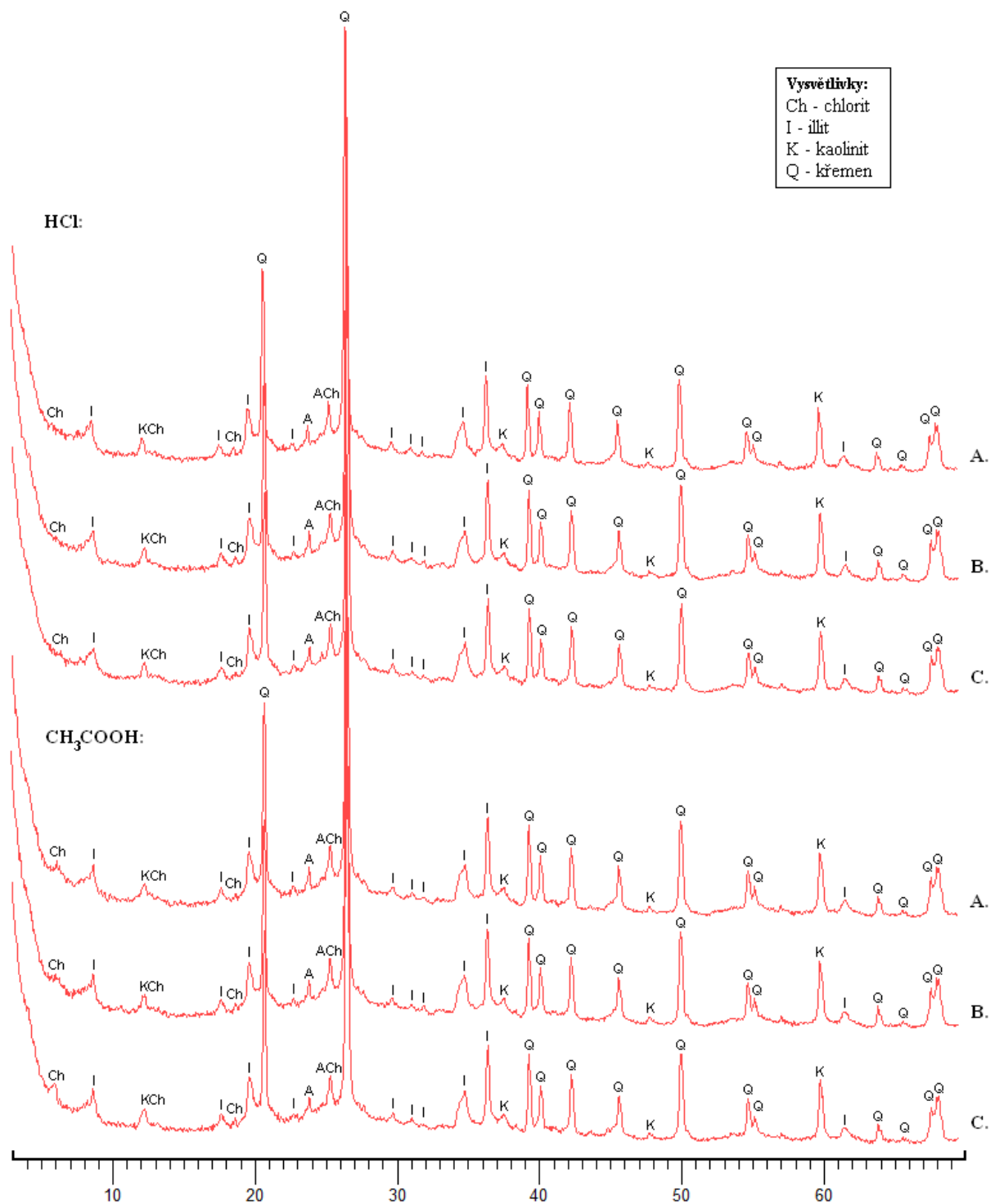
Obr. 18p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam nerozpustného zbytku vzorku HPV/I/1 s vyznačenými přítomnými fázemi.



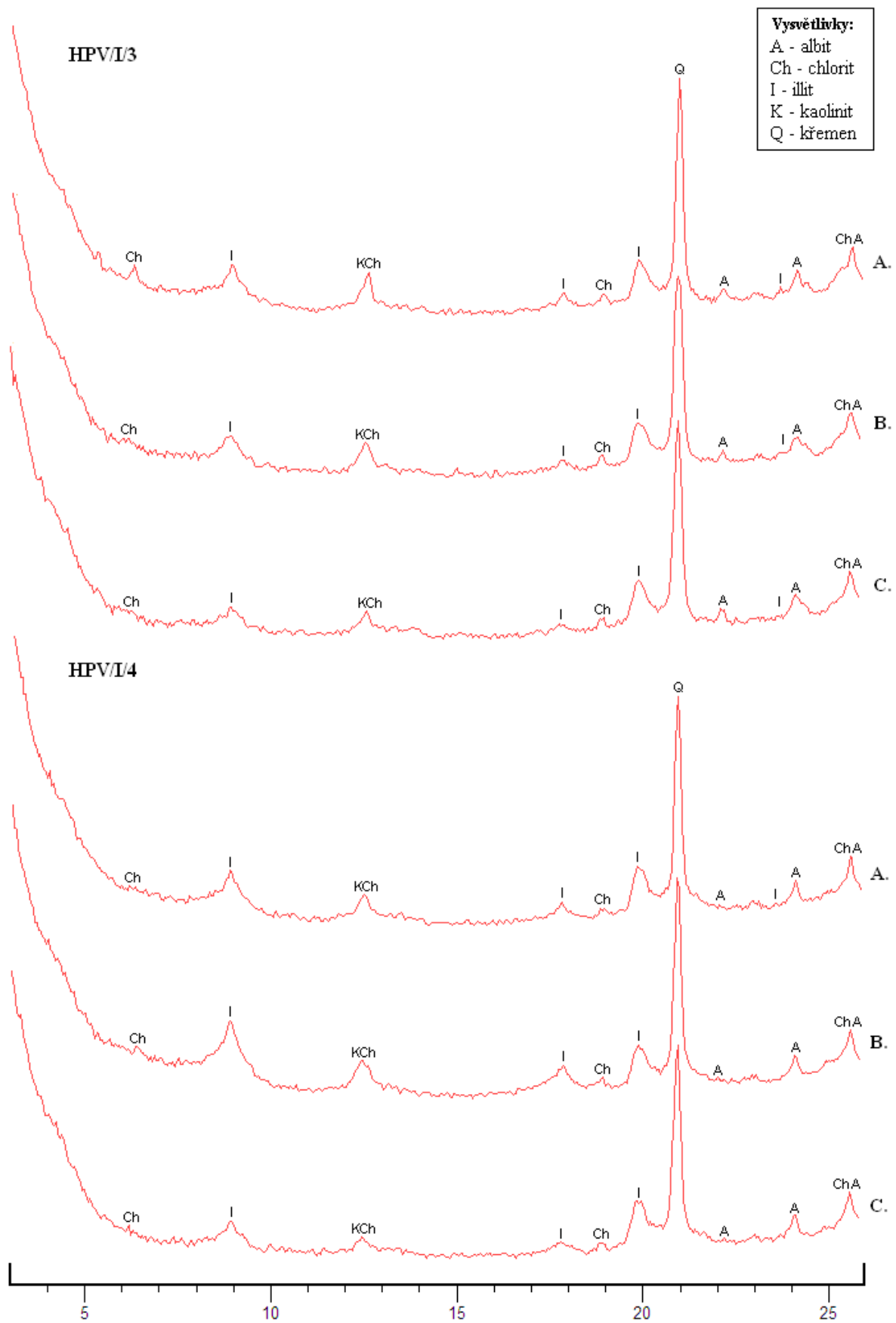
Obr. 19p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam nerozpustného zbytku vzorku HPV/I/2 s vyznačenými přítomnými fázemi.



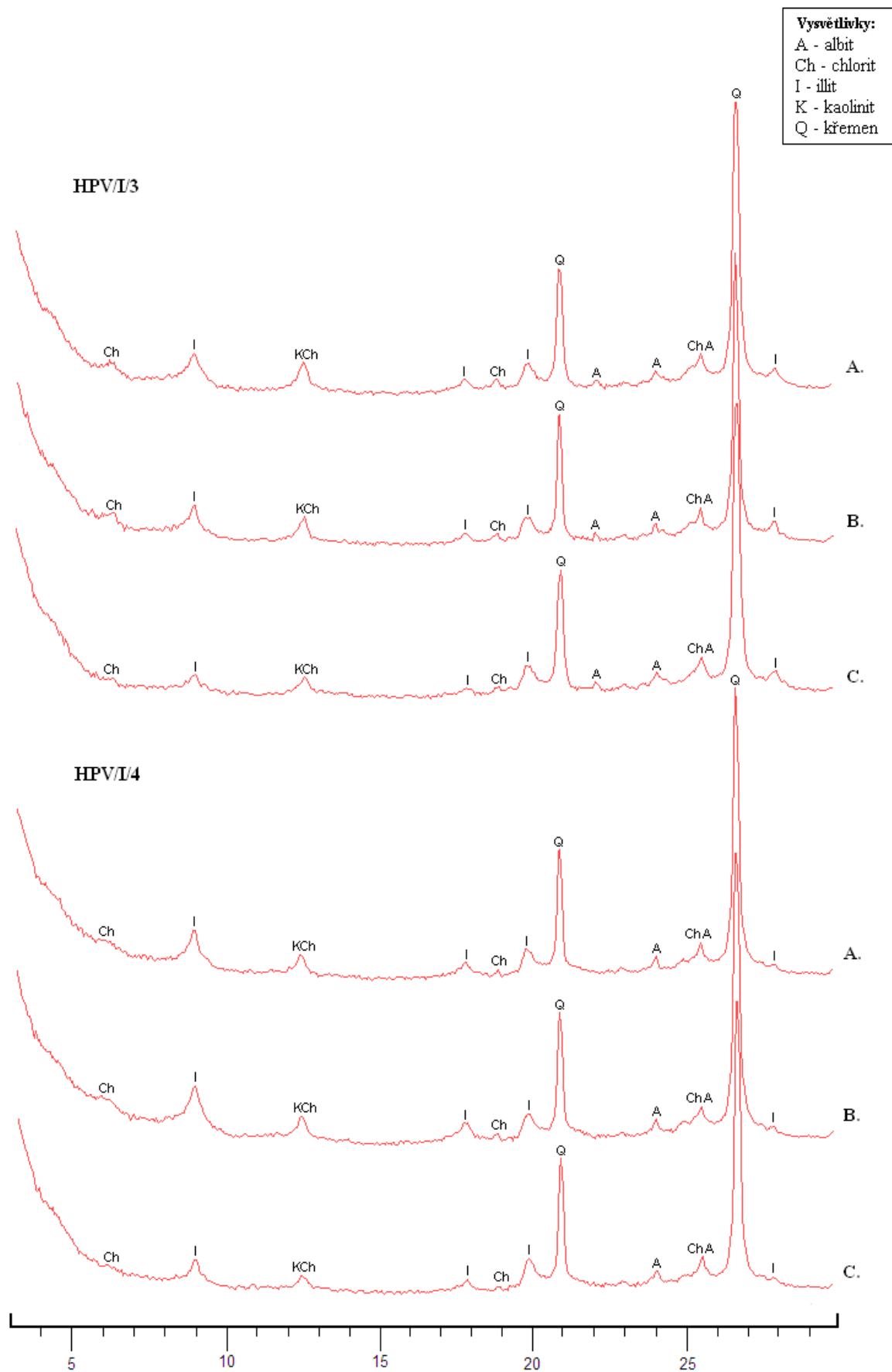
Obr. 20p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam nerozpustného zbytku vzorku HPV/I/3 s vyznačenými přítomnými fázemi.



