



# Metalurgie železných kovů Výroba surového železa

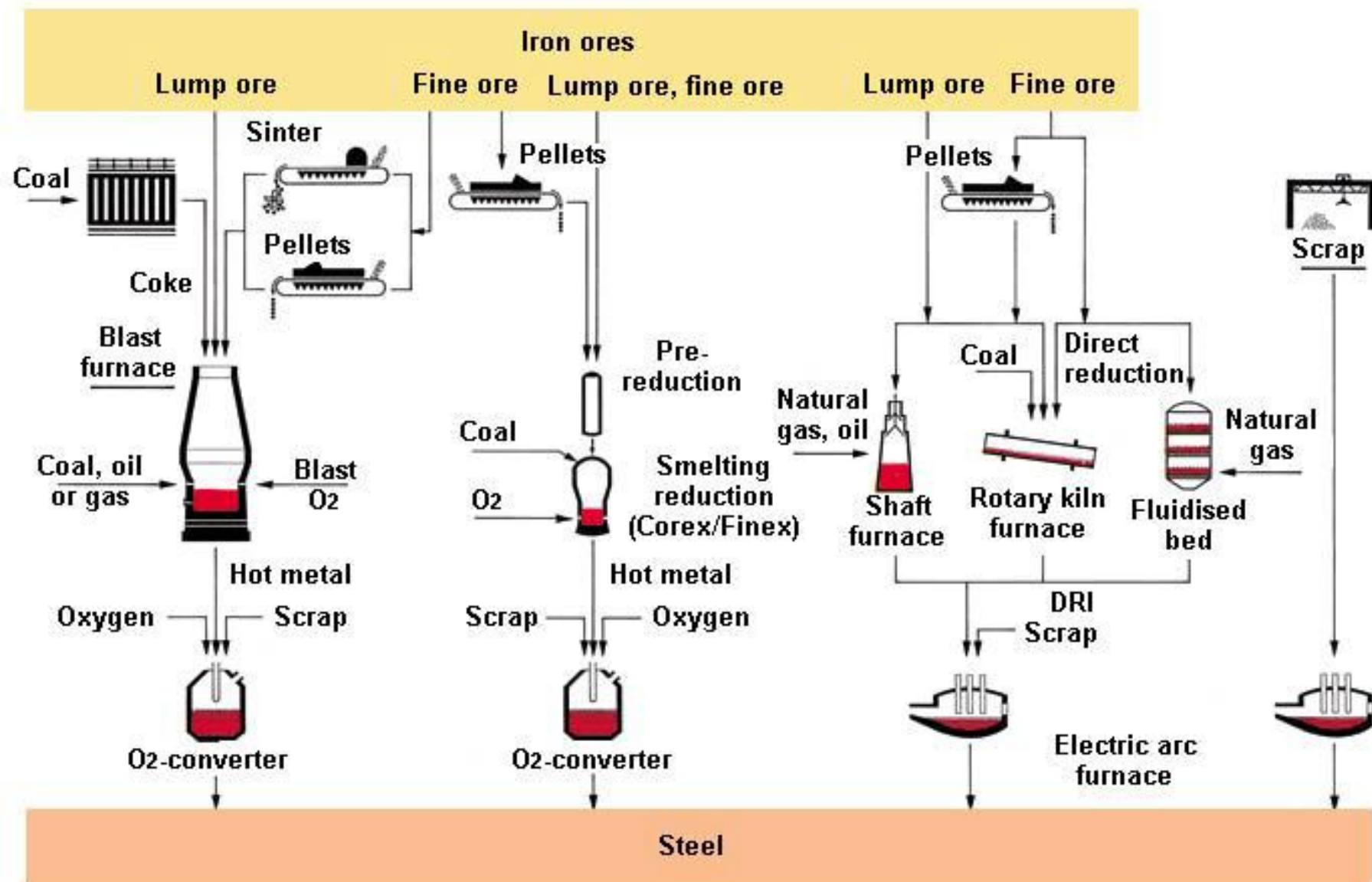
Ing. Vladimír Toman



- **Základní typy podniků**

jsou znázorněny na následujícím schématu:

