

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



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Energetika

Koksovny

Ing. Vladimír Toman



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Vymezení koksování

- Podle NACE-CZ: 19.1
- Podle zákona 76/2002 Sb., a směrnice 2010/75/EU: 1.3 - koksování

Začlenění koksování v rámci

- celkového hospodářství státu: vyrábí se především pro hutnictví, na volný trh jen přebytky výrob. Samostatné podniky.
- odvětví hutnictví železa – část integrovaného hutního podniku.

Koksovny bývají:

- Samostatné – v ČR podnik Ostravsko-karvinské koksovny, a.s.
- Součástí integrovaných hutních podniků – v ČR v rámci
 - ArcelorMittal Ostrava a.s.
 - Třinecké železářny, a.s.
 - v zahraničí – uvedeno na mapce v úvodní části tématu Metalurgie železných kovů – Aglomerace. Nejbližší v Košicích, na Katovicku, v Linci.

Objem výrob: v ČR se vyrobí ročně průměrně 2,6 – 2,8 milionu tun koksu, z toho v hutních podnicích 1,8 – 2,0 mil. tun a mimo hutnictví železa 0,8 mil. tun.

Základní literatura k problematice koksoven

- BREF pro výrobu železa a oceli, 2012-03, kap. 5
- Rozhodnutí 2012/135/EU, tzv. Závěry o BAT pro výrobu železa a oceli, kap. 1.4
- znění předpisů uvedeno na <http://www.ippc.cz>

V BREF i Závěrech o BAT jsou uváděny emisní limity pro emise látek nejen do ovzduší. Při hodnocení investičních možností pro dosažení limitů uvedených v BAT 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, a že ne všechny BAT jsou vhodné k použití v konkrétním podniku - je nutné provést výběr vhodných použitelných BAT.

BREF = referenční dokument o nejlepších dostupných technikách



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Typický pohled na koksovou baterii jako celek



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



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Pohled na koksovnu jako celek