Obr. 21p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam nerozpustného zbytku vzorku HPV/I/4 s vyznačenými přítomnými fázemi.

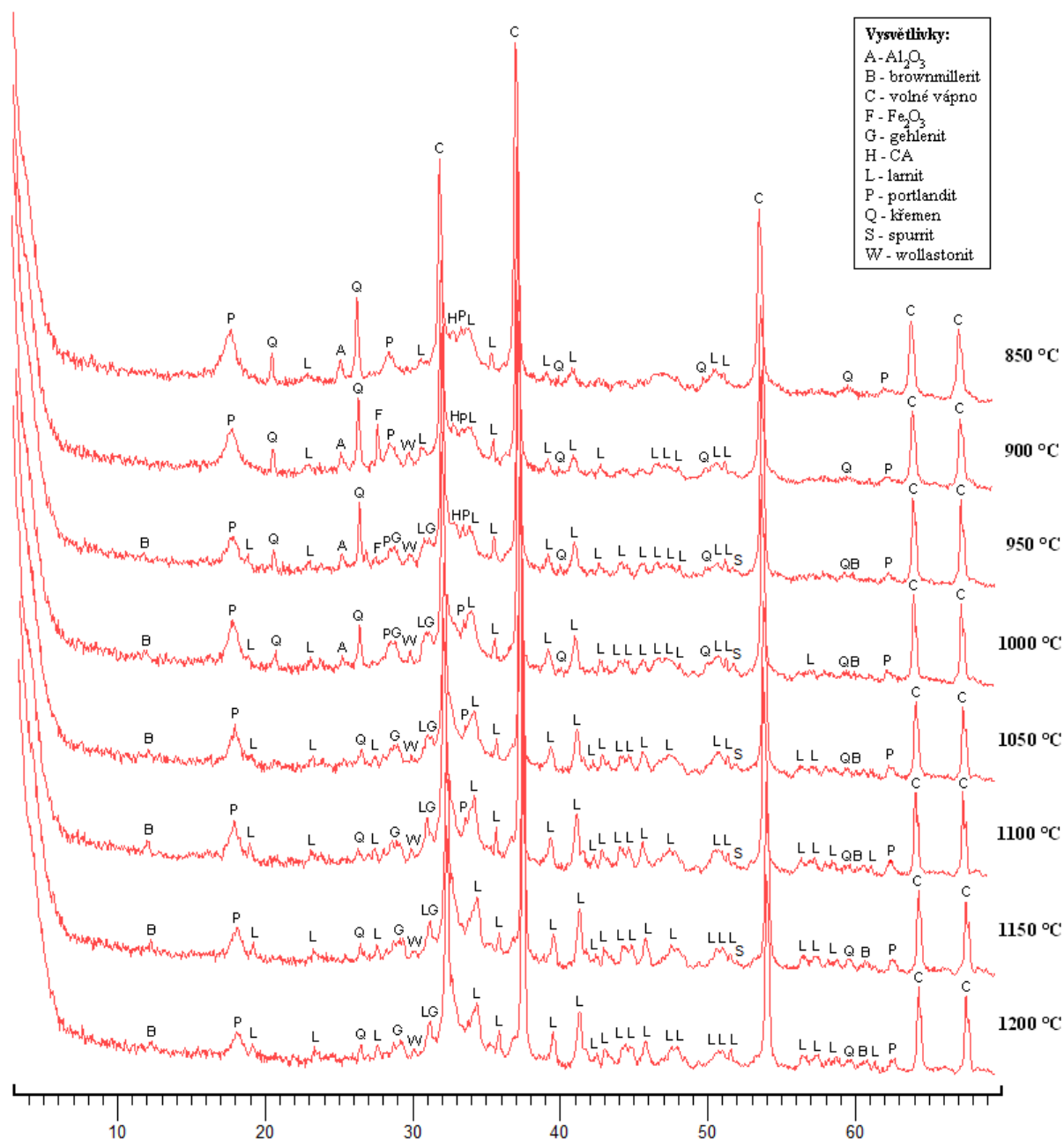


Obr. 22p. Část rentgen-difrakčních záznamů nerozpustného zbytku glykolovaných vzorků loužených v kyselině chlorovodíkové (HCl) s vyznačenými přítomnými fázemi.

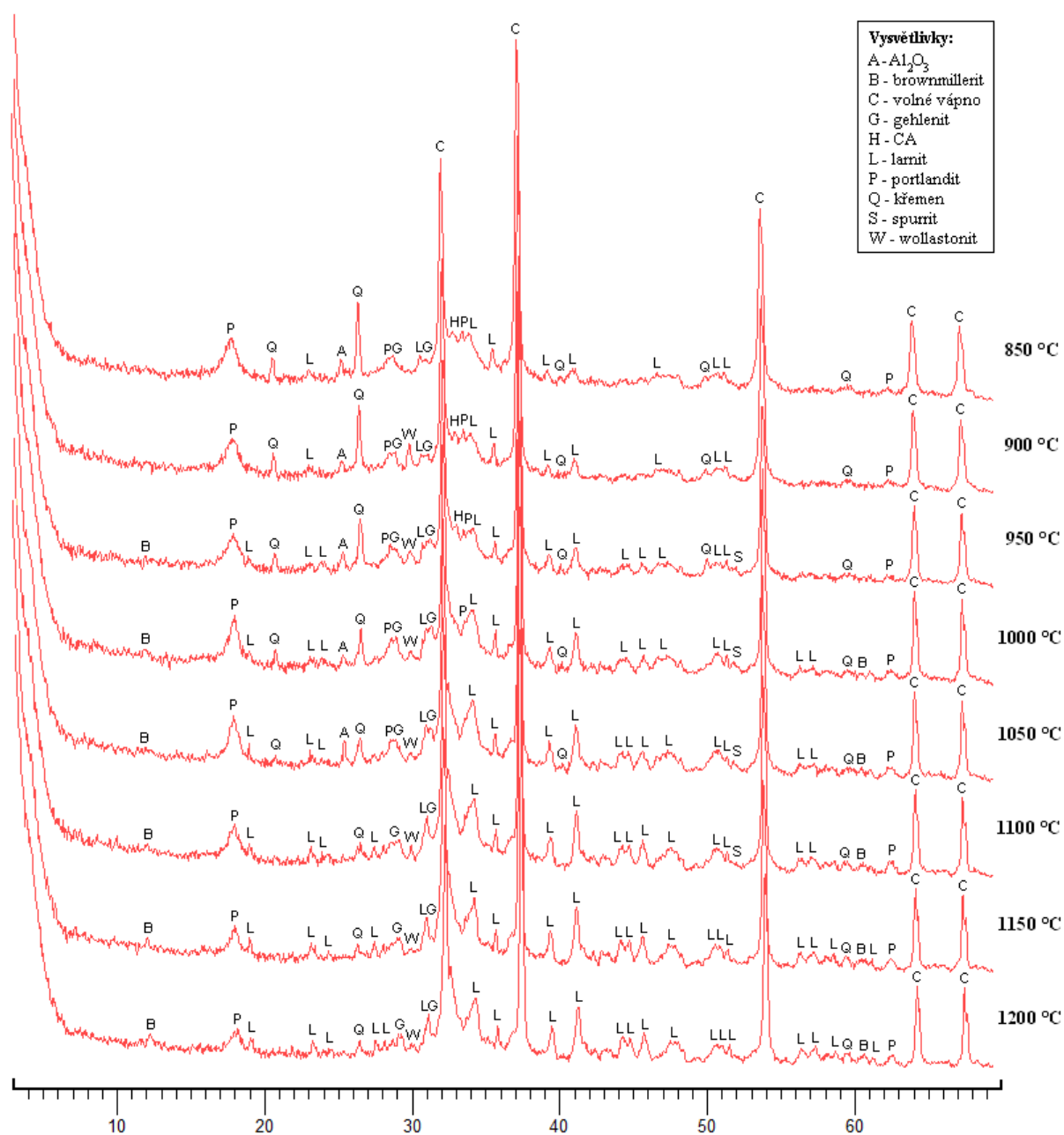


Obr. 23p. Část rentgen-difrakčních záznamů nerozpustného zbytku glykovaných vzorků loužených v kyselině octové (CH_3COOH) s vyznačenými přítomnými fázemi.

