

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálů a strojírenské technologie



Vývoj a výroba slitin železa v českých zemích

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Rostislav Chotěborský, Ph.D.

Autor: Jan Červený

Praha 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Červený

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vývoj a výroba slitin železa v českých zemích

Název anglicky

Innovation and producing of the iron alloys in the Czech lands

Cíle práce

Vypracovat přehled výroby slitin železa z historického pohledu na území Čech a Moravy. Součástí práce bude popis známých postupů výroby slitin železa přímým i nepřímým způsobem, způsob výroby z kovonosných minerálů obsahujících nízké zastoupení železa.

Metodika

Bakalářská práce bude vypracována jako literární rešerše na dané téma. Budou vyhledány a zpracovány české i cizojazyčné prameny.

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran

Klíčová slova

slitiny železa, železná ruda, pecní vsázka, huť

Doporučené zdroje informací

Geerdes, M., Toxopeus, H., van der Vliet, C. : Modern blast furnace ironmaking, 2009, 176 s.

Hays, R. M., Betzler, W. F., Canton, P. A.: Iron ore, 1990, 384 s.

Pleiner, R.: Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích: vývoj přímé výroby železa z rud od doby haštatské do 12. věku. Nakl. Československé akademie věd, 1958.

Pokorný, R., Symonová, R., Kraft, L.: Historie hornictví na Rychnovsku a současný stav vybraných starých důlních děl. Muzeum a galerie Orlických hor, 2004, 56 s.

Prameny podle vlastního výběru

Zavřel, J., Havrda, J., Podliska, J. : Surovinové zdroje, výroba a zpracování železa v raně středověké Praze (historie, současný stav a další perspektivy bádání). ČAV, 2001, 91 s.

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

doc. Ing. Rostislav Chotěborský, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2014

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "*Vývoj a výroba slitin železa v českých zemích*" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10.4.2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval za pomoc vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Rostislavu Chotěborskému, Ph.D. a panu Igorovi Gajduškovi za velkou pomoc při realizaci praktického pokusu.

Vývoj a výroba slitin železa v českých zemích

Innovation and producing of the iron alloys in the Czech lands

Abstrakt: Bakalářská práce pojednává o místech výskytu železné rudy, typem jejího zrudnění a vlastnostmi. Dále se zabývá historickým vývojem zpracování železných rud na surové železo až do současnosti. Součástí bakalářské práce je experiment tavby nízkoprocentních železných rud v primitivních podmínkách.

Summary: This bachelor thesis concerns of iron ore mine places, the types of mineralization and its characters. Furthermore it discusses about the historical development and processing of iron ore to production of pig iron until present time. The experimental casting is included in this thesis, where percentage iron ore low was used.

Klíčová slova: slitiny železa, železná ruda, pecní vsázka, huť

Keywords: iron alloys, iron ore, kiln feed, steelworks

Obsah

1. Úvod.....	- 1 -
2. Typy železných rud.....	- 2 -
2.1 Oxidy železa.....	- 2 -
2.2 Hydráty železa.....	- 3 -
2.3 Sulfidy železa.....	- 4 -
2.4 Uhličitany železa.....	- 4 -
2.5 Křemičitany železa.....	- 5 -
3. Ložiska železných rud v českých zemích	- 7 -
3.1 Železnorudné ložisko – Mníšek pod Brdy	- 9 -
4. Výroba slitin železa.....	- 12 -
4.1 Pravěk a starověk 3 500 př.n.l. – 476 n.l.....	- 12 -
4.2 Středověk 476 – 1 453 n.l.	- 14 -
4.3 Období novověku a moderní doby 1 453 n.l. – současnost.....	- 14 -
5. Vlastní zpracování železné rudy	- 24 -
5.1 Teoretická příprava	- 24 -
5.2 Popis místa stavby.....	- 25 -
5.3 Postup stavby pece	- 26 -
5.4 Příprava vsázky	- 27 -
5.5 Zpracování a tavba železné rudy.....	- 29 -
5.6 Vyhodnocení experimentu tavby železné rudy	- 33 -
6. Závěr	- 34 -
7. Vysvětlení použitých pojmů	- 35 -
8. Použitá literatura	- 37 -
9. Příloha 1 - Tabulka použitých chemických prvků a sloučenin	I
10. Příloha II - Seznam obrázků, příloh, tabulek a rovnic	II
11. Příloha III - Použité zkratky jednotek	IV
12. Obrazová příloha.....	V

1. Úvod

Bakalářská práce se zaměřuje na historii hutnictví železa v českých zemích a to v celém kontextu české kotliny a specificky se soustřeďuje v praktickém pokusu na rudná ložiska rozkládající se jihozápadně od hlavního města Prahy směrem k Plzni - oblasti Barrandienu. Je možno ji rozdělit na tři základní části.

První část charakterizuje typy železorudného zrudnění, které se nejčastěji vyskytují v české kotlině se zaměřením na popis rudy, názvosloví a jejího chemického složení. Zohledňuje místa povrchového výskytu uvedených rud v návaznosti na geologické mapování oblastí Čech, Moravy a Slezska.

Druhá část se věnuje vývoji zpracování a výroby železných slitin od úplných počátků železářství v době Halštatské a raného středověku, kdy se železná ruda tavila v primitivních pecích. Dále pokračuje pozdním středověkem a novověkem, kdy vznikají první zárodky vysokých pecí až po současnost, kde se železná ruda zpracovává ve vysokých přetlakových šachtových pecích na surové železo a následně v pozdním novověku na jeho zpracování na ušlechtlejší materiály, jakými jsou oceli a litiny.

Třetí část se zabývá vlastním pokusem redukce železné rudy ve slitinu železa. Tento pokus není věrnou historickou kopií procedur a prostředků (s ohledem na nedostupnost některých historických materiálů, časovou a finanční náročnost). Je zaměřen na jednoduchou metodu zpracování nízkoprocentních železných rud ze zkoumané specifické oblasti (Barrandien - lokalita Mníšek pod Brdy). Jednalo se o žárové zpracování železné rudy, kde cílem bylo získání tzv. železné houby a následného přetavení tohoto meziprojektu na slitek slitiny železa. Celý průběh pokusu byl zaznamenán textově a doplněn fotodokumentací, která je přílohou této bakalářské práce.

2. Typy železných rud

Území České republiky, ač ke své malé rozloze, je velmi bohaté na naleziště různých typů železných rud. Sloučenin, které se vyskytují v přírodě a obsahují železo, je velké množství. Ale bilančně zpracovatelných a průmyslově využitelných železných rud se v České republice vyskytuje pět základních typů a většina těchto rud má sedimentární původ.

2.1 Oxidy železa

a) Hematit Fe_2O_3

Je nápadný svým červeným až nafialovělým zbarvením. Vyskytuje se v několika odrůdách: zrnité (seménkové, oolitické), zemité (červená rudka) a vláknité podobě. Někdy se výrazně leskne, proto lesklá ruda železná. Průměrně obsahuje 30% až 65 % Fe, často je znečištěna dalšími látkami, například oxidem křemičitým [9]. Redukce u hematitu je snazší než u rud magnetitových, avšak obtížnější než u limonitu, který spadá mezi hydráty železa. Hematit jsme z 90 % použili do našeho experimentu. Viz obr. 1.

Obr. 1 – Hematit Fe_2O_3 – ložisko Krušná hora



Zdroj: [16]

b) Magnetit Fe_3O_4

Obsahuje až 70 % Fe, což ho řadí mezi nejbohatší železné rudy. Je barvy černé a krystalizuje v soustavě krychlové. Jeho redukce není snadná, protože jde o rudu těžce tavitelnou. Z tohoto důvodu bylo zpracování magnetitu v pravěku velmi nepravděpodobné. Její tavitelnost lze zlepšit vypražením [9]. Proto pro náš experiment byla tato ruda vyloučena. Magnetit je ruda silně magnetická. Výskyt nejvýznamnějších ložisek

je Měděnec (nejdéle těžené ložisko), Vlastějovice, Hraničná na Moravě, Malešov a Herlíkovice. Viz obr. 2.

Obr. 2 – Magnetit Fe_3O_4 – ložisko Herlíkovice



Zdroj: [16]

2.2 Hydráty železa

Limonit $Fe_2O_3 \times X \times H_2O$

Jsou oxidy železa s různě velikým obsahem chemicky vázané vody. Obsahují 30 % až 40 % Fe. Dále jsou většinou lehce tavitelné i snadno u nich probíhá redukce [11]. Vzniká přimíšením k jiným horninám či zvětráváním jiných rud. Vzhled jeho je různý. Od rezavě hnědého šupinatého povrchu přes tmavě hnědý až po leskle černý [9]. V blízkosti vodních ploch může tvořit bahenní železné rudy. Dále se na železnorudných ložiscích může vyskytovat jako sekundární minerál, který vznikl vyplavováním oxidu železa z jiných rud. Jeho snadné zpracování se stalo důvodem rozkvětu a rozšíření železářství na počátku historie tohoto odvětví. Hlavní složky hlušiny těchto nerostů jsou: oxid křemičitý, oxid vápenatý, oxid hořečnatý a oxid hlinitý [9]. Bohužel převládá oxid křemičitý, který je v obsahu vsázky velmi nežádoucí a musí se kompenzovat vápencem. Viz obr. 3.

Obr. 3 – Limonit $Fe_2O_3 \times X \times H_2O$ – ložisko Nevid u Rokycan



Zdroj: [16]

2.3 Sulfidy železa

Pyrit FeS_2

Sloučenina síry a železa, nažloutlé barvy. Místy ho lze najít jako dokonalý dvanáctistěn. Jeho využití není příliš vhodné ani časté, a proto je ponecháván na haldách. Viz obr. 4.

Obr. 4 – Pyrit FeS_2 – ložisko Kutná hora



Zdroj: [16]

2.4 Uhličitany železa

Siderit $FeCO_3$

Vyskytuje se často ve vápencových krajích a často spolu s manganem a hořčíkem. Může obsahovat až 45 % čistého železa [9]. Dále má velmi nízké procentuální zastoupení fosforu (0,01 % až 0,02 %). Jeho barva je bělavá, žlutohnědá až temně hnědá [9]. Může se také vyskytovat v podobě šedivé. Temnější barvy jsou způsobeny jeho zvětráváním. Redukce probíhá velmi snadno, avšak ruda se musí před redukcí vypražit. Siderit se může nacházet

jako součást ložisek oolitických železných rud (Nučice, Zdice). Dále v podobě hydrotermálních žil (Příbram, Bohutín, Kutná Hora), či v těsném sousedství uhelných revírů a to v podobách pelosideritu a sférosideritu (hlinitá železná ruda). Viz obr. 5.

Obr. 5 - Siderit $FeCO_3$ - ložisko Příbram



Zdroj: [16]

2.5 Křemičitany železa

Chamosit $Fe_5^{+2}Al(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$

Jsou to křemičitany železa s hydrátem hliníku. Před zpracováním ve vysoké peci se praží, takto upravené obsahují 40 až 45 % Fe. Mají kolem 1 % fosforu, a proto se hodí jen pro výrobu na fosfor bohatších surových želez (Thomasova surovina, slévárenské surové železo) [11]. Chamosit je zbarvení modrošedého. V Čechách je tato ruda známá pod pojmem „Nučická“, dle místa jejího nejznámějšího výskytu, obce Nučice. Dále se ještě vyskytuje ve Zdicích, Ejpovicích a Chrustenicích. Viz obr. 6.

Obr. 6 – Chamosit $Fe_5^{+2}Al(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$ – ložisko Nučice



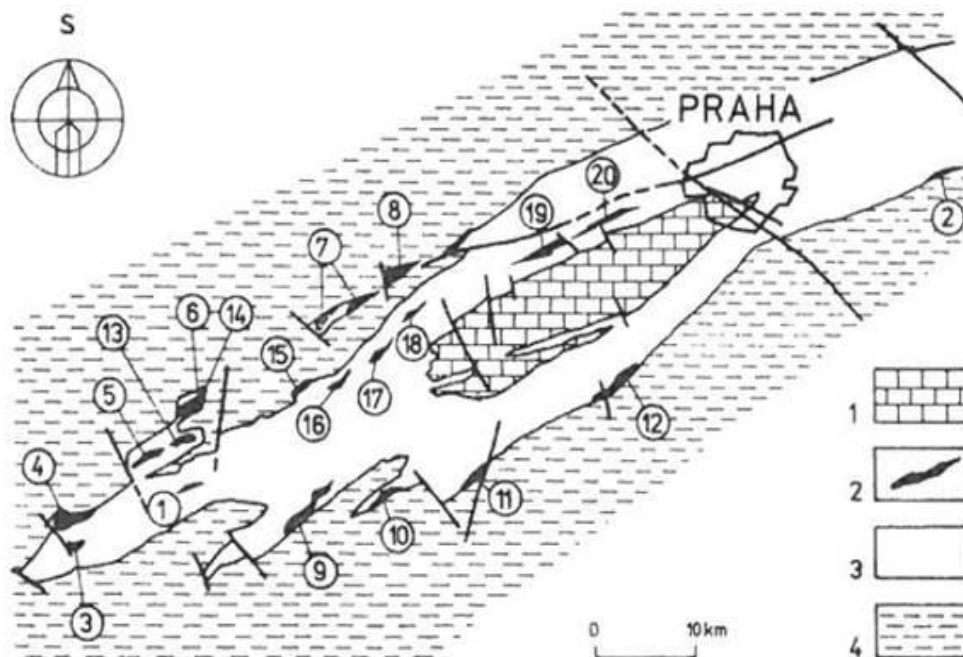
Zdroj: [12]

Dále se může železná ruda nacházet ve sloučeninách s různými prvky, například s titanem jako oxid železnato-titaničitý. Také ji nazýváme Ilmenit. Tato sloučenina se vyskytuje například v Horní Plané na Šumavě.

3. Ložiska železných rud v českých zemích

Mezi nejvýznamnější a největší patří oblast Barrandienu. Barrandien je oblast, která začíná jihozápadně od Prahy a končí v Ejpovicích nedaleko Plzně. Viz obr. 7.

Obr. 7 Schematická mapa ordovických železných rud v Barrandienu.



Trařina P. (2007). Mineralogická vycházka - křemence v okolí Mníšku pod Brdy a důlní dílo Skalka. *Minerál*, roč. 15, č. 2, s. 165-172.

Legenda: 1 – silur a devon; 2 – sedimentární Fe-rudy; 3 – ordovik; 4 – prekambrium a kambrium; čísla v kroužcích představují ložiska v tomto stratigrafickém sledu:

1 – Holoubkov, 2 – Úvaly (1 – 2 rudy v tremadoku); 3 – čilinský rudní obzor (rudy v arenigu); 4 – Ejpovice – Klabava, 5 – Březina, 6 – rudy v bechlovské kře, 7 – Dlouhá skála – Velíz, 8 - Krušná hora, 9 – Komárov, 10 – Ohrazenice, 11 – Studený vrch, 12 - Mníšek pod Brdy (4 – 12 rudy v lanvirnu); 13 – Rač, 14 – sideritové rudy v buchlovské kře, 15 – Kařízek (13 – 15 rudy v dobrotivu); 16 – Chlustina, 17 – Zdice - Knížkovice, 18 – Bařechov, 19 – Chrutenice, 20 – Nučice (16 – 20 rudy v berounu)

Hlavní ložiska sedimentárních rud patřící do oblasti Barrandienu, jsou Nučice (chamositové zrudnění), Chrustenice, Zdice, Hředle, Černín, Krušná hora, Mníšek pod Brdy, Ejpovice, Komárov, Strašice. V této oblasti se hojně vyskytují další méně významná ložiska zrudnění.

Kopcovitá oblast Hřebenů a Brd je území s hojným výskytem železnorudného zrudnění. Například vrch Plešivec u Jinec (kde bylo i hradiště a zpracovávala se zde natěžená železná ruda), Březové Hory, Rožmitál pod Třemšínem, Milín a Dobříš.

Další významnější oblastí je Krušnohoří. Zde se ložiska železných rud vyskytují i v podobě magnetitu. Krevelové rudy se v Krušnohoří vyskytují v Horní Blatné, Perninku, Kraslicích, Oloví a v Kounově. V Přísečnici, Měděnci a Kovářské se železná ruda vyskytuje ve formě magnetitu. V oblasti Františkových Lázní jsou malá ložiska bahenních (limonitových) železných rud.

Oblast Jesenická (Moravskoslezský devon), která má devonské magnetovce s více než 50 % Fe (Heřmanovice, Vrbno, Morávka) a hematity s příměsí magnetitu a obsahem Fe okolo 45 % (Rýmařov, Medlov, Benkov a Úsov na Uničovsku). Z tohoto kraje je známa dosud největší slovanská huť v Želechovicích u Uničova [9]. Na tuto oblast navazuje Podbeskydsko, zdejší pelosiderity se nacházejí u měst Nový Jičín, Frýdek – Místek a Frenštát pod Radhoštěm. Tyto pelosiderity těsně sousedí s dalším činitelem důležitým pro zpracování železa a to s černouhelnými slojemi Ostravsko – Karvinského revíru.

Větší výskyt železných rud je v pásmu Železných hor (Žleby, Seč, Lhotice), jedná se hlavně o ložiska rud s vyšším obsahem manganu, či ložiska manganopyritové.

Dále existuje spousta menších ložisek pouze lokálního významu, které byly těženy ve starší době (do konce 18. století) viz příloha 2 – „Výskyt povrchových nalezišť železné rudy“.

3.1 Železnorudné ložisko – Mníšek pod Brdy

Ložisko leží pod vrcholem Skalka (kóta 553 m.n.m. GPS: 49.8794967N, 14.2519942E), v době těžby cca 1,1 km severozápadně od středu města Mníšku pod Brdy. V dnešní době je nejbližší obytná zástavba zhruba 180 m od ložiska.