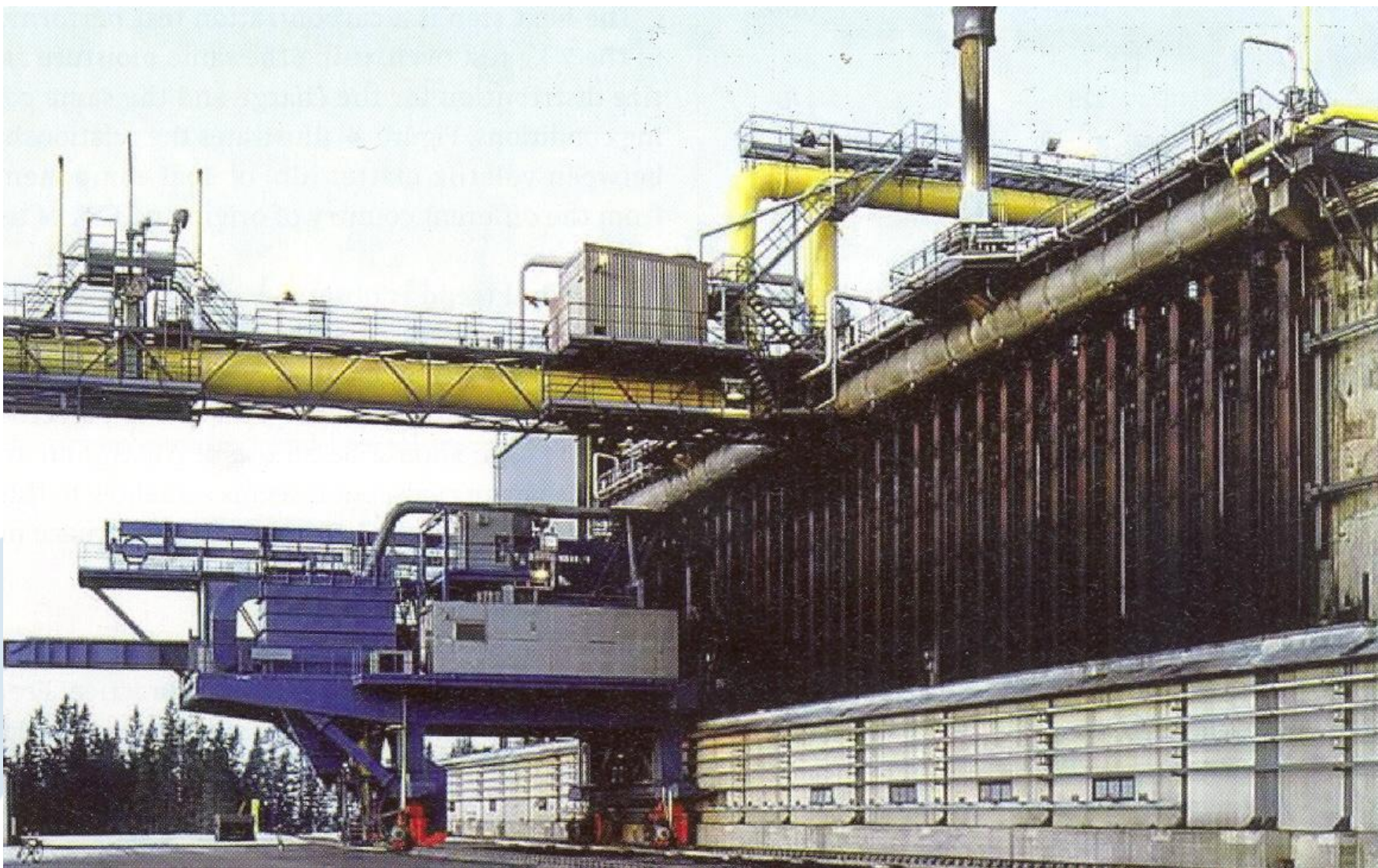


Source: [312, Dr. Michael Degner et al. 2008]

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

Základní části výrobního zařízení koksovny

- Uhelné hospodářství – příjem, homogenizace a úprava uhlí pro koksování včetně jeho mletí v mlýnici
- Koksovací komory (v počtu 30 – 72 tvoří koksovací baterii)
- Chlazení, třídění, skladování a expedice koksu
- Úprava koksárenského plynu (koksochemie)
 - kondenzace (chlazení KP)
 - výroba čpavku (z KP)
 - benzolka
 - fenolka
 - dehtové hospodářství
 - odsíření
- Biologická čistírna odpadních vod



Pohled na uhelnou stranu koksové baterie



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz



Pohled do koksovací komory



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Vstupy

suroviny:

- speciální druh černého uhlí, tzv. uhlí vhodné pro koksování (UVPK)
- petrolejový koks

energie

- koksárenský plyn (z vlastního technologického procesu)
- vysokopecní plyn, zemní plyn
- elektřina

Výrobky

koks vysokopecní, koks slévárenský, ořech

výrobky koksochemie (z koksárenského plynu):

- tekutá síra,
- černouhelný dehet,
- síran amonný,
- lehké oleje,
- benzen.

Emise z koksovacího procesu

Pevné odpady:

- prach
- odpadní vyzdívky

Odpadní voda:

- kondenzáty
- vypírací voda
- voda z přímého chlazení
- hasící voda
- může obsahovat: celkový dusík, NH_4 , fenoly, kyanidy, BTX, PAH

Výstupní plyn

- koksárenský plyn - obsahuje prach (TZL), organický uhlík, VOC, H_2S , SO_2 , NH_3 , CO, Hg, PAH, BTX

Zdroje surovin a energií

- Koksovatelné uhlí – zdroje z ČR, částečně dovoz především z Polska
- Elektrická energie – pokud není součástí integrovaného hutního podniku, je nakupována
- Plyn pro ohřev koksovacích komor: část z vyrobeného a vyčištěného koksárenského plynu, také vysokopecní plyn,



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Princip koksování

- **Pyrolýza uhlí** = zahřívání uhlí v neoxidační atmosféře za tvorby plynů, kapalin a pevných zbytků (dřevěné uhlí při pyrolýze dřeva, nebo koks).
- Pyrolýza uhlí při vysoké teplotě se nazývá **karbonizace**. Při tomto procesu je teplota spalných plynů běžně 1150 až 1350 °C (při nepřímém zahřívání uhlí až 1000-1100° C). Proces probíhá po dobu 14 až 24 hod. Tímto pochodem vzniká vysokopecní a slévárenský koks. Koks je prvořadým redukčním činidlem ve vysokých pecích a nemůže být úplně nahrazen jinými palivy jako např. uhlím. Koks funguje jednak jako nosný materiál, jednak jako výplňový materiál, kterým plyn cirkuluje ve sloupci vsázky.
- Na koks se mohou konvertovat pouze některé druhy uhlí, příkladně koksovatelné nebo bituminosní, s vlastnostmi správného slinování a pokud jde o rudy, některé druhy se mohou přimísit, aby se zlepšila produktivita vysokopecního procesu a prodloužila doba životnosti koksové baterie atd.
- Současné soustavy mohou obsahovat až 60 komor o rozměrech 14 m délky a 6 m výšky. S ohledem na přenos tepla činí šířka komory 0,3 - 0,6 m. Každá pec v baterii obsáhne až 30 t uhlí, dnešní pece o rozměrech 18 m na délku, výšce 7,6 m a šířce 0,6 m pojmu cca 65 tun uhlí.