- **integrovaný hutní podnik** (vlevo a uprostřed) – zpracovává železnou rudu, vyrábí z ní aglomerát, který spolu s koksem a dalšími přísadami sází do vysoké pece, kde se vyrobí tekuté surové železa, které je následně zpracováváno na ocel v kyslíkových konvertorech – ta se dále odlévá na ZPO (zařízení plynulého lití, kontilití) nebo se z ní odlévají ingoty. Ve světě se touto technologií vyrábí cca 65% oceli z celkové výroby 1,5 miliardu tun(rok, v ČR cca 90%).
- **jiné podniky** začínají výrobou oceli v EOP (elektrických obloukových pecích), kdy jako vsázka je používán ocelový a litinový šrot a další přísady, vyrobená tekutá ocel je odlita na ZPO nebo do formy ingotů. Použití této technologie přináší výrazné úspory – snížení spotřeby energií o cca 70% a emisí skleníkových plynů o cca 80% oproti první technologii. Ve světě se touto cestou vyrábí cca 35%, v ČR cca 10% z výroby oceli.
- Světová výroba oceli dosahuje cca 1,57 miliardy tun (rok 2011), do roku 2020 má narůst na cca 2 miliardy tun/rok.



Zdroj: Dr. Michael Degner et al., Steel Manual, Steel Institute

VDEh, Düsseldorf, 2008

## Integrované hutní podniky s vysokými pecemi v EU - umístění



Source: [ 47. Geiseler 1992 ]

Zdroj: BREF on the Production of Iron and Steel, European Commission, Sevilla 2012



evropský  
sociální  
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

## Pohled na vysokopecní závod



Zdroj: BREF on the Production of Iron and Steel, European Commission, Sevilla 2001

## Vysoká pec

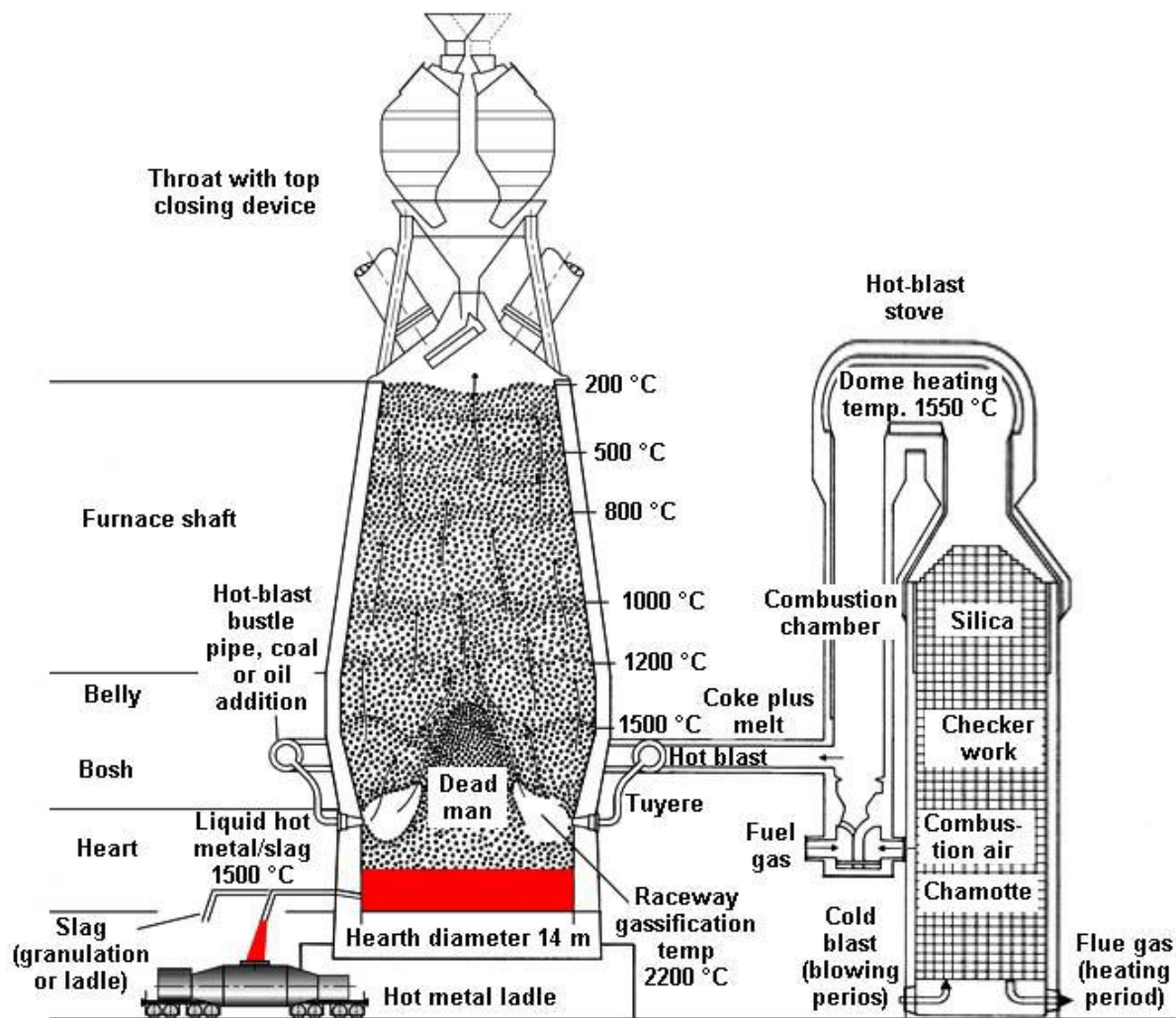
je nejdůležitějším agregátem v procesu výroby oceli. Tekuté surové železo se dodává do pecí pro výrobu oceli (kyslíkové konvertory, někdy i elektrické obloukové pece).

