

Železná ruda

je hornina – minerál, který obsahuje železo v takové chemické formě, která umožňuje jeho hospodárné získání hutnickými metodami. Vedle obsahu samotného železa rozhoduje o použitelnosti chemické složení, které je podmíněno mineralogickou stavbou, jež určuje i její fyzikální stav. Pro posouzení kvality rudy je stejně důležitý, vedle obsahu železa, také obsah SiO₂, který ovlivňuje index zásaditosti rudy.

Železné rudy se zpravidla těží hornickým způsobem. Jsou to jednak hlubinné doly nebo mnohem častěji povrchová těžba. Železné rudy jsou vždy doprovázeny dalšími horninami a hlinítkými substancemi. Úpravárenskými pochody jako drčením v čelistových a válcových drtičích, praním a flotací se takto vytěžená surová ruda zbavuje hlušiny a dosáhne se vyššího obsahu železa. Takto upravená a obohacená ruda se dopravuje do hutních podniků, kde slouží jako vsázka do vysokých pecí k výrobě surového železa.

Nejvýznamnější naleziště železné rudy jsou v Brazílii, Austrálii a Číně, další potom v Ruské federaci, Indii, Ukrajině a USA (viz tabulka r.2005). Největší těžba železné rudy hlubinným způsobem probíhá v současnosti ve Švédsku.

Pořadí	Země	Těžba (v mil. t)	Pořadí	Země	Těžba (v mil. t)
1	Brazílie	196,3	11	Venezuela	19
2	Austrálie	181,2	12	Kazachstán	14,1
3	Čína	109,4	13	Mexiko	11,5
4	Ruská federace	82,5	14	Mauretánie	10,3
5	Indie	79,1	15	Írán	9
6	Ukrajina	54,7	16	Chile	8
7	USA	46,2	17	Turecko	5,8
8	Jižní Afrika	34,3	18	Peru	4,8
9	Kanada	30,1	19	Egypt	2,5
10	Švédsko	19,5	20	Nový Zéland	1,6

Pramen: [Handelsblatt](#) - *Die Welt in Zahlen* (2005)

Sloučeniny železa s kyslíkem

Magnetit (*magnetovec*) Fe_3O_4 ,

je na železo nejbohatší rudou. Chemicky jde o Fe_3O_4 (oxid železnatoželezitý) s obsahem až 70% Fe. Redukuje se obtížně. Umožňuje snadné rozdrůžování při jeho úpravě. Magnetit krystalizuje v krychlové soustavě. Častým průvodním minerálem bývá křemen. V Evropě se vyskytuje ve Švédsku a na Urale, v Česku například na ložisku Měděnec.



Hematit (*krevel*) $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$,

krystalizuje v trigonální soustavě (klencová), je tmavě červené až ocelové barvy, matného nebo kovového lesku. Minerál obsahuje 69,94% Fe, kvalita rudy je dána poměrem hematitu k hlušině, která obsahuje především SiO_2 a malá množství CaO , MgO .

Hematit je ruda snadno redukovatelná, obsahuje obvykle méně jak 0,05% fosforu. Hodí se k výrobě slévárenského surového železa. Je častou příměsí magnetovce, má



červenohnědý vryp a je jen velmi slabě feromagnetický. Bývá jemně rozptýlen v mnoha nerostech a horninách, dodává jim červenou až červenohnědou barvu. Velká ložiska hematitu jsou ve Švédsku (Kiruna), na Ukrajině (Krivoy Rog), v Ruské federaci, v USA, Brazílii a v Itálii. V České republice v Ejpovicích, Krušných horách a v Jeseníkách.

Limonit (*hnědel*) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$,

železná ruda hnědé barvy, která obsahuje značné množství krystalové vody, vyskytující se kompaktní i sypké formě, vzniká zvětráváním jiných železných rud. Obsah železa v limonitu je velmi proměnný, pohybuje se mezi 30 až 60% podle složení konkrétní směsi minerálů (hydroxidy a oxidy železa). Obsah krystalové vody je 14,43 %. Limonit bývá často znečištěn siřičíky, limonit z Ruské federace (Ural) také arsenem a fosforem. Historicky nejznámější ložiska se nacházejí v Lotrinsku. Hnědel je nejrozšířenější železná ruda.