Ložisko železné rudy v Mníšku pod Brdy na dole Skalka je charakterizováno čtyřmi základními typy železnorudného zrudnění:

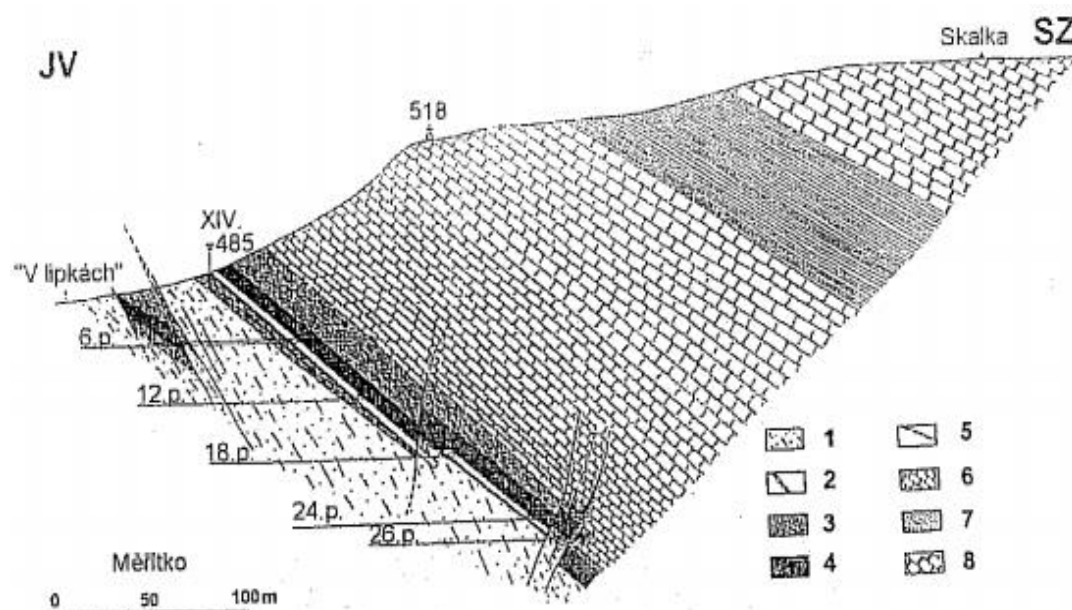
- 1) Hematitové, (krevelové – oolitický typ), (tento typ byl využit pro alternativní tavbu železné rudy)
- 2) Sideritové až pelosideritové, (tento typ převažuje)
- 3) Chamozitové, (tento typ se vyskytuje jen vzácně)
- 4) Limonitové, (oxidační)

Ložisko sedimentální krevelové oolitické rudy je uloženo v synklinále v jihovýchodním křídle Barrandienu (paleogeograficky pražská pánev), ve vrchní části šáreckých vrstev. Ordovické a kambrické sedimenty spočívají na algenkickém podkladu a na jihu se stýkají s algonkiem na tektonické linii závistského přesmyku. Nejspodnější ordovické sedimenty transgredující přes kambrické pískovce březohorské, jsou vrstvy šárecké v písčítotufitickém vývoji. Výše jsou šárecké vrstvy vyvinuty v podobě černošedých slídnatých břidlic a vložkami tmavých pískovců. Ložisko, které odpovídá kyšickému rudnímu obzoru, spočívá v těchto břidlicích a většinou byla jeho mocnost 6 m až 12 m (v ojedinělých případech až maximálně 22 m). V západní části leží ložisko přímo na písčítotufitickém souvrství (takzvaný komárovský vulkanický komplex), spodních šáreckých břidlic, zatím co ve východní části spočívá na tomto písčítotufitickém vývoji pouze lokálně. Nadloží ložiska jsou opět šárecké břidlice malé mocnosti, kde byly při průzkumu nalezeny fosílie. Dále zde byly v nadloží ložiska skalické křemence (v západní části téměř všude, ve východní části spíše lokálně). Vrstevní sled ukončují dobrotivské břidlice a drabovské křemence, které tvoří jádro synklinály.

Viz obr. 8 - Zjednodušený geologický řez železnorudným ložiskem Mníšek pod Brdy.

Celková délka ložiska je 1 800 m a směr synklinály je severovýchod – jihozápad, úklon vrstev na severozápadní části křídla synklinály je 50 ° až 70 °, v jihovýchodním křídle, západní části je 25 ° a ve východní části (jihovýchodního křídla) přibližně 90 ° [15]. Střed ložiska upadá pod úhlem 40 °, viz příloha 2 – Nákres ložiska, důl Skalka.

Hornickým způsobem ověřená hloubka ložiska je 220 m, což odpovídá 36. patru dolu. Zde dochází k „vyklínění“ ložiska a dále se ložisko ve své mocnosti velmi rychle zužuje.



Obr. 8 Zjednodušený geologický řez železnorudným ložiskem Mníšek pod Brdy – Skalka do úrovně 26. patra (upraveno podle Svobody a Prantla 1946 a Litochleba et al. 2000).

1- kambrium; 2-8 ordovik: 2 – klabavské souvrství tzv. „komárovské vrstvy“; 3 – šarecké souvrství, facie břidlic; 4 – horniny komárovského vulkanického komplexu (nejvyšší klabavské až nejspodnější polohy šareckého souvrství); 5 – nadložní ložisko; 6 – dobrotivské souvrství, facie skaleckých křemenců; 7 – dobrotivské souvrství, facie břidlic; 8 – libeňské souvrství, facie řevnických křemenců.

Ložisko bylo dobýváno pouze v jihovýchodním křídle synklinály. Ruda je tvořena na spodních částech převážně oolitickou krevelovou rudou [15]. V horních částech rudního obzoru, směrem k nadloží zvolna přechází do pelosideritů. Dále se zde vyskytují různé prvky, které se železem tvoří sloučeniny. Tyto sloučeniny mají pouze mineralogický význam.

Všechny čtyři základní typy rudy, které se nacházejí na dole Skalka, jsou tvořeny především směsí oxidů a hydroxidů železa, kromě toho je ruda ještě tvořena dalšími prvky. Hlavním prvkem obsaženým v rudě je křemík. Křemík je obsažen ve formě oxidu křemičitého. Ten je přítomen v rudě ve formě plastického křemene anebo jako primární v podobě velmi jemné směsi s krevelem. Fosfor se vyskytuje v podobě fosforitových

konkrecí a ve skořápkách inartikulátních (zkamenělých) ramenožců a vzácně v podobě fosforitových oolitů. Mangan je izomorfně smísen s železem. Síra se vyskytuje především v pyritových konkrecích a to hlavně v pelosideritech, nebo jako pyrit vyplňuje trhlinky v ložisku a okolí [15]. Geologická stavba ložiska je natolik složitá a rozsáhlá, že její celkový popis by přesáhl rámec této bakalářské práce.

4. Výroba slitin železa

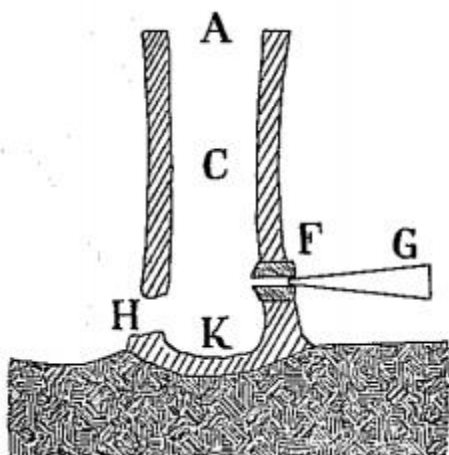
Tato část bakalářské práce se zabývá historií zpracování slitin železa. Zde je popsán celý vývoj od počátků železářství až do současné doby. Větší prostor je věnován vysoké přetlakové šachtovité peci v samostatné kapitole, včetně jejího podrobného popisu. Přetlaková šachtovitá pec v dnešní době zaujímá zásadní místo při výrobě surového železa ze železných rud.

4.1 Pravěk a starověk 3 500 př.n.l. – 476 n.l.

Úplně první nálezy o zpracování slitin železa pocházejí ze starší doby kamenné. V této době však nebyla technika a znalosti civilizace na takové úrovni, aby bylo možné vytvořit dostatečnou teplotu pro tavbu železné rudy. Především kvůli chybějícím znalostem o topném médiu (dřevěné uhlí, kamenné uhlí hnědé a černé), které je potřebné k vytvoření vyšší teploty.

Místy se na zemi nacházelo železo ve skoro ryzí podobě. Jednalo se o tzv. „meteorické železo“, které se také může nazývat „siderit“. Tyto meteority jsou složeny především ze železa a niklu. Je dokázáno, že tyto kusy meteoritů byly záměrně ohřívány lidmi v ohni. Samotné počátky „opravdového zpracování“ železné rudy přicházejí mezi 3. až 2. tis. př.n.l. v oblasti „Úrodného půlměsíce“, u pravěkých národů: Chetitě, Sumerové, Akkadové (dnešní Irák, Egypt, Izrael, Palestina, Sýrie aj.). V této oblasti byl rozvoj zpracování slitin železa jednodušší, protože půda zde byla úrodnější a tudíž se mohla část populace zabývat řemesly. Postupně, jak se začalo více využívat slitin železa, přichází mezi 12. st. př.n.l. až 7. st. př.n.l. (v Čechách) takzvaná doba železná. V Halštatské době (přibližně 750 až 370 př.n.l.) se v české kotlině zabýval zpracováním železné rudy keltský kmen Bojů. Právě z tohoto období pocházejí jedny z prvních historických nálezů z oblasti Loděnice u Berouna. Jedná se o nálezy tavících pecí a železných výrobků, kdy Bójové povrchově těžili zdejší železnorudné ložisko v oblasti Chrustenic. V okolí Loděnice a Krušné hory se železná ruda na místě zpracovávala v nadzemních šachtových pecích. Viz obr. 9, šachtová nadzemní pec.

Obr. 9 – Nadzemní šachtová pec, (Loděnice, Čechy, doba římská)



A – kychta, C – šachta, F – vzduchové formy, G – dmychadla, H – odpich (výpust) strusky, K – nístěj.

Zdroj: [9]

Keltové už ve své době znali poměrně dost ložisek železných rud v českých zemích. A však ne všechna ložiska byla vhodná pro zpracování slitin železa. Keltové preferovali především těžbu limonitových železných rud, jednalo se hlavně o těžby povrchové, o mnoho méně se používala těžba hlubinná. V tomto období hlubinná těžba představovala dobývky malých rozměrů a nízkých hloubek do 10 m. Další železné rudy, které je zajímaly, byly rudy krevelové (hematit), a stejně jako u limonitových rud, se také těžily především povrchově. A to na tzv. „železných kloboucích“, neboli výchozech. Jedná se o místo, kde se žíla železné rudy vydrásala až na povrch. Tato ruda tím, že byla na povrchu a byla vystavena dlouhodobě povětrnostním podmínkám, postupně zvětrávala, a proto se mnohem lépe zpracovávala. Tavba v období Keltů probíhala v poměrně jednoduchých pecích. Na stavbu těchto pecí bylo používáno rákosí a jíly. Z rákosí se udělala propletená kostra, na kterou se nanasla vrstva jílu, ze které se vystavěla stěna pece. Jako vsázka se do této pece vkládala pouze drcená železná ruda a tvrdé dřevěné uhlí, které se vyrábělo v milířích. Tyto dvě suroviny se pak střídavě vrstvily do pece. Pomocí kožených vaků (měchů) se do pece vháněl vzduch. Výsledkem této přímé metody (tzv. „bezkoksová metalurgie“) byl spečenec jednotlivých malých kousků vyredukovaného železa se spoustou příměsí, strusky a zbytků dřevěného uhlí. Tento spečenec se odborně nazývá železná houba. Železná houba pak podstupovala poměrně zdlouhavou cestu zhutnění. Postupně se po částech kus železné houby znovu rozehřál ve výhni a na kamenné desce se do této houby klepalo pomocí dřevěných palic. Následně, jak železná houba

ztrácela při hutnění svoji teplotu, bylo třeba ji znovu zahřát, a pokračovat v hutnění. Tímto způsobem se postupně „vytloukávala“ nečistota, struska a zbytky dřevěného uhlí. Výsledný produkt se nazývá „železná houska“ (svárková ocel v těstovitém stavu). Toto hutnění se nazývá „zpracování kovářským způsobem“. Vesměs veškerá produkce byla použita na zbraně či zemědělské náčiní.

4.2 Středověk 476 – 1 453 n.l.

První historická zmínka o těžbě a zpracování železné rudy v oblasti Barrandienu pochází z Hájkovy kroniky z 8. století. Ve 13. a 14. století patří mezi hlavní obzory těžby podhůří Brd, oblast táhnoucí se od okraje Prahy až skoro k Plzni do oblasti obce Ejpovice, oblasti Železných hor, Krušných hor, Západních Karpat a v oblasti krkonošsko-jesenické.

V průběhu středověku se metody zpracování železných rud jen zřídka inovovaly. Železná ruda se stále zpracovávala přímou metodou a to v kusových pecích. Později dochází ke zlepšení a železná ruda se redukuje v „dýmačkách“, ve dvoumetrové vysoké peci, kde se jako topné médium stále používalo dřevěné uhlí, vyráběného uhlířmi ze surového dřeva v milířích. (Viz příloha 4 – dýmací pec z 12. století). V těchto pecích za teploty 1 200 °C až 1 300 °C a při dmýchání vzduchu probíhal redukční proces trvající 8 h až 10 h. Získaná lupa se poté vyhříváním ve výhni a kováním zpracovávala na kujné železo. Vodní pohon měchů je doložen již před rokem 1300. Výrobky se kovaly buchary na vodní pohon v hamrech [4]. První použití bucharu v českých zemích bylo okolo roku 1352. V hamrech, jak již bylo zmíněno, byl nejdůležitější stroj buchar. Buchar velmi usnadnil práci kovářů, kteří do té doby museli vyredukované železo hutnit ručním způsobem pomocí palic. Vznik litiny (železa s vyšším podílem uhlíku jak 2,14 %) je datován do 14. století, kdy vyšším objemem vzdušnin od vodou poháněných měchů se zvýšila v pecích teplota a umožňovala vzniku litiny.

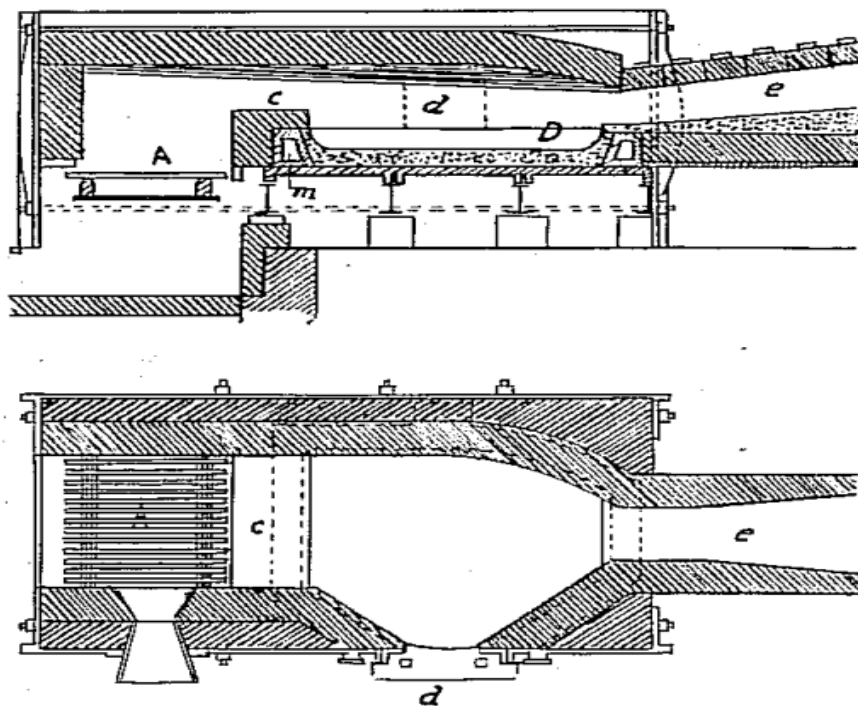
4.3 Období novověku a moderní doby 1 453 n.l. – současnost

Ke konci 16. století dochází ke změnám v technologii výroby železa. Nejspíše v roce 1582 dochází na našem území ke stavbě první vysoké šachtové pece, a to v městě Nejdek u Karlových Var (GPS: 50.3246100N, 12.7325358E). V roce 1595 byla na našem území postavena druhá vysoká pec, která se nacházela v Králově Dvoře (GPS:49.9442108N, 14.0394903E) v okrese Beroun. Tyto první vysoké pece měly tvar komolého kužele o výšce zpravidla 5 m až 7 m. Od konce středověku se podstatně

rozzrůstalo železářství. V období 14. až 16. století bylo v českých zemích postupně založeno 200 až 300 podniků na výrobu kujného železa [4]. Průměrná roční produkce větších pecí byla okolo 40 t až 50 t železa, u menších pecí se průměrná roční produkce pohybovala od 20 t do 30 t železa. Hlavními železářskými oblastmi byly Zbirožsko, Hořovicko, Dobříšsko a Křivoklátsko [4]. Například v roce 1646 je zmínka o stojící vysoké peci v Jincích (GPS: 49.7883089N, 13.9773917E) na Příbramsku. Na místě původní pece byla v roce 1810 vybudována nová pec, která byla v provozu do roku 1874. Ta se dochovala až do dnešní doby a jedná se o poslední kompletně zachovanou dřevouhelnou vysokou pec ve střední Evropě. Až do poloviny 18. století se skoro veškerá výroba v dřevouhelných pecích omezila na výrobu kujného železa. Všechny tyto metody spadají do přímých metod výroby železa. Ty byly ještě v 17. století jedinými možnými metodami a v některých částech Evropy se udržely až do 19. století. Teprve v následném období dochází ke zvyšování výroby litiny [4]. V průběhu 18. století dochází k objevu a nalezení ložisek černého kamenného uhlí, které se jako nový zdroj tepelné energie velmi osvědčí a postupně nahradí dřevěné uhlí. Zakrátko se začíná využívat jako redukční činidlo koks, který se vyrábí z koksovatelného černého kamenného uhlí. První pokus na světě vyhřívání pece pomocí koksu se uskutečnil v Anglii v roce 1735, kdy bylo koksování vynalezeno. První pokusy na našem území se uskutečnily v roce 1797 v Komárově u Hořovic (GPS: 49.8059269N, 13.8584258E) a v roce 1821 v Darové (GPS: 49.8368203N, 13.5174881E) u Rokycan. Na počátku 19. století se s rozvojem a novými technologiemi ve vysoké peci vyráběly dva typy surového železa. První typ bylo bílé surové železo, určené ke zkujňování a druhý typ šedé surové železo, vhodné ke slévání. Další prvenství v českých zemích patří hutí v Novém Jáchymově (GPS: 49.9808983N, 13.9432422E), kdy v roce 1832 bylo k pohonu bucharů využito parního stroje.

K rozvoji zpracování litin a zpracování surového železa s vyšším obsahem uhlíku významně pomohla pudlovací pec, (viz obr. 10), které jsou na našem území stavěny od 40. let 18. století. První pudlovací pece byly vybudovány ve Staré Hutí (GPS: 49.7802572N, 14.1944125E), v Břasích (GPS: 49.8375931N, 13.5784272E), v Nýřanech (GPS: 49.7128381N, 13.2061592E) a v Komárově (GPS: 49.8120822N, 13.8607725E). Počátky vývoje pudlování jsou připisovány Angličanu Henrymu Cortnovi, který v roce 1784 nahradil zkujňovací výheň plamennou (pudlovací) pecí. Pudlovací pec je plamenná pec [10] vytápěná černým uhlím s nístějí asi 2 m dlouhou a 1,6 m širokou [10].

Obr. 10., Pudlovací pec.



A – ohniště; C – mŭstek mezi ohništěm a nístějí; d, D - pracovní otvor; e - sopouch (komínový tah); m - dutý litinový rám, chlazený vodou.

Zdroj: [10]

Plamen z topeniště přechází přes nístěj, kde je obsažena vsázka a odchází „sopouchem“ (komín – odvod zplodin z topeniště). Jedná se o oduhličování (snížení obsahu uhlíku) litiny a postupnou přeměnou na kujné železo. Postup při přeměně byl následující, stěny nístěje (místo kde byla uložena vsázka) se vymazaly vrstvou, která obsahovala oxidy železa. Tyto oxidy železa se účastnily na spalování a tím se snížil celkový propal. V topeništi byl rozdělán oheň, jehož oxidační plamen proudil nad vsázkou a zahříval ji. Litina s vyšším obsahem uhlíku má mnohem nižší teplotu tání, proto se po chvíli ohřevu celá vsázka roztavila. Celou vsázku průběžně pomocí dlouhých železných tyčí promíchávali taviči (pudlaři). Na povrchu se spaloval uhlík ze vsázky, který přišel do styku s plamenem. Průběžným promícháváním vsázky se dostal uhlík i ze spodních vrstev na povrch, a taktéž se spálil, tím se postupně snižoval obsah uhlíku ve vsázce. Jak klesal obsah uhlíku, zvyšovala se teplota tání, proto se ve vsázce začínaly objevovat („vlky“ nebo „dejly“) polotuhá zrna kujného železa (již s nízkým obsahem uhlíku), která přecházela do těstovitého stavu [10]. Vlky se pomocí zahnutých tyčí vytáhly a pod hamry, či buchary se vytlačovala struska a železo se silným tlakem svařovalo. Tím se získal hranolovitý kus

kujného železa, z něhož se vyvábcovaly surové tyče prutů [10]. Tyto pruty již byly jako polotovary použitelné pro tehdejší potřeby anebo se sdružily s větším počtem dalších prutů do „paketu“. Paket se ohřál ve výhni a pod buchary se svářkově svařil do polotovaru větších rozměrů. V tehdejší době se pudlovaná ocel využívala na kolejnice.

Významným vynálezem byl bezesporu Bessemerův konvertor, který v roce 1855 vynalezl a poté nechal patentovat Angličan Henry Bessemer. Jedná se o nádobu (konvektor) hruškovitého tvaru. O výšce cca 6 m a vnějším průměru přibližně 3,5 m. Prvé konvertory z roku 1860 jímaly 0,5 t – 1 t surového železa, v roce 1866 bylo dosaženo již 10 t [10]. V tehdejší době šlo o první způsob velkovýroby oceli.

Do konvertoru bylo dodáno surové železo, které bylo již dříve zpracováno. Stlačený vzduch byl pod tlakem vháněn po spodek konvektoru do větrné skříně. Zde procházel přes dno s otvory do vnitřní části konvektoru. Bessemerův konvertor pracuje na principu kyselého pochodu, tudíž jeho vnitřní vyzdívka je z kyselých křemičitých dinasových cihel. Nevýhodou tohoto kyselého pochodu je, že není možné se zbavit ze surového železa fosforu a síry.

Tento problém byl odstraněn v roce 1878, kdy si anglický metalurg Sidney Gilchrist Thomas nechal patentovat konvertor se zásaditou vyzdívkou (Thomasův konvertor), ten pracoval na principu zásaditého pochodu. Konvertor byl tvarem a principem tavby poměrně stejný až na zásaditou vyzdívku, díky které již bylo možné odstraňovat ze surového železa jak fosfor, tak síru. Jako zásaditou vyzdívku lze použít vápenec či dolomit. Díky této vlastnosti, kterou při tavně využíval Thomasův konvertor, byl vyřešen problém některých českých rud, které obsahovaly ve svém složení fosfor. První použití se datuje v roce 1879 na Kladně (GPS: 50.1486278N, 14.1137286E).

Mezi dalšími typy, kterými se zkujňuje surové železo na ocel je Siemens – Martinova nístějová pec. První pec byla uvedena do provozu v roce 1864 ve Francii. V Čechách byla Siemens – Martinova pec poprvé spuštěna do provozu v Ostravě – Vítkovicích. Tvar pece připomíná miskovitou nádobu, ve které se uplatňuje patent P. Martina, jenž použil k ostění žáruvzdorných dinasových cihel. Dále se jedná o plamennou pec s regeneračním topením, používá se převážně ke zkujňování surového železa. Nad miskovitou nístějí proudí ohřátý vzduch (1 100 °C – 1 200 °C) a spalovací přehřátý plyn (1 200 °C – 1 350 °C) z regenerátorů, který se spaluje v pracovním prostoru pece. Přibližná teplota ze spalin v pracovním prostoru je 1 750 °C. Spaliny odcházejí zpět do regeneračního výměníku,

kde předávají (v oddělené soustavě) tepelnou energii čerstvým vzdušinám. Až po té odcházejí spaliny komínem do ovzduší. Martinský pochod může pracovat v režimu kyselém či zásaditém. Záleží na chemickém složení vsázkových surovin. V Siemens – Martinské peci je možné recyklovat ocelový šrot a odpady z vysokých pecí. Tyto pece jsou ve světě ještě místy v provozu, ale jejich vrchol byl v šedesátých letech minulého století.

Na počátku 20. století dochází k rozvoji používání elektrické energie v hutnictví. První metoda byla elektrická oblouková pec, kdy jsou do kelímku přivedeny grafitové elektrody (grafitové elektrody můžou mít chladicí kanálky umístěné v tyči elektrody), mezi kterými buď hoří oblouk, nebo elektrický oblouk hoří mezi vsázkou a elektrodami. Tento elektrický oblouk vytváří teplo, jenž je potřeba k tavbě vsázky. Teplo se do vsázky přenáší sáláním, vedením tepla a prouděním taveniny v kelímku. Výhodou tohoto procesu tavby je jednodušší řízení. Elektrických obloukových pecí lze využít i k přímé redukci surového železa ze železné rudy. Této metody se využívá hlavně pro rudy s vysokým obsahem železa (od 60 %), spolu s dřevěným uhlím, antracitem či koksem jako zdroji redukčních činidel. Zpracovávají se takto rudy, které by tavbu v klasických šachtových vysokých pecích komplikovaly. Jedná se především o železné rudy s větší příměsí zinku a titanu.

Druhou metodou je ohřev v indukčních pecích. Tato metoda využívá magnetismu vsázky. Do kelímku se vloží vsázka a v těsné blízkosti vnějšího obalu kelímku jsou umístěny indukční cívky, kterými prochází střídavý proud. Probíhá indukce a kov se postupně ohřívá a následně taví. Tato metoda je velmi výhodná do teploty 760 °C (Curierova teplota). Při této teplotě ztrácí železo magnetické vlastnosti. Následný ohřev nad 760 °C je již méně účinný, probíhá jen účinnost jen pomocí Jouleova tepla. Celková účinnost procesu se pohybuje dle typu konstrukce pece okolo 85%.

V 60. letech 20. století dochází k rozvoji kyslíkových konvertorů (LD – Linz Donawitz). Princip tohoto zařízení je následující. Do konvertoru se nalije roztavené surové železo z vysoké pece, které prochází během cesty (od vysoké šachtovité pece ke kyslíkovým konvertorům) odsířením. Dále do konvertoru je přidáván šrot a legury. Šrot je do tavby přidáván z důvodu chlazení a také řízení tavby. Z horní části konvertoru jsou do taveniny zasouvány trysky, které přivádějí kyslík. Vsázka následně oxiduje a dojde k jejich spálení (uhlík, křemík, fosfor a případně síra). Také vháněním kyslíku dochází k promíchávání lázně. Po ukončení vhánění kyslíku dochází ze dna konvertoru k vhánění inertních plynů

(argon, dusík). Tím se vsázka dále promíchává a nečistoty se vyplavují na povrch. Upravená ocel se dále odlívá do kokil či se zpracovává pomocí kontilití.

Jistě zde nejsou popsány všechny možné způsoby zkujnění surového železa v kvalitnější oceli a litiny. Dále také zde nebyly popsány způsoby přímé výroby oceli ze železných rud. Snad jen na okraj můžeme zmínit způsoby, kterými je to možné provádět. Jde o způsoby Höganäse, Wibergův a způsob Bureau of mines. Jedná se spíše o laboratorní způsoby. Pro tyto způsoby se více hodí magnetitové rudy (především ve Švédsku) a jejich malá produkce je hlavně využívána na výrobu železného prášku do práškové metalurgie. Historie železářství v Čechách je velmi rozmanitá a bohatá a během jejího dlouhého vývoje (přibližně 3 000 let) doznala obrovského pokroku. Posledním železářským zařízením, jemuž je věnována zvláštní podkapitola je přetlaková vysoká šachtová pec.

Vysoká šachtová pec

Navazuje na původní dřevouhelné vysoké pece z 16. století. Jde o nejvýznamnější a nejnámější zástupce nepřímé metody zpracování surového železa. Jedná se o typ pece, využívající především jako tepelné médium vysokopecní koks. Tvarem představuje dva komolé kužely, které mají společnou základnu. Výkonnost vysoké pece se udává v užitečném objemu (m³). Konstrukcí můžeme rozdělit na samonosné pece a rámové. Vysokou pec můžeme rozdělit na jednotlivé části: sazebna, šachta, rozpor, sedlo, nístěj. Viz příloha 6 – tepelné schéma vysoké pece. Sazebna je nejvyšší část pece, slouží pro zavážení surovin a také jako místo jímání vysokopecního plynu. Vysokopecní plyn se dále čistí a to především od prachových částic a ukládá se do plynojemu, kde pak později dochází k jeho následnému využití jako plynné topivo. Další částí navazující na sazebnu je šachta. Zde dochází k předávání tepla z vysokopecního plynu do vsázky. Díky tomu zde dosahuje teplota přibližně 950 °C a oxidy železa se v této zóně již částečně redukují [20]. Na šachtu navazuje rozpor, jedná se o nejširší část pece. Teplota je zde okolo 1 250 °C. V této části se již plně rozbíhají redukční pochody. V sedle se tvoří tavenina ze vsázky na surové železo a strusku. Teplota zde dosahuje okolo 1 600 °C. Ve spodní části sedla jsou přivedeny výfučny (může jich být mezi 16 ks až 42 ks), které do pece ženou horký proud vzdušin. V blízkosti výfučen teplota dosahuje až 2 000 °C. Poslední a nejnižší částí pece je nístěj, v té se shromažďuje na dně surové železo a na povrchu taveniny struska, která je lehčí.

Vsázka do vysoké pece se skládá z:

- 1) **Železná ruda** - která prošla aglomerací, briketováním či peletizováním
- 2) **Paliva** - nejčastěji vysokopecní koks
- 3) **Přísady** (struskotvorné látky)

V případě železné rudy předchází aglomeraci (spékání při vysokých teplotách) zpracování rudy v úpravkách. Ta spočívá v drcení a mletí rudy a její následnou separaci na magnetickém separátoru na zrudněné části a hlušinu. Aglomerace může probíhat v rotačních pecích, ve výklopných pecích a pásových dopravnících. Výsledkem aglomerace je využití prachové rudy (do 10 mm), její spečení na stejnoměrnou velikost. Díky tomu se lépe rozloží v peci a tepelné a chemické procesy mohou rovnoměrně probíhat. Nejčastěji aglomerace probíhá v rotačních pecích o délce 35 m až 40 m

a průměru 3 m. Drobná ruda, přiváděná na chladném konci, se pohybuje otáčením v mírně skloněné peci a nakonec se vypaluje při 1 350 °C až 1 400 °C, čímž měkne a sbaluje se v kusech. Topí se většinou uhelným prachem, lze však užít i plynů. Frakce rudy je do 10 mm a pevných paliv do 3 mm. Tento způsob je v dnešní době nahrazen způsobem aglomerace pomocí pásových dopravníků, zde se mísí prášková ruda s drobným palivem a směs se prohání zahřátý vzduch [10]. Dopravníkový pás prochází zapalovačem (kde jej plynové hořáky zapálí). Teplem uvolněným při spalování se částice rudy zahřejí ke slinutí [10].

Hrudkování je způsob úpravy nízkoprocentních (chudých) železných rud, především chamositových, tímto způsobem se zvyšuje obsah železa v „hrudkách“.

Viz tabulka č. 1 – Chemické zastoupení jednotlivých prvků v železné rudě po hrudkování.

Tabulka č. 1 – Chemické zastoupení jednotlivých prvků v železné rudě po hrudkování.

Prvek	Fe	P	Mn	S	C	Zastoupení ostatních prvků
%	85 – 92 %	1,4 – 1,6 %	0,1 %	0,8 – 1,0 %	0,5 – 0,8 %	12,2 – 4,5 %

Zdroj: Převzato z textu [11]. Str. – 31

Tato metoda také probíhá v rotačních pecích, ale liší se technologií. Železná ruda o frakci 25 mm a redukční činidlo o frakci 0 mm až 10 mm se mísí a zaplňuje se jimi rotační pec. Nejčastěji se využívalo jako redukční činidlo vysokopecního koksu, výjimečně v poměru s dřevěným uhlím (případ hrudkoven v Mníšku pod Brdy). Ruda se v peci redukuje a železo i hlušina se taví. Na rozdíl od vysoké pece se však železo nikdy neroztaví úplně, nýbrž zůstává ve strusce, která vytéká z dolního konce rotační pece, v těstovité podobě jako zrna různé velikosti [11]. Tato žhavá směs strusky a železa se ochlazuje a následně drtí na jemnou frakci. Nadrcená struska je přivedena na magnetický separátor. Zde se oddělují větší hrudkované kousky železa, které mají přes 85 % železa. Ty jsou vkládány do vysoké pece jako vsázka. Menší kousky železa a hlavně kousky obalené struskou se vracejí zpátky do rotační pece. Veškeré úpravy (obohacování) rud mají velký význam v oblasti nízkoprocentních rud.

Dalším prvkem jsou struskotvorné přísady. Většina rud je povahy kyselé, proto se do vysoké pece pro vytvoření strusky přidává skoro výhradně vápenec [11]. Vápenec je zásaditý minerál, který redukuje kyselost rud. (pozn. autora). Složení vysokopecní

vsázky vychází z materiálové bilance vsázkových surovin a předpokládaných produktů. Pro každou složku vsázky se určí hodnota volných zásad složky RO_m . Zjednodušeně. [18]: Viz rovnice č. 1.

$$RO_m = (CaO_m + MgO_m) - B_2 (SiO_{2m} + Al_2O_{3m}) \quad (1)$$

Zdroj: [18]

Výjimečně lze použít jako struskotvorné přísady zásadité látky: oxid hořečnatý či kyselé látky: oxid křemičitý.

Na palivo pro vysokou pec jsou kladeny velmi přísné požadavky.

- a) palivo musí mít vysokou výhřevnost,
- b) palivo musí obsahovat co nejvíc uhlíku a co nejméně popela a škodlivých látek (síry a fosforu),
- c) palivo musí být dostatečně pórovité, aby umožňovalo snadný průchod redukčním

plynům. A dostatečně pevné, aby se tlakem nedrtilo na drobné kousky [11].

Do pece lze ještě použít, a částečně nahradit jím železnou rudu, druhotné suroviny. Jde především o ocelový odpad, špony, okuje a kaly. Připravené suroviny se dopravují skipem do sazebny. Změnou pořadí sypání je možno řídit chod vysoké pece [14]. Z důvodu utěsnění vysoké pece je na sazebně umístěn těsnící uzávěr. Ten má dva účely, jednak těsnící a také umožňuje zásyp pece. Dříve se využívalo dvojitého zvonového uzávěru, nyní se využívá bezzvonové sazebny.

Další neméně důležitou částí jsou ohřivače vzduchu (Cowper), ty vhání pomocí dmychadel do vysoké pece předeřtý vzduch z ohřivačů vzduchu (vysokopeční kaupery) [20]. V ohřivačích vzduchu je cihlová vyzdívka, kterou prochází studené vzdušiny a odebírají teplo z cihel. Ohřátý vzduch má přibližně teplotu 700 °C až 1 100 °C. Pro jednu vysokou pec jsou potřeba 3 až 4 ohřivače vzduchu [20]. Ty se cyklicky střídají, jedna část spaluje paliva a akumuluje teplo do cihlové vyzdívky. Druhá část (naakumulovaná) odevzdává teplo vzdušinám. Dále je minimálně jeden ohřivač vzduchu připraven v záloze pro případ poruchy. Vzhledem k častým změnám, které probíhaly v ohřivačích, byla jejich vyzdívka složena z více typů žáruvzdorného materiálu (cihly magnezitové, šamotové i dinasové). Po zavezení vsázky do vysoké pece a foukání horkého vzduchu dojde k zapálení vysoké pece. Vysoká pec je v provozu kontinuálně po celou dobu své životnosti, kromě doby nutných oprav. Zavážení vsázkou, odpichy strusky

a surového železa se dělají průběžně v časovém odstupu. Například v době provozu vysokých pecí v Královodvorských železárnách se prováděl odpich surového železa vždy devětkrát za 24 hodin a to po předchozím vypuštění strusky. Vysoké pece v Králově Dvoře patřily v tehdejší době (80. léta 20. století) k menším pecím a měly obsah jen 405 m³. Při odpichu se obě části vypouštějí odděleně. Výpustný otvor strusky je umístěn výše, viz příloha 5 – Vysoká pec s příslušenstvím. Roztavená struska následně teče struskovým žlabem do granulačních zařízení, kde se zchladí a vyrobí se z ní granulát vhodný pro cement a k použití do stavebnictví. Menší množství strusky (spodní či odpichová), vyteče spolu se surovým železem a následně se oddělí od železa v sifonovém odlučovači. Surové železo se vypustí odpichovým otvorem a železovým žlabem odtéká buď přímo do licích pánví umístěných na vagónu, které roztavené surové železo převezou ihned do oceláren na další zpracování, nebo do licího pole, kde zvolna tuhne v kokilách. Třetí možností je vypuštění tekutého surového železa na pásové odlévání, kde následně tuhne v podobě ploten a je připraveno na další zpracování.

5. Vlastní zpracování železné rudy

V této části je podrobně popsán celý postup praktického experimentu, který je součástí teoretické části bakalářské práce. Samozřejmě, že i praktické části předchází teoretická příprava pokusu. Teoretická příprava se soustředí na problematiku pražení nízkoprocentních železných rud a složení vsázky. V navazující části se věnuje praktickému experimentu, kde je popsáno místo stavby, celý popis výstavby pece, přípravy vsázky včetně hodnot jednotlivých složek, zpracování a tavba v peci a celkové vyhodnocení pokusu.

5.1 Teoretická příprava

Pro náš experiment se stala inspirací nadzemní šachtovitá pec, která byla v roce 1921 nalezena v Loděnicích „V Báních“ (GPS: 49.9887425N, 14.1570569E), tu jsme přizpůsobili k našemu pokusu. Především jsme opustili od odpichových otvorů z důvodu, že jsme předpokládali a z historických pramenů věděli, že v peci této konstrukce a jejího technického vybavení nelze dosáhnout teploty, kdy vytavené železo přejde do tekuté formy a bylo by možné ho klasickým odpichem z pece vypustit a železo zůstává v podobě železné houby, která se získá až po vychladnutí pece vytloukáním ze ztuhlé taveniny. Struska nepřejde do plně tekuté formy, ale zůstává v podobě vazké kašovité hmoty. Jediný otvor pro zasunutí byla dyzna (píšťala) pro vhánění vzduchu do pece, a to pomocí turbínového ventilátoru, oproti historickému originálu, kdy byly používány pro vhánění vzduchu kožené měchy.

Pražení rudy – Hlavním důvodem pražení je usnadnění redukčních pochodů v peci. Teplota pražení se musí udržovat taková, aby se rozkládal jen uhličitán železnatý (550 °C až 650 °C), ne však vápenec (800 °C až 900 °C), který udržuje vypraženou rudu kusovou a zabraňuje jejímu rozpadávání. Ruda má být stejnoměrně vypražena i uvnitř kusů (kusy nemají mít uvnitř surové jádro takzvanou „pecku“) a má mít přibližně stejnou kusovost.

Účel pražení:

- a) Pražením vznikají v kusech rudy trhlínky, ruda se stává pórovitější a je přístupnější pro redukční plyny. Zkypřená ruda se v peci snadno redukuje s oxidem uhelnatým.
- b) Pražením se rozkládají hydráty a uhličitany a uniká chemicky vázaná voda a oxid uhličitý. Ruda se tím dále zkypřuje a je ještě pórovitější.
- c) Pražením se odstraňují škodlivé těkavé příměsi, tj. síra, arsen. Síru lze pražením odstranit téměř úplně (jeli vázána na železo), arsen jen částečně.
- d) Při redukčním pražení se zvyšují magnetické vlastnosti rudy. A pražením uhličitánů ztrácí rudy 25 % až 30 % hmotnosti [10], což má význam i při dopravě (nižší náklady na přepravu).

Pražení železné rudy jsme se rozhodli uskutečnit ve stejné peci, ve které pak následovala samotná tavba. Stejně tak, jako to v minulosti prováděly některé středoevropské národy.

Vsázka – Při tvorbě složení vsázky jsme vycházeli z praktických rad od zkušenějších tavičů, kteří již v podobných pecích zkoušeli redukci. Dle hrubého odhadu by měl být celkový objem paliva přibližně 1,2 násobek objemu rudy. Hmotnost vápence v sázce by se měla pohybovat okolo 10 % - 12 % z celkové hmotnosti vsázky. Velikost frakce vsázky byla zvolena s ohledem na archivní zpracování v hrudkovnách v Mníšku pod Brdy.

5.2 Popis místa stavby

Pec na tavbu železné rudy byla postavena v bývalém vápencovém lomu Paraple (GPS: 49.9758236N, 14.1498386E). V dnešní době je zde skanzen Solvayovy lomy – Společnost Barbora, zabývající se dokumentací historického vývoje těžby a dopravy vápence v Českém krasu. Tento skanzen se nachází mezi obcemi Bubovice a Svatý Jan pod Skalou na Berounsku.

Nadmořská výška, kde byla pec postavena je 401 m.n.m. Pec byla z jižního směru až k severovýchodnímu chráněna před větrem stěnou lomu. Této znalosti by se dalo využít k přirozenému foukání do pece, kdy víme, že často vane vítr ze severozápadního směru, který se pak před spodní hranou stěny zvedá k jejímu vrcholu. Správným nasměrováním dyzny na severozápad a její patřičné rozšíření na větší průměr v koncové části umožní zvýšené proudění vzduchu. Tím vznikne základní efekt a podle rovnice kontinuity se na konci dyzny zvedne rychlost proudění vzduchu. Tato metoda je známá už od dob starověku, kdy se hojně využívala například při zpracování železných rud na damascenské oceli v oblasti Sýrie, Indie a Střední Asie.

5.3 Postup stavby pece

Pec byla vybudována na rovné ploše o rozměrech 2 m x 2 m. V ose této plochy byla vyhloubena miska o průměru 480 mm a hloubce 150 mm. Na takto upravený a zhutnělý terén byla nanesena 70 mm tlustá vrstva splachových sedimentárních jílu, které byly řádně zhutněny. Jíl jsme nakopali v nedaleké vápencové jeskyni s názvem „Nová Aragonitová“. Tato jeskyně vznikla v období aktivních toků. Takto nakopané a přivezené jíly jsme nejprve zalili vodou. Postupně jsme je začali hníst v nádobě, zbavovat kamínků a menších frakcí. Takto zpracovaný jíl se dále využíval na stavbu pece. Na tomto jílovém základě byla postavena první řada šamotových cihel, která vytvořila kruh o vnitřním průměru 500 mm. Šamotové cihly byly vyzískány ze zrušených a zbouraných bývalých rotačních pecí, které byly dříve postaveny v Hrudkovnách Ejpovice, závod Mníšek pod Brdy - dnešní Kovohutě Mníšek pod Brdy. Použité šamotové cihly byly rozličných tvarů od klasických cihel o rozměrech 300 mm x 150 mm x 75 mm až po různé tvarové, lichoběžníkové či klenové. Bylo použito i několik barytových cihel. Šamotové a barytové cihly byly použity z důvodu jejich vlastností, především velké akumulace tepla. Cihly byly na sebe volně naskládány a do vzniklých mezer mezi jednotlivými cihlami se vpravil již dříve zmíněný jíl (viz příloha 9 – Stavba pece I), který se dále postupně pěchoval, aby se lépe „dotáhla“ řada šamotových cihel a také proto, že jíl během sušení ztrácí na objemu. Velkým napěchováním jílu se tato ztráta zmenšila, ale bohužel se nevyloučila, proto bylo nutné během ohřívání ještě vzniklé mezery znovu vymazávat. Jednotlivé řady šamotových cihel byly na sebe volně skládané bez vymazávání mezi řadami. Vymazávaly se jen vzniklé mezery. Tímto způsobem bylo na ležato založeno 8 řad cihel. Každá řada cihel se lehce odsadila, tak aby vznik kuželovitý tvar pece. Tím se zabránilo zasekávání vsázky a její snadnější propadávání. Naposledy jsme založili jednu řadu cihel nastojato. Takto jsme dosáhli pevné výšky pece 1 200 mm. Horní vnitřní průměr pece byl 380 mm. Na tuto vystavěnou pec bylo možné podle směru a rychlosti větru a i tahu, který pec měla, vyskládat ještě několik řad z cihel bez vymazávání jílem jako navýšení šachty a zároveň jako ochranu před bočními větry. Viz příloha 8 - Výkres pece. Ve spodní části pece těsně nad úrovní misky byl zhotoven vstupní otvor pro umístění „dyzny“ (píšťala) a zároveň po skončení tavby sloužil pro vyhrabávání vzniklé železité houby. Jako „dyzna“ byla použita silnostěnná nerezová trubka o rozměrech 100 mm x 8 mm a délkou 1 000 mm, na kterou byla navařena redukce na hadici PVC s ocelovým kordem o vnitřním průměru

124,5 mm (viz příloha 10 – vypálená pec s dyznou – píšťalou). Tato redukce byla vyrobena z 2 mm nerezového plechu. Dyznu (píšťalu) jsem si pro tento speciálně vyrobil. Během stavby se dyzna vložila do otvoru pece a v bezprostřední blízkosti pece se zaskládala šamotovými cihlami, na které se pak nanasla a upěchovala silná vrstva jílu. Těsně za vyústěním silnostěnné trubky byl z jílu a šamotových cihel vybudován retardér do poloviny světlosti otvoru proti případnému nebezpečí vniknutí vsázky do trubky. Naštěstí tato obava byla zbytečná. Zbylým materiálem (zeminou, jílem, cihlami) byla pec obložena pro lepší akumulaci tepla během vyhřívání pece.

5.4 Příprava vsázky

Železná ruda:

Jako kovonosná surovina byla použita nízkoprocentní oolitická krevelová ruda sedimentárního charakteru z díla Důl Skalka v Mníšku pod Brdy (viz obr. 7., pozice 12).

Tabulka č. 2 – Zastoupení chemických prvků a sloučenin v železné rudě.

Prvek	Fe	SiO ₂	P	Mn	S	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	H ₂ O	Ostatní prvky
%	20 %	38 %	0,7 %	0,1 %	0,85 %	10,8	3 %	1,1 %	3 %	22,45 %

Zdroj: [15]

Tato ruda byla těžena na „výchozech“ neboli železných kloboucích, to je místo, kde zrudněná hornina vystoupá až na povrch. Tato zrudněná hornina dále zvětrává, což velmi usnadňuje její další alternativní zpracování přímou metodou. Natěžená hornina se dále mechanicky zpracovávala, a to nejprve palicí na menší kousky o velikosti 100 mm. V této fázi také byla zevrubně tříděna na kusy, ve kterých byla jasně zřejmá oolitická či výjimečně limonitová struktura, (viz obr. 12)

Obr. 12, Oolitická struktura železné rudy – Ložisko Mníšek pod Brdy



Zdroj: Autor

Dále byla vytříděná ruda drcena na čelistovém drtiči, viz příloha 11 – čelistový drtič na frakci 5 mm - 9 mm včetně malého množství prachu, který vznikl při drcení. Do předem vytopené pece, která se vytápěla po dobu 12 h, se nejprve vyskládala vrstva suchého dubového dříví a na tuto vrstvu se ještě nasypala další slabší vrstva dřevěného uhlí o výšce cca 60 mm, aby se vytvořila dostatečně silná palivová základna pro pražení. Na tuto vrstvu byla nasypána nadrcená frakce železné rudy, která se nechala vypražit. Pražení v našich podmínkách trvalo přibližně 6 h a to při udržování teploty 580 °C až 620 °C. Teplota byla měřena opticko-mechanickým a zároveň i digitálním pyrometrem. Po vychladnutí pece se mohla vyjmout vypražená ruda, která se plnila do nádob s uzavíratelným víkem, aby nadrcená železná ruda nepřijímala zpátky vzdušnou vlhkost.

Dřevění uhlí:

Dřevěné uhlí bylo použito převážně z tvrdého dřeva a to z buku lesního či dubu zimního. Tvrdé dřevo je příznivější pro nižší obsah křemíku. Z celkového obsahu dřevěného uhlí se 60 % drtilo taktéž na čelistovém drtiči na frakci 5 mm - 9 mm, zde byl podíl dřevouhelného prachu mnohonásobně vyšší. Tento prach byl využit pro obalení jednotlivých kousků frakce železné rudy. Zbylých 40 % dřevěného uhlí se využilo jako základ pro vytvoření žhavé základny na dně pece.

Vápenec:

Jako struskotvorná přísada byl použit vápenec přímo z lomu, ve kterém probíhal náš experiment alternativního zpracování železné rudy. Tento vápencový lom, stejně jako náš železnorudný důl patří do oblasti Barrandienu. Stářím odpovídá natěžený vápenec do spodních devonů. Jedná se o vysokoprocenní saturační krystalický vápenec. Tento vápenec se původně těžil pro výrobu sody (uhličitan sodný) – vyráběný tzv. „Solvayovou metodou“ a dále hydroxidu sodného. Tento vápenec tvořil přibližně 12 % celkového objemu vsázky.

Koks:

Jako další zdroj tepla byl použit vysokopecní koks o frakci 40 mm – 60 mm typu „kostka“. Tento vysokopecní koks byl použit na „tepelnou základnu pece“. Část byla namleta na čelistovém drtiči na frakci 5 mm – 9 mm a zamíchaná do vsázky.

Tabulka č. 3 - Procentuální zastoupení vsázky v závislosti na hmotnosti a objemu

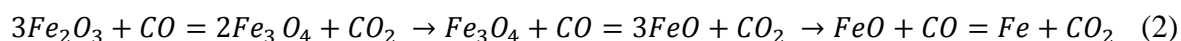
Materiál	Objem. podíl (%)	Hmotnost (Kg)	Objem (m ³)
Železná ruda	34,6 %	42 kg	0,041 m ³
Dřevěné uhlí	35,7 %	8 kg	0,043 m ³
Pecní koks	15,8 %	12 kg	0,021 m ³
Vápenec	13,9 %	8 kg	0,017 m ³

Zdroj: Autor

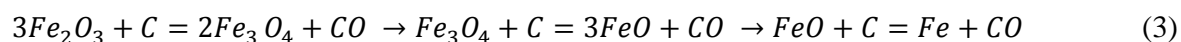
5.5 Zpracování a tavba železné rudy

Na rovném místě na plachtě se postupně smíchala celá vsázka, skládající se z nadrceného dřevěného uhlí, vypražené železné rudy, nadrceného vysokopecního koksu a saturačního krystalického vápence. Po uskutečnění všech přípravných prací, do kterých se počítalo i pražení rudy, se celá namíchaná směs nasypala do uzavíratelných a vzduchotěsných nádob a uskladnila se na suchém místě. Celá tavba byla naplánována na dva dny. Alternativní zpracování a vlastní tavba (redukce) železné rudy začala první den ráno a to vytápěním pece. Pec bylo potřeba vytápět alespoň 24 h, nakonec byla vytápěna 30 h, což vůbec nevadilo, o to více byla pec prohřátá. V peci se topilo obyčejným tvrdým

dřívím. Během dne se na peci průběžně jíly vymazávaly různé pukliny a netěsnosti, vzniklé vysoušením jílu při vytápění pece. Tyto jíly během svého vysušení ztratily zhruba 30 % svého objemu. Ve vytápění pece se pokračovalo i během noci, kdy se v pravidelných intervalech přikládalo. Během ranních hodin se teplota na vnější části šamotových cihel vyšplhala až na 65 °C, což byla známka správného postupu ve vytápění a akumulace tepla v cihlách. Během druhého dne pokračovala příprava na tavbu a přemazávali jsme vzniklé pukliny. Proběhla příprava a odzkoušení vzduchotechniky. Pro vhánění vzduchu byl použit turbínový ventilátor uložený na společné hřídeli s třífázovým asynchronním motorem. Vzhledem k tomu, že ve skanzenu není trvalý přívod elektrické energie, tak se elektriky vyráběl v elektrocentrále. Odpoledne se v peci začalo intenzivněji topit. Bylo potřeba vytvořit velkou „tepelnou základnu pece“, a tím se posune vlastní redukce do vyšších poloh v peci, kde bude i vyšší teplota. Vlivem vhánění vzduchu o teplotě cca 20 °C byla teplota na vstupní části pece nižší. Proto se v peci přestalo topit dřívím a na žhavé uhlíky se nasypala směs větších kusů (frakce 40 mm – 60 mm) dřevěného uhlí a vysokopečního koks. Obě složky byly zastoupeny hmotností zhruba 10 kg. Touto směsí se zaplnila pec zhruba do $\frac{1}{6}$ její pevné výšky (celkově 1 200 mm). Směs se nechala asi 1 h důkladně rozhořet za stálého vhánění vzduchu ventilátorem. Po rozhoření směsi se na dně pece dosáhlo teploty zhruba 1 350 °C. Za hodinu po nasypání směsi byl vypnut ventilátor a došlo k nasypání vsázky do pece. Namíchaná vsázka byla připravena ve 20 dm³ nádobách z důvodu jednoduché manipulace. Vsázka se nejprve sypala pomocí malého vědra na tyči, z obavy exploze směsi či velmi rychlého vzplanutí, protože ve vsázce byl i určitý podíl prachu z přísad, a to především z dřevěného uhlí. Tato obava byla nakonec relativně zbytečná, a tak se další část vsázky sypala přímo z nádob. Pec se vsázkou naplnila zhruba do $\frac{4}{5}$ její výšky. Komín pece se přiklopil cihlami, ve kterých se nechal jen malý otvor o velikosti 100 mm x 100 mm. Tento otvor byl dostatečně veliký pro odchod spalin, ale ne zase tak, aby se jím ztrácelo teplo. Po zaklopení pece se znovu pustil ventilátor. V boku dyzny byla umístěna škrtecí klapka, ta sloužila pro škrcení vzduchu a také k lepší regulaci teploty v peci. Teplota v peci byla udržována okolo 1 200 °C, tuto teplotu jsme měřili jednak bezdotykovým laserovým digitálním pyrometrem, tak i starším typem opticko - mechanického pyrometru. Při redukci železné rudy byla využita tato redukční rovnice a to částečně první rovnicí: viz rovnice č. 2. – nepřímá redukce.



A částečně druhou možnou rovnicí: viz rovnice č. 3. – přímá redukce



Redukce železné rudy začala v sobotu v 17 h a trvala celkově 8 h. Během prvních 90 minut pec jen zvolna kouřila a postupně se rozhořivala celá vsázka, která byla vložena do pece. Zhruba po 3 h se pec začala mohutně rozhořivat a v komínu pece se vznítily vysokopecní plyny. Tyto plyny, které dosahovaly až dvou metru, velmi intenzivně hořely po další 2,5 h, viz příloha 12 – Vzplanutí vysokopecních plynů. Po celou dobu tavby se průběžně kontrolovala teplota v peci a vizuálním pohledem se také kontroloval stav vsázky. Po 8 h, kdy už intenzita hoření začala klesat a pohledem do pece pomocí zrcátka, tvořeného perfektně vyleštěnou nerez ocelí, bylo zřejmé, že vsázka už vyhořívá. Byl vypnut ventilátor a uzavřen vstup v dyzně. Zakryl se malý otvor 100 mm x 100 mm, který byl určen pro odvod spalin v peci komína. Po utěsnění se nechala pec zvolna vychladnout. Po vychladnutí pece se započalo s rozebíráním vstupu a vyzvedáváním našeho výsledku „železné houby“. V místě vstupní části pece se nacházelo především velké množství roztavené a slité směsi křemíku a železa. Zřejmě zde byla při redukci železné rudy překročena teplota a začalo docházet k roztavení křemičité části, která je obsažena v naší natěžené železné rudě a to až 70 % oxidu křemičitého. Teplota tání křemíku v čisté formě je 1 413,85 °C. Tento roztavený křemík se pak začal mísit s natavenými kousky železa, tím vznikla směs Fe-Si (ferosilicium), která ale pro naše další zpracování byla nepoužitelná. Této směsi Fe-Si bylo z pece získáno zhruba 18 kg. Celková váha železné houby byla 5,5 kg. Hustota získané železné houby je o mnoho nižší, protože je hodně pórovitá, napěněná a je v ní velké množství zbytků dřevěného uhlí, které má velmi nízkou hustotu. Železná houba získána z pece byla ukládána na plech k úplnému vychladnutí. Menší a nejednoznačné kousky byly ještě kontrolovány pomocí magnetu. Především proto, že slitá směs Fe-Si (strusková část tavby) magnetovala velmi málo či vůbec, kdežto železná houba na magnet reagovala velmi dobře. Přetříděná železná houba byla uschována do vzduchotěsných nádob s uzavíratelným víkem, aby nezačala kvůli vzdušné vlhkosti rychle korodovat a byla připravena pro další zpracování. To spočívalo v přetavení železné houby v menší slitek surového železa. Původní návrh zpracování spočíval v umístění

grafitového kelímku (tyglíku) do rozpálené výhně. Do něj se nasypala vsázka (železná houba) a nechala se přetavit. Tato metoda se však neosvědčila, jednak ze stále vysokého obsahu oxidu křemičitého v železné houbě a jednak z nedostatečné teploty v grafitovém kelímku. Proto jsme při druhé variantě nasypali železnou houbu přímo do rozpálené výhně. Ve výhni z této vsázky vznikl spečenec, ze kterého se po nadrcení vybraly magnetem malé kousky surového železa, většinou o průměru v 5 mm – 7 mm. Celková hmotnost pecek surového železa byla 180 g. Tyto pecky surového železa se znovu vložily do grafitového kelímku, který se umístil do výhně, viz příloha 15 – Zkujňování v kovářské výhni. I přesto, že součástí výhně je elektrický ventilátor, nedosáhli jsme dostatečné teploty, aby se pecky surového železa roztavily a vznikla tavenina. Teplota byla dostačující pouze na částečné natavení jednotlivých pecek a jejich spojení. Během tavení v kelímku jsme přisypávali borax jako tavidlo. Po celou dobu zpracování se ve výhni topilo směsí nadrceného vysokopecního koksu a černého kovářského spékaného uhlí. Výsledkem zpracování ve výhni je slitek surového železa a hmotnosti zhruba 50 g a přibližných rozměrech 30 mm x 25 mm x 15 mm.

5.6 Vyhodnocení experimentu tavby železné rudy

Cílem pokusu byl experiment, při němž se pomocí jednoduché metody zpracovala nízkoprocentní sedimentární železná ruda v primitivních podmínkách. Výsledkem tohoto pokusu vznikl malý kousek surového železa. Při celkovém zhodnocení pokusu se experiment nedá považovat za větší úspěch. Je pravdou, že se podařilo vyrobit surové železo, ale celková účinnost tohoto procesu je extrémně malá a to $\mu = 0,001$.

Prvním a zásadním problémem pokusu je vysoký obsah oxidu křemičitého v železné rudě. Tato příměs v zrudnění je velmi problematická, protože při přímé redukci se nevytvoří v peci jednolitá tavenina, při které by se oddělilo železo od strusky (především oxid křemičitý). Vznikne tím směs Fe – Si, která byla pro naše další zpracování nepoužitelná. Druhým zásadním problémem byla velká napěněnost železné houby, způsobena velkým množstvím vhněného vzduchu. Tato napěněnost silně komplikovala další zpracování železné houby kovářským způsobem, který je jeden ze základních způsobů hutnění u přímé metody vyredukovaného železa. Pokud by měla železná houba kompaktnější tvar, vyhnuli bychom se složité fázi přetavení a tím bychom získali i větší množství surového železa. Dále bylo problematické dodržení přesné teploty v celé ploše pece, zejména u dyzny teplota dosahovala zhruba 1 400 °C. Tato teplota již velmi podporuje vznik Fe – Si, než teploty nižší. Do celkového výčtu lze přidat, že účinnost tavby byla snížena i ztrátami během přípravných operací (drcení, pražení, míchání i doprava). Z původních 60 kg narubané železné rudy jsme po drcení a pražení získali 42 kg vypražené rudy. Po vlastní redukci to bylo již jen 5,5 kg směsi železné houby, která byla znečištěná nadrcenými zbytky dřevěného uhlí. Nakonec po přetavení v grafitovém kelímku ve výhni jsme získali 50 g surového železa, pravděpodobně s vyšším obsahem uhlíku. Vyvarováním se výše zmíněných chyb by byla celková výtěžnost surového železa z rudy určitě vyšší.

6. Závěr

Výsledkem této bakalářské práce bylo vypracovat přehled výroby a zpracování slitin železa z historického pohledu na území Čech, Moravy a Slezska. Po přečtení je zřejmé, že tato práce není zdaleka kompletní, protože podrobné popsání vývoje zpracování železných rud ve slitiny železa by vydalo na poměrně obsáhlou publikaci. Bakalářská práce se snažila popsat procesy zpracování v rámci českých zemí, zejména v oblasti BARRANDIENU. Tato oblast byla v minulosti v Čechách místem rozmachu železářství. Na počátku historie, v době starověku pro svoje ložiska snadno dobytelných rud a rozsáhlých lesů na Křivoklátsku a v Podbrdsku. Ale i v době moderních dějin, v době rozvoje páry, prožila tato oblast obrovský rozvoj. Příčinou toho byla stále rozsáhlejší těžba železných rud, objev černého kamenného uhlí na Kladensku Janem Váňou v roce 1846 a začínající těžba vápence v Českém krasu. Spojením těchto třech základních surovin se předurčoval budoucí rozmach českého srdce železářství a hutnictví.

V práci bylo popsáno pět základních bilančně těžených železných rud včetně mapy výskytu povrchových ložisek, jak v rámci České republiky, tak v oblasti BARRANDIENU. Na to navazuje historický pohled o vývoji výroby slitin železa na území českých zemí. Je zde i lehce naznačena problematika dalšího zpracování v kvalitnější oceli či litiny.

V návaznosti na tisícileté tradice redukce železné rudy, kterou započali na našem území již Keltové v době halštatské, jsem se rozhodl provést pokusný experiment tavby železné rudy. Chtěl jsem ověřit na základě získaných historických podkladů možnosti výroby železa v primitivních podmínkách. Bez jakýchkoliv předchozích zkušeností jsem začal hledat v archivech, knihách či na internetu. Výsledkem této celé práce byl slitek nekvalitního surového železa o váze 50 g. Vyvarovat se třech základních chyb či problémů, kterými byly vysoký obsah oxidu křemičitého, vysoký objem foukaných vzdušín a nerovnoměrná teplota v peci, dopadla by celá tavba lépe. Avšak to je vývoj, ani starým Keltům se to nezdařilo hned na poprvé.

7. Vysvětlení použitých pojmů

Vysokopecní plyny

Vysokopecní plyny jsou nízkovýhřevné hořlavé plyny, protože se jejich výhřevnost pohybuje mezi 2,7 – 4,0 MJ x m⁻³. Směs plynů, ve kterých se kromě hořlavých plynů, vyskytují i nehořlavé. Z hořlavých plynů je to především: oxid uhelnatý, metan, vodík, a další prvky zastoupené v minimální míře. A z nehořlavých plynů je vysokopecní plyn složen hlavně z dusíku a oxid uhličitýho. Vysokopecní plyny vznikají především z uvolněných plynů z vsázky.

Kychta

Kychta je hořící plamen, který se samovznítí nad komínem pece. Tento plamen má silně redukční atmosféru a nemá příliš vysokou teplotu.

Pojem „kychta“ může být také jako jiný název horní části vysoké pece, kde se vysoká pec zavazuje vsázkou a je zde průchod na odvod plynů. Tato část se odborně nazývá – sazebna.

Dyzna

V našem případě se jedná o silnostěnnou ocelovou trubku, kterou se nuceně z ventilátoru vhání vzduch do pece. Dyzna nemusí být nutně z ocelové trubky, ale může být klidně z šamotové roury, či vyskládána z tvarových cihel, či z čehokoliv jiného, co bude tepelně a žáruvzdorně odolávat.

Železná houba

Železná houba má pórovitou a napěněnou strukturu. Skládá se především z malých natavených kousků železné rudy a ze zbytku nespáleného dřevěného uhlí, které jsou do sebe vzájemně napečené.

Struska

Ve vysokopecní vsázce musí být kromě rud (nebo jiných surovin obsahujících železo) a koksu ještě minerální látky, tzv. struskotvorné přísady, jejichž hlavním úkolem je vytvořit s hlušinami rud a popelem koksu taveninu s nižší teplotou tání (strusku), která se dá z vysoké pece snadno vypustit, nejdůležitější struskotvornou přísadou je vápenec. Struska má nejen odstraňovat hlušinu z vysoké pece, ale má též velký vliv na průběh

vysokopecního pochodu a na složení vyrobeného surového železa [11] a jeho ochranu proti znovu zoxidování, či zvýšení obsahu uhlíku z koksů. Dále struska na sebe váže oxidy křemíků. Sloučeniny křemíků jsou v rudách velmi nežádoucí. Struska může být zásadité, neutrální či kyselé povahy.

Synklinála

Je vrása (rýha), jedná se o místo, kde z geologického hlediska dojde k poklesu vrstev hornin. Způsobené bočním tlakem. Opakem poklesu je vyklenutí (antiklinála).

V případě železorudného dolu Skalka se jedná o variské vrásnění.

Barrandien

Je území táhnoucí se od Prahy směrem k Plzni. Oblast vznikla v pozdním období starších prvohor, a nachází se zde velké množství významných lokalit. Hlavní geologické útvary jsou kambrium, ordovik, silur, devon. Horniny v Barrandienu tedy vznikaly v časovém rozmezí přibližně před 1 000 až 370 miliony let [17].

8. Použitá literatura

a) Knižní zdroje (literatura)

- [1] ČAPEK, K., *Loděnice včera a dnes*, Tiskařské závody n.p., závod 2, Praha 1, 1985, 104 s.
- [2] MENCL, J., a kolektiv, *Železnorudný důl Krušná hora historie a současnost*, Vydavatelství Osveta, Martin, 1988, 150 s.
- [3] *Chrutenická železnorudná šachta*. Praha: Radan Lášek - Codyprint, 2002, 54 s., 33 s. obr. příl. ISBN 80-902964-2-4.
- [4] *Rudné a uranové hornictví České republiky*. Ostrava: Anagram, 2003, 647 s. ISBN 80-86331-67-9.
- [5] TRAFINA, P., *Mineralogická vycházka - křemence v okolí Mníšku pod Brdy a důlní dílo Skalka*, 2007, Minerál, roč. 15, č. 2, s. 165-172.
- [6] TOPINKA, J., a kolektiv, *Minulostí Berounska 2*, Okresní úřad Beroun pro Státní okresní archiv v Berouně, 1999, Baroko a Fox s.r.o. Beroun, ISBN 80-238-3529-7, 328 s.
- [7] TOPINKA, J., a kolektiv, *Minulostí Berounska 3*, Okresní úřad Beroun pro Státní okresní archiv v Berouně, 2000, Baroko a Fox s.r.o. Beroun, ISBN 80-238-5059-8, 312 s.
- [8] TOPINKA, J., a kolektiv, *Minulostí Berounska 4*, Okresní úřad Beroun pro Státní okresní archiv v Berouně, 2001, PB tisk Příbram, ISBN 80-238-6744-X, 306 s.
- [9] PLEINER, R. *Základy slovanského železářského hutnictví v Českých zemích: vývoj přímé výroby železa z rud od doby halštatské do 12. věku*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1958, 335 s., 32 s. obr. příl. Monumenta archaeologica, tomus 6.
- [10] VONDRÁČEK R., QUADRAT O., *Chemická technologie*, Svazek 1., sešit 6., Výroba železa, Tisk Československá grafická Unie a.s., 1934, 656 s.
- [11] HOUDEK, František. *Výroba surového železa: co má vědět každý tavič o vysoké peci*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956, 231 s. Řada hutnické literatury.
- [13] MAKARIUS, Miroslav. *Výroba surového železa: učební text pro prům. školy hutnické*. 3. přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1962, 254 s. Řada hutnické literatury.
- [14] HOUDEK, F., *Výroba surového železa*, učební sešit 3, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1956, 109 s.

[15] **KRIŠTOF, J.**, *Úvodní projekt*, Státní ústav pro projektování rudných dolů – rudný projekt Praha, Praha 1954

[22] **GEERDES, M., Toxopeus, H., van der Vliet, C.** : *Modern blast furnace ironmaking*, 2009, 176 s.

[24] **ČERNOCH, Svatopluk.** *Strojně technická příručka*. 13., upravené vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1977, 2 sv.

[25] **MAJERČÁKA, Š., MAJERČÁKOVÁ, A.**, *Hutnictvo železa a ocele I., Výroba surového železa*, Edičné stredisko VŠT v Košiciach, Košice 1974, 118 s.

b) Internetové zdroje

[12] Výroba železa a oceli, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 01 - 22]. Dostupné z URL, <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html>

[16] Vítejte na stránce mineralogie pro školy, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 02 - 22]. Dostupné z URL, < <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/index.html>>

[17] Wikipedie otevřená encyklopedie, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 02 - 22]. Dostupné z URL, <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Barrandien>>

[18] Teorie železářských pochodů, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 02 - 28]. Dostupné z URL, <<http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/618-Kret-Teorie-zelezarskych-pochodu.pdf>>

[19] Sdružení Villa Nova Uhřínov střediska experimentální archeologie a regionálních dějin se sídlem v Uhřínově pod Děštnou, 2015, [cit. 2015 – 02 - 28]. Dostupné z URL, <<http://www.villanova.cz>>

[20] Hornická skripta, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 02 - 22]. Dostupné z URL, <<http://www.hornictvi.info/prirucka/zprac/vyspec/vyspec.htm>>

[21] Strojírenství, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 02 - 22]. Dostupné z URL, <<http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/01zelezo.php>>

[23] Strojářina.jecool.net, [on-line], 2015, [cit. 2015 – 03 - 15]. Dostupné z URL, <<http://www.strojarina.jecool.net/wp-content/uploads/Data/STT/STT%20pracovn%C3%AD%20se%C5%A1it%201/Vysok%C3%A1%20pec.jpg>>

c) Mapová citace

[26] © Seznam.cz, a.s. - < <http://www.mapy.cz/> >

9. Příloha 1 - Tabulka použitých chemických prvků a sloučenin

Al_2O_3	Oxid hlinití
Ar	Argon
C	Uhlík
CaO	Oxid vápenatý
$CaCO_3$	Uhličitan vápenatý
CH_4	Metan
CO	Oxid uhelnatý
CO_2	Oxid uhličitý
Fe	Železo
$Fe(OH)_2$	Hydroxid železnatý
$Fe(OH)_3$	Hydroxid železitý
$Fe_5^{+2}Al(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$	Hlinitokřemičitan hlinito – železnato - železitý
Fe_2O_3	Oxid železitý
$Fe_2O_3 \times X \times H_2O$	Oxid železitý (vodnatý)
Fe_3C	Karbid železa
Fe_3O_4	Oxid železnato – železitý
$FeCO_3$	Uhličitan železnatý
FeO	Oxid železnatý
FeS_2	Disulfid železnatý
$FeSi$	Fero - silicium
$FeTiO_3$	Oxid železnato - titaničitý
MgO	Oxid hořečnatý
Mn	Mangan
N	Dusík
$Na_2[B_4O_5(OH)_4] \times 8 H_2O$	Tetraborita sodný
Na_2CO_3	Uhličitan sodný
$NaOH$	Hydroxid sodný
O	Kyslík
P	Fosfor
S	Síra
SiO_2	Oxid křemičitý

10. Příloha II - Seznam obrázků, příloh, tabulek a rovnic

Obr. 1, – Hematit Fe_2O_3 – ložisko Krušná hora

Obr. 2, – Magnetit Fe_3O_4 – ložisko Herlíkovice

Obr. 3, – Limonit - ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) – ložisko Nevid u Rokycan

Obr. 4, – Pyrit (FeS_2) – ložisko Kutná hora

Obr. 5, – Siderit FeCO_3 - ložisko Příbram

Obr. 6, – Chamosit ($\text{Fe}^{+2}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) – ložisko Nučice

Obr. 7, – Schematická mapa ordovických železných rud v Barrandienu.

Obr. 8, – Zjednodušený geologický řez železnorudným ložiskem Mníšek pod Brdy – Skalka

Obr. 9, – Nadzemní šachtová pec, (Loděnice, Čechy, doba římská)

Obr. 10, – Pudlovací pec

Obr. 12, – Oolitická struktura železné rudy - ložisko Mníšek pod Brdy

Příloha 1 – Nákres ložiska

Příloha 2 – Výskyt povrchových nalezišť železné rudy

Příloha 3 – Stopy hutnictví železa v zemích českých v době halštatské

Příloha 4 – Dýmací pec z 12. století

Příloha 5 – Vysoká pec s příslušenstvím

Příloha 6 – Tepelná schéma vysoké pece

Příloha 7 – Celkové uspořádání vysoké pece

Příloha 8 – Výkres pece

Příloha 9 – Stavba pece I

Příloha 10 – Vypálená pec s dyznou (píšťalou)

Příloha 11 – Čelistový drtič

Příloha 12 – Pražení rudy

Příloha 13 – Vzplanutí vysokopecních plynů

Příloha 14 – Měření z termo kamery I

Příloha 15 – Měření z termo kamery II

Příloha 16 – Zkujňování v kovářské výhni

Příloha 17 – Řez pecí

Příloha 18 – Petrografický rozbor železné rudy z dolu skalka

Tabulka č. 1 – Chemické zastoupení jednotlivých prvků v železné rudě po hrudkování

Tabulka č. 2 – Chemické zastoupení jednotlivých prvků v železné rudě

Tabulka č. 3 – Procentuální zastoupení vsázky v závislosti na hmotnosti a objemu

Rovnice č. 1 – Výpočet hodnoty volných zásad

Rovnice č. 2 – Rovnice nepřímé redukce

Rovnice č. 3 – Rovnice přímé redukce

11. Příloha III - Použité zkratky jednotek

%	procenta
°C	stupně celsia
h	hodina
kg	kilogram
m	metr
m.n.m	metrů nad mořem
m ³	metr krychlový
MJ	megajoule
mm	milimetr
t	tuna
μ	účinnost

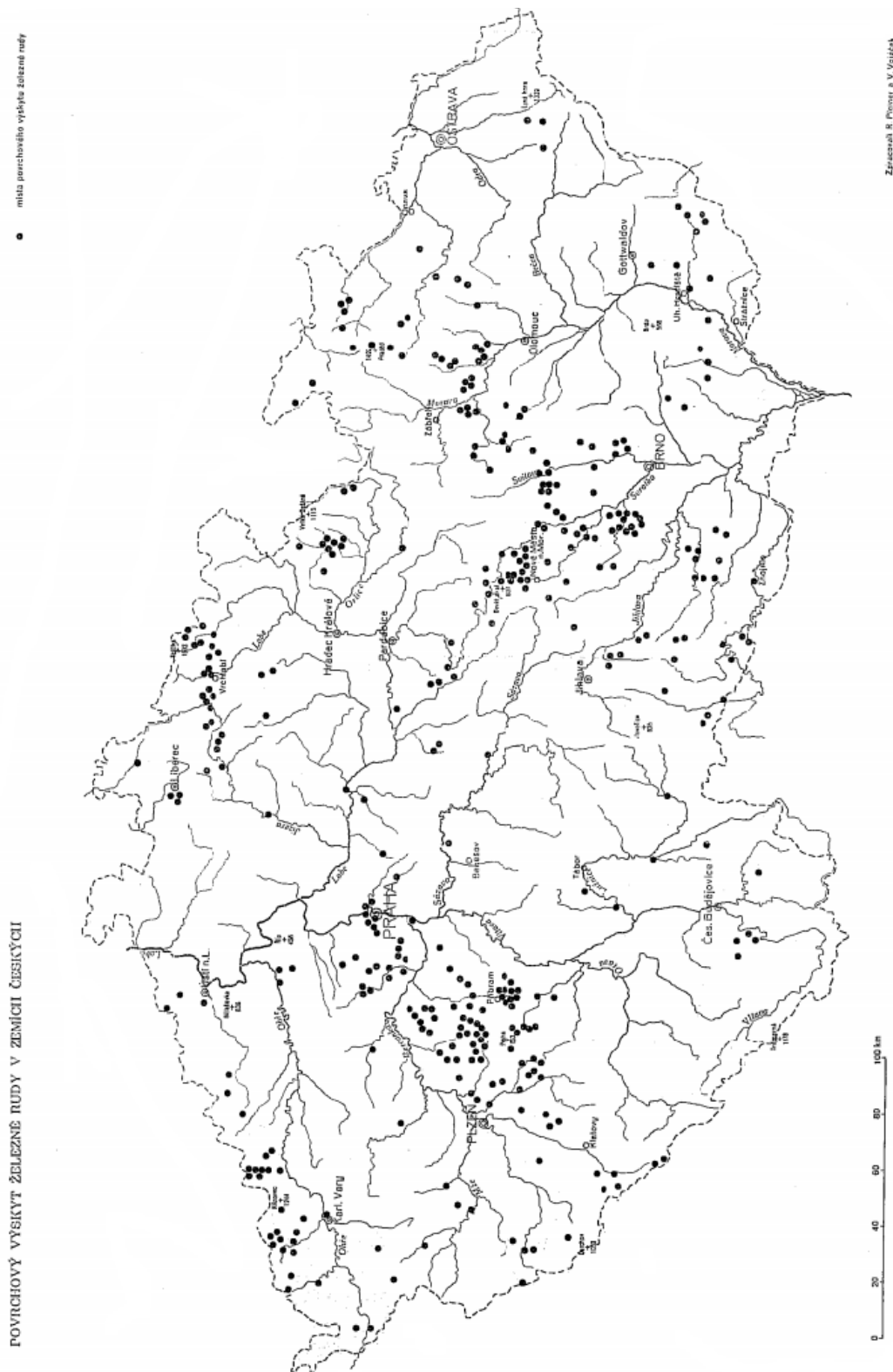
12. Obrazová příloha

Příloha 1 – Náskres ložiska Důl skalka – Mníšek pod Brdy



Zdroj: Autor, [26]

Příloha 2 – Výskyt povrchových nalezišť železné rudy

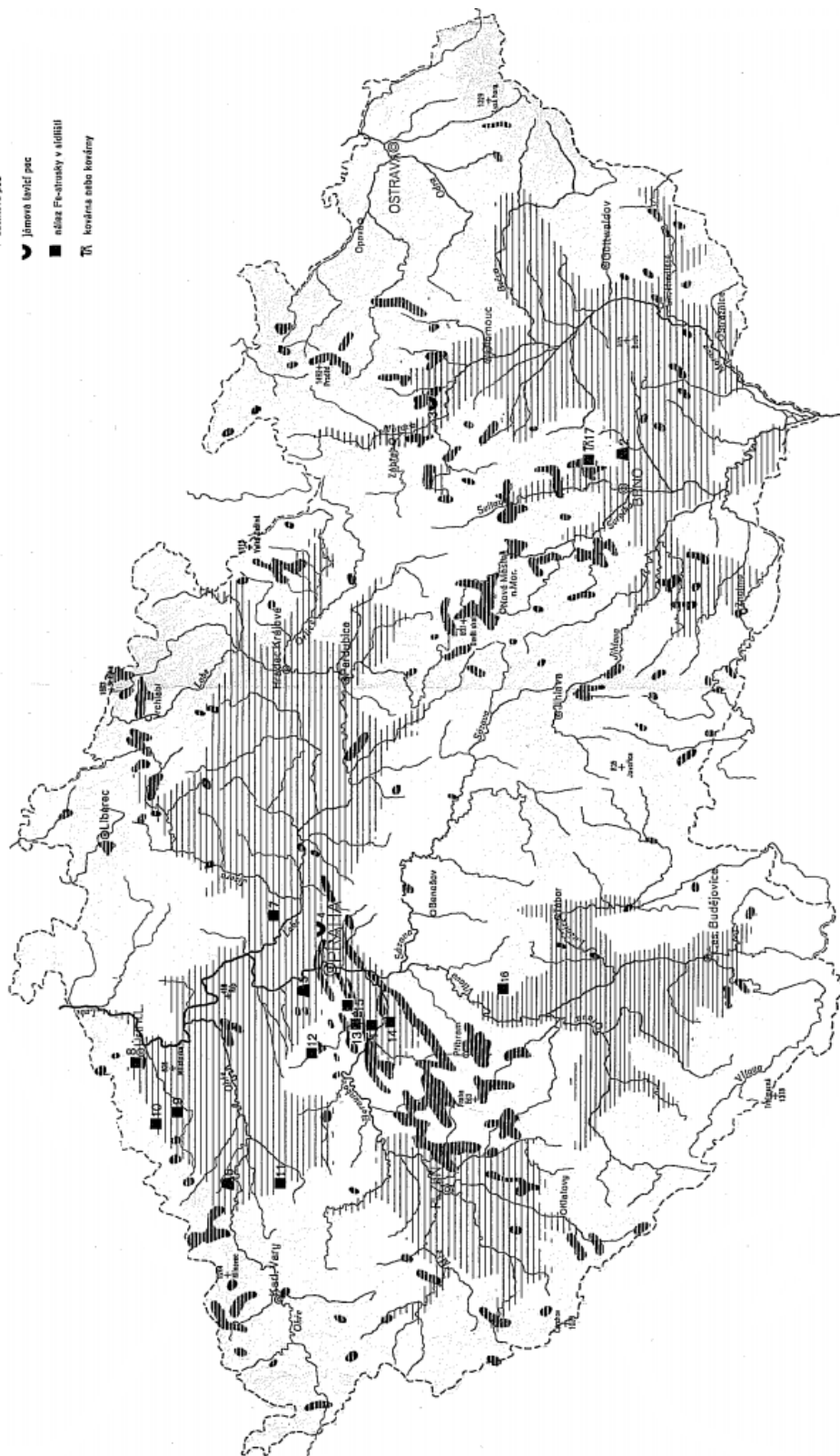


Zdroj: [9]

Příloha 3 – Stopy hutnictví železa v zemích českých v době halštatské

STOPY HUTNICTVÍ ŽELEZA V ZEMÍCH ČESKÝCH V DOBĚ HALŠTATSKÉ

- příbuzný rozsah vzdáleného území
- ▨ rozlehlý parčíkový výskyt železných rud
- ▩ lechtivé železo
- ▼ jáměná ložiska železa
- výhled Fe-železných v sídlišti
- ⊞ kovářská nebo kovářská



Zpracoval R. Pflieger a V. Vališek

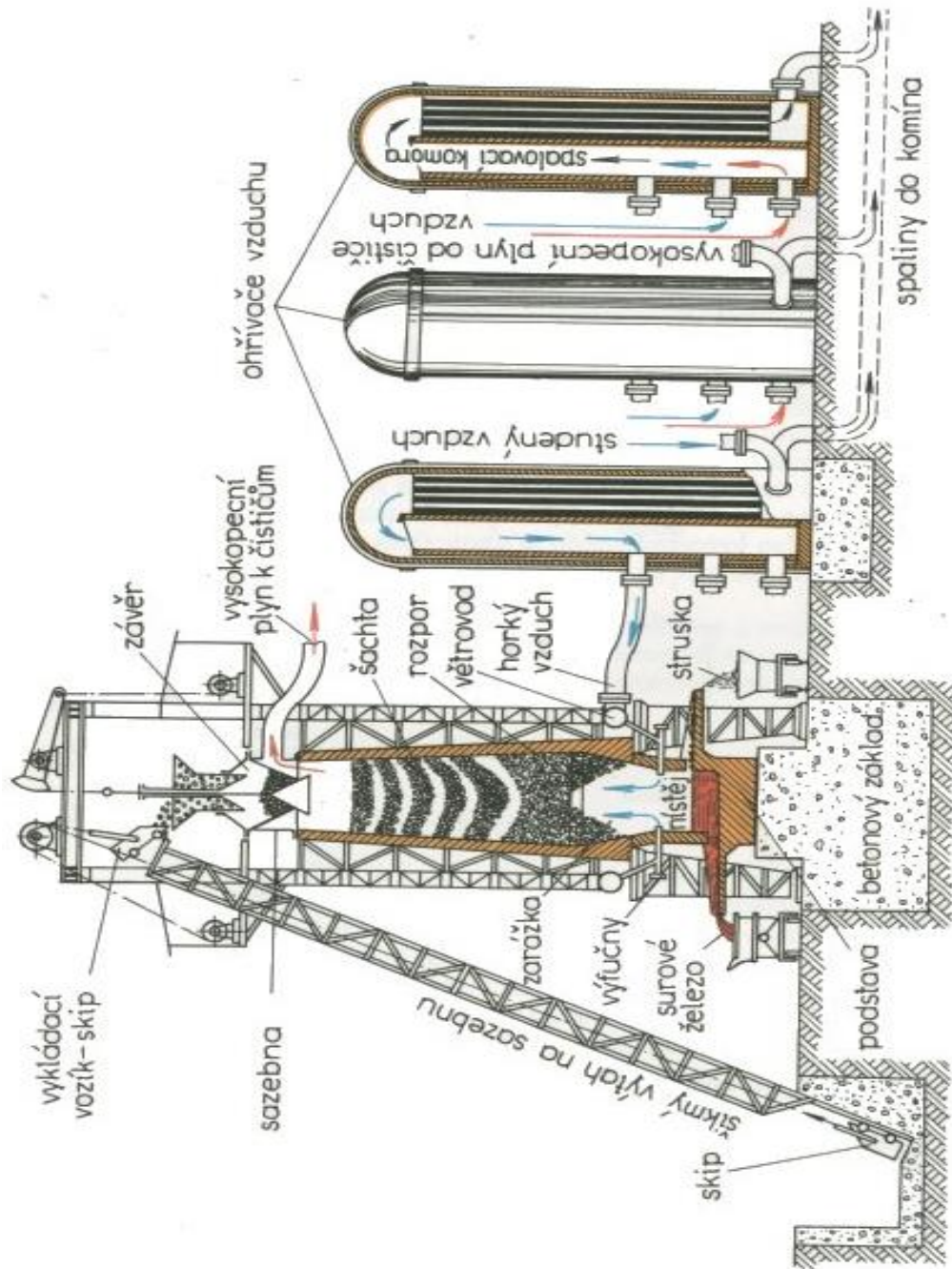
Zdroj: [9]

Příloha 4 - dýmací pec z 12. století



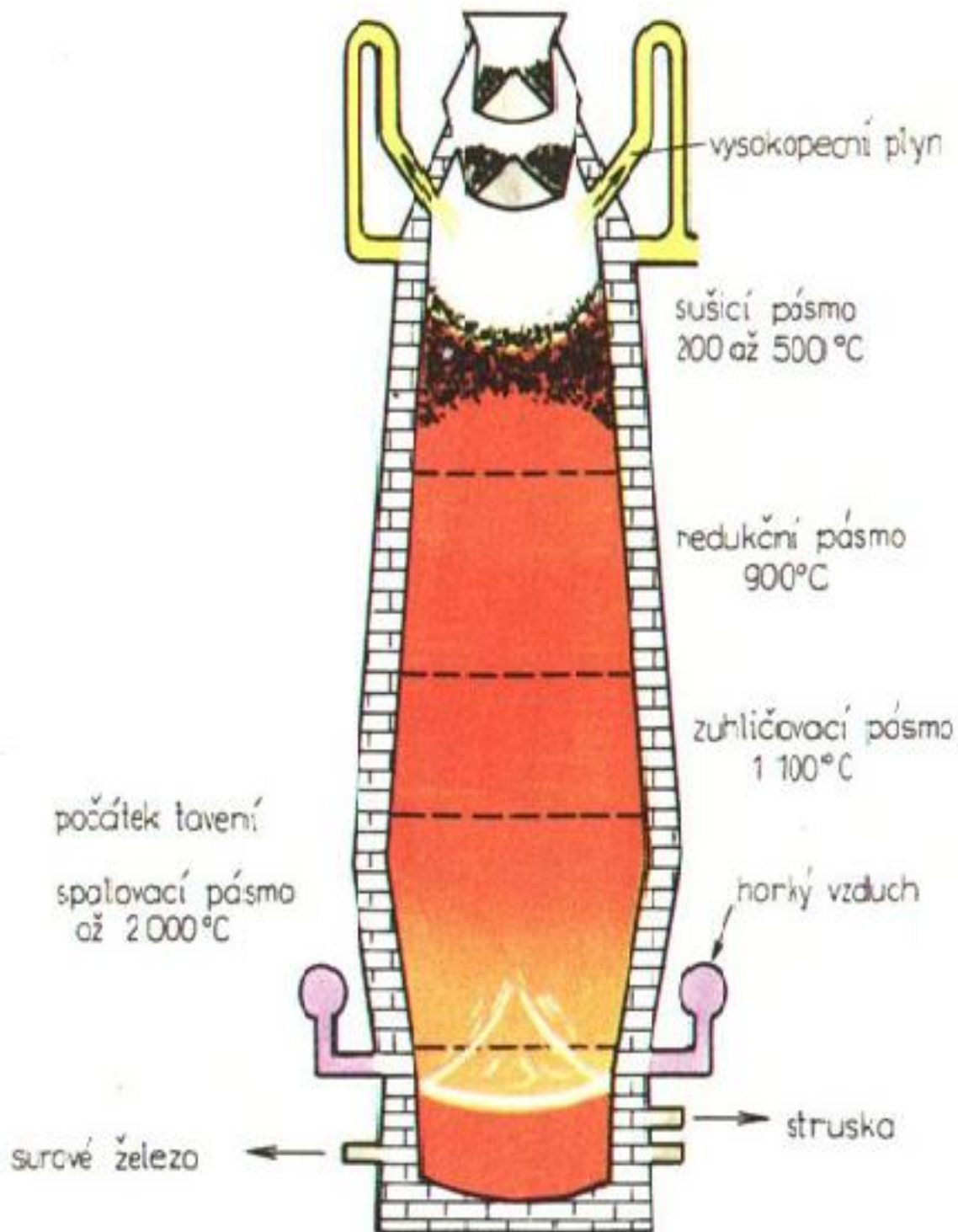
Zdroj: [19]

Příloha 5 - Vysoká pec s příslušenstvím



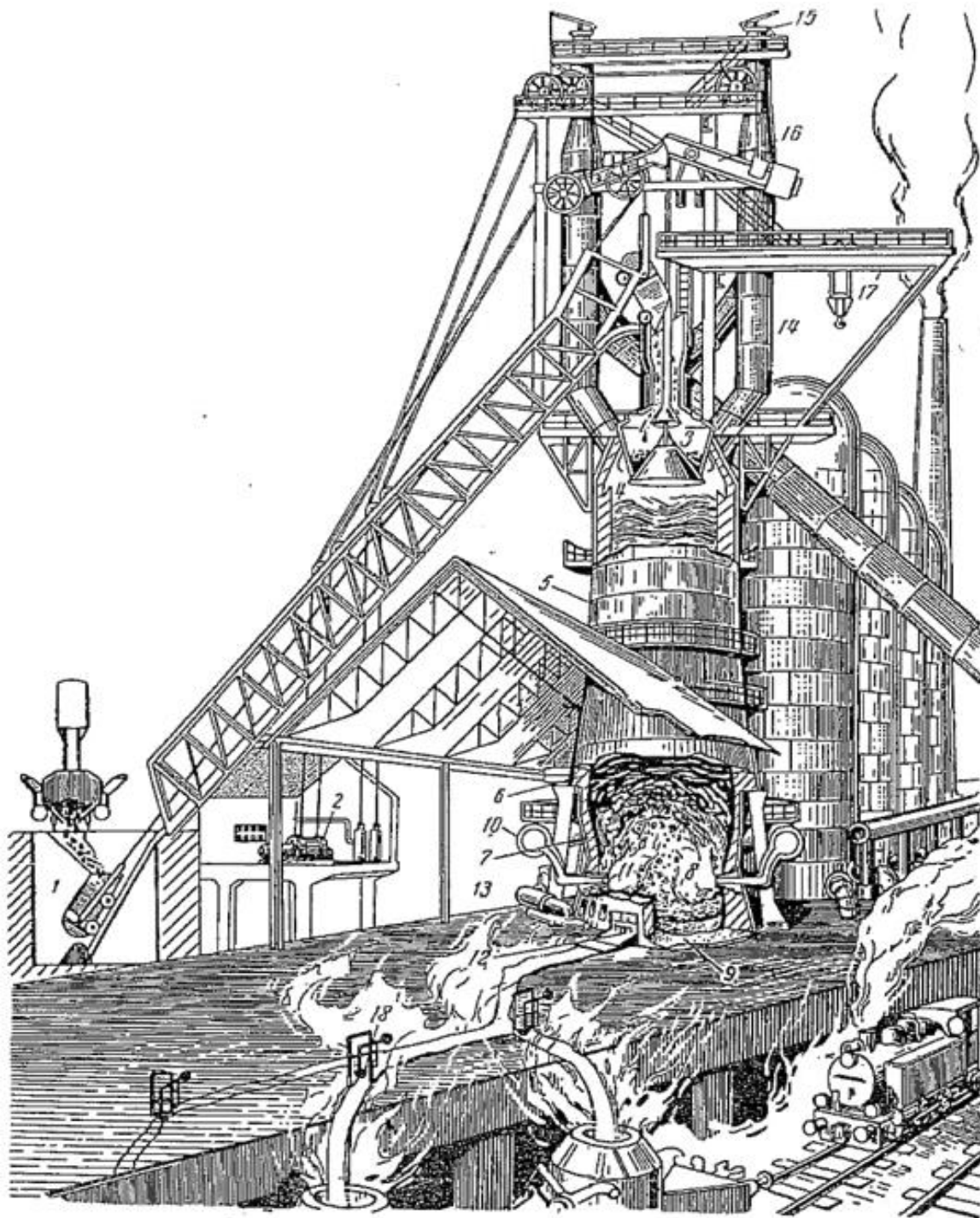
Zdroj: [23]

Příloha 6 - Tepelné schéma vysoké pece



Zdroj: [21]

Příloha 7, Celkové uspořádání vysoké pece

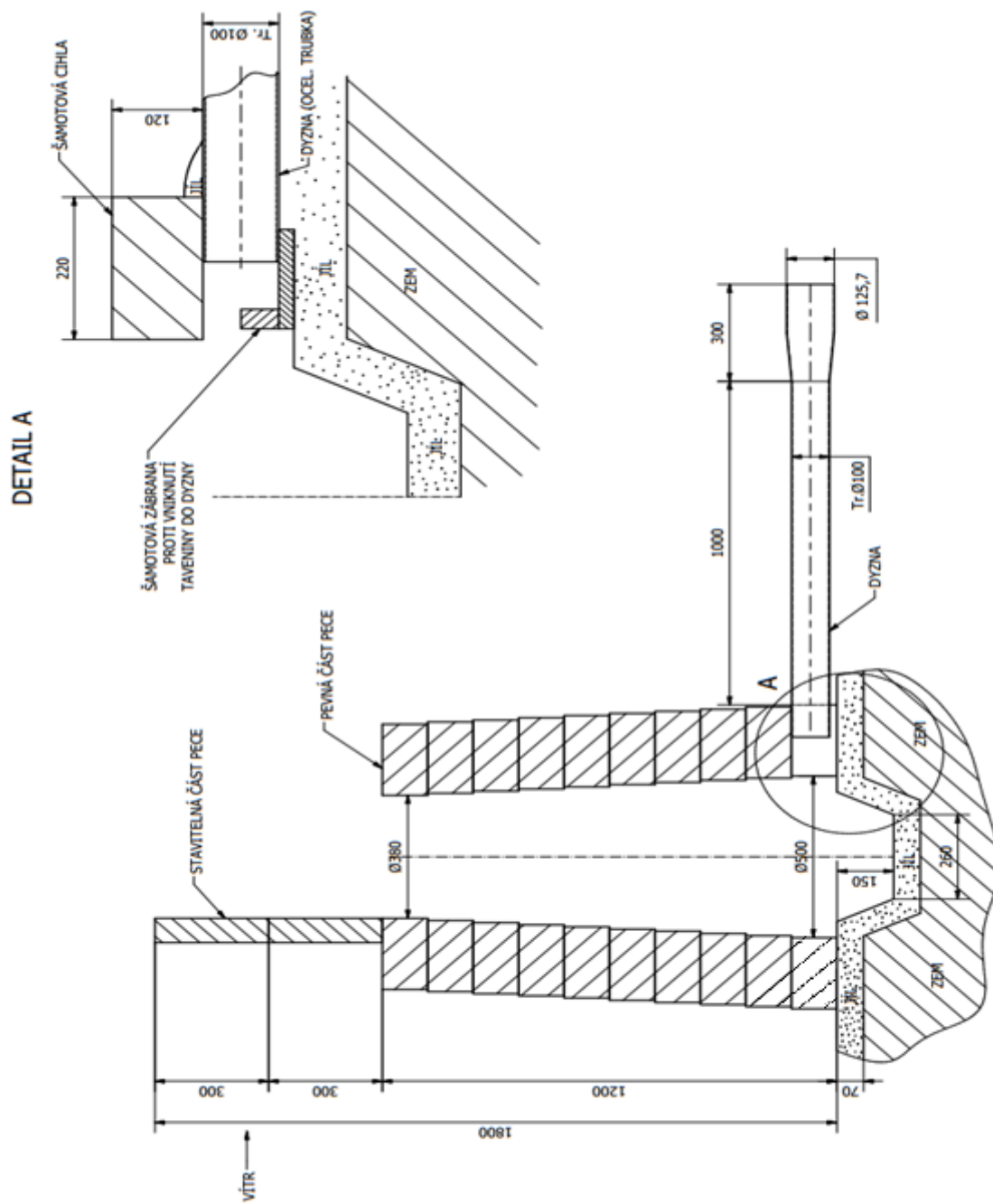


Obr. 10. Celkové uspořádání vysoké pece.

1 — skipová jáma, 2 — těžní stroj, 3 — zavázeční zařízení, 4 — sazebná, 5 — šachta, 6 — roeopor, 7 — sedlo, 8 — nístěj, 9 — dno pece, 10 — okružní potrubí horkého větru, 11 — výfučna, 12 — odpichový otvor, 13 — ucpávačka, 14 — odvod plynu, 15 — atmosférická záklopka, 16 — vahaďla, 17 — montážní můstek, 18 — šoupátko.

Zdroj: [11]

Příloha 8 – Výkres pece



Zdroj: Autor

Příloha 9 – Stavba pece I



Zdroj: Autor

Příloha 10 – Vypálená pec s dyznou (pišťalou)



Zdroj: Autor

Příloha 11 – Čelistový drtič



Zdroj: Autor

Příloha 12 – Pražení rudy



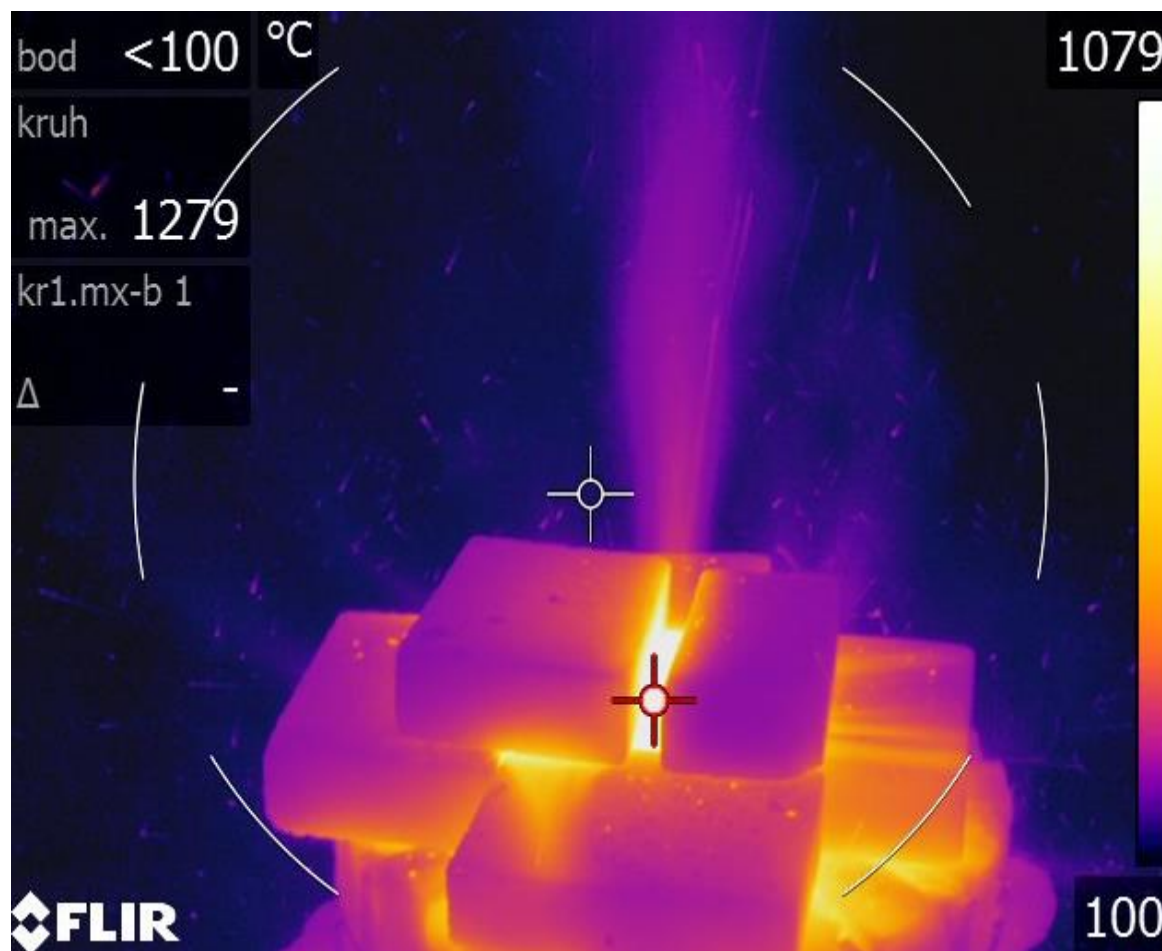
Zdroj: Autor

Příloha 13 – Vzplanutí vysokopevných plynů



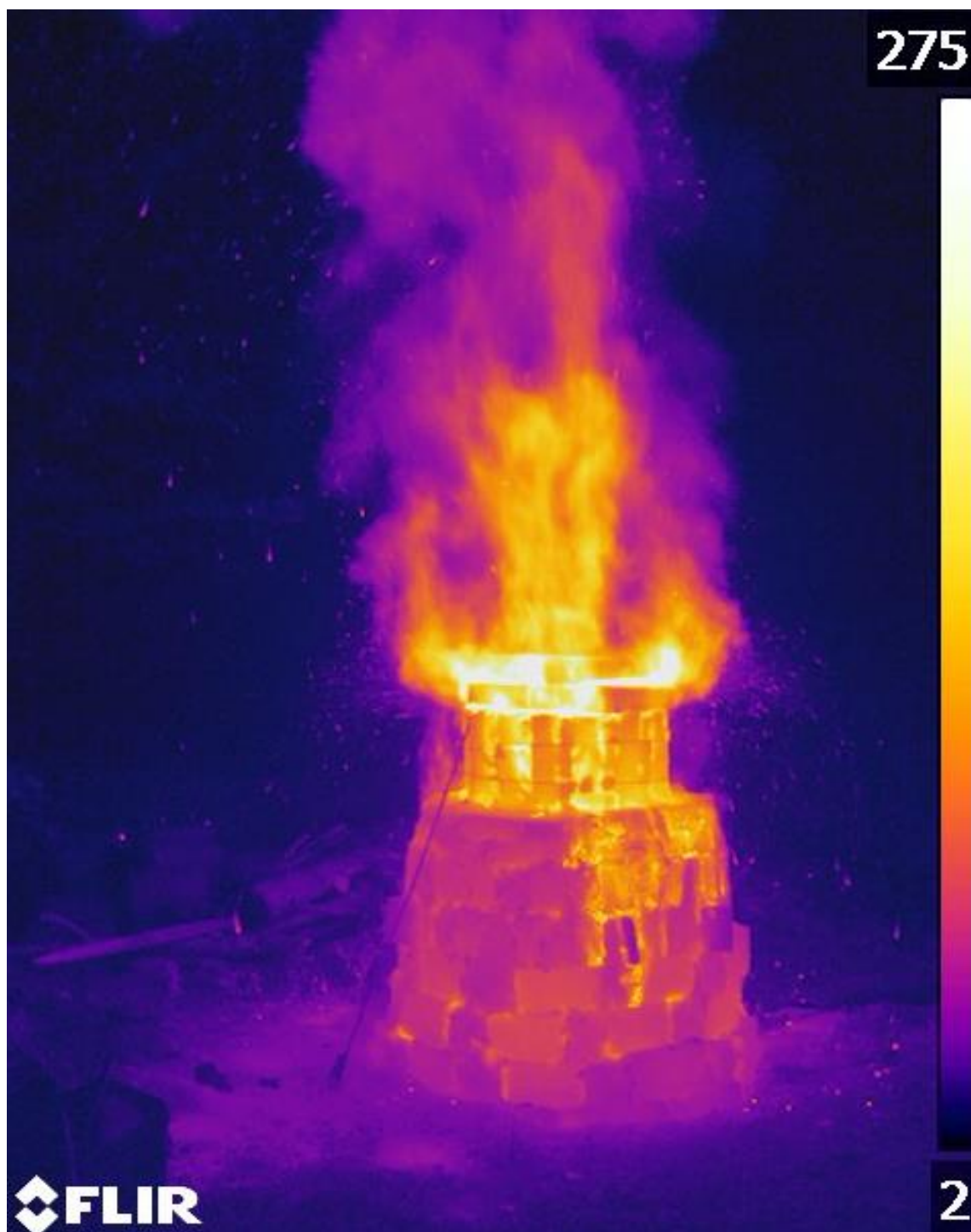
Zdroj: Autor

Příloha 14 – Měření z termo kamery I



Zdroj: Autor

Příloha 15 – Měření z termo kamery II



Zdroj: Autor

Příloha 16 – Zkujňování v kovářské výhni



Zdroj: Autor

Příloha 16 – Řez pecí



Zdroj: Autor

Příloha 18 - Petrografický rozbor železné rudy z dolu skalka



Imagine the result

ARCADIS CZ a.s.
divize Geotechnika

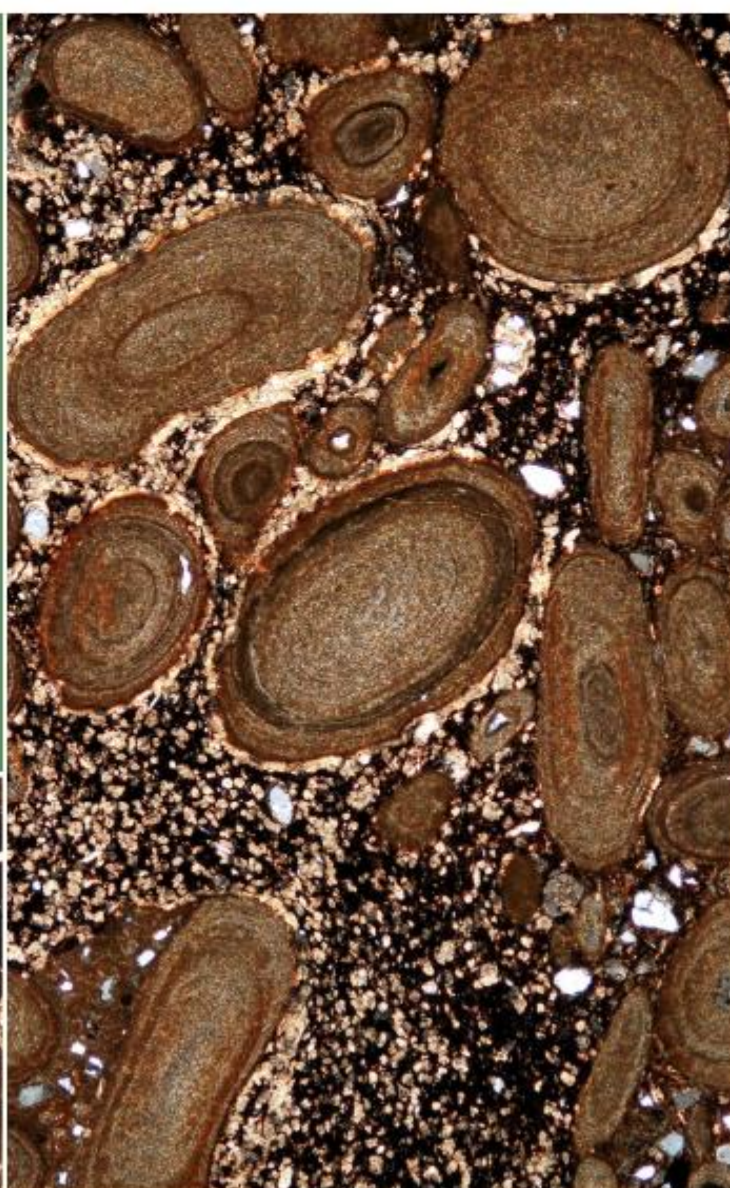
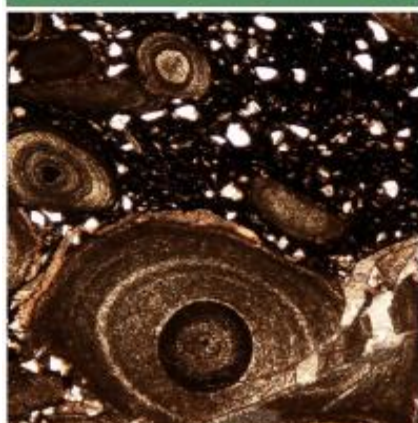
**PETROGRAFICKÝ
ROZBOR**

stanovení obsahu Fe

Důl Skalka

Číslo zakázky
14 0177 – 011

Praha, červen 2014



1. Úvod

Na pracoviště petrografie ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika byly dodány vzorky oolitické železné (hematitové) rudy, které byly odebrány z dolu Skalka v Mníšku pod Brdy. Z dodaných vzorků byly vybrány dva vzorky pro petrografický rozbor a tři vzorky pro stanovení obsahu Fe.

Stanovení obsahu Fe (kovnatost) byla provedena Pavlem Kadlecem na Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity.

2. Petrografický rozbor

Z vybraných vzorků bylo vyhotoveno celkem 6 výbrusových preparátů (výbrusů), a to po 3 ks z každého vzorku.

Petrografický rozbor

Oolitická železná (hematitová – krevelová) ruda

V rámci dodaných vzorků masivní a kompaktní stavby, na plochách v omezení horninových vzorků (puklinové plochy) se souvislými povlaky hematitu a limonitu, nejčastěji rezavě hnědé, hnědočerné až hnědočervené barvy. Lomné plochy jsou drsné, nerovné. V různých řezech horninou je patrná čoučkovitá až nevýrazně plošně paralelní (subparalelní) stavba (textura), kde ve velmi jemnozrnné základní hmotě horniny (karbonát a hematit – šedočerná barva) jsou patrné paralelně (subparalelně) uspořádané čoučky (vrstvy, smouhy) s ooidy (drobná kulovitá až vejčitá tělíska světle šedohnědé až rezavě hnědé barvy).

Struktura: oolitická

Minerální složení: hematit, karbonát, Fe–chlorit, křemen; akcesorie: živec

Hornina je složena ze základní hmoty horniny s četnou klastickou (písčitou) příměsí, ve které jsou uloženy paralelně (subparalelně) uspořádané očky (vrstvy, smouhy) s oidy. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu (0,01 – 0,1 mm), který je více či méně prosycen hematitem (prášková disperze hematitu). V této základní hmotě horniny je nerovnoměrně rozptýlena klastická příměs, zastoupená převážně jemnozrnnou psamitickou (písčitou) frakcí vel. 0,05 – 0,25 mm a ojediněle zastoupenou hrubozrnnou frakcí s velikostí zrn 0,5 – 0,8 mm. V klastickém materiálu jsou zastoupena prakticky výhradně zrna křemene. Pouze výjimečně jsou zastoupena zrna živců. Křemen je zastoupen většinou polozaoblenými až dokonale zaoblenými, v menší míře poloostrohrannými, zhruba izometrickými nebo více či méně protaženými zrny. Zrna jsou monokrystalická, nebo agregátní s undulózním zhášením. Ooidy tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska (vznik elipsoidických tvarů) s koncentrickou stavbou, která jsou rekrystalizovaná. Velikost jednotlivých ooidů se pohybuje v rozmezí od 0,2 – 2,0 mm. U většiny ooidů je patrná koncentrická stavba, která vznikla postupným nárůstem jednotlivých vrstviček (vylučování minerálních látek) kolem určitého centra (jádra). V četných ooidech jsou tzv. jádra tvořena křemennými zrny. Jednotlivé vrstvičky Ooidů jsou tvořeny z různých minerálních látek. Většinou se střídají vrstvičky tvořené Fe-chloritem s vrstvičkami tvořené karbonátem a hematitem. V odebraných vzorcích jsou vyvinuty poměrně četné mikropukliny (diskontinuity), které jsou vyhojeny karbonátem.

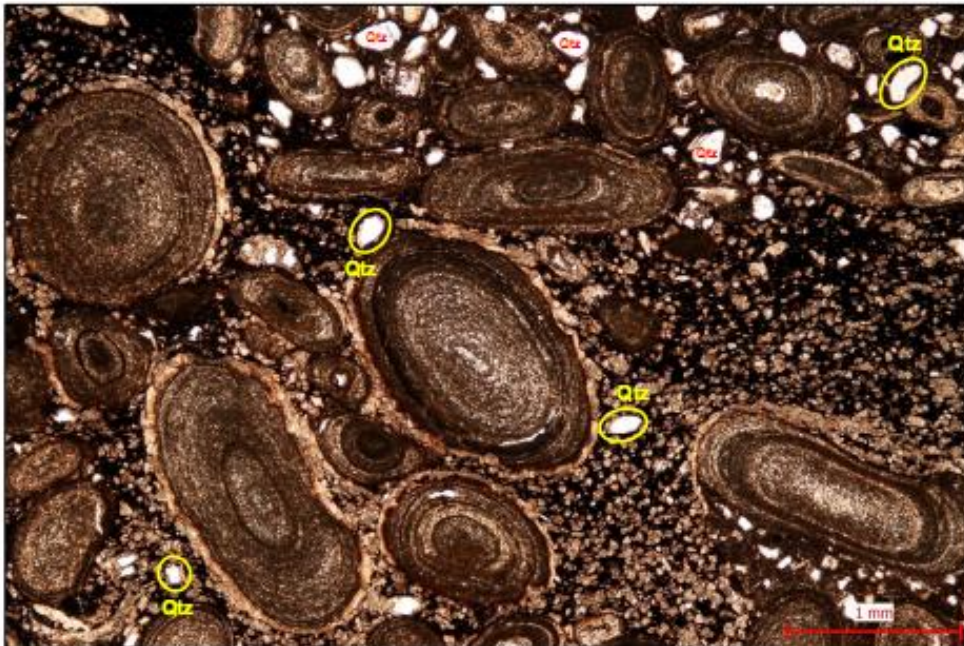


Foto 1. Oolitická hematitová ruda. PPL, zvětšení 40x. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu, který je více či méně prosycen hematitem. V této základní hmotě horniny jsou patrné četné ooidy, které tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska s koncentrickou stavbou. V základní hmotě horniny je nerovnoměrně rozptýlena klastická příměs (převážně jemnozrnná písčítá frakce vel. 0,05 – 0,25 mm), zastoupená prakticky výhradně zrný křemene (Qtz).

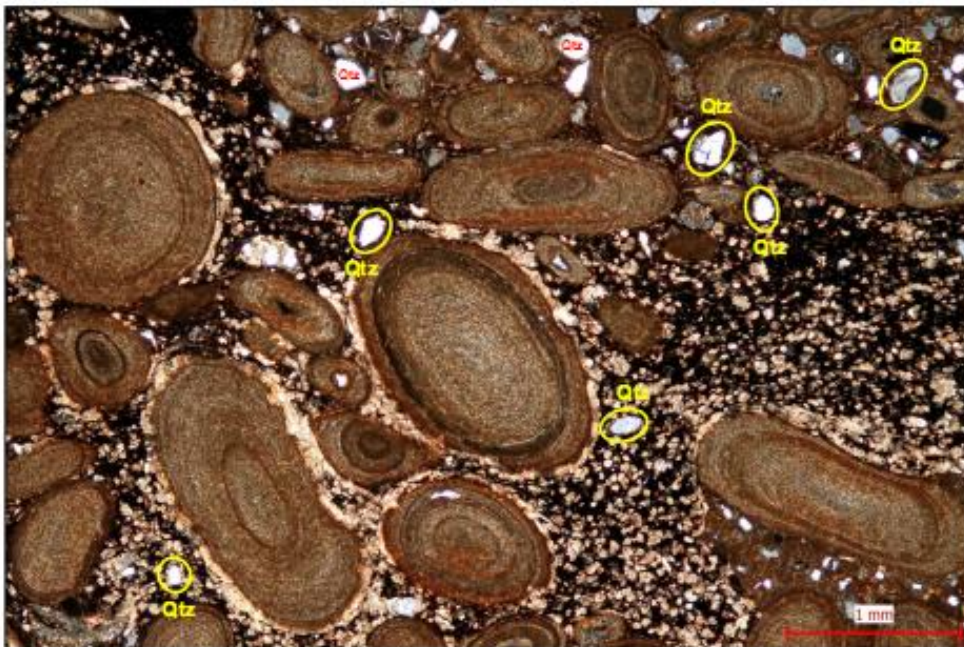


Foto 2. Oolitická hematitová ruda. XPL, zvětšení 40x. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu, který je více či méně prosycen hematitem. V této základní hmotě horniny jsou patrné četné ooidy, které tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska s koncentrickou stavbou. V základní hmotě horniny je nerovnoměrně rozptýlena klastická příměs (převážně jemnozrnná písčítá frakce vel. 0,05 – 0,25 mm), zastoupená prakticky výhradně zrný křemene (Qtz).

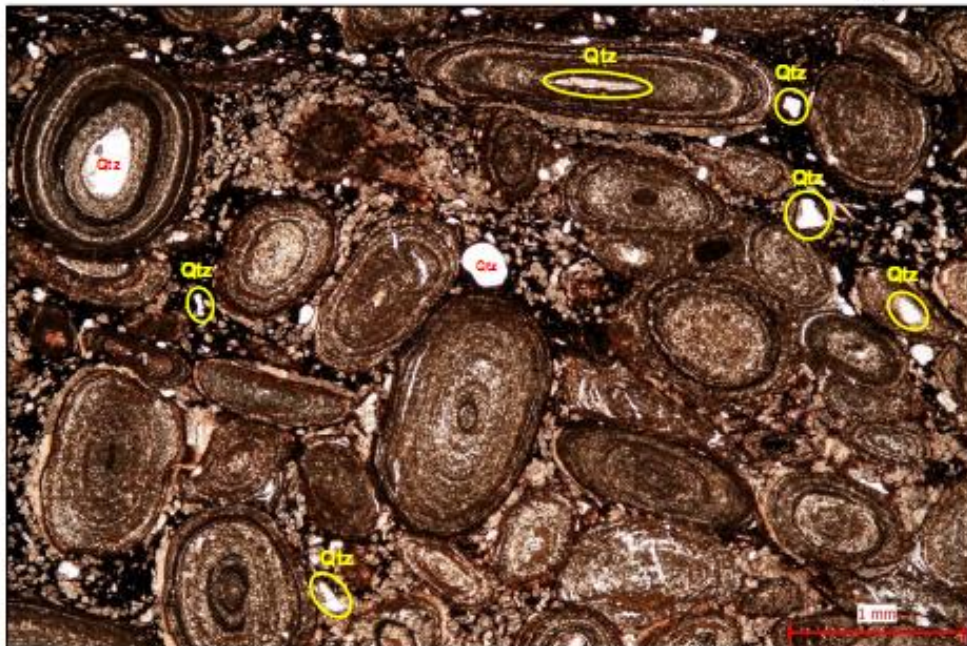


Foto 3. Oolitická hematitová ruda. PPL, zvětšení 40x. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu, který je více či méně prosycen hematitem. V této základní hmotě horniny jsou patrné četné ooidy, které tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska. U většiny ooidů je patrná koncentrická stavba, která vznikla postupným nárůstem jednotlivých vrstviček kolem určitého centra (jádra). V četných ooidech jsou tzv. jádra tvořena křemennými zrny (levý horní roh snímku). Křemen (Qtz).

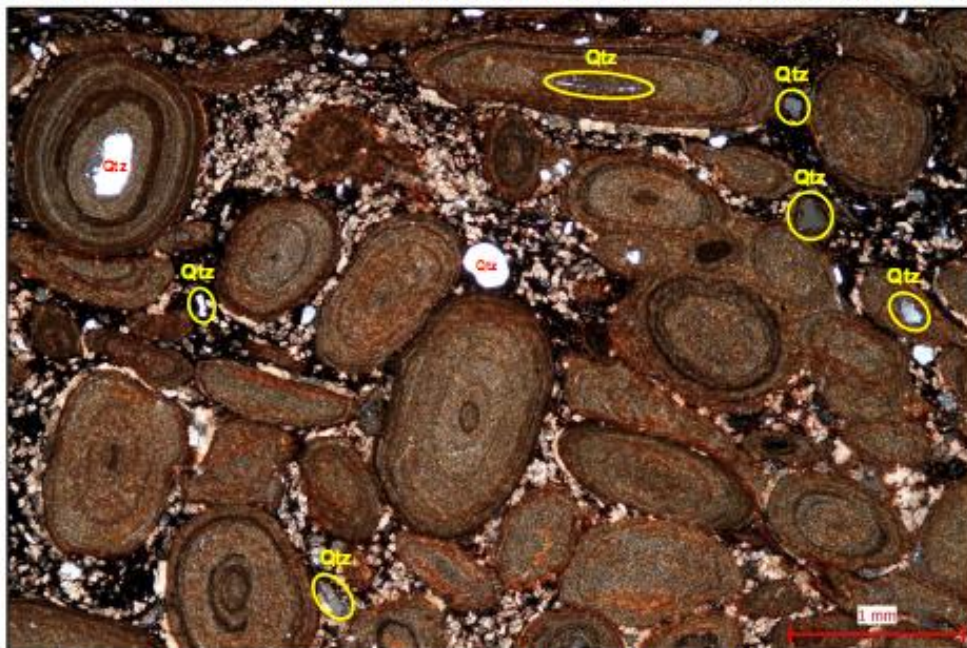


Foto 4. Oolitická hematitová ruda. XPL, zvětšení 40x. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu, který je více či méně prosycen hematitem. V této základní hmotě horniny jsou patrné četné ooidy, které tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska. U většiny ooidů je patrná koncentrická stavba, která vznikla postupným nárůstem jednotlivých vrstviček kolem určitého centra (jádra). V četných ooidech jsou tzv. jádra tvořena křemennými zrny (levý horní roh snímku). Křemen (Qtz).

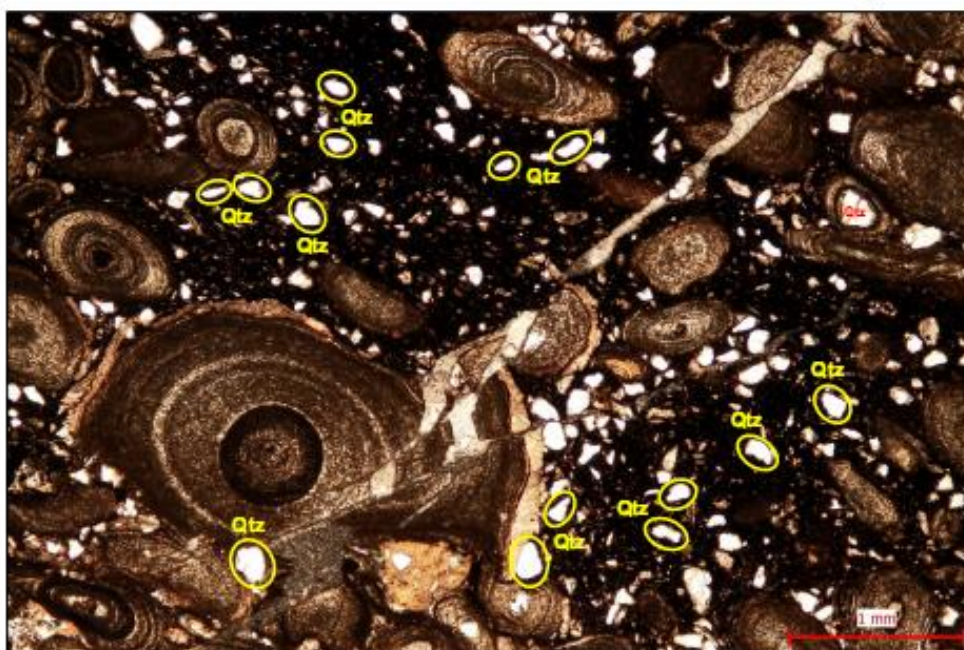


Foto 5. Oolitická hematitová ruda. PPL, zvětšení 40x. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu, který je více či méně prosycen hematitem. V této základní hmotě horniny jsou patrné četné ooidy, které tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska. V základní hmotě horniny je nerovnoměrně rozptýlena klastická příměs, zastoupená prakticky výhradně zrnky křemene (Qtz). V odebraných vzorcích jsou vyvinuty poměrně četné mikropukliny, které jsou vyhojeny karbonátem.

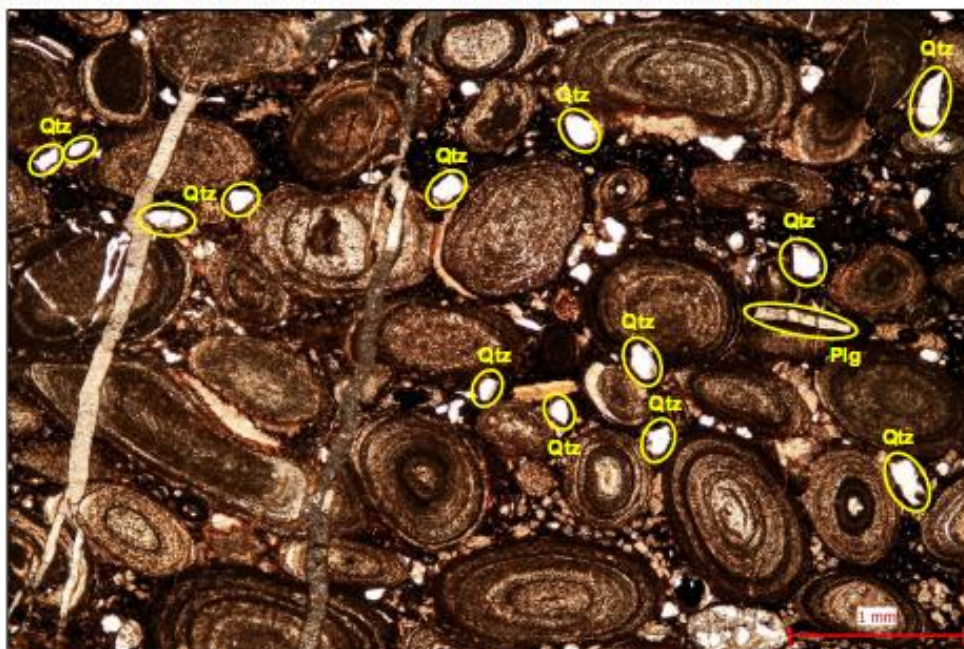


Foto 6. Oolitická hematitová ruda. PPL, zvětšení 40x. Základní hmota horniny je tvořena velmi jemnozrnným agregátem karbonátu, který je více či méně prosycen hematitem. V této základní hmotě horniny jsou patrné četné ooidy, které tvoří v hornině drobná, kulovitá, převážně více či méně zploštělá a protažená tělíska. V základní hmotě horniny je nerovnoměrně rozptýlena klastická příměs, zastoupená prakticky výhradně zrnky křemene (Qtz) a výjimečně zrnky živců (Plg). V levé části snímku jsou patrné drobné mikropukliny, které jsou vyhojeny karbonátem.

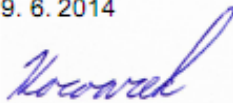
3. Stanovení obsahu Fe (Fe_2O_3)

Z vybraných vzorků byla provedena chemická analýza pro stanovení obsahu Fe (Fe_2O_3), která byla provedena Pavlem Kadlecem na Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. Výsledky chemické analýzy jsou shrnuty v tab. 1.

Tab. 1. Shrnutí výsledků chemické analýzy. Procentuální zastoupení Fe_2O_3 je v objemových %.

	Fe_2O_3
vzorek 1	43,56
vzorek 2	40,49
vzorek 3	41,47

V Praze, dne 9. 6. 2014



Zpracoval: Mgr. Kocourek Roman



ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika
Geologická 4, 152 00 Praha 5
IČ 41192168 DIČ CZ41192168