Průběh koksování

- Proces karbonizace začíná bezprostředně po zavážce uhlím. Odchází plyn a vlhkost, která je okolo 8-11 % vsazeného uhlí. Tento surový koksárenský plyn se vyfukuje stoupačkami do hlavního sběrného vedení. Vysoká výhřevnost tohoto plynu znamená, že se může po vyčištění použít jako palivo (např. pro ohřev baterie).
- Uhlí se zahřívá vlivem vyhřívacího / spalovacího systému a zůstává v koksovací peci dokud střed uhelné vsázky nedosáhne teploty 1000 – 1100 °C. Koksovací proces je ukončen v závislosti na šířce pece a podmínkách vyhřívání po 14 - 24 hodinách.
- Surový koksárenský plyn má poměrně vysokou výhřevnost následkem přítomnosti vodíku, metanu, oxidu uhelnatého a uhlovodíků. Mimo to surový koksárenský plyn obsahuje cenné produkty, jako je dehet, lehký olej (obsahující hlavně BTX, tj. benzen, toluen a xyleny), síru a čpavek. Složení koksárenského plynu závisí na době koksování a složení uhlí.

Koksárenský plyn se musí, předtím než se použije jako palivo, **upravovat** z několika důvodů :

- Sloučeniny síry a čpavek způsobují korozi potrubí a vybavení a sloučeniny síry jsou příčinou emisí SO₂, pokud se koksárenský plyn použije jako palivo. Na každou tunu vyrobeného koksu připadá cca 3 kg NH₃ a 2,5 kg sirovodíku. V některých případech se lehký olej a zejména BTX (benzen, toluen, xyleny) získávají ze surového koksárenského plynu jako cenný vedlejší produkt.
- Může se získat až 15 kg lehkého oleje na tunu vyrobeného koksu. Tento olej obsahuje benzen, toluen, xyleny, nearomáty, aromatické homology, fenol, báze pyridinu a další organické sloučeniny jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH).

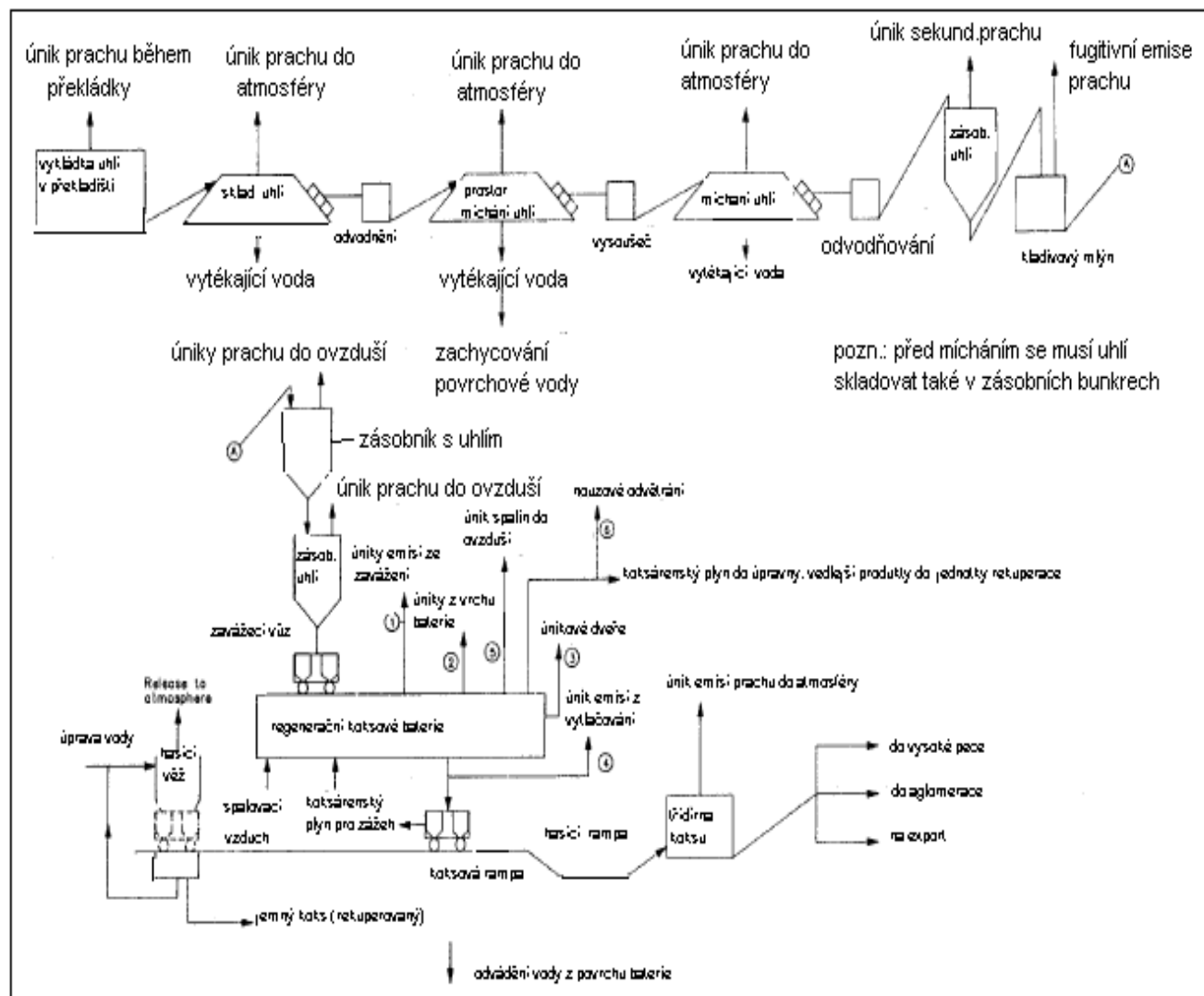
Navazující technologické činnosti:

