

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Metalurgie železných kovů Výroba aglomerátu

Ing. Vladimír Toman



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

1. Vymezení odvětví metalurgie železných kovů (černá metalurgie)

Metalurgie železných kovů v rozsahu tohoto kurzu není určena primárně k výrobě finálních výrobků pro použití obyvatelstvem přímo, ale vytváří základní hutní výrobek – ocel – jejímž zpracováním především ve válcovnách, kovárnách a lisovnách jsou vytvářeny hutní výrobky, které tvoří materiálovou základnu pro navazující odběratelská odvětví.

Mezi nejvýznamnější odběratelská odvětví náleží a z výroby hutních výrobků odebírají podíl (%) (údaje za rok 2010):

- stavebnictví – v ČR 15%, v EU 27%,
- strojírenství – v ČR 13%, v EU 14%,
- automobilový průmysl – v ČR 26%, v EU 16%,
- kovodělný průmysl – v ČR 28%, v EU 24%.

Obdobné údaje budou uvedeny také v příslušných pasážích o slévárnách a neželezných kovech.

- Vymezení odvětví metalurgie železných kovů (zvýrazněné části jsou obsahem tohoto kurzu):
 - Podle CZ-NACE:
 - **19.1 – Výroba koksárenských produktů**
 - 24.1 – Výroba surového železa, oceli a ferrosilitin
 - **Výroba surového železa, oceli a ferrosilitin**
 - Výroba plochých výrobků (kromě pásy za studena)
 - Tváření výrobků za tepla (válcovny profilů, protlačování)
 - 24.2 – Výroba ocelových trub, trubek, dutých profilů a souvisejících potrubních tvarovek
 - 24.3 – Výroba ostatních výrobků získaných jednostupňovým zpracováním oceli
 - Tažení tyčí za studena
 - Válcování ocelových úzkých pásů za studena
 - Tváření ocelových profilů za studena
 - Tažení ocelového drátu za studena

- 24.4 – Výroba a zpracování drahých a neželezných kovů
- 24.5 – Slévárenství
 - Výroba odlitků z litiny (s lupínkovým grafitem, s kuličkovým grafitem, ostatní)
 - Výroba odlitků z ocelí (z uhlíkatých ocelí, z legovaných ocelí)
 - Výroba odlitků z lehkých neželezných kovů
 - Výroba odlitků z ostatních neželezných kovů



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Vymezení odvětví celkem podle zákona 76/2002 Sb., Příloha č.1 a Směrnice 2010/75/EU, Příloha 1:

- **1.3 – Koksovací pece,**
- **2.1 – Zařízení na pražení nebo slinování kovové rudy (včetně sirníkové rudy),**
- **2.2 – Zařízení na výrobu surového železa nebo oceli (z prvotních nebo druhotných surovin), včetně kontinuálního lití, o kapacitě větší než 2,5 t za hodinu,**
- **2.3 – Zařízení na zpracování kovů**
 - 2.3a – válcovny za tepla o kapacitě větší než 20 t surové oceli za hodinu,
 - 2.3b – kovárny s buchary o energii větší než 50 KJ na jeden buchar, kde spotřeba tepelné energie je větší než 20 MW,
 - 2.3c – nanášení ochranných povlaků z roztavených kovů se zpracováváním množstvím větším než 2 tuny surové oceli za hodinu
- **2.4 – Slévárny železných kovů o výrobní kapacitě větší než 20 tun denně**

Podrobné informace o řešených otázkách pro železné kovy (aglomerace, vysoké pece, výroba oceli, související činnosti) je možno najít v evropských referenčních předpisech o nejlepších dostupných technikách (BREF):

- BREF pro výrobu železa a oceli, 2001-12, česky
- BREF pro výrobu železa a oceli, 2012-03, česky
- Rozhodnutí 2012/135/EU, tzv. Závěry o BAT pro výrobu železa a oceli, česky
- BREF pro průmysl zpracování železných kovů, 2001-12, česky

V BREF i Závěrech o BAT jsou uváděny někdy emisní limity pro emise látek nejen do ovzduší. V tomto případě je však nutno vzít do úvahy definici BAT: limitů se má dosáhnout při vynaložení ekonomicky efektivních nákladů v rámci procesu integrované prevence. Také platí, že uváděné nejlepší dostupné techniky pro jednotlivé technologie a zařízení vycházejí ze znalostí celosvětových, nikoliv jen v rámci EU.

