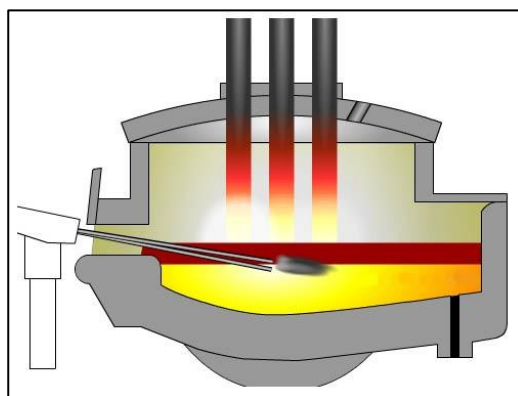


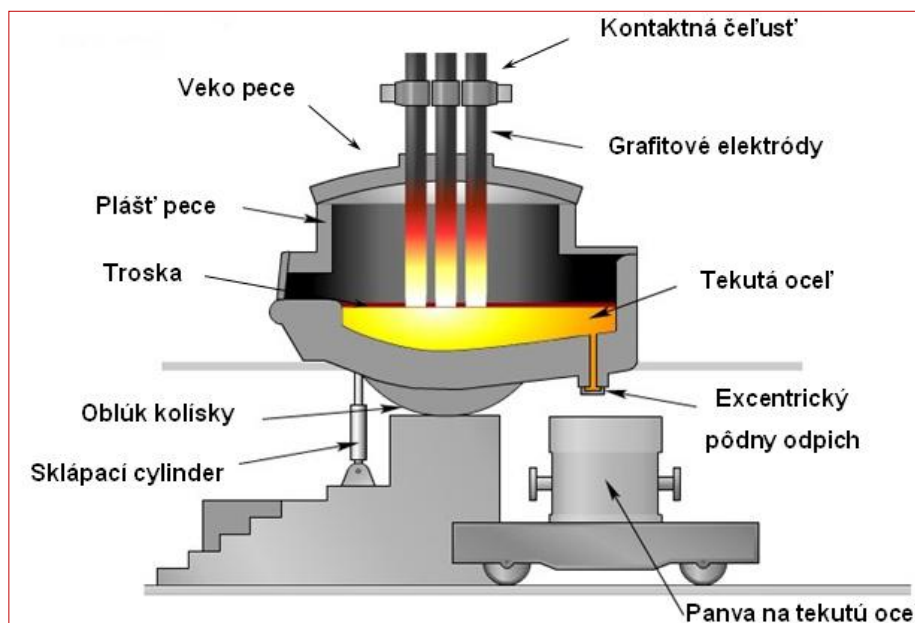
## Výroba ocele v EOP.



Pri výrobe ocele v elektrickej oblúkovej peci (EOP) je kovonosná vsádzka tvorená majoritne z ocelového odpadu a minoritne zo surového železa (resp. DRI, HBI) v tuhom stave. Vsádzkové suroviny so sebou neprinášajú fyzikálne teplo. Z týchto dôvodov je nutné na roztavenie vsádzky dodať teplo z vonku vo forme **elektrickej energie**. Proces výroby ocele v EOP prebieha v jej nísteji, kde zdrojom tepla pre tavenie vsádzky je elektrický oblúk vznikajúci medzi grafitovými elektródami a vsádzkou. Primárne slúži EOP ako taviaci agregát na výrobu surovej ocele pre jej ďalšie spracovanie procesmi sekundárnej metalurgie.

### Konštrukcia EOP:

Najrozšírenejšie sú trojfázové elektrické oblúkové pece s **priamym pôsobením oblúka**. Zjednodušený pohľad na oceliarskú elektrickú oblúkovú pec je uvedený na *obr. 1*. Pec pozostáva z ocelového plášťa, zvnútra opatreného žiaruvzdornou výmurovkou. Taviaci priestor pece je prikrytý odoberateľným vekom pece, ktoré pozostáva z klenby zo žiaruvzdorných tvárnic vymurovaných do klenbového rámu - kruhu veka. Pec má pracovný otvor a ocel sa odpichuje cez odpichový otvor. Pec má tri **elektródy** uchytené držiakom elektród a ramenami elektród. Ako vyplýva z obrázku, pec je sklopná a otočná okolo vertikálnej osi.



