

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



Mineralogická charakteristika železářských strusek z lokality Kadov

bakalářská práce

Karel Fišnar

Environmentální geologie (B1210)

prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Jaroslav Kapusta

Červenec 2021

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod odborným dohledem vedoucího práce za použití uvedené literatury.

V Olomouci dne:

Podpis

Rád bych poděkoval Mgr. Jaroslavu Kapustovi za odborné vedení při psaní bakalářské práce, pomoc během laboratorní práce a konzultace. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Jakubu Mikolandovi za cenné rady v oblasti grafických úprav.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Karel Fišnar

Název práce: Mineralogická charakteristika železářských strusek z lokality Kadov

Typ práce: Bakalářská práce

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

Vedoucí práce: Mgr. Jaroslav Kapusta

Rok obhajoby práce: 2021

Abstrakt: Práce se zabývá železářskými struskami z lokality Kadov, které byly nalezeny během terénního sběru vzorků v okolí bývalých Kadovských železáren. Následně byly vybrány reprezentativní kusy, které se podrobily důkladnějšímu zkoumání za použití dostupných fyzikálních a chemických metod (měření hustoty pyknometrickou metodou, stanovení magnetické susceptibility, celkový chemismus a EDX analýza). Vzorky jsou si navzájem podobné, a to ve všech použitých metodách. Jediná značně lišící se hodnota byla zjištěna měřením magnetické susceptibility u vzorku KD-2b, kde už na základě makroskopického vzhledu byl patrný vyšší obsah kovového železa. Dominantní úlohu ve struskách hraje SiO_2 , který v každém vzorku tvoří nadpoloviční většinu. Železářské strusky z Kadova jsou převážně sklovité s velmi nízkou hustotou. Vznikali ve vysokých pecích, kde se jako palivo používalo dřevěné uhlí. Vzorky postrádají typické složky jako je například olivín, nebo wüstit. Liší se tak od klasické charakteristiky těchto strusek.

Klíčová slova: struska, Kadov, Svratecké krystalinikum, výroba železa, metalurgie, hutnictví železa

Počet stran: 50

Počet příloh: 0

Jazyk: Český jazyk

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Karel Fišnar

Title: Mineralogical characterization of iron slags from location Kadov

Type of thesis: Bachelor's thesis

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

Supervisor: Mgr. Jaroslav Kapusta

The year of presentation: 2021

Abstract: The work deals with iron slags from the Kadov locality, which were found during field sampling in the vicinity of the former Kadov ironworks. Subsequently, representative pieces were selected and subjected to a more thorough examination using available physical and chemical methods (measured densities by pycnometric method, determination of magnetic susceptibility, total chemistry and EDX analysis). The samples are similar to each other in all the methods used. The only significantly different value was found by measuring the magnetic susceptibility of the KD-2b sample, where a higher metallic iron content was already apparent due to the macroscopic appearance. The dominant role in slags is played by SiO₂, which forms an absolute majority in each sample. Iron slags from Kadov are mostly glassy with a very low density. They were formed in blast furnaces, where charcoal was used as fuel. The samples lack typical ingredients such as olivine or wüstite. It thus differs from the classic characteristics of these slags.

Key words: slag, iron, Kadov, Svratka Crystalline, iron production, metallurgy, iron metallurgy

Number of pages: 50

Number of appendices: 0

Language: Czech

Obsah

Úvod	6
Geologie okolí Kadova	7
Svratecké krystalinikum.....	7
Kadov	10
Kadovské železářny	10
Počátky výroby železa	11
Přímá výroba	11
Nepřímá výroba.....	13
Železářské strusky	14
Historické železářské strusky.....	14
Moderní železářské strusky.....	16
Metodika práce	16
Výsledky.....	18
Terénní práce.....	18
Lokalita Kadov – Halda (KD-2)	19
Lokalita Kadov – Pole (KD-3)	20
Lokalita Kadov – Bývalé železářny (KD-4).....	21
Lokalita Kadov – Fryšávka (KD-5).....	22
Laboratorní část.....	22
Makroskopický popis strusek	22
Hustota	26
Magnetická susceptibilita.....	27
Chemismus vzorků	29
Fázové složení strusek	30
Diskuse	40
Hustota	40
Magnetická susceptibilita.....	40
Celkový chemismus a fázové složení.....	42
Závěr	47
Literatura	48

Úvod

Pro téma této bakalářské práce byla vybrána zájmová oblast bývalých Kadovských železáren a jejich okolí. Cílem bakalářské práce je petrologická charakteristika železářských strusek, které byly získány povrchovým sběrem, nebo kopaných sond z lokalit okolo bývalých Kadovských železáren, především hald v okolí vesnice Kadov. Rešerše bakalářské práce obsahuje stručnou geologickou charakteristiku Svrateckého krystalinika, historii hutnění železa na našem území a stručnou charakteristiku historických železářských strusek. Laboratorní část bakalářské práce je zaměřena na stanovení celkového chemismu strusek, magnetické susceptibility, hustoty a vyhotovení leštěných výbrusů a jejich vyhodnocení na optickém mikroskopu a elektronové mikrosondě. Výsledky laboratorních prací by měly napomoci k objasnění některých podmínek vzniku železářských strusek.

Geologie okolí Kadova

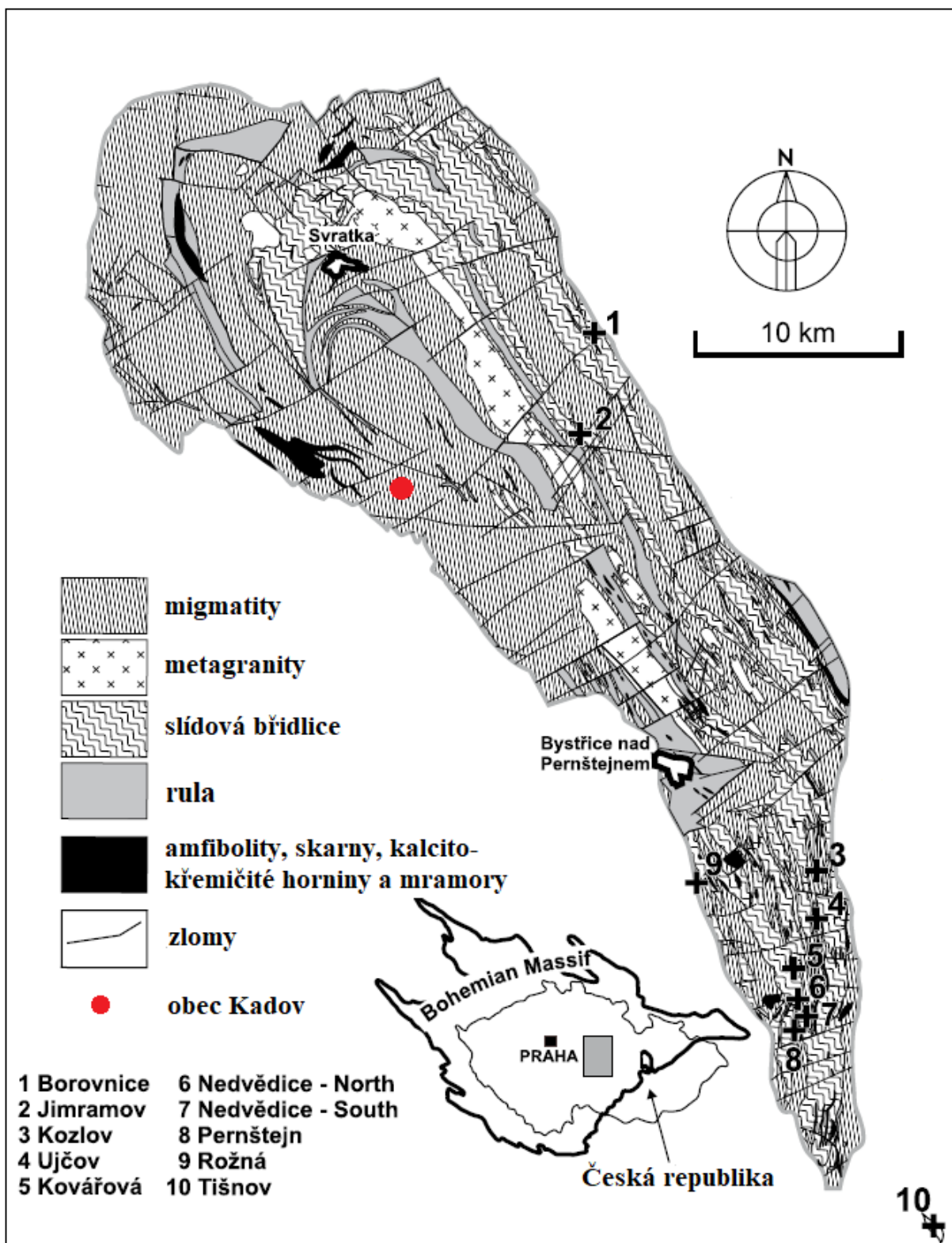
Obec Kadov se nachází na území svrateckého krystalinika, které je součástí kutnohorsko-svrateckého krystalinika (dále jen „KSk“) a celkově tento útvar spadá do severní části moldanubické oblasti (*Synek 1993, Kachlík 2003*). KSk je rozděleno železnohorským plutonem a malou částí hlinské zóny, na kutnohorské krystalinikum, svratecké krystalinikum a menší ohebské krystalinikum. Východní část KSk tvoří kontakt s jednotkami moravika a letovickým krystalinikem. Sever KSk, konkrétněji kutnohorské krystalinikum, je z části překryto sedimenty českobrodského permokarbonu blanické brázdy a české křídové pánve. Od moldanubika se KSk liší nižším stupněm metamorfózy a přítomností červených porfyroklastických ortorul a narůžovělých migmatitů, které jsou běžné převážně pro oblast svrateckého krystalinika (*Synek 1993*).

Svratecké krystalinikum

Svratecké krystalinikum neboli krystalinikum svratecké antiklinály, se nachází ve východní části kutnohorsko-svrateckého krystalinika a má protáhlý zužující se tvar směrem k jihu. Hranice krystalinika je přibližně vymezena obcemi Vojnův Městec, Hlinsko, Krouna, Chlum, Ubušín, Vír, Újezd, Střítež, Rožná, Studnice, Fryšava (*Svoboda et al. 1964*). Svratecké krystalinikum je tvořeno převážně polymetamorfickými migmatity, pararulami, slídovými břidlicemi a protáhlými útvary kambrium-ordovických metagranitů až ortoruly (*Němec 1998*). Na S a SZ se antiklinála stýká s granitoidy a horninami hlinecké zóny. SV je tvořen poličským krystalinikem a stykem, který je dán přechodem a ubýváním migmatitizace směrem k poličskému krystaliniku. Na V se antiklinála stýká se svorovou zónou a po celé délce JZ části přechází pozvolna přes tzv. přechodní zónu do hornin moldanubika (*Svoboda et al. 1964*). Přechodní zóna mezi svrateckou antiklinálou a moldanubikem se petrograficky vyznačuje primorogenní migmatizací spojenou s ortorulami kutnohorského krystalinika, a tím pozvolnými přechody z hornin kutnohorského krystalinika do hornin strážeckého moldanubika (*Čech 1952*).

Během variské orogeneze bylo svratecké krystalinikum ovlivněno regionální metamorfózou, která dosáhla podmínek amfibolitové facie při teplotě 640-670 °C a tlaku o hodnotě 0,7-0,8 GPa (*Pitra and Guiraud 1996*). Poté následovala dekomprese a ochlazení na 580-650 °C (*Buriánek a Čopjaková 2008*). Variská deformace granitoidů a migmatitů vyústila v deformaci primárních křemenů a živcových krystalů (*Zavřelová et al. 2006*).

V krystaliniku je častý výskyt svorů, u kterých převládá muskovit nad biotitem. Často se v nich jako akcesorie objevuje granát, turmalín a zřídka v injikovaných svorech i disten společně s andalusitem a sillimanitem. V severní části krystalinika se nacházejí jemnozrné drobové a kvarcitické svory až svorové ruly (Svoboda et al. 1964). Nejrozšířenější hornina svratecké antiklinály je středně zrnitý migmatit. Tato masivní metamorfovaná hornina je typická výraznou foliací. Migmatit je dvojslídny s vysokým obsahem undulózniho křemene a převažuje v něm draselný živec nad plagioklasem (Svoboda et al. 1964). V centru svrateckého krystalinika vystupují hrubozrné okaté dvojslídne ortoruly, které se běžně vyskytují na Buchtově kopci u Sněžného. Dvojslídna ortorula přechází směrem k okrajům krystalinika na dvojslídne migmatity. Ortoruly jsou tvořeny křemenem, draselným živcem, slídami (biotit, často muskovit) a různými akcesoriemi, jako je například granát, kyanit či amfibol (Svoboda et al. 1964). V antiklinále je ještě běžný výskyt amfibolitů, skarnů a krystalických vápenců. Amfibolity se nachází severně od řeky Svratky a jsou vesměs masivní, jemnozrné, složené z amfibolu, draselných živců, magnetitu a akcesoricky granátů. Skarny tvoří samostatná nesourodá tělesa deskovitého tvaru, uložena paralelně s okolními metamorfity. Největší výskyty skarnů jsou u Pernštejna, Líšné a Věchnova. Složeny jsou z granátu, pyroxenu amfibolu, biotitu, epidotu, magnetitu, antofylitu a křemene. Krystalické vápence se vyskytují převážně v linii Ujčov-Nedvědice-Černvír, jinak se skoro neobjevují. Vápence zde mají variabilní barvu od čistě bílé, přes narůžovělou až po namodralou a na kontaktu s ortorulou jsou silně rozpukané, s hojným výskytem wollastonitu. Na tomto styku vápence přecházejí do erlanů, tvořených kalcitem, diopsidem, klinozoisitem a vesuvianem. Za zmínku stojí hadce, které se ve svratecké antiklinále vyskytují pouze v několika malých masívcích v pernštejnské oblasti, konkrétněji u Smrčku, Věžné, Věchnova, Nového Dvora. Ve Zlatkově se hadce vyskytují i s azbestem, díky němuž mají hadce tmavě zelené zabarvení a mřížkovou strukturou (Svoboda et al. 1964).



Obr. 1 - Svratecké krystalinikum (převzato a upraveno podle Čopjakové et al. 2009)

Kadov

Počátky obce Kadov se datují mezi lety 1646–1660, kdy zde postupně vznikaly dvě vysoké pece na výrobu železa založené Františkem Maxmiliánem Kratzerem. Kolem této vznikající hutě si lidé začali stavět svá obydlí, a tak započala historie obce. Od roku 1749 má obec i pečeť, na které je vyobrazený beránek s křížem ([www1](#)).

Kadovské železárny

Železářská huť začala s výrobou železa roku 1651 a fungovala až do svého zániku v roce 1874. Železná ruda potřebná pro výrobu se těžila většinou v okolí železáren nebo v přilehlých vesnicích. Zejména železné rudy jako jsou hematit a magnetit, tvořily drtivou většinu materiálu, který byl do železáren přivezen.

Jedna z lokalit, která byla důležitá pro fungování Kadovských železáren, se nacházela přímo ve vesnici Kadov na tzv. poloze „Vápenice“ u silnice vedoucí do Nového Města na Moravě, kde se těžil vápenec jako struskotvorná přísada ([www1](#)). Železárny se proslavily hlavně výrobou kvalitního surového železa a umělecké litiny. Největší slávy se dostalo železárnám roku 1783, kdy se produkcí surového železa umístily druzí na území Moravy. Dnes si můžeme železárny připomenout pomníčkem na místě, kde původně stály anebo spatřit pozůstatky kamenných zdí po bývalých budovách hutí (*Štěpánek 2013*).



Obr. 3 - Zarostlá zídka železáren



Obr. 2 - Pomník

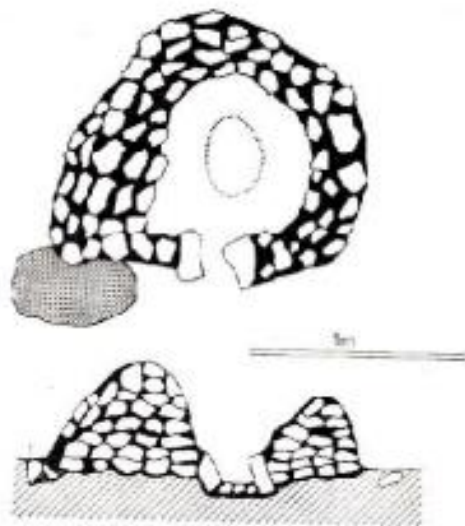
Počátky výroby železa

Železné nástroje a zbraně se staly v průběhu posledních tří tisíc let velice významným civilizačním statkem v celém světě (Pleiner 1962). Počátky využívání tohoto kovu jsou vázány na náhodné nálezy železných meteoritů. Ty jsou díky specifickému geochemickému složení dobře odlišitelné od materiálu z pozdější přímé i nepřímé výroby (Chen et al. 2018). Technologie získávání železa z rudy a jeho následná úprava pochází z Anatólie a severní Sýrie. Kolem roku 3000 př. n. l. začali lidé získávat železo pyrometalurgickým zpracováním železné rudy. Pozůstatky vsázek můžeme dodnes nalézt v historických struskách (Pleiner 1984). V období 7. a 6. století př.n.l., tedy v době halštatské, nacházíme první náznaky těžby a zpracování železné rudy u nás (Pleiner 1984).

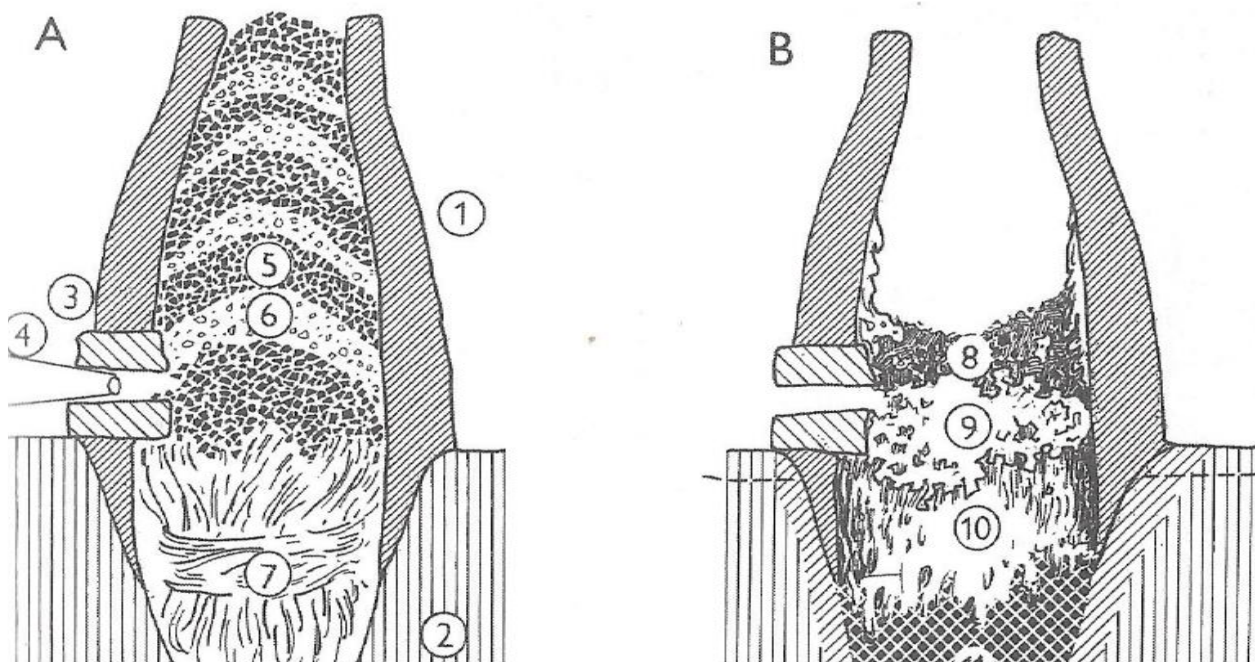
Přímá výroba

Přímá výroba železa je dosud nejdéle používanou formou hutnění železa na našem území (Stránský et al. 2000). Při hutnění železa přímou metodou se oxidy železa redukuje dřevěným uhlím při teplotách nižších, než je nutné k roztavení nízkouhlíkové oceli (1300-1350 °C) a vzniká kujné těstovité železo (Pleiner 1984). Dřevěné uhlí sloužilo jako palivo i jako redukční činidlo (Brož 1988). Ruda, kterou dříve lidé používali, obsahovala kolem 80 % Fe_2O_3 a 10 % SiO_2 a byla přehřívána na otevřených ohništích (viz obr. 4), čímž ztratila nežádoucí vlhkost a poté se s ní dalo lépe pracovat (Pleiner 1984). Tepelně upravená ruda byla naformátovaná přibližně na velikost lískového ořechu a společně se struskotvornými přísadami a aditivami se stala součástí hutnické vsázky. Celý cyklus tavby začínal přehřevem pece. V této fázi bylo do pece přidáváno pouze palivo. Následně začala být vsazována i ruda společně se struskotvornými přísadami. Na obr. 5 je dobře patrná stratifikace vsazovaného materiálu, kdy se střídají vrstvy tvořené palivem a rudou. Součástí pece byl i měch, který zajišťoval dodávku potřebného množství vzduchu. V počátcích hutnictví byl měch poháněn lidskou silou. Využitím hybné síly zvířat a vodních zdrojů byl s vývojem technologií postupně mechanizován. Měch musel zajistit přívod minimálně 200-300 l/min vzduchu podle velikosti pece. Celý proces hutnění trval mezi 4-12 hodinami, podle toho, jak byla pec velká. Čím větší pec byla, tím déle hutnění trvalo kvůli většímu množství vsázky. Po otevření pece byl z níštěje vylomen slitek tvořený železnou houbou a struskou. Snahou tehdejších hutníků bylo strusku v průběhu tavby odpouštět. Po vytažení byla houba opatrně překována, tím došlo k odstranění většího množství strusky a zároveň částečné kompakci jinak velmi porézního materiálu (Pleiner 1984). Následující produkt v podobě houby musel být přepracován

metodou kovářského svařování, aby byl zbaven zbytku strusky a mohl být použit na výrobu různých nástrojů či zbraní (Brož 1988). Odhaduje se, že při rozměrech pece se zahloubenou nístějí (viz obr. 5) 60 až 80 cm do výšky a o průměru 35 cm, vznikl slitek železné houby o hmotnosti 5-12 kg a strusky o hmotnosti 25-50 kg. Při takovém množství byla spotřeba dřevěného uhlí 75-150 kg a železné rudy okolo 50-100 kg (Pleiner 1984).



Obr. 4 - otevřené ohniště (převzato podle Duška in Pleiner 1984)



Obr. 5 - Postup výroby železa v peci se zahloubenou nístějí

A – situace před tavbou: 1 šachta, 2 zahloubená nístěj, 3 keramická výfučna, 4 dmychadlo, 5 dřevěné uhlí, 6 železná ruda, 7 snop slámy nebo otep klestí

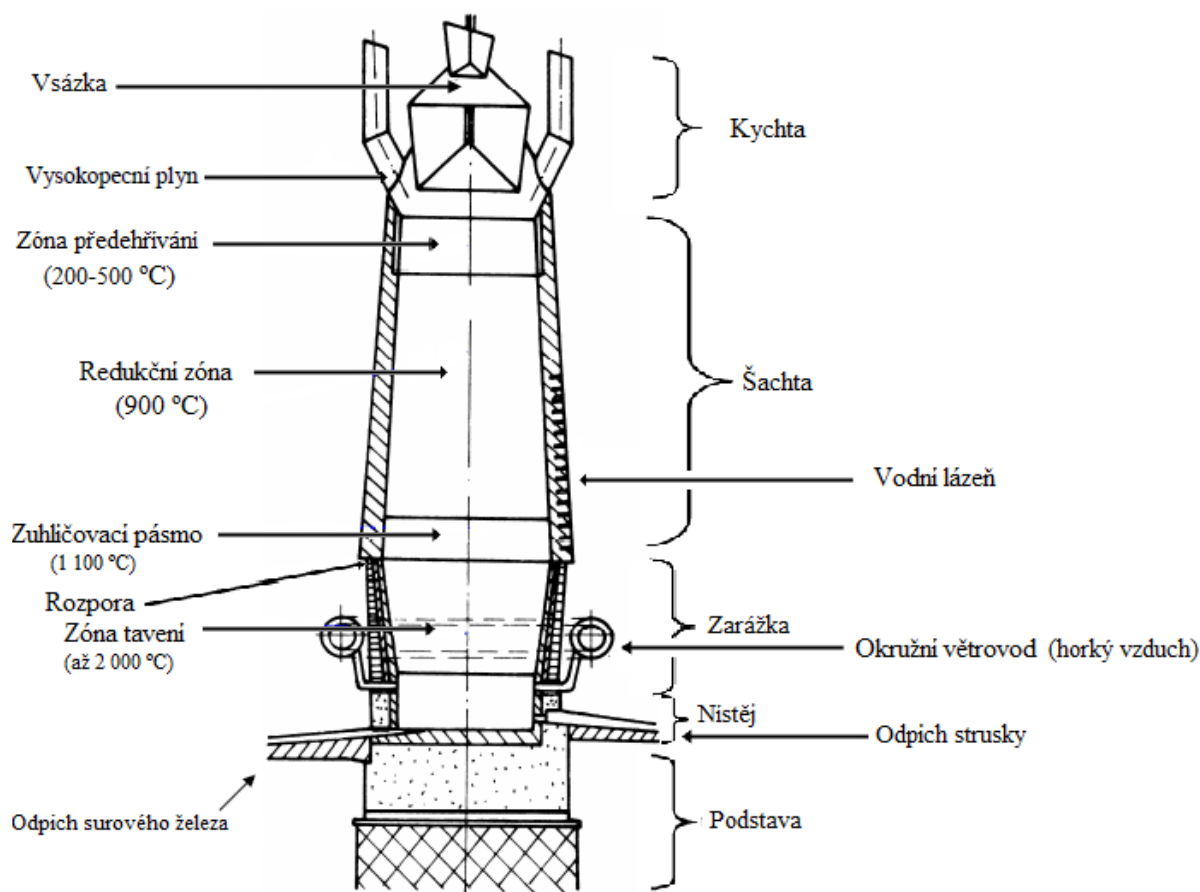
B – situace po skončení tavby: 8 zbytky paliva, rudy, strusky, 9 železná houba prostoupená struskou, 10 blok strusky proteklé póry železné houby, 11 zbytky paliva v nístěji

(převzato podle Pleinera 1984)

Nepřímá výroba

Nepřímá výroba železa znamenala technologický i ekonomický pokrok, a to díky přesunu výroby železa do vysokých pecí (Pleiner 1984). Ty byly pravděpodobně vynalezené před rokem 1200 ve Švédsku. Na poměry v té době byla vysoká pec obrovské zařízení, které spotřebovávalo velké množství hnědého uhlí a muselo mít nepřetržitý přísun vody, aby se celá pec zvládla neustále chladit (Fabritius 1998). Vsázka do vysokých pecí se příliš neliší od vsázek do pecí při přímé výrobě, pouze množstvím, které ve vysokých pecích bylo značně vyšší. Vsázka se skládá z paliva, struskotvorných přísad a železné rudy (Brož 1988).

Spalováním paliva se v peci vytváří teplo a redukční látky, nauhličuje se železo a vytváří se struska, zejména ve spodní části pece. Palivo musí splňovat určité podmínky, především aby i za teploty okolo 2000 °C zůstalo celistvé. Tuto podmínku splňuje nejlépe černouhelný koks (Brož 1988). Struskotvorné přísady tvoří především vápenec, vápno a dolomit. Účelem struskotvorných přísad je odvádět z vysoké pece nežádoucí látky jako jsou nezredukované oxidy a síru ve struskách (Brož 1988). Vsázka obsahuje potřebné množství železa ve formě oxidů a je vkládána spolu s ostatními materiály do kychty vysoké pece (viz obr. 6). Objem vsázky tvoří železná ruda spolu se struskotvorným materiálem a hlavně palivo, jenž funguje jako motor celého procesu v peci (Brož 1988). Samotná vysoká pec dosahuje výšky většinou okolo 25 až 40 m s objemem kolem 1300 m³ (Pleiner 2000). Vysoká pec se skládá ze dvou kuželovitých částí nazvaných šachta a podstava. Šachta je svrchní část pece, v níž je uložena vsázka, přes kterou veškerý materiál putuje níže do pece. Svou základnou je šachta spojena s podstavou, kde se nachází nístěj pece. Vzduch je do pece přiváděn přes 16 výfučen pomocí dmychadel nebo modernějších turbodmychadel. V podstavě nalezneme 2 odpichy, jak pro surové železo, tak pro samotnou strusku, což je pokrok od starších modelů, kde bylo surové železo i struska odváděna přes jeden otvor. Celá vysoká pec, kromě kychty, je nepřetržitě ochlazována studenou vodou (Bothe 1989). Každá vysoká pec pracuje několik



Obr. 6 - Vysoká pec (převzato a upraveno podle Botheho 1989, Dvořáková 2017)

let v kuse. Shora se pec neustále plní železnou rudou, koksem a struskotvornými přísadami. Do spodní části pece se neustále vhání horký vzduch obohacený kyslíkem. Uhlík se nejprve oxiduje kyslíkem na oxid uhelnatý (za teploty až 2000 °C). Oxid uhelnatý pak v redukčním pásmu postupně redukuje rudu na tuhé, pórovité surové železo. Ve spodní části pece probíhá přímá redukce oxidu železnatého uhlíkem. Surové železo stéká ke dnu vysoké pece, odkud se jednou za čtyři až šest hodin vypouští. Struska, vznikající při redukci rudy a reakcí se struskotvornými přísadami, se s železem nemísí, plave na něm a chrání železo před oxidací horkým vzduchem. Struska se vypouští horní výpustí (viz obr. 6) (Nutsch 2006).

Železářské strusky

Historické železářské strusky

Jsou nejčastějším typem strusek, které archeologové nacházejí (Bachmann 1982). Vznikají tavením po hutnění železa. Jedná se o odpad, který vznikl po lidské aktivitě a je velice odolný vůči zvětrávání (Bachmann 1982). Jejich složení může být značně variabilní, a

je odrazem složení vsázky, dosažených teplot v průběhu tavby a režimu chladnutí (*Vachtl 1962*). Běžné chemické složení historických strusek uvádí obsahy FeO okolo 40 až 70 hm. %, SiO₂ v rozmezí 15-40 hm. % a Fe₂O₃ 0-15 hm. %. Obsahy CaO většinou nepřesahují 8 hm. % (*Pleiner 2000*). Rozlišujeme 2 základní typy železářských strusek. První je struska z nístějí pecí a druhá je struska odpichová (*Souchopová, Stránský 2011*). Struska z nístějí pecí se usazovala na dně nístěje a nevypouštěla se ven. Zde vychladla, ztuhla a buďto byla ponechána v peci, nebo se poté jako celek odstranila z nístěje a přemístila na haldu. Odpichová struska je během tavby vypouštěna z pece ven. Oproti strusce z nístěje pece má typický vzhled proudění hmoty (*Souchopová a Stránský 2011*). Rozpoznáváme 3 základní strukturní typy železářských strusek. První jsou fayalitové strusky, které obsahují především sklo a wüstit. Dalším typem jsou strusky sklovité, obsahující malý podíl fayalitu a železa. Posledním typem jsou strusky s vysokým obsahem železa, které mají větší podíl kovu vedle obsahu skla a fayalitu (*Fellsová 1983*).

To, jestli je struska kyselé nebo zásadité výrazně ovlivňuje její viskozitu. Kyselé strusky mají vyšší vnitřní tření a teplotu tání. Díky tomu mají nižší fluiditu. Nejsou tak běžné jako strusky zásadité (*Vachtl 1962*). Struktura značně závisí na obsahu skla a velikosti krystalů. Většinou záleží na rychlosti ochlazování materiálu, ale i na výchozím chemickém složení taveniny.

Při tavení železa je zapotřebí, aby co nejvíce strusky bylo odstraněno z výsledného železa jejím odtokem. Tavicí proces proto musí probíhat při teplotě, která vede k vytvoření strusky o nízké viskozitě, ale zároveň nezpůsobí zkapalnění železa. Teplota pro odtok strusky závisí na chemismu, ale nejčastěji se pohybuje okolo 1150 °C, tedy nad minimální teplotou, při které může být oxid železa redukován na železo, ale zároveň je podstatně pod teplotou tání železa, která činí 1538 °C (*Tylecote 1962*). Ve struskách můžeme často nalézt zbytky dřeva, nebo dřevěného uhlí, které ve strusce zůstalo po tavicích procesech.

Nejméně žádanými látkami ve výsledném železe jsou inkluze sulfidů. Strusková tavenina slouží k odvodu těchto látek. Čím je zásaditější, tím vyšší je rozpustnost sulfidů v tavenině. Při ochlazení se sulfidy vylučují jako submikroskopické kapky a krystalky, především CaS, FeS a MgS (*Gregerová 1996*).

Moderní železářské strusky

Strusky jsou obvykle hemikrystalické, to znamená, že jsou složeny z krystalů a také ze sklovité fáze nebo sklovité. Méně běžné jsou strusky holokrystalické (Gregerová 1996). Jako hlavní minerál se v moderních struskách vyskytuje melilit. Melilit je izomorfní směs tvořená v zásaditých struskách především gehlenitovou ($\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_2\text{O}_7$) a äkermanitovou ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) složkou. Melilit je v kyselých struskách často provázen diopsidem ($\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$), který ovšem může být nahrazen i jiným pyroxenem, například augitem ($\text{CaMgFe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$. Popřípadě je struska tvořená olivínem (Fe_2SiO_4) (Gregerová 1996).

Přesto, že se jedná o odpad, mohou mít strusky různé využití podle toho, o jaký typ se jedná. Například vysokopecní strusky je možné zpracovávat drcením, tříděním a granulací na šterk, struskovou pemzu a pro využití ve výrobě tvárnic, sklárství a funguje i jako výborné hnojivo k vápnění kyselých půd. Ocelářské strusky jsou považovány za nejatraktivnější materiál z hlediska zpracování druhotných surovin. Obzvláště nyní se ocelářská struska zpracovává přímo v hutních provozech a poté se vrací zpět do pecí. Dále jsou strusky používány například na stavební materiál jako je drcený kámen, či se přidávají do betonu. Struskové písky jsou podobné jako drcené strusky (liší se pouze velikostně) přimíchávány do malt a betonů, ovšem nesmí obsahovat podstatné množství síry. Výsledné malty jsou potom lehké a prodyšné a hodí se zejména pro lehké části staveb (Gregerová 1996).

Metodika práce

Vzorky byly získány z povrchových sběrů a mělkých sondážních jam, realizovaných na vybraných lokalitách v Kadově a jeho blízkém okolí. Přesná lokalizace jednotlivých odběrových míst je vyznačena na mapě (viz obr. 7). Celková hmotnost všech sebraných vzorků strusek lehce přesahuje 30 kg. Rozdělení a následné číselné označení strusek (KD1-KD5) je odvozeno od místa odběru. Pro identifikaci jednotlivých vzorků bylo zvoleno písemné označení a,b,c,d. Pro bližší analýzu bylo vybráno celkem 12 reprezentativních vzorků.

Metodický rámec:

- 1) Byl proveden podrobný makroskopický popis všech studovaných vzorků.
- 2) Pro stanovení hustoty byl použit pyknometr o objemu 50 ml. Kvůli vysokému obsahu pórů byly strusky nejprve roztlučeny a následně nahrubo rozemlety ve vibračním mlýnu. Celkem byly provedeny 2 měření hustoty na každém vzorku. Rozemletý

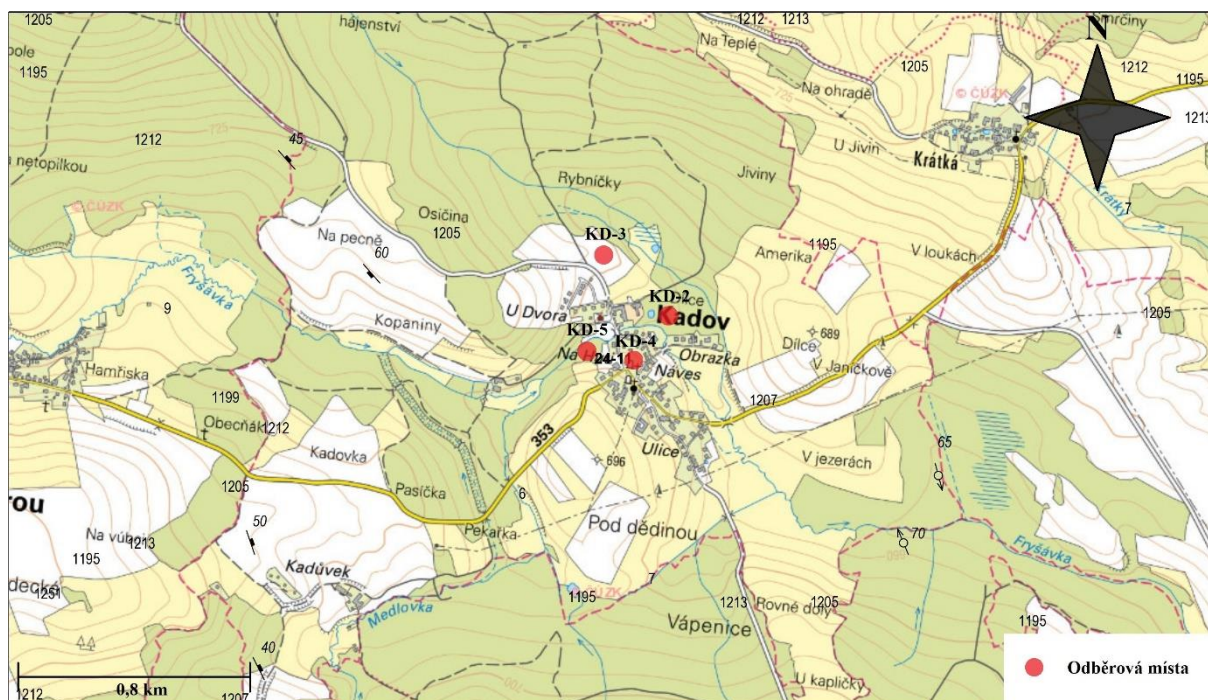
vzorek byl zvážen samostatně a pak i v pyknometru, který obsahoval destilovanou vodu. Hustota byla vypočtena podle vzorce $\rho = m / V$.

- 3) Magnetická susceptibilita byla stanovena na kapamůstku KLY-4S (výrobce AGICO s.r.o). Od každého vzorku byl použit jeden odřezek, který byl následně 3x změřen a výsledky byly poté zprůměrovány. Pro výpočet byl použit následující vzorec: $x[m^3kg^{-1}] = K[SI] * 10 / m[g] / 1000$. Výsledky z analýzy jsou uvedeny v jednotkách SI.
- 4) Ze všech 12 vybraných vzorků byly vyhotoveny leštěné výbrusy. Ty byly následně podrobně studovány v procházejícím a odráženém světle na polarizačním mikroskopu BX-50 od firmy Olympus.
- 5) Pro potřeby studia na elektronové mikrosondě byly 4 vybrané výbrusy potaženy vrstvou grafitu. Bodové analýzy jednotlivých fází byly provedeny metodou EDX na elektronové mikrosondě JEOL JXA-8600 s EDX analyzátozem SAMx na Katedře geologie PřF UP Olomouc. Zároveň byla pořízena fotodokumentace ve zpětně rozptýlených elektronech (BSE). Podmínky analýz byly následující: urychlovací napětí 15 kV a proudu svazku 10 nA, doba načítání spektra 60 s. Pro kvantifikaci bylo využito následujících standardů: albit (Na), diopsid (Mg, Ca), mikroklin (Al, Si, K), magnetit (Fe), baryt (Ba), elementární Mn (Mn), ilmenit (Ti), sfalerit (S), elementární Cu (Cu), apatit (P).
- 6) Vybrané vzorky byly následně rozemlety na analytickou jemnost ve vibračním mlýnku (doba mletí cca 60 s). Celkový chemismus vzorku KD-1 byl stanoven 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 žíháním). Hlavní oxidy a stopové prvky vybraných jedenácti vzorků byly analyzovány metodou WDX-XRF na přístroji S4 Pioneer na Katedře geologie PřF UP Olomouc. Načítací časy na píku byly 30 s pro hlavní oxidy a 60 s pro stopové prvky. Pro stanovení pozadí byly voleny 1/3 časy.

Výsledky

Terénní práce

Náplní terénní části byl odběr vzorků a fotodokumentace lokalit. Veškerá místa odběrů vzorků se nachází nedaleko od bývalých železáren, které jsou lokalizované v samém středu obce a jsou vzdálené cca 7 km severně od Nového Města na Moravě. Jediná předem známá lokalita pro odběr strusek byla halda, nacházející se cca 200 m severo-východně od železáren. Ostatní odběrová místa byla identifikována autorem práce v okruhu do 1 km od bývalých železáren.



Obr. 7 - Odběrová místa (www2)

Lokalita Kadov – Halda (KD-2)

Na strusky nejbohatším odběrovým místem byla stará halda, která se nachází na souřadnicích 49.634755N, 16.080944E. Lokalita je přístupná vyšlapanou cestou spojující obec s okolními poli a stavbami v blízkém sousedství. K dnešnímu dni je povrch haldy pokrytý porostem jehličnatých a listnatých stromů. V půdě stanoviště je obsaženo vysoké množství strusek. Pro snazší odběr vzorků posloužily vývraty stromů (viz obr. 8). Na lokalitě bylo odebráno celkem 20 kg vzorků.



Obr. 8 – Halda, vývrat stromu (KD-2)

Lokalita Kadov – Pole (KD-3)

Nejsevernější lokalita (viz obr. 7) odběru se nachází pár metrů za místní hlavní komunikací na souřadnicích 49.636630N, 16.076844E. Díky aktivním pracím na poli nebylo nutné kopat pro odběr vzorků mělké sondáže, ale stačilo se zaměřit na povrchový sběr. Vlivem činnosti těžké techniky, jsou vzorky z této lokality menších rozměrů (mezi 5-7 cm) oproti ostatním lokalitám. Z této lokality byl celkem odebrán přibližně 1 kg strusek.



Obr. 9 – Pole (KD-3)

Lokalita Kadov – Bývalé železářny (KD-4)

Lokalita se nachází ve středu obce (viz obr. 7) na souřadnicích 49.633245N, 16.079419E. Místo je dobře udržované a nachází se zde i pomník, připomínající bývalé hutě. Na lokalitě jsou stále situovány části obvodového zdiva budov bývalých železáren, které jsou zarostlé vegetací (viz obr. 10). Strusky zde byly odebrány pouze z mělkých sondáží, hlubokých první desítky centimetrů. Z lokality bylo získáno celkem 5 kg struskových hmot.



Obr. 10 - Bývalé železářny (KD-4)

Lokalita Kadov – Fryšávka (KD-5)

Poslední lokalita se nachází na východním okraji obce (viz obr. 7), na souřadnicích 49.633678N, 16.077198E. Lokalita je reprezentována malým kouskem půdy na pravém břehu říčky Fryšávky, která protéká obcí Kadov. Společně s areálem kadovských železáren (KD-4) je tato lokalita na strusky velmi bohatá. Strusky jsou zde většinou uloženy těsně pod travnatým povrchem. Z lokality bylo odebráno přibližně 4 kg strusek.



Obr. 11 - Okolí říčky Fryšávky (KD-5)

Laboratorní část

Makroskopický popis strusek

1. Struska KD-1: Tento vzorek byl dodán vedoucím mé bakalářské práce již ve formě výbrusu.

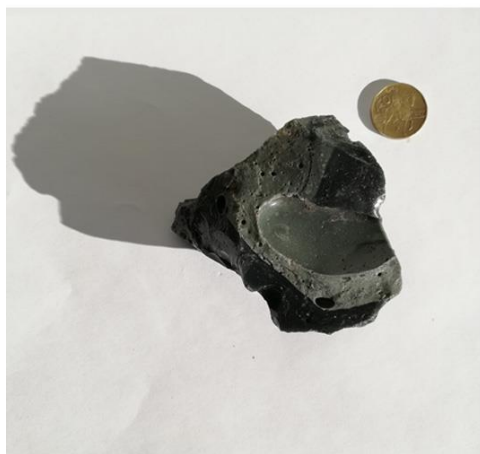
2. Strusky z haldy: Vzorky se od sebe liší barvou i množstvím pórů, které jsou velikostně značně variabilní a např. ve vzorku KD-2a dosahují velikosti až 6 cm. Tvary pórů jsou různé, ale převažují okrouhlé. Barvy vzorků se pohybují od černé přes tmavě červenou až po zelenou. U vzorku KD-2c je možné na základě ostrého barevného rozhraní (obr. 12) makroskopicky odlišit dvě různé struskové taveniny. Vzorek byl proto pro měření hustoty a magnetické susceptibility rozdělen na dva dílčí vzorky KD-2ca (černá barva) a KD-2ci (šedá barva). Strusky KD-2b a KD-2d tvoří přibližně kvádrový tvar a strusky KD-2a a KD-2c jsou nepravidelné. Strusky mají skelný lesk a jejich velikost se pohybuje v rozmezí od 9 do 27 cm. Hmotnost vzorků je od 457 g až po cca 8 kg. Všechny vzorky mají lasturnatý lom. Barva rozpráškovaného vzorku je u KD-2a a KD-2b tmavě šedá, u vzorku KD-2c šedá a u vzorku KD-2d světle zelená. Struska KD-2b je značně prostoupena železem, které na řezu koroduje.



KD-2a



KD-2b



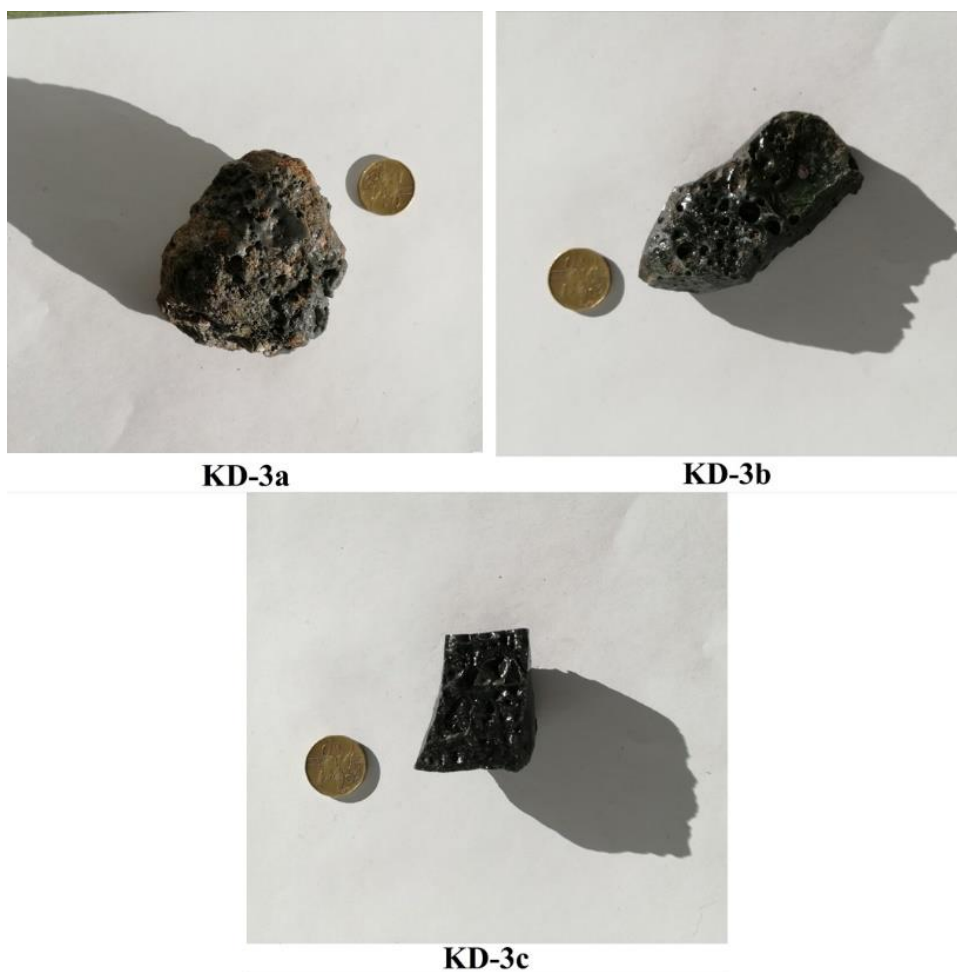
KD-2c



KD-2d

Obr. 12 – Vzorky z lokality KD-2 (Halda)

3. Strusky z lokality pole: Vzorky se váhově pohybují od 244 g do 783 g. Na první pohled se od zbytku souboru liší vzorek KD-3a, který je z většiny tvořen materiálem z neroztavené vsázky a samotná struska tvoří jen část jeho objemu (viz obr. 13). Na struskách je patrný tok taveniny, který je znázorněný uspořádáním pórů. Strusky jsou tvarově nepravidelné a mají matný až skelný lesk. Barva vzorků KD-3b a KD-3c je černá a u vzorku KD-3a šedá. Všechny strusky mají lasturnatý lom. Velikost strusek se pohybuje v rozmezí od 5 do 10 cm. Vzorky KD-3b a KD-3c mají vysoký počet pórů a jejich barva prášku je tmavě šedá. KD-3a má nízký obsah pórů.



Obr. 13 – Vzorky z lokality KD-3 (Pole)

4. Strusky z lokality bývalých železáren: Vzorky se od sebe navzájem dosti makroskopicky liší. Vzorek KD-4a má tmavě nazelenalou barvu a jeho lesk je skelný. U vzorku KD-4b pozorujeme spíše lesk matný a jeho barva je černá. Rozměrově se jedná o menší kusy. Velikost strusky KD-4a je 3 cm na šířku a 5 cm na délku. Její hmotnost je 186 g. Velikost strusky KD-4b je 4 cm na šířku a 8 cm na délku. Její hmotnost je 215 g. Oba vzorky mají lasturnatý lom a obsahují velké množství pórů. Barva rozpráškových vzorků je u KD-4a šedozelená a u KD-4b je tmavě šedá.



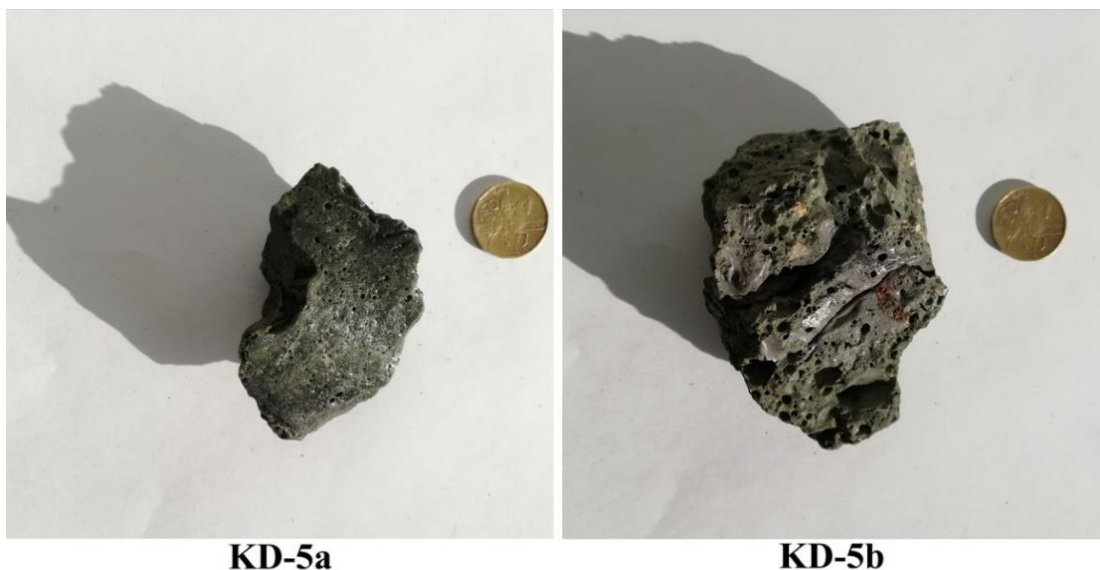
KD-4a



KD-4b

Obr. 14 – Vzorky z lokality KD-4 (Bývalé železářny)

5. Strusky z lokality okolí říčky Fryšávky: Vzorky mají podobnou zelenou barvu, ale liší se leskem, který je u KD-5a matný až skelný a u KD-5b je pouze matný. Struska KD-5a váží 455 g a její velikosti jsou 5 cm na šířku a 11 cm na délku. Velikosti vzorku KD-5b jsou 6 cm na šířku a 13 cm na délku. Jeho hmotnost je díky vysokému obsahu pórů překvapivě pouze 623 g. Vzorek KD-5a má podobně jako vzorek KD-5b vysoký obsah pórů, ale jeho póry dosahují pouze malých rozměrů, počítaných na jednotky milimetrů. Oba vzorky mají lasturnatý lom a barva rozpráškových strusek je světle zelená.



Obr. 15 – Vzorky z lokality KD-5 (Fryšávka)

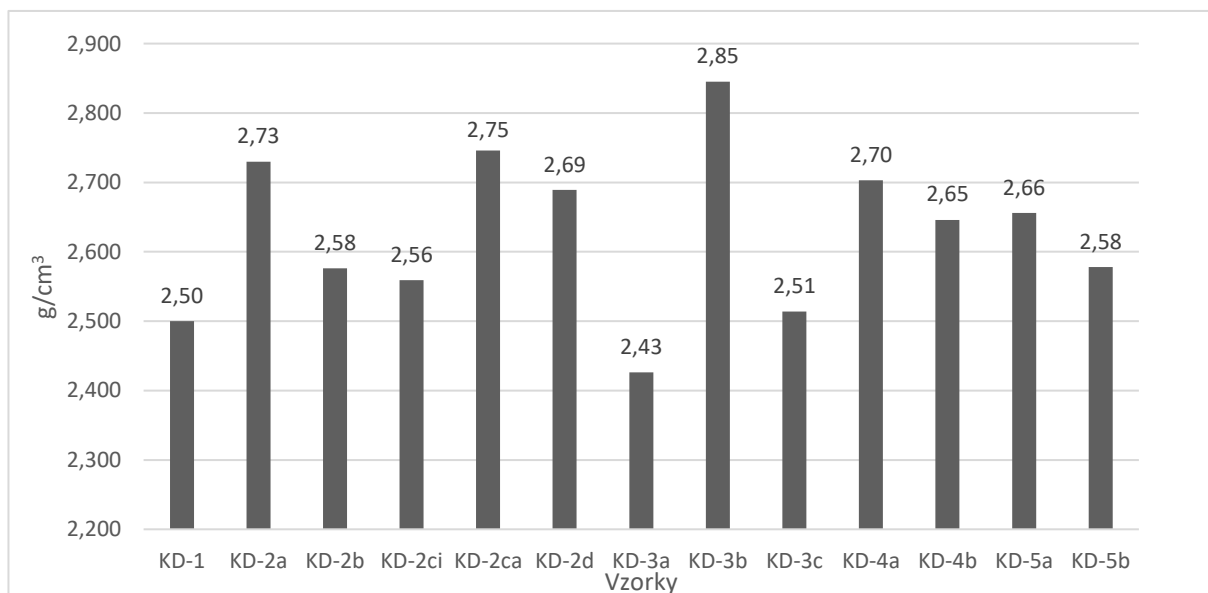
Hustota

Měřený soubor vzorků vykazoval velmi podobné hodnoty hustoty, jak je vidět v tabulce č. 1, s tím, že nejvyšší naměřená hustota je $2,85 \text{ g/cm}^3$ a nejnižší $2,5 \text{ g/cm}^3$.

Vzorek KD-1 má druhou nejnižší hustotu, pouze $2,50 \text{ g/cm}^3$. Výsledky z měření hustoty z lokality KD-2 jsou v rozmezí od $2,56 \text{ g/cm}^3$ do $2,75 \text{ g/cm}^3$ (viz tab. 1 a graf 1). Na jednom vzorku z této lokality ovšem proběhla 2 měření. Jedná se o vzorek KD-2c, jenž byl makroskopicky barevně rozlišitelný na dvě části (viz obr. 12). Strusky z lokality KD-3 mají mezi sebou největší hustotní rozdíl (viz graf 1), který činí $0,42 \text{ g/cm}^3$. Mají také nejvyšší hodnotu hustoty ze všech měření, a to $2,85 \text{ g/cm}^3$ (viz tab. 1). Hustota vzorků z lokality KD-4 je téměř totožná, jelikož jsou jejich hodnoty $2,70 \text{ g/cm}^3$ a $2,65 \text{ g/cm}^3$. Vzorky KD-5 mají velice podobnou hustotu jako vzorky KD-4. Dělí je pouze malý hustotní rozdíl, jenž zde tvoří zanedbatelných $0,08 \text{ g/cm}^3$.

Tabulka 1 - Výsledky měření hustoty

Vzorek	g/cm^3
KD-1	2,50
KD-2a	2,73
KD-2b	2,58
KD-2ci	2,56
KD-2ca	2,75
KD-2d	2,69
KD-3a	2,43
KD-3b	2,85
KD-3c	2,51
KD-4a	2,70
KD-4b	2,65
KD-5a	2,66
KD-5b	2,58



Graf 1 - Výsledky měření hustoty

Magnetická susceptibilita

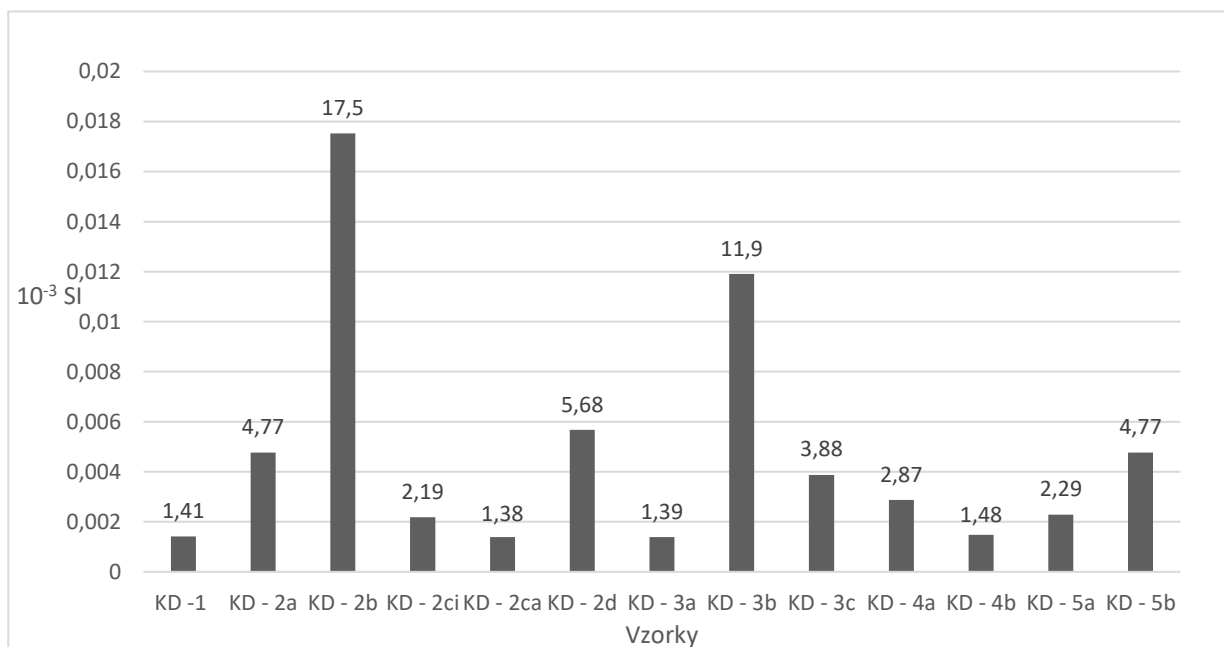
Z naměřené magnetické susceptibility můžeme určit, zda jsou vzorky diamagnetické, či feromagnetické. Nejvyšší hodnotu magnetické susceptibility dosahuje vzorek KD-2b a to 0,0175 SI. Nejnižší hodnota byla naměřena u vzorku KD-2ca (0,00138 SI) (viz tab.2).

Magnetická susceptibilita je ve všech vzorcích velice podobná a rozdíl se počítá v tisícinách. Jediné vzorky, které dosáhly hodnot v setinách jsou KD-2b a KD-3b a všechny

vykazují diamagnetické vlastnosti (+), pravděpodobně díky přítomnosti kovového železa. Žádný ze vzorků není feromagnetický.

Tabulka 2 - Výsledky měření magnetické susceptibility

Vzorek	Průměrná hodnota měření (10^{-3} SI)	Magnetičnost
KD - 1	1,41	+
KD - 2a	4,77	+
KD - 2b	17,5	+
KD - 2ci	2,19	+
KD - 2ca	1,38	+
KD - 2d	5,67	+
KD - 3a	1,39	+
KD - 3b	11,9	+
KD - 3c	3,88	+
KD - 4a	2,87	+
KD - 4b	1,48	+
KD - 5a	2,29	+
KD - 5b	4,77	+



Graf 2 - Výsledky magnetické susceptibility

Chemismus vzorků

Tabulka 3 - Celkový chemismus strusek ze všech lokalit. Uvedené obsahy v hm. %. (- neanalyzováno)

Vzorek	KD-1	KD-2a	KD-2b	KD-2c	KD-2d	KD-3a	KD-3b	KD-3c	KD-4a	KD-5a	KD-5b
SO ₃	0,02	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02
P ₂ O ₅	0,05	0,03	0,05	0,01	0,02	0,12	0,01	0,01	-	0,08	0,06
SiO ₂	55,36	64,11	62,84	58,11	56,40	75,84	55,58	52,76	52,54	55,36	58,16
TiO ₂	0,63	0,62	0,60	0,74	0,66	0,40	1,00	0,63	0,78	0,58	0,52
Al ₂ O ₃	16,48	13,31	14,05	15,00	13,39	9,36	15,76	13,16	15,89	13,13	12,35
Cr ₂ O ₃	-	0,18	0,13	0,17	0,20	0,06	0,14	0,08	0,10	0,01	0,01
MgO	3,29	4,95	6,02	7,19	6,92	2,75	6,21	5,47	7,12	2,81	6,16
CaO	13,04	10,80	12,37	14,78	13,85	5,79	15,09	14,41	15,22	14,35	11,86
MnO	0,86	1,28	1,36	1,51	2,05	0,89	1,84	2,39	2,25	0,69	1,67
FeO	5,36	5,56	4,31	1,91	3,19	1,84	2,56	3,81	0,90	8,22	4,13
Na ₂ O	0,60	0,39	0,38	0,38	0,62	0,35	0,93	0,43	0,32	0,67	0,40
K ₂ O	2,38	1,28	1,42	1,58	1,41	1,16	1,73	1,80	1,58	2,14	2,90
Celkem	98,07	102,65	103,66	101,53	98,89	98,63	100,97	95,16	96,95	98,14	98,42

80,30-91,00 hm. % z celkového složení strusek se dá vyjádřit prostřednictvím SiO₂ (52,54-75,84 hm. %), Al₂O₃ (9,36-16,48 hm. %) a CaO (5,79-15,09 hm. %). Nejvyšších obsahů dosahuje SiO₂ u vzorku KD-3a (75,84 hm. %) a nejnižších naopak u vzorku KD-4a (52,54 hm. %). Zajímavé jsou téměř totožné obsahy Al₂O₃ a CaO (viz tab. 3). Obsahy FeO se u většiny vzorků pohybují okolo 5 hm. %. Ze studovaného souboru vybočuje struska KD-4a s nezvykle nízkými obsahy FeO (0,90 hm. %), které jsou bez výrazné negativní korelace spojeny s nárůstem MnO (2,39 hm. %). Naopak maximum pro FeO (8,22 hm. %) je provázáno minimem pro MnO (0,69 hm. %). Relativně rozkolísané jsou obsahy MgO, které se pohybují v rozmezí 2,75-7,19 hm. %. U alkálií vždy převažuje K₂O (1,16-2,90 hm. %) nad Na₂O (0,32-0,93 hm. %). TiO₂ nepřekonává v celém souboru 1 hm. % a obsah P₂O₅ je jen v jednom případě vyšší než 0,1 hm. % (KD-3a - 0,12 hm. %). Zjištěné obsahy SO₃ jsou téměř zanedbatelné (0,01-0,04 hm. %). Ze zpracovávaného souboru nejvíce vybočuje vzorek KD-3a, ten má díky vysokým obsahům SiO₂ výrazně potlačeno zastoupení ostatních horninových oxidů (Al₂O₃ – 9,36 hm. %, CaO – 5,79 hm. %, FeO – 0,90 hm. %).

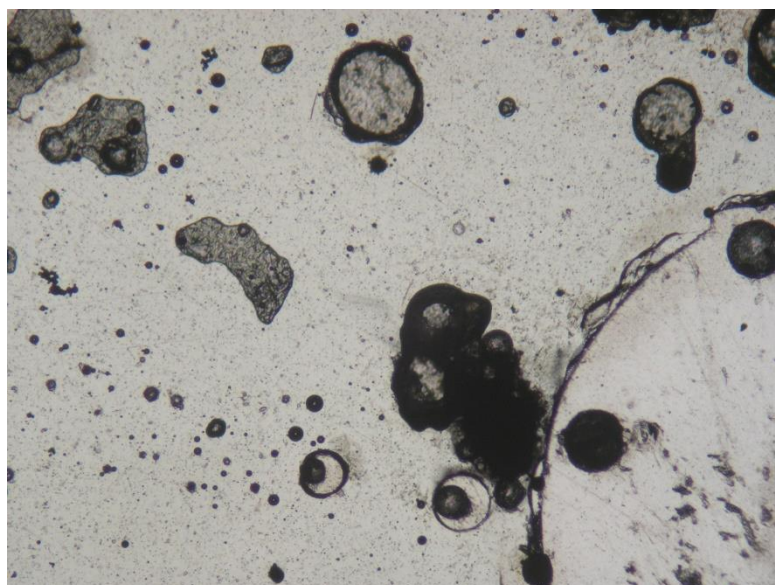
Tabulka 4 - Stopové prvky v ppm ve struskách ze všech lokalit KD. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Prvky v ppm	KD-1	KD-2a	KD-2b	KD-2c	KD-2d	KD-3a	KD-3b	KD-3c	KD-4a	KD-5a	KD-5b
Ni	40	27	36	13	12	13	13	12	11	b.d.	13
Zn	10	21	18	b.d.	479	16	15	23	b.d.	b.d.	44
Rb	184	70	75	82	78	62	96	93	72	97	141
Sr	259	123	130	167	161	77	205	200	166	170	152
Zr	186	170	160	195	152	112	208	180	200	189	160
Ba	420	620	636	826	707	520	599	1407	1592	316	1220
Pb	3	b.d.	b.d.	b.d.	6	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

Mezi vybranými stopovými prvky jednoznačně dominuje Ba, které dosahuje maxima 1592 ppm ve vzorku KD-4a (viz tab. 4). Systematicky navýšené obsahy Ba (nad 1220 ppm) mají také vzorky KD-3c a KD-5b. Naopak nejméně zastoupený prvek ve vzorcích je Pb, které bylo stanoveno nad mezí stanovitelnosti jen u dvou vzorků, a to ve strusce KD-2d (6 ppm) a KD-1 (3 ppm). Vzorek KD-2d má oproti ostatním vysoký obsah zinku, jehož hodnota je 479 ppm, kdežto u jiných nepřesahuje 44 ppm (viz tab. 4). Nejchudší na stopové prvky je vzorek KD-3a, s nejnižšími obsahy Zr (112 ppm), Sr (77 ppm) a Rb (62 ppm) (viz tab. 4).

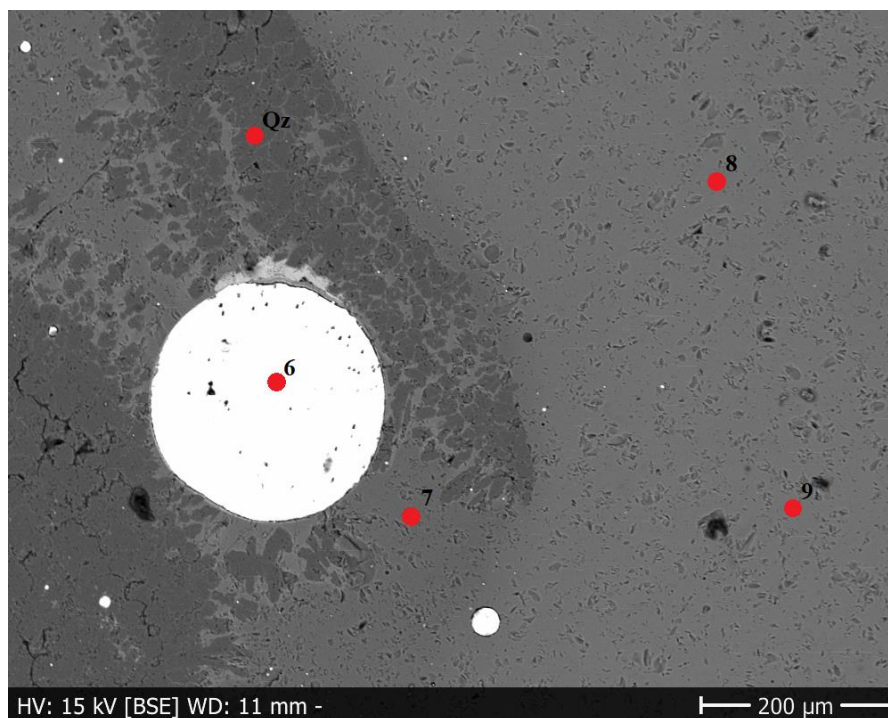
Fázové složení strusek

KD – 1 – Vzorek je tvořen převážně izotropním sklem tmavě šedé barvy a v podstatné míře i póry. Velikost pórů se pohybuje od submikroskopických do 6,75 mm. Množství opakních fází je ve výbruse pouze akcesorické. Kapičky těchto opakních fází mají velikost maximálně do 0,15 mm. V odráženém světle je vzorek z většiny šedý díky sklu a neroztavené vsázce, která má tmavší šedou barvu a černou barvu tvoří póry. V zanedbatelném množství můžeme pozorovat akcesorické, bílé kapky železa. Vidíme zde zrna křemene, která jsou xenomorfně omezena a rozsah jejich interferenčních barev se pohybuje od světle šedé po béžovou.



Obr. 16 - PPL snímek vzorku KD-1 – opakní fáze s relikty křemene

KD – 2a – Podstatná část studovaného výbrusu je tvořena sklovitou fází, která je ve zkřížených nikolech opticky izotropní a má světle šedou barvu. Ve skle jsou nepravidelně rozptýleny drobné ostrůvky neroztavené vsázky tvořené shluky křemenných zrn, které mají rozpětí interferenčních barev od světle šedé až po sytě žlutou prvního řádu. Ve výbrusu vidíme hojné množství malých kapek železa, velikostně od submikroskopických až po 0,25 mm. Největší kapky železa jsou zachyceny mezi ostrůvky neroztavené vsázky. Póry jsou v pozorovaném řezu vzorku rozmístěny nepravidelně a dosahují velikosti od submikroskopických do 3,74 mm. Ve vzorku ale převažují malé póry, v řádu do 0,15 mm. V odráženém světle je vzorek z většiny šedý díky sklu a neroztavené vsázce, která má tmavší šedou barvu a černou barvu tvoří póry. Pomocí EDX analýzy bylo zjištěno, že na složení skla se nejvíce podílí SiO_2 (58,3-68,8 hm. %). Dále byly zjištěny nízké obsahy Na_2O (0,8-1,1 hm. %), P_2O_5 (0,4 %), TiO_2 (0,6-0,8 hm. %) a SO_3 (0,5 hm. %). FeO (3-4,1 hm. %) vykazuje v bodě 7 (3,0 hm. %) nižší obsah než v bodech 8 (4,1 hm. %) a 9 (4,1 hm. %), protože se nachází v oblasti ovlivněné natavováním křemenných zrn vsázky (68,8 hm. % SiO_2 v tab. 5) (viz obr. 17). Se stejným trendem se setkáme i u dalších prvků MnO (0,9-1,5 hm. %), K_2O (1,4-2,5 hm. %), MgO (4-5,8 hm. %), CaO (7,9-11,7 hm. %) a Al_2O_3 (11,6-15,1 hm. %). Železo v tomto vzorku obsahuje pouze nepatrné množství síry, které nepřesahuje 0,1 hm. % (viz tab. 6).



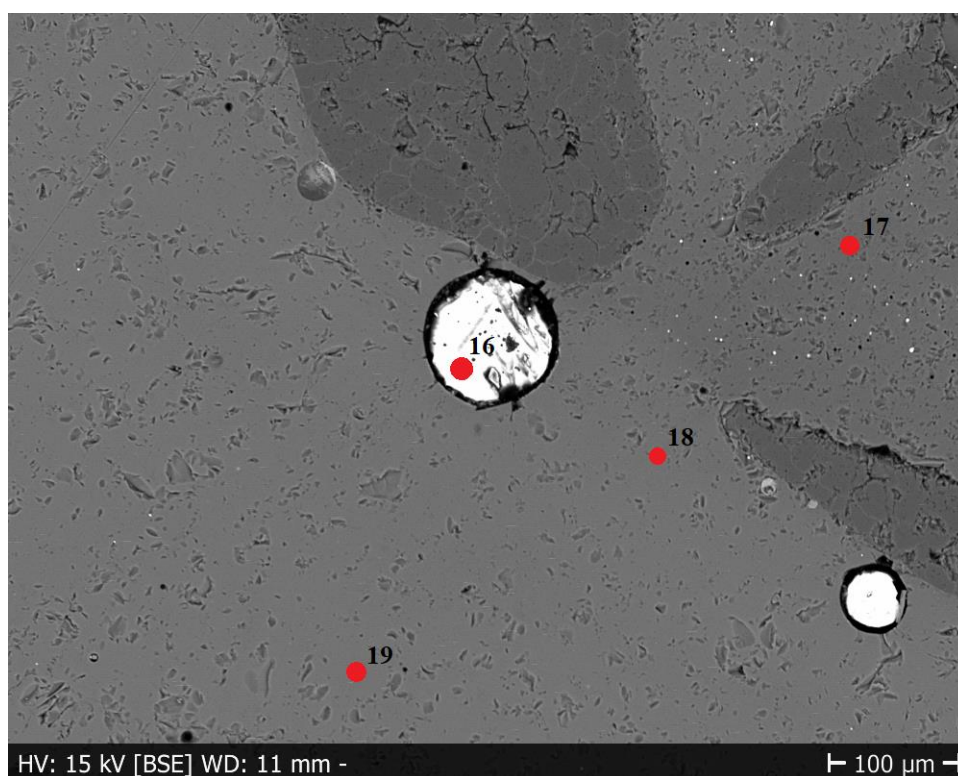
Obr. 17 – BSE snímek ze vzorku KD-2a – body odpovídající analýzám v tab. 7

Tabulka 5 - EDX analýzy skla ve vzorcích 2a a 2b. Uvedené obsahy v hm. %. (- neanalyzováno)

Vzorek	KD-2a			KD-2b		
Fáze	Sklo					
Bod	7	8	9	17	18	19
SO ₃	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
P ₂ O ₅	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
SiO ₂	68,8	58,8	58,3	82,5	60,7	60,1
TiO ₂	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8	0,7
Al ₂ O ₃	11,6	15,1	14,6	7,5	15,3	15,3
MnO	0,9	1,5	1,4	0,5	1,5	1,4
FeO	3,0	4,1	4,1	0,7	0,6	1,0
CaO	7,9	11,7	11,7	4,4	13,4	13,2
MgO	4,0	5,8	5,7	2,3	6,7	6,5
Na ₂ O	0,8	0,8	1,1	0,7	0,7	0,7
K ₂ O	2,5	1,4	1,5	3,1	1,5	1,6
Suma	100,6	100,9	100,1	103,2	102,1	101,2

KD – 2b – Tento vzorek je tvořen převážně opticky izotropním sklem, které má světle šedou barvu. Pozorujeme v něm velké množství neroztavené vsázky tvořené převážně křemenem. Zrna křemene lze pozorovat nepravidelně rozmístěná v celém výbruse. Jejich

velikost se pohybuje od 0,06 mm do 7 mm. Křemen je bezbarvý a tvoří nepravidelná zrna, která jsou xenomorfně omezená. Ve vzorku je křemen popraskaný a v XPL undulózně zháší. Interferenční barvy křemene se pohybují v rozmezí od světle šedé až po sytě žlutou prvního řádu. Ve výbruse jsou pozorovatelné i inkluze železa, které mají kapkovitý tvar (viz obr. 18) a jejich největší rozměr dosahuje až 2,6 mm. Vzorek obsahuje vysoké množství pórů, s velikostí od submikroskopických po 2,5 mm, které jsou náhodně distribuovány v ploše výbrusu. Z EDX analýzy bylo zjištěno, že hlavní složku skla tvoří SiO_2 (60,1 až 82,5 hm. %) a jeho obsah je opět silně závislý na místě provedení analýzy, jako je například vidět na obrázku 18, kde měření číslo 17 a 18 proběhla v blízkosti křemenných zrn. Sklo dále obsahuje ve větším množství CaO (4,4 až 13,4 hm. %), K_2O (1,5 až 3,1 hm. %), MgO (2,3 až 6,7 hm. %) a Al_2O_3 (7,5 až 15,3 hm. %), v menším množství pak FeO (0,7 až 1 hm. %). Na zbytku složení skloviny se podílí Na_2O (0,7 hm. %), P_2O_5 (0,3 až 0,4 hm. %), MnO (0,5 až 1,5 hm. %), TiO_2 (0,6 až 0,8 hm. %) a SO_3 (0,4 až 0,5 hm. %). Z provedených bodových analýz železa uvnitř kulovitých inkluzí vyplývá, že jejich složení je ovlivněno řadou příměsí, reprezentovaných zejména P (0,5 hm. %), Si (0,2 hm. %), Cr (0,3 hm. %) a Ni (0,1 hm. %) (viz tab. 6).

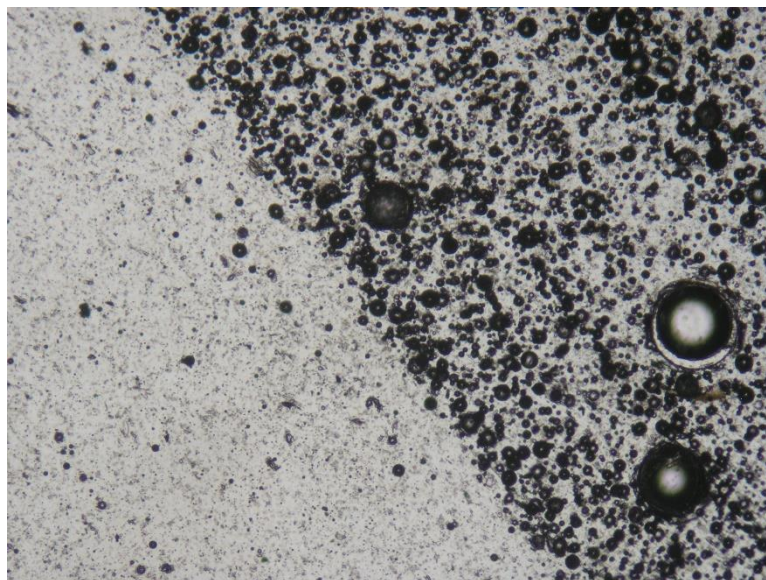


Obr. 18 - BSE snímek ze vzorku KD-2b – body odpovídající analýzám v tab. 7 a 8

Tabulka 6 - Výsledky EDX analýz železa ve vzorcích KD-2a, KD-2b a KD-5b (- neanalyzováno). Obsahy v hm. %.

Vzorek	KD-2a	KD-2b	KD-5b	
Fáze	Železo			
Bod	6	16	3	4
S	0,1	-	0,1	0,1
P	-	0,5	0,2	0,2
Si	-	0,2	-	-
Fe	100,6	97,9	100,0	98,7
Ni	-	0,1	-	-
Cr	-	0,3	-	-
Suma	100,7	99,0	100,3	99,0

KD – 2c – Z novotvořených silikátových fází obsahuje vzorek pouze sklovinu, která vytváří dvě barevně odlišitelné složky (viz obr. 12). Ty jsou rozdílné pouze makroskopicky a v mikroskopu mají stejnou barvu. Pravděpodobně se jedná o dvě taveniny lehce rozdílného složení (viz obr. 12). Sklo má světle šedou až šedou interferenční barvu prvního řádu. Ve výbruse se nachází i jeden malý kus křemene, jehož šířka je 1,15 mm a délka okolo 3 mm. Po obvodě tohoto úlomku se hojně vyskytují drobné inkluze opakní fáze o průměru nepřesahující 0,06 mm. Další inkluze opakní fáze jsou většinou submikroskopické a nepravidelně rozmístěné. Póry ve vzorku mají velikost od submikroskopických do 2,45 mm. V některých částech studovaného výbrusu jsou pravidelně uspořádány do linií (viz obr. 19). Jinak je jejich distribuce náhodná.



Obr. 19 - PPL snímek vzorku KD-2c – rozdíl v zastoupení pórů

KD – 2d – Vzorek je tvořen izotropním sklem, jehož barva je v PPL šedá. Ve výbrusu je velké množství pórů. Velikost pórů je od submikroskopických po 2,98 mm. Ve vzorku se nachází malé množství inkluzí železa jejichž velikost je pouze submikroskopická.

KD – 3a – Na tomto vzorku je patrný styk strusky s neroztavenou vsázkou. Samotná vsázka zaujímá většinu výbrusu a je tvořená křemenem. Strusky je zde pouze malé množství na okraji studovaného vzorku. Křemen je v XPL anizotropní, jeho interferenční barvy jsou prvního řádu, převážně béžové až sytě žluté. Struska je slabě porézní a převažují zde submikroskopické póry nad měřitelnými. Tyto póry nedosahují větších průměrů než 2,7 mm. Struska je tvořená sklem, které je v XPL izotropní a v PPL má béžovou barvu. Najdeme v ní i submikroskopické opakní fáze, tvořící nepravidelné útvary, které se soustředí na styku strusky s křemenem.

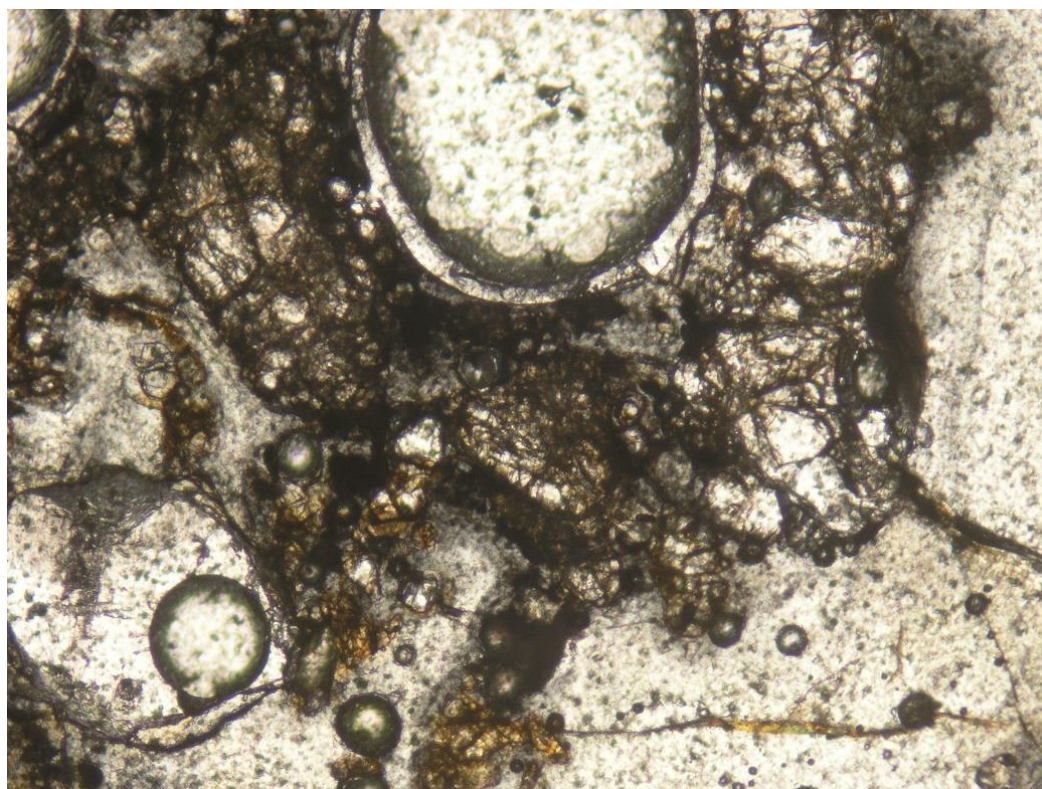
KD-3b – Vzorek je převážně tvořen sklem, které v XPL nevykazuje známky devitrifikace a v PPL má šedou barvu. Vzorek obsahuje značné množství pórů, které jsou nepravidelně rozmístěné v celém výbrusu. Rozměry pórů jsou od submikroskopických, až po póry o velikosti do 6 mm. Opakní fáze se ve výbruse vyskytují v akcesorickém množství a pouze ve formě submikroskopických kapek.

KD-3c – Vzorek je z většiny tvořen sklem, které je v XPL izotropní a v PPL se vyznačuje světle šedou barvou. Výbrus je bohatý na póry, které jsou nerovnoměrně rozmístěné v celé ploše výbrusu. V některých částech tvoří póry pruhy, naznačující tok strusky. Póry jsou zde velikostně od submikroskopických až po 2,8 mm. V PPL jsou vidět malá zrna křemene, která jsou omezena xenomorfně a v XPL undulózně zháší. Opakní fáze tvoří submikroskopické okrouhlé útvary nerovnoměrně rozmístěné ve výbrusu.

KD – 4a – Vzorek je z většiny tvořen izotropním sklem, které je v PPL sytě béžové barvy. Póry jsou zde v malém množství a jsou nepravidelně rozmístěné v celém povrchu výbrusu. Jejich velikost nepřesahuje 1,75 mm. Množství submikroskopických opakních fází je zde zanedbatelné.

KD – 4b – Vzorek je tvořen izotropním sklem, které má v PPL béžovou barvu a obsahuje podstatné množství pórů. Distribuce pórů je náhodná v celém objemu studovaného vzorku a jejich velikost je maximálně 5,2 mm. Vzorek obsahuje velké množství malých opakních kapek železa, jejichž velikost je maximálně do 0,12 mm. Křemen tvoří ve vzorku

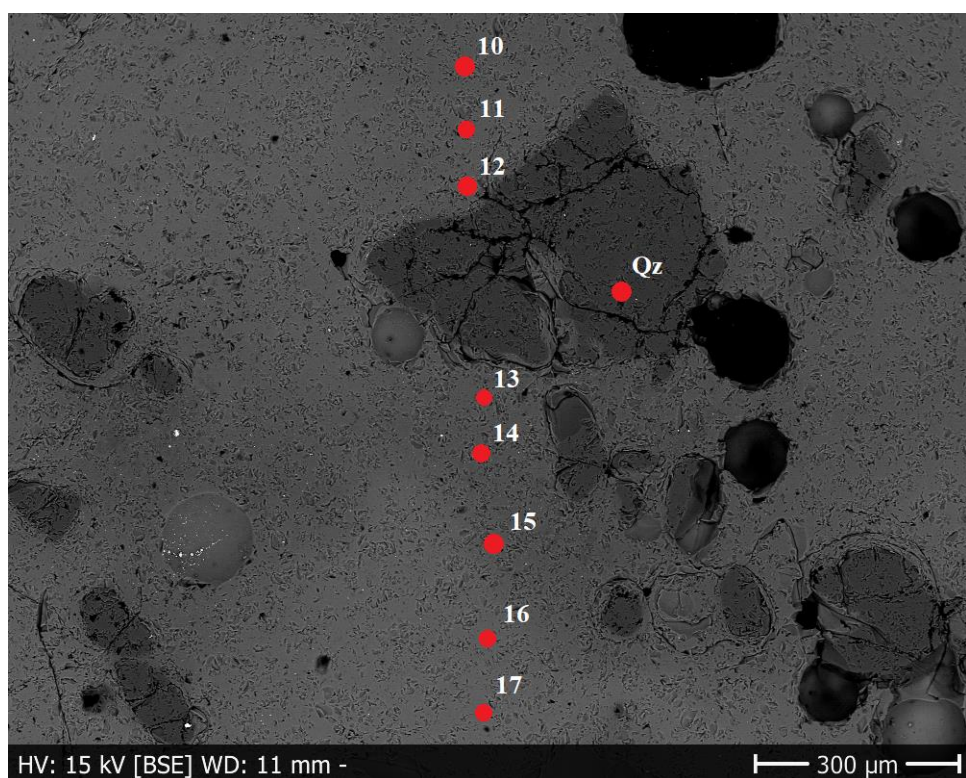
nepravidelná, někdy okrouhlá zrna, která se nachází ve shlucích. Jednotlivá zrna jsou xenomorfně omezena a v XPL zháší undulózně. Z EDX analýzy skla bylo zjištěno, že se skládá hlavně z SiO_2 (59 až 65,6 hm. %). Vyšší obsahy byly zjištěny také u K_2O (2,8 až 6,1 hm. %), CaO (5,3 až 13,9 hm. %) a Al_2O_3 (12,5 až 20,7 hm. %). K výkyvům složení, jinak poměrně homogenního skla, dochází opět pouze při kontaktu s křemennými zrny. Obsah FeO (1,3 až 4,7 hm. %) je v tomto vzorku nejvyšší ze všech studovaných výbrusech. Jen nepatrné jsou obsahy Na_2O (0,7 až 1,1 hm. %), P_2O_5 (0,4 hm. %), MnO (0,7 až 1,8 hm. %), MgO (1 až 2,8 hm. %), TiO_2 (0,5 až 0,7 hm. %) a SO_3 (0,4 až 0,6 hm. %).



Obr. 20 - PPL snímek vzorku KD-4b – shluk struskotvorného materiálu tvořený křemenem a inkluzí železa

Tabulka 7 - Výsledky EDX analýzy skla u vzorku KD-4b (- neanalyzováno). Obsahy v hm. %.

Vzorek	KD-4b							
Fáze	Sklo							
Bod	10	11	12	13	14	15	16	17
SO ₃	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
P ₂ O ₅	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-
SiO ₂	61,3	60,5	65,6	62,7	61,8	60,5	60,2	59,0
TiO ₂	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7
Al ₂ O ₃	16,7	16,5	13,4	17,9	20,7	19,2	13,9	12,5
MgO	1,5	1,8	1,7	1,4	1,0	1,6	2,5	2,8
CaO	9,8	10,4	8,6	7,1	5,3	8,3	11,6	13,9
MnO	0,9	1,0	1,0	0,7	-	0,8	1,5	1,8
FeO	2,4	2,8	2,6	2,0	1,3	2,4	4,2	4,7
K ₂ O	4,4	4,2	4,5	5,4	6,1	5,2	3,4	2,8
Na ₂ O	0,9	0,9	0,8	1,0	1,1	1,1	0,8	0,7
Suma	98,8	99,5	99,6	99,7	98,7	100,6	99,3	99,4



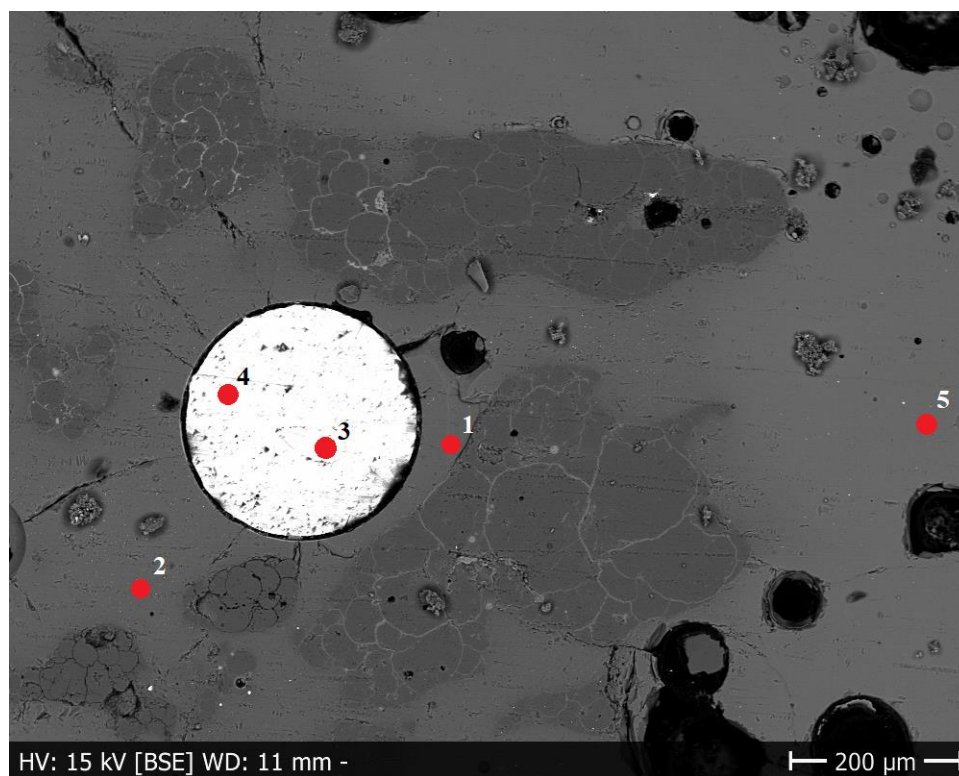
Obr. 21 - BSE snímek ze vzorku KD-4b – body odpovídající analýzám v tab. 9

KD – 5a – Studovaný vzorek je tvořen převážně izotropním sklem, které má v PPL světla šedou barvu. Pozorováno je i velké množství pórů. Ty jsou nepravidelně rozmístěny a jejich velikost je maximálně do 1,3 mm. Opakní fáze je ve formě malých kapek, které jsou nepravidelně roztroušeny v celém objemu studovaného vzorku a velikost mají maximálně do 0,1 mm. Nalezneme zde i křemen, který ve výbruse formuje 5 malých, xenomorfně omezených zrn. Tato zrna křemene undulózně zháší a mají vystupující reliéf vůči sklu. Zrna nejsou větší než 0,45 mm.

KD – 5b – Vzorek je tvořen převážně izotropním sklem s velkým množstvím pórů. Velikostně jsou póry od submikroskopických po 9,8 mm. Největší zajímavostí ve vzorku je shluk o délce 11,3 mm a šířce 4 mm. Je tvořen několika kapkami železa a početným množstvím zrn opticky anizotropního materiálu (viz obr. 20). Tato zrna jsou tvořena křemenem, který má v XPL interferenční barvy od světle šedé, přes béžovou až po sytě žlutou prvního řádu. Křemen undulózně zháší a je xenomorfně omezený. Křemen je ve strusce přítomen ještě v podobě několika malých xenomorfně omezených zrn bez přednostního uspořádání uvnitř výbrusu. V odráženém světle je vidět jeden velký shluk bílých kapek železa, jejichž velikost dosahuje maximálně 1,2 mm. Spolu s kapkami zde vidíme i pár nepravidelných zrn křemene. Zrna jsou xenomorfně omezena a ve zbytku vzorku se vyskytují nepravidelně a pouze v malém množství. Sklo tvoří většinu vzorku. Výsledky z EDX analýzy skla ukazují, že hlavní složkou je SiO_2 (57,7 až 69,7 hm. %). Obsahy FeO (2,5 až 3,1 hm. %) jsou třetí nejvyšší naměřené ze všech vzorků. Obsahy MgO (1,3 až 7,1 hm. %), CaO (1,3 až 12,5 hm. %) a Al_2O_3 (14,2 až 17,3 hm. %) se liší podle toho, kde měření proběhlo (viz obr. 22 a tab. 10). Zastoupení dalších oxidů nepřekračuje 3,0 hm. % ($0,7$ až $0,9$ hm. % NaO_2 , $0,4$ hm. % P_2O_5 , $0,6$ až $2,9$ hm. % K_2O , $1,7$ hm. % MnO , $0,7$ až $0,9$ hm. % TiO_2 a $0,4$ až $0,5$ hm. % SO_3).

Tabulka 8 - Výsledky EDX analýzy vzorku KD-5b (- neanalyzováno). Obsahy v hm. %.

Vzorek	KD-5b		
Fáze	Sklo		
Bod	1	2	5
SO ₃	0,5	0,5	0,4
P ₂ O ₅	0,4	0,4	-
SiO ₂	69,7	68,3	57,7
TiO ₂	0,8	0,9	0,7
Al ₂ O ₃	16,9	17,3	14,2
MgO	1,3	1,2	7,1
CaO	1,3	1,8	12,5
MnO	-	-	1,7
FeO	3	3,1	2,5
K ₂ O	5,8	5,8	2,9
Na ₂ O	0,8	0,9	0,7
Suma	100,5	100,2	100,4



Obr. 22 – BSE snímek ze vzorku KD-5b – body odpovídající analýzám v tab. 8 a 10

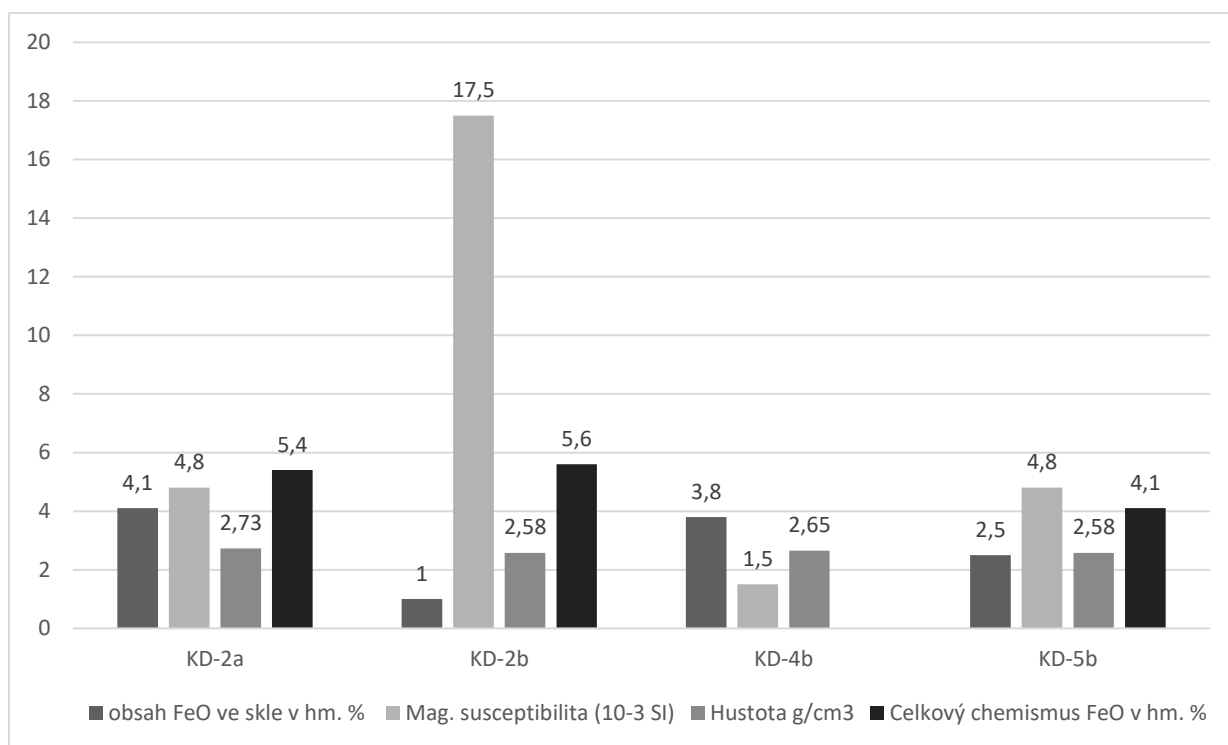
Diskuse

Hustota

Naměřené hustoty strusek z lokality Kadov jsou v rozmezí 2,43-2,85 g/cm³. Nízkou hustotu je možné spojovat s fázovým složením strusek, ve kterých dominuje sklovina. Pouze v akcesorickém množství jsou přítomny i inkluze vyredukovaných kovů a v akcesorickém až vedlejším množství i otavená křemenná zrna. Typické fáze historických a moderních strusek reprezentované olivínem (forsterit 3,27 g/cm³, fayalit 4,39 g/cm³), mellilitem (2,90-3,00 g/cm³), pyroxenem (diopsid 3,25 g/cm³, hedenbergit 3,55 g/cm³) wüstitem (5,70 g/cm³) a magnetitem (5,21 g/cm³) chybí (www3). Například Zmeškalová (2010) uvádí z hemikrystalických strusek (sklo, fayalit, wüstit, kovové železo, a dokonce i apatit) z Komárna a Dřevohostic hustoty o jednotky vyšší (3,50-4,03 g/cm³). Podobně jsou na tom i strusky od Dvořákové (2017) z Bílan, které jsou také hemikrystalické (sklo, fayalit, wüstit a křemen). Autorka jejich hustoty uvádí v rozmezí 3,09 – 6,31 g/cm³. Podobné výsledky měření hustoty se vzorky z Kadova vykazují sklovité strusky z Rajnochovic (Zmeškalová et al. 2009) a to v rozmezí od 2,2 g/cm³ do 2,8 g/cm³. Strusky s nízkou hustotou jsou v nepřímé výrobě železa výhodou, protože umožňují snazší gravitační separaci od užitkového kovu (Bachmann 1982). Absence vysokoteplotních fází zároveň zaručuje, že dochází jen minimálně k zachytu vyredukovaných kapek železa uvnitř strusky (viz zmíněná vazba inkluzí kovu na shluky křemenných zrn).

Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita byla naměřena v rozsahu od $1,38 \times 10^{-3}$ SI do $17,5 \times 10^{-3}$ SI a její průměrná hodnota činí $4,73 \times 10^{-3}$ SI. Vzorek s nejnižší susceptibilitou je KD-2ca. Jedná se o část vzorku KD-2c, která je rozdílná pórovitostí a barvou (viz obr. 12). U vzorku KD-2c se nízká susceptibilita dá vysvětlit tím, že v celém studovaném vzorku je prakticky pouze sklo s pár úlomky křemene a postrádá inkluze kovu.

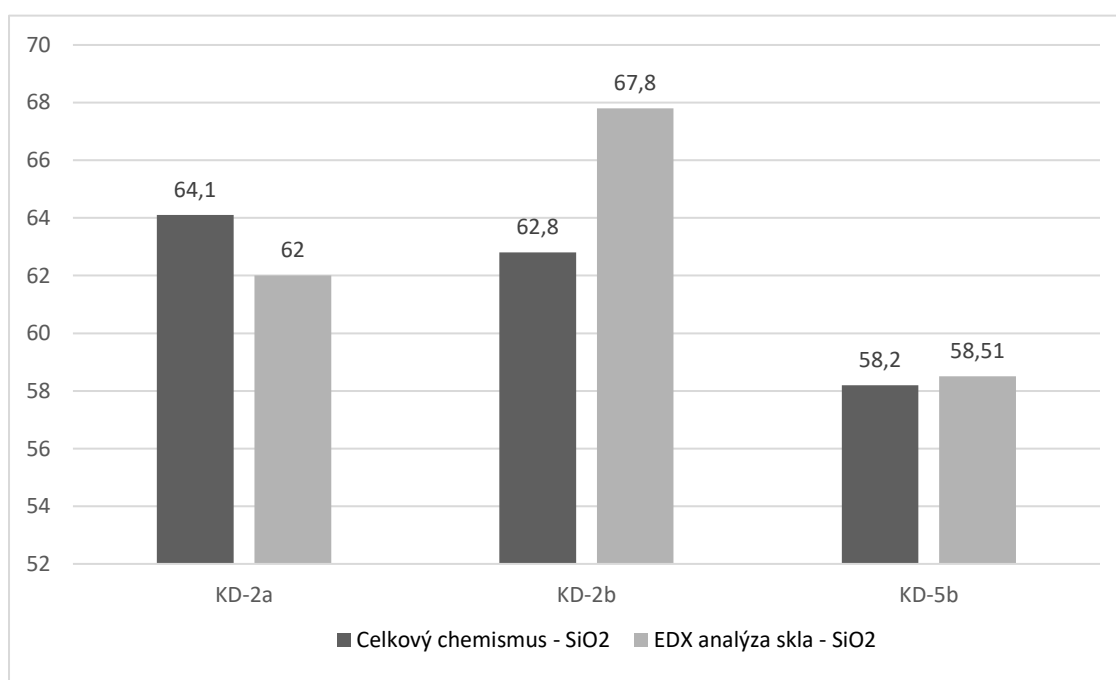


Graf 3 - Srovnání obsahů FeO (hm. %), celkového chemismu a skla (hodnoty u skla vybrané na základě místa měření: KD-2b a KD-5b – hodnoty z jednoho měření, KD-2a – průměr ze 2 měření, KD-4b – průměr ze 3 měření), mag. susceptibility a hustoty vybraných vzorků

Z grafu č. 3 lze vyčíst, že vybrané hodnoty spolu nijak zvlášť nekorelují. Jedinou výjimku ze souboru představuje vzorek KD-2b, u kterého byl zaznamenán enormní nárůst magnetické susceptibility. U strusky KD-2b se dá z vysokých obsahů FeO u celkového chemismu, a naopak nízkých obsahů FeO u bodových analýz skla usuzovat, že Fe je ve vzorku přítomno přednostně ve formě kovového železa. Z toho vyplývá i zjištěná vysoká susceptibilita. U ostatních vzorků, kde jsou zmíněné obsahy vyrovnané nebo jen nepatrně rozdílné, je susceptibilita výrazně nižší.

Celkový chemismus a fázové složení

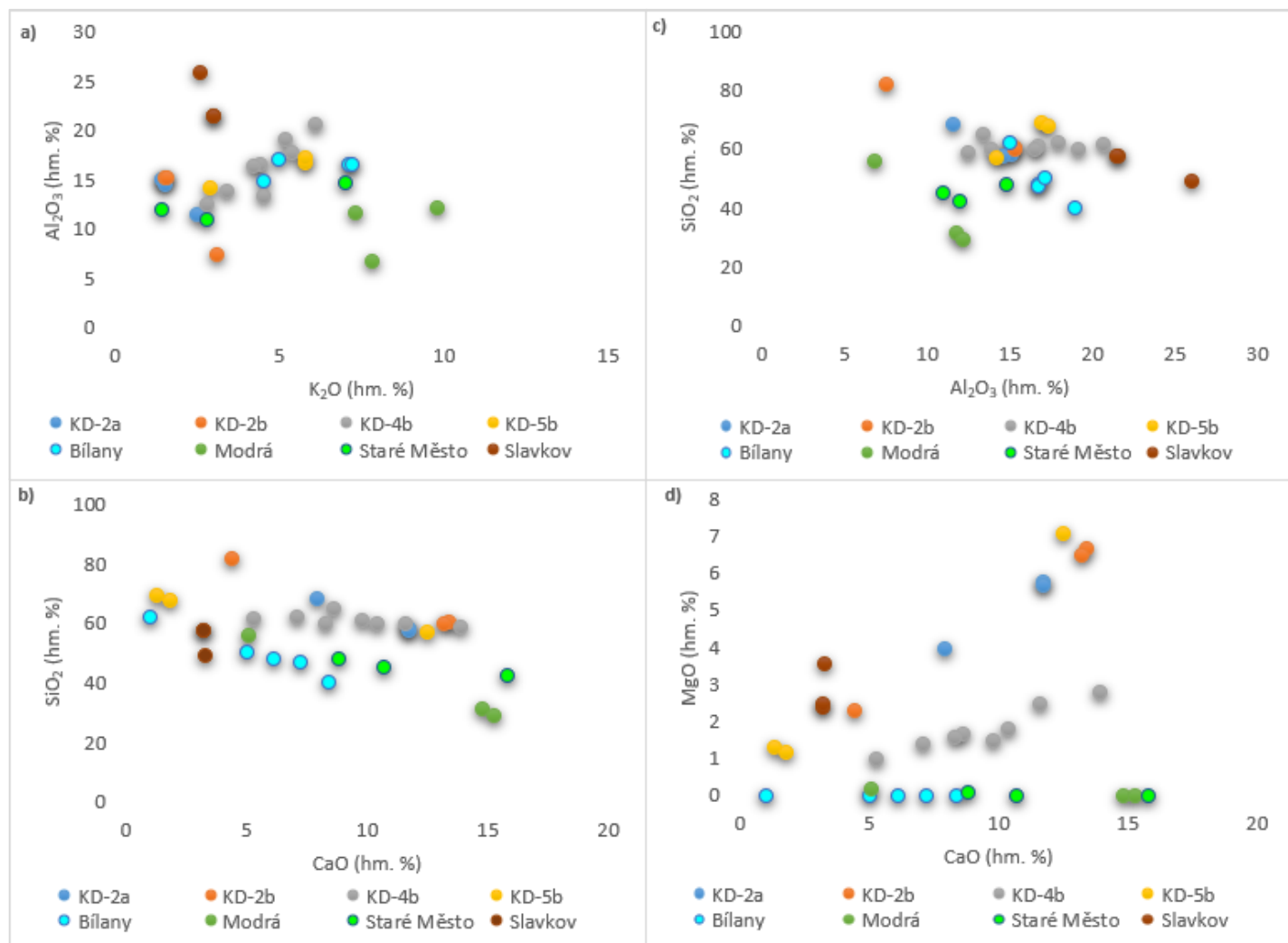
Chemické složení skloviny je uvnitř jednotlivých vzorků, ale i v rámci celého zpracovávaného souboru strusek relativně vyrovnané, pomineme-li lokální extrém, spojené s otavováním křemenných zrn. Nicméně SiO_2 obohacený lem vytvořený po obvodu křemenných zrn nedosahuje větší tloušťky než první stovky μm , proto z hlediska chemického složení celého objemu vzorku nehraje zásadní roli. Složení skloviny je vždy dominováno SiO_2 , který představuje více než 50 hm. % (viz graf 4). Průměrný obsah SiO_2 ve skle všech strusek je 57,1 hm. %. To je srovnatelné s daty Zmeškalové (2009), která ve své práci uvádí 54,67 hm. % SiO_2 . Zjištěné průměrné obsahy Al_2O_3 (14,22 hm. %) jsou srovnatelné s daty prezentovanými Dvořákovou (2017), která zjistila podobný průměr Al_2O_3 (16,67 hm. %) u vzorků z Kroměřížska. Zdroj vyšších obsahů Al_2O_3 je podle Fabritiuse (1998) možné hledat v použitém palivu (dřevěné uhlí).



Graf 4 - Srovnání obsahů SiO_2 (hm. %) celkového chemismu a EDX analýzy skla (zprůměrovaná 3 měření) u vybraných vzorků

U vzorků KD-2a, KD-2b, KD-3a, KD-3b, KD-3c, KD-4b, KD-5a a KD-5b byla otavená zrna křemene běžnou součástí. U všech strusek byly zjištěny navýšené obsahy CaO a Al_2O_3 ve skle. Obsahy CaO se pohybují od 5 hm. % do 13,9 hm. %. Spodní hranice CaO je ovlivněna především vzorkem KD-3a, který je z většiny tvořen SiO_2 (75,84 hm. %). Vrchní hranice CaO (13,9 hm. %) z EDX analýz skla spolu s průměrným obsahem CaO z celkového chemismu strusek (12,87 hm. %) by mohla potvrdit přítomnost vápence ve vsázce. Zajímavé jsou

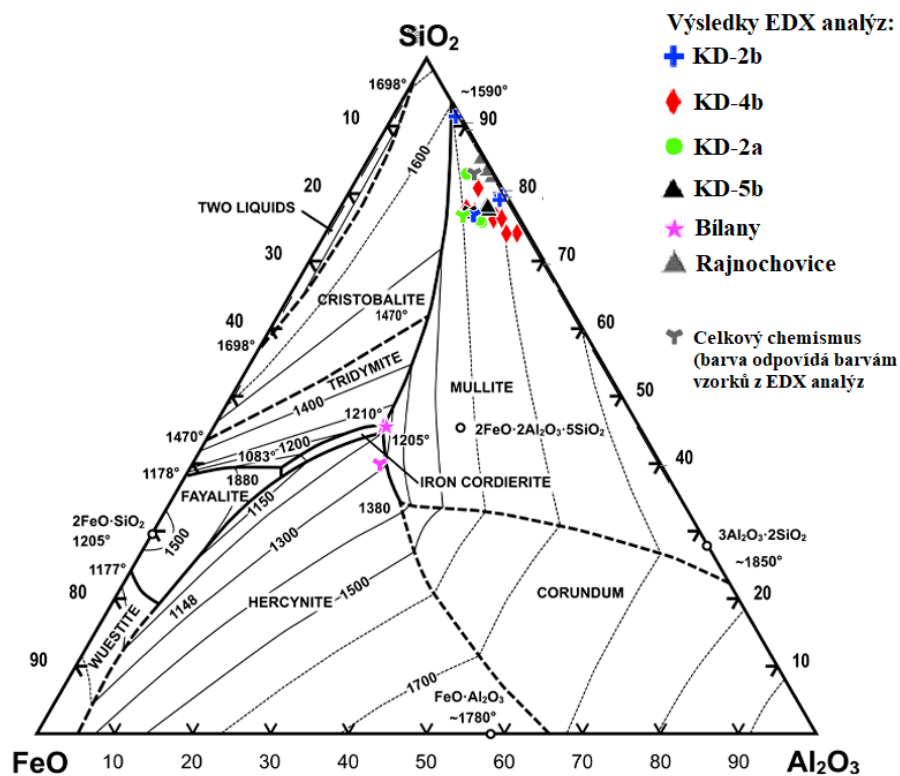
relativně vysoké obsahy MgO (2,75-7,19 hm. %), což může poukazovat na možné použití dolomitu jako struskotvorné přísady (Grubeša et al. 2016), nebo to souvisí se skarny, které se v okolí Kadova těžily, právě kvůli získání magnetitu a mohly být bohaté na MgO. Dle Fabritiuse (1998) to může souviset i s druhem použitého paliva. Ten uvádí, že obsahy MgO, CaO, K₂O a jiné, co jsou obsažené ve vodě, se dostávají do rostoucích stromů a jejich kůr. Tyto stromy jsou pak použity na výrobu dřevěného uhlí. V peci poté MgO, CaO, K₂O atd. reagují s horninou a dostávají se do strusky.



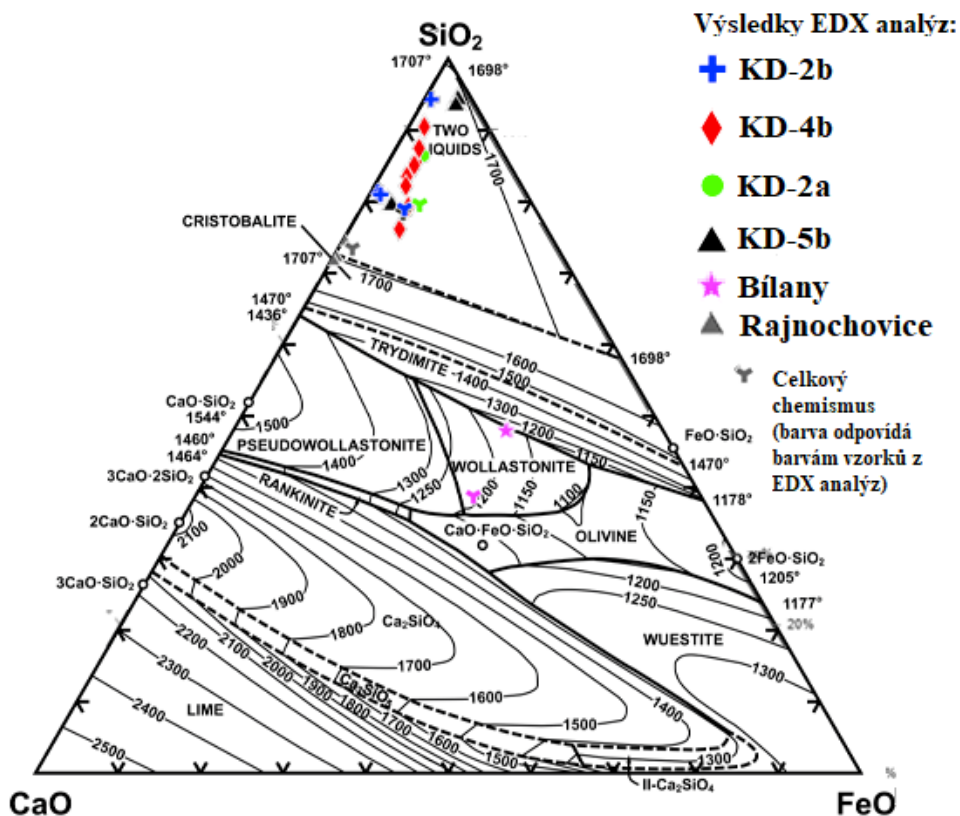
Graf 5 - Grafická znázornění EDX analýz skla ve vzorcích KD-2a, KD-2b, KD-4b a KD-5b v grafech a) Al₂O₃ vs K₂O, b) SiO₂ vs CaO, c) SiO₂ vs Al₂O₃ a d) MgO vs CaO – data pro Bílany převzatá z Dvořákové (2017), pro Modrá a Staré Město převzatá z Křivánka (2009) a pro Slavkov převzatá ze Zmeškalové (2008)

V grafu číslo 5 vidíme vzájemné porovnání složení naměřené z EDX analýz skla. Z grafu d) jsou patrné rozdílné obsahy MgO v porovnání se vzorky z Kadova, obzvláště u lokalit Bílany (Dvořáková 2017), Modrá a Staré Město (Křivánek 2009), kde se hodnota blíží k 0 hm. %. Ostatní výsledky jsou srovnatelné.

V dnešních vysokých pecích vznikají strusky výrazně rozdílného složení. Používá se více vápence a dolomitu, takže obsah CaO může dosahovat hodnot až kolem 35-42 hm. % a obsahy MgO i okolo 10 hm. % (viz graf 8) (*Grubeša et al. 2016*). Obsah K_2O je v moderních struskách značně nižší, jelikož se dnes jako palivo používá koks. Variace obsahů K_2O (1,16-2,90 hm. % celkový chemismus a 1,4-6,1 hm. % ve skle) je ve studovaných struskách z Kadova pravděpodobně způsobena tím, jaké množství paliva na množství rudy a dalších surovin bylo při hutnění použito. Menší roli mohl sehrát i druh dřeva, který byl použit na výrobu dřevěného uhlí (*Manasse a Mellini 2002*). Obsahy FeO jsou v moderních struskách maximálně do 2,8 hm. %, jelikož už je technologie natolik pokročilá, že dokáže minimalizovat ztráty železa do strusky. V moderních struskách jsou značně nižší obsahy SiO_2 . Ty už nepřesahují hodnotu nad 50 hm.%, ale drží se okolo 33-38 hm. % (*Grubeša et al. 2016*). Za zmínku stojí i zvýšené obsahy SO_3 u vysokopecních strusek oproti vzorkům z Kadova. Způsobené jsou pravděpodobně odlišným palivem používaným v dnešních pecích jako je například koks, nebo černé a hnědé uhlí. Všechny tyto materiály obsahují více než 1 hm. % síry (*Chromík a Klein 2004*).



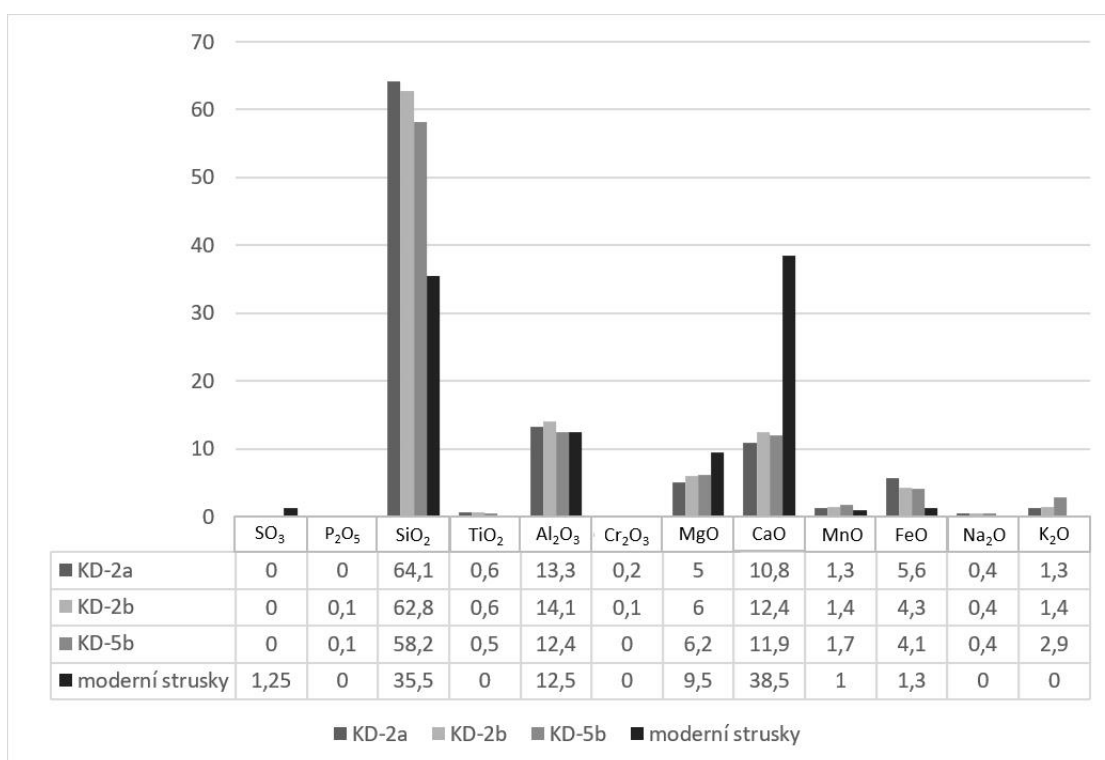
Graf 6 - Grafické znázornění celkových chemismů a EDX analýz skla v ternární diagramu $\text{SiO}_2\text{-FeO-Al}_2\text{O}_3$ (převzato a upraveno podle Muan – Osborn 1965.) Srovnávací data: Bílany (Dvořáková 2017) a Rajnochovice (Zmeškalová et al. 2009).



Graf 7 – Grafické znázornění celkových chemismů a EDX analýz skla v ternární diagramu $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$ (převzato a upraveno podle Muan – Osborn 1965.) Srovnávací data: Bílany (Dvořáková 2017) a Rajnochovice (Zmeškalová et al. 2009).

V grafu 6 a 7 vidíme, že odhadovaná teplota tání strusek se pohybuje mezi 1400–1700 °C. Vzhledem k popisovaným neroztaveným inkluzím křemene a komplexnějšímu složení strusek se dá předpokládat, že reálné teploty byly nižší. Jedním z důvodů možného nadhodnocení teplot tání je, že suma komponent ternárního diagramu $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$ představuje okolo 80 hm. % a u ternárního diagramu $\text{SiO}_2\text{-FeO-Al}_2\text{O}_3$ dokonce jen přibližně 73 hm. %. Můžeme předpokládat, že se teploty pohybovaly okolo 1200 °C, protože při těchto hodnotách se v tavenině rozpouští více uhlíku, což způsobuje křehkost železa a díky tomu se mohlo využít i rud s nižším obsahem železa (Šenberger 2003). V prvních historických pecích, jež fungovaly na principu přímé výroby, byly teploty maximálně do 1400 °C (Pleiner 1984). Ve vysokých pecích už se teploty pak pohybovaly mezi 1000–2000 °C (Fabritius 1998).

Kapkovité inkluze železa byly analyzovány ve 3 vzorcích, z nichž u dvou vzorků vykazovaly téměř 100 hm. % Fe (viz tab. 8). To znamená, že nelze ve složení železa předpokládat přítomnost dalších neanalyzovaných prvků jako např. C. Kapky železa ve vzorku KD-2b jsou svým obsahem Fe (97,9 hm.%) srovnatelné s inkluzemi železa ve vzorku z Žalkovic (97,4 hm. %), které naměřila Dvořáková (2017).



Graf 8 - Porovnání celkového chemismu moderních vysokopecních strusek se vzorky z Kadova, data pro moderní strusky převzata a zprůměrována z Grubeše et. al (2016)

Závěr

Z terénního průzkumu v Kadově ve Žďárských vrších a jeho blízkého okolí bylo vybráno celkem 12 vzorků strusky na podrobný laboratorní výzkum. Jeden vzorek byl dodán vedoucím bakalářské práce. U všech vzorků byla stanovena hustota a magnetická susceptibilita. Dále byly strusky makroskopicky popsány a byly z nich vyhotoveny výbrusy pro pozdější mikroskopické studium. Vybrané čtyři vzorky byly podrobeny EDX analýzám a u všech vybraných strusek byl nakonec stanoven celkový chemismus.

Studované vzorky se od sebe lišily především rozměrem, mírou pórovitosti a barvou. Strusky jsou si navzájem podobné ve studovaných aspektech jako je hustota, magnetická susceptibilita (s výjimkou vzorku KD-2b), nebo celkový chemismus.

Všechny vzorky jsou diamagnetické a reagují na magnet. Nejvyšší hodnota magnetické susceptibility byla naměřena u vzorku KD-2b, u něhož to bylo předpokládáno, na základě makroskopického vzhledu. U ostatních vzorků byly hodnoty magnetické susceptibility srovnatelné

Strusky jsou sklovité s proměnlivým množstvím reliktní fáze reprezentované křemenem. Celkový chemismus strusek ukázal, že všechny vzorky jsou si, co se složení týče, velmi podobné. Jedinou větší odchylkou je obsah SiO_2 u vzorku KD-3a (75,84 hm. %). Sklo je z nadpoloviční většiny tvořeno SiO_2 , což by mohlo naznačovat na nadměrné používání křemene jako struskotvorného materiálu. Studované vzorky vykazují ve srovnání s historickými struskami po přímé výrobě navýšené obsahy Al_2O_3 , CaO a MgO . Jako zdroj těchto oxidů je předpokládána vyzdívka pece nebo použité palivo pro Al_2O_3 a dolomit nebo lokálně těžený vápenec pro CaO a MgO . Ve srovnání se struskami moderními jsou zase relativně vyšší obsahy K_2O , a naopak nižší obsahy SO_3 , to je dáváno do spojitosti s odlišným zdrojem paliva.

Modelová teplota vzniku strusek se pohybuje v rozmezí 1400–1700 °C. Přesto, že jsou získaná data zřejmě nadhodnocená, spadají do intervalu odhadovaných provozních teplot dobových vysokých pecí (cca 1000–2000 °C).

Z EDX analýzy železných kapek bylo zjištěno pouze nepatrné množství příměsí, které naznačují, že produktem Kadovských železáren bylo kvalitní železo, které neobsahovalo jiné nežádoucí látky, jež by zhoršily jeho kvalitu (např.: SO_3).

Literatura

- 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. (1988): Výroba surového železa. - In: Brož L.: Hutnictví železa. s. 62-198. SNTL Praha.
- Buriánek, D. Čopjaková, R. (2008): Tourmaline from the mica schist of the Svratka Crystalline Complex. - Acta Mus Moraviae, Sci Geol 93: 61–80
- Chen, K., Wang, Y., Liu, Y., Mei, J., a Jiang, T. (2018): Meteoritic origin and manufacturing process of iron blades in two Bronze Age bimetallic objects from China. - [online].
- Chromík, R., Klein, Š. (2004): Stavební tabulky: Vytápění budov. - 6. vyd. Brno: ART-PROJECT, 506 s. ISBN 80-239-3447-3
- Čech, V. (1952): O starých dolech na stříbrnou rudu mezi Jihlavou a Pelhřimovem na Českomoravské vysočině. - Sborník Ústředního ústavu geologického XIX, 117—136.
- Čopjaková, R., Buriánek, D., Škoda R., a Houzar, S. (2009): Tourmalinites in the metamorphic complex of the Svratka Unit (Bohemian Massif): a study of compositional growth of tourmaline and genetic relations. - Journal of GEOsciences [online]., 221-243. DOI: 10.3190/jgeosci.048. ISSN 18031943.
- Dvořáková, Š. (2017): Mineralogická charakteristika historických železářských strusek z vybraných lokalit na Kroměřížsku. - Katedra geologie PřF UP Olomouc, Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Fabritius, V. (1998): S lag Analysis as a Method for the Characterization and Provenancing of Ancient Iron Objects. - Elsevier Science [online]., Department of Metallurgy, Building 204, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark, 73-96.
- Fellsová, S. (1983): The structure and constitution of archaeological ferrous process slags. - MS, Ph.D. disertace, University of Aston. Birmingham.
- Gregerová, M. (1996): Petrografie technických hmot. - Brno: Masarykova univerzita, 139 s. ISBN 802101427X.

Grubeša, I. N., Barisic, I., Fucic, A. a Bansode. S. (2016): Characteristics and Uses of Steel Slag in Building Construction. - 1st Edition [online], ISBN: 9780081003763

Kachlík, V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. - Doplněk k publikaci „Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva“, UK, SÚRAO Praha, 65 s.

Křivánek, J. (2009): Inventarizace výskytů historických železářských strusek v oblasti Chřibů. - Olomouc, Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie.

Kurková, Z. (2007): Ekologické využívání vysokopeční strusky ve stavebnictví. - [online], Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Manasse, A. 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.

Muan, A. a Osborn, E. F. (1965): Phase equilibria among oxides in steelmaking. – Addison-Wesley publishing company, Inc. Massachusetts.

Němec, D. (1998): Highly mafic amphibolites in the Moldanubian Zone of the Bohemian–Moravian Heights (Českomoravská vrchovina). - Acta Mus Moraviae, Sci Nat 83: 59–71.

Nutsch, W. (2006): Příručka pro truhláře. - 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, ISBN 80-867-0614-1.

Pitra, P. a Guiraud, M. (1996): Probable anticlockwise P-T evolution in extending crust: Hlinsko region, Bohemian Massif. - J Metamorph Geol 14: 49–60.

Pleiner, R. (1962): Staré evropské kovářství: stav metalografického výzkumu. - Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 331 s.

Pleiner, R. a Kořan, J. (1984): Dějiny hutnictví železa v Československu 1. - Od nejstarších dob do průmyslové revoluce. Praha: Academia, 295 s., [8] s. obr. příl. ISBN

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

Souchopová, V. a Stránský, K. (2011): Tajemství dávného železa II – K počátkům přímé výroby železa z rud. - Technické muzeum v Brně, Brno

Stránský, K., Souchopová, V., Merta, J. (2000): Rekonstrukce pochodů přímé výroby železa z rud. - Archeologia technica, 11, 12-21. Technické muzeum v Brně, Brno.

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

Synek, J. Oliveirová, D. (1993): Terrane character of the northeast margin of the Moldanubian Zone: the Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif. - Geol Rundsch 82: 566–582.

Šenberger, J. (2003): Metalurgie oceli na odlitky. - Brno: CERM, 148 s. ISBN 80-214-2509-1

Štěpánek, J. (2013): Kadovské železářny. - In: Hrady [online], Dostupné z: <https://www.hrady.cz/index.php?OID=11236>

Tylecote, R. F. (1962): Metallurgy in Archaeology. - London: Arnold Press.

Vachtl, J. (1962): The Hlinsko Palaeozoic and its relationship to neighbouring units. - Sbor Ústř úst geol 27: 341–359.

Zavřelová, A., Melichar, R., Verner, K. (2006): Structural evolution of metagranite from Svratka Crystalline Complex. - In: Krmíček, L., Přichystal, A., Halavínová, M. (eds), Moravskoslezské Paleozoikum 2006. Faculty of Science, Masaryk University, Brno, pp 24

Zmeškalová, B., Dolníček, Z., Kolbinger, D. (2010): Nálezy artefaktů po železářské výrobě v Rajnochovicích a Komárně (Hostýnské vrchy). - Archeologia technica 21, 31–42. Technické muzeum v Brně. Brno.

www1: <http://www.obeckadov.cz/new-page-2/>

www2: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.0362504&y=49.7264730&z=10>

www3: <https://www.webmineral.com>