- V dalším se budeme zabývat jednotlivými základními zařízeními v metalurgii železných kovů:
 - Aglomerace
 - Vysoké pece
 - Ocelárny – kyslíkové konvertory (KK) – výroba oceli a její odlévání
 - Ocelárny – elektrické obloukové pece (EOP) – výroba oceli a její odlévání



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Aglomerace – pohled na spékací pás



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

Vstupní suroviny:

Primární suroviny:

- rudy prachové, rudný koncentrát,
- vápenec, dolomitický vápenec,

Sekundární suroviny:

- upravená ocelářenská struska (obsahuje Fe, Mn a bazické oxidy),
- okuje s obsahem oleje do 1%,
- vysokopecní výhoz (prach), hrubé konvertorové kaly (do 1 mm), vysokopecní kaly,
- magnetický zlom, prach z elektrodlučovačů aglomerace,
- aglomeráty (přechodné typy při změně výrob z ocelářenského a vysokopecního aglomerátu),
- vápno,
- litinové třísky,
- grafitový úlet (prach vzniklý při přelévání surového železa s vyšším obsahem Fe a C).

Hlavní výrobek:

- aglomerát - pro výrobu surového železa ve vysokých pecích

Vedlejší produkty:

- prach
- kal



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Základní emise do ovzduší:

- emise hmotných částic z manipulace, drcení, třídění a transportu aglomerační vsázky a aglomerátu
- emise odpadních plynů z aglomeračního pásu
- emise hmotných částic z chlazení aglomerátu.

Základní emise do vody:

- odpadní voda z úpravy odpadního plynu
- chladicí a vypírací voda

Pevné odpady:

- pevné odpady z úpravy odpadního plynu

Plyny z aglomerace obsahují:

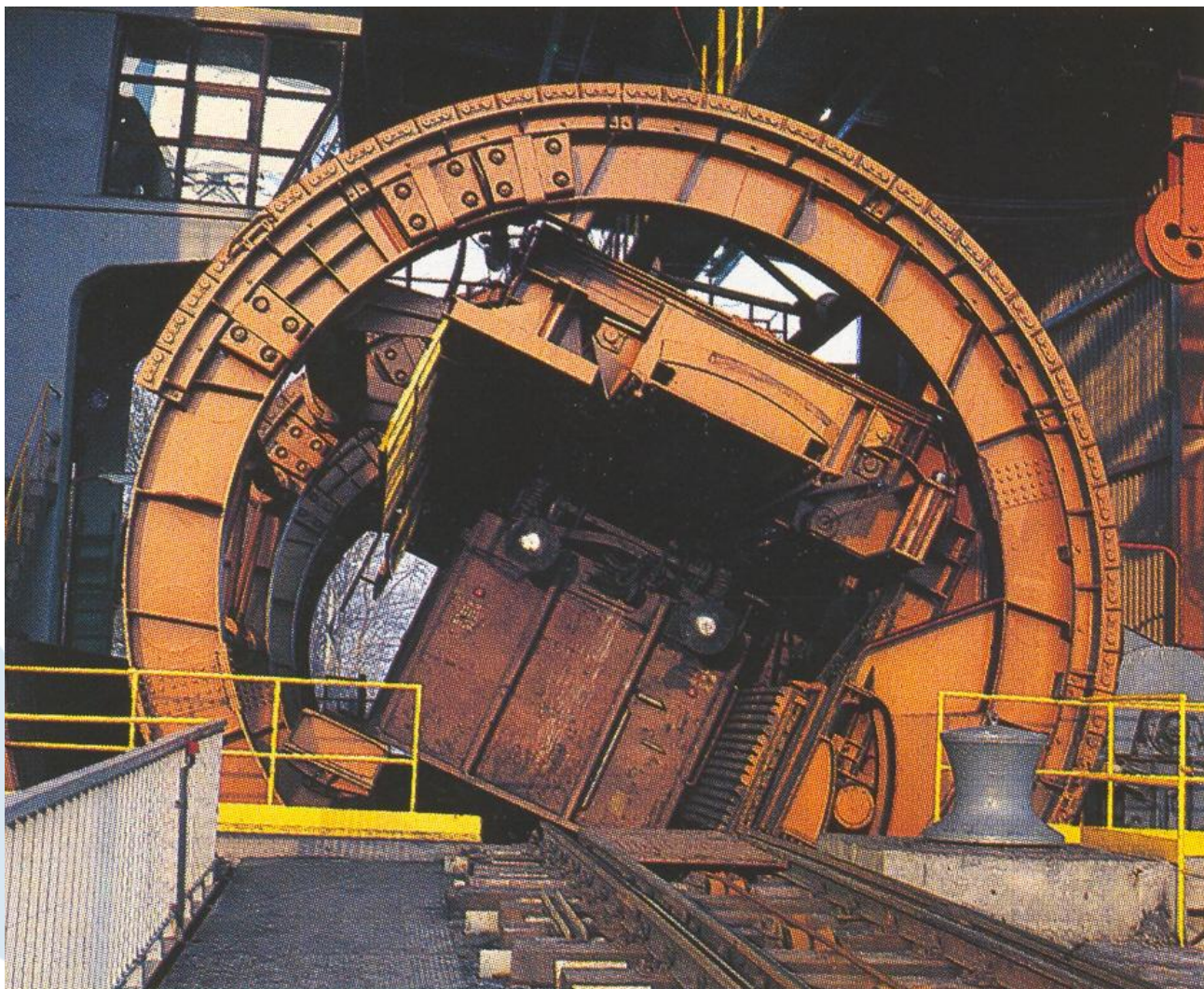
- prach
- NO_x
- SO₂
- CO, CO₂
- VOC
- Hg
- PAH
- dále Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn,
- HCl, HF
- PCDD/PCDF
- PCB