*Obr. 1 Zjednodušená schéma konštrukcie elektrickej oblúkovej pece*

### Elektrický režim EOP:

Elektrický obvod elektrickej oblúkovej pece predstavuje dôležitú časť výrobného procesu elektrooceliarne, nakoľko EOP je elektrické zariadenie a zdrojom tepla v tomto zariadení je elektrický oblúk vytváraný grafitovými elektródami. Na elektródy je potrebné priviesť elektrický prúd a to je možné prostredníctvom elektrického obvodu. Elektrický obvod pozostáva z dvoch častí - **silového obvodu** a **pomocného obvodu riadenia a automatizácie** elektrického režimu pece. Základnou časťou elektrických oblúkových pecí je transformátor. Transformátor sa skladá z týchto častí:

1. železné jadro zložené z transformátorových plechov,
2. primárne vinutie (primárna cievka),
3. sekundárne vinutie (sekundárna cievka).

V prevádzkových podmienkach sa najčastejšie nachádzajú trojfázové transformátory. Trojfázový transformátor je znázornený na *obr. 2*.



*Obr. 2 Trojfázový pecný transformátor v prevádzkových podmienkach elektrooceliarne*

### Vstupné materiály na výrobu ocele v EOP:

Príprava vsádzky v podstatnej miere vplýva na priebeh tavby a na kvalitu vyrábanej ocele v elektrickej oblúkovej peci. Hlavný faktor, ktorý vplýva na kvalitu vyrábanej ocele ako aj na ekonomické a technologické parametre jeho výroby je kvalita vstupných materiálov. Medzi základné kovonosné vstupné materiály na výrobu ocele v EOP patria:

#### Výrobný - vlastný šrot.

Vzniká bezprostredne pri výrobe a spracovaní v hutníckom závode. Tvoria ho odstrižky koncov brám a sochorov, konce veľkých trúb, okraje rozvalcovaných plechov a pásov, odrezky, ingoty.

#### Spracovateľský - nový šrot.

Nazývaný aj ako vratný oceľový odpad, pozostáva zo spracovateľského odpadu, ktorý sa získava z ďalších prevádzok podniku. Tvoria ho zbytky materiálov (triesky, odrezky, odstrižky, okuje, piliny).

#### Spotrebiteľský (amortizačný) - starý šrot.

Ide o určitý, presne vymedzený druh oceľového, často i značne znečisteného kovového odpadu, ktorý je v technickej praxi nazývaný ako amortizačný šrot. Zahrňuje vyradené stroje a ich časti, likvidované zariadenia priemyselných závodov a domácností, vyradené dopravné prostriedky, kovové obaly a iné staré kovové výrobky.

## Technológia výroby ocele v EOP:

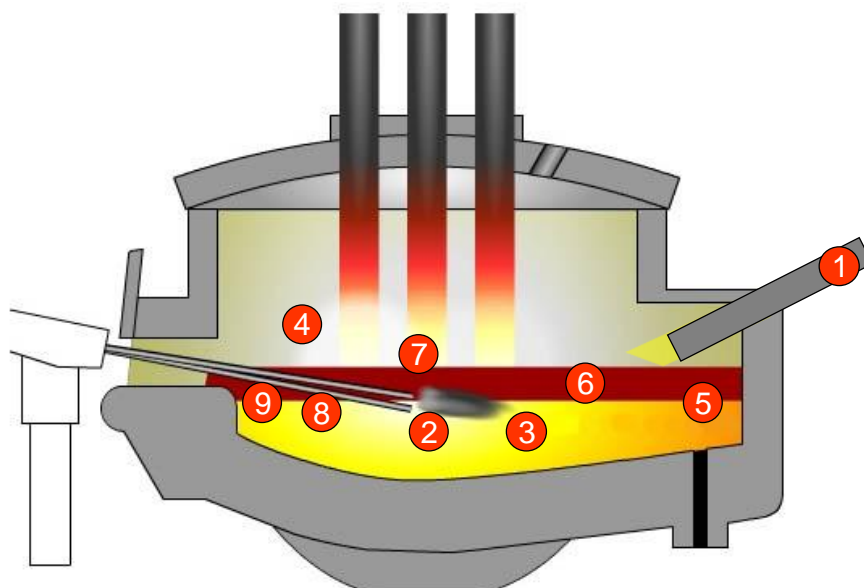
Pochod výroby ocele v elektrickej oblúkovej peci je možné rozdeliť na niekoľko etáp:

1. medzitavbová kontrola (oprava) výmurovky pece a elektrických častí,
2. vsádzanie surovín,
3. obdobie natavovania vsádzky,
4. oxidačné obdobie,
5. redukčné obdobie,
6. dohotovenie tavby a odpich ocele.