Sloučeniny uhličitanové

Siderit (*ocelk*) FeCO_3 ,

krystalizuje v trigonální soustavě, na vzduchu ve styku s vodou pomalu oxiduje a mění se v hnědel. Obsah železa je 48%. Jako izomorfní příměsi obsahuje často uhličitan manganatý a hořečnatý. Pražením se z ocelku odstraňuje CO_2 , čímž se ruda obohatí železem. Těžba Rakousko Erzberg u Eisenerzu, USA Connecticut, Rusko Ural, Rudňany, Gelnica, Příbram. V současnosti je praktický význam malý.



Křemičitany

Chamosit $4\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,

krystalizuje v jednoklonné (monoklinické) soustavě, z křemičitanů je nejdůležitější, je to typická součást sedimentárních rud (ferolity). Chemický vzorec je přibližný, obsah FeO v tomto křemičitanu je 34 až 42 %. Nejvýznamnější těžba Švýcarsko, Indie. V Česku se nachází chamosit u Nučic a Ejpovic dříve známá *ruda nučická*. [1]



VÝROBA SUROVÉHO ŽELEZA A OCELÍ

Čisté železo je lesklý bílý kov s teplotou tavení 1539°C. Čistého železa se používá jen k některým zvláštním účelům. Jeho příprava je však značně obtížná. Hlavní význam mají však slitiny železa s uhlíkem a jinými prvky. Tyto doprovodné prvky, zejména uhlík, mění podstatně vlastnosti čistého železa. Podle obsahu uhlíku se technická železa rozdělují na železa **kujná** a **nekujná**.

Palivo pro vysokou pec

K tavení a redukci se používá **hutnický koks**. Koks se vyrábí **vysokoteplotní karbonizací** (tj. zahříváním asi při 1000°C bez přístupu vzduchu) spékavého černého uhlí, popř. s určitou příměsí nespékavého černého uhlí. Jinak lze používat pro ohřev elektrickou energii. Potřebné teplo vzniká díky elektrickému oblouku, který hoří mezi uhlíkovými elektrodami. Do pecí tohoto typu je nutné přidávat určité množství dřevěného uhlí nebo koksu jako zdroj uhlíku, který je nutný k redukci železných rud a ke vzniku slitiny železa a uhlíku.

Struskotvorné přísady

Ve výrobním procesu mají struskotvorné přísady funkci čistící, tj. přebírají z rudy a koksu nežádoucí látky, které se pak usazují jako struska na povrchu roztaveného železa. Struska má pro správný chod vysoké pece velký význam. Chrání surové železo, aby mělo žádané chemické složení a nebylo nadměrně nasycováno uhlíkem a aby nebylo oxidováno vzduchem vháněným do vysoké pece. Struska obaluje totiž kapky, ve kterých stéká surové železo do nístěje. Tam se od železa odděluje a vzhledem k nižší hustotě vyplave na povrch. Přebytečná struska vytéká z pece zvláštním otvorem (moderní systémy používají pouze jeden otvor).

Produkty vysoké pece

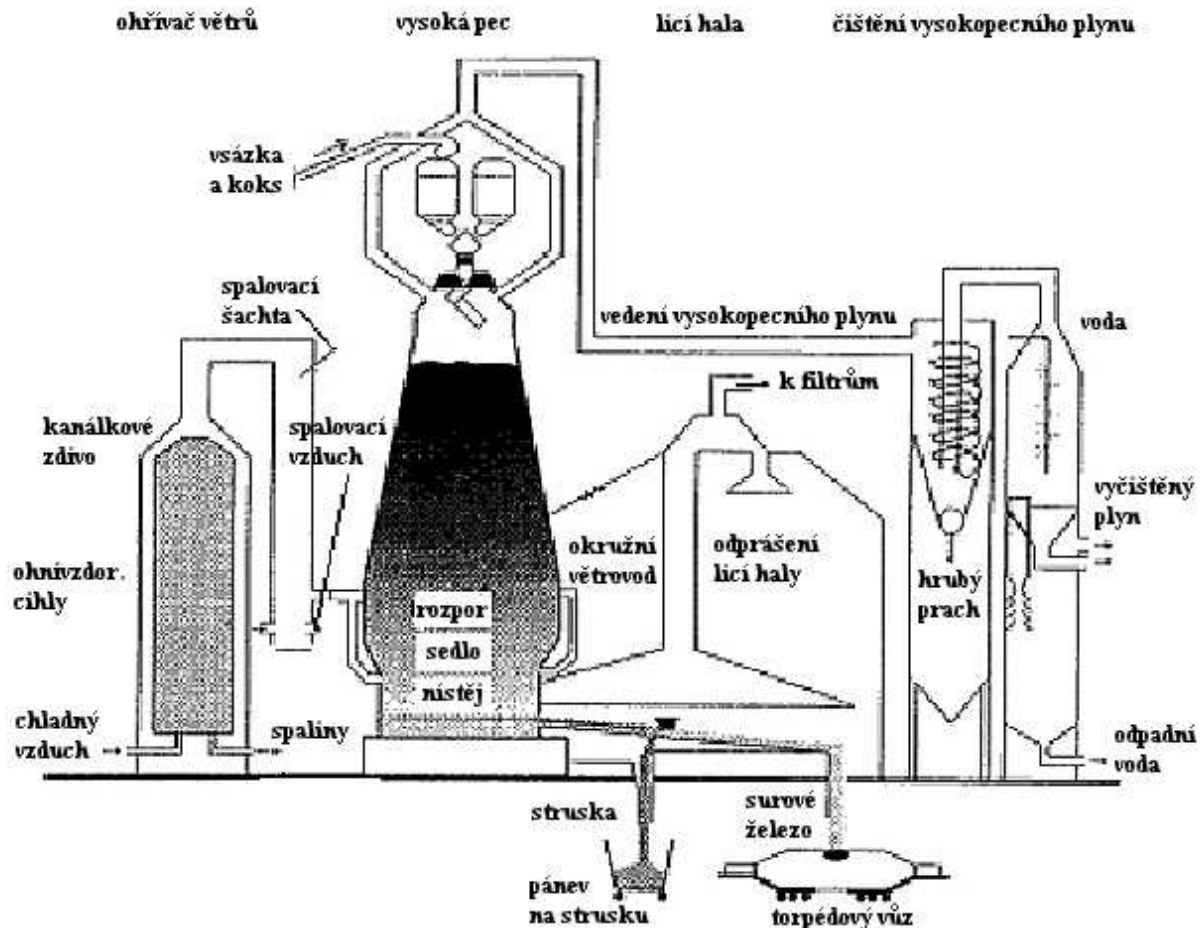
Hlavním výrobkem vysoké pece je **surové železo**, které se vypouští v intervalech 3 až 6 hodin. Složení vyrobeného surového železa záleží na složení vsázky i na chodu pece a řídí se dalším použitím surového železa. Podle toho rozeznáváme **surové železo ocelářenské** a **slévářenské**. Asi 90% produkce surového železa se zpracuje dále na ocel v ocelárnách, které jsou obvykle částí hutního kombinátu. Surová železa slévářenská, určená pro slévárny šedé litiny a ocelářenská železa, která se zkujňují v ocelárnách.

Vysokopeční struska je tavenina rudné hlušiny, struskotvorných přísad a popela z paliva. Vysokopeční struska slouží k výrobě některých druhů cementů, cihel, dlažebních kostek, struskové vlny nebo se vyváží na odval.

Vysokopeční plyn je cenné palivo. Kromě dusíku a oxidu uhličitého obsahuje i výhřevný oxid uhelnatý a vodík. Po odstranění vodní páry a prachu se ho částečně využije především u pece samé k předhřívání vzduchu a jako paliva buď pro spalovací motory pohánějící pístová dmychadla, nebo k vytápění parních kotlů pro turbíny pohánějící odstředivá dmychadla. Zbytek plynu slouží k výrobě elektrické energie a jako topný plyn v přidružených ocelárnách, koksovnách, válcovnách, kovárnách.

Vysoká pec

je typově pec šachtová vysoká 25 - 40 m. Profil pece je přizpůsoben technologii provozu a měnícímu se objemu vsázky. Skládá se z kuželovité, k základně se rozšiřující vlastní šachty, která v místě největšího objemu vsázky se mění v rozpor (který slouží k zadržení celé náplně v peci) v komolý kužel opačný (tzv. sedlo), který se zužuje k základně. Vnější povrch šachty je tvořen silným ocelovým pancířem, jenž je z vnitřní strany chlazen vodou pomocí litinových a měděných chladnic a chráněn žáruvzdornou vyzdívkou.



Na horním konci šachty je umístěna *sazebna* sloužící pro doplňování materiálu pro výrobu železa – *vsázky* a koksu. V minulosti býval plnicí otvor uzavřen dvojitém kuželovým neboli zvonovým *sazebním uzávěrem (kychta)*. Tento umožňoval jednak zavážení pece vsázkovým materiálem a jednak jej utěsňoval tak, že bylo možno odvádět vysokopecní plyn do plynojemu na ohřev *dmychaného větru*. V současnosti se již v drtivé většině používá tzv. bezzvonová sazebna tvořená dvěma materiálovými komorami. Nad nimi je umístěna pojízdná násypka určující, která materiálová komora se bude plnit. V každé komoře se nachází horní a dolní klapový uzávěr a tzv. segmentový uzávěr určující rychlost vysypávání komory. Pod komorami se pak vsázka syje do otočného rozdělovače, který pomocí zvláštního otočného žlabu vysypává vsázku na předem zadané „kružnice“. Přibližně ve výši rozporu pece se nachází kruhové potrubí rozdělovače větru, tzv. okružní větrovod. Předehřátý vzduch (vítr) je odsud přiváděn pomocí *výfučen* do tavicího prostoru vysoké pece. Ve výfučnách mohou být umístěny zvláštní trysky pro přidávání topného oleje, zemního plynu či mletého uhlí. Na nejnižší rovině *nístěje* (dna pece) je umístěn výtok roztaveného železa, tzv. *odpichový otvor*. Nad úroveň odpichového otvoru pro surové železo byly v minulosti na jiné straně pece

obvykle ještě výtokové otvory strusky. V současné době se však od vypouštění strusky přes tyto otvory upustilo a veškerá tavenina z pece je vypouštěna pouze odpichovým otvorem, přičemž pec může mít ve stejné úrovni víc odpichových otvorů. Struska je od surového železa oddělována v hlavním odpichovém žlabu pomocí přepážky, která lehčí strusku odvádí do struskového žlabu, pomocí něhož je dopravována do struskových pánví nebo k přímému zpracování, např. do tzv. granulačních komor (výroba granulačního písku).

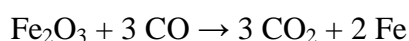
- Zavážka vysoké pece, t.j. doprava železné rudy, koksu a struskotvorných přísad se provádí buďto šikmým výtahem (**skip**) nebo pomocí velkých zavážecích nádob (**koše**) a tzv. kolmých výtahů.
- **Ohřivače větru** jsou poměrně vysoké ocelové válcovité stavby uvnitř vyzděné ohnivzdornou kanálkovou vyzdívkou a vybavené po celé výšce sahající spalnou komorou (**Cowperův ohřivač**). Na horním konci jsou uzavřeny kopulí. Teplota pod kopulí dosahuje až 1 600 °C. Ke každé vysoké peci patří 3 až 5 ohřivačů větru. Pracují střídavě, přerušovaně t.j. jeden předává teplo větru, další je předehříván atd. Vytápěny jsou vysokopecním plynem zpravidla s přidavkem zemního plynu nebo topného oleje. V případě vytápění pouze vysokopecním plynem se v současné době zvyšuje účinnost vytápění předehřevem spalovacího plynu a vzduchu prostřednictvím výměníků tepla, jež využívají teplotu spalin (cca 300 °C) odcházejících z vytápěných ohřivačů větrů. Vysokopecní (**kychtový**) plyn obsahuje přibližně 20 % jedovatého oxidu uhelnatého (CO) a je poměrně málo výhřevný (cca 15000-18500 kJ/m³). Mezi vysokou pecí a ohřivači vzduchu je vysokopecní plyn čištěn a zbavován prachu. Hlavní podíl prachu je zachycován v lapači prachu a v **cyklonech**, kde dochází k hrubému čištění. K polojemnému čištění obvykle dochází ve **skrubru**, což je velká válcová nádoba, do níž je spodem přiváděn plyn proti jemně rozprášené vodě padající shora. Voda strhává částice prachu do spodní části skrubru, odkud se odvádí v podobě kalu. Poté následuje jemné čištění ve filtrech.

Předehřátý vzduch (700 až 1 100 °C) je pomocí mohutných *dmychadel* (pístovými nebo turbodmychadly) dopravován vyzděným potrubím do *výfučen* vysoké pece. Vedle dodávky potřebného kyslíku pro spalování koksu slouží **vítr** ve vysoké peci také k udržování konsistence vsázky (víření) a zabraňuje vzniku spečenin na dně pece. Na 1 tunu vyrobeného surového železa je třeba průměrně 3000m³ vzduchu.

Procesy ve vysoké peci

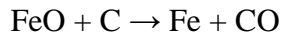
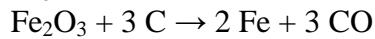
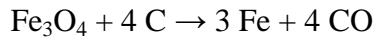
Do vysoké pece se zavází železná ruda, koks a struskotvorné přísady. Ty slouží jednak k snížení tavicí teploty hlušin a jednak k ochraně železa během vysokopecního procesu před zpětnou oxidací. Jsou to vápenec, dolomit a zřídka také křemičitý štěrk. Použitý typ přísady závisí především na kvalitě rudy a jejím *indexu bazicity* (poměr kyselých a zásaditých složek).

V horní části pece pod *sazebnou* se předehřívá vsázka a vypařuje se z ní vlhkost. Se stoupající teplotou v nižší části šachty pece dochází ke kontaktu železné rudy s procházejícími spalinami, které obsahují CO. Zde, v teplotním rozmezí mezi 400 až 1 000 °C, probíhá tzv. nepřímá redukce oxidů železa obsažených v rudě (tj. redukce oxidem uhelnatým ze spalin).

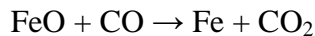
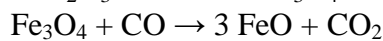
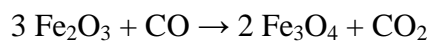


V nižších pásmech pece dále stoupá teplota a dochází zde při teplotách mezi 1 000 a 2 000 °C jak k přímé redukci ještě neredukovaných oxidů železa z již těstovitého až tekutého kovu uhlíkem, tak i k nauhličování taveniny. V surovém železe se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí 3,5 až 4,5 % (sloučeniny železa s uhlíkem se dělí podle množství uhlíku a teploty, při které vznikají: např. austenit, cementit, perlit, ledeburit, ferit), viz diagram Fe-C

Přímá redukce:



Nepřímá redukce:



Roztavené železo a struska se shromažďují na dně pece v *nístěji*. Odpichovým otvorem proudí roztavené železo do *veronik (torpédových vozů)*, neboli pojízdných mísičů (speciální železniční vagóny), nebo je odléváno do forem na tzv. *housky*. Struska je od vysoké pece přepravována tzv. "*kolibou*", rovněž železničním vagónem k dalšímu zpracování např. granulování.

Vysokopeční provozy jsou zpravidla součástí integrovaných hutních závodů a tekuté surové železo je ihned přímo dopravováno do oceláren a dále zpracováno na ocel.[3]

Výroba ocelí v konvertorech

Podstata výroby oceli v klasických konvertorech je v tom, že se do tekutého surového železa dmýchá atmosférický vzduch nebo vzduch obohacený kyslíkem, anebo směs čistého kyslíku s vodní párou či oxidem uhličitým. Vzduch se do konvertoru dmýchá dnem, ve kterém jsou četné otvory. Dmýchaný vzduch musí mít takový tlak, aby roztavený kov nemohl vniknout do otvorů dna. Klasické konvertorové pochody se dělí na **kyselé** a **zásadité**. Ocel vyrobená v konvertorech má horší jakost než martinské oceli. Obyčejné konvertorové oceli mají totiž větší obsah dusíku, kyslíku a fosforu. Další nevýhodou je závislost na složení surového železa a nemožnost zpracovat větší množství ocelového odpadu. V klasickém konvertoru se nedá vyrobit slitinová ocel.

Konvertor je nádoba hruškovitého tvaru, zhotovená z ocelového plechu a sklopná kolem vodorovné osy. Plechový plášť konvertoru je vyzděn kyselinou nebo zásaditou vyzdívkou. Hloubka lázně bývá 400 až 800mm. V konvertorech se zpracovává tekuté surové železo z vysoké pece. Protože vysoké pece a konvertory mají zcela odlišný rytmus práce a rozdíl mezi objemem surového železa vypuštěného při odpichu z vysoké pece a objemem konvertoru je příliš velký, není možno v konvertorech zpracovávat surové železo dovážené přímo od vysokých pecí.

Výroba ocelí v martinských pecích

Martinská pec (nazývaná též podle svých vynálezců siemens – martinská pec) má plochou nístěj ze žáruvzdorného zdiva, v níž se vsázka, tj. obvykle surové železo s přísávkem šrotu, ohřívá plamenem generátorového plynu a vzduchu, nebo spalováním těžkých olejů. Aby se dosáhlo vysoké teploty (až 1750°C), přehřívá se plyn i vzduch střídavě ve dvou párech regeneračních komor pod pecí, jejichž šamotové kanálkové zdivo bylo předtím rozžhaveno odcházejícími zplodinami hoření. Mezi regeneračními komorami je rezervační zařízení pro měnění směru proudících plynů. Díky vnějšímu přívodu tepla se může v peci zpracovávat surové železo a ocelový odpad v libovolném poměru. Podle druhu vsázky se rozlišuje několik obměn **zásaditého Martinova pochodu**.

A) **Odpadový pochod** – převážnou část kovové vsázky tvoří ocelový odpad, menší část pevné surové železo.

B) **Odpadový pochod s tekutým surovým železem** – liší se od předešlého tím, že se pracuje s tekutým surovým železem. Tím se zkrátí doba sázení, sníží se spotřeba tepla, celý pochod se zrychlí a zvýší se tím výrobnost ocelárny.

C) **Rudný pochod** – jako vsázky se používá tekutého surového železa a vlastního odpadu. množství surového železa nepřesahuje nikdy 85%, zbytek vsázky je ocelový odpad.

Výroba oceli v elektrických pecích

Elektrické pece jsou **obloukové** a **indukční**. Mezi obloukovými pecemi zaujímá první místo **Héroultova pec s přímým obloukem**. Elektrický proud z transformátoru přichází do dvou, nejčastěji tří svislých elektrod procházejících klenbou pece. Mezi elektrodou a vsázkou se uzavírá elektrický oblouk. Základní surovinou pro elektrickou pec je především pevný ocelový odpad. Indukční pece lze rozdělit do dvou skupin.

A) **Nízkofrekvenční** – se železným jádrem

B) **Vysokofrekvenční** – bez jádra

[2]

Železná houba ze železářské pece

Železná houba je spečené železo zbavené nečistot připravené k dalšímu zpracování - výrobě nástrojů.

[1] autor není znám

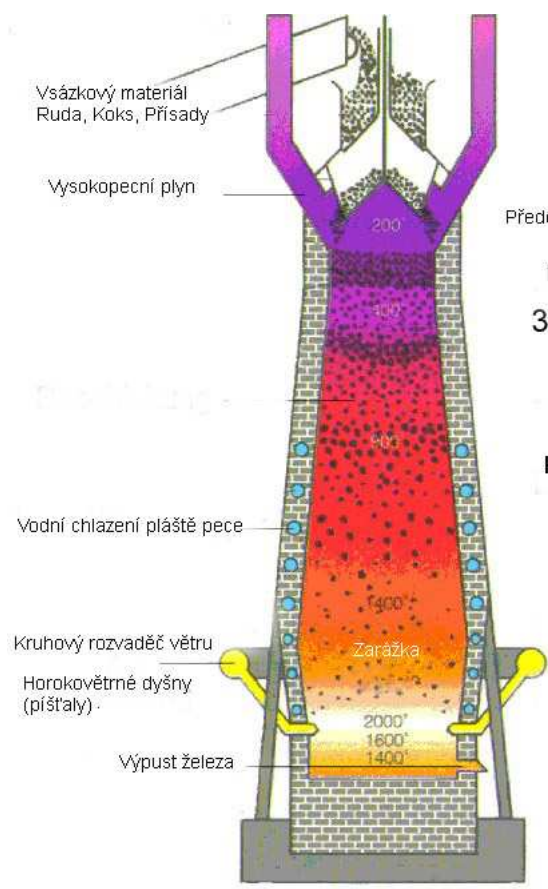
[2] http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CD0QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.souch.cz%2Fdok%2Fvyrurzelaoce.li.doc&ei=SqMHU-ORK7De7AalzoDwCg&usg=AFQjCNGiO3Sq_r6HLIJS7IJVAvr_ZHIO1Q&sig2=gu4uzv1V_csANqKXThFrww&bvm=bv.61725948,d.ZGU&cad=rja

[3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Vysok%C3%A1_pec

[4] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Schema_kopie.jpg

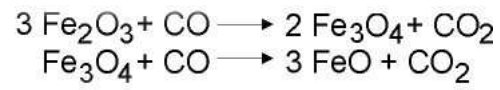
[5] <http://www.hornictvi.info/prirucka/zprac/vyspec/vyspec.htm>

[6] Video: <https://www.youtube.com/watch?v=b3BOMfH7Dbc>



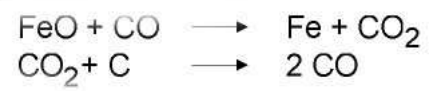
Předehřívání a sušení vsázky

Nepřímá redukce



REDUKČNÍ ZONA

Přímá redukce



Zona nauhličování

Zona tavení