Obsah jednotlivých prvků a sloučenin v plynu vyplývá především z toho, že jsou obsaženy ve vstupních surovinách (руды). Některé sloučeniny vznikají v procesu spékání.

Základní zařízení:

- homogenizační skládky
- rozmrazovny rud (využíváno příležitostně)
- výklopníky
- zásobníky
- potrubní a pásová doprava surovin
- aglomerační pásy,

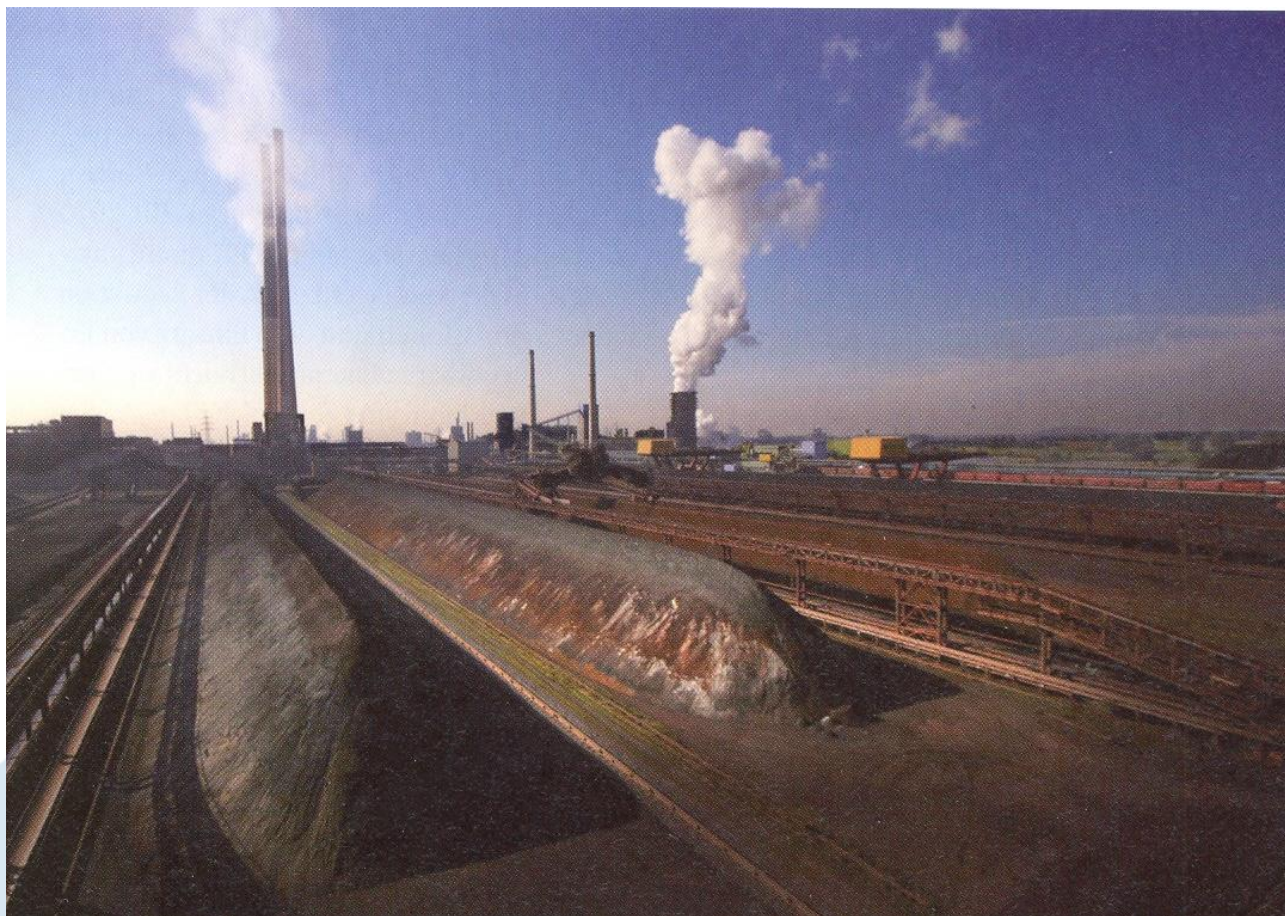
Výklopníky jsou určeny pro vykládku prachových rud, druhotných kovonosných surovin, bazických přísad a paliva pro aglomeraci, event. i kusových rud pro vsázku VP. Jsou konstruovány jako výklopníky vagónů (rotační, čelní).



Rotační výklopník

Homogenizační skládky:

- *Po vyklopení obsahu vagónu je substrát dopraven soustavou pásů na zakladač, který je určen k zakládání surovin na homogenizační skládky. Tyto jsou umístěny mezi kolejnicemi pro pojezd zakladače a naběrače. Vlastní zakládání se provádí sypáním surovin na hromadu ve vodorovných vrstvách s možností vlhčení tak, aby výsledná hromada měla požadované chemické složení pro výrobu aglomerátu, především s ohledem na obsah železa, fosforu, manganu, zinku. Dále se bere v úvahu poměr CaO/MgO v aglomerátu, požadovaná bazicita aglomerátu a množství korekčních bazických přísad na aglomeracích. Zakládání začíná vždy od konce hromady a při reverzování pojezdu velkostroje obsluha dbá na vzájemný posun jednotlivých zakládaných pásů, aby se zabránilo tvorbě hrbolů na povrchu zakládané hromady.*
- *Vlhčení se provádí po celé délce hromady při zapnutém pojezdu stroje a při sypání materiálu. Přívodní ventil vody je ovládán pomocí tlačítka z kabiny stroje.*



Pohled na homogenizační skládku



Homogenizační skládka



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

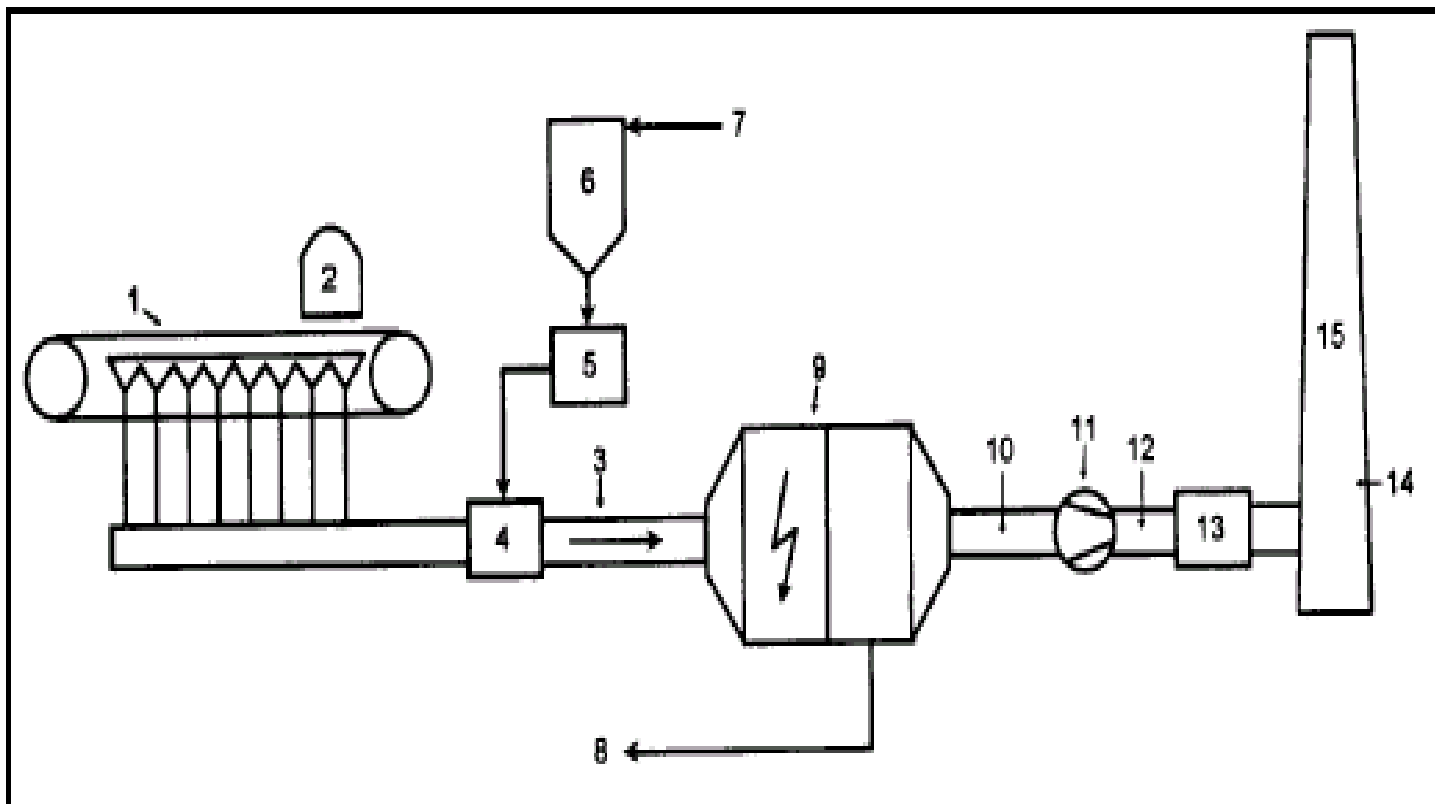
Rozmrazovny rud:

- *slouží k rozmrazování surovin v železničních vagónech v zimním období v rozmrazovacích tunelech pomocí spalování směsného plynu ve spalovacích komorách. Každý tunel má svoji spalovací komoru. Vzniklé spaliny o teplotě 900 až 1300 0C jsou nasávány spalínovým ventilátorem do směšovací části spalovací komory, do které přicházejí shora potrubím recirkulační spaliny o teplotě cca 50 0C. Vzniklá směs o teplotě 70 0C je tlačena spalínovým ventilátorem do přívodního potrubí, které přivádí spaliny do hlavního kanálu podél rozmrazovacího tunelu umístěného mezi kolejnicemi, pod rozmrazovanými vozy je vyfukována průduchy na dna vozů a ohřívá vlakovou soupravu. Maximálně povolená teplota spalin pro ohřev je v horní části vagónů 100 0C a v dolní části vagónů 60 0C.*

Zásobníky (včetně tzv. dep a polních skladů):

- *Úsek zásobníků a vysokopecního rudiště slouží k zabezpečení potřebného množství kusových rud, vápence, kusového koksu a ostatních přísad, pro vsázku vysokých pecí a pro manipulaci s aglomerátem. Pro zajištění vysokých pecí požadovanou vsázkou je nutná manipulace s kbelíky pomocí jeřábů a posun souprav kbelíkových podvozků bez lokomotivy pod starou a novou příčnou halou.*

Základní schéma aglomerace se stupněm adsorpce a katalytickým konvertorem (Kersting 1997, Philipp 1998)



1-aglomerační pás, 2 – zážehová pec, 3 – vedení odpadního plynu, 4 – injektážní trysky, 5 – dávkovací stanice s regulací, 6 – zásobní nádrž na adsorbenty, 7 – plnicí zařízení, 8 – recyklace prachu, 9 – elektrostatický odlučovač, 10 – měřící stanice koncentrace prachu a PCDD/F, 11 – ventilátor, 12 – měřící stanice pro složení odpadního plynu, 13 – konvertor pro katalytickou oxidaci, 14 – měřící stanice PCDD/F, 15 - komin

Činnosti na zařízeních aglomerace

- Prachové suroviny pro aglomerace jsou klopeny na výklopnících ze železničních vozů a dopravovány pásy do místa homogenizačních skládek, kde jsou ukládány vodorovně dle zadaného materiálového a chemického složení.
- Vlastní výrobní proces probíhá na typizovaných spékacích páslech. Každý z pásů skládá se z desítek spékacích vozíků opatřených roštnicemi. Spékací plocha je prosávána přes sací skříně, které jsou napojeny na kolektorové potrubí, na ně navazuje potrubí odvádějící spaliny do elektrostatického odlučovače (EO) pro každý spékací pás zvlášť. Exhaustor (výkon stovky tisíc m³ h⁻¹) odsává vyčištěné spaliny do komína společného vždy pro dva spékací pásy.

Příprava aglomeračních směsí

- V předepsaném poměru jsou dávkovány rudné komponenty, bazické přísady a mletý koks. K této aglomerační směsi je přidáván teplý zpětný aglomerát, propad zpod spékacích pásů a kaly z kolektorového potrubí. V míchacím bubnu se automaticky nebo s ručně navlhcuje na vlhkost optimální pro spékání.

- **Spékání aglosměsi**

- Aglomerační směs je dávkována na plochu spékacího pásu tvořenou roštnicemi. Na roštnici je umístěna 30 – 50 mm silná vrstva recyklovaného aglomerátu (to zabraňuje aglosměsi procházet otvory v roštu a chrání rošt před přímým teplem z hořící aglosměsi - dnes obvykle její tloušťka 400-600 mm, ale může být i menší).
- Horní vrstva aglosměsi na spékacím páse je zapálena zapalovací hlavou/pecí a vlivem podtlaku, vytvářeného turboexhaustorem, dochází zároveň s pohybem pásu k postupnému prohořívání vrstvy směsi a vlastnímu spékání prachových rud v kusový aglomerát.
- Spékací proces probíhá v několika pásmech, která na sebe vzájemně navazují, posunují se směrem k roštové ploše tzv. vertikální rychlostí spékání, až dojde ke spečení vrstvy na roštovou plochu a k ukončení spékání, což by mělo nastat nad předposlední odsávací komorou. Objem odsávaného odpadního plynu 330 000 – 1600 000 Mn³/hodinu (1500 – 2500 Nm³/t aglomerátu)

Probíhají následující procesy a reakce:

- odpařování vlhkosti
 - předehtřívání a zvápenatění základních složek, spalování koksového mouru a reakce mezi uhlíkovými, pyritovými, chloridovými a fluoridovými sloučeninami a vzduchem přenášeným kyslíkem
 - rozklad hydrátů a štěpení uhličitánů
 - reakce mezi oxidem vápenatým a hematitem
 - reakce mezi křemičitanovou fází a fází oxidu vápenatého a železitého při získání křemičitanové taveniny a zvýšení podílu fází taveniny
 - produkce vápeno-sirnatých sloučenin a sloučenin s obsahem fluoridu společně s alkalickými chloridy a kovovými chloridy
 - redukce oxidů železa na kovové železo v pásmu s vysokou teplotou
 - účinky tvorby dutin a kanálů způsobené spalováním koksu a odpařováním vlhkosti
 - reoxidační a rekrystalizační procesy s účinky srážení, tvrzení a praskání v průběhu chlazení aglomerátu
 - vytváření prasklin z důvodu tepelného namáhání během chlazení aglomerátu a vad v mikrostruktuře aglomerátu.

Odpadní plyn z aglomeračního pásu

obsahuje částice, jako například těžké kovy, především sloučeniny železa, ale také další sloučeniny, například olovo, alkalické chloridy, oxidy síry, oxidy dusíku, chlorovodík, fluorovodík, uhlovodíky, oxid uhelnatý, ale také významná stopová množství PAH a aromatických organohalogenových sloučenin, jako například PCDD/F a PCB.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

- **Úprava a doprava aglomerátu**

Kusy aglomerátu, padající na výpadovém konci, jsou drceny rotačními ježkovými drtiči na kusovost do cca 200 mm. Následuje doprava ocelovým dopravníkem na třídič, kde je odtržěn zpětný aglomerát o zrnitosti 0 - 6 mm, který se vrací do vsázky.

Nadsítné (aglomerát) je ocelovými dopravníky dopraveno do zásobníků jako vsázka pro vysoké pece.

Ve většině případů (tedy tam, kde chlazení není nedílnou součástí aglomeračního pásu) pokračuje aglomerovaný materiál po jeho drcení a prosévání za studena do chladiče. Chladič je obvykle rotační konstrukce o průměru asi 20 až 30 metrů, do které je aglomerát umístěn ve vrstvě silné více než 1 metr. Aglomerát se chladí vzduchem, který je vháněn do vrstvy shora nebo zdola. Proud chladicího vzduchu aglomerátu je silný a je závislý na typu a stáří použité soustavy. Běžně dosahuje hodnoty od 1000 do 1500 Nm³/t aglomerátu.

Zjevné teplo v odpadním plynu chlazení aglomerátu (které může mít teplotu až 300 °C), je možné využít v kotli odpadního tepla recirkulací horkých plynů k předehřívání spalovacího vzduchu v odtahu hoření aglomeračního roštu a k předehřívání směsi aglomeračních surovin nebo je možné teplo využít v procesu aglomerace. Známé jsou také jiné konstrukce chladičů.

Zchlazený aglomerát je přesunut k sítům, která oddělují kusy, jenž budou použity ve vysoké peci (4–50 mm), od kusů určených k vrácení do procesu aglomerace (0 až 5 mm jako „vrácené jemné částice“ a část frakce 10–20 mm jako „spodní vrstva“).

- **Zpracování odprašků**

- Odprašky z elektrostatických odlučovačů spalin jsou dopravovány vyhrabovači a hrábkovými dopravníky do míchačky 1. stupně, stejně jako kaly z elektrostatických odlučovačů uzlů, a následně do kontejnerů nebo do zásobníků nebo jsou dopravovány pneumatickou dopravou na homogenizační skládku

- **Výrobky**

- Aglomerát s předepsanou velikostí kusu a předepsanou bazicitou.

- **Vliv na ovzduší:**

- Vliv na ovzduší je ze všech uvedených uzlů provozu aglomerace.

- **Emisní monitoring a provozní evidence (jen základ):**

- Kontinuální měření: spékací pásy (např. TZL, SO₂, Nox, CO, chrom, zinek).
- Jednorázová měření: spékací pásy (perzistentní látky), odprašení přesypů a úprav aglomerátu + výklopníky (TZL), rozmrazovna.

Primární opatření ke snížení emisí do ovzduší

- **Snížení obsahu těkavých uhlovodíků v aglomerační vsázce** - používáním vytríděných okují
- **Snížení emisí oxidů síry ze spékacích pásů:**
 - snížení množství přichozí síry použitím koksového prášku s nízkým obsahem síry (ne vyšším než 0,8 %)
 - snížení množství přichozí síry minimalizací spotřeby koksového prášku
 - snížení množství přichozí síry použitím železné rudy s nízkým obsahem síry
 - vstříknutí odpovídajících adsorpčních činidel do potrubí odpadního plynu ze spékacího pásu před odprášením tkaninovým filtrem
 - mokré odsíření: není v současné době v Evropě používáno, je náročné prostorově, finančně a má vysoké provozní náklady
 - suché odsiřování: tento proces je založen na principu adsorpce SO_2 na aktivním uhlí, které je drahé, a následném procesu regenerace aktivního uhlíku nasyceného SO_2 . Jako vedlejší produkt vzniká kyselina sírová a aktivní uhlí nasycené SO_2 se obvykle spaluje za řízených podmínek.

- **Snížení emisí rtuti** nebo zabránění jejich vzniku – použitím surovin s nízkým obsahem rtuti nebo zpracování odpadních plynů společně se vstřikováním aktivního uhlíku nebo aktivního hnědouhelného koksu.
- **Snížení emisí TZL** (hrubý prach se tvoří na začátku pásu a pochází z aglomerační vsázky a nižší vrstvy, jemný prach se tvoří ve spékací zóně po úplném odpaření vody ze směsi)
 - **Použití elektrostatických odlučovačů a cyklonů** s účinností nad 95%.(pokud není možno použít tkaninové filtry)
 - **Použití tkaninových filtrů** - Tkaninový filtr je vysoce účinné zařízení pro snížení emisí pevných částic a s dávkováním aditiv může snižovat také PCDD/F, HCl, HF a také SO₂. Tkaninové filtry mívají často předřazeny elektrostatické odlučovače a cyklony, ale mohou fungovat i jako samostatná zařízení..
 - Radikální řešení – zakrytované aglomerační pásy – zatím neekonomické, v provozu u firmy CORUS v IJmuiden, Nizozemsko.
 - Recirkulace odpadního plynu – pro snížení NO_x ze spékacího pásu na úroveň pod 500 mg/Nm³.

- **recirkulace odpadního plynu**
 - částečná recyklace odpadních plynů z celého pásu – není možná instalace na stávajících zařízeních (prostorové omezení)
 - recyklace odpadních plynů z koncové části spékacího pásu spojená s výměnou tepla
 - recyklace odpadních plynů z části koncového spékacího pásu a využití odpadních plynů z chladiče aglomerátu
 - recyklace části odpadních plynů do jiných částí spékacího pásu
- **Snížení emisí NO_x ze spékacího pásu**
 - recirkulace odpadního plynu
 - jiná opatření, např. použití antracitu, použití zapalovacích hořáků s nízkými emisemi NO_x
- **Snížení emisí PCDD/PCDF**
 - vyloučení surovin obsahujících látky, jejichž hořením vznikají PCDD/F a PCB
 - zamezení vzniku PCDD/F přidáním sloučenin dusíku
 - recirkulace odpadních plynů

Hodnoty emisních limitů podle platné legislativy

Emisní limity podle Závěrů o BAT – rozhodnutí 2012/135/EU

- spékací pás: prach = $< 1 - 15 \text{ mg/Nm}^3$ pro tkaninový filtr a $< 20 - 40 \text{ mg/Nm}^3$ pro elektrostatický odlučovač
- spékací pás: $\text{SO}_x < 350 - 500 \text{ mg/Nm}^3$,
- spékací pás: rtuť = $< 0,03 - 0,05 \text{ mg/Nm}^3$,

Emisní limity podle nařízení vlády 415/2012 Sb.

- příprava vsázky: prach = 50 mg/Nm^3 ,
- spékací pásy aglomerace: prach = 50 mg/Nm^3 , $\text{SO}_2 = 400 \text{ mg/Nm}^3$, $\text{NO}_2 = 400 \text{ mg/Nm}^3$, $\text{CO} = 8000 \text{ mg/Nm}^3$, plynné sloučeniny rtuti = 1 mg/Nm^3 .
- manipulace se spečencem: prach = 50 mg/Nm^3 .