Pri vsádzaní surovín je optimálny pomer množstva ťažkého, stredného a ľahkého odpadu 40:45:15 %. Celková doba natavovania vsádzky závisí od kapacity pece, výkonu transformátora, zloženia vyrábanej ocele, elektrického režimu, od rozmerov pracovného priestoru pece, od rozmiestnenia vsádzky v peci a od ďalších činiteľov. Urýchlenie natavovania vsádzky mimo oblasti pôsobenia elektrického oblúka sa v súčasnej dobe dosahuje použitím palivo-kyslíkových horákov alebo kyslíkových trysiek.

## Chemické reakcie v EOP:

V súvislosti s technológiou výroby ocele v EOP prebiehajú rôzne chemické reakcie. V období natavovania vsádzky prebieha reakcia spaľovania zemného plynu v horáku a reakcie oxidácie prvkov v tavenine. V tomto období začína prebiehať aj reakcia odfosforenia. V oxidačnom období prebiehajú naďalej oxidačné reakcie a reakcia oxidácie železa v tavenine. V prvej časti oxidačného obdobia sa ukončuje aj reakcia odfosforenia. Na konci oxidačného obdobia intenzívne prebieha reakcia dospaľovania oxidu uhoľnatého, vznikajúceho ako produkt reakcie oduhličenia taveniny. V redukčnom období prebieha reakcia vzniku karbidickej trosky. Súčasne prebieha aj reakcia dezoxidácie a odsírenia kovu, *obr. 3*. Všetky tieto reakcie sú potrebné na zabezpečenie výroby kvalitnej elektroocle s nízkym obsahom sprievodných a škodlivých prvkov.



*Obr. 3 Lokalizácia chemických reakcií v priebehu výroby ocele v EOP*

Popis chemických reakcií pri výrobe ocele v EOP je uvedený v *tab. 1*.

*Tab. 1 Popis chemických reakcií pri výrobe ocele v EOP*

Číslo reakcie	Názov chemickej reakcie	Chemická reakcia	Etapa
1.	Reakcia spaľovania zemného plynu v horáku	$\text{CH}_4 \text{ (g)} + 2 \text{ O}_2 \text{ (g)} = \text{CO}_2 \text{ (g)} + 2 \text{ H}_2\text{O} \text{ (g)}$	tavenie
2.	Reakcie oxidácie v tavenine	$\text{C} + 1/2 \text{ O}_2 \text{ (g)} = \text{CO} \text{ (g)}$ $\text{Si} + \text{O}_2 \text{ (g)} = \text{SiO}_2$ $\text{Mn} + 1/2 \text{ O}_2 \text{ (g)} = \text{MnO}$	oxidačná
3.	Reakcia oxidácie železa v tavenine	$\text{Fe} + 1/2 \text{ O}_2 \text{ (g)} = \text{FeO}$	oxidačná
4.	Reakcia dospaľovania	$\text{CO} \text{ (g)} + 1/2 \text{ O}_2 \text{ (g)} = \text{CO}_2 \text{ (g)}$	oxidačná
5.	Reakcia odfosforenia	$5 \text{ (FeO)} + 2 \text{ [P]} + 2 \text{ (CaO)} = \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 + 5 \text{ [Fe]}$	tavenie, oxidačná
6.	Reakcia na rozhraní kov - troska	$[\text{C}] + \text{ (FeO)} = [\text{Fe}] + \text{CO} \text{ (g)}$	redukčná
7.	Reakcia vzniku karbidickej trosky	$\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO} \text{ (g)}$	redukčná
8.	Reakcia dezoxidácie kovu	$3 \text{ (FeO)} + \text{ (CaC}_2) = 3 \text{ [Fe]} + \text{ (CaO)} + 2 \text{ \{CO\}}$	redukčná
9.	Reakcia odsírenia kovu	$\text{FeS} + \text{CaO} = \text{CaS} + \text{FeO}$	redukčná

## Materiálová bilancia výroby ocele v EOP:

V *tab. 2* je uvedený prehľad vstupov a výstupov pri výrobe ocele v elektrickej oblúkovej peci, v ktorom je špecifikovaná materiálová bilancia výroby konštrukčnej ocele.