- Koks je dodáván především do metalurgických zařízení
- Koksárenský plyn s výhřevností na úrovni zemního plynu je po vyčištění částečně využíván přímo v procesu koksování pro otop koksových komor, dále používán jako topný plyn v dalších stupních metalurgické výroby (většinou používán ve formě tzv. směsného plynu – směsi koksárenského a vysokopecního plynu).

Základními emisemi do ovzduší z koksoven jsou:

- tuhé znečišťující látky
- organický C
- VOC
- H_2S
- SO_2
- NH_3
- B(a)P.

Schéma koksovny se znázorněním emisních zdrojů



Zdroj: BREF pro výrobu železa a oceli, Sevilla 201203

Emise z manipulace s uhlím

- vyklápění uhlí: uhlí se vyklopí z vlaků na přepravní systém nebo na složiště. Používají se obvykle velké jeřáby s drapáky. Vítr může způsobit emise uhelného prachu.
- skládka uhlí: koksovny jsou běžně spojeny s velkou plochou uhelných skládek. Vítr může způsobit emise uhelného prachu. Pozornost je třeba věnovat náležité úpravě (sedimentaci) odtékající vody
- přeprava uhlí: musí se počítat s přepravou uhlí dopravníky, možnými přepravními uzly mimo budovy a přepravu po silnicích
- příprava uhlí: přípravou uhlí se rozumí promíchávání ve vrstvách, mísení v zásobnících a drcení, což může vést k emisím prachu.
- během mísícího procesu se mohou přidávat také látky k recyklaci, jako dehet, což patrně povede k emisí těkavých sloučenin
- zavážení uhelné věže: může docházet k emisím uhelného prachu
- obsazování zavážecích vozů: mohou se tvořit emise uhelného prachu