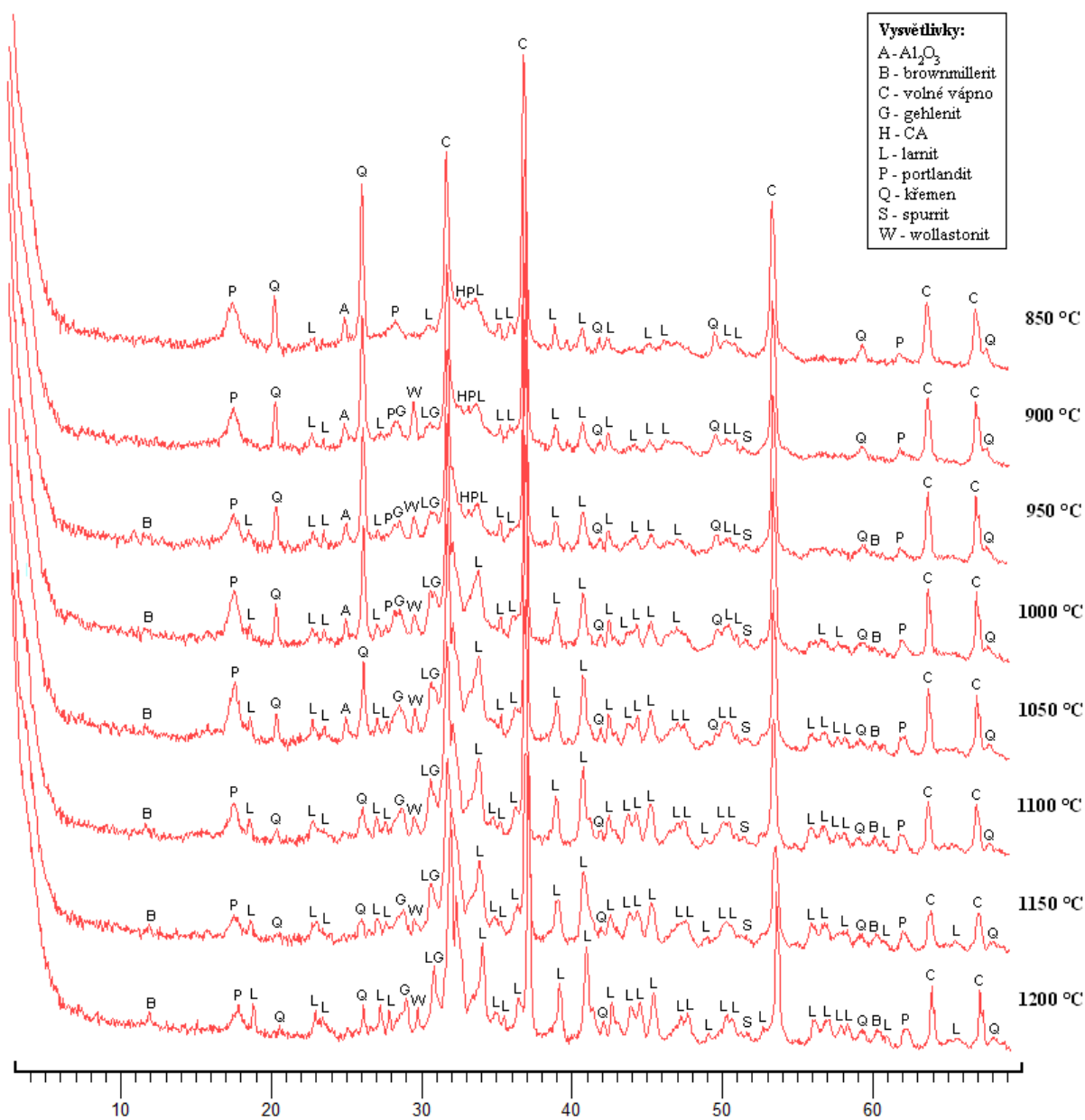
VII. DIFRAKČNÍ ZÁZNAMY JEMNÉ FRAKCE



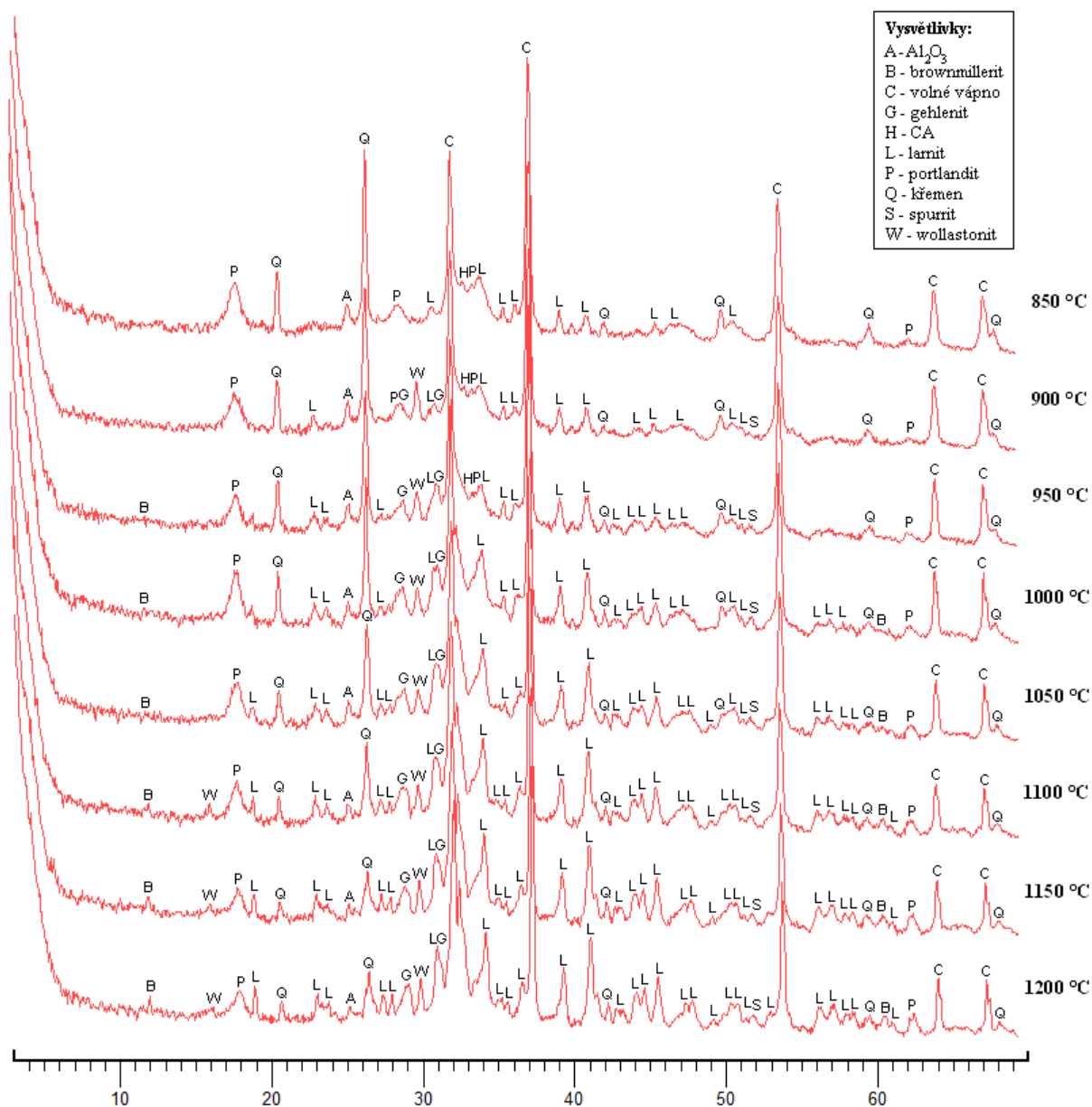
Obr. 24p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/1 (jemné frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.



Obr. 25p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/1/2 (jemné frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.

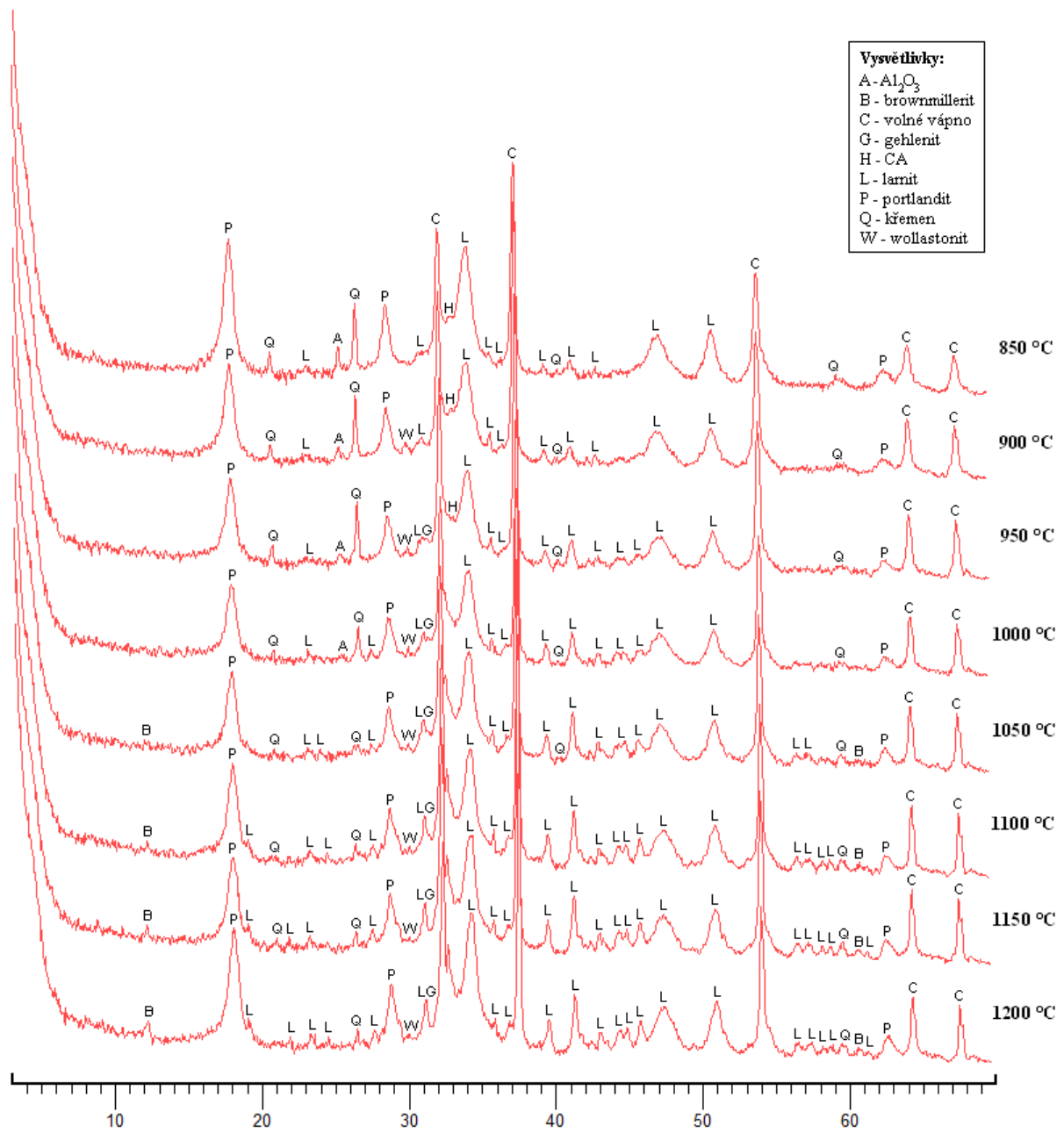


Obr. 26p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/3 (jemné frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.

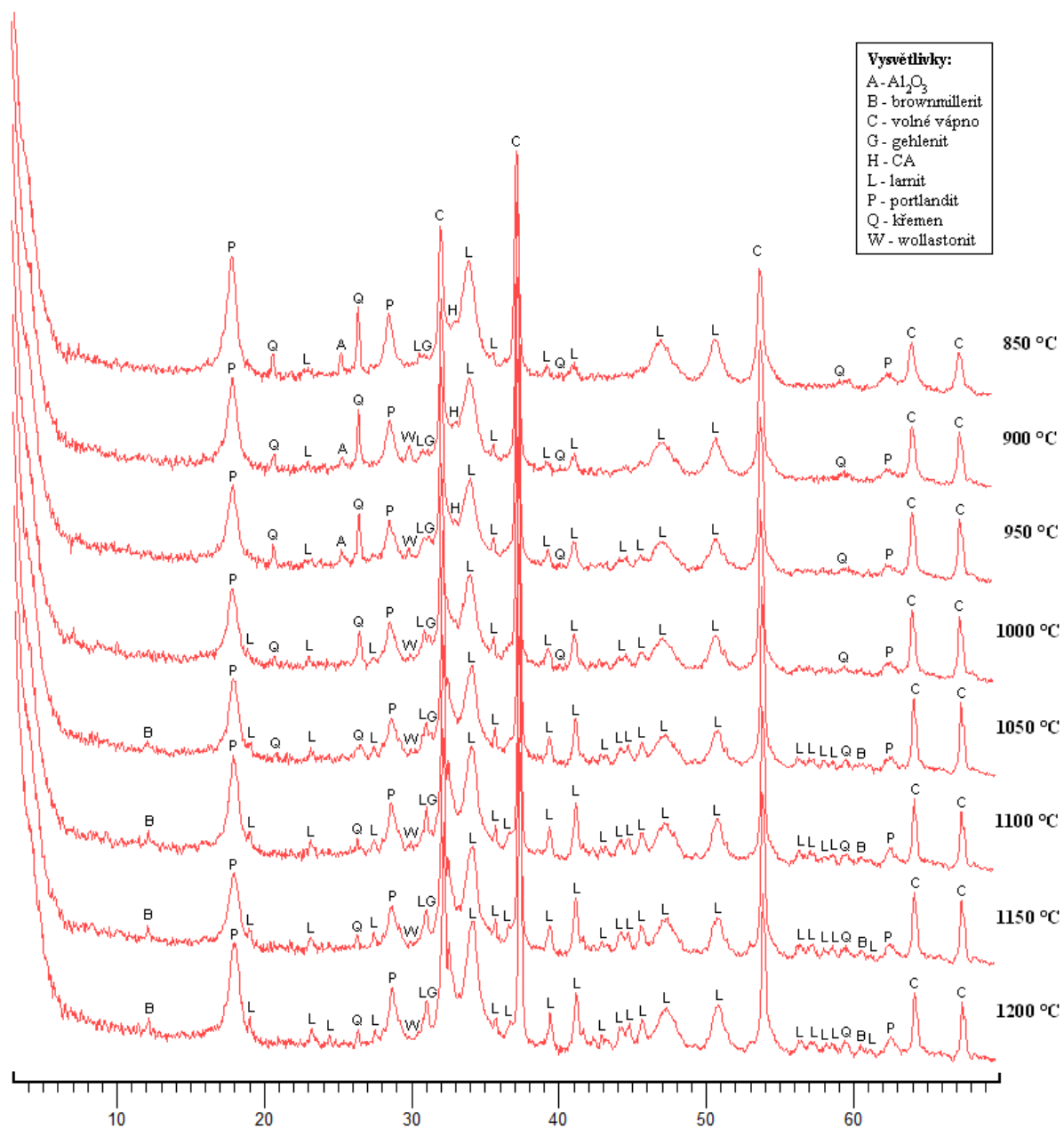


Obr. 27p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/4 (jemné frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.

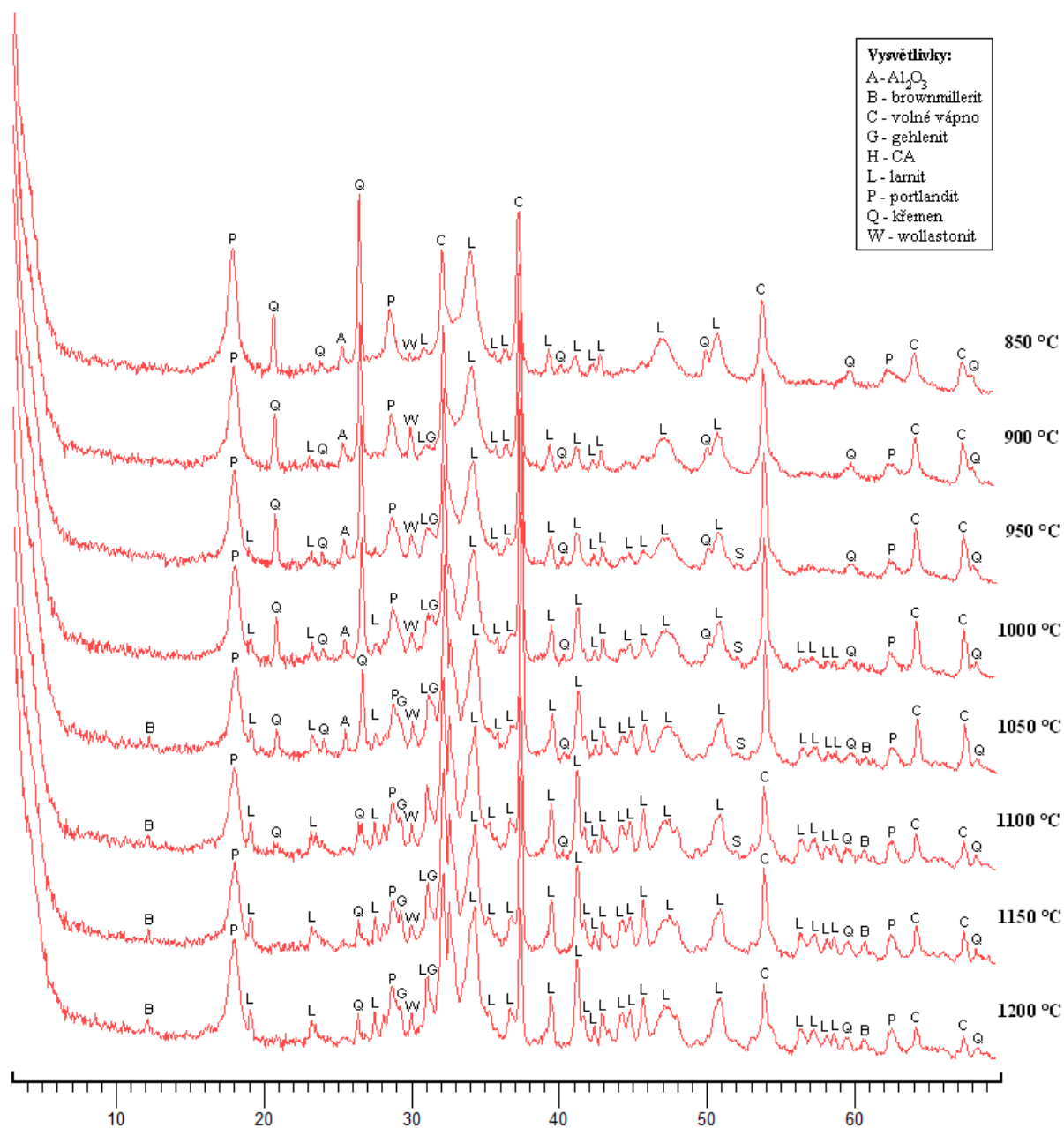
VIII. DIFRAKČNÍ ZÁZNAMY HRUBÉ FRAKCE



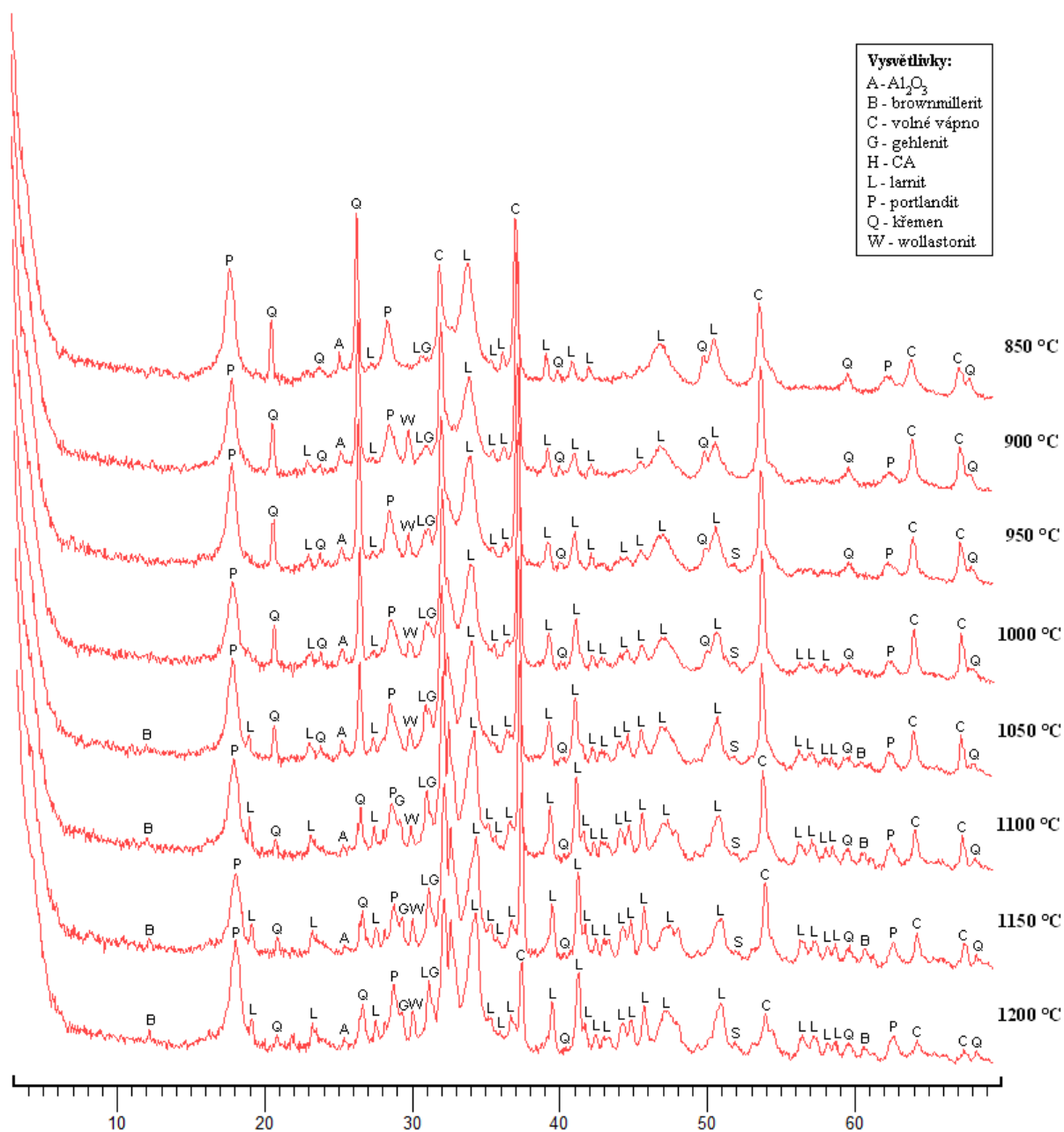
Obr. 28p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/1 (hrubé frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.



Obr. 29p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/2 (hrubé frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.



Obr. 30p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/3 (hrubé frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.



Obr. 31p. Souhrnný rentgen-difrakční záznam vzorku HPV/I/4 (hrubé frakce) vypáleného za různých teplot s vyznačenými přítomnými fázemi.

IX. SEMI-KVANTITATIVNÍ VYHODNOCENÍ NEROZPUSTNÉHO ZBYTKU

Tab. 6p. Procentuální zastoupení jednotlivých složek nerozpustného zbytku ve vzorku HPV/I/1.

Označení vzorku	K	I	Q	A	Ch
HPV/I/1_HCl_A	8	83	7	2	-
HPV/I/1_HCl_B	7	84	7	2	-
HPV/I/1_HCl_C	8	83	6	3	-
HPV/I/1_OC_A	8	83	7	2	-
HPV/I/1_OC_B	8	83	7	2	-
HPV/I/1_OC_C	8	84	6	2	-

Vysvětlivky: K – kaolinit, I – illit, Q – křemen, A – albit,
Ch - chlorit

Tab. 7p. Procentuální zastoupení jednotlivých složek nerozpustného zbytku ve vzorku HPV/I/2.

Označení vzorku	K	I	Q	A	Ch
HPV/I/2_HCl_A	8	82	8	2	-
HPV/I/2_HCl_B	8	82	8	2	-
HPV/I/2_HCl_C	8	83	7	2	-
HPV/I/2_OC_A	8	82	8	2	-
HPV/I/2_OC_B	9	82	7	2	-
HPV/I/2_OC_C	8	83	7	2	-

Vysvětlivky: K – kaolinit, I – illit, Q – křemen, A – albit,
Ch - chlorit

Tab. 8p. Procentuální zastoupení jednotlivých složek nerozpustného zbytku ve vzorku HPV/I/3.

Označení vzorku	K	I	Q	A	Ch
HPV/I/3_HCl_A	4	82	9	3	2
HPV/I/3_HCl_B	4	81	8	4	3
HPV/I/3_HCl_C	5	83	7	3	2
HPV/I/3_OC_A	5	82	8	3	2
HPV/I/3_OC_B	4	83	8	3	2
HPV/I/3_OC_C	5	82	7	3	3

Vysvětlivky: K – kaolinit, I – illit, Q – křemen, A – albit,
Ch - chlorit

Tab. 9p. Procentuální zastoupení jednotlivých složek nerozpustného zbytku ve vzorku HPV/I/4.

Označení vzorku	K	I	Q	A	Ch
HPV/I/4_HCl_A	5	82	9	1	3
HPV/I/4_HCl_B	4	82	8	2	4
HPV/I/4_HCl_C	5	83	7	2	3
HPV/I/4_OC_A	4	82	9	2	3
HPV/I/4_OC_B	5	83	8	1	3
HPV/I/4_OC_C	5	82	8	1	4

Vysvětlivky: K – kaolinit, I – illit, Q – křemen, A – albit,
Ch - chlorit

X. SEMI-KVANTITATIVNÍ VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH VÝPALŮ

Tab. 10p. Procentuální zastoupení jednotlivých fází ve vzorku HPV/I/1 vypáleného při různých teplotách.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	L	C	Q	P	B	G	W	F	A	H	S
Jemná	850°C	25	53	9	5	-	-	-	-	6	2	-
Jemná	900°C	28	46	7	3	-	-	4	5	4	3	-
Jemná	950°C	32	43	4	4	2	2	4	2	3	2	2
Jemná	1000°C	37	41	3	3	2	3	5	-	2	-	4
Jemná	1050°C	40	39	2	3	3	5	5	-	-	-	3
Jemná	1100°C	43	37	2	4	4	4	4	-	-	-	2
Jemná	1150°C	48	36	1	4	3	4	3	-	-	-	1
Jemná	1200°C	50	34	1	4	4	5	2	-	-	-	-
Hrubá	850°C	28	42	9	14	-	-	-	-	5	2	-
Hrubá	900°C	31	38	9	12	-	-	5	-	3	2	-
Hrubá	950°C	36	35	7	11	-	3	4	-	2	2	-
Hrubá	1000°C	39	35	4	12	-	5	4	-	1	-	-
Hrubá	1050°C	43	33	2	13	2	4	3	-	-	-	-
Hrubá	1100°C	46	32	2	12	2	4	2	-	-	-	-
Hrubá	1150°C	51	28	1	13	3	3	1	-	-	-	-
Hrubá	1200°C	53	25	1	12	4	4	1	-	-	-	-

Vysvětlivky: L – larnit, C – volné vápno, Q – křemen, P – portlandit, B – brownmillerit, G – gehlenit, W – wollastonit, F – Fe₂O₃, A – Al₂O₃, H – CA, S – spurrit.

Tab. 11p. Procentuální zastoupení jednotlivých fází ve vzorku HPV/I/2 vypáleného při různých teplotách.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	L	C	Q	P	B	G	W	F	A	H	S
Jemná	850°C	24	55	8	3	-	3	-	-	5	2	-
Jemná	900°C	25	48	7	3	-	4	6	-	4	3	-
Jemná	950°C	29	43	4	5	1	5	5	-	5	2	1
Jemná	1000°C	33	43	2	4	2	5	5	-	3	-	3
Jemná	1050°C	36	39	2	4	3	5	4	-	4	-	3
Jemná	1100°C	43	38	1	4	5	4	3	-	-	-	2
Jemná	1150°C	47	40	1	3	4	3	2	-	-	-	-
Jemná	1200°C	49	36	1	4	4	4	2	-	-	-	-
Hrubá	850°C	27	44	8	13	-	2	-	-	5	1	-
Hrubá	900°C	30	39	7	11	-	3	5	-	3	2	-
Hrubá	950°C	36	36	5	10	-	4	3	-	4	2	-
Hrubá	1000°C	40	37	4	11	-	5	3	-	-	-	-
Hrubá	1050°C	44	36	2	10	2	4	2	-	-	-	-

Hrubá	1100°C	46	31	1	13	3	4	2	-	-	-	-
Hrubá	1150°C	50	30	1	12	3	3	1	-	-	-	-
Hrubá	1200°C	51	30	1	10	4	4	-	-	-	-	-

Vysvětlivky: L – larnit, C – volné vápno, Q – křemen, P – portlandit, B – brownmillerit, G – gehlenit, W – wollastonit, F – Fe₂O₃, A – Al₂O₃, H – CA, S – spurrit.

Tab. 12p. Procentuální zastoupení jednotlivých fází ve vzorku HPV/I/3 vypáleného při různých teplotách.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	L	C	Q	P	B	G	W	F	A	H	S
Jemná	850°C	27	40	22	3	-	-	-	-	6	2	-
Jemná	900°C	28	32	17	4	-	3	9	-	3	3	1
Jemná	950°C	30	31	15	4	2	3	8	-	3	2	2
Jemná	1000°C	35	31	8	4	3	5	7	-	4	-	3
Jemná	1050°C	46	30	5	5	3	4	4	-	2	-	1
Jemná	1100°C	52	29	3	4	4	3	3	-	-	-	2
Jemná	1150°C	56	27	1	5	4	4	2	-	-	-	1
Jemná	1200°C	58	26	1	3	5	4	2	-	-	-	1
Hrubá	850°C	29	30	24	13	-	-	-	-	4	-	-
Hrubá	900°C	31	25	19	12	-	1	7	-	5	-	-
Hrubá	950°C	35	25	15	10	-	2	7	-	4	-	2
Hrubá	1000°C	38	24	12	12	-	3	6	-	3	-	2
Hrubá	1050°C	43	22	8	10	3	4	5	-	4	-	1
Hrubá	1100°C	54	18	5	10	4	4	4	-	-	-	1
Hrubá	1150°C	61	18	2	11	3	3	2	-	-	-	-
Hrubá	1200°C	63	14	1	12	4	4	2	-	-	-	-

Vysvětlivky: L – larnit, C – volné vápno, Q – křemen, P – portlandit, B – brownmillerit, G – gehlenit, W – wollastonit, F – Fe₂O₃, A – Al₂O₃, H – CA, S – spurrit.

Tab. 13p. Procentuální zastoupení jednotlivých fází ve vzorku HPV/I/4 vypáleného při různých teplotách.

Zrnitostní frakce	Teplota výpalu	L	C	Q	P	B	G	W	F	A	H	S
Jemná	850°C	28	38	22	4	-	-	-	-	6	2	-
Jemná	900°C	29	32	17	3	-	2	10	-	4	2	1
Jemná	950°C	31	30	13	3	1	4	8	-	5	2	3
Jemná	1000°C	38	29	9	4	2	4	7	-	3	-	4
Jemná	1050°C	42	28	7	4	2	5	6	-	3	-	3
Jemná	1100°C	49	26	4	4	3	4	4	-	3	-	3
Jemná	1150°C	56	24	2	3	4	3	4	-	2	-	2
Jemná	1200°C	62	21	2	3	3	3	3	-	1	-	2
Hrubá	850°C	30	28	25	11	-	1	-	-	5	-	-
Hrubá	900°C	31	24	20	11	-	2	9	-	3	-	-
Hrubá	950°C	34	23	17	12	-	2	7	-	3	-	2
Hrubá	1000°C	40	23	16	11	-	3	4	-	2	-	1
Hrubá	1050°C	44	19	10	12	2	4	4	-	3	-	2
Hrubá	1100°C	55	16	7	11	2	3	3	-	2	-	1
Hrubá	1150°C	63	12	3	10	3	3	4	-	1	-	1
Hrubá	1200°C	65	10	2	12	3	2	3	-	1	-	2

Vysvětlivky: L – larnit, C – volné vápno, Q – křemen, P – portlandit, B – brownmillerit, G – gehlenit, W – wollastonit, F – Fe₂O₃, A – Al₂O₃, H – CA, S – spurrit.

I.

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ - ROZDĚLENÍ PODLE LOKALIT

Lokalita	Literatura	Vrstva - hornina	Počet vzorků	Ztr.	žih.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	Pozn.	HI	CI	LSF	M _H	M _S	M _A
Bykoš	Bárta et al. (1974)	kopaninské v.	21	13,45	49,6	10,62	5,94	11,07	2,2	0,83	1,71	19,768		5,44	10,9	0,07	0,17	3	1,79	
		přídolské v.	6	23,61	34,7	5,92	3,32	26,72	0,81	1,26	2,07	47,714	PC	1,52	3,81	0,25	0,61	3,76	1,78	
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	kopaninské v.	35	34,7	13,2	3,71	2,47	42,9	1,64				76,607	ST/SI	0,39	0,95	1	2,21	2,14	1,5
		přídolské v.	42	38,1	12,4	3,5	2,41	40,8	1,75				72,857	ST/SI	0,39	0,93	1,01	2,23	2,1	1,45
		radotínské v.	51	38,4	9,61	1,54	1,2	46,8	1,03				83,571	ST	0,24	0,61	1,58	3,79	3,51	1,28
		kotýské v.	46	40,5	6,12	1,21	0,76	49,5	1,13				88,393	SL	0,15	0,37	2,59	6,12	3,11	1,59
		kosořské v.	59	40,12	5,62	1,38	0,78	50,2	0,8				89,643	SL	0,14	0,35	2,8	6,45	2,6	1,77
		spodní koněpruské v.	1156	43,15	0,63	0,41	0,2	54,43	0,75				97,196		0,02	0,04	22,8	43,9	1,03	2,05
		svrchní koněpruské v.	1231	43,44	0,28	0,24	0,09	55,15	0,42				98,482		0,01	0,02	48,8	90,4	0,85	2,67
Kosoř - Hvíždalka	Hrzina et al. (1992)	radotínské v.	13	34,58	17,4	1,98	1,06	42,65	1,12				76,161	SI	0,45	1,16	0,83	2,09	5,71	1,87
		kosořské v.	27	39,82	6,02	1,42	0,86	49,46	1,11				88,321	SL	0,15	0,37	2,59	5,96	2,64	1,65
		slivenecké v.	58	38,79	5,04	1,51	0,82	47,38	1,8				84,607	SL	0,14	0,33	2,88	6,43	2,16	1,84
		řeporyjské v.	62	37,23	8,82	2,71	1,25	45,65	1,3				81,518	ST	0,25	0,6	1,59	3,57	2,23	2,17
		dvorecko-prokopské v.	1044	34,16	16,2	3,26	1,4	41,47	1,26				74,054	SI	0,47	1,15	0,83	1,99	3,47	2,33
		zlíchovské v.	16	37,38	11,9	1,55	1	45,66	1,21				81,536	ST	0,3	0,76	1,27	3,16	4,67	1,55
Kosov - lom Jarov	Bárta et al. (1989)	kopaninské v.	225	33,5	14,5	4,26	2,96	41,27	1,56	0,32	0,44	73,696	SI	0,45	1,09	0,87	1,9	2,01	1,44	
		přídolské v.	129	29,55	24,6	4,11	2,95	35,54	1,66	0,46	0,74	63,464	SI/PC	0,81	1,99	0,47	1,12	3,48	1,39	
		tufitické v.	88	27,17	22,5	6,39	4,7	33,09	1,67	0,78	0,97	59,089	SI/PC	0,87	2,07	0,45	0,99	2,02	1,36	
Kozolupy - Čeřinka	Kraus (1955)	kotýské v. bez rohovců	12	41,73	3,59	0,48	0,43	51,7	1,24				92,321		0,08	0,2	4,74	11,5	3,95	1,12
		kotýské v. s rohovci	2	38,95	9,77	0,76	0,41	47,32	1,68				84,5	ST	0,22	0,57	1,66	4,33	8,35	1,85
		koněpruské v.	15	42,96	0,9	0,36	0,29	54,23	0,53				96,839		0,02	0,06	17,3	35	1,38	1,24
		slivenecké v.	6	42,83	1,56	0,64	0,43	53,37	0,46				95,304		0,04	0,1	9,86	20,3	1,46	1,49
		loděnické v.	18	41,67	3,03	1,3	0,68	51,52	0,65				92		0,08	0,2	4,91	10,3	1,53	1,91
		řeporyjské v.	2	40,89	4,16	1,93	0,96	50,57	0,59				90,304	SL	0,12	0,28	3,47	7,17	1,44	2,01
		dvorecko-prokopské v.	1	41,73	3,55	1,07	0,41	51,93	0,46				92,732		0,09	0,22	4,52	10,3	2,4	2,61

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ - ROZDĚLENÍ PODLE LOKALIT

Lokalita		Vrstva - hornina	Počet vzorků	Ztr. žih.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	Pozn.	HI	CI	LSF	M _H	M _S	M _A
Kuchařík	Čech (1976)	kotýské v.	29	41,05	4,71	0,61	0,32	50,66	1,42			90,464	SL	0,11	0,27	3,59	8,98	5,06	1,91
		spodní koněpruské v.	16	42,21	1,95	0,73	0,31	52,22	1,3			93,25		0,05	0,12	7,99	17,5	1,88	2,35
		svrchní koněpruské v.	7	42,56	0,76	0,58	0,39	52,74	1,74			94,179		0,03	0,06	17,1	30,5	0,78	1,49
		slivenecké v.	10	42,65	1,88	0,66	0,56	49,86	3,28			89,036		0,05	0,12	7,77	16,1	1,54	1,18
		loděnické v.	9	40,46	6,82	2,17	0,88	48,8	0,69			87,143	SL	0,18	0,44	2,19	4,94	2,24	2,47
		řeporyjské v.	7	33,59	7,5	2,42	1,05	48,13	0,64			85,946	SL/ST	0,21	0,5	1,96	4,39	2,16	2,3
		dvorecko-prokopské v.	5	37,36	10,8	1,59	0,81	46,92	0,72			83,786	ST	0,26	0,68	1,44	3,57	4,48	1,96
		zlíchovské v.	3	26,58	36,5	2,82	0,63	31,04	0,54			55,429	PC	1,27	3,33	0,29	0,78	10,6	4,48
Loděnice - východ	Lanar a Štefek (1971)	zlíchovské v.	37	38,2	10,5	1,48	1,12	46,2	1,15			82,5	ST	0,26	0,67	1,45	3,53	4,04	1,32
		chýnické v.	22	42,7	2,58	0,18	0,82	52,41	0,83			93,589		0,05	0,15	6,57	14,6	2,58	0,22
Loděnice - Liština	Habarta (1976)	přídolské v.	75	30,2	23,5	4,05	2,8	37,1	1,72			66,25	SI/PC	0,74	1,83	0,51	1,22	3,43	1,45
		kotýské v.	52	38,5	7,85	1,23	0,8	49,7	1,36			88,75	SL	0,18	0,46	2,07	5,03	3,87	1,54
		koněpruské v.	36	42,8	2,52	1,32	0,58	51,6	0,8			92,143		0,07	0,17	5,72	11,7	1,33	2,28
Loděnice	Bárta et al. (1985)	kotýské v.	362	40,3	7,89	1,36	0,89	47,93	1,31			85,589	SL/ST	0,19	0,49	1,97	4,73	3,51	1,53
		koněpruské v.	22	42,3	2,62	1,37	0,61	52,14	0,75			93,107		0,08	0,17	5,56	11,3	1,32	2,25
		slivenecké v.	8	42,4	1,25	0,61	0,49	53,48	0,68			95,5		0,03	0,08	11,8	22,8	1,14	1,24
		loděnické v.	241	41,5	2,68	1,32	0,68	51,89	0,79			92,661		0,08	0,18	5,44	11,1	1,34	1,94
		řeporyjské v.	14	39,87	6,69	2,49	1,16	48,56	0,91			86,714	SL/ST	0,19	0,45	2,16	4,7	1,83	2,15
		dvorecko-prokopské v.	25	40,12	6,11	1,64	0,72	49,67	0,77			88,696	SL	0,16	0,38	2,54	5,86	2,59	2,28
		zlíchovské v.	159	37,9	12,1	1,31	0,71	46,79	0,82			83,554	ST	0,29	0,75	1,3	3,32	5,98	1,85
Málkov - Lejškov	Anders et al. (1970)	kopaninské v.	48	18,6	41,7	7,54	4,83	19,25	2,7			34,375	PC	2,56	5,58	0,15	0,36	3,37	1,56
		přídolské v.	96	27,53	27,8	4,31	3,33	30,13	2,85			53,804	SI/PC	1,07	2,49	0,35	0,85	3,64	1,29
		radotínské v.	55	34,65	15,9	2,76	1,29	39	3,65			69,643	SI	0,48	1,1	0,8	1,95	3,93	2,14
		kotýské v.	84	40,14	6,85	1,67	0,88	43,3	5,72			77,321	SL/ST	0,2	0,42	1,99	4,61	2,69	1,9
Mořina	Chybík (1956)	řeporyjské v.	8	39,7	8,6	1,74	0,87	46,1	1,1			82,321	ST	0,22	0,56	1,72	4,11	3,3	2
		dvorecko-prokopské v.	24	39,8	10,3	1,61	0,78	44,7	0,9			79,821	ST	0,27	0,68	1,43	3,52	4,31	2,06
		zlíchovské v.	31	38,45	14,6	1,28	0,84	42,98	0,74			76,75	ST	0,37	0,97	1	2,58	6,87	1,52

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ - ROZDĚLENÍ PODLE LOKALIT

Lokalita		Vrstva - hornina	Počet vzorků	Ztr.	žih.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	Pozn.	HI	CI	LSF	M _H	M _S	M _A
Radotín - Špička	Čech et al. (1979)	radotínské v.	3	41,48	4,9	1,29	0,52	40,58	8,62				72,464	SL	0,15	0,29	2,6	6,05	2,71	2,48
		kosořské v.	15	39,2	4,05	1,1	0,62	41,48	6,13				74,071	SL	0,12	0,26	3,18	7,19	2,35	1,77
		slivenecké v.	54	41,76	3,59	1,25	0,76	48,81	2,65				87,161		0,1	0,23	4,05	8,72	1,79	1,64
		řeporyjské v.	52	37,5	9,09	2,93	1,48	46,04	1,28				82,214	ST	0,26	0,62	1,54	3,41	2,06	1,98
		dvorecko-prokopské v.	89	36,03	12,6	3,57	1,6	43,45	1,37				77,589	ST	0,37	0,89	1,07	2,44	2,44	2,23
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	koněpruské v.	19	41,06	4,45	0,7	0,22	49	3,78				87,5	SL	0,11	0,25	3,65	9,12	4,84	3,18
		slivenecké v.	8	40,25	5,97	1,23	0,72	48,48	2,1				86,571	SL	0,15	0,36	2,6	6,12	3,06	1,71
		loděnické v.	27	39,74	6,92	2,25	0,95	43,13	5,61				77,018	SL/ST	0,21	0,44	1,9	4,26	2,16	2,37
		řeporyjské v.	22	38,68	7,65	2,53	0,95	43,13	5,61				77,018	ST	0,24	0,49	1,72	3,88	2,2	2,66
		dvorecko-prokopské v.	17	40,5	5,3	1,63	0,69	49,73	1,68				88,804	SL	0,14	0,33	2,88	6,53	2,28	2,36
		zlíchovské v.	5	35,13	17,3	1,37	0,61	42,65	1,64				76,161	SI	0,44	1,12	0,84	2,21	8,74	2,25
Tetín u Berouna	Lanar a Štefek (1988)	kotýské v. bez rohovců	19	41,8	3,52	1,13	0,3	49,16	2,55				87,786		0,09	0,21	4,31	9,93	2,46	3,77
		kotýské v. s rohovci	15	22,9	41,4	0,63	0,06	30,81	1,99				55,018	SI/PC	1,36	3,47	0,26	0,73	60	10,5
		koněpruské v.	236	43,61	0,42	0,35	0,56	54,4	0,4				97,143		0,01	0,04	27,8	40,9	0,46	0,63
		slivenecké v.	102	43,9	0,48	0,24	0,16	53,68	1				95,857		0,01	0,03	30,9	61	1,2	1,5
		loděnické v.	22	42,2	2,14	1,11	0,83	52,16	0,66				93,143		0,06	0,15	6,63	12,8	1,1	1,34
Trněný Újezd	Hrzina a Mann. (2001)	kotýské v.	274	39,15	8,6	1,21	0,99	48,1	1,28				85,893	SL/ST	0,2	0,52	1,84	4,45	3,91	1,22
		koněpruské v.	14	41,8	1,01	0,42	0,36	55,2	0,49				98,571		0,03	0,06	15,5	30,8	1,29	1,17
		slivenecké v.	17	43,2	1,12	0,59	0,56	52,7	0,72				94,107		0,03	0,08	12,5	23,2	0,97	1,05
		loděnické v.	12	40,3	2,46	1,28	0,59	52,6	0,8				93,929		0,07	0,16	5,97	12,1	1,32	2,17
		řeporyjské v.	9	40,3	3,98	1,85	0,9	50,9	0,61				#REF!	SL	0,11	0,27	3,65	7,56	1,45	2,06
		dvorecko-prokopské v.	7	39,1	6,1	1,58	0,68	50,6	0,81				90,357	SL	0,15	0,37	2,61	6,05	2,7	2,32
		zlíchovské v.	156	38,12	10,3	1,26	0,72	48,2	0,95				86,071	ST	0,24	0,62	1,56	3,93	5,2	1,75

Vysvětlivky

SL	slabá hydraulická (podle HI)
ST	střední hydraulická (podle HI)
SI	silná hydraulická (podle HI)
PC	přírodní cementy (podle HI)

II.

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ - ROZDĚLENÍ PODLE VRSTEV

Lokalita	Literatura	Vrstva - hornina	Počet vzorků	Ztr. žih.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	Pozn.	HI	CI	LSF	M _H	M _S	M _A
Bykoš	Bárta et al. (1974)	kopaninské v.	21	13,45	49,6	10,62	5,94	11,07	2,2	0,83	1,71	19,768		5,44	10,9	0,07	0,17	3	1,79
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	kopaninské v.	35	34,7	13,2	3,71	2,47	42,9	1,64			76,607	ST/SI	0,39	0,95	1	2,21	2,14	1,5
Kosov - Jarov	Bárta et al. (1989)	kopaninské v.	225	33,5	14,5	4,26	2,96	41,27	1,56	0,32	0,44	73,696	SI	0,45	1,09	0,87	1,9	2,01	1,44
Málkov - Lejškov	Anders et al. (1970)	kopaninské v.	48	18,6	41,7	7,54	4,83	19,25	2,7			34,375	PC	2,56	5,58	0,15	0,36	3,37	1,56
Bykoš	Bárta et al. (1974)	přídolské v.	6	23,61	34,7	5,92	3,32	26,72	0,81	1,26	2,07	47,714	PC	1,52	3,81	0,25	0,61	3,76	1,78
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	přídolské v.	42	38,1	12,4	3,5	2,41	40,8	1,75			72,857	ST/SI	0,39	0,93	1,01	2,23	2,1	1,45
Kosov - Jarov	Bárta et al. (1989)	přídolské v.	129	29,55	24,6	4,11	2,95	35,54	1,66	0,46	0,74	63,464	SI/PC	0,81	1,99	0,47	1,12	3,48	1,39
Loděnice - Liština	Habarta (1976)	přídolské v.	75	30,2	23,5	4,05	2,8	37,1	1,72			66,25	SI/PC	0,74	1,83	0,51	1,22	3,43	1,45
Málkov - Lejškov	Anders et al. (1970)	přídolské v.	95	27,53	27,8	4,31	3,33	30,13	2,85			53,804	SI/PC	1,07	2,49	0,35	0,85	3,64	1,29
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	radotínské v.	51	38,4	9,61	1,54	1,2	46,8	1,03			83,571	ST	0,24	0,61	1,58	3,79	3,51	1,28
Kosoř - Hvíždalka	Hrzina et al. (1992)	radotínské v.	13	34,58	17,4	1,98	1,06	42,65	1,12			76,161	SI	0,45	1,16	0,83	2,09	5,71	1,87
Málkov - Lejškov	Anders et al. (1970)	radotínské v.	55	34,65	15,9	2,76	1,29	39	3,65			69,643	SI	0,48	1,1	0,8	1,95	3,93	2,14
Radotín - Špička	Čech et al. (1979)	radotínské v.	3	41,48	4,9	1,29	0,52	40,58	8,62			72,464	SL	0,15	0,29	2,6	6,05	2,71	2,48
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	kotýské v.	46	40,5	6,12	1,21	0,76	49,5	1,13			88,393	SL	0,15	0,37	2,59	6,12	3,11	1,59
Kuchařík	Čech (1976)	kotýské v.	29	41,05	4,71	0,61	0,32	50,66	1,42			90,464	SL	0,11	0,27	3,59	8,98	5,06	1,91
Loděnice	Bárta et al. (1985)	kotýské v.	362	40,3	7,89	1,36	0,89	47,93	1,31			85,589	SL/ST	0,19	0,49	1,97	4,73	3,51	1,53
Loděnice - Liština	Habarta (1976)	kotýské v.	52	38,5	7,85	1,23	0,8	49,7	1,36			88,75	SL/ST	0,18	0,46	2,07	5,03	3,87	1,54
Málkov - Lejškov	Anders et al. (1970)	kotýské v.	84	40,14	6,85	1,67	0,88	43,3	5,72			77,321	SL/ST	0,2	0,42	1,99	4,61	2,69	1,9
Trněný Újezd	Hrzina a Mann. (2001)	kotýské v.	274	39,15	8,6	1,21	0,99	48,1	1,28			85,893	SL/ST	0,2	0,52	1,84	4,45	3,91	1,22
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	kosořské v.	59	40,12	5,62	1,38	0,78	50,2	0,8			89,643	SL	0,14	0,35	2,8	6,45	2,6	1,77
Kosoř - Hvíždalka	Hrzina et al. (1992)	kosořské v.	28	39,82	6,02	1,42	0,86	49,46	1,11			88,321	SL	0,15	0,37	2,59	5,96	2,64	1,65
Radotín - Špička	Čech et al. (1979)	kosořské v.	15	39,2	4,05	1,1	0,62	41,48	6,13			74,071	SL	0,12	0,26	3,18	7,19	2,35	1,77
Čertovy schody	Bílek et al. (1993)	spodní koněpruské v.	1156	43,15	0,63	0,41	0,2	54,43	0,75			97,196		0,02	0,04	22,8	43,9	1,03	2,05
		svrchní koněpruské v.	1231	43,44	0,28	0,24	0,09	55,15	0,42			98,482		0,01	0,02	48,8	90,4	0,85	2,67
Kozolupy - Čeřinka	Kraus (1955)	konepruské v.	15	42,96	0,9	0,36	0,29	54,23	0,53			96,839		0,02	0,06	17,3	35	1,38	1,24
Kuchařík	Čech (1976)	spodní koněpruské v.	16	42,21	1,95	0,73	0,31	52,22	1,3			93,25		0,05	0,12	7,99	17,5	1,88	2,35
		svrchní koněpruské v.	6	42,56	0,76	0,58	0,39	52,74	1,74			94,179		0,03	0,06	17,1	30,5	0,78	1,49
Loděnice	Bárta et al. (1985)	konepruské v.	22	42,3	2,62	1,37	0,61	52,14	0,75			93,107		0,08	0,17	5,56	11,3	1,32	2,25
Loděnice - Liština	Habarta (1976)	konepruské v.	36	42,8	2,52	1,32	0,58	51,6	0,8			92,143		0,07	0,17	5,72	11,7	1,33	2,28
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	konepruské v.	19	41,06	4,45	0,7	0,22	49	3,78			87,5	SL	0,11	0,25	3,65	9,12	4,84	3,18
Tetín u Berouna	Lanar a Štefek (1988)	konepruské v.	236	43,61	0,42	0,35	0,56	54,4	0,4			97,143		0,01	0,04	27,8	40,9	0,46	0,63
Trněný Újezd	Hrzina a Mann. (2001)	konepruské v.	14	41,8	1,01	0,42	0,36	55,2	0,49			98,571		0,03	0,06	15,5	30,8	1,29	1,17

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ - ROZDĚLENÍ PODLE VRSTEV

Lokalita		Vrstva - hornina	Počet vzorků	Ztr. žih.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	Pozn.	HI	CI	LSF	M _H	M _S	M _A
Kosoř - Hviždalka	Hzina et al. (1992)	slivenecké v.	58	38,79	5,04	1,51	0,82	47,38	1,8			84,607	SL	0,14	0,33	2,88	6,43	2,16	1,84
Kozolupy - Čeřinka	Kraus (1955)	slivenecké v.	6	42,83	1,56	0,64	0,43	53,37	0,46			95,304		0,04	0,1	9,86	20,3	1,46	1,49
Kuchařík	Čech (1976)	slivenecké v.	10	42,65	1,88	0,66	0,56	49,86	3,28			89,036		0,05	0,12	7,77	16,1	1,54	1,18
Loděnice	Bárta et al. (1985)	slivenecké v.	8	42,4	1,25	0,61	0,49	53,48	0,68			95,5		0,03	0,08	11,8	22,8	1,14	1,24
Radotín - Špička	Čech et al. (1979)	slivenecké v.	54	41,76	3,59	1,25	0,76	48,81	2,65			87,161		0,1	0,23	4,05	8,72	1,79	1,64
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	slivenecké v.	5	40,25	5,97	1,23	0,72	48,48	2,1			86,571	SL	0,15	0,36	2,6	6,12	3,06	1,71
Tetín u Berouna	Lanar a Štefek (1988)	slivenecké v.	102	43,9	0,48	0,24	0,16	53,68	1			95,857		0,01	0,03	30,9	61	1,2	1,5
Trněný Újezd	Hzina a Mann. (2001)	slivenecké v.	17	43,2	1,12	0,59	0,56	52,7	0,72			94,107		0,03	0,08	12,5	23,2	0,97	1,05
Kozolupy - Čeřinka	Kraus (1955)	loděnické v.	18	41,67	3,03	1,3	0,68	51,52	0,65			92		0,08	0,2	4,91	10,3	1,53	1,91
Kuchařík	Čech (1976)	loděnické v.	9	40,46	6,82	2,17	0,88	48,8	0,69			87,143		0,18	0,44	2,19	4,94	2,24	2,47
Loděnice	Bárta et al. (1985)	loděnické v.	241	41,5	2,68	1,32	0,68	51,89	0,79			92,661		0,08	0,18	5,44	11,1	1,34	1,94
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	loděnické v.	27	39,74	6,92	2,25	0,95	43,13	5,61			77,018	SL/ST	0,21	0,44	1,9	4,26	2,16	2,37
Tetín u Berouna	Lanar a Štefek (1988)	loděnické v.	22	42,2	2,14	1,11	0,83	52,16	0,66			93,143		0,06	0,15	6,63	12,8	1,1	1,34
Trněný Újezd	Hzina a Mann. (2001)	loděnické v.	12	40,3	2,46	1,28	0,59	52,6	0,8			93,929		0,07	0,16	5,97	12,1	1,32	2,17
Kosoř - Hviždalka	Hzina et al. (1992)	řeporyjské v.	62	37,23	8,82	2,71	1,25	45,65	1,3			81,518	ST	0,25	0,6	1,59	3,57	2,23	2,17
Kozolupy - Čeřinka	Kraus (1955)	řeporyjské v.	2	40,89	4,16	1,93	0,96	50,57	0,59			90,304	SL	0,12	0,28	3,47	7,17	1,44	2,01
Kuchařík	Čech (1976)	řeporyjské v.	7	33,59	7,5	2,42	1,05	48,13	0,64			85,946	SL/ST	0,21	0,5	1,96	4,39	2,16	2,3
Loděnice	Bárta et al. (1985)	řeporyjské v.	14	39,87	6,69	2,49	1,16	48,56	0,91			86,714	SL/ST	0,19	0,45	2,16	4,7	1,83	2,15
Mořina	Chybík (1956)	řeporyjské v.	8	39,7	8,6	1,74	0,87	46,1	1,1			82,321	ST	0,22	0,56	1,72	4,11	3,3	2
Radotín - Špička	Čech et al. (1979)	řeporyjské v.	52	37,5	9,09	2,93	1,48	46,04	1,28			82,214	ST	0,26	0,62	1,54	3,41	2,06	1,98
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	řeporyjské v.	22	38,68	7,65	2,53	0,95	43,13	5,61			77,018	ST	0,24	0,49	1,72	3,88	2,2	2,66
Trněný Újezd	Hzina a Mann. (2001)	řeporyjské v.	9	40,3	3,98	1,85	0,9	50,9	0,61			90,893	SL	0,11	0,27	3,65	7,56	1,45	2,06
Kosoř - Hviždalka	Hzina et al. (1992)	dvorecko-prokopské v.	1044	34,16	16,2	3,26	1,4	41,47	1,26			74,054	SI	0,47	1,15	0,83	1,99	3,47	2,33
Kozolupy - Čeřinka	Kraus (1955)	dvorecko-prokopské v.	1	41,73	3,55	1,07	0,41	51,93	0,46			92,732		0,09	0,22	4,52	10,3	2,4	2,61
Kuchařík	Čech (1976)	dvorecko-prokopské v.	5	37,36	10,8	1,59	0,81	46,92	0,72			83,786	ST	0,26	0,68	1,44	3,57	4,48	1,96
Loděnice	Bárta et al. (1985)	dvorecko-prokopské v.	25	40,12	6,11	1,64	0,72	49,67	0,77			88,696	SL	0,16	0,38	2,54	5,86	2,59	2,28
Mořina	Chybík (1956)	dvorecko-prokopské v.	24	39,8	10,3	1,61	0,78	44,7	0,9			79,821	ST	0,27	0,68	1,43	3,52	4,31	2,06
Radotín - Špička	Čech et al. (1979)	dvorecko-prokopské v.	89	36,03	12,6	3,57	1,6	43,45	1,37			77,589	ST	0,37	0,89	1,07	2,44	2,44	2,23
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	dvorecko-prokopské v.	17	40,5	5,3	1,63	0,69	49,73	1,68			88,804	SL	0,14	0,33	2,88	6,53	2,28	2,36
Trněný Újezd	Hzina a Mann. (2001)	dvorecko-prokopské v.	7	39,1	6,1	1,58	0,68	50,6	0,81			90,357	SL	0,15	0,37	2,61	6,05	2,7	2,32

CHEMICKÉ ANALÝZY VÁPENCŮ - ROZDĚLENÍ PODLE VRSTEV

Lokalita		Vrstva - hornina	Počet vzorků	Ztr. žih.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	Pozn.	HI	CI	LSF	M _H	M _S	M _A
Kosoř - Hvízdalka	Hzina et al. (1992)	zlíchovské v.	16	37,38	11,9	1,55	1	45,66	1,21			81,536	ST	0,3	0,76	1,27	3,16	4,67	1,55
Kuchařík	Čech (1976)	zlíchovské v.	3	26,58	36,5	2,82	0,63	31,04	0,54			55,429	PC	1,27	3,33	0,29	0,78	10,6	4,48
Loděnice	Bárta et al. (1985)	zlíchovské v.	159	37,9	12,1	1,31	0,71	46,79	0,82			83,554	ST	0,29	0,75	1,3	3,32	5,98	1,85
Loděnice - východ	Lanar a Štefek (1971)	zlíchovské v.	37	38,2	10,5	1,48	1,12	46,2	1,15			82,5	ST	0,26	0,67	1,45	3,53	4,04	1,32
Mořina	Chybík (1956)	zlíchovské v.	31	38,45	14,6	1,28	0,84	42,98	0,74			76,75	ST	0,37	0,97	1	2,58	6,87	1,52
Řeporyje	Cmuntová et al. (1966)	zlíchovské v.	19	35,13	17,3	1,37	0,61	42,65	1,64			76,161	SI	0,44	1,12	0,84	2,21	8,74	2,25
Trněný Újezd	Hzina a Mann. (2001)	zlíchovské v.	156	38,12	10,3	1,26	0,72	48,2	0,95			86,071	ST	0,24	0,62	1,56	3,93	5,2	1,75
Loděnice - východ	Lanar a Štefek (1971)	chýnické v.	22	42,7	2,58	0,18	0,82	52,41	0,83			99,52		0,05	0,15	6,57	14,6	2,58	0,22

Vysvětlivky

SL	slabá hydraulická (podle HI)
ST	střední hydraulická (podle HI)
SI	silná hydraulická (podle HI)
PC	přírodní cementy (podle HI)