Roční výroba surového železa ve vysokých pecích se pohybuje v průměru na úrovni 1,1 mld. tun/rok, v jiných agregátech cca 0,06 mld. tun/rok.

Ze surového železa se na vyrábí celosvětově na kyslíkových konvertorech cca 70% z celosvětové výroby oceli, v ČR dosahuje tento podíl cca 90%.

Vysoká pec je uzavřený systém, do kterého jsou zaváženy materiály obsahující Fe (kusová železná ruda, aglomerát a/nebo pelety), aditiva (struskotvorné přísady jako je vápenec) a redukční činidla (koks) a to plynule vrcholem pecní šachty pomocí zavážecího systému, který současně zabraňuje úniku vysokopecního plynu.

## Schéma vysoké pece



Zdroj: Dr. Michael Degner et al., Steel Manual, Steel Institute VDEh, Düsseldorf, 2008

Vysokou pec je možno rozdělit na 6 teplotních zón:

- Kychta: v ní dochází k zavážení vsázky a odvádění vysokopecního plynu
- Šachta: v šachtě předává horký vysokopecní plyn své teplo pevné vsázce. Teplota vsázky stoupá proti teplotě okolí na cca 950 °C a oxidy železa se v této zóně částečně redukují.
- Rozpor: rozpor připojuje šachtu k sedlu vysoké pece. V této části roste teplota dále na asi 1250 °C. Nastává další redukce oxidů železa a začíná reakce s koksem.
- Sedlo: reakce koksu se vsázkou pokračují. Tvoří se tavenina železa a strusky
- Výfučny: do pece se zavádí proud horkého vzduchu pomocí většího počtu výfučen (16 až 42). Výfučny jsou umístěny okolo horního obvodu nístěje a jsou propojeny velkou rourou obtočenou okolo pece ve výšce sedla (okružní větrovod). Ve vnitřním prostoru u výfučen může teplota překročit 2000 °C a oxidy se zcela redukují.

- Nístěj: shromažďuje tekuté surové železo a strusku. Okolo nístěje jsou umístěny jeden až čtyři odpichové otvory, přičemž jeden nebo dva jsou v kteroukoliv dobu v provozu.