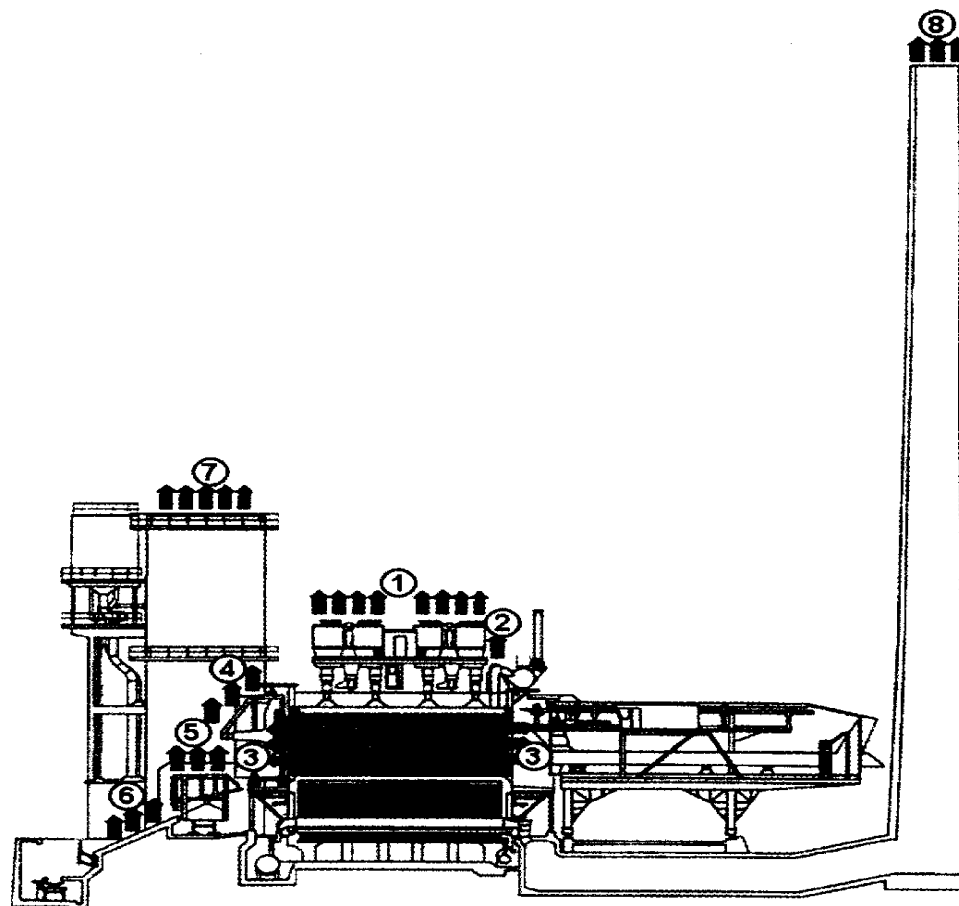
Emise z procesů v koksovacích komorách baterie

Operace v komorách koksové baterie zahrnují :

- zavážení uhlí
- ohřívání (zapálení komor)
- koksování
- vytlačování koksu
- hašení koksu

Tyto operace jsou dominantními místy úniku emisí z koksoven.

Schéma koksové baterie se znázorněním hlavních emisních zdrojů /UK-HMIP, 1996/



- 1 zavážení pecí;
- 2 stoupačky;
- 3 dveře koksovací pece a vyrovnávač dveří;
- 4 vytlačování koksu;

- 5 hasící vůz;
- 6 koksová rampa, přeprava koksu, třídění koksu
- 7 hašení koksu

- Koksovny mají relativně vysoký počet emisních zdrojů.
- Většina z nich značně kolísá podle doby koksování, např. poloplynulý únik emisí ze dveří, vík zavážecích otvorů, stoupaček a přerušovaný tok emisí, které se vážou na úkony vytlačování a hašení. Kromě toho je tyto emise obtížné kvantifikovat.
- Při porovnání emisních faktorů mezi závody je třeba vzít rovněž v úvahu specifické parametry dotyčných závodů. Například specifické emise ze dveří vykazují extrémně široké rozpětí, které závisí na typu dveří, velikosti pecí a kvalitě údržby. Údržba může být rozhodujícím faktorem.
- Tak se mohou spolehlivě nalézt příklady dobrých výsledků u tradičních (břítových dveří), u velmi udržovaných malých pecí a špatné výsledky u moderních dveří s pružným těsněním a špatně udržovaných velkých pecí.

Možnosti omezení emisí technickými opatřeními v souladu se Závěry o BAT (rozhodnutí 135/2012/EU)

Uhelné hospodářství

- skladování práškového materiálu v zásobnících a skladech
- použití uzavřených nebo zakrytých dopravníků
- snížení výsypné výšky na minimum (v závislosti na velikosti a konstrukci zařízení)
- snížení emisí uvolňujících se při plnění uhelné věže a ze zavážecího vozidla
- použití účinného odsávání a následného odprášení

Vlastní koksovací baterie

- **Hladký a bezporuchový provoz koksovny**
 - Tam, kde nastávají poruchy v provozu koksovny, dochází k prudkému kolísání teplot a zvýšené možnosti blokace koksu během vytlačování. To má nepříznivý účinek na vyzdívku a na vlastní koksovací pec a může vést ke zvýšeným průsakům a zvýšené možnosti abnormálních podmínek provozu.

- **Údržba koksovacích pecí**

- Správnou údržbou lze zabránit prasklinám v žáruvzdorné vyzdívce a minimalizaci úniků a následně emisí koksárenského plynu. Lze dosáhnout, aby se předešlo viditelnému černému dýmu na výstupu spalných plynů z komína při vytápění koksovací pece. Mimoto údržba, seřízení a generální oprava dveří a rámu předcházejí únikům.

- **Zdokonalení izolace dveří a rámu**

- Hodnoty specifických emisí u dveří s pružným těsněním jsou mnohem nižší než u obvyklých dveří. Za předpokladu, že se udržují čisté, umožňuje „nová generace“ aby se viditelné emise pohybovaly pod 5 % u všech pecních dveří v baterii, jak na koksové, tak uhelné straně. Lze však najít příklady dobrých výsledků s obvyklými břitovými dveřmi u dobře udržovaných malých pecí a špatné výsledky u velkých pecí s dveřmi s pružným těsněním, ale špatnou údržbou.
- Nicméně pružné těsnění nabízí mnohem lepší možnosti pro těsnost zejména u velkých pecí.

- **Čištění pecních dveří a těsnění rámu**

- Obvykle používaným způsobem čištění dveří koksovacích pecí je vysokotlaký vodní ostřík, který byl otestován jako velmi úspěšná metoda. Vysokotlaký ostřík při čištění dveří koksovací pece se však nemůže provádět při každém cyklu. Nicméně pokrokové čištěče dveří využívající při každém cyklu oškrabovače mají dobré výsledky rovněž.
- Vysokotlaký systém čištění ostříkem vody umožňuje skutečně eliminovat viditelné emise - lze dosáhnout 95 % snížení doby (po kterou jsou emise viditelné)-

- **Udržování volného průchodu plynu v koksovací peci**

- Koksovací komora se během procesu koksování obvykle udržuje v mírném přetlaku. Podtlak by umožňoval vzduchu pronikat do koksovací komory a koks by se mohl částečně spalovat, což by vedlo k destrukci pece. Tlak u dna pece by se měl vyrovnat tlaku atmosférickému. Pokud jde o předpisy pro pěchování, je v hlavním sběrači udržován přetlak (v mm vodního sloupce) na dvojnásobku hodnoty výšky koksovací pece v metrech. U moderní pece o výšce 7m by byl odpovídající přetlak 14 mm vodního sloupce. U starších koksovacích pecí o výšce 4m by měl být přetlak 8 mm vodního sloupce.

- **Omezování emisí během zapalování koksovacích pecí**
 - Teplo pro koksovací proces poskytuje spalování plynného paliva ve vyhřívacích komorách. Teplo se přenáší do komor koksovacích pecí přes žáruvzdornou stěnu. V komorách pecí vzniká během krátké koksovací doby vyšší teplota. Nejdůležitějšími znečišťujícími látkami z ohřevu koksovací pece jsou NO_x, SO₂ a hmotné částice.
 - Je použitelné u nových závodů
- **Suché hašení koksu**
 - Uhelný koks původně vycházel z baterie přímo, nebo přes kontejner zdviží do chladicí jednotky, kde se koks sypal přes síto do šachty. Jak se sloupec koksu sesedává konstantní rychlostí, emituje jeho značné teplo do protiproudě vháněného inertního plynu. Ochlazený koks (o teplotě 180 až 200 °C) se posouvá ke dnu šachty pomocí žlabů a odvádí vhodným zařízením pryč.
 - Po technické stránce se může suchého hašení koksu principiálně použít u nových i stávajících závodů. Následkem poměrně omezeného využívání suchého hašení koksu, potřebuje mít koksovna také stanici mokrého hašení
 - Nevýhodou suchého hašení koksu jsou emise hmotných částic v místech, kde dochází k manipulaci takto hašeného koksu (Eisenhut, 1988; Schönmuht, 1994).



© Harald Finster

Vytlačování koksu



evropský
sociální
fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz



Integrované zařízení na převážení koksu s krytem



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚŠTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

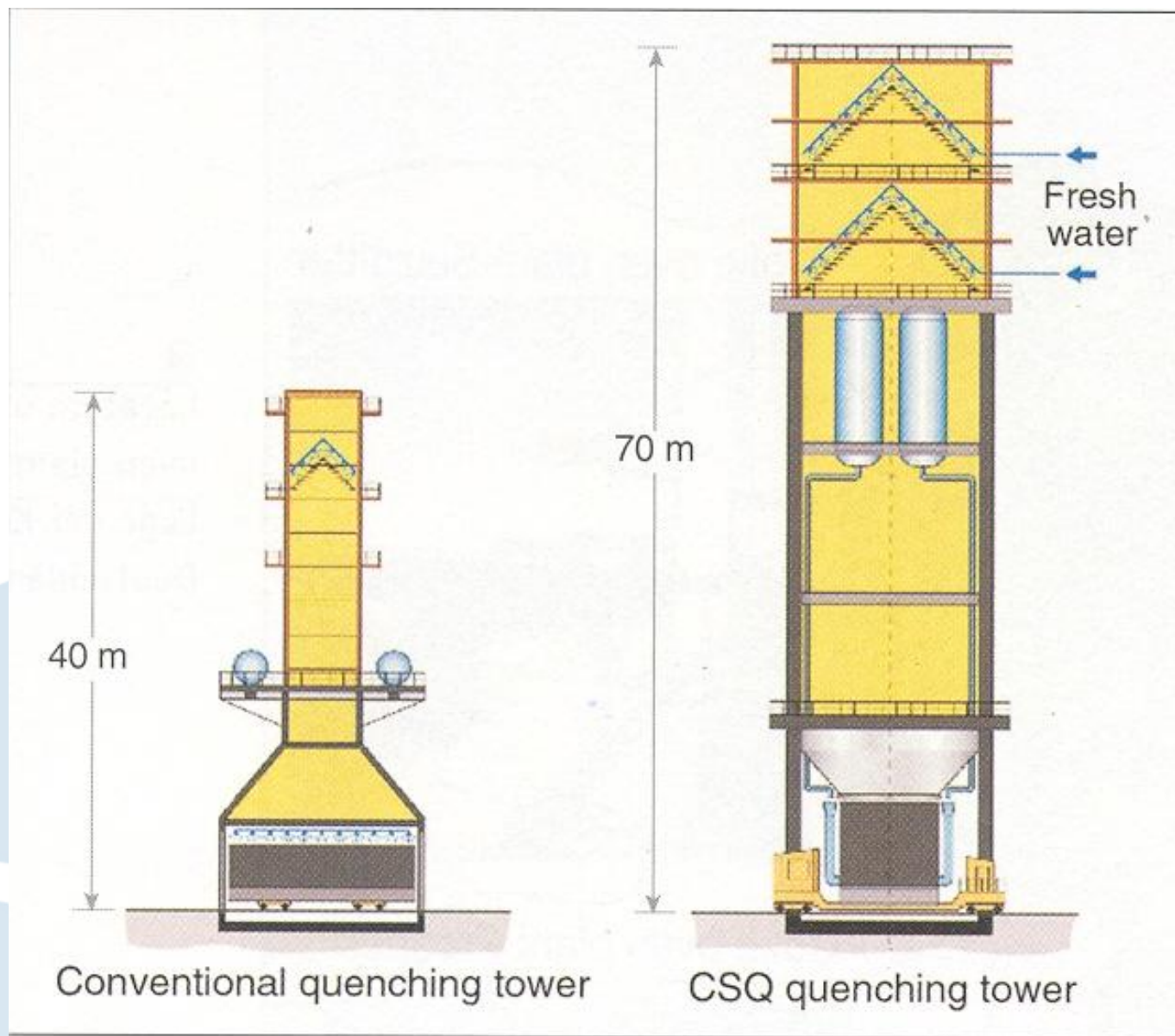
- Těmto emisím se lze vyhnout sprchováním a/nebo transportem v uzavřených přepravnících.
- Vysoká hladina emisí hmotných částic může vznikat zejména tehdy, pokud je nutný transport na dlouhé vzdálenosti (př. do závodů bez koksoven).
- Spotřeba elektrické energie pro chod ventilátorů a různých odprašovacích zařízení atd. není zanedbatelná.

Pro zajištění plynulého chodu zařízení pro suché hašení koksu se používají dvě možnosti.

1. Jednotka pro suché hašení koksu se skládá ze 2 – 4 komor. Jedna jednotka je vždy záložní. Mokrý hašení proto není nutné, ale jednotka pro suché hašení koksu vyžaduje vyšší kapacitu oproti koksárenskému zařízení – to je spojeno s vysokými investičními náklady.
2. Je nutno mít dodatečný systém mokrého hašení.

Mokrý hašení koksu minimalizující emise

Stávající věže mohou být vybaveny zábranami pro snížení emisí. Pro zajištění dostatečných tahových podmínek orientačně výška hasící věže musí být minimálně 30 m.



Typy hasících věží

- **Větší komory koksovacích pecí**

- Hlavní charakteristikou výšky nebo šířky komory koksovacích pecí je velikost objemu pece proti obvyklé peci: u uvedené kapacity se zkracuje délka těsnění dveří a snižuje se frekvence vytlačování. Speciální pozornost se však musí věnovat izolaci, protože je těžší u takových pecí udržet plynotěsnost, zejména na vrcholu a u dna.
- Pokud se provádí údržba náležitě a použije se pružná izolace pružinových dveří, pak za srovnatelných provozních podmínek lze očekávat, že celkové (fugitivní) emise ze dveří a rámového těsnění/ t koksu budou přímo úměrné nižší délce těsnění oproti obvyklým koksovacím pecím. Vysoké pecní dveře vyžadují mnohem intenzivnější údržbu. Lze očekávat snížení celkových emisí při vytlačování, což je dáno menším počtem vytlačovacích pochodů /tunu koksu a emise budou přímo úměrné tomuto počtu.