*Tab. 2 Materiálová bilancia výroby konštrukčnej ocele v EOP*

Vstupy			Výstupy		
<b>SUROVINY</b>			<b>PRODUKTY</b>		
oceľový šrot	kg/t	900 - 1050	tekutá oceľ	kg	1000
surové železo	kg/t	100 - 150	<b>Chemické zloženie</b>		
DRI	kg/t	50 - 100	C	%	0,13
vápno	kg/t	30 - 80	Si	%	0,5
antracit	kg/t	13 - 15	Mn	%	1,5
grafitové elektródy	kg/t	1 - 4	Cr	%	0,1
výmurovka	kg/t	2 - 25	P	%	0,025
			S	%	0,1
<b>ENERGIE</b>			Ni	%	0,15
celková energia	MJ/t	2300 - 2700	V	%	0,01
spotreba elektrickej energie	kWh/t	350 - 500	Fe	%	bal.
kyslík	m <sup>3</sup> /t	24 - 47			
			<b>Vedľajšie produkty</b>		
			troska	kg/t	100 - 150
			prach	kg/t	10 - 20
			žiaruvzdorné tehly	kg/t	2 - 8

## Intenzifikácia a optimalizácia výroby ocele v EOP:

V procese výroby ocele v EOP patrí intenzifikácia a optimalizácia k dôležitým nástrojom, ktoré vedú k rastu produktivity, poklesu mernej energetickej spotreby a zvyšovaniu kvality vyrábaného kovu. Proces výroby ocele v elektrickej oblúkovej peci sa neustále zdokonaľuje k čomu prispievajú aj intenzifikačné faktory.

Medzi najvýznamnejšie intenzifikačné opatrenia výroby ocele v súčasnosti patria:

a) proces s veľmi vysokým výkonom (**UHP**) - snaha znižovať dobu od odpichu k odpichu viedla k inštalácii oveľa výkonnejších pecných transformátorov (v súčasnosti na úrovni cca 100 MVA),

b) vodou chladené steny a klenba - v priebehu posledných dvoch desaťročí sa pecné steny a klenby obkladajú vodou chladenými panelmi, ktoré poskytujú ochranu žiaruvzdornému materiálu pri používaní vysokovýkonnej pecnej technológie a tiež znovu využití odpadového tepla pri aplikácii opatrení pre rekuperáciu energie,

c) kyslíkovo **palivové horáky** a fúkanie kyslíka tryskami - kyslíkové horáky podporujú rovnomerné tavenie šrotu. Tiež čiastočne nahrádzujú vplyv regulácie maximálnej potreby dodávanej elektriny. Obvykle prídavné vstupy energie s horákmi spaľujúcimi kyslík a fúkanie kyslíka má za následok pokles celkovej potrebnej vstupnej energie,

d) systém **napenenej trosky** - tvorba napenenej trosky vo vnútri pece zlepšuje prenos tepla do vsádzky a chráni tiež žiaruvzdorný materiál vo vnútri pece. Z dôvodu zlepšenia stability oblúku a zmenšenia účinkov žiarenia, prax s napenenou troskou vedie k obmedzeniu energetickej spotreby, spotreby elektród, zníženiu hladiny hluku a k rastu produktivity. Pôsobí tiež kladne na niektoré metalurgické reakcie (napr. medzi troskou a taveninou). Na napenenie sa využíva mleté antracitové uhlie, ktoré je fúkané do pece pod tlakom,

e) **excentricky** uložený **pôdny odpichový systém** - spodný odpich sa dnes široko praktizuje, pretože umožňuje minimalizovať množstvo oxidačnej trosky (prenosom) do panvy v priebehu odpichu. Znížením potrebného žiaruvzdorného materiálu pri rýchlejšom odpichu a pri obmedzených energetických stratách to tiež umožňuje úsporu nákladov,

f) **DPP systém** premiešania ocele - systém automaticky ovláda zvolený prietok a druh média (napríklad argónu alebo dusíka) podľa zvoleného programu. Systém pracuje na princípe snímania polohy pece pri dôležitých technologických fázach a má za úlohu hlavne teplotne a chemicky zhomogenizovať kúpeľ,

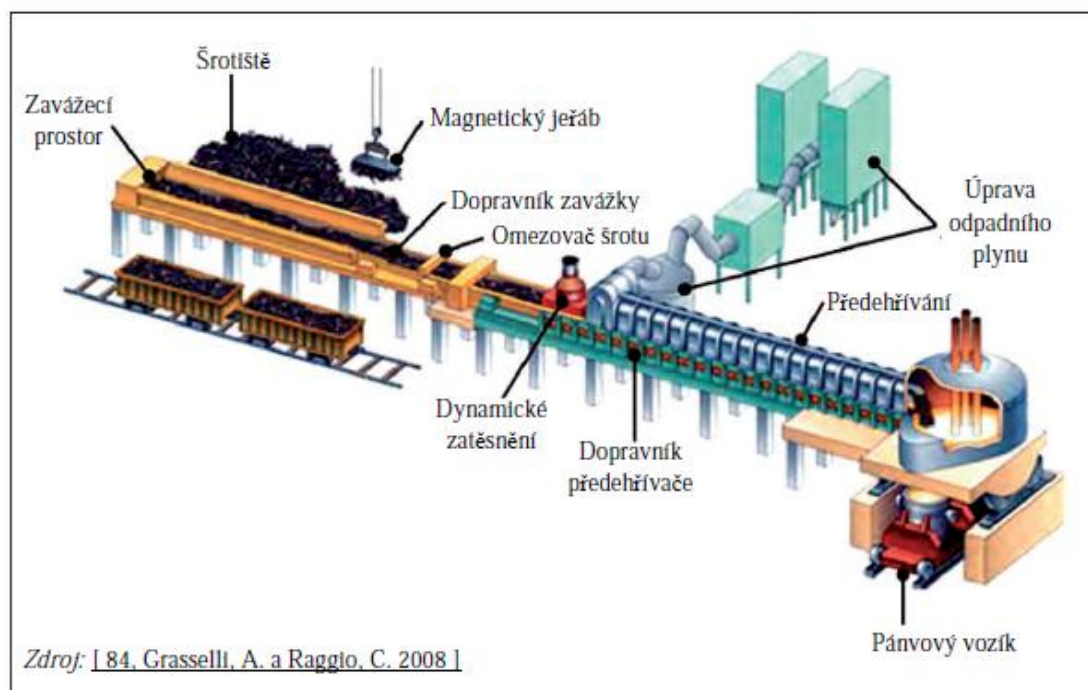
g) **automatizácia** riadiaceho systému regulácie elektród, intenzifikácie horákov a dávkovania antracitu - v zariadeniach EOP sa stáva v súčasnosti počítačové riadenie celkom nenahraditeľným, pretože vysoké výkonnosti vyžadujú systémy efektívnej regulácie, aby ovládali materiálové a informačné toky, ku ktorým dochádza v oddelení surovín, EOP, panvových peciach a zariadeniach plynulého odlievania. Efektívny systém regulácie umožňuje rast produktivity a obmedzenie spotreby energie a tiež znižuje emisie prachu.



## Súčasné nové technológie vo výrobe ocele v EOP.

### 1. Predohrievanie šrotu:

Šrot je možné predohrievať na približne 800 – 1000 °C v prípade diskontinuálnych systémoch a na 300 – 400 °C v prípade kontinuálnych systémov ešte pred procesom tavenia v EOP, čo v súhrne redukuje celkovú spotrebu energie až o 100 kWh/t ocele. Tento predohrev sa uskutočňuje buď v sádzacích košoch, alebo v zavážacej šachte, pridávaných k EOP, alebo na špeciálne navrhnutom systéme prepