

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

**Katedra geologie**



**Mineralogická charakteristika historických  
železářských strusek z vybraných lokalit na  
Kroměřížsku**

**Bakalářská práce**

**Šárka Dvořáková**

**Studijní obor: Enviromentální geologie (B1201)**

**prezenční studium**

**vedoucí práce: RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.**

**Olomouc 2017**

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, a že veškerá použitá literatura je řádně ocitována.

V Olomouci dne

Podpis

Ráda bych poděkovala RNDr. Z. Dolníčkovi, Ph.D. za odborné vedení během psaní bakalářské práce, pomoc během laboratorní práce, konzultace a za velice cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. J. Kapustovi za pomoc během analýz na mikrosondě na katedře geologie PřF UP v Olomouci. Dále bych chtěla poděkovat p. D. Kolbingerovi za rady v oblasti archeologie.

## **Bibliografická identifikace:**

**Jméno a příjmení autora:** Šárka Dvořáková

**Název práce:** Mineralogická charakteristika historických železářských strusek z vybraných lokalit na Kroměřížsku

**Typ práce:** Bakalářská práce

**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

**Vedoucí práce:** RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

**Rok obhajoby práce:** 2017

**Abstrakt:** Cílem bakalářské práce je provést charakterizaci variability fázového složení a základních fyzikálních vlastností železářských strusek, nalezených během povrchových archeologických výzkumů laténských a slovanských lokalit na východním Kroměřížsku. Rešeršní část práce obsahuje přehled dosavadních literárních poznatků týkajících se technologie výroby železa, fázového složení historických železářských strusek a stručné historie osídlení v zájmové oblasti. Vzorky strusek byly studovány následujícími metodami: měření magnetické susceptibility a reakce na permanentní magnet, stanovení hustoty pyknometrickou metodou, stanovení teploty tání v laboratorní muflové peci, zhotovení leštěných výbrusů a poté mikroskopie v polarizačním mikroskopu, stanovení procentuálního zastoupení minerálních fází planimetricky, stanovení chemismu jednotlivých fází na mikrosondě a stanovení celkového chemismu strusek. Provedené práce měly přispět k odhalení původu a genezi artefaktů. V diskusi jsou výsledky vzájemně korelovány a porovnány s dosud publikovanými údaji. Z laboratorních výsledků vyplývá, že z lokalit Bílany a Žálkovice pocházejí strusky vzniklé během kovářského zpracování železa. U jednoho z artefaktů z lokality Bílany (B-01A) bylo zjištěno, že se jedná o struskovou hmotu vzniklou patrně při výrobě páleného vápna.

**Klíčová slova:** struska, výroba železa, východní Kroměřížsko, kovářské zpracování železa

**Počet stran:** 82

**Počet příloh:** 0

**Jazyk:** Český jazyk

## **Bibliographical identification:**

**Autor's first name and surname:** Šárka Dvořáková

**Title:** Mineralogical characterization of historical iron slags from selected sites in the Kroměříž region.

**Type of thesis:** Bachelor's thesis

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

**Supervisor:** RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

**The year of presentation:** 2017

**Abstract:** The aim of the bachelor thesis is to characterize the variability of the phase composition and basic physical properties of iron slags found during the archaeological excavations of the Latin and Slavic localities in the eastern part of the Kroměříž region. The first part of the thesis contains an overview of the current knowledge on technology of iron production, the phase composition of historical iron slags and a brief history of settlement in the area of interest. Slag samples were studied by the following methods: measurement of magnetic susceptibility and permanent magnet response, determination of density by pycnometric method, determination of melting temperature in laboratory muffle furnace, production of polished microscopes and microscopy in polarizing microscope, determination of percentage of mineral phases using a planimetric method, determination of the chemistry of individual phases on microprobe and determination of the total chemistry of slags. The work should contribute to the discovery of the origin and genesis of artifacts. In the discussion, the results are mutually correlated and compared with previously published data. Laboratory results show that blacksmith's processing of iron took place at the Bílany and Žalkovice sites. One of the artifacts was interpreted to be a slag probably produced during the production of burnt lime.

**Key words:** slag, iron production, Kroměříž region, blacksmithing

**Number of pages:** 82

**Number of appendices:** 0

**Language:** Czech

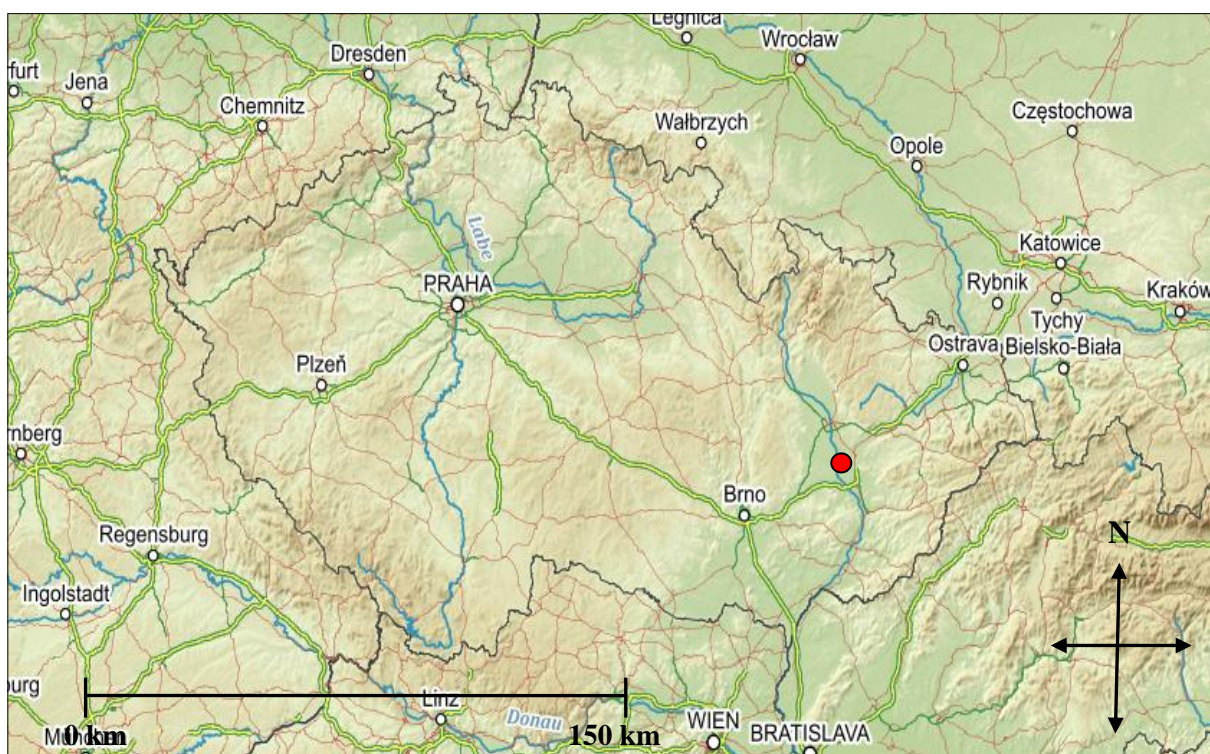
## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Geologie zájmové oblasti .....	2
2.1 Karpatská předhlubeň .....	2
2.2 Flyšové pásmo .....	3
2.3 Kvartér .....	5
3. Historie osídlení zájmové oblasti .....	10
3.1 Doba kamenná .....	11
3.2 Doba bronzová.....	12
3.3 Starší doba železná – halštatská.....	12
3.4 Mladší doba železná – laténská .....	13
3.5 Doba římská.....	13
3.6 Doba stěhování národů .....	13
4. Technologie výroby železa.....	14
4.1 Přímá metoda .....	14
4.2 Nepřímá metoda .....	17
4.3 Kovářské práce .....	18
5. Fázové složení železářských strusek .....	19
5.1 Historické železářské strusky .....	19
5.2 Strusky z vysokých pecí .....	20
6. Metodika práce .....	21
7. Výsledky.....	22
7.1 Terénní výzkum .....	22
7.1.1 Bílany .....	22
7.1.2 Žalkovice.....	24
7.2 Laboratorní část .....	26
7.2.1 Makroskopický popis.....	26

7.2.2 Fyzikální vlastnosti studovaných strusek.....	27
7.2.3 Fázové složení a chemické složení jednotlivých fází strusek .....	32
7.2.4 Planimetrie .....	56
7.2.5 Celkový chemismus .....	57
8. Diskuse .....	59
8.1 Hustota, magnetická susceptibilita .....	59
8.2 Teplota tání .....	59
8.3 Fázové složení .....	60
8.3.1 Vzorok B-01B, B-02A a Ž-03A.....	60
8.3.2 Vzorek B-01A.....	64
8.4 Celkový chemismus.....	69
9. Závěr.....	70
Seznam literatury.....	72

# 1. Úvod

Pro téma této bakalářské práce bylo jako zájmová oblast vybráno širší okolí Kroměříže (obr. 1). Cílem bakalářské práce bude provést charakterizaci variability fázového složení a základních fyzikálních vlastností historických železářských strusek z vybraných lokalit v obcích Žalkovice a Bílany, kde se strusky našly povrchovým sběrem. Rešeršní část bakalářské práce se zabývá historií výroby železa, historií osídlení určené oblasti, stručnou geologickou situací oblasti a také popisem fázového složení historických železářských strusek. V laboratorní části bude provedeno vyhodnocení fázového složení ze strusek zhotovených leštěných výbrusů v mikroskopu v odraženém a procházejícím světle, včetně kvantitativního složení stanoveného pomocí planimetrie. Stanoví se chemismus jednotlivých fází. Laboratorní část by měla stanovit původ a vznik studovaných strusek a také určit jaké metody hutnění železa byly pravděpodobně využity. Vybrané vzorky byly dodány konzultantem této bakalářské práce panem Daliborem Kolbingerem.



Obr. 1 Mapa ČR s vyznačenou pozicí zájmové oblasti (www2, upraveno)

## 2. Geologie zájmové oblasti

Zájmová oblast spadá do geomorfologické oblasti Hornomoravského úvalu, který náleží geomorfologickému celku Západní Vněkarpatské sníženiny. Vněkarpatské sníženiny utváří pásmo méně členitého nižšího reliéfu oddělujícího vrchoviny a pahorkatiny Českého masivu a Vnějších Karpat (Demek et al. 1965).

Území zájmové oblasti náleží ke dvěma odlišným geologickým jednotkám lišícími se svým vývojem. Jsou to Západní Karpaty (východní část Moravy a Slezska), kde se také nachází oblast této bakalářské práce (obr. 2) a Český masiv (Čechy, západní část Moravy a Slezska). V širším okolí zájmové oblasti dochází ke styku těchto dvou geologických jednotek. Do zájmové oblasti zasahují karpatská předhlubeň, flyšové pásmo a kvartérní pokryv (obr. 3 a 4).

### 2.1 Karpatská předhlubeň

Karpatská předhlubeň tvoří větší část Hornomoravského úvalu, Moravské a Vyškovské brány, dále Opavsko a Ostravsko, pokračuje do Rakouska a do Polska. Pásmo dnešní Moravské brány a Hornomoravského úvalu sejevilo zřejmě jako nezaplavené elevační pásmo (Brzobohatý, Cicha 1993). Karpatská předhlubeň vznikla v období neogénu na východním a jihovýchodním okraji evropské pevniny (Chlupáč et al. 2002). Neogenní sedimenty, které již zasahují do Českého masivu mimo rozlohu předkarpatských pánví, můžeme považovat již za pokryv masivu (Buday, Cicha 1967). Neogenní sedimenty předhlubně na Moravě jsou uloženy zejména v autochtonní pozici před čelem příkrovů anebo byly zavrásněny do čel příkrovů (Brzobohatý, Cicha 1993). Dosunutí flyšových příkrovů koncem karpátu způsobilo nasunutí příkrovů na starší sedimenty a následné začlenění do příkrovů v oblasti čel (Brzobohatý, Cicha 1993). Ukládaly se zde fluvialní, proluviální nebo lakustrinní sedimenty jako písky, štěrky a jíly a to z velké části v období pliocénu. Jejich složení je ovlivněno snosem hornin na jihu z flyšových jednotek Západních Karpat a na severu pak z brněnské jednotky a Českého masivu. Nižší část profilu je tvořena pak redeponovanými fosilními zvětralinami ovlivňujícími rozmanitost ve složení i zabarvení sedimentů (Brzobohatý, Cicha 1993). V oblasti Hornomoravského úvalu se sedimenty karpátu ukládaly ve velmi členitém reliéfu s poklesovými tendencemi a to se projevilo v jejich pestřejší litofacii. Sedimentace začala pestrými bazálními klastiky a pokračovala brakickými prachovci. Pokračovala také sedimentace karbonatických i nekarbonatických tmavohnědých



až černohnědých jílovců (Brzobohatý, Cicha 1993). Závěr sedimentace pak během karpátů proběhl v poměrně úzké depresi před čely příkrovů. Na Ostravsku se ukládaly tzv. „pestré vrstvy se sádrovcí“ a ve středu předhlubně se uložila klastika kroměřížského souvrství (Benada, Kokolusová 1987 in Brzobohatý, Cicha 1993). Sedimentační plocha této pánve byla v pliocénu zúžena poklesovými zlomy směru SZ-JV, například zlomem na východním okraji nivy řeky Moravy a mladší členy pliocénu představují barevně monotónnější fluvialní a jezerní sedimenty s nižším stupněm zralosti (Brzobohatý, Cicha 1993). Hlavní tok v Hornomoravském úvalu v pliocénu protékal v prostoru dnešního toku řeky Moravy a říční síť se shodovala s dnešní (Brzobohatý, Cicha 1993). V průběhu uložení starších sedimentů pliocénu probíhala pravděpodobná komunikace přes napajedelskou průrvu s hradištským příkopem a poté odtok přes Vyškovskou bránu (Růžička 1989 in Brzobohatý, Cicha 1993).

## 2.2 Flyšové pásmo

Flyšové pásmo zaujímá východní část Slezska a Moravy, kde se hornatý reliéf zvedá směrem k JV z Moravské brány a Dyjskosvrateckého úvalu (Stráník et al. 1993). Na stavbě flyšového pásma se podílejí dvě skupiny příkrovů – vnější a magurská. Vnější skupina je tvořena jednotkou slezskou, podslezskou, zdouneckou, ždánickou, pouzdřanskou. Magurská skupina je tvořena tektonickou jednotkou račanskou, bystrickou a bělokarpatskou. Stratigrafické schéma vnější skupiny příkrovů flyšového pásma Západních Karpat je zobrazeno na obr. 5.

Ždánická jednotka je tvořena marinními sedimentárními horninami stáří svrchní jura až spodní miocén (Stráník et al. 1993).

Jura je v této jednotce budována ve spodní části klenčnickým souvrstvím (svrchní oxford-spodní tithon), na které v nadloží navazují ernstbrunské vápence (střední až svrchní tithon). Klenčnické souvrství je na bázi omezeno tektonicky, vyšší polohy plynule přecházejí do ernstbrunského vápence. Klenčnické vrstvy jsou budovány ve spodní části šedými vápnitými, místy písčítými jílovcí a ve vyšších polohách jsou tvořeny převážně vápenci (Roth, Hanzlíková 1967). Ernstbrunské vápence jsou z větší části budovány žlutavě šedými, světle šedými, bělavě a šedavě hnědými vápenci.

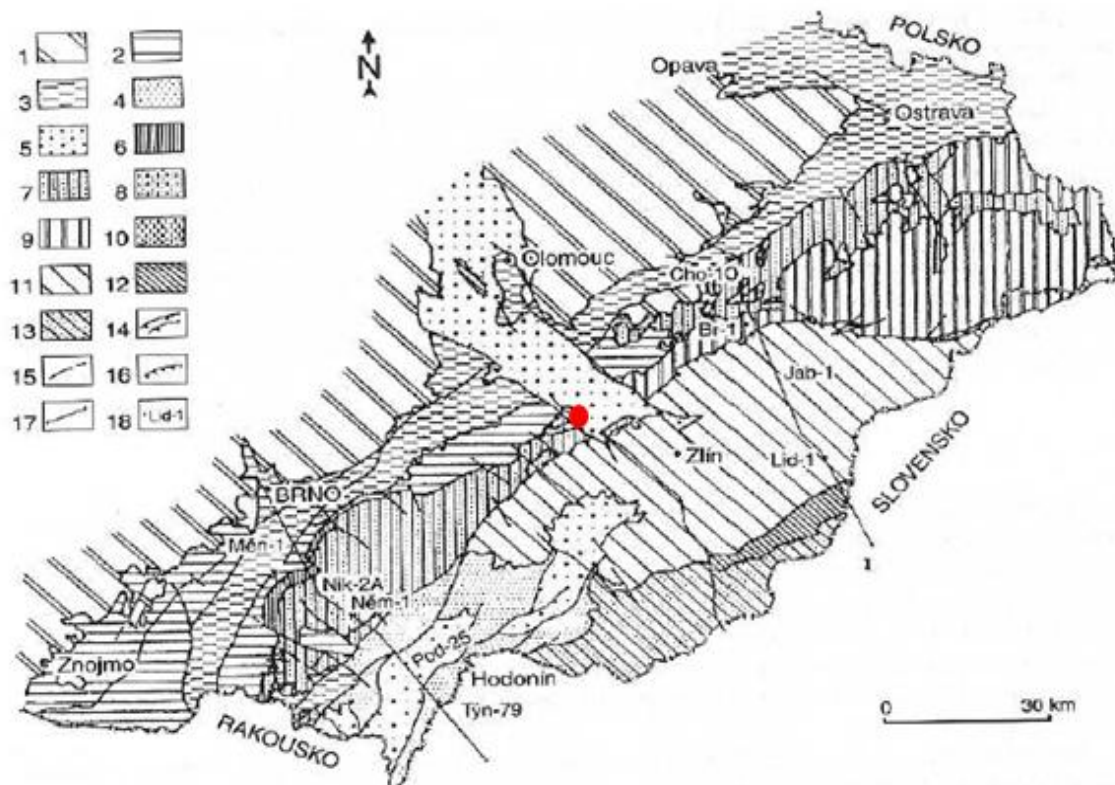
Ve svrchní křídě (svrchní turon) transgreduje s viditelnou diskordancí klementske souvrství na ernstbrunské vápence a poté dochází opět k přerušení sedimentace (Roth, Hanzlíková 1967). Klementske souvrství je tvořeno zelenavě šedými, silně písčítými

vápnitými jílovci s čočkovitými lávkami glaukonitického pískovce (Roth, Hanzlíková 1967). Nadložní pálavské souvrství sedimentuje během svrchního coniacu až svrchního campanu a konkordantně nasedá na souvrství klementske.

Během maastrichtu až spodního oligocénu dochází k ukládání němčického souvrství (dříve označované jako tzv. podmenilitové souvrství), které je faciálně velmi pestré (Roth, Hanzlíková 1967). Rozlišujeme zde facii červených jílovců a facii bez červených jílovců, ostatní facie jsou označovány jako facie černošedých jílovců a facie s převahou zelenošedých skvrnitých jílovců (Roth, Hanzlíková 1967; Stráník et al. 1993). Ve svrchní části němčického souvrství jsou vyvinuty šešorské slíny, které jsou tvořeny běžovými, zelenavými a hnědavými silně vápnitými pelity (Stráník et al. 1993). Němčické souvrství nepřesahuje v mocnosti 300 m (Stráník et al. 1993). Menilitové souvrství utváří převážně jílovce, zřídka rohovce, konkrétně se jedná o hnědé, světle i tmavě laminované jílovce a hnědé až černošedé menilitové rohovce (Roth, Hanzlíková 1967) a mocnost tohoto souvrství je proměnlivá, maximálně však 100 m (Stráník et al. 1993). Sedimentace menilitového souvrství probíhala v málo prokysličeném mořském prostředí s občasným přítokem sladké vody (Stráník et al. 1993). Ždánicko-hustopečské souvrství se vyvíjí pozvolně z podložního menilitového souvrství, je velice chudé na fosílie a rozděluje se na několik litofacií: pelitické, psamitické a psamiticko-pelitické (Roth, Hanzlíková 1967; Stráník et al. 1993), které se mohou vzájemně vertikálně i laterálně zastupovat. Pelitická litofacie je tvořena převážně šedými, žlutavě a šedě zvětrávajícími vápnitými jílovci. Psamitickou litofacií tvoří převážně žlutavě šedé, šedé pískovce. Nakonec psamiticko-pelitickou litofacií charakterizuje rytmické střídání vápnitých jílovců a pískovců ve vrstvách mocných několik centimetrů až decimetrů (Roth, Hanzlíková 1967). Celkovou mocnost ždánicko-hustopečského souvrství Stráník et al. 1993 odhaduje až na 1 250 m. Na ždánicko-hustopečské souvrství sedimentovaly během spodního miocénu (eggenburg) šakvické slíny, jejichž mocnost může dosahovat maximálně 200 m (Stráník et al. 1993). Také mocnost nadložního pavlovického souvrství je odhadována na 200 m a je tvořeno zelenošedými a hnědými bezfosilními jíly. Během karpátu navazuje na pavlovické souvrství laaské souvrství, které je výsledkem nové mořské ingrese. V průběhu této ingrese se ukládaly vrstevnaté vápnité jíly s příměsí prachu a s vložkami písků. Mocnost laaského souvrství je předpokládána na 150 m (Stráník et al. 1993).

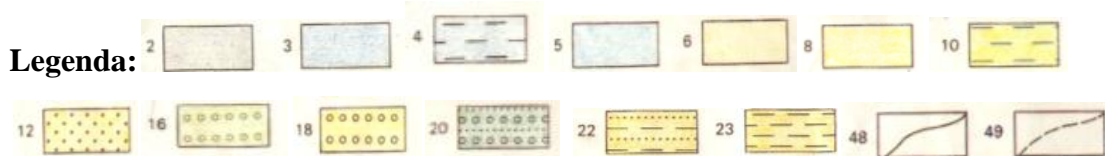
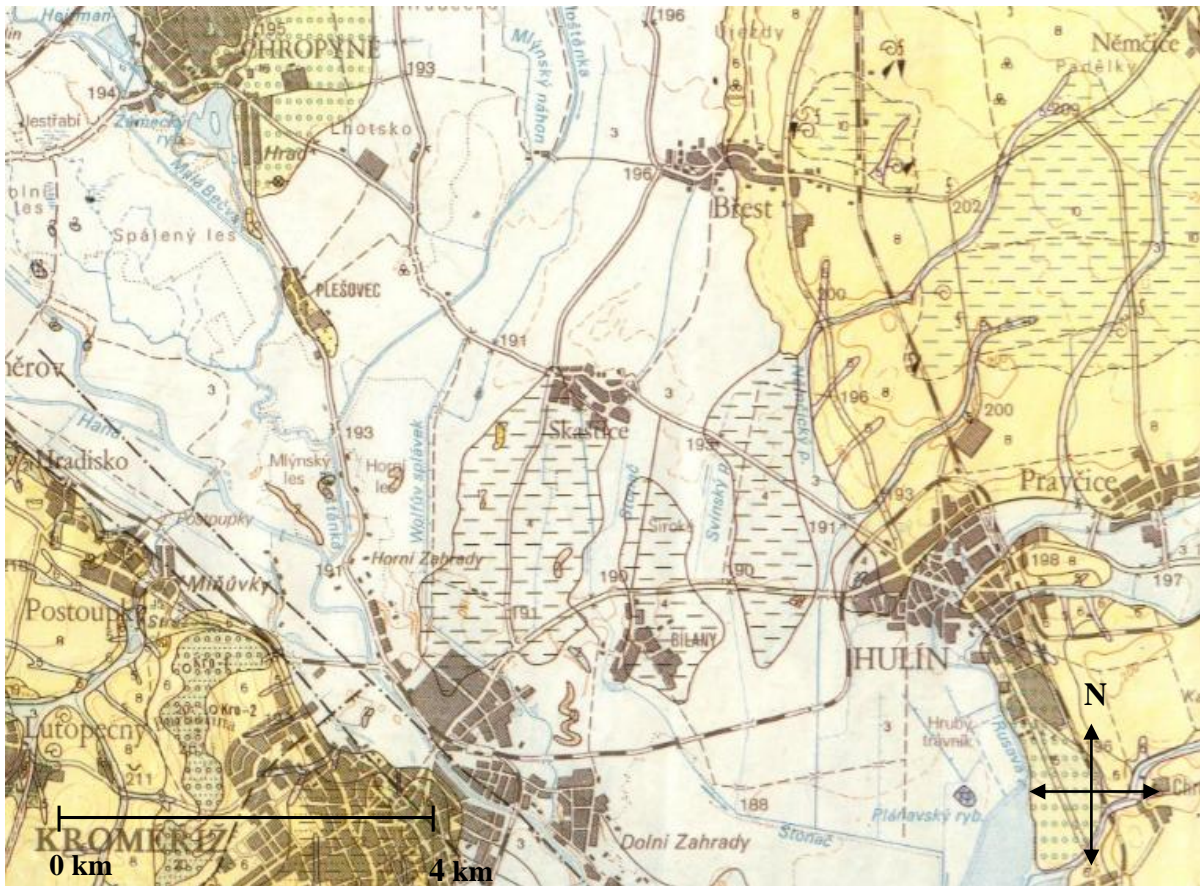
## 2.3 Kvartér

Kvartér je nejmladší etapou geologického vývoje a vyznačoval se střídáním glaciálů a interglaciálů (Chlupáč et al. 2002). Mezi akumulární oblasti se zastoupením spraší, písčitoštěrkových říčních teras a navátých písků a dalších sedimentů patří právě Moravské úvaly: část Moravské brány, Hornomoravský úval, Vyškovská brána, Dyjsko-svratecký úval a také Dolnomoravský úval (Chlupáč et al. 2002). Podstatná část Hornomoravského úvalu je tvořena sprašemi, vzácně i vátými písky a to konkrétně jižně od Kroměříže a nejvíce mezi Tlumačovem a Záhlinicemi v podobě menších přesypů (Macoun, Růžička 1967 in Musil 1993). Váté písky v nížinných oblastech Západních Karpat jsou vázány na říční toky (Vaškovský 1967) a do písků místy přechází spraše a to například v bližším okolí Bezměrova (Musil 1993). Váté písky pak přecházejí do sprašových hlín a spraší (Vaškovský 1967). Písčité a štěrkové fluvialní sedimenty utváří terasové akumulace (Chlupáč et al. 2002). Říční terasy jsou většinou kryty sprašemi (Demek et al 1965) a jsou zachovány v reliktech (Musil 1993). Terasový systém vznikl během pleistocénu, kdy se na jeho vzniku podílely zejména tektonické pohyby (Musil 1993). Hlavní terasa – kralická – leží v oblasti mezi Hulínem a Záhlinicemi a je nejzachovalejší terasou řeky Moravy (Musil 1993), rozprostírá se i v zájmové oblasti. Z dalších teras můžeme zmínit například lukovskou terasu nacházející se mezi Kokory a Brodkem, nebo také nenakonickou, či brodeckou terasu (Musil 1993). Pod fluvialními štěrkopísky se vyskytují prakticky po celé ploše úvalu jílovopísčité lakustrinní sedimenty pestrého litologického složení i zbarvení a sporadicky štěrky. Tento typ sedimentů lze nalézt například západně od Kroměříže a tyto lakustrinní sedimenty nasedají na miocenní podloží (Musil 1993).



Obr. 2 Pozice zájmové oblasti v geologické mapě Severní Moravy (převzato a upraveno podle Chlupáče et al. 2002).

1) Český masiv, 2) spodní miocén karpatské předhlubně, 3) střední miocén, 4) svrchní miocén, 5) pliocén, 6) pouzdřanská jednotka, 7) ždánická a podslezská jednotka, 8) zdounecká j., 9) slezská jednotka, 10) předmagurská jednotka, 11) račanská jednotka magurské skupiny příkrovů, 12) bystrická j. magurské skupiny příkrovů, 13) bělokarpatká jednotka magurské skupiny příkrovů, 14) příkrovy a přesmyky, 15) zlomy, 16) okraj transgrese, 17) linie geologických řezů, 18) vrty



**KVARTÉR, holocén:** 2) organické sedimenty (hnilokaly a slatiny), 3) fluviální, převážně písčité hlíny, písky a šterkové písky a sedimenty umělých vodních nádrží, 4) přeplavené hlíny sprašového charakteru, 5) deluviofluviální písčité hlíny a hlinité písky, přeplavené sprašové hlíny **holocén-pleistocén:** 6) deluviofluviální písčité hlíny a hlinité písky

**pleistocén:** 8) spraše a sprašové hlíny (nerozlišené), 10) spraše naváté do vody (bažinaté spraše), 12) naváté písky, 15) fluviální písky až písčité šterky svrchní akumulace hlavní terasy (střední pleistocén – riss), 16) fluviální písky až písčité šterky spodní akumulace hlavní terasy (střední pleistocén-mindel/riss)

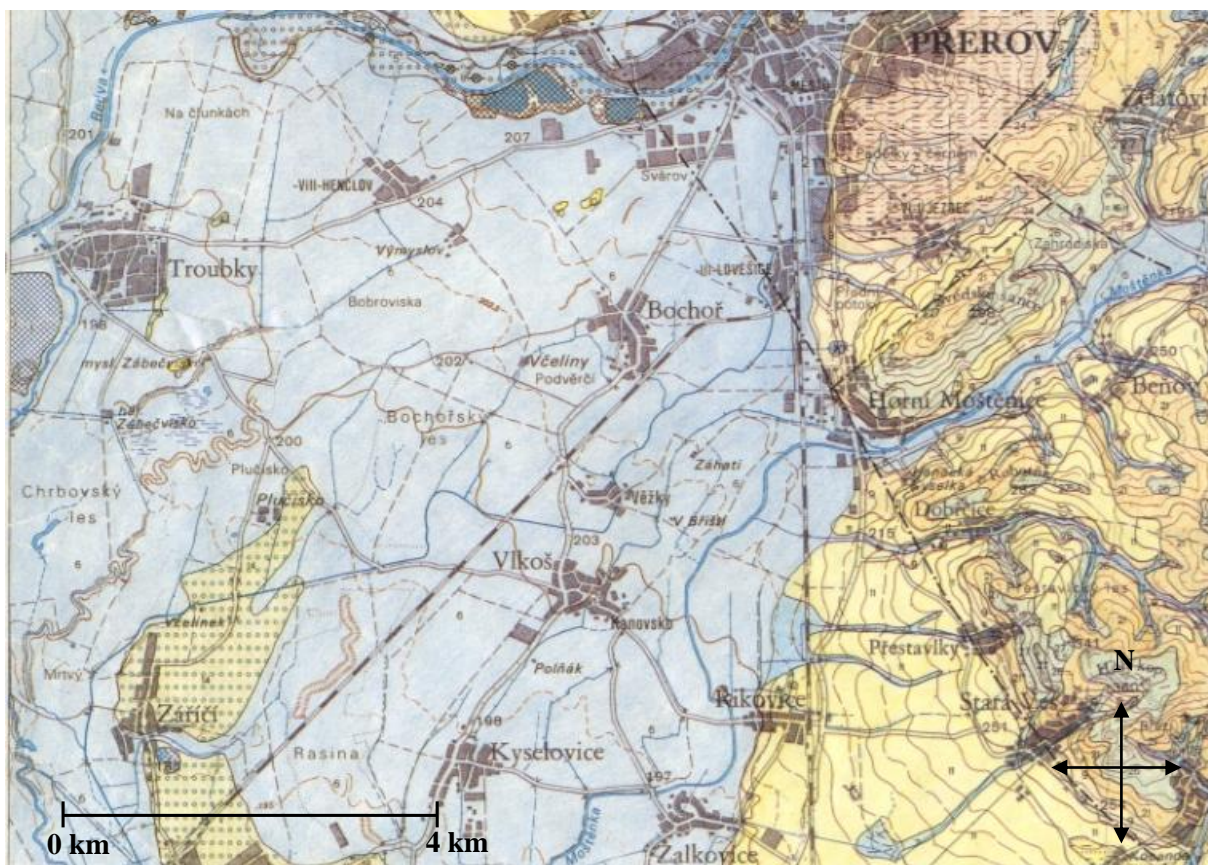
**TERCIÉR, neogén, pliocén:** 18) písky a šterky (pliocén nedělený) **miocén, karpát:** 20) šterky a písky s polohami jílu, 21- jíly a písčité jíly

**neogén až paleogén:** 22, 23) ždánická jednotka, ždánicko-hustopečské souvrství

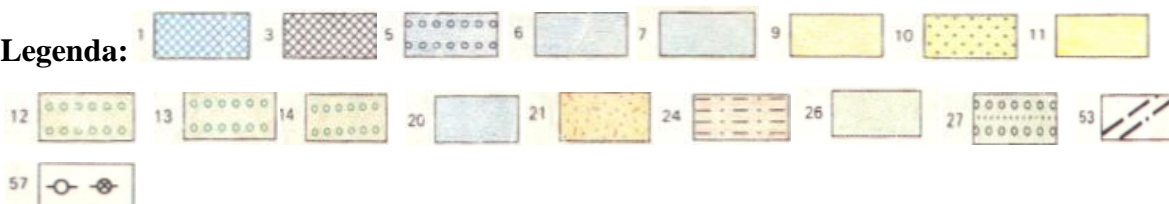
48) zjištěná hranice stratigrafických jednotek a hornin, 49) předpokládaná hranice stratigrafických jednotek a hornin

Obr. 3 Výřez a legenda geologické mapy zájmové oblasti u obce Bílany, 1: 50 000, list 25-31 Kroměříž.





**Legenda:**



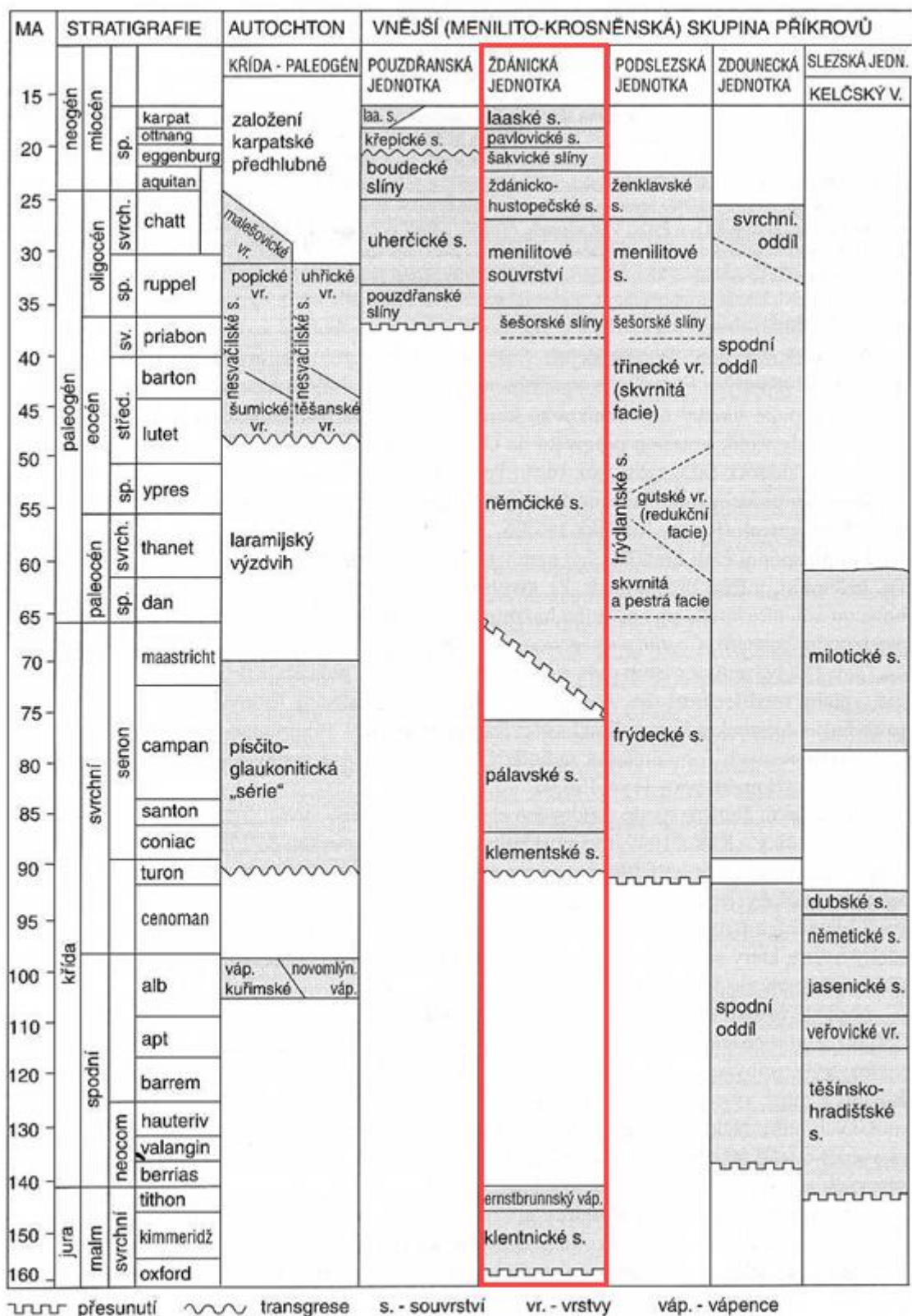
**KVARTÉR, holocén:** 1) zatopené vytěžené prostory, 3) uloženiny odkalovacích nádrží, 5) písčité štěrky nižšího nivního stupně, 6) nivní hlíny až hlinité písky vyššího nivního stupně, 7) deluviofluviální, převážně písčité humozní hlíny; **holocén – pleistocén:** 9) deluviální, proměnlivé písčité a jílovité hlíny; **pleistocén:** 10) naváté písky, 11) spraše a sprašové hlíny nerozlišené, 12) písčité štěrky nenakonické terasy, 13) písčité štěrky hlavní (radslavické) terasy nečleněné, 14) písčité štěrky brodecké terasy, 20) sladkovodní vápence (travertiny, pramenity, pěnovce)

**TERCIÉR-KVARTÉR:** 21) proměnlivá písčité jílovité eluvia sedimentárních hornin badenu, karpátu a flyše nerozlišená, místy reziduální štěrky

**TERCIÉR, NEOGÉN, miocén:** 24) prachovité vápnité jíly (tégel), (spodní baden, morav), 26) vrstevnaté vápnité jíly a vápnité jílovce (šlír), (karpát), 27) vápnité písky a vápnité písky se štěrky, místy vápnité pískovce, (karpát)

53) zlom předpokládaný a zlom překrytý kvartérodními sedimenty, 57) hlinišťe opuštěné, pískovna opuštěná

Obr. 4 Výřez a legenda geologické mapy zájmové oblasti u obce Žalkovice, 1:50 000, list 25-13 Prerov.



Obr. 5 Stratigrafické schéma vnější skupiny příkrovů flyšového pásma Západních Karpat, (převzato a upraveno podle Chlupáče et al. 2002).



### 3. Historie osídlení zájmové oblasti

Studovaná oblast se nachází v okrese Kroměříž v blízkém okolí města Kroměříže, které spadá do Zlínského kraje. Strusky, dodané konzultantem práce p. Daliborem Kolbingerem, konkrétně pocházejí z lokalit u obce Bílany a Žalkovice. Přesná pozice lokalit lze vidět na obr. 6. Obec Bílany leží východním směrem od Kroměříže při silnici z Hulína do Kroměříže. Bílany se nacházejí poblíž potoka Stonáče, při jeho levém břehu. Obec Žalkovice leží na pravém břehu toku Moštěnky (obr. 5). Kroměřížsko bylo v minulosti velmi hustě osídlanou oblastí. Příčinou zřejmě byly dobré klimatické podmínky a blízkost vodního toku. Chybová (1998) se dále domnívá, že širší údolí řeky Moravy bylo velmi významnou kulturní a obchodní tepnou s Baltem a Podunajím.



Obr. 6 Katastrální mapa s vyznačenou pozicí nálezů vzorků u obcí Bílany a Žalkovice (www1, upraveno)



Tab. 1 Chronologická tabulka popisovaných období (upraveno a převzato podle Souchopové et al. 2002)

Období	Od - do
Paleolit (starší doba kamenná)	1 000 - 8 000 př. n. l.
Mezolit (střední doba kamenná)	8 000 – 6 000 př. n. l.
Neolit (mladší doba kamenná)	6 000 – 5 000 př.n. l.
Eneolit (pozdní doba kamenná)	4 000 – 2 000 př. n. l.
Doba bronzová	2 000 – 750 př. n. l.
Doba železná	750 př. n. l. – 0 n. l.
Doba římská	0 – 500 n. l.
Doba stěhování národů	375 – 500 n. l.
Slované	500 – 1250 n. l.

### 3.1 Doba kamenná

Starší dobu kamennou datujeme přibližně v rozmezí od 1000 do 8000 let př. n. l. a nazýváme ji paleolit (tab. 1). Prvotní stopy přítomnosti člověka na Kroměřížsku jsou datovány do závěru středního a průběhu mladšího paleolitu (starší doba kamenná) a objevily se ve formě kamenných nástrojů. Lesní zvěř v malých skupinkách se velmi obtížně lovila (Podborský a kol. 1993) a proto bylo osídlení Moravy v době kamenné ještě sporadické. Byly ale nalezeny pozůstatky lidmi lovených zvířat, např. mamutí kosti a stoličky. Často byl paleolitickým člověkem zpracováván křišťál a radiolarit k výrobě různorodých nástrojů. V neolitu (mladší době kamenné), který je datován 6000 – 3 500 let př. n. l., se život vyvíjel v dobrých klimatických podmínkách. Neolit na Moravě představuje nástup zemědělství. Hlavními znaky jsou: pěstování plodin, usedlý způsob života a počátky textilnictví (Podborský a kol. 1993). V období neolitu se na území Kroměřížska projeví kultura s vypíchanou keramikou či kultura s moravskou malovanou keramikou (Chybová 1998). Primárními důkazy dokládajícími osídlení oblasti Kroměřížska v mladší době kamenné (neolit) jsou zbytky sídlišť, která měla v minulosti podobu pravděpodobně otevřených osad (Podborský a kol. 1993). Sídliště byla zakládána v přímé blízkosti vodních toků a také úrodných půd. Vzdálenost od vodního zdroje nepřekročila 500 m. V této době lidské civilizace lidé na Kroměřížsku vyráběli nástroje, a to kamenné a broušené sekerky, motyky či sekeromlaty. Pozdní dobu kamennou neboli eneolit datujeme v letech 3 500 – 2 000 př. n. l.

Eneolit je érou přechodu od doby kamenné k době bronzové (Podborský a kol. 1993). Obraz osídlení Kroměřížska v eneolitu se vyznačuje přítomností několika kultur, například kultura kanelované keramiky z nálezů u Dobrotic a Žop (Chybová 1998), nebo kultura moravské šňůrové keramiky a kultura lidu se zvoncovitými poháry. Lidé kultury se zvoncovitými poháry častěji osídlovali území na pravém břehu řeky Moravy. Tento fakt dokládají kostrovité hroby nalezené například u Žop, v Bezměrově, ale i v Žalkovicích (Chybová 1998). Podle Podborského a kol. (1993) byla nejvýznamnějším fenoménem eneolitu opevněná výšinná sídliště.

### **3.2 Doba bronzová**

Dobu bronzovou datujeme v rozmezí 2 000 – 750 př. n. l. (tab. 1). Již v eneolitu se začíná pozvolna využívat kovů jako je zlato, stříbro či měď, ale jejich úloha není zdaleka ještě tak klíčová jako je tomu při nástupu doby bronzové (Chybová 1998). Vůbec nejstarší érou doby bronzové je období únětické kultury na Moravě (Chybová 1998), kdy dochází už k výraznějšímu využívání bronzu. Pozůstatky sídlišť a také hroby byly nalezeny a archeologicky doloženy v severozápadní části Kroměřížska poblíž říčky Tišínky (Chybová 1998). Další sídlištní nálezy byly také vykopány například u obce Dřínova, Uhřic, Zlobic či Prasklic. Nejvíce do osídlení Moravy v době bronzové zasáhly skupiny nitranská, poté únětická a následně věteřovská (Chybová 1998). Kultura nitranské skupiny byla jakousi pokračovatelkou kultury se šňůrovou keramikou (Chybová 1998). Tato nitranská skupina do oblasti Moravy přišla ze západního Slovenska. Lid nitranské skupiny vyráběl ještě z mědi různé šperky, nožíky, ale i jehlice, dýky či sekerky. Velmi vhodnou surovinou se postupně stávala slitina mědi a cínu, neboli bronz. K největším depotům dosud patří hromadný nález bronzových předmětů a úlomků z Hradiska, kde se uchovaly náramky, meče a dýky, ale i srpy a jehlice (Chybová 1998).

### **3.3 Starší doba železná – halštatská**

V 8. století př. n. l. lze zaznamenat systematictější přísun železa do Evropy a značí to tedy nástup nové etapy pravěkého vývoje: starší doba železná (Podborský a kol. 1993). Kulturní situace v průběhu doby halštatské je na Kroměřížsku charakterizována nálezy halštatského stupně kultury lidu popelnicových polí (Chybová 1998). Sídlní život i nadále pokračuje na stejných místech, hradiscích a výšinných sídlištích s opevněním. Velikost opevnění byla podmíněna terénem, ale většinou šlo o malá hradiska o velikosti do 1 ha (Podborský a kol. 1993). K nálezům tohoto období můžeme přiřadit například depot

z Hradiska u Kroměříže, kde bylo objeveno kopí, břitva, jehlice, srp a další předměty (Chybová 1998). V době halštatské a později v době laténské se začínají hojněji objevovat výrobky ze železa, a to zbraně, dláta i srpy a v menší míře se železné výrobky objevují v hrobech (Pleiner 1978).

### **3.4 Mladší doba železná – laténská**

Dobu laténskou datujeme přibližně od 400 – 0 př. n. l. Kolonizace Kelty proběhla až v druhé vlně, která okolo 4. století př. n. l. obsadila ty nejurodnější oblasti Kroměřížska (Chybová 1998). Situaci laténské kolonizace nejvíce osvětlují sídliště například na Hulínsku. Sídliště Keltů byla tvořena takzvanými polozemnicemi. Jedná se o lehce do podloží zahloubené chaty podepřené nosnými kůly. Tyto polozemnice byly objeveny pomocí archeologické sondáže u Lechotic na Holešovsku (Chybová 1998). Nálezy obsahovaly kamenné brousky, zlomky keramiky či zlomky spon ze železa (Chybová 1998). Další sídliště z pozdnělaténského období byla objevena například v Pravčicích nebo Rymicích. Vliv keltských sídlišť na Moravě odezníval přibližně v 1. století př. n. l.

### **3.5 Doba římská**

Zhruba první čtyři století nového letopočtu jsou označovány na území střední Evropy jako doba římská. Tato doba je charakterizována zánikem keltských kmenů v důsledku pronikání postupujících Germánů do střední Evropy (Podborský a kol. 1993). Během této doby patřilo Kroměřížsko k centrální části Moravy obývané germánskými kmeny (Chybová 1998). Osídlení germánskými kmeny přetrvalo po celou dobu římskou až do následující doby stěhování národů. Většina pramenů dokládajících dobu římskou pochází ze starší až mladší doby římské. Osady byly stavěny poblíž vodních zdrojů v pásích podél nížin a byly tvořeny zahloubenými obdélníkovitými chatami. Součástí římských sídlišť byly taktéž zahloubené železářské dílny (Salač et al. 2008). Doklady řemeslné výroby včetně železářství byly nalezeny na germánských sídlištích u Hulína, Tučap, Rymic či Prusinovic (Chybová 1998). Struska z železářských pecí je častou komponentou při povrchových sběrech například právě v Bílanech a Žalkovicích, ale i v Dobroticích, Hulíně a v Kostelci u Holešova.

### **3.6 Doba stěhování národů**

Na konci mladší doby římské došlo na území Kroměřížska k velkému stěhování národů a postupnému opouštění sídlišť. Toto období datujeme od 375-500 n. l. (tab. 1). Chudé důkazy sídlišť z doby stěhování národů pocházejí z okolí Hulína a Žalkovic ve formě úlomků

keramiky. Mnohá ze sídlišť se nacházela v podobných polohách jako ta z doby římské (Podborský a kol. 1993).

## 4. Technologie výroby železa

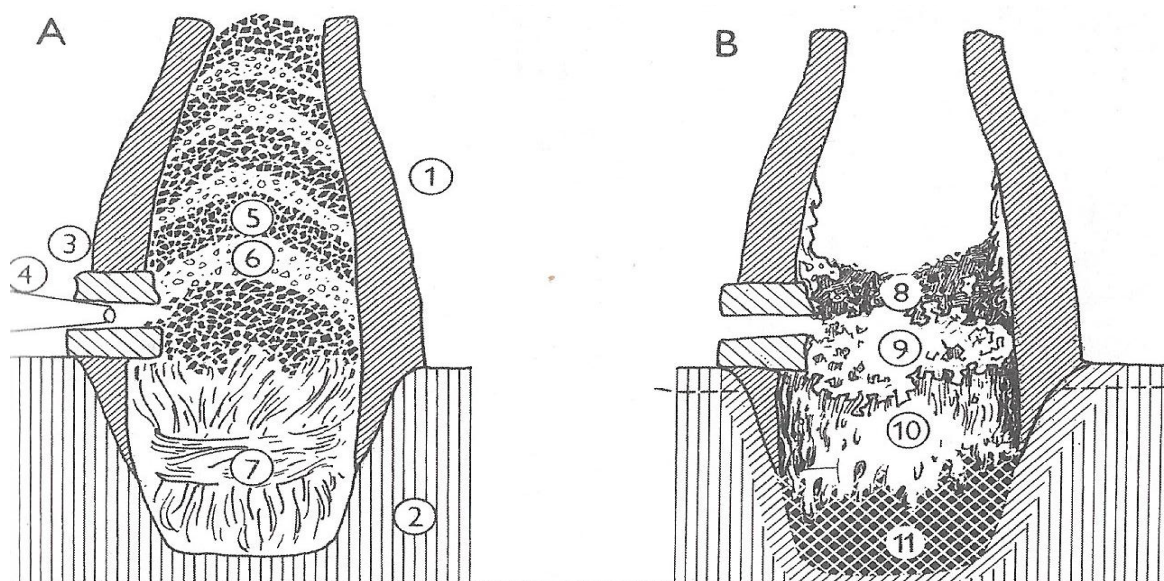
Zpracování a výroba nejrůznějších kovů patří k nejstarším řemeslným dovednostem, které si člověk dokázal osvojit (Rasl, Laboutková 2014). Samotný vznik výroby železa započal již v severní Sýrii a Anatolii a možná i v severní části Íránu (Pleiner 1984). Počátek výroby železa znamenal velký technický vzestup. Dovednost zpracovávat železo se zcela rozvinula až v době laténské, kdy naše území obsadil kmen Keltů (Rasl, Laboutková 2014). Výrobu železa můžeme rozdělit na přímou a nepřímou metodu. Přímou metodou se hutnilo železo zhruba do 15. století a od 15. století nastoupila nepřímá výroba železa ve vysokých pecích tak, jak ji známe dnes.

### 4.1 Přímá metoda

Přímou metodou výroby železa můžeme definovat jako pochod, při němž je teplota při pochodu nižší, než teplota tání finálního produktu (Brož 1975). Nejstarším výrobním zařízením byla pravděpodobně otevřená výheň s dmychadlem, kde se v části, kam nebyl vháněn vzduch, vytvořily podmínky pro redukci rudy dřevěným uhlím. Dmychadlo poháněné lidskou silou zabezpečovalo přívod vzduchu (200-300 l/min) a redukce probíhala za poměrně nízkých teplot okolo 1200–1300 °C (Pleiner 1984). Redukované železo těstovité formy bylo houbovité, pórovité a prostoupené struskou (Souchopová et al. 2002). Tento typ výhně byl odkryt při archeologických výzkumech například na Litovelsku u obce Králová (Pleiner 1984). Hutnické pece byly stavěny v železářských dílnách. V mladší a pozdní době laténské se výroba železa znatelně zvýšila a zdokonalila díky novému typu pece, která se začíná v tomto období objevovat. Jedná se o hutnickou pec se zahloubenou nístějí, která měla zpravidla válcovitý tvar a byla postavena ze žáruvzdorné hlíny. Část pece o výšce zhruba 60 cm vyčnívala nad okolní půdu. Postup při výrobě železa v peci se zahloubenou nístějí nebyl složitý. Metodu ilustruje obrázek č. 7. Pec se předeřhřála dřevěným uhlím, poté se začala vkládat vsázka tvořená rudou a uhlím obvykle v poměru 1:1. Vzduch byl vháněn ručně pomocí měchů. Výsledkem a produktem byla železná houba (hrouda). Odpadní produkt, čili struska, se nacházel na dně pece. Struska protékala pórovitou železnou houbou skrz (Souchopová, Stránský 2008). Tavba většinou probíhala v délce 4–12 hodin. Délka závisela na mnoha faktorech, jako je kvalita rudy, velikost a objem pece. Odhaduje se, že v peci se

zahloubenou nístějí vznikla struska o hmotnosti 20-50 kg a také vzniklo 5-12 kg železné houby. Na takovéto množství vyrobeného materiálu se předpokládá použití 75-150 kg dřevěného uhlí a 50-100 kg železné rudy (Pleiner 1984). Použitá železná ruda se pečlivě vybírala a drtila se na menší zrna a pražena byla v otevřeném ohništi při teplotě 400-800 °C (Pleiner 2000). Pražení rudy se praktikovalo ze dvou důvodů. Za prvé, tímto pražením vznikaly z neoxidických rud rudy oxidické, které jsou nejlepší formou pro tavbu. Druhým důvodem je, že pražení má vliv na strukturu těchto rud, které se stávají pórovitějšími a jsou tak vhodnější pro redukční proces (Pleiner 2000). Pražení, neboli úprava rudy za tepla, pomohlo k tomu, aby se ruda stala lépe tavitelnější, odstranila se vlhkost a popřípadě došlo k odstranění některých nežádoucích prvků jako třeba síry (Souchopová 1995). Ruda měla obsah přibližně 80 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a 10 %  $\text{SiO}_2$  (Pleiner 1984).

Dřevěné uhlí je složeno přibližně ze 78-92 % uhlíku, 0,6-1,8 % vodíku, 7-14 % kyslíku a 0,5-3 % popelu. Uhlí se vyrábělo pálením v uhelných jámách či milířích a výnosnost záležela na mnoha faktorech, nejčastěji však na druhu použitého dřeva, vlhkosti půdy, velikosti milíře či jámy. Dřevo se používalo to, které se nejvíce nacházelo v blízkosti dílen. Výroba dřevěného uhlí spočívala v suché destilaci dřeva. Znamená to spalování za nedostatečného přístupu vzduchu. Nejznámějším způsobem s uvedeným principem je pálení v milířích. Suché dříví se skládalo do stavby tvaru kužele tvořeného ve středu kulem a hořlavým materiálem. Kužel byl pokryt vrstvou hlíny a drny. Z boční strany kužele se vytvořil vzdušný kanál sloužící k regulaci přívodu vzduchu (Pleiner 1958). Železná ruda se většinou těžila v místě osídlení, nebo byla dopravována k hutím po vodním toku. Většinou se získávala sběrem, hlubinnou těžbou v šachtách či povrchovou těžbou. Na našem území se těžil limonit z povrchových ložisek v oblasti Moravského krasu sběrem (Podborský 1997).



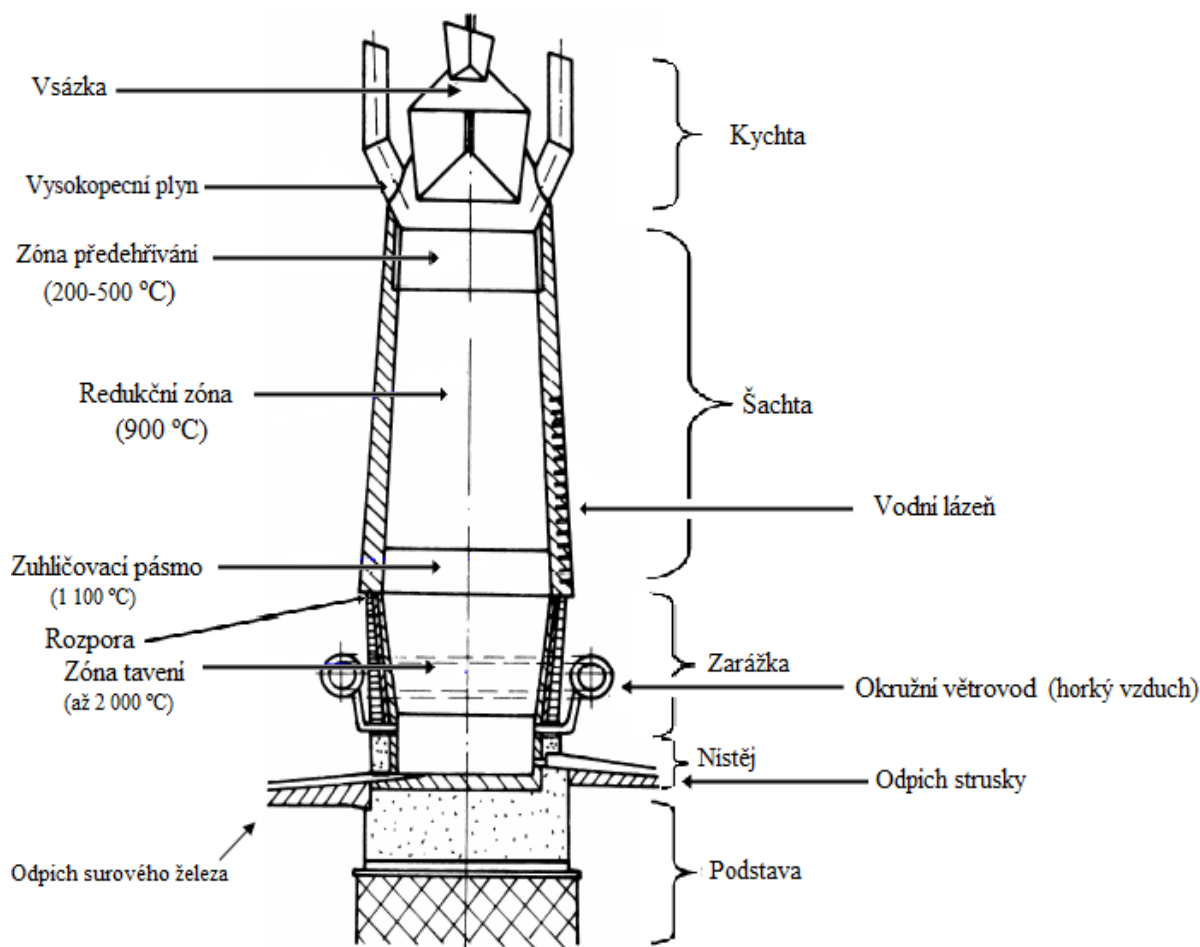
Obr. 7 Postup výroby železa přímou metodou v peci se zahloubenou nístějí.

A - začátek procesu: 1) nadzemní část, 2) podzemní část, 3) dyzny, 4) dmychadlo, 5) a 6) vsázka dřevěného uhlí a železné rudy, 7) nístěj naplněná klestím

B – konec procesu: 8) struska a kousky nezredukované rudy a dřevěné uhlí, 9) výsledek tavby, železná hrouda, 10) slitek proteklé strusky, 11) popel a zbytky dřevěného uhlí (převzato a upraveno podle Pleinera 2000)

## 4.2 Nepřímá metoda

Přechod od přímé výroby k nepřímé výrobě na našem území nastal kolem 16. století a znamenal velký technologický posun. V některých oblastech se k nepřímé výrobě přešlo dokonce až ke konci 19. století. Hutnění železa probíhalo v novém výrobním zařízení, tzv. vysoké peci, která nahradila doposud používanou pec s nístějí. Schéma vysoké pece je zobrazeno na obrázku č. 8. V dnešní době se už veškeré surové železo vyrábí průmyslově v těchto pecích, které mohou pracovat nepřetržitě několik let (Bothe 1989). Vůbec první vysoká pec v českých zemích byla postavena roku 1595 v Králově Dvoře (Kořan 1984). Vysoká pec dosahuje výšky obvykle 25–40 m, objem vysoké pece je podle Pleinera (2000) více než 1300 m<sup>3</sup>. Dnešní moderní výrobní pece dokážou vyrobit okolo 2 000 tun surového železa za 24 hodin, přičemž průtavní doba, kdy zavážka projde celou vysokou pecí, se pohybuje mezi 8 až 12 hodinami (Bothe 1989). Výrobní zařízení má podobu dvou kuželů postavených na sebe základnami, kde se horní část pece nazývá šachta, dolní část pak podstava, ve které se nachází nístěj válcovitého tvaru a celá konstrukce pece je vyzděna šamotovými cihlami (Bothe 1989). Pec je neustále ochlazována studenou vodou. Ve spodní části pece je zavedeno 16 výfučen, kterými se vhání vzduch dmychadly či turbodmychadly o přetlaku 0,08–0,2 MPa (Bothe 1989; Lapčík 2008). Pod výfučnami se nachází otvor určený pro odpich strusky, zatímco surové železo se vypouští otvorem v nejnižší části nístěje (Bothe 1989). Vysoká pec se plní seshora vsázkou tvořenou železnou rudou, struskotvornými přísadami a koksem. Bothe (1989) uvádí, že zhruba na 1 tunu surového železa je třeba zajistit přívod vzduchu o objemu 3 000 m<sup>3</sup>. Výsledkem takové tavby ve vysoké peci je vysokopecní kychtový plyn, vytavené železo a tekutá struska. Bothe (1989) dále uvádí, že surové vytavené železo se odpichuje (vypouští) v rozmezí 3 až 6 hodin. Žár vznikající spalováním koksu ve vysoké peci dosahuje teplot okolo 1530 °C i více. Obsah uhlíku v železe vyrobeném ve vysoké peci je zhruba 3–4,5 % (Pleiner 1958). Jako struskotvorné přísady se používají bauxit, hlinitá břidlice, dolomit či vápenec. Dodávají se do vsázky zejména proto, aby se vytvořila struska žádaného chemického složení (Zahradník 2009), nebo také z toho důvodu, že dokážou do sebe vázat nežádoucí látky. Struska má velký význam při chodu vysoké pece, chrání železo, aby nebylo oxidováno vzduchem dmýchaným do prostoru pece (Bothe 1989).



Obr. 8 Stavba vysoké pece (převzato a upraveno podle Botheho 1989, Zahradníka 2009)

### 4.3 Kovářské práce

Kovářství bylo nepostradatelnou činností při výrobě železa v pecích pro výrobu nástrojů, zbraní a šperků. Uplatňovaly se dva postupy v kovářském řemesle. Prvním způsobem bylo zpracování vyrobeného železa v železnou lupu. Druhým způsobem pak byla výroba hotových výrobků (Souchopová 1995). Kovárny mohly být součástí sídlištních objektů a hutí, nebo byly situovány mimo výrobní objekty. Každá kovárna byla tvořena výhni, do níž pak ústila výfučna od ručně poháněného dmyhadla a v neposlední řadě zásobník s palivem a nádrž s vodou. Z náradí byly k dispozici vždy háky a škrabky na strusku, lopatky a bodce (Pleiner 1962). Kovářské práce vyžadují opakovaný ohřev železa ve výhni za teplot 700–1200 °C. Oxidací železa na povrchu vznikly okuje. Aby odstranění okují ze zpracovávaného železa bylo snadnější, užívalo se vápencové drti, hlínky či křemitého písku. Pak se okuje mění ve strusku a ta protéká uhlím a ve výhni se mísí s popelem. Z proteklé se utváří na dně výhně klasická kovářská struska (Souchopová, Stránský 2008). Velikostně mají kovářské slitky v průměru 15 cm.



## 5. Fázové složení železářských strusek

### 5.1 Historické železářské strusky

Strusky, nalezené při archeologických výzkumech, můžeme chápat buď jako odpad při výrobě (hutnění) železa, nebo jako odpad kovářské činnosti.

Rozlišujeme dva základní typy hutnických strusek. Prvním typem je struska z nístějí pecí. Mohou být zdrojem informací o množství vyráběného železa, jsou odpadem z jedné tavby. Struska se nevypouštěla ven, ale shromažďovala se na dně nístěje, kde ztuhla a po tavbě se neodstranila (zůstala v nístěji), nebo se vyjmula a umístila na odpadovou haldu (Souchopová, Stránský 2011). Druhým typem strusek jsou strusky odpichové, které jsou vypouštěny během tavby z pece. Jsou matného vzhledu s typickým vzhledem proudění hmoty (Souchopová 1986). Oba typy lze nalézt v odpadových haldách a hromadách při povrchových sběrech. Podle Fellsové (1983) jsou rozpoznatelné tři strukturní typy strusek. Prvním typem jsou fayalitové strusky obsahující sklo a wüstit, druhým typem jsou sklovité strusky s malým podílem fayalitu a železa, třetím typem jsou strusky s vysokým obsahem železa a větším podílem kovu vedle obsahu skla a fayalitu. Z toho vyplývá, že fayalit (olivín), sklo a wüstit jsou základními hlavními složkami většiny železářských strusek. V menší míře může být podle Fellsové (1983) přítomen leucit či hercynit. Magnetit se ve struskách vyskytuje v podobě velkých krystalů, nebo jako kostrovité agregáty (Bachman, 1982) a je přítomen v odpichových struskách, u nichž došlo k částečné oxidaci po opuštění prostoru pece. Různé složení použitých rud při přímé výrobě železa přímo ovlivňuje složení strusek, ale existuje i mnoho dalších faktorů, které ovlivňují jejich mineralogické složení (Fellsová 1983). Například rychlost ochlazení může výrazně ovlivnit nejen mineralogické složení, ale také texturu a vzhled. Dalšími faktory jsou podle Bachmanna (1982) použité rudy a hlušina, dřevěné uhlí a popel, podmínky procesu výroby, chlazení a zvětrávání. Olivín se vyskytuje ve struskách ve formě lišt, izometrických zrn či skeletálních krystalů viditelných v leštěném výbrusu. Pokud struska obsahuje větší množství vápníku, tak se olivín změní na kirschsteinit, nebo v opačném případě (ve strusce s menším obsahem vápníku) se mění olivín na monticellit (Pleiner 2000). Wüstit se vyskytuje v leštěných výbrusech ve formě dendritů. Strusky obsahující větší množství wüstitu byly více viskózní a byly lépe oddělitelné od železné houby (Pleiner 2000). Sklo je přítomno, pokud byla roztavená struska velmi rychle ochlazená. Křemen a vysokoteplotní modifikace  $\text{SiO}_2$  (cristobalit) je obvykle přítomen ve struskách s vysokým obsahem  $\text{SiO}_2$  spolu s pyroxenem a fayalitem (Bachmann 1982). Struska vzniklá

při přímé výrobě železa mívá větší množství FeO, které velice dobře váže další oxidy rudy a podporuje struskovatění i při nižších teplotách (cca 1100-1200 °C; Pleiner 1958). Chemické analýzy strusek obvykle uvádějí obsahy FeO v rozmezí 40–70%, SiO<sub>2</sub> v množství od 15 do 40 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0–15 %, obsah CaO nebývá vyšší než 8 % (Pleiner 2000). Kromě toho mohou strusky obsahovat různá množství MnO, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Bachmann 1982). Jednoduše lze tedy říci, že teplota tavení a hlavně chemické složení strusek může ovlivnit výtěžnost tavicího procesu a také kvalitu výsledného vyrobeného kovu. Železo z nepřímé výroby, redukované dřevěným uhlím, má malý obsah síry a to přibližně 0,02 %. Síra je nejméně žádoucím a zároveň nejvíce škodlivým prvkem, protože způsobuje lámavost za tepla a taktéž má vliv na křehkost (Pleiner 1962).

## 5.2 Strusky z vysokých pecí

Tento typ strusek představuje konečný odpadní produkt nacházející se v nejnižším pásmu vysoké pece, kde teploty dosahují až 1500 °C. Strusky z vysokých pecí jsou většinou sklovitého vzhledu a nazelenalé, namodralé či zcela černé barvy. Obsahy hlavních složek se zde liší na rozdíl od strusek z přímé výroby. Obsah FeO je zde poměrně malý (0,5-5 %). Vyšší jsou naproti tomu obsahy SiO<sub>2</sub> (50-54 %) a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13-16 %; Pleiner 2000). Z mineralogického hlediska jsou pak strusky tvořeny zejména anortitem, křemitým sklem, wollastonitem, pyroxeny, melilitem a forsteritem. Výsledná struska má mít takové fyzikální a chemické vlastnosti, aby byla schopná dokonale odsířit železo, aby zajistila redukcí železa, a aby snadno vytékala z pece odpichovým otvorem (Kaloč et al. 1986).

## 6. Metodika práce

Vzorky historických železářských strusek byly poskytnuty panem Daliborem Kolbingerem, archeologem z Hulína.

V laboratorní etapě byly z vybraných 4 reprezentativních vzorků zhotoveny 3 leštěné výbrusy a 1 leštěná tableta, u některých metod bylo použito všech dodaných vzorků strusek.

1) Měření magnetické susceptibility a reakce na permanentní magnet. Magnetická susceptibilita byla měřena pomocí kapamůstku KLY-4S (výrobce AGICO s.r.o., Brno), bylo použito vždy po jednom kusu úlomku z každé strusky a každý úlomek byl 3x přeměřen. Výsledky jsou uvedeny v jednotkách SI.

2) Stanovení hustoty pyknometrickou metodou. Z jednotlivých vzorků byly zváženy malé úlomky o velikosti cca 6 mm, také po jednom kusu z každé strusky.

3) Stanovení teploty tání v laboratorní muflové peci MLW, typ LM 312.11 s maximální dosažitelnou teplotou 1200 °C (výrobce VEB Elektro Bad Frankenhausen, bývalá NDR). Z každé strusky byla vyříznuta malá obdélníková destička, destičky byly rozloženy vedle sebe na žáruvzdorné dinasové desce. Vzorky se podložily křemennými tyčinkami, z důvodu jasné deformace vzorků během tavby. Poté se strusky zakryly krabičkou z plechu a plech se obložil dřevěným uhlím. Tavba započala při teplotě 1 000 °C a trvala 1 h, poté se pec vypnula a po vychladnutí se otevřela, vyjmula se deska se vzorky a stav strusek se zdokumentoval na digitální fotoaparát. V dalších krocích se teplota se v peci pro každou tavbu zvyšovala o 50 °C až po maximální teplotu 1 200 °C.

4) Zhotovení leštěných výbrusů a poté mikroskopie v odraženém i procházejícím světle v polarizačním mikroskopu BX-50.

5) Stanovení procentuálního zastoupení minerálních fází planimetricky na integračním stolku Eltinor 4.

6) Elektronová mikrosonda (EDX) – stanovení chemismu jednotlivých fází a jejich identifikace byla provedeno na elektronovém mikroskopu JEOL JXA-8600 s EDX analyzátozem SAMx na Katedře geologie PřF UP Olomouc. Výbrusy strusek byly potaženy vrstvou grafitu a následně Mgr. J. Kapusta zhotovil jednotlivé analýzy. Během analýzy bylo použito urychlovacího napětí 15 kV a proudu svazku 10 nA. Využito bylo následujících

standardů: albit (Na), diopsid (Mg, Ca), mikroklín (Al, Si, K), magnetit (Fe), baryt (Ba), elementární Mn (Mn), ilmenit (Ti), sfalerit (S), elementární Cu (Cu), apatit (P).

7) Stanovení celkového chemismu strusek bylo provedeno v laboratoři ACME ve Vancouveru v Kanadě a to metodami ICP-OES (hlavní oxidy), ICP-MS (stopové prvky) a Leco (celkový uhlík, síra a ztráta žiháním).

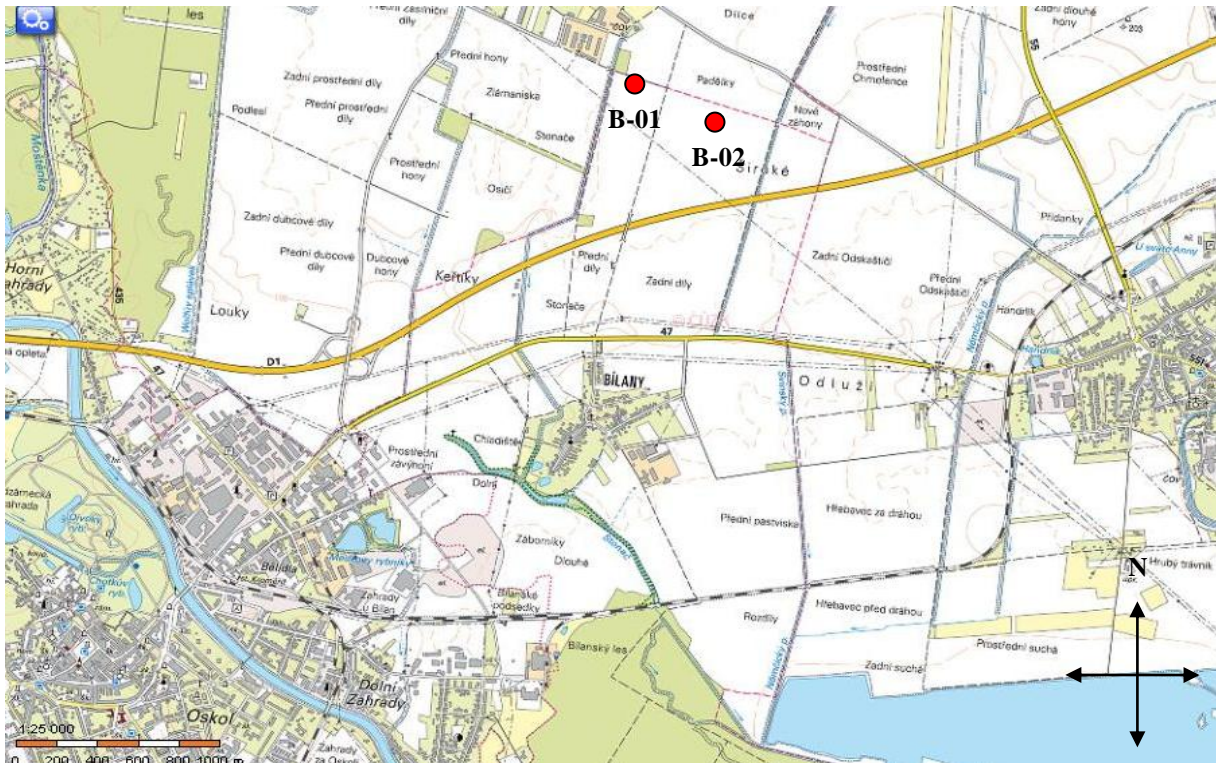
## **7. Výsledky**

### **7.1 Terénní výzkum**

V terénní části byly vyhledány a blíže popsány lokality, kde byly nalezeny železářské strusky panem D. Kolbingerem. Jedná se o lokality u obce Bílany a u obce Žalkovice.

#### **7.1.1 Bílany**

Bílany, jakožto část nedalekého města Kroměříž, leží 3 km východním směrem od Kroměříže. Tato lokalita se nachází v jižním okraji Hornomoravského úvalu a podloží je tvořeno pliocenními a kvarténními sedimenty. Zájmová lokalita má rovinný charakter s nadmořskou výškou max. 194 m n. m. Typickým půdním podkladem jsou zde pouze nivní oglejené fluvizemě, které jsou úrodné, a pravděpodobně z tohoto důvodu došlo v oblasti v minulosti k hustému osídlení. Z lokality bylo získáno celkem 9 kusů strusek. Strusky byly objeveny povrchovým výzkumem na zoraném poli v letech 1979-1982. Spolu se struskami byly také nalezeny zlomky keramiky, kamenné brousky a různé železné předměty (Kolbinger 2013). Terénní průzkum lokality jsem také podnikla sama v březnu tohoto roku, ale další vzorky či úlomky strusek jsem bohužel již neobjevila. Přesnou polohu nálezů, kterou jsem do katastrální mapy zanesla dle údajů Kolbingera (2013), lze vidět na obr. 9. Současný stav lokalit B-01 a B-02 lze vidět na obr. 10 a 11.



Obr. 9 Katastrální mapa obce Bílany s vyznačenou polohou lokalit (podkladová mapa převzata z www1)



Obr. 10 Lokalita B-01, stav k 18. 3. 2016





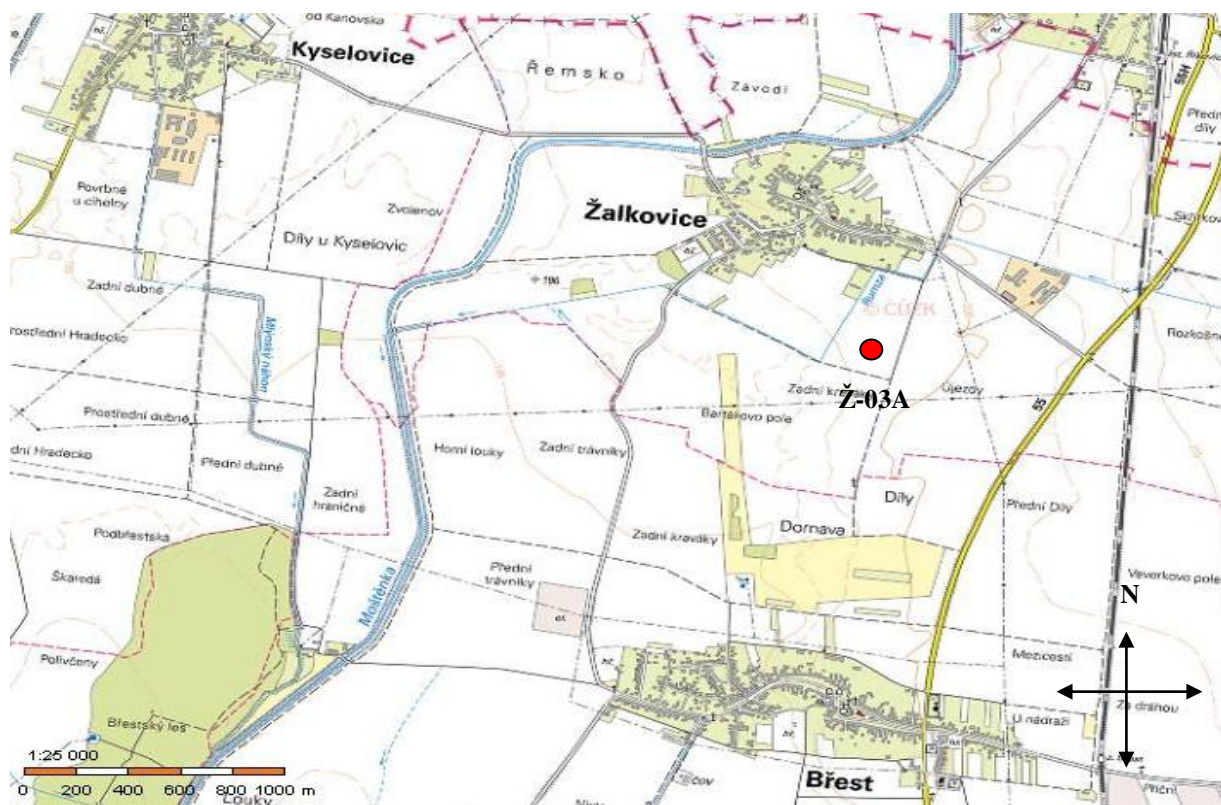
Obr. 11 Lokalita B-02, stav k 18. 3. 2016

### **7.1.2 Žalkovice**

Obec Žalkovice leží ve Zlínském kraji, okres Kroměříž s maximální nadmořskou výškou 200 m n. m. V blízkém okolí obce je téměř rovinná krajina s rozlehlými ornými poli. Žalkovice leží severním směrem od Kroměříže a východním směrem od Chropyně v blízkosti řeky Moštěnky. Půdním podkladem jsou zde nivní oglejené fluvizemě, které jsou úrodné. Byly zde nalezeny 4 kusy strusek povrchovým sběrem roku 1979. Spolu se struskami byly nalezeny i keramické úlomky a skleněné nádoby (Kolbinger 2013). Současný stav lokality lze vidět na obr. 12, přesná poloha nálezů je zanesena v katastrální mapě na obrázku 13.



Obr. 12 Lokalita Ž-03, stav k 18. 3. 2016



Obr. 13 Katastrální mapa obce Žalkovice s vyznačenou polohou lokality (podkladová mapa převzata z www1)

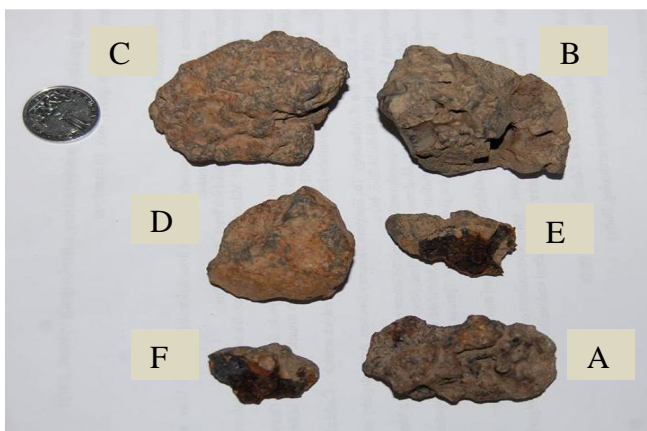
## 7.2 Laboratorní část

### 7.2.1 Makroskopický popis

1) Strusky z Bílan (B-01): Celkem nalezeno 6 kusů strusek (obr. 14). Na pohled se od sebe jednotlivé kusy výrazněji makroskopicky neliší. Strusky jsou na povrchu světle šedé barvy, některé vzorky jsou na povrchu lehce pokryté limonitem. Na čerstvém řezu rychle korodují a lze také na řezech pozorovat u některých strusek zapečené kousky uhlíků. Strusky mají nepravidelný tvar, jsou bez pórů a bez lesku. Jejich rozměry jsou: délka od 2,4 do 6,1 cm, šířka od 1,9 cm do 4,2 cm a hmotnost od 9,4 g do 37 g.

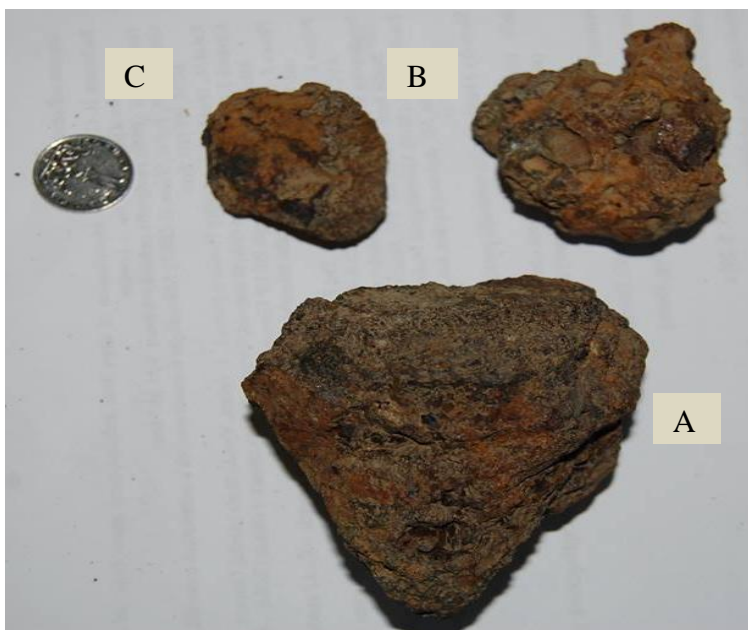
2) Strusky z Bílan (B-02): Z této lokality byly získány celkem 3 kusy (obr. 15). Tyto strusky jsou spíše tmavší šedé barvy a s více limonitizovaným povrchem. Vzorky mají nepravidelný tvar, kompaktní strukturu, avšak dva kusy jsou lehce pórovité, póry jsou veliké od 0,1 mm do 0,5 cm. Jsou také bez lesku a také na čerstvém řezu korodují. Na řezu největšího kusu (B-02A) z této lokality lze pozorovat větší množství zapečených úlomků uhlíků. Rozměry jsou: délka od 3,8 do 8,1 cm, šířka od 4 do 7,8 cm, hmotnost od 38 do 256 g.

3) Strusky ze Žalkovic (Ž-03): Z lokality Žalkovice byly získány celkem 4 kusy strusek (obr. 16). Jeden ze vzorků je méně pokryt limonitem, ostatní jsou více limonitizované. Největší kus (Ž-03D) je z jedné strany více pórovitý a póry mají velikost od 0,5 až po 0,9 cm, z druhé strany je spíše bez pórů. Ostatní strusky ze Žalkovic jsou zcela bez pórů. Nejmenší vzorek (Ž-03C) na lomu vykazuje sklovitý charakter se skelným leskem. Vzorek Ž-03A je nejvíce prostupen kovovým železem. Jejich rozměry jsou: délka od 2,6 do 12,3 cm, šířka od 2,4 do 8,6 cm a hmotnost od 22,5 g do 421 g.

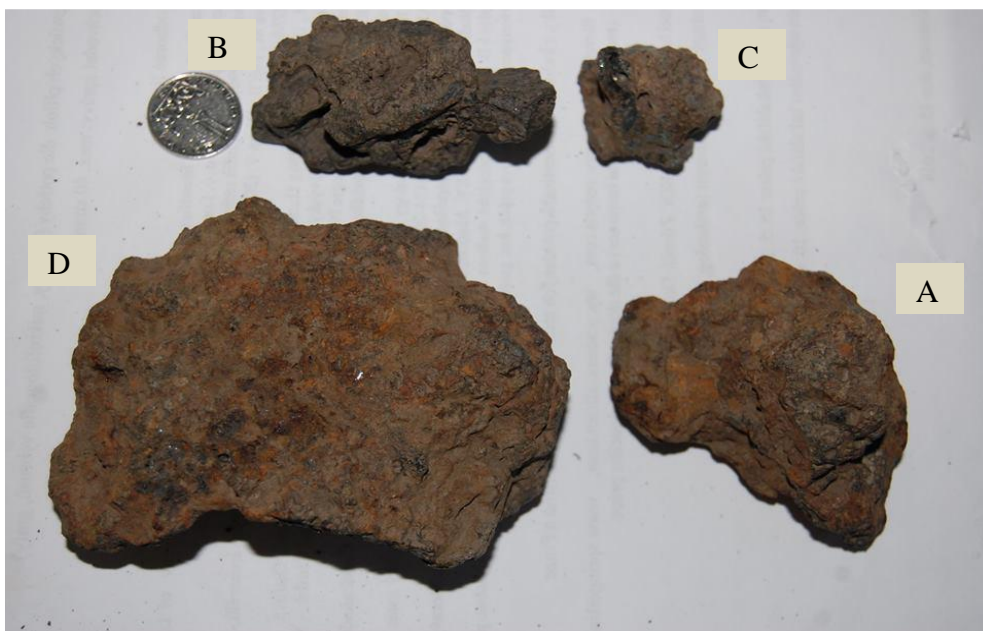


Obr. 14 Strusky z lokality Bílany (B-01)





Obr. 15 Strusky z lokality Bílany (B-02)



Obr. 16 Strusky z lokality Žalkovice (Ž-03)

### 7.2.2 Fyzikální vlastnosti studovaných strusek

Z fyzikálních vlastností byly u studovaných artefaktů stanovovány: magnetická susceptibilita, hustota, teplota tání a reakce na permanentní magnet.

### 7.2.2.1 Magnetické vlastnosti

Výsledky stanovení magnetické susceptibility a reakce na permanentní magnet jsou zaznamenány v tabulce č. 2.

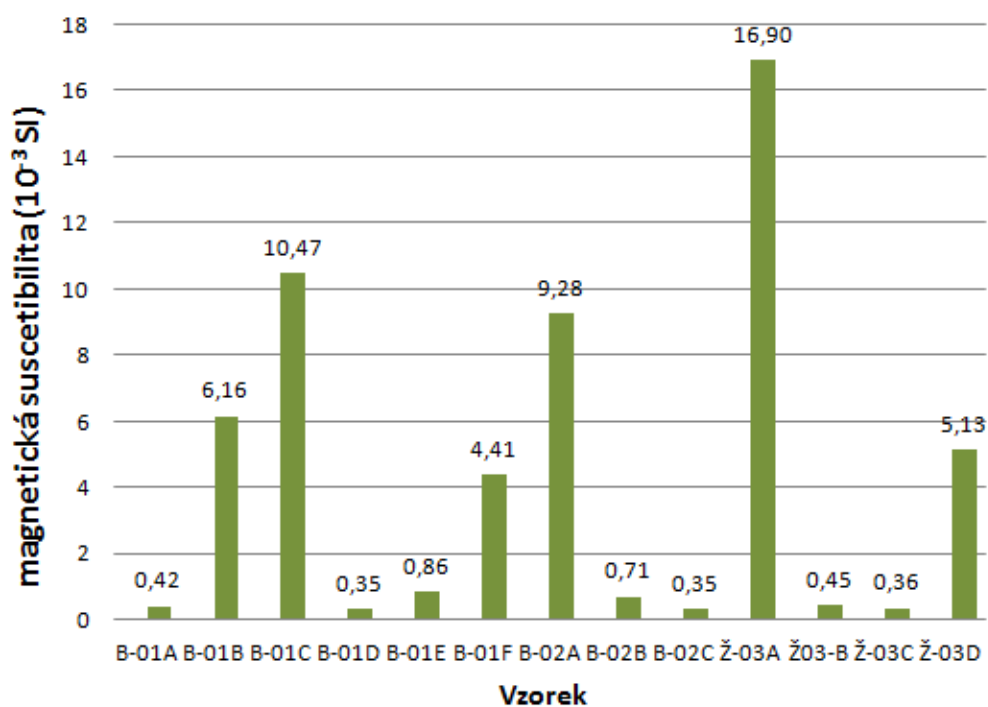
Tab. 2 Naměřené hodnoty magnetické susceptibility studovaných strusek a jejich reakce na permanentní magnet

vzorek č.	magnetická susceptibilita ( $10^{-3}$ SI)			průměrná magnetická susceptibilita	Magnetičnost
B-01A	0,42	0,42	0,42	0,42	-
B-01B	6,09	6,17	6,23	6,16	+
B-01C	10,73	10,10	10,58	10,47	+
B-01D	0,34	0,35	0,36	0,35	-
B-01E	0,87	0,86	0,84	0,86	-
B-01F	4,58	4,70	3,94	4,41	+
B-02A	9,28	9,24	9,33	9,28	+
B-02B	0,68	0,73	0,73	0,71	-
B-02C	0,35	0,35	0,35	0,35	-
Ž-03A	16,27	17,52	16,91	16,90	+
Ž03-B	0,43	0,46	0,47	0,45	-
Ž-03C	0,32	0,36	0,41	0,36	-
Ž-03D	5,20	4,97	5,23	5,13	+

1) Bílany B-01: Tři kusy reagují na magnet, tři vzorky pak nereagují na magnet vůbec. Magnetická susceptibilita vzorků se pohybuje v rozmezí od  $0,42 \times 10^{-3}$  SI do  $10,73 \times 10^{-3}$  SI, Průměrná magnetická susceptibilita všech vzorků je pak  $3,78 \times 10^{-3}$  SI. Nejvyšší hodnotu vykazovala struska č. B-01C (obr. 17).

2) Bílany B-02: Dvě strusky spíše nereagují na magnet, jeden ze vzorků reaguje. Jejich magnetická susceptibilita se pohybuje od  $0,35 \times 10^{-3}$  SI do  $9,33 \times 10^{-3}$  SI. Průměrná magnetická susceptibilita všech artefaktů je  $3,45 \times 10^{-3}$  SI. Nejvyšší hodnota byla naměřena u vzorku B-02A (obr. 17).

3) Žalkovice Ž-03: Dva artefakty ze Žalkovic reagují na magnet, dva vzorky nevykazují reakci na magnet. Magnetická susceptibilita se pohybuje v rozmezí od  $0,32 \times 10^{-3}$  SI do  $17,52 \times 10^{-3}$  SI. Průměrná magnetická susceptibilita ze všech vzorků je  $5,71 \times 10^{-3}$  SI. Nejvyšší hodnota byla naměřena u strusky Ž-03A (obr. 17).



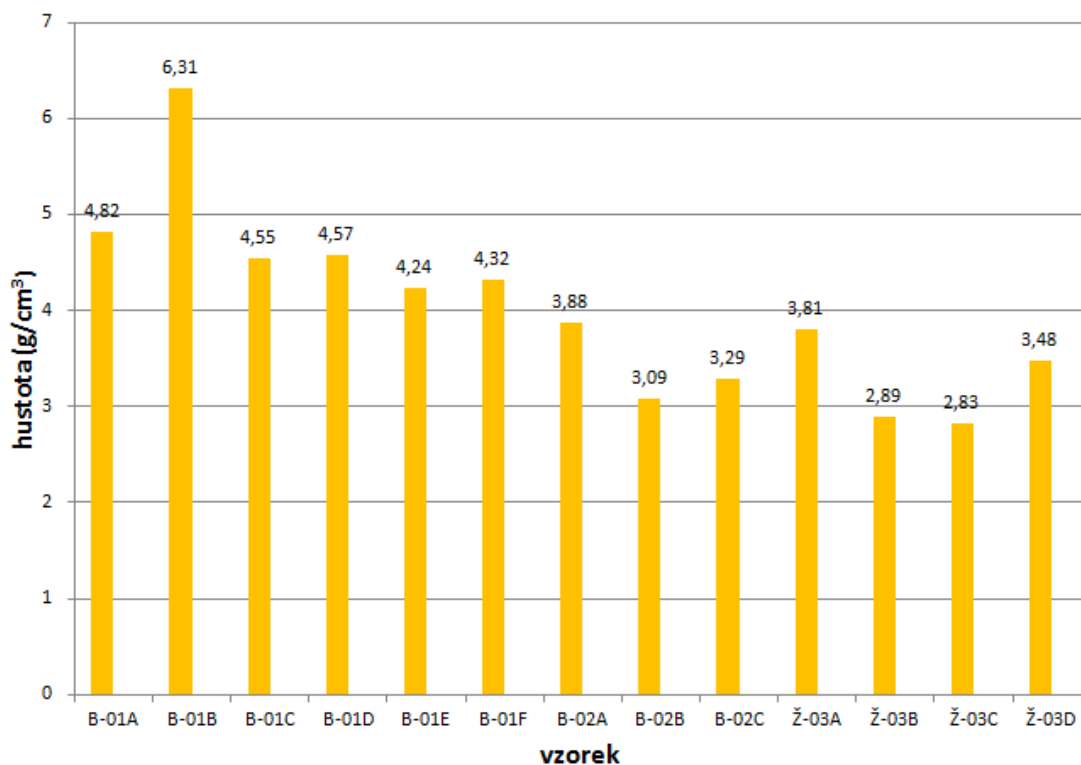
Obr. 17 Graf naměřených průměrných hodnot magnetické susceptibility u jednotlivých vzorků strusek

### 7.2.2.2 Hustota

Další zjišťovanou fyzikální vlastností je hustota. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce č. 3. Nejvyšší hodnota byla naměřena u vzorku B-01B, a to  $6,31 \text{ g/cm}^3$ . Nejnižší hodnotu vykazovala struska Ž-03C, a to  $2,83 \text{ g/cm}^3$  (obr. 18).

Tab. 3 Naměřené hodnoty hustot strusek

vzorek	hustota ( $\text{g/cm}^3$ )
B-01A	4,82
B-01B	6,31
B-01C	4,55
B-01D	4,57
B-01E	4,24
B-01F	4,32
B-02A	3,88
B-02B	3,09
B-02C	3,29
Ž-03A	3,81
Ž-03B	2,89
Ž-03C	2,83
Ž-03D	3,48



Obr. 18 Graf naměřených hodnot hustot jednotlivých vzorků strusek

### 7.2.2.3 Teplota tání

Během experimentální tavby byly sledovány změny ve tvarech jednotlivých strusek při pěti různých teplotách v muflové peci. Jednotlivé teploty byly 1 000 °C, 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C a 1200 °C. Při teplotě 1 000 °C nedošlo k žádným změnám ve tvaru vzorků. Při teplotě 1 050 °C došlo u vzorků B-01A a B-02B k lehkému natavení a připečení k podložce. Při teplotě 1 100 °C už u vzorků B-02B, Ž-03D, Ž-03B došlo k téměř úplnému roztavení, u vzorku B-01B, B-01A a B-02A stále nedošlo k žádným větším změnám ve tvaru. Během teploty 1 150 °C už došlo k většímu roztavení i u vzorků B-01B, B-01A a B-02A, u ostatních došlo k téměř kompletnímu roztavení. Při teplotě 1 200 °C došlo k úplnému roztavení téměř všech studovaných artefaktů, vzorek Ž-03A se při teplotě 1 200 °C kompletně neroztavil. Stav strusek při jednotlivých teplotách lze vidět na obr. 19.



B-01B B-01A B-02A B-02B Ž-03D Ž-03B Ž-03A



Stav před tavbou

1 000 °C

1 050 °C

1 100 °C

1 150 °C

1 200 °C

Obr. 19 Fotodokumentace vzorků během experimentální tavby při jednotlivých teplotách

## 7.2.3 Fázové složení a chemické složení jednotlivých fází strusek

### 7.2.3.1 Vzorek B-02A

Struska je tvořena z velké části olivínem, sklem, póry a wüstitem, v malém množství se zde vyskytuje křemen. Jednotlivé fáze jsou distribuovány ve výbrusu nehomogenně, lze pozorovat oblasti, kde se vyskytují jen krystaly olivínů, ale i oblasti bohaté na wüstity zarostlé ve skle či v olivínech.

Nejdominantnější fází v tomto vzorku je wüstit, který zaujímá 65 % plochy výbrusu. Vyskytuje se zde ve formě dendritických agregátů hypautomorfně omezených (obr. 20 c). Ve výbrusu lze pozorovat jak oblasti bohaté na wüstit, tak i oblasti, kde se wüstit nevyskytuje. Lze jej pozorovat jak zarostlý ve skle, tak i v zrnech olivínu.

Byla také analyzována neznámá fáze v bodě č. 9 ze vzorku B-02A. Jedná se pravděpodobně o výsledek zachycení místa styku fayalitu, vzhledem k nízkému obsahu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,35 hm. %) se sklem vzhledem k nízkému obsahu  $\text{FeO}$  (28,33 hm. %). EDX analýza je uvedena v tabulce č. 4.

Sklo ve výbrusu vyplňuje prostor mezi ostatními fázemi a póry. Procentuálně sklo zaujímá 4,12 % celkové plochy. V PPL má světle a rezavě hnědou barvu (obr. 20 d). V XPL je izotropní, na některých místech lze pozorovat i devitrifikaci skla. EDX analýzou byly zjištěny vyšší obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (od 15,02 do 19,02 hm. %),  $\text{SiO}_2$  (od 40,45 do 62,72 hm. %) a  $\text{FeO}$  (od 4,38 do 18,74 hm. %), dále byly analyzovány obsahy  $\text{Na}_2\text{O}$  (od 0,44 do 2,05 hm. %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (od 0,44 do 1,76 hm. %),  $\text{SO}_3$  (od 0,46 do 0,59 hm. %),  $\text{K}_2\text{O}$  (od 4,53 do 7,30 hm. %),  $\text{CaO}$  (od 1,06 do 8,37 hm. %),  $\text{TiO}_2$  (od 0,63 do 1,37 hm. %), (tab. 5).

Další fází je olivín, který tvoří 23,7 % celkové plochy výbrusu. Ve strusce se olivín vyskytuje ve formě hypautomorfně až automorfně omezených lišt, šířka lišt se pohybuje od 0,05 po 0,40 mm. V PPL jsou lišty olivínu bezbarvé či nažloutlé a bez pleochroismu (obr. 20 a). Olivín ve výbrusu v sobě uzavírá dendrity wüstitu, nebo také sklo. Jedná se o téměř čisté fayality (95-97 mol. %) s menšími příměsemi dikalciumsilikátové (1,5-2,3 mol. %) a forsteritové (1-3 mol. %) složky. Na některých zrnech lze pozorovat v obraze BSE dobře viditelnou zonálnost (obr. 20 f). Jednotlivé zóny se liší svým chemismem, kde ve středu olivínu je větší množství forsteritové složky (2,7 mol. %), ale při okraji je forsteritu už méně (1,9 mol. %), obsah dikalciumsilikátové složky je (1,6-1,8 mol. %). Výsledky EDX analýz jsou uvedeny v tabulce č. 6.

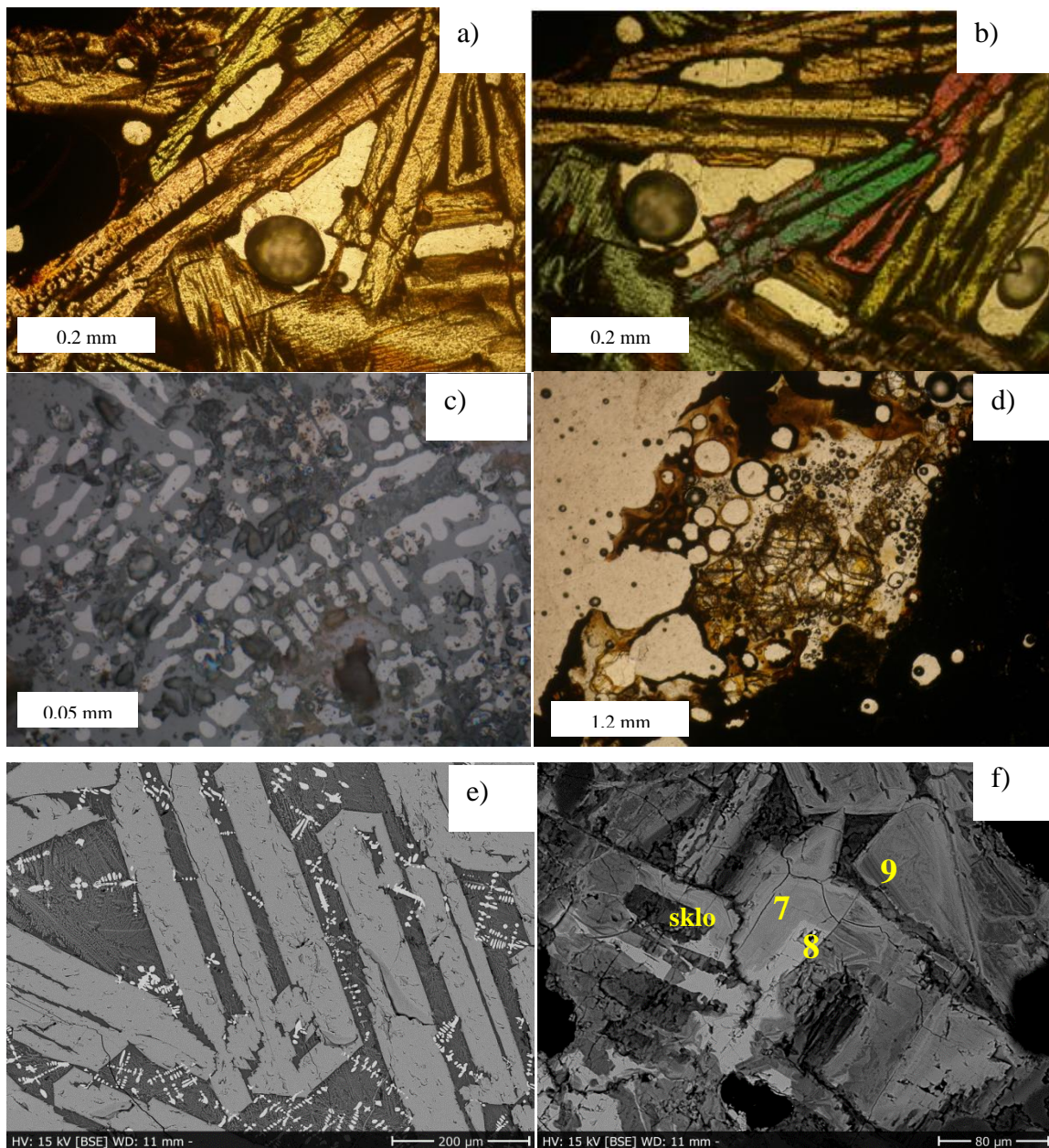
Póry mají ve výbrusu různou velikost i různý tvar, některé jsou okrouhlé, nebo nepravidelné, ale i protáhlé a zaujímají 7,08 % plochy výbrusu. Výplň pórů při jejich okrajích tvoří zejména limonit.

Poslední zjištěnou akcesorickou minerální fází jsou zrna křemene, nacházející se při okraji vzorku. Zaujímají jen 0,12 % plochy výbrusu. V XPL zrna zháší jednotně, některá i undulózně. Jsou silně rozpraskaná a mají xenomorfní omezení.

Tab. 4 EDX analýza neznámé minerální fáze (hm. %)

<b>Vzorek</b>	<b>B-02A</b>
<b>Fáze</b>	<b>neznámá</b>
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 9</b>
SiO <sub>2</sub>	60,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35
CaO	0,87
FeO	28,33
Suma	90,33





Obr. 20 Vzorek B-02A: a) lišty olivínů a póry (PPL); b) zrna olivínů a póry (XPL); c) světle šedé dendrity wüstitu, tmavě šedé sklo (odražené světlo); d) zrna křemene, póry a denitrifikované sklo (PPL); e) lišty fayalitu, dendrity wüstitu, tmavě šedé sklo (obraz BSE, foto: J. Kapusta), f) zonální zrna olivínů (body č. 7, 8 jsou analyzovaná místa) uzavírající v sobě sklo, bod č. 9 je analyzovaná neznámá fáze (obraz BSE, foto: J. Kapusta)



Tab. 5 EDX analýzy skel vzorků B-02A a B-01B (hm. %)

Vzorek	B-02A					B-01B	
Fáze	sklo						
Analýza	Bod č. 4	Bod č. 5	Bod č. 6	Bod č. 10	Bod č. 12	Bod č. 32	Bod č. 33
SO <sub>3</sub>	-	0,59	0,46	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,44	1,39	1,39	1,54	1,76	4,05	4,12
SiO <sub>2</sub>	62,72	48,64	47,59	50,60	40,45	34,16	34,02
TiO <sub>2</sub>	-	1,37	1,03	0,63	0,74	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,02	16,70	16,64	17,09	19,02	15,96	16,29
CaO	1,06	6,14	7,24	4,99	8,37	13,38	13,55
FeO	4,38	14,68	16,50	11,60	18,74	24,31	24,04
Na <sub>2</sub> O	0,44	0,58	1,94	1,11	2,05	0,52	0,55
K <sub>2</sub> O	4,53	7,05	7,18	4,98	27,30	5,99	5,98
Suma	88,59	98,22	99,97	92,54	98,42	98,41	98,52

Tab. 6 EDX analýzy olivínů vzorku B-02A (hm. %), přepočteno na 4 atomy kyslíku

Vzorek	B-02A					
Fáze	olivín					
Analýza	Bod č. 1	Bod č. 2	Bod č. 3	Bod č. 7	Bod č. 8	Bod č. 11
SiO <sub>2</sub>	29,35	32,77	28,59	33,47	29,10	29,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1,15	-	0,17	-	-
CaO	0,85	0,94	1,02	0,82	1,01	1,29
FeO	68,28	56,61	68,64	58,16	67,84	69,72
MgO	1,28	1,02	0,56	0,65	1,06	0,42
Suma	99,77	92,49	98,81	93,27	99,01	100,76
<b>Apfu</b>						
Si <sup>4+</sup>	0,990	1,116	0,982	1,139	0,990	0,986
Al <sup>3+</sup>	-	0,046	-	0,007	-	-
Ca <sup>2+</sup>	0,030	0,034	0,037	0,028	0,036	0,046
Fe <sup>2+</sup>	1,926	1,613	1,971	1,654	1,930	1,961
Mg <sup>2+</sup>	0,065	0,052	0,029	0,033	0,054	0,021
Catsum	3,010	2,861	3,019	2,861	3,010	3,014

### 7.2.3.2 Vzorek B-01B

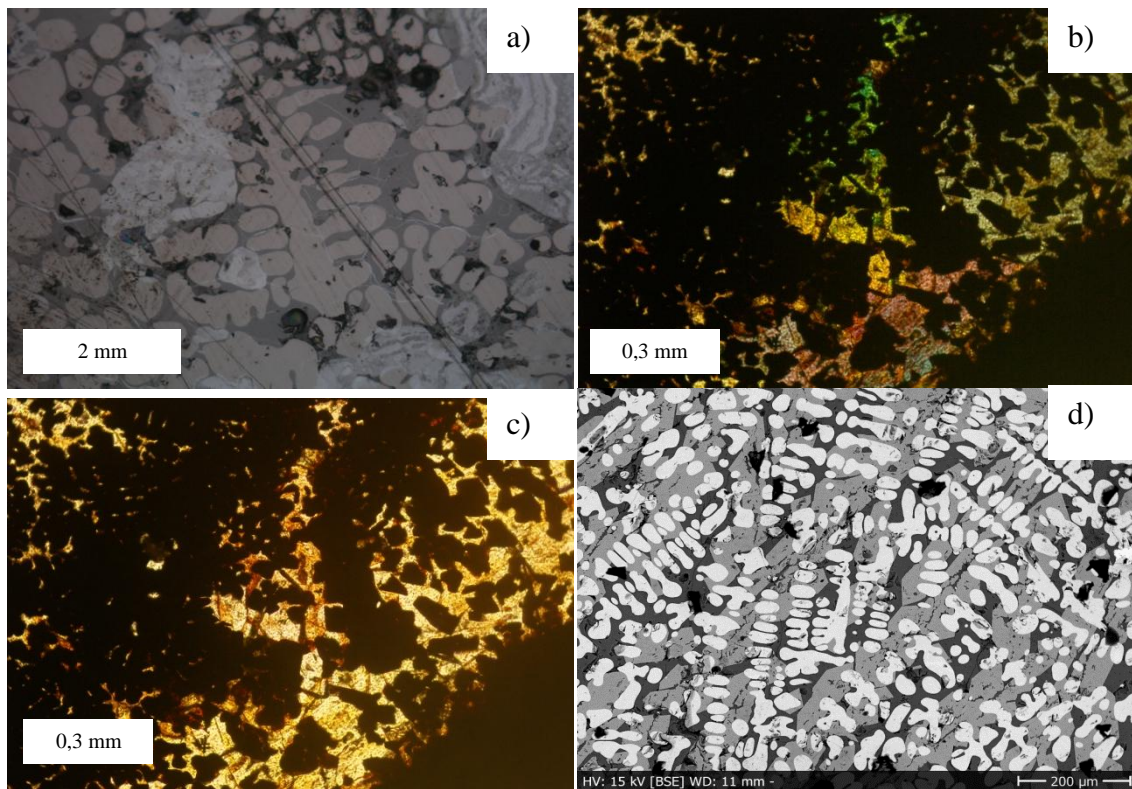
Ve výbrusu se nachází ve formě povlaků limonit, který má někdy zonální stavbu. V odraženém světle má šedou barvu a je rovněž viditelná zonální stavba, odraznost jednotlivých zón se liší v různých odstínech šedé barvy (obr. 21 a). V procházejícím světle ve výbrusu je limonit hnědooranžový a v XPL také.

Sklo zaujímá 2,8 % plochy výbrusu a vyplňuje prostor mezi ostatními minerálními fázemi. Sklo má ve výbrusu v PPL světle hnědou až hnědou barvu, v XPL je tmavě hnědé. EDX analýzy prokázaly obsahy  $\text{SiO}_2$  (od 34,02 do 34,16 hm. %),  $\text{CaO}$  (od 13,38 do 13,55 hm. %),  $\text{FeO}$  (od 24,04 do 24,31 hm. %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (od 15,96 do 16,29 hm. %), dále  $\text{Na}_2\text{O}$  (od 0,52 do 0,55 hm. %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (od 4,05 do 4,12 hm. %) a  $\text{K}_2\text{O}$  (od 5,98 do 5,99 hm. %). Analýza skel je uvedena v tabulce č. 5.

Minerální fází v největším zastoupení je zde wüstit, procentuálně zaujímá 88,86 %. Wüstity mají tvar dendritů (obr. 21 a) a vyskytují se vrstlé v zrnech olivínů (obr. 21 b). Dle analýzy jednoho zrna bylo zjištěno, že se jedná o zcela čistý wüstit (tab. 7).

Olivín je zde zastoupen v menším množství, zaujímá 5,58 % plochy výbrusu. Nachází se zde ve formě zrn majících nepravidelný tvar s xenomorfním omezením, někdy tvoří i dlouze sloupcovité krystaly, které jsou v PPL bezbarvé, nebo nažloutlé a bez pleochroismu (obr. 21 c). Z analýz olivínů bylo zjištěno, že se jedná o fayality (96-97 mol. %) s menšími podíly forsteritové (1-1,5 mol. %) a dikalciumsilikátové (1,8-2,4 mol. %) složky, výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Póry se zde zaujímají 2,07 % plochy výbrusu a mají velikost okolo 0,4 mm. Póry jsou zde okrouhlého, nebo nepravidelného tvaru. Výplň při okrajích pórů tvoří limonit.



Obr. 21 Vzorek B-01B: a) dendrity wüstitu, tmavošedé sklo, limonit (odražené světlo); b) zrna olivínů s interferenčními barvami II. řádu, opakní wüstity (XPL); c) zrna olivínů a opakní wüstity (PPL); d) bíložedé dendrity wüstitů, světle šedé olivíny a tmavě šedé sklo (obraz BSE, foto: J. Kapusta)

Tab. 7 EDX analýzy wüstitů ze vzorku Ž-03A a B-01B (hm. %), přepočítáno na 1 atom kyslíku, analýza limonitu (bod č. 9, hm. %), přepočteno na 3 atomy kyslíku

Vzorek	Ž-03A	B-01B	Ž-03A
Fáze	wüstit		limonit
Analýza	Bod č. 2	Bod č. 28	Bod č. 9
SiO <sub>2</sub>	0,18	0,70	0,38
TiO <sub>2</sub>	0,31	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	59,94
FeO	96,51	99,86	-
Suma	97,11	100,55	60,31
<b>Apfu</b>			
Si <sup>4+</sup>	0,002	0,010	0,017
Ti <sup>4+</sup>	0,003	-	-
Al <sup>3+</sup>	0,002	-	-
Fe <sup>3+</sup>	-	-	1,978
Fe <sup>2+</sup>	0,987	0,985	-
Catsum	0,994	0,995	1,994

Tab. 8 EDX analýzy olivínu ze vzorků B-01B a Ž-03A (hm. %), přepočítáno na 4 atomy kyslíku

Vzorek	B-01B			Ž-03A		
Fáze	olivín					
Analýza	Bod č. 29	Bod č. 30	Bod č. 31	Bod č. 1	Bod č. 8	Bod č. 13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	0,14	-	-
SiO <sub>2</sub>	28,74	28,65	28,56	27,99	27,98	28,45
MgO	0,53	0,60	0,44	0,72	0,42	0,44
CaO	1,30	1,05	1,31	0,49	0,68	0,40
FeO	68,95	69,61	68,26	68,16	67,89	68,86
Suma	99,53	99,92	98,57	97,50	96,97	98,14
<b>Apfu</b>						
P <sup>5+</sup>	-	-	-	0,004	-	-
Si <sup>4+</sup>	0,980	0,975	0,983	0,975	0,981	0,985
Mg <sup>2+</sup>	0,027	0,031	0,023	0,037	0,022	0,023
Ca <sup>2+</sup>	0,047	0,038	0,048	0,018	0,025	0,015
Fe <sup>2+</sup>	1,996	1,981	1,964	1,985	1,991	1,993
Catsum	3,020	3,025	3,018	3,019	3,019	3,016

### 7.2.3.3 Vzorek Ž-03A

Vzorek tvoří olivíny, sklo, leucit, kovové železo a wüstit. Z tohoto vzorku byla, vzhledem k velkému množství kovového železa, vyrobena tableta určená k pozorování v odraženém světle.

Wüstit se ve výbrusu vyskytuje v podobě dendritických útvarů, nebo ve formě odmíšenin v leucitech (obr. 22 a, d). Jedná se o téměř čisté wüstity s příměsí SiO<sub>2</sub> (0,18 hm. %), TiO<sub>2</sub> (0,31 hm. %) a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,11 hm. %), EDX analýza je uvedena v tabulce č. 7.

Limonit má v odraženém světle fluidální texturu a má zonální strukturu, zóny se liší odstíny šedé (obr. 22 c). Limonit lze vidět tam, kde se nachází vměstky strusky v ryzím kovu. EDX analýza prokázala příměs SiO<sub>2</sub> (0,38 až 0,73 hm. %) a je uvedena tabulce č. 7.

Olivíny se zde nachází ve formě tenkých lišt o šířce 0,03 až 0,3 mm (obr. 21 b). Lišty olivínů jsou zde zarostlé ve skle. Dle mikrosondové analýzy bylo zjištěno, že se jedná o téměř



čisté fayality (cca 98 mol. %) s podíly dikalciumsilikátové (1 mol. %) a forsteritové (1-1,8 mol. %) složky, výsledky EDX analýz jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Sklo vyplňuje prostor mezi dalšími fázemi a v odraženém světle má tmavší šedou barvu než olivíny. EDX analýza prokázala zvýšené obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18 mol. %),  $\text{SiO}_2$  (31 mol. %),  $\text{CaO}$  (13 mol. %) a  $\text{FeO}$  (24 mol. %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (6 hm. %),  $\text{K}_2\text{O}$  (1,8 hm. %). U analýzy č. 12 se složení poněkud liší  $\text{SiO}_2$  (56,17 hmot. %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14,44 hmot. %),  $\text{CaO}$  (4,78 hmot. %) a  $\text{FeO}$  (13,10 hmot. %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,84 hm. %),  $\text{K}_2\text{O}$  (5,71 hm. %). Obsahy  $\text{TiO}_2$  jsou cca 1 mol. %. Vyšší jsou také obsahy síry, u analýzy č. 6 dosahuje obsah  $\text{SO}_3$  7,27 hm. %, u analýzy č. 7 je obsah  $\text{SO}_3$  2,32 hm. % a u analýzy č. 12 již není  $\text{SO}_3$  obsažen. Všechny výsledky jsou zobrazeny v tabulce č. 9.

Další minerální fázi zjištěnou dle mikrosondové analýzy je spinelid. Dle výsledků z EDX analýzy ( tab. 10) bylo zjištěno, že se jedná o magnetit (65,38 mol. %  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Nejtmavší minerální fázi (v odraženém světle) je leucit. Obsahuje bílošedé odmíšeniny wüstitu (obr. 22 d) a dle EDX analýz se jedná o téměř čisté leucity se zvýšenými obsahy Fe (obvykle okolo 1 hm. %), avšak u bodu č. 10 je obsah Fe velmi vysoký (21,4 hmot. %), pravděpodobně bylo během analýzy zachyceno i zrno wüstitu. Výsledky analýz jsou v tabulce č. 11.

Velkou část vzorku tvoří kovové železo. v odraženém světle má jasně bílou barvu a obsahuje vměstky strusky. EDX analýza prokázala obsah Fe 97,37 hm. % bez příměsí.

Tab. 9 EDX analýzy skel ze vzorku Ž-03A (hm. %)

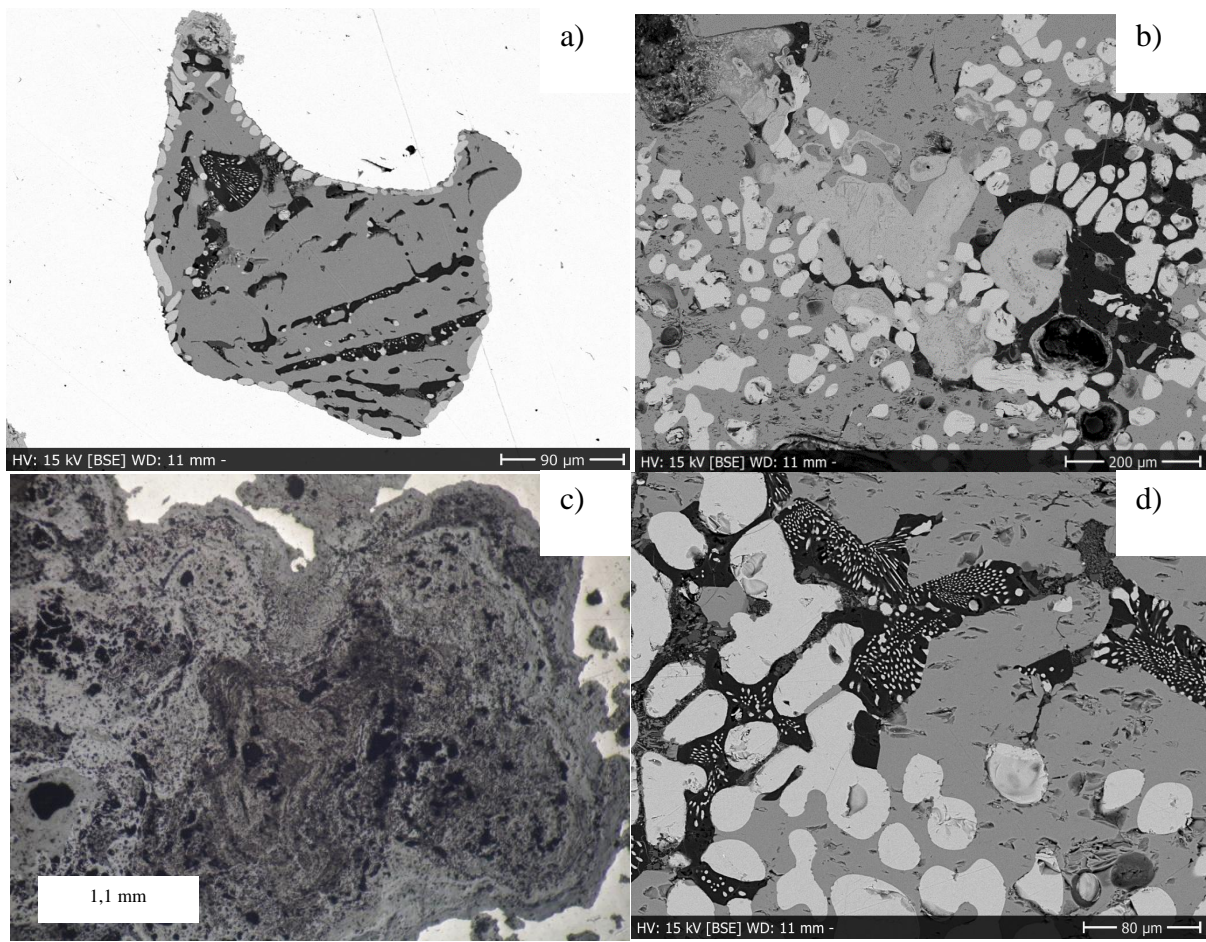
<b>Vzorek</b>	<b>Ž-03A</b>		
<b>Fáze</b>	<b>sklo</b>		
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 6</b>	<b>Bod č. 7</b>	<b>Bod č. 12</b>
SO <sub>3</sub>	7,45	2,38	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,81	6,64	0,84
SiO <sub>2</sub>	29,07	32,24	56,17
TiO <sub>2</sub>	0,67	0,43	0,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,58	18,38	14,44
CaO	12,25	13,79	4,78
FeO	26,64	18,84	13,10
Na <sub>2</sub> O	6,64	7,63	1,19
K <sub>2</sub> O	1,57	1,90	5,71
Suma	106,67	102,21	97,02

Tab. 10 EDX analýza spinelidu ze vzorku Ž-03A (hm. %), přepočteno na 4 atomy kyslíku, FeOtot = celkové železo z EDX analýzy, které bylo rozpočteno na dvojmocné a trojmocné tak, aby suma kationtů ve vzorci spinelidu odpovídala 3 apfu

<b>Vzorek</b>	<b>Ž-03A</b>
<b>Fáze</b>	<b>spinelid</b>
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 3</b>
SiO <sub>2</sub>	0,73
FeO	31,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65,45
Suma	97,36
FeOtot	90,08
<b>Apfu</b>	
Si <sup>4+</sup>	0,029
Fe <sup>2+</sup>	1,029
Fe <sup>3+</sup>	1,943
Catsum	3,000

Tab. 11 EDX analýza leucitů ze vzorků Ž-03A a B-01A (hm. %), leucity přepočteny na 6 atomů kyslíku

<b>Vzorek</b>	<b>Ž-03A</b>			<b>B-01A</b>
<b>Fáze</b>	<b>leucit</b>			
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 4</b>	<b>Bod č. 10</b>	<b>Bod č. 11</b>	<b>Bod č. 14</b>
SiO <sub>2</sub>	57,04	43,88	56,72	52,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,04	18,39	23,96	25,11
FeO	1,15	21,15	1,45	-
BaO	-	-	-	4,65
Na <sub>2</sub> O	0,62	0,30	0,45	0,73
K <sub>2</sub> O	14,58	11,93	15,00	15,85
Suma	97,43	95,65	97,58	99,06
<b>Apfu</b>				
Si <sup>4+</sup>	2,021	1,786	2,014	1,947
Al <sup>3+</sup>	1,004	0,882	1,003	1,093
Fe <sup>2+</sup>	0,034	0,720	0,043	-
Ba <sup>2+</sup>	-	-	-	0,067
Na <sup>+</sup>	0,043	0,023	0,031	0,052
K <sup>+</sup>	0,794	0,746	0,818	0,747
Catsum	3,896	4,157	3,909	3,906



Obr. 22 Vzorek Ž-03A: a) vměstek strusky v kovovém železe tvořený lištami olivínů, leucitem a odmíšeninami wüstitu v leucitu (foto BSE, J. Kapusta); b) globulární útvary wüstitu bílošedé barvy, homogenní olivíny šedé barvy, nejtmavší leucit s odmíšeninami wüstitu (foto BSE, J. Kapusta); c) tmavě šedý limonit zatlačující ryzí železo (odražené světlo); d) tmavý leucit s odmíšeninami wüstitu, velké globulární útvary wüstitů a homogenní světle šedé fayality (foto BSE, J. Kapusta)

#### 7.2.3.4 Vzorek B-01A

Strusku tvoří tyto minerální fáze: melilit, barnatý živec, leucit, olivín, pyrhotin, pyroxen, spinelidy, kalcit, pevný roztok periklasu a wüstitu, merwinit a C-S-H fáze.

Minerální fázi určenou až dle mikrosondové analýzy je leucit. V odraženém světle má tmavě šedou barvu. Ve vzorku tvoří nepravidelná zrna s xenomorfním omezením, zrna leucitu se nachází v obklopení olivínů. Jedná se o leucit se zvýšeným obsahem BaO (4,65 hm. %) a Na<sub>2</sub>O (0,73 hm. %). EDX analýza zrna leucitu je uvedena v tabulce č. 11.

Pyrhotin ve vzorku tvří nepravidelná, xenomorfně omezená zrna. V obrazu BSE má bílou barvu. Pyrhotin byl identifikován také pomocí EDX analýzy a její výsledek je uveden v tabulce č. 12 a jedná se o pyrhotin s malou příměsí Cu (0,91 hm. %). Pyrhotin se zde nachází v asociaci s olivíny a leucity.

Jako další fáze byla určena C-S-H fáze, která má v obrazu BSE šedou barvu (obr. 24 a). Fáze C-S-H se vyskytuje jako mezerní hmota mezi zrny kalcitu. Chemické složení se u dvou analyzovaných míst značně liší. Velmi rozkolísané jsou obsahy SiO<sub>2</sub> (13,2 a 68 hm. %) a i obsah CaO je zde také velmi variabilní (10,5 a 46,8 hm. %). U analýzy č. 2 byla zjištěna menší příměs SO<sub>3</sub> 1,7 hm. %. U analýzy č. 4 byla zjištěna příměs MgO 1,2 hm. % a FeO 2,8 hm. %. EDX analýzy této fáze jsou uvedeny v tabulce č. 13. Nízká suma poukazuje na obsah vody, která nebyla touto metodou stanovena.

Melilit tvoří krátké sloupečky hypautomorfně až xenomorfně omezené, v PPL jsou bezbarvé a bez pleochroismu, v XPL má šedou barvu interferenční barvu I. řádu. Uzavírá v sobě opakní fáze. V obraze BSE má světle šedou barvu (obr. 23 a, 24 b). Jedná se o melilit s obsahem akermanitové (52,6 mol. %), ferroakermanitové (18,5 mol. %) a gehlenitové (28,9 mol. %) složky. V případě analýzy č. 9 a 10 se jedná o melilit s obsahem gehlenitové (89-91 mol. %), ferroakermanitové (7-9 mol. %) a akermanitové (2 mol. %) složky. V tabulce č. 14 jsou uvedeny EDX analýzy melilitu.

Jako další minerální fáze určenou pomocí mikrosondy je merwinit. V obrazu BSE má tmavší šedou barvu (obr. 24 b). Ve vzorku se vyskytují nepravidelná, xenomorfně omezená zrna uzavřená v další fázi, pevném roztoku periklasu a wüstitu. Jedná se o merwinit s malou příměsí FeO (3 hm. %). EDX analýza merwinitu je uvedena v tabulce č. 14.

Další minerální fázi ve strusce jsou olivíny. Tvoří ve vzorku nepravidelná zrna. V PPL jsou bezbarvá a bez pleochroismu. Poměrně dobře lze v obrazu BSE pozorovat i inverzní



zonálnost, okraje jsou světlejší šedé barvy jak středy olivínů, které jsou tmavší. Podle EDX analýz bylo zjištěno, že se jedná o různé olivíny. V případě analýz č. 4, 5, a 6 se jedná o kirschteinit (41-43 mol. %) s různými podíly fayalitové (24-39 mol. %) a forsteritové (19-34 mol. %) a tefroitové (1 mol. %) složky. V případě analýzy č. 15 se jedná o kirschteinit (74 mol. %) s podílem forsteritové (23 mol. %) a fayalitové (3 mol. %) složky. V případě analýzy č. 18 se jedná o forsterit s podílem fayalitové složky 26 mol. % a v případě analýzy č. 18 už se jedná o fayalit (48 mol. %) s podílem dikalciumsilikátové složky 36 mol. %. Všechny výsledky EDX analýz jsou zobrazeny v tabulce č. 14.

Jako další fáze byly pomocí EDX analýzy určeny pyroxeny. Nacházejí se uzavřené v zrnech spinelidu, ale i jako samostatná zrna s xenomorfním až automorfním omezením ve formě nepravidelných zrn, ale i sloupcovitých krystalů. V PPL jsou slabě nažloutlá, bez pleochroismu. V XPL mají pyroxeny žluté a šedé interferenční barvy I. řádu. EDX analýzy jsou uvedeny v tabulce č. 14. Po vynesení do diagramu bylo zjištěno, že se jedná o Wo-rich pyroxeny (52,7-52,9 mol. % Wo); (obr. 25), s podílem enstatitové (24,5-27,8 mol. %) a ferrosilitové (19,4-22,8 mol. %) složky.

Podle EDX analýz byly ve vzorku určeny barnaté živce. Jedná se o celsiány s obsahem Cn komponenty mezi 84 a 96 mol. %. V obrazu BSE mají bílošedou barvu a jedná se o xenomorfně omezená, nepravidelná zrna, někdy jsou zde živce v podobě lištovitých zrn (obr. 23 a). Jejich reprezentativní analýzy jsou uvedeny v tabulce č. 15.

Jako další minerální fáze byl identifikován pomocí mikrosondy kalcit. Ve vzorku tvoří nepravidelná, xenomorfně omezená zrna. Kalcit ve vzorku spolu s C-S-H fází vyplňuje dutiny. V obrazu BSE má kalcit tmavě šedou barvu (obr. 24 a). Jedná se o kalcit s menšími příměsemi SiO<sub>2</sub> (1,62 hm. %) a SO<sub>3</sub> (1,28 hm. %). EDX analýza kalcitu je uvedena v tabulce č. 15.

Další minerální fází učenou pomocí mikrosondové analýzy je pevný roztok periklasu a wüstitu. Tato fáze tvoří xenomorfně omezená, nepravidelná zrna. Některá zrna v sobě uzavírají inkluze merwinitu. V obrazu BSE má světlejší šedou barvu (obr. 24 b). Obsah periklasu se pohybuje mezi 49,9 a 61,6 mol. %, wüstitu mezi 37,7 a 49,2 mol. %, obsah manganositové složky se pohybuje mezi 0,7 a 1 mol. %. Dále byla zjištěna menší příměs CaO (0,5 hm. %). Analýzy pevného roztoku periklasu a wüstitu jsou uvedeny v tabulce č. 16.

Další minerální fázi jsou pak spinelidy, které jsou v procházejícím světle opakní. Nacházejí se zde zarostlá v zrnech olivínů a melilitu, jsou automorfně omezená. Chemismus spinelidů je velmi variabilní. V obrazu BSE jeví zonální stavbu v různých odstínech šedé (obr. 23 b), chemismus jednotlivých zón se liší. Ve středech zrn spinelidů převládá spíše spinelová složka, naproti tomu v okrajích převládá hercynitová složka. U EDX analýz č. 7, 8, 10, 11, 12, 14, 19, 21, 22, 23 a 24 se jedná o spinely (38-72,9 mol. %) s podíly hercynitové (5,8-34,7 mol. %), magnetitové (4,2-38,4 mol. %), galaxitové (0,5-0,6 mol. %) a ulvöspinelové (0,2-0,6 mol. %) složky. U EDX analýzy č. 9 se jedná o magnetit (46,7 mol. %) s podílem hercynitové (39,3 mol. %), spinelové (9,4 mol. %) galaxitové (0,6 mol. %) a ulvöspinelové (4,0 mol. %) složky. U EDX analýz č. 13, 16, 20 a 26 se jedná o hercynity (46,6-50,7 mol. %) s podílem spinelové (1,4-23,2 mol. %), magnetitové (27,3-37,9 mol. %), galaxitové (0,7 mol. %) a ulvöspinelové (1,5-10,3 mol. %) složky. Výsledky EDX analýz jsou uvedeny v tabulkách č. 17 a 18.

Ve výbrusu je přítomno i sklo. V XPL je tmavě hnědé, v PPL pak světle hnědé.

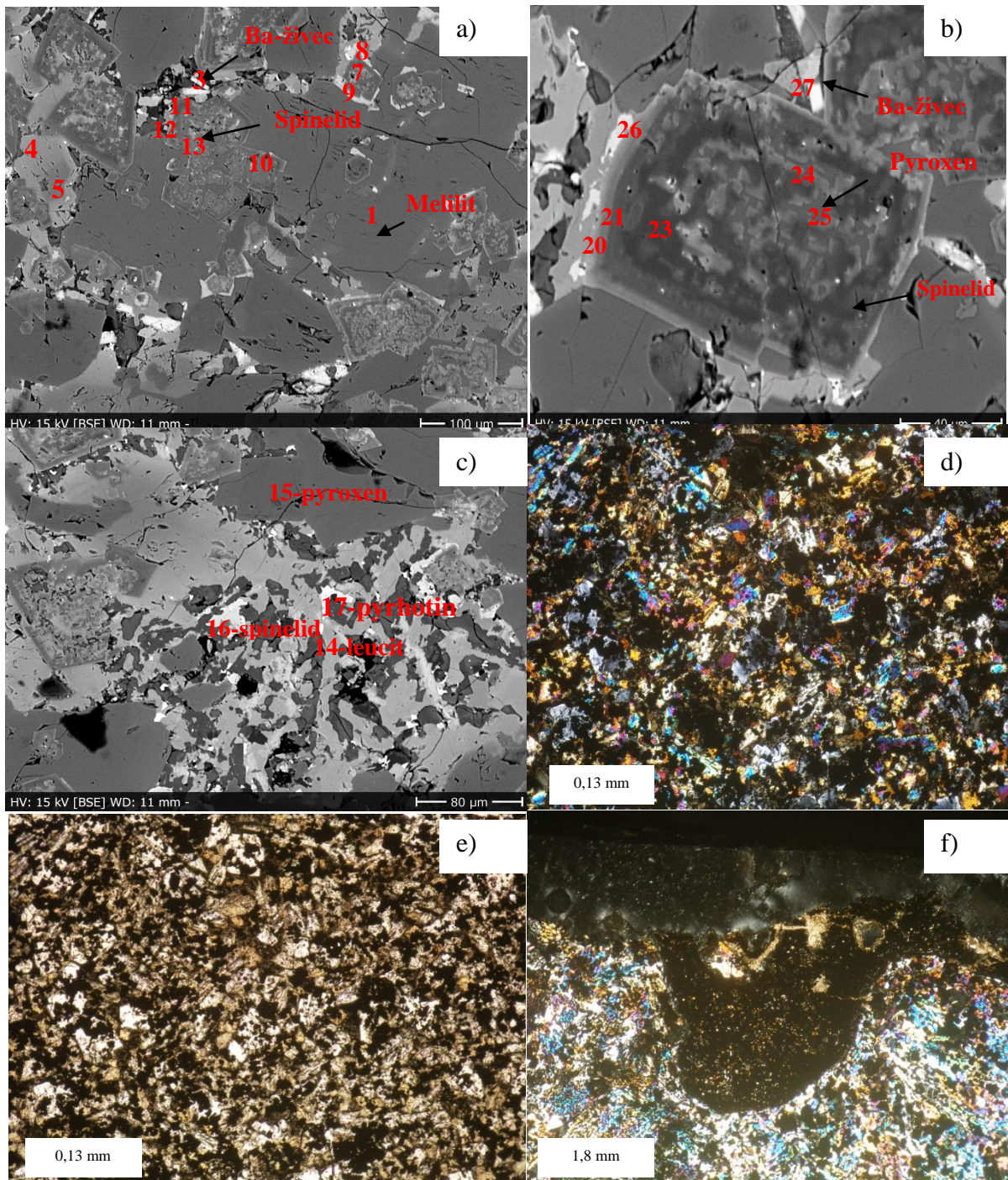
Ve vzorku se také nachází zapečené úlomky koksu, které se vyskytují při okraji výbrusu (obr. 23 f). V XPL i PPL jsou úlomky tmavě hnědé barvy s malými, četnými póry.

Tab. 12 EDX analýza pyrhotinu ze vzorku B-01A (hm. %), přepočteno na 1 atom síry

<b>Vzorek</b>	<b>B-01A</b>
<b>Fáze</b>	<b>Pyrhotin</b>
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 17</b>
Fe	58,82
Cu	0,91
S	33,13
Suma	92,86
<b>Apfu</b>	
Fe	1,019
Cu	0,014
S	1,000
Catsum	2,033

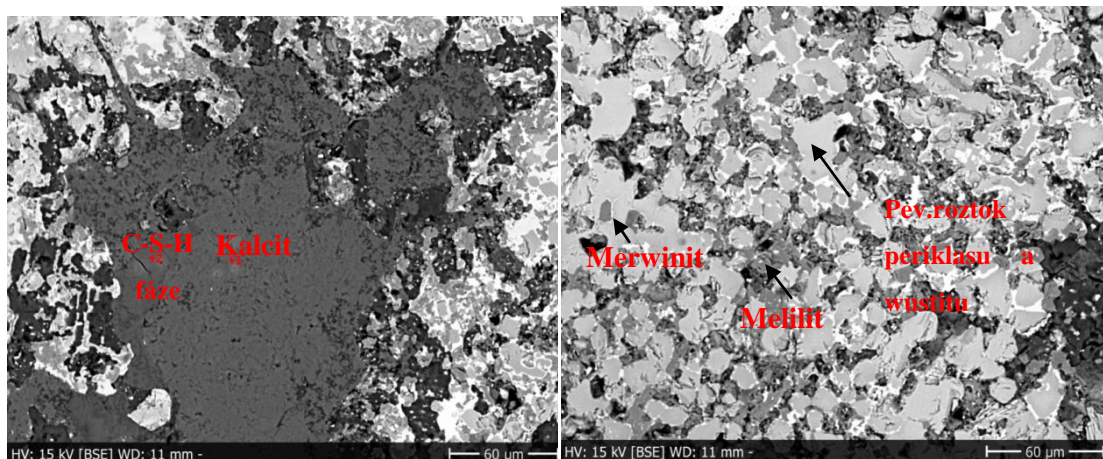
Tab. 13 EDX analýza C-S-H fáze (hm.%), přepočteno na 2 atomy kyslíku

<b>Vzorek</b>	<b>B-01A</b>	
<b>Fáze</b>	<b>C-S-H</b>	
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 2</b>	<b>Bod č. 4</b>
SO <sub>3</sub>	1,71	-
SiO <sub>2</sub>	13,17	68,02
MgO	-	1,17
CaO	46,84	10,49
FeO	-	2,83
Sum	61,72	82,51
<b>Apfu</b>		
S <sup>6+</sup>	0,330	-
Si <sup>4+</sup>	0,032	0,907
Mg <sup>2+</sup>	-	0,023
Ca <sup>2+</sup>	1,243	0,148
Fe <sup>2+</sup>	-	0,014
Catsum	1,605	1,093



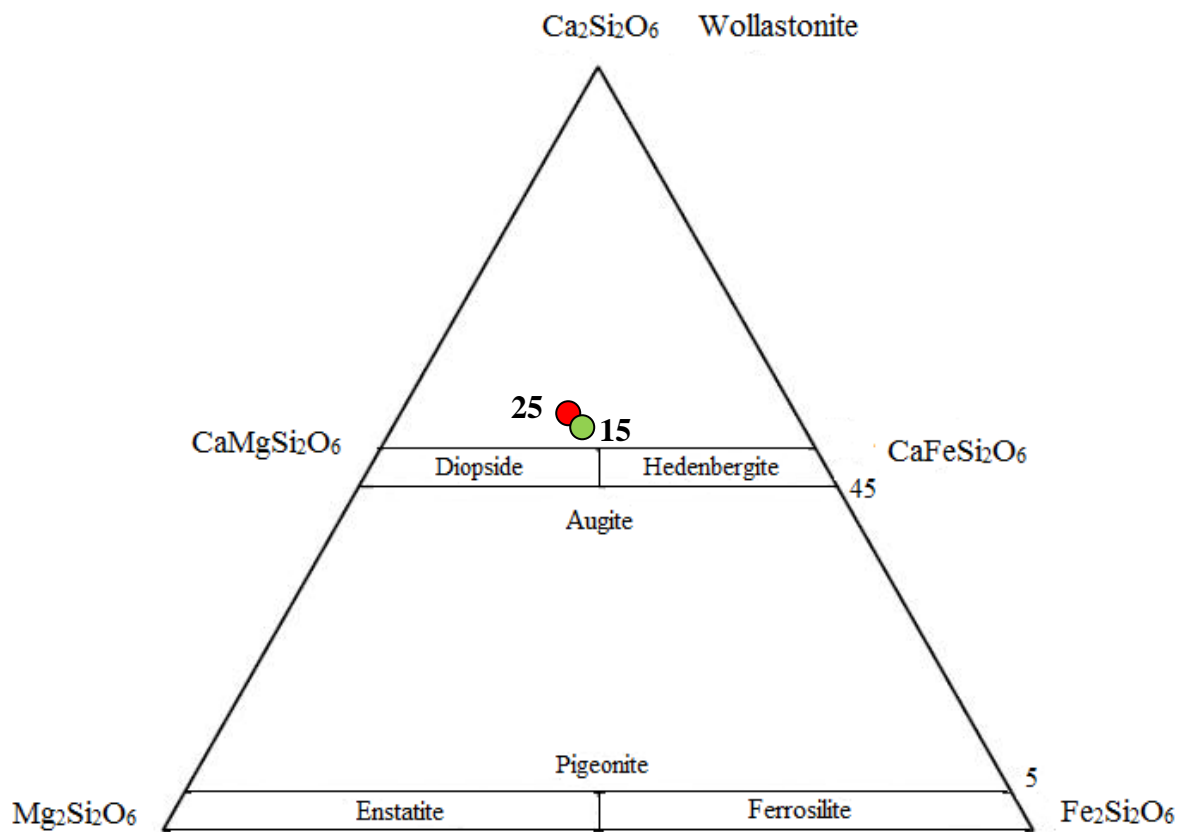
Obr. 23 Vzorek B-01A: a) automorfně omezené krystaly spinelidů, světle šedý zonální olivín, tmavěji šedý homogenní melilit, lištovité a krvstalky a nepravidelná zrna Ba-živce (obraz BSE, foto: J. Kapusta); b) zonální zrna spinelidů s tmavějším pyroxenem, lištovitý krystal Ba-živce (obraz BSE, foto: J. Kapusta); c) tmavě šedá zrna pyroxenu, o odstín tmavší zrna leucitů, bílé xenomorfní zrna pyrrhotinu a světle šedý zonální olivín (obraz BSE, foto: J. Kapusta); d) zrna olivínů s vysokými interferenčními barvami, světle a tmavě šedá zrna melilitů, žlutá zrna pyroxenů, opakní spinelidy (XPL); e) opakní spinelidy, bezbarvé a nažloutlé olivíny, bezbarvé pyroxeny a melilit (PPL); f) olivíny, opakní spinelidy a zapečený úlomek koxu při okraji výbrusu (XPL)





Obr. 24 Vzorek B-01A: a) tmavě šedý kalcit, světleji šedá C-S-H fáze (obraz BSE, foto: J. Kapusta), b) světle šedý pevný roztok periklasu a wüstitu, bílý wüstit, tmavě šedý homogenní melilit a šedý merwinit (obraz BSE, foto: J. Kapusta)





Obr. 25 Klasifikační diagram pro pyroxeny (Morimoto et al. 1989), červenou tečkou je vyznačen bod č. 25, zelenou tečkou je vyznačen bod č. 15 (tab. 14)

Tab. 14 EDX analýzy olivínů (hm. %), přepočteno na 4 atomy kyslíku, melilitu (hm. %), přepočteno na 7 atomů kyslíku, merwinitu (hm. %), přepočteno na 8 atomů kyslíku a pyroxenů (hm. %), přepočteno na 6 atomů kyslíku,  $\text{FeO}_{\text{tot}}$  = celkové železo z EDX analýzy, které bylo rozpočteno na dvojmocné a trojmocné tak, aby suma kationtů ve vzorci pyroxenu odpovídala 4 apfu

Vzorek	B-01A											
Fáze	olivín						melilit			pyroxen		merwinit
Analýza	Bod č. 4	Bod č. 5	Bod č. 6	Bod č. 8	Bod č. 15	Bod č. 18	Bod č. 1	Bod č. 9	Bod č. 10	Bod č. 25	Bod č. 15	Bod č. 6
SiO <sub>2</sub>	33,21	34,36	34,90	27,53	34,50	36,74	40,85	19,77	16,19	41,62	43,63	35,21
SO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	0,45	-	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	0,90	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	4,62	-	-	5,79	34,36	36,49	12,12	9,27	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,02	5,60	-
MgO	8,19	14,48	16,01	5,90	10,72	33,27	8,33	0,57	0,61	8,87	7,98	11,08
CaO	25,74	28,23	27,40	20,86	49,76	4,53	38,06	39,66	38,35	23,50	23,86	50,22
MnO	1,37	0,75	0,72	1,27	-	0,80	-	-	-	-	-	-
FeO	31,09	20,19	19,88	35,16	-	23,59	5,23	3,67	5,51	4,71	8,17	3,06
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	1,01	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-
Suma	99,59	98,01	98,90	95,80	97,77	98,93	99,50	98,48	97,15	98,10	98,85	99,57
FeO <sub>tot</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,03	13,21	-
<b>Apfu</b>												
Si <sup>4+</sup>	0,999	0,998	0,998	0,882	0,985	0,991	1,898	0,941	0,793	1,597	1,682	1,975
S <sup>4+</sup>	-	-	-	-	-	-	-	0,020	-	-	-	-
Ti <sup>4+</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,028	0,026	-
Al <sup>3+</sup>	-	-	-	0,175	-	-	0,317	1,928	2,106	0,548	0,421	-
Fe <sup>3+</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,203	0,162	-
Mg <sup>2+</sup>	0,367	0,627	0,682	0,282	0,460	1,338	0,577	0,041	0,045	0,507	0,459	0,927
Ca <sup>2+</sup>	0,819	0,868	0,829	0,707	1,503	0,129	1,895	1,998	1,986	0,966	0,986	2,980
Mn <sup>2+</sup>	0,035	0,019	0,018	0,034	-	0,018	-	-	-	-	-	-
Fe <sup>2+</sup>	0,782	0,490	0,475	0,942	0,067	0,533	0,203	0,146	0,226	0,151	0,264	0,144
Na <sup>+</sup>	-	-	-	0,019	-	-	0,091	-	-	-	-	-
K <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	-	0,014	-	-	-	-	-
Catsum	3,001	3,002	3,002	3,040	3,015	3,009	4,996	5,074	5,110	4,000	4,000	6,025

Tab. 15 EDX analýzy Ba-živců (hm. %), přepočteno na 8 atomů kyslíku, kalcitu (hm. %), přepočteno na 3 atomy kyslíku, obsah CO<sub>2</sub> byl dopočten

<b>Vzorek</b>	<b>B-01A</b>			
<b>Fáze</b>	<b>Ba-živce</b>			<b>Kalcit</b>
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 2</b>	<b>Bod č. 3</b>	<b>Bod č. 27</b>	<b>Bod č. 1</b>
SO <sub>3</sub>	-	-	-	1,28
SiO <sub>2</sub>	34,00	33,74	34,32	1,62
CO <sub>2</sub>	-	-	-	42,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,87	23,16	23,48	-
CaO	0,59	-	-	58,15
BaO	29,52	30,61	30,29	-
FeO	1,94	0,37	0,54	-
K <sub>2</sub> O	1,12	1,24	1,28	-
Suma	90,04	89,12	89,90	103,85
<b>Apfu</b>				
S <sup>6+</sup>	-	-	-	0,020
Si <sup>4+</sup>	2,212	2,221	2,227	0,021
C <sup>4+</sup>	-	-	-	0,950
Al <sup>3+</sup>	1,754	1,797	1,796	-
Ca <sup>2+</sup>	0,040	-	-	1,000
Ba <sup>2+</sup>	0,753	0,790	0,770	-
Fe <sup>2+</sup>	0,105	0,020	0,029	-
K <sup>+</sup>	0,093	0,104	0,106	-
Catsum	4,958	4,932	4,298	1,991

Tab. 16 EDX analýza pevného roztoku periklasu a wüstitu (hm. %), přepočteno na 1 atom kyslíku

<b>Vzorek</b>	<b>B-01A</b>				
<b>Fáze</b>	<b>Pevný roztok periklasu a wüstitu</b>				
<b>Analýza</b>	<b>Bod č. 3</b>	<b>Bod č. 5</b>	<b>Bod č. 7</b>	<b>Bod č. 13</b>	<b>Bod č. 14</b>
MgO	35,70	34,32	36,45	47,25	35,70
CaO	-	-	-	-	0,50
MnO	1,16	1,17	1,21	0,93	1,24
FeO	63,24	64,19	58,09	51,58	61,80
Suma	100,10	99,68	95,75	99,76	99,24
<b>Apfu</b>					
Mg <sup>2+</sup>	0,499	0,483	0,523	0,616	0,502
Ca <sup>2+</sup>	-	-	-	-	0,005
Mn <sup>2+</sup>	0,009	0,009	0,010	0,007	0,010
Fe <sup>2+</sup>	0,492	0,507	0,467	0,377	0,484
Catsum	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tab. 17 EDX analýzy spinelidů ze vzorku B-01A (hm. %), přepočítáno na 4 atomy kyslíků,  $\text{FeO}_{\text{tot}}$  = celkové železo z EDX analýzy, které bylo rozpočítáno na dvojmocné a trojmocné tak, aby suma ve vzorci spinelidu odpovídala 3 apfu, obsahy koncových členů v mol. %

Vzorek	B-01A								
Fáze	spinelid								
Analýza	Bod č. 7	Bod č. 8	Bod č. 9	Bod č. 10	Bod č. 11	Bod č. 12	Bod č. 13	Bod č. 14	Bod č. 16
SiO <sub>2</sub>	-	-	0,29	0,24	0,34	-	0,34	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	3,47	0,11	0,12	-	1,35	-	9,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,04	44,50	19,30	46,80	56,08	41,53	43,29	60,93	14,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,52	27,87	40,90	21,85	11,34	29,87	19,01	8,03	33,28
MgO	15,49	20,04	4,16	16,23	16,71	19,40	7,89	21,21	0,69
MnO	0,31	0,42	0,49	0,35	0,27	-	-	-	-
FeO	15,67	7,75	31,02	14,29	15,59	8,08	28,23	8,74	40,82
Suma	100,03	100,58	99,64	99,87	100,45	98,79	100,11	98,91	98,52
FeO <sub>tot</sub>	32,33	32,83	67,82	33,95	25,79	34,88	45,34	15,97	70,77
<b>Apfu</b>									
Si <sup>4+</sup>	-	-	0,010	0,007	0,009	-	0,010	-	-
Ti <sup>4+</sup>	-	-	0,088	0,002	0,002	-	0,030	-	0,254
Al <sup>3+</sup>	1,618	1,429	0,767	1,527	1,751	1,370	1,500	1,842	0,599
Fe <sup>3+</sup>	0,382	0,571	1,038	0,455	0,226	0,627	0,421	0,155	0,893
Mg <sup>2+</sup>	0,633	0,814	0,209	0,670	0,660	0,815	0,346	0,817	0,037
Mn <sup>2+</sup>	0,007	0,010	0,014	0,008	0,006	-	-	-	-
Fe <sup>2+</sup>	0,359	0,177	0,874	0,331	0,345	0,189	0,694	0,187	1,217
Catsum	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,001	3,000	3,000	3,000
Spinel	45,8	51,8	9,4	45,7	53,2	50,0	23,2	70,5	1,5
Hercynit	26,0	11,2	39,3	22,6	27,8	11,6	46,6	16,2	50,7
Magnetit	27,7	36,4	46,7	31,0	18,2	38,4	28,2	13,4	37,2
Galaxit	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-
Ulvöspinel	-	-	4,0	0,2	0,2	-	2,0	-	10,6



Tab. 18 EDX analýzy spinelidů (hm. %), přepočítáno na 4 atomy kyslíků, FeO<sub>tot</sub> = celkové železo z EDX analýzy rozpočítáno na dvojmocné a trojmocné tak, aby suma ve vzorci spinelidu odpovídala 3 apfu, obsahy koncových členů v mol. %

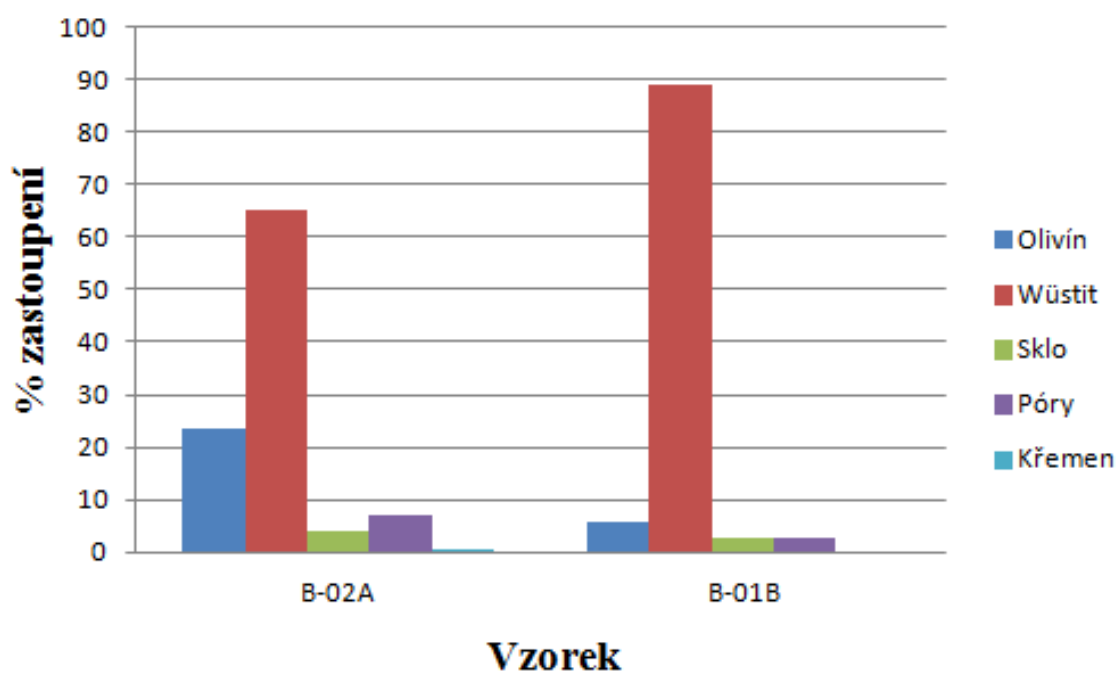
Vzorek	B-01A						
Fáze	spinelid						
Analýza	Bod č. 19	Bod č. 20	Bod č. 21	Bod č. 22	Bod č. 23	Bod č. 24	Bod č. 26
TiO <sub>2</sub>	-	0,95	0,49	0,44	0,14	0,37	9,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	64,68	45,17	48,57	57,27	58,01	50,77	14,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,26	17,69	17,41	9,82	14,18	16,50	33,92
MgO	17,91	6,82	12,60	17,43	24,70	14,35	0,62
CaO	-	-	-	-	-	-	0,32
MnO	-	-	-	-	-	-	0,55
FeO	14,67	29,34	20,48	14,52	3,48	18,28	40,02
Suma	99,52	99,97	99,55	99,48	100,51	100,26	99,42
FeO <sub>tot</sub>	16,70	45,26	36,14	23,42	16,24	33,13	69,28
<b>Apfu</b>							
Ti <sup>4+</sup>	-	0,021	0,010	0,009	0,003	0,008	0,247
Al <sup>3+</sup>	1,956	1,566	1,611	1,786	1,725	1,644	0,600
Fe <sup>3+</sup>	0,044	0,392	0,369	0,197	0,269	0,341	0,905
Mg <sup>2+</sup>	0,685	0,299	0,529	0,687	0,929	0,588	0,033
Ca <sup>2+</sup>	-	-	-	-	-	-	0,012
Mn <sup>2+</sup>	-	-	-	-	-	-	0,016
Fe <sup>2+</sup>	0,315	0,722	0,529	0,321	0,073	0,420	1,187
Catsum	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Spinel	65,7	20,9	38,0	56,6	72,9	43,3	1,4
Hercynit	30,2	50,3	34,7	26,4	5,8	31,0	49,7
Magnetit	4,2	27,3	26,5	16,2	21,1	25,1	37,9
Galaxit	-	-	-	-	-	-	0,7
Ulvöspinel	-	1,5	0,7	0,7	0,2	0,6	10,3

## 7.2.4 Planimetrie

Ke stanovení zastoupení minerálních fází byla využita planimetrická metoda. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 19, graficky znázorněny jsou v obr. č. 30.

Tab. 19 Zastoupení jednotlivých fází ve vzorcích B-02A, B-01B

Vzorek	B-02A		B-01B	
Minerál	počet	%	počet	%
Olivín	1598	23,70	417	5,58
Wüstit	4386	65,00	6643	88,86
Sklo	278	4,12	209	2,80
Póry	478	7,08	207	2,77
Křemen	8	0,12	0	0
Celkem	6748	100,02	7476	100,01



Obr. 30 Grafické znázornění výsledků planimetrické analýzy

## 7.2.5 Celkový chemismus

Účelem chemické analýzy bylo zjistit celkové chemické složení studovaných artefaktů, v tomto případě vzorku z lokality B-01A (Tab. 20, 21).

Tab. 20 Celkový chemismus strusky z Bílan (B-01A).

Vzorek	B-01A
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17
SiO <sub>2</sub>	27,40
TiO <sub>2</sub>	0,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,18
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014
Fe <sub>2</sub> O <sub>3tot</sub>	24,44
MnO	0,57
MgO	10,17
CaO	19,66
Na <sub>2</sub> O	0,37
K <sub>2</sub> O	0,71
LOI	-1,4
TOT/C	0,09
TOT/S	0,30
<b>Celkem</b>	<b>99,51</b>

LOI-ztráta žiháním, TOT/C-celkový uhlík, TOT/S-celková síra

Struska B-01A obsahuje zejména SiO<sub>2</sub> (27,40 hm. %) a Fe<sub>2</sub>O<sub>3tot</sub> (24,44 hm. %). Dále je třeba zmínit také zvýšený obsah CaO (19,66 hm. %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16,18 hm. %) a MgO (10,17 hm. %) (tab. 20). Obsah síry je nízký (0,3 hm. %).

Tab. 21 Obsahy stopových prvků ve vzorku B-01A, hodnoty uvedeny v ppm, obsah zlata uveden v ppb

Vzorek	B-01A		
Prvek			
Ba	4930	Nd	58,1
Ni	175	Sm	12,31
Sc	21	Eu	3,04
Be	10	Gd	12,73
Co	60	Tb	2,06
Cs	2,6	Dy	12,38
Ga	7,5	Ho	2,47
Hf	4,4	Er	7,05
Nb	12,8	Tm	1,00
Rb	30	Yb	6,02
Sn	<1	Lu	0,88
Sr	1630	Mo	5,8
Ta	1	Cu	131
Th	25,1	Pb	4,3
U	14,7	Zn	6
V	187	Ni	72
W	3,7	As	1,5
Zr	165	Cd	<0,1
Y	70	Sb	0,1
La	60	Bi	<0,1
Ce	112	Ag	<0,1
Pr	14,58	Au	<0,5
Hg	<0,01	Tl	<0,1
Se	0,8		

Co se týká obsahů stopových prvků u strusky z Bílan (B-01A), velmi zajímavý je vysoký obsah Ba (4930 ppm) a také zvýšený obsah Sr (1630 ppm) (tab. 21).

## 8. Diskuse

### 8.1 Hustota, magnetická susceptibilita

Naměřené hodnoty hustoty vzorků strusek se pohybují od 2,83 do 6,31 g/cm<sup>3</sup> a průměrná hodnota je 4,01 g/cm<sup>3</sup>. Nejnižší hodnotu ze vzorků, které se podrobily bližšímu mikroskopickému zkoumání, má struska Ž-03A a to 3,81 g/cm<sup>3</sup>. Jedná se o strusku, kde není přítomnost wüstitů tak velká. Do kapamůstku byl vložen pravděpodobně úlomek strusky bez železa. Druhou nejnižší hodnotu má struska B-02A a to 3,88 g/cm<sup>3</sup>. Zřejmě vzhledem k nižšímu obsahu wüstitů v porovnání se struskami B-01A a B-01B, které mají hodnoty 4,82 a 6,31 g/cm<sup>3</sup>. Zde se je obsah wüstitů o něco vyšší a ve vzorku B-01B ovlivňuje vyšší hodnotu i obsah spinelidů. Průměrná hodnota z lokality Bílany B-01 je 4,8 g/cm<sup>3</sup>, podobnou průměrnou hodnotu hustoty naměřila u strusek z Komárna i Zmeškalová (2010) a také Křivánek (2015) u železářských strusek z lokality Modrá 2. Průměrná hodnota z lokality Bílany B-02 je 3,4 g/cm<sup>3</sup>, Žálkovic Ž-03 je průměrná hodnota 3,3 g/cm<sup>3</sup>, podobnou průměrnou hodnotu (3,5 g/cm<sup>3</sup>) naměřila u nehomogenních železářských strusek z Dřevohostic Zmeškalová (2010) a také Křivánek (2015) u železářských strusek z lokality Modrá 2 (3,3 g/cm<sup>3</sup>).

Naměřené hodnoty magnetické susceptibility vzorků strusek se pohybují od 0,35 do 16,90 x 10<sup>-3</sup> SI, průměrná hodnota je 4,30 x 10<sup>-3</sup> SI. Nejnižší hodnotu ze vzorků měla struska B-01A (0,42 x 10<sup>-3</sup> SI), z důvodu absence wüstitu a téměř úplné absence magnetitu, který byl identifikován pouze v jednom zrně. Vzorky B-02A a Ž-03A mají hodnoty o něco vyšší (9,28 a 16,90 x 10<sup>-3</sup> SI). Vyšší hodnoty mohou být odrazem vysokého obsahu wüstitu ve vzorku B-02A a u vzorku Ž-03A bude vysoká magnetická susceptibilita způsobena větším obsahem kovového železa, nebo by vyšší hodnota mohla být způsobena přítomností magnetitu v tomto vzorku.

### 8.2 Teplota tání

Teplota tání byla ověřována experimentálně v muflové peci. Obecně tavení železářských strusek probíhá při teplotě 1 100 až 1 400 °C (Pleiner 2000).

Vzorky B-01A, B-01B a B-02A se natavily již při teplotě 1 150 °C a zcela se roztavily při 1 200 °C, vzorek Ž-03A se natavil až při teplotě 1 200 °C, ale zcela se neroztavil. Vzorek Ž-03A, který se při nejvyšší dosažené teplotě v muflové peci zcela neroztavil, obsahuje velké množství kovového železa, viditelného již při makroskopickém pohledu při rozřezání vzorku,

kteře má bod tání při teplotě 1529-1532 °C (Pleiner 2000; Bachmann 1982) a pravděpodobně z tohoto důvodu nedošlo ke kompletnímu roztavení vzorku.

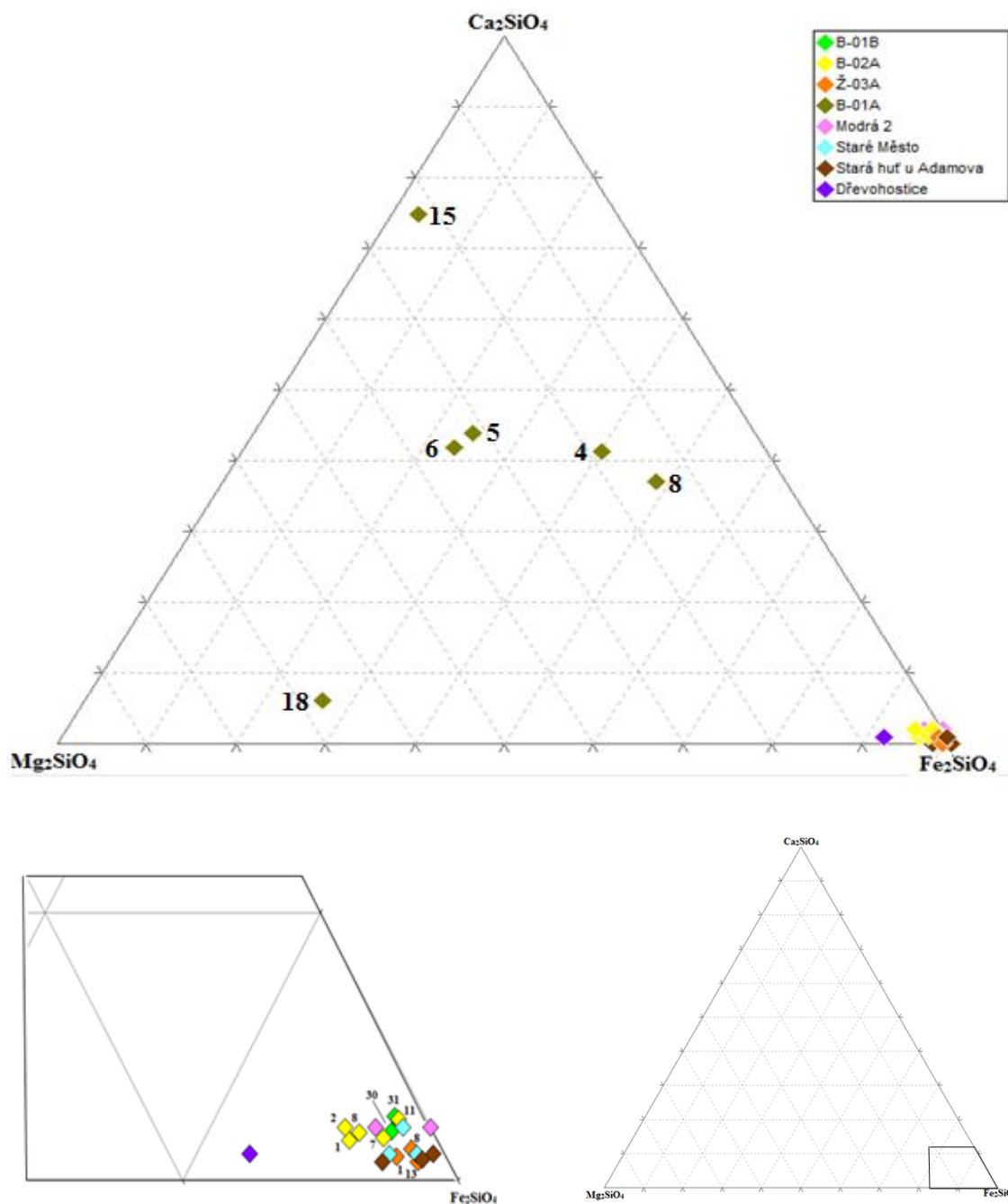
## **8.3 Fázové složení**

### **8.3.1 Vzorky B-01B, B-02A a Ž-03A**

Fázové složení těchto tří strusek se v zásadě neliší. Vzorky jsou tvořeny převážně olivínem, sklem, wüstitem, u vzorku Ž-03A navíc i leucitem a magnetitem, ve vzorku B-02A se vyskytují v malém množství zrna křemene.

Olivíny v těchto struskách představují téměř čisté fayality (95-98 mol. %) s menšími podíly forsteritové (1-2 mol.%) a dikalciumsilikátové (0,7-2 mol.%). Fayalit je typickou fází železářských strusek. Vysoký obsah fayalitové složky dokazuje jejich vznik při zpracování železa. Přítomnost vápníku v olivínech může být způsobena kontaminací materiálem z vyzdívky pece, nebo by mohla dokazovat zvýšené množství vápníku v použité vsázce. Těmto hodnotám je blízké chemické složení olivínů ze železářských strusek z lokality Dřevohostice (Zmeškalová 2010), velmi podobné jsou i hodnoty olivínů ze železářských strusek z lokalit Modrá 2 a Staré Město (Křivánek 2015) a olivínů ze železářských strusek z pokusných taveb ze Staré huti u Adamova (Svoboda 2014). Porovnání chemického složení olivínů lze vidět na obr. 31.





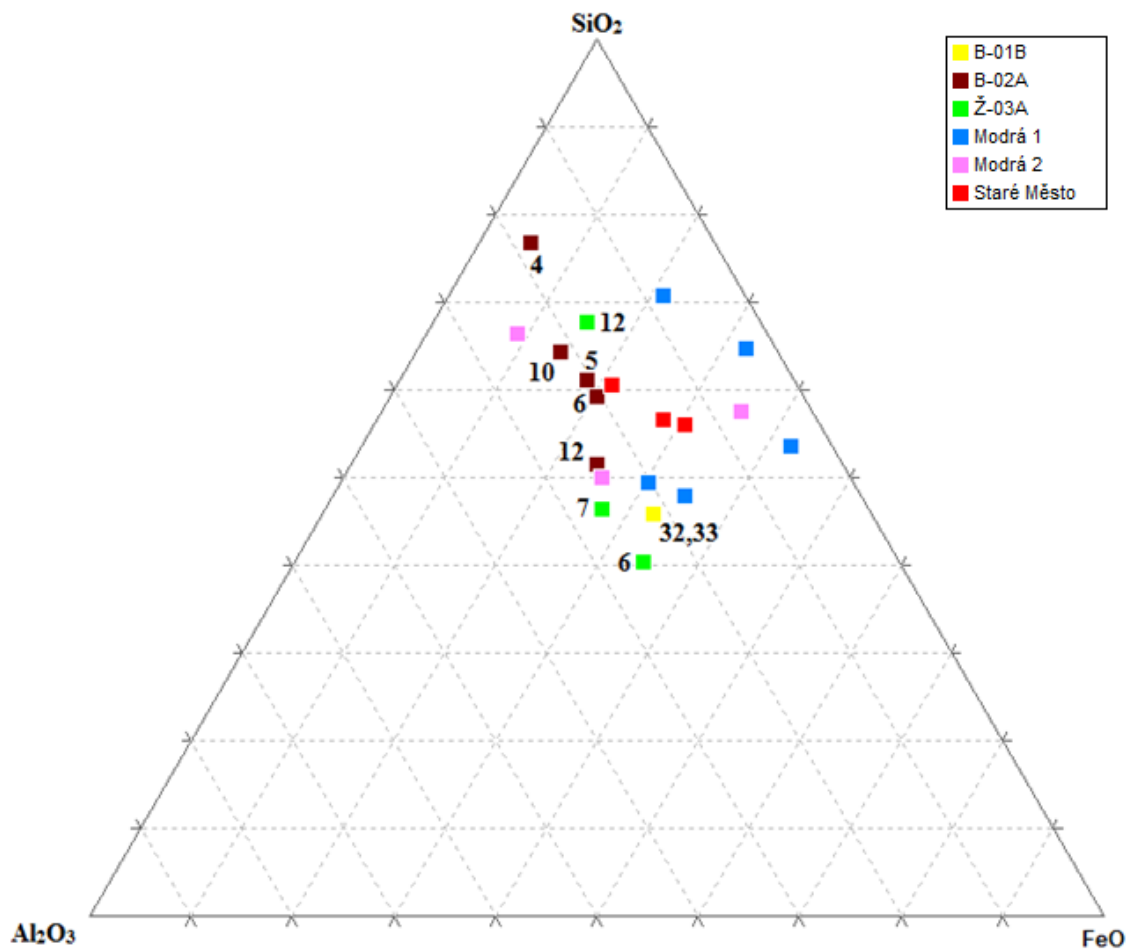
Obr. 31 Ternární diagram pro porovnání chemismu olivínů, data pro Dřevohostice převzata ze Zmeškalové (2010), pro Staré Město a Modrou 2 z Křivánka (2015), pro Starou huť u Adamova ze Svobody (2014), čísla indikují čísla EDX analýzy olivínů ze strusek B-01A, B-01B, B-02A, Ž-03A

Wüstit se ve vzorcích B-01B a B-02A vyskytuje v největším zastoupení, identifikován byl také ve vzorku Ž-03A. Dle EDX analýz bylo zjištěno, že se jedná o téměř čistý wüstit s nepatrnou příměsí  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,7 hm. %). Podobné chemické složení wüstitu uvádí i Zmeškalová (2010) v železářských struskách z lokality Dřevohostice, kde bylo zjištěno 1 hm.

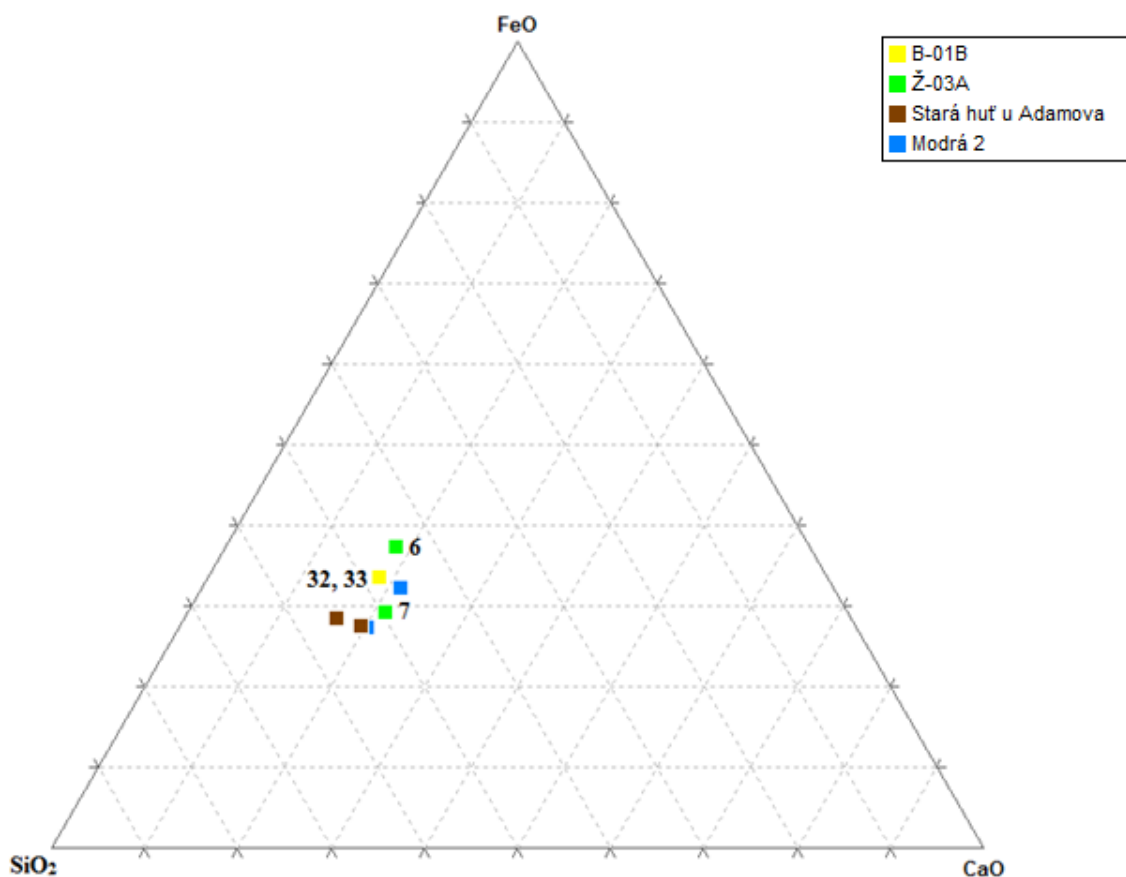
%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . V případě vzorku Ž-03A se také jedná o téměř čistý wüstit s nepatrnou příměsí  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,11 hm. %),  $\text{TiO}_2$  (0,31 hm. %) a  $\text{SiO}_2$  (0,18 hm. %). Podobné chemické složení wüstitů uvádí i Křivánek (2015) z lokality Modrá, kde byly zjištěny příměsí  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,04-0,71 hm. %),  $\text{TiO}_2$  (0,20-0,43 hm. %) a  $\text{SiO}_2$  (0,29-0,56 hm. %).

Leucity byly analyzovány ve vzorku Ž-03A s menší příměsí FeO (okolo 1,3 hm.%) a také s příměsí  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,30-0,62 hm. %). Podobnou analýzu leucitů uvádí Křivánek (2009) z lokalit Modrá a Staré Město, kde byly zjištěny příměsí FeO 1,18-1,70 hm. % a příměsí  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,06-0,95 hm. %). Velmi podobné jsou i hodnoty z lokality Modrá 2 (Křivánek 2015), kde byly zjištěny příměsí FeO 1,13-1,66 hm. % spolu s příměsí  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,10-1,57 hm. %). U jedné z analýz (bod č. 10; tab. 11) dosahuje hodnota FeO až 21 hm. %, to může být způsobeno inkluzemi wüstitů v zrnech leucitů.

Skelné fáze bývají běžně tvořeny  $\text{SiO}_2$ , FeO, CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Manasse, Mellini 2002). Chemické složení skel v těchto struskách je velmi heterogenní, protože může být ovlivněno ostatními fázemi. Sklo ve vzorku B-02A má vysoký obsah  $\text{SiO}_2$  (40,45-62,72 hm. %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15,02-19,02 hm. %), FeO (4,38-18,74 hm. %) a CaO (1,06-8,37 hm. %). Zvýšený obsah  $\text{K}_2\text{O}$  (4,53-7,30 hm. %) může být důsledkem použití dřevěného uhlí (Manasse, Mellini 2002). Sklo má ve vzorku B-01B obsah  $\text{SiO}_2$  34 hm. %, zvýšený obsah CaO (od 13,38 do 13,55 hm. %), FeO (od 24,04 do 24,31 hm. %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (od 15,96 do 16,29 hm. %) a  $\text{K}_2\text{O}$  (od 5,98 do 5,99 hm. %). Vysoký obsah CaO může být důsledkem znečištění strusky hmotou z vyzdívky hutnické pece, nebo poukazuje na zvýšené množství vápníku v použité vsázce. Podobné chemické složení skelných fází železářských strusek uvádí i Křivánek (2009) pro lokality Modrá 1 a Staré Město 1 a také skelných fází z lokality Modrá 2 (Křivánek 2015) (obr. 32). Vyšší obsahy vápníku ve skelných fázích uvádí i Křivánek (2015) pro lokalitu Modrá 2 a také Svoboda (2014) pro lokalitu Stará huť u Adamova (obr. 33).



Obr. 32 Vzájemné porovnání chemického složení skelných fází strusek, data pro Modrou 1 a Staré Město 1 převzata z Křivánka (2009) a pro Modrou 2 z Křivánka (2015), čísla indikují čísla EDX analýz ze strusek B-01B, B-02A, Ž-03A



Obr. 33 Vzájemné porovnání chemického složení skelných fází strusek, data pro Modrou 2 převzata z Křivánka (2015) a pro Starou huť u Adamova (Svoboda 2014), čísla indikují čísla EDX analýz skelných fází ze strusek B-01B, Ž-03A

Ve strusce Ž-03A bylo na čerstvém řezu patrné větší množství kovového železa, struska má proto nejvyšší naměřenou magnetickou susceptibilitu ( $16,90 \times 10^{-3}$  SI). Obsah Fe (97,4 hm. %) byl v kovu ověřen pomocí EDX analýzy v připravené tabletě v bodě č. 5.

### 8.3.2 Vzorek B-01A

Strusku tvoří tyto minerální fáze: melilit, barnatý živec, olivín, pyrotin, pyroxen, spinelidy, kalcit, pevný roztok periklasu a wüstitu, merwinit, C-S-H fáze. Dle fázového složení je patrné, že se tato struska značně liší od ostatních studovaných artefaktů.

Melilit byl dle EDX analýz identifikován jako akermanit s podílem ferroakermanitové a gehlenitové složky. Podobné analýzy melilitu uvádí i Manasse, Mellini (2002) z lokality Arialla. U analýz č. 9 a 10 byl melilit identifikován jako gehlenit (89-91 mol. %) s podílem akermanitové (2 mol. %) a ferroakermanitové (7-9 mol. %). Ke krystalizaci melilitu dochází při pomalém chlazení (Koplík 2012) a jeho přítomnost by mohla naznačovat rovnovážnou

krystalizaci v tavenině (Manasse, Mellini 2002). Zároveň také melilit obecně vzniká z tavenin bohatých na CaO a chudších na SiO<sub>2</sub> (Manasse, Mellini 2002).

Pyrhotin zde byl analyzován s menší příměsí Cu (0,91 hm. %). Síra je nežádoucím prvkem a musí být odstraněna. Ne vždy se síra povede zcela odstranit. Relikty sulfidů poté zůstávají zachycené ve struskách (Bachmann 1982).

Ba-živce zde byly identifikovány společně v asociaci se spinelidy. Jedná se konkrétně o celsiány s obsahem Cn komponenty 84-96 mol. %. Ba-živce mají v tomto vzorku automorfní tvar, takže je zcela patrné, že se jedná o novotvořené fáze a vznikaly krystalizací přímo z taveniny. Ve strusce jako celku je obsah Ba 4930 ppm.

Přítomnost pyroxenů v tomto vzorku může poukazovat na pomalé ochlazování struskové taveniny (Ettler et al. 2000 in Ettler et al. 2008). Pyroxeny nejsou v historických struskách příliš časté. Pokud jsou strusky bohaté na SiO<sub>2</sub>, mohou být Ca-pyroxeny postupně nahrazovány postupně melilitem a nakonec i kirschteinitem (Manasse, Mellini 2002). V případě tohoto vzorku se jedná o Wo-rich pyroxeny. Vzhledem k přítomnosti kirschteinitů a melilitů a zmíněných Wo-rich pyroxenů byla tavenina patrně bohatá na vápník, protože obsah CaO v pyroxenech dosahoval až 23,86 hm. % a krystalizace mohla probíhat za vysokých teplot v rozmezí 1 150-1300 °C (Manasse, Mellini 2002).

Další identifikovanou fází jsou olivíny. U analýz č. 4, 5, a 6 se jedná o vápníkem bohaté kirschteinity (41-43 mol. %) s různými podíly fayalitové (24-39 mol. %) a forsteritové (19-34 mol. %) a tefroitové (1 mol. %) složky. V případě analýzy č. 15 se jedná o kirschteininit (74 mol. %) s podílem forsteritové (23 mol. %) a fayalitové (3 mol. %) složky. V případě analýzy č. 18 se jedná o forsterit s podílem fayalitové složky 26 mol. % a v případě analýzy č. 18 už se jedná o fayalit (48 mol. %) s podílem dikalciumsilikátové složky 36 mol. %. Tyto kirschteinity vznikají z taveniny bohaté na vápník, jako tomu bylo i v tomto případě.

Jako další fáze zde byla zjištěna C-S-H fáze. Jedná se o hydratovanou amorfní fází, kterou uzavírá kalcit. Vznik této fáze byl zjevně doprovázen hydratací strusky.

Další určenou fází je kalcit. Zde se jedná o kalcit s menšími příměsemi SiO<sub>2</sub> (1,62 hm. %) a SO<sub>3</sub> (1,28 hm. %). Obsah CO<sub>2</sub> byl dopočítán (42,8 hm. %). Kalcit vykrytalizoval pravděpodobně sekundárně a vyplňuje volné dutiny ve strusce a prostory mezi ostatními fázemi.

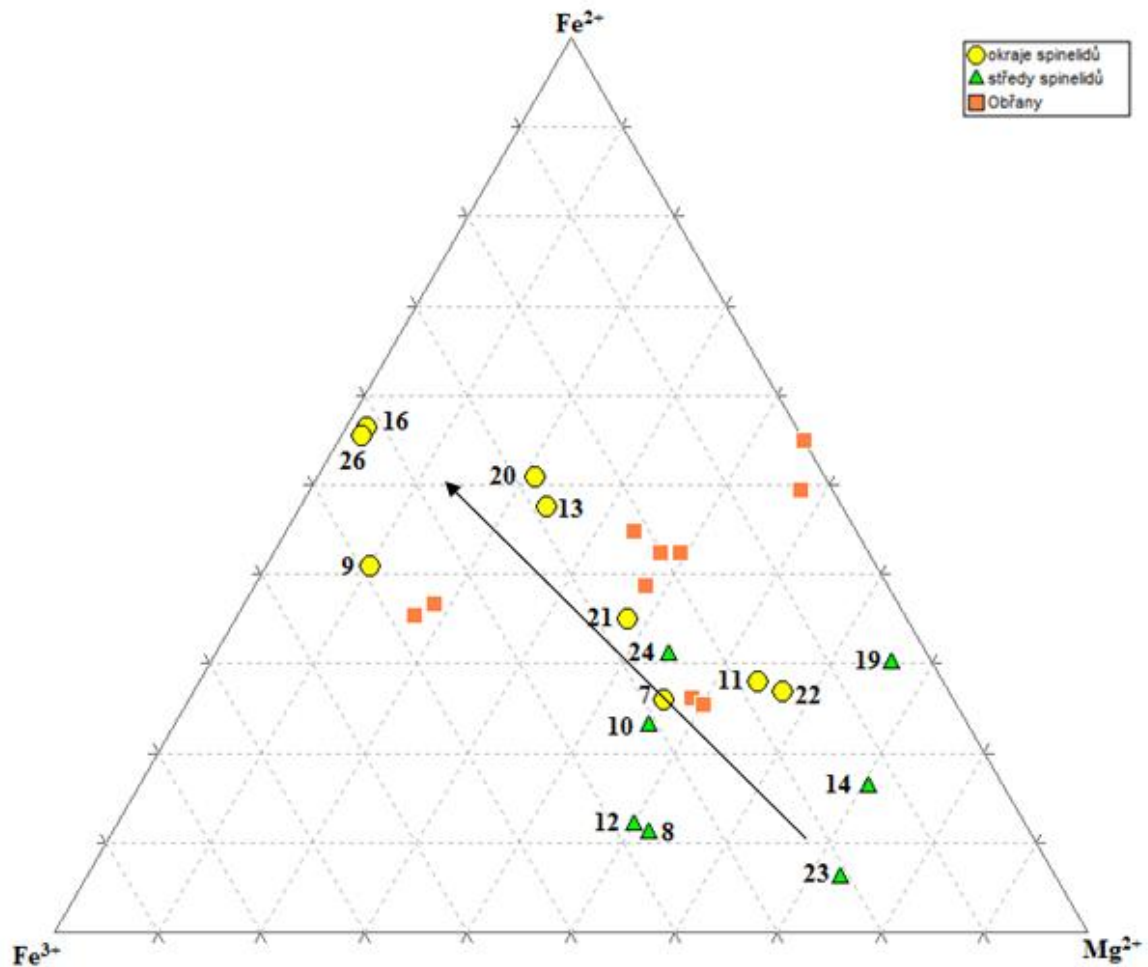
Pevný roztok periklasu a wüstitu. Obsah periklasu se pohybuje mezi 49,9-61,6 mol. %, wüstitu mezi 37,7-49,2 mol. %, obsah manganositové složky se pohybuje mezi 0,7-1 mol. % spolu s menší příměsí CaO (0,5 mol. %). Periklas je novotvořenou fází vznikající z taveniny bohaté na hořčík, krystalizující dříve, než wüstit.

Reliktní zrna křemene nacházející se při okraji vzorku jsou nejspíše příměsí z vyzdívky pece či hlušiny, která se připekla během tavby ke strusce. Nebo mohou pocházet ze vsázky obsahující struskotvorné přísady, například křemenný písek.

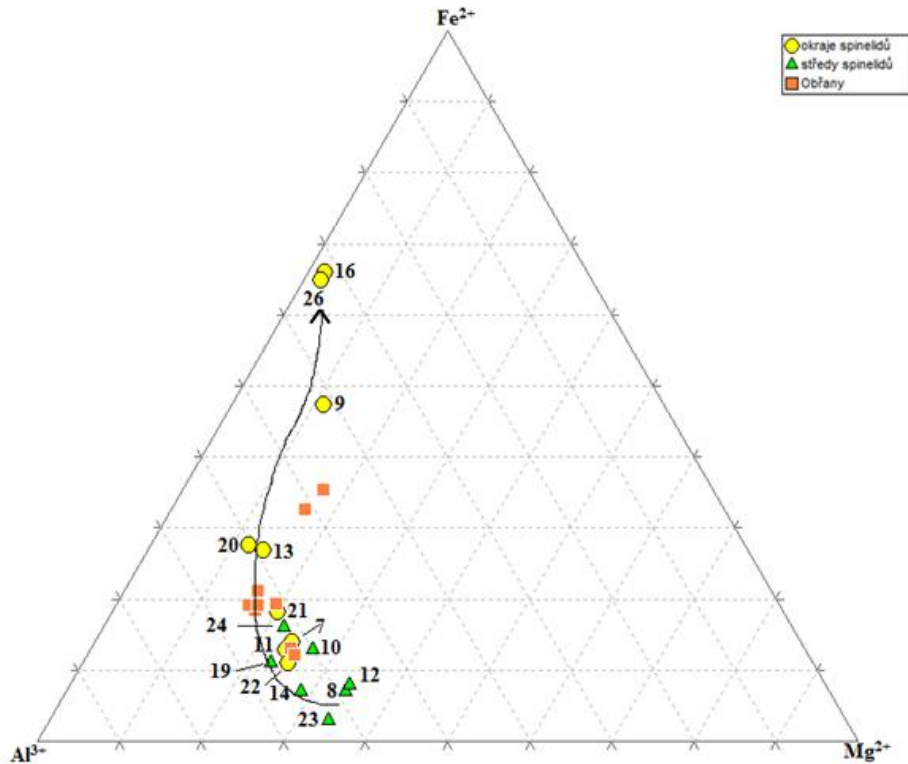
Další identifikovanou fází je merwinit. Výskyt merwinitu potvrzuje vyšší obsah CaO (19,66 hm. %) dle celkové chemické analýzy ve strusce. Merwinit je běžnou složkou spíše vysokopecních strusek spolu s melilitem, pyroxenem, kapkami železa, wollastonitem a forsteritem (Gregerová 1996).

Další minerální fází jsou spinelidy. Obecně jsou spinelidy fází, která krystalizuje z taveniny jako první (Bachmann 1982; Ettler et al. 2008) vzniká při pomalém ochlazování. Během ochlazování taveniny docházelo ke změně chemického složení rostoucích krystalů spinelidů, kdy v okrajích dominuje  $\text{Fe}^{2+}$  (hercynitová složka) a ve starších jádrech dominuje převážně  $\text{Mg}^{2+}$  (spinelová složka). Tento trend lze vidět na obr. 34. Podobné chemické složení spinelidů v nemetalurgické strusce uvádí i Kropáč (2015). Přítomnost  $\text{Fe}^{3+}$  dokazuje alespoň částečné oxidační prostředí. Vzájemné porovnání chemismu spinelidů a vývoj jejich chemického složení během krystalizace lze vidět na obr. 34 až 37.

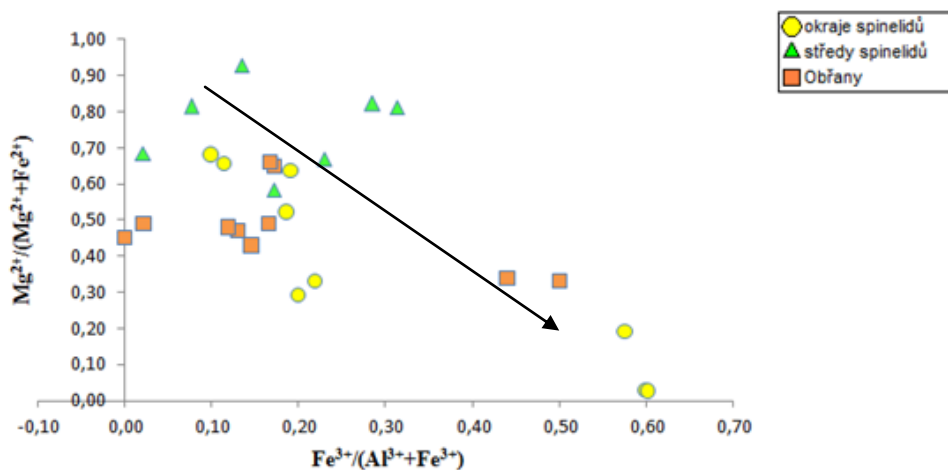




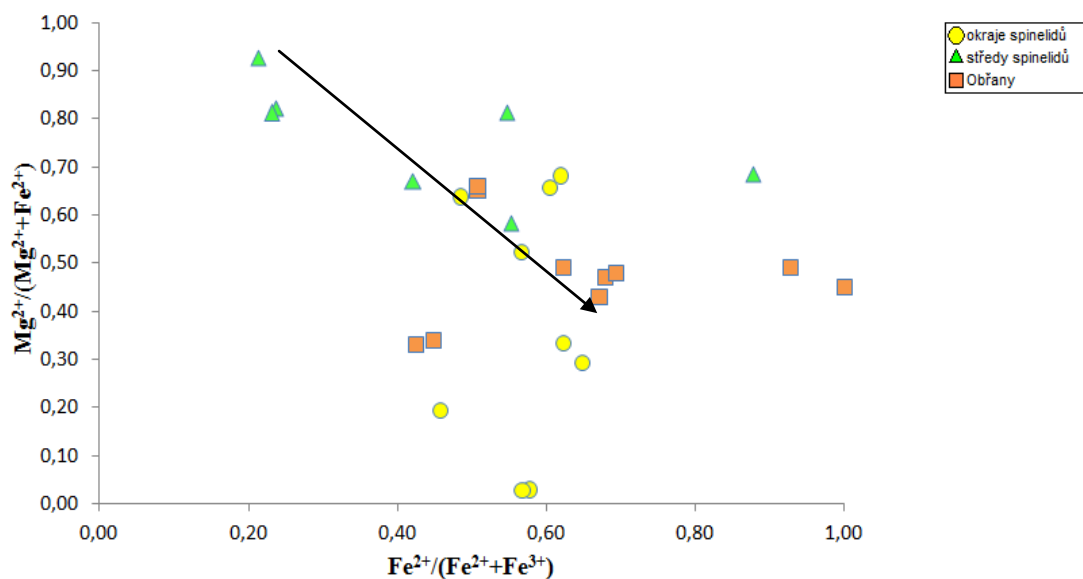
Obr. 34 Ternární diagram  $Fe^{2+}$ - $Fe^{3+}$ - $Mg^{2+}$  pro znázornění chemismu spinelidů ve vzorku B-01A, data pro Obřany převzata z Kropáče (2005). Čísla indikují EDX analýzy spinelidů ve vzorku B-01A, šipka indikuje trend vývoje chemického složení spinelidů během krystalizace  $Fe^{2+}$   $Mg^{2+}$   $Fe^{3+}$



Obr. 35 Ternární diagram  $\text{Fe}^{2+}\text{-Al}^{3+}\text{-Mg}^{2+}$  pro znázornění chemismu spinelidů ve vzorku B-01A, srovnávací data pro Obřany převzata z Kropáče (2005). Čísla indikují EDX analýzy spinelidů ve vzorku B-01A, šipka indikuje trend vývoje chemického složení spinelidů během krystalizace



Obr. 36 Grafické znázornění chemismu spinelidů ve vzorku B-01A v grafu  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+}+\text{Fe}^{2+})$  vs  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Al}^{3+}+\text{Fe}^{3+})$ , data pro Obřany převzata z Kropáče (2005). Čísla indikují EDX analýzy spinelidů ve vzorku B-01A, šipka indikuje trend vývoje chemického složení spinelidů během krystalizace



Obr. 37 Grafické znázornění chemismu spinelidů ve vzorku B-01A v grafu  $Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})$  vs  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$ , data pro Obřany převzata z Kropáče (2005). Čísla indikují EDX analýzy spinelidů ve vzorku B-01A, šipka indikuje trend vývoje chemického složení spinelidů během krystalizace

## 8.4 Celkový chemismus

Celková chemická analýza byla provedena pouze u vzorku B-01A, která se svým fázovým složením výrazně liší od ostatních artefaktů. Struska B-01A obsahuje zejména  $SiO_2$  (27,40 hm. %) a  $Fe_2O_{3tot}$  (24,44 hm. %). Dále je třeba zmínit také zvýšený obsah  $CaO$  (19,66 hm. %),  $Al_2O_3$  (16,18 hm. %) a  $MgO$  (10,17 hm. %). Obsah  $Fe_2O_3$  je nižší, než bývá u strusek po přímé výrobě železa, nižší bývají také obsahy  $CaO$ , zde jsou obsahy  $CaO$  vyšší. Nemůže se jednat ani o strusku z nepřímé výroby železa, zde bývá obsah železa poněkud nižší (srov. Gregerová 1996). Struska pravděpodobně nemá původ ani v kovářských výhních. Tento artefakt tedy s největší pravděpodobností vůbec nepochází z výroby železa. Struska navíc nereagovala na magnet, má nízké hodnoty magnetické susceptibility a i nízkou hustotu. Domnívám se, že by mohlo jít spíše o nemetalurgický materiál z jiného výrobního zařízení. Vzhledem k vyššímu obsahu  $CaO$  by mohlo jít například o struskovou hmotu vzniklou při výrobě páleného vápna. Vyšší obsah  $MgO$  (10,17 hm. %) by mohl poukazovat na použití dolomitu jako výchozí suroviny při výrobě vápna.

## 9. Závěr

Ze vzorků historických železářských strusek nalezených během archeologických výzkumů u obcí Bílany a Žádkovice na východním Kroměřížsku byly vybrány k bližšímu laboratornímu zkoumání čtyři strusky. U těchto čtyř vzorků byly stanoveny fyzikální vlastnosti jako hustota, magnetická susceptibilita a teplota tání. Dále bylo stanoveno fázové složení jednotlivých strusek, byl proveden mikroskopický popis výbrusů v procházejícím i odraženém světle a u vzorku B-01A byl stanoven i celkový chemismus strusky. Planimetrickou analýzou bylo stanoveno procentuální zastoupení jednotlivých fází u vzorků B-02A a B-01B.

Strusky B-02A, B-01B a Ž-03A se od sebe na první pohled zásadně neliší. Struska B-01A se od ostatních artefaktů liší jak fázovým složením, tak i makroskopicky.

U jednotlivých vzorků byly identifikovány následující minerální fáze:

-B-02A: fayalit, sklo

-B-01B: fayalit, sklo, wüstit

-Ž-03A: fayalit, sklo, wüstit, limonit, kovové železo (Fe), leucit a spinelid

-B-01A: kirschteinit, melilit, leucit, Ba-živec, pyrhotin, pyroxen, spinelid, kalcit, merwinit, C-S-H fáze, pevný roztok periklasu a wüstitu

Struska B-02A je na základě fázového složení produktem z kovářského zpracování železa vzhledem k vyšší magnetické susceptibilitě ( $9,28 \times 10^{-3}$  SI) a také s ohledem na fázové složení, v němž ve velké míře převažuje dle planimetrické analýzy wüstit. Domnívám se, že u strusky B-01B by mohlo jít strusku kovářskou. Napovídala by tomu vyšší magnetická susceptibilita ( $6,16 \times 10^{-3}$  SI) a také fázové složení, v němž převažuje wüstit s fayality. Wüstit v kovářských struskách by měl převažovat mnohem více, než u strusek dýmařských (Gordon 1997). I v tomto vzorku zcela převažuje wüstit nad ostatními fázemi.

Struska Ž-03A by mohla být také struskou z kovářského zpracování železa. Odpovídala by tomu vyšší magnetická susceptibilita a obsah kovového železa. Povrch těchto strusek bývá pokryt limonitem (Malý, Zapletalová 2007), vzorek Ž-03A je pokryt povlakem limonitu. Nasvědčovalo by tomu i fázové složení.

Struska B-01B by také mohla být struskou z kovářského zpracování železa. I zde, co se týká fázového složení, zcela převládá wüstit. Nasvědčovala by tomu i vyšší magnetická susceptibilita ( $6,16 \times 10^{-3}$  SI).

Struska B-01A má zcela odlišné fázové složení od ostatních artefaktů, které vylučuje původ při přímé výrobě či kovářském zpracování železa. Vzhledem k nálezovým okolnostem nemusí tato struska korespondovat s ostatními artefakty. Vzorky byly nalezeny povrchovým sběrem na orném poli. Mohlo by jít o strusku z jiného výrobního zařízení. Mohlo by se jednat o artefakt z výroby maltoviny na bázi páleného vápna. Této teorii by nasvědčoval i relativně nízký obsah oxidů železa (24,44 hm. %) a vyšší obsahy  $\text{SiO}_2$  (27,40 hm. %) a CaO (19,66 hm. %). Přítomnost zapečených úlomků koksu může poukazovat také na pálení vápna, koks mohl být využíván jako palivo během tohoto procesu.

## Seznam literatury

Bachmann H. - G. (1982): The identification of slags from archaeological sites. - University of London, occasional publication No. 6. London.

Bothe O. (1989): Strojírenská technologie I. - Nakladatelství technické literatury, Praha.

Brož L. (1975): Teoretické základy výroby železa. - Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

Brzobohatý R., Cicha I. (1993): Karpatská předhlubeň. - In: Přichystal A., Obstová V., Suk M. (eds.): Geologie Moravy a Slezska, pp. 123-128. Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU, Brno.

Buday T., Cicha I. (1967): Předkarpatské pánve na Moravě (čelní hlubina). - In: Buday T., Cicha I., Hanzlíková E., Chmelík F., Koráb T., Kuthan M., Nemčok J., Pícha F., Roth Z., Seneš J., Scheibner E., Stráník Z., Vaškovský I., Žebera K.: Regionální geologie ČSSR. Díl 2, svazek 1 Západní Karpaty, pp. 593-612. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

ČGÚ. Soubor geologických a účelových map 1:50 000: Geologická mapa ČR list 25-13 Přerov. Redaktor listu P. Pálenský. Vydání první. Kutná Hora: Label s.r.o, 1997.

ČGÚ. Soubor geologických a účelových map 1:50 000: Geologická mapa ČR list 25-31 Kroměříž. Redaktor listu Z. Novák. Praha, 1994.

Demek J., Balatka B., Czudek T., Láznička Z., Linhart J., Loučková J., Panoš V., Raušer J., Seichterová H., Sládek J., Stehlík O., Štelcl O., Vlček V. (1965): Geomorfologie českých zemí. - Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Ettler V, Johan Z., Kříbek B., Šebek O., Mihaljevič M. (2008): Mineralogy and enviromental stability of slags from the Tsumeb smelter, Namibia. –Applied Geochemistry, 24, 1-15.

Fellsová S. (1983): The structure and constitution of archaeological ferrous process slags. - MS, Ph.D. disertace, University of Aston. Birmingham.

Gordon, R.B. (1997): Process deduced from ironmaking wastes and artefacts. – Journal of Archeological Science 24, 9-18.

Gregerová M. (1996): Petrografie technických hmot. Vydavatelství MU Brno



Chybová H. (1998): Pravěké a slovanské osídlení Kroměřížska: průvodce archeologickou expozicí a sbírkami Muzea Kroměřížska. - Muzeum Kroměřížska, Kroměříž.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): Geologická minulost České republiky. - Academia, Praha.

Kaloč M., Brož L., Krét J. (1986): Hutnictví železa I., koksárenství a železářství. - Vysoká škola báňská, hutnická fakulta, Ostrava.

Kolbinger D. (2013): Osídlení východního Kroměřížska a Přerovska v době římské a stěhování národů. - Vydáno vlastním nákladem D. Kolbingera, Hulín.

Koplík J. (2012): Inhibice nebezpečných látek v alumináto-silikátových systémech. – MS, doktorská práce, VUT v Brně.

Kořan J. (1984): Období nepřímé výroby kujného železa v českých zemích. - In: Pleiner R., Kořan J., Kučera M., Vozár J. (eds.): Dějiny hutnictví železa v Československu I. od nejstarších dob do průmyslové revoluce, pp. 92-165. - Academia, Praha.

Křivánek, J. (2009): Inventarizace výskytů historických železářských strusek v oblasti Chřibů. - MS, bakalářská práce, Katedra geologie PřF UP Olomouc.

Křivánek, J (2015): Mineralogické studium artefaktů po železářské výrobě z vybraných lokalit v okolí Starého Města u Uherského Hradiště. MS, diplomová práce, Katedra geologie PřF UP Olomouc.

Lapčík V. (2008): Výrobní a environmentální technologie. - Vysoká škola báňská-Technická univerzita v Ostravě, Hornicko-geologická fakulta, Ostrava.

Manasse A., Mellini, M. (2002): Chemical and textural characteritization of medieval slags from the Massa Marittima smelting sites (Tuscany, Italy). - Journal of Cultural Heritage, 3, 187-98.

Malý K., Zapletalová D. 2007: Železářská kovovýroba v pravobřežní části Starého Brna. – Archeologia technica 18, 18-31.

Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K, Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. (1989): Nomenclature of pyroxenes. - Canad. Mineral., 27, 143-156.

Musil R. (1993): Geologický vývoj Moravy a Slezska v kvartéru. - In: Přichystal A., Obstová V., Suk M. (eds.): Geologie Moravy a Slezska, pp. 133-155. Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU, Brno.

Pleiner R. (1958): Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích: vývoj přímé výroby železa z rud od doby halštatské do 12. věku. - Nakl. ČSAV, Praha.

Pleiner R. (1962): Staré evropské kovářství: stav metalografického výzkumu. - Archeologické studie, ČSAV, Praha.

Pleiner R. (1978): Pravěké dějiny Čech. - Academia, Praha.

Pleiner R. (1984): Hutnictví železa v pravěku a v časně době dějinné. - In: Pleiner R., Kořan J., Kučera M., Vozár R.: Dějiny hutnictví železa v Československu I. od nejstarších dob do průmyslové revoluce, pp. 13-33. Academia, Praha.

Pleiner R. (2000): Iron in Archeology: the European Bloomery Smelters. - Archeologický ústav AV ČR, Praha.

Podborský V., Čižmář M., Erhart A., Tejral J. (1993): Pravěké dějiny Moravy. - Muzejní a vlastivědná společnost, Brno.

Podborský V. (1997): Dějiny pravěku a ranné doby dějinné. - Masarykova univerzita, Brno.

Rasl Z., Laboutková I. (2014): Přehled dějin českého hutnictví. - Národní technické muzeum, Praha.

Roth Z., Hanzlíková E. (1967): Západní úsek flyšového pásma . - In: Buday T., Cicha I., Hanzlíková E., Chmelík F., Koráb T., Kuthan M., Nemčok J., Pícha F., Roth Z., Seneš J., Scheibner E., Stráník Z., Vaškovský I., Žebera K.: Regionální geologie ČSSR. Díl 2, svazek 1 Západní Karpaty, pp. 109-177. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Salač V., Drda P., Michálek J., Militký J., Sankot P., Vokolek P. (2008): Archeologie pravěkých Čech. – Archeologický ústav AV ČR, Praha.

Souhopová V. (1986): Hutnictví železa v 8. - 11. století na západní Moravě. - Academia, Praha.

Souhopová V. (1995): Počátky západoslovanského hutnictví železa ve světle pramenů z Moravy. – Archeologický ústav AV ČR, Brno.

Souhopová V., Merta J., Truhlář J., Balák I., Štefka L. (2002): Cesta železa Moravským krasem. - Technické muzeum, Brno.

Souhopová V., Stránský K. (2008): Tajemství dávného železa I: archeometalurgie objektivem mikroskopu. - Technické muzeum, Praha.

Souhopová V., Stránský K. (2011): Tajemství dávného železa II: k počátkům přímé výroby železa z rud. - Technické muzeum, Brno.

Stráník Z., Menčík E., Eliáš M., Adámek J. (1993): Flyšové pásmo Západních Karpat, autochtonní mesozoikum a paleogén na Moravě a ve Slezsku. - In: Přichystal A., Obstová V., Suk M. (eds.): Geologie Moravy a Slezska, pp. 107-122. Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU, Brno.

Stránský K., Šenberger J., Rek A., Kafka V., Souhopová V. (1993): Kovářské zpracování železné houby vytavené v šachtové peci olomoučanského typu rekonstruované podle nálezu z 11. stol. n. l. - Archeologia technica 9, 15-25. Brno.

Stránský K., Rek A., Loskotová I. (1994): Rozbory železářských strusek z nádvoří Staré radnicev Brně. – Archeologia technica 8, 66-74. Brno.

Vaškovský I. (1967): Kvartérní nížinné oblasti. - In: Buday T., Cicha I, Hanzlíková E., Chmelík F., Koráb T., Kuthan M., Nemčok J., Pícha F., Roth Z., Seneš J., Scheibner E., Stráník Z., Vaškovský I., Žebera K.: Regionální geologie ČSSR. Díl 2, svazek 1 Západní Karpaty, pp. 593-612. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Zahradník I. (2009): Výroba surového železa a oceli v učivu středních škol. – MS, diplomová práce, Katedra anorganické chemie PřF UP Olomouc.

Zmeškalová B. (2010): Mineralogické studium artefaktů po železářské výrobě v okolí Bystřice pod Hostýnem. - MS, diplomová práce, Katedra geologie PřF UP Olomouc.

Žebera K. (1964): Kvartér Českého masivu. - In: Dvořák J., Havlena V., Havlíček V., Horný R., Chlupáč I., Klein V., Kopecký L., Malecha A., Malkovský M., Soukup J., Tásler R., Václ J., Žebera K.: Regionální geologie ČSSR. Díl 1, Český masiv, svazek 2 algonkium - kvartér, pp. 443-506. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

www1: <http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=2EDA9E08&MarQParam0=2219914708&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka> (cit. 29. 2. 2016)

www2: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0491699&y=49.6792983&z=7> (cit. 1. 3. 2016)