• Nerekuperační koksování

- U procesu koksování bez rekuperace je v zásadě všečen dehet i s plyny vystupujícími z koksovacího procesu spálen uvnitř pece a ve spodním kouřovém kanálku.
- Proces koksování bez rekuperace vyžaduje odlišný projekt pece proti tradičně používanému. Závod na úpravu koksárenského plynu a úpravna odpadní vody nejsou zapotřebí.
- Primární vzduch pro částečné spalování se zavádí do komory koksovací pece nad vsázkou přes průchody, které jsou umístěny ve dveřích. Toto částečné spalování dodává teplo pro koksování do horní části pece (koruny pece). Množství primárního vzduchu se reguluje, aby se udržela potřebná teplota v koruně pece.
- Částečně spálené plyny vystupují z pecní komory kanálky ve stěně pece a vstupují do spodního kouřového kanálku. Sem se přivádí sekundární vzduch, aby se dokončilo spálení. Teplo ze sekundárního spalování se převede do pecní komory přenosem tepla vedením přes vyzdívku podlahy.
- Odpadní plyny se vedou do hlavního sběrače a dále do kotle na odpadní teplo, předtím než se vypouštějí do ovzduší. Celý systém se provozuje podtlakově .

- **Vytlačování koksu**

- odsávání integrovaným strojem na přepravu koksu s krytem
- pozemní úprava odsátého plynu s využitím tkaninových filtrů nebo jiných systémů na snížení emisí
- využití stacionárního nebo mobilního hasícího vozu na koks.

Možnosti snížení emisí NOx na koksovnách

Zahrnutí postupů s nízkým obsahem oxidů dusíku (NOx) do konstrukce NOVÝCH baterií. Patří sem např. postupné spalování a použití tenčích cihel a žáruvzdorných materiálů s lepší tepelnou vodivostí (použitelné pouze u nových zařízení).

Hodnoty emisních faktorů podle platné legislativy

Hodnoty dle Závěrů o BAT (2012/135/EU)

- systémy zavážení uhlím s úpravou na stacionárním zařízení odsátých plynů – TZL = $< 50 \text{ mg/m}^3$,
- mlýnice uhlí – prach: $< 10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ – nespojitá měření (menší hodnota pro tkaninový filtr, vyšší pro elektrostatický odlučovač)
- manipulace s uhlím, vytlačování koksu, suché hašení koksu, : prach $< 10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ (nižší hodnota pro tkaninový filtr, vyšší pro elektrostatický odlučovač).
- procento viditelných emisí ze všech dveří spojených s BAT pro dosažení nenarušované výroby koksu je $< 5 - 10 \%$,
- zbytkové koncentrace sirovodíku spojené s odsířením koksárenského plynu (průměrné denní hodnoty) činí $< 300 - 1000 \text{ mg/m}^3$ při využití odsíření v absorpčních systémech a $< 10 \text{ mg/m}^3$ v případě mokrého oxidačního odsíření,
- oxidy dusíku jako NO_2 $< 350 - 500 \text{ mg/Nm}^3$ pro zařízení mladší než 10 let a $500 - 650 \text{ mg/Nm}^3$ pro starší zařízení
- koksárenský plyn jako palivo: TZL $< 1 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ a SO_2 $< 200 - 500 \text{ mg/Nm}^3$.

Hodnoty dle vyhlášky 415/2012 Sb.:

- otop koksárenských baterií: TZL = 20 (od 1.1.2016), $\text{SO}_2 = 500 \text{ mg/m}^3$, $\text{NO}_2 = 500 \text{ mg/m}^3$, $\text{O}_2\text{R} = 5\%$, vztažné podmínky = B
- příprava uhelné vsázky: TZL = 50 mg/m^3 , vztažné podmínky = C
- třídění koksu: TZL = 50 mg/m^3 , vztažné podmínky = C
- vytlačování koksu: TZL = 50 mg/m^3 , PAH = 0,2 mg/m^3 , vztažné podmínky = B.
- hašení koksu: Hasící věže musí být vybaveny přepážkami na snižování emisí tuhých znečišťujících látek. U nových hasících věží musí být jejich minimální výška alespoň 30 m.