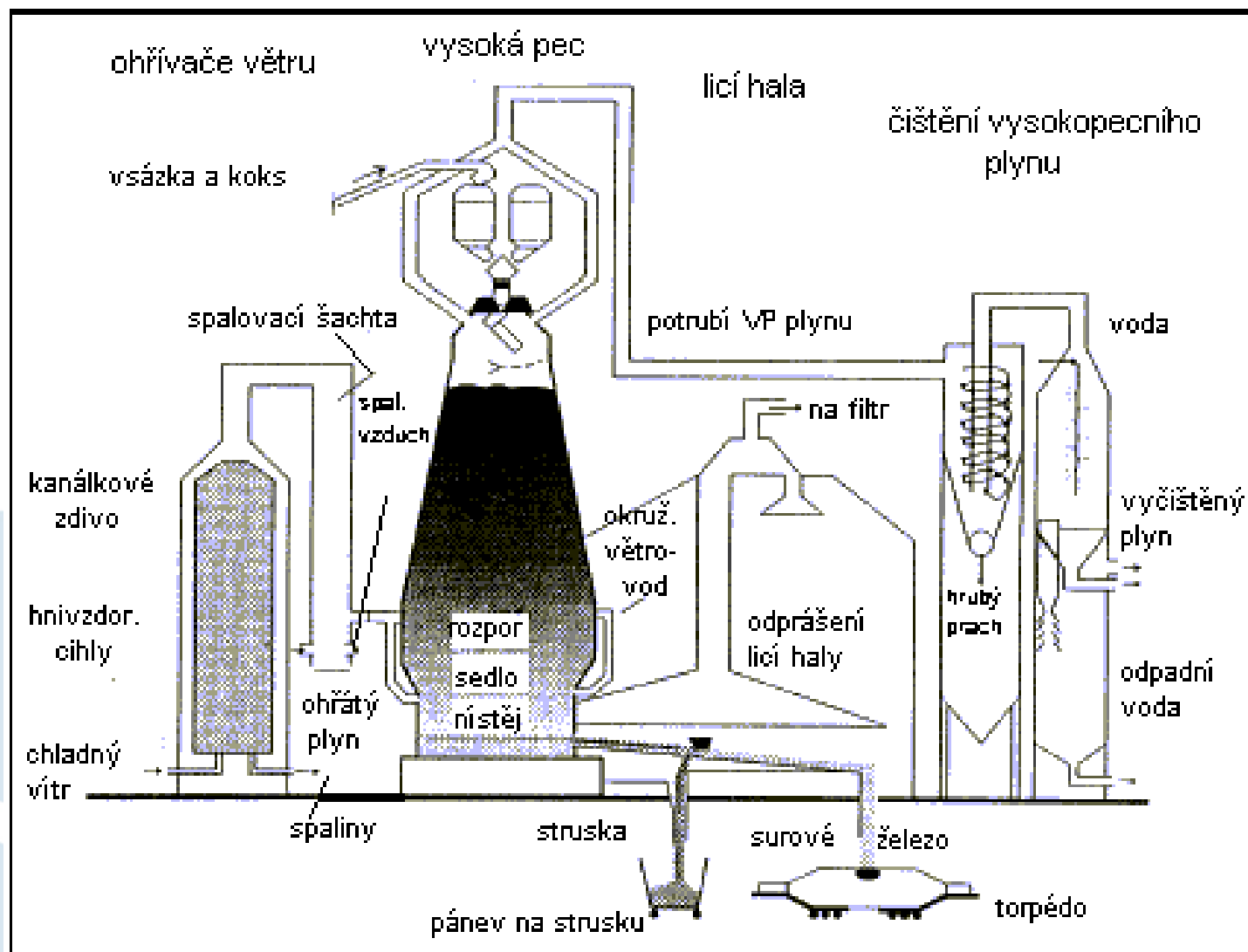
Šachta, rozpor, sedlo a pás výfučen mají typické chlazení vodou, nístěj se chladí vodou, olejem nebo vzduchem.

Vnitřní objem vysoké pece se pohybuje od 1300 do 6500 m<sup>3</sup>.

Jednotková produkce vysoké pece se pohybuje asi od 0,5 mil.t/rok u malých pecí až po cca 5,5 mil. tun/rok u velkých vysokých pecí.



# Zjednodušené schéma vysoké pece (UBA Rentz, 1996)



## Základní zařízení

- vysoká pec
  - ohříváč větru u vysoké pece
  - odlévací zařízení pro surové železo (licí pole, odlévací pásy)
  - převážecí vozy tekutého surového železa do haly oceláren vybavených tavícími agregáty (kyslíkové konvertory)
- 
- **Vstupní suroviny:**
    - Kovonosné suroviny –
      - pelety kyselé (10 – 70%)
      - pelety zásadité (do 10% vsázky)
      - kusová ruda velikosti 6 – 25 mm vsazovaná přímo do vysoké pece (10 – 15% vsázky)
      - aglomerát (30 – 90% kovonosné vsázky)
    - Struskotvorné přísady –
      - vápenec s obsahem 54 – 56% CaO,
      - dolomit,
      - ocelářenská struska z vlastní výroby ocele s obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, Mn, a obsahem železa až 60%.

- redukční činidla – koks (slouží především jako nosná výplň objemy vysoké pece), uhlí práškové, oleje, zemní plyn, plasty
- manganová ruda, titanová ruda a jiné vsázkové materiály, které napomáhají ke stabilizaci technologického procesu výroby surového železa,
- Paliva kapalná – olej, dehet
- Paliva plynná – vysokopecní plyn, koksový plyn,
- Voda – užitková, upravená, recyklovaná
- **Vstupní energie**
- koksárenský plyn, vysokopecní plyn, zemní plyn
- elektrická energie
- kyslík

- **Výrobek:**
  - surové železo ocelářenské
  - surové železo slévářenské
  - vysokopecní plyn.
- **Vedlejší výrobek:**
  - vysokopecní výhoz (prach)
  - vysokopecní struska
  - odpadní teplo
- **Odpady do vody**
  - odpadní voda
- **Odpady pevné**
  - z úpravy vysokopecního plynu, z obložení licího kanálu a jílovité ucpávky odpichového otvoru, hmotné částice z odpichu, odpady z vyzdívek, kal z pánve, prach z haly vysokých pecí

# Vysokopecní plyn

Obsahuje orientačně okolo 20 – 28 % CO, 1 – 5 % vodíku, inertní složky (50 – 55 % dusíku a 17 – 25 % CO<sub>2</sub>), nízký obsah síry a kyanidových sloučenin a velké množství prachu ze vsázky.

Množství kyanidů může být zvláště vysoké během dmýchání do vysoké pece – to však nastává jen čas od času a proto se do vsázky vkládají přísady pro minimalizaci tvorby kyanidů.

Výhřevnost vysokopecního plynu je 2,7 – 4,0 MJ/Nm<sup>3</sup>. Produkce vysokopecního plynu dosahuje přibližně 1200 – 2000 Nm<sup>3</sup>/tuna surového železa.

Čištění VP se skládá obvykle z předúpravy (odstranění hrubých částic prachu) a následně probíhá praní s cílem odstranit jemný prach (a s ním i těžké kovy), SO<sub>2</sub> a sloučeniny kyanidu. V některých zařízeních se používá elektrostatické odlučování. Obsah prachu se pohybuje 5,5 – 40 kg/t surového železa, po vyčištění méně než 10 mg/Nm<sup>3</sup>.

Po vyčištění se zemní plyn často používá jako palivo po obohacení koksárenským nebo zemním plynem, které mají vyšší výhřevnost

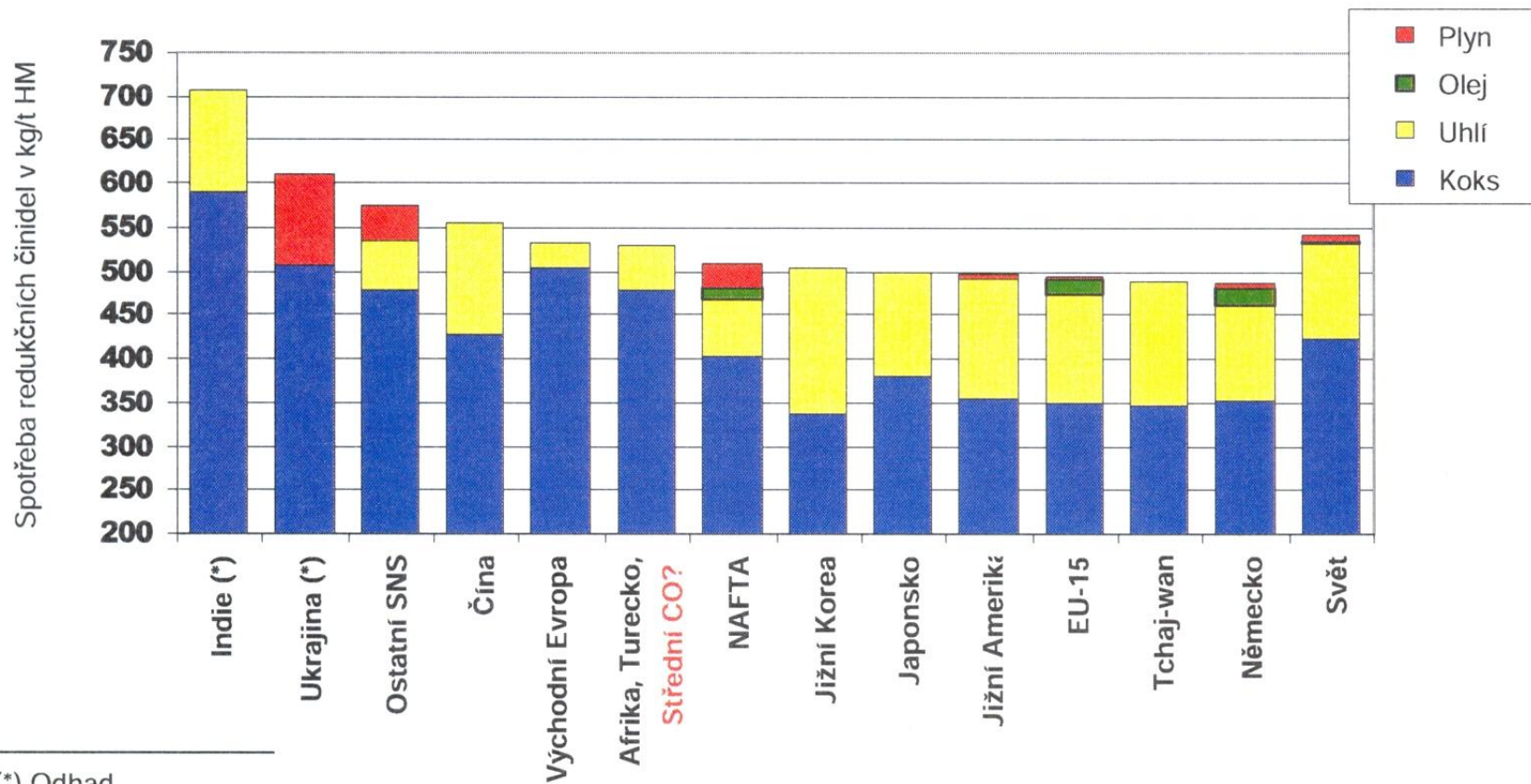
Vysokopecní plyn bez obohacení se využívá např. do ohříváčů větru, pokud se použijí moderní hořáky, a/nebo pro ohřev spalovacího vzduchu.

## Hlavní pochody při výrobě surového železa:

- příprava a zavážení surovin
- tvorba proudu horkého větru - ohříváče větru
- vysokopecní proces
- přímá injektáž redukčních činidel
- odlévání surového železa
- zpracování strusky

## Principy výroby surového železa ve vysoké peci

- Vsázka ve vysoké peci se pohybuje směrem dolů (klesá) a stoupá její teplota, čímž se usnadňují redukční reakce oxidů a tvorba strusky. Nastává řada změn ve složení vsázky:
  - oxid železitý ve vsázce se postupně redukuje za vzniku železné houby až ke konečnému roztavenému surovému železu
  - kyslík ze železné rudy reaguje s koksem za vzniku  $\text{CO}_2$ , nebo s CO za vzniku  $\text{CO}_2$ , který se hromadí ve vrcholu pece



(\*) Odhad

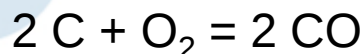
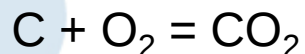
Zdroj: [ 159, VAI 1997 ]

Spotřeba redukčních činidel ve vysokých pecích ve světě v roce 2006

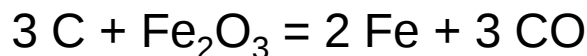
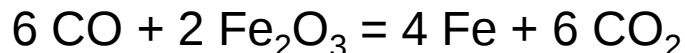
- složky hlušiny se spojují s tavidly a tvoří strusku. Tato struska je směsí slilikátů o hustotě nižší než je roztavené železo
- koks slouží především jako redukční činidlo, ale také jako palivo, a opouští pec v podobě CO, CO<sub>2</sub> nebo jako uhlík obsažený v surovém železe
- jakýkoliv přítomný vodík reaguje také jako redukční činidlo a reakcí s kyslíkem dává vodu.

## **Základní chemické reakce při výrobě surového železa ve vysoké peci**

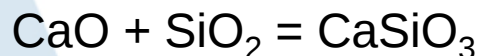
- spalování koksu za vzniku oxidu uhličitého nebo oxidu uhelnatého



- redukce železa oxidem uhelnatým nebo uhlíkem



- vznik strusky



**Surové železo** vyrobené ve vysokých pecích má poměrně vysoký obsah uhlíku a dalších nežádoucích látek - křemíku, síry, fosforu, kyslíku, dusíku a vodíku. Zejména uhlík způsobuje, že surové železo je křehké a nedá se zpracovávat kováním a tažením. Proto se prakticky všechno surové železo dále upravuje tak, aby získalo požadované mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Železo: po vytečení železa z pece jsou odebrány vzorky a surové železo je pojezdovými míšiči přepraveno na ocelárnu, nebo lící stroj

**Struska** je po vytečení

- dopravena do provozu struskového hospodářství, kde je upravována (granulace) na certifikovaný výrobek se zaručenými vlastnostmi, nebo
- je dopravena struskovými vozy na skládku, kde je uložena..

- Tekutá vysokopecní struska se zpracovává způsoby:
  - rychlé zchlazení vzduchem a parou pro výrobu skleněného vlákna (strusková vlna)
  - rychlé zchlazení vodou pro výrobu zeskelnatělých granulí velikosti  $< 5$  mm (granulovaná vysokopecní struska)
  - rychlé zchlazení na vzduchu pro výrobu skelných krystalických pelet o velikosti  $< 20$  mm (pelety z vysokopecní strusky)
  - pomalé zchlazení s menším objemem vody pro výrobu krystalického /skelného a pórovitého materiálu (napěněná vysokopecní struska)
  - pomalé chlazení na vzduchu ve struskových jámách pro výrobu krystalického materiálu (krystalická vysokopecní struska)

- **Principy činností na zařízeních:**
  - Technologický proces výroby surového železa začíná na rudném mostě, kde se materiál vykládá a je distribuován přes zavážku do pece, kde se po složitých procesech taví a přeměňuje na výsledný produkt a to surové Vysokopecní plyn je čištěn a následně používán ve směsi s koksárenským plynem jako tzv. směsný plyn pro otop v jiných technologiích hutního podniku.
- **Emise do ovzduší jsou především z operací:**
  - příprava vysokopecní vsázky
  - zavážení vysokých pecí
  - ohřev větru pro vysoké pece
  - odlévání surového železa v licí hale
  - zpracování strusky

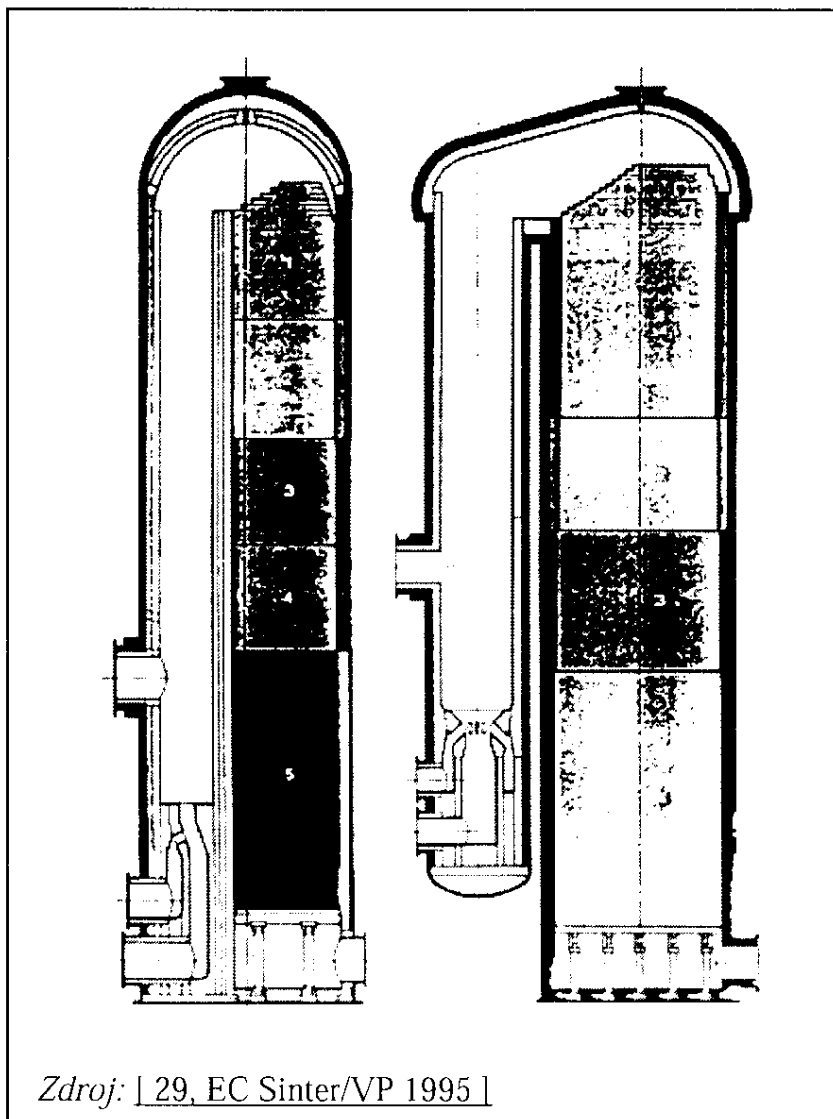
## Provoz ohříváče větru

Jedná se o pomocné zařízení používané k ohřevu větru (vzduchu), který je následně dmýchán do vysoké pece.

Ohříváče pracují cyklicky. Vyhřívány jsou spalováním plynu (obvykle obohacený vysokopecní plyn) až do dosažení teploty v kopuli 1100-1500° C. Pak začne v ohříváči opačným směrem proudit okolní studený vzduch, který se ohřívá od rozžhavených cihel vyzdívky a vytváří tak horký vítr, který je následně veden do dmyšen (hořáků) vysoké pece.

Ohříváče jsou s interní (vnitřní) spalovací komorou nebo s vnější (externí) spalovací komorou.

Emise do ovzduší (tuhé znečišťující látky) vznikají během fáze vytápění ohříváče větru



Ohřivače větru s interní (vlevo) a externí spalovací komorou

- **Minimalizace emisí zdrojů do ovzduší:**

- během dopravy a manipulace se spečencem jsou dopravní cesty odsávány a vzdušina čištěna na elektrostatických odlučovačích.
- zavážení vysokých pecí: obdobně jako zdroje doprava a manipulace se spečencem jsou prašná místa v procesu zavážení vysokých pecí odsávána a vzdušina čištěna na instalovaných elektrostatických odlučovačích.
  - Použití bezzvonových sazeben s primárním a sekundárním vyrovnaváním
  - plynový nebo ventilační systém s rekuperací
  - použití vysokopecního plynu k natlakování horních zásobníků
- ohřev větru pro vysoké pece: topné plyny jsou čištěny před vstupem do ohříváčů větru. Vysokopecní plyn je čištěn v několika stupních:
  - 1. hrubé čištění v prašníku vysoké pece.
  - 2. jemné čištění v mokrých skrubrech (věže se skrápěním).
  - 3. nejjemnější dočištění je prováděno ve Venturiho pračkách.Takto vyčištěný plyn je používán pro ohřev větru pro vysoké pece.

- odlévání surového železa:
  - během odlévání surového železa jsou licí pole a nalévací místa odsávána. Zachycená vzdušina je následně čištěna v tkaninových filtrech. Pro snížení a předcházení vzniku fugitivních emisí je možno využít těchto opatření:
    - zakrytí licích žlabů
    - použití bezdehtových vyzdívek licích žlabů
    - odstranění výparů dusíkem při odpichu, pokud je to možné a pokud není instalován žádný sběrný a odprašovací systém pro emise vznikající při odpichu
- Omezení prachových emisí z vysokopecního plynů použitím některé z dále uvedených technik nebo jejich kombinací:
  - zařízení pro primární suché odprašování: deflektory, lapače vzduchu, cyklony, elektrostatické odlučovače
  - zařízení pro následné snížení emisí prachu: pračky se změnou směru proudění, Venturiho pračky, pračky s kruhovou mezerou, mokré elektrostatické odlučovače.

- **Další opatření ke snížení emisí do ovzduší:**
  - Přímá injektáž redukčních činidel
  - Rekuperace energie z vysokopecního plynu
  - Rekuperace energie z tlaku kychtového plynu
  - Energetické úspory u ohřívačů větru
  - Použití dehtuprosté vyzdívky žlabů
  - Odprášení haly odlévání



- **Emisní monitoring (jen základ):**
  - **zjišťování emisí kontinuálním měřením**
    - ohřívače větru – kontinuální měření emisí CO, měřící místa jsou umístěna za bateriemi ohřívačů větru ve spodní části komína.
  - **zjišťování emisí jednorázovým měřením**
    - jednorázovým měřením jsou zjišťovány emise všech zdrojů emisí ve společnosti, navíc jsou prováděna jednorázová kontrolní měření pro kontinuální měření emisí.

## Hodnoty emisních limitů podle platné legislativy

- **Emisní limity podle Závěrů o BAT – rozhodnutí 2012/135/EU**
  - plnění jednotky pro vstřikování práškového uhlí:  
prach =  $< 20 \text{ mg/Nm}^3$
  - pro činnosti v hale odlévání (velké množství BAT):  
prach =  $< 15 \text{ mg/Nm}^3$
  - vyčištěný vysokopecní plyn:  
prach =  $< 10 \text{ mg/Nm}^3$
  - pro horkovzdušné sušárny (střední denní hodnoty):  
prach =  $< 10 \text{ mg/Nm}^3$  ,  $\text{SO}_x$  jako  $\text{SO}_2$  =  $< 200 \text{ mg/Nm}^3$  ,  $\text{NO}_x$  jako  $\text{N}_2\text{O}$   
=  $< 100 \text{ mg/Nm}^3$  , referenční kyslík 3%,

- **Emisní limity podle vyhlášky 415/2012 Sb.**

- doprava a manipulace s vysokopecní vsázkou:

TZL = 50 mg/m<sup>3</sup>, vztažné podmínky C

- odlévání (vysoká pec):

TZL = 50 mg/m<sup>3</sup>, vztažné podmínky A

- ohříváče větru:

SO<sub>2</sub> = 2500 (2000) mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> = 400 (100) mg/m<sup>3</sup>, CO = 4000 mg/m<sup>3</sup>  
(údaj v závorce: platí od 1.1.2020), O<sub>2</sub>R = 7%, vztažné podmínky A

- Koncentrace zbytkového prachu ve vyčištěném vysokopecním plynu:  
max. 10 mg/m<sup>3</sup> v suchém plynu za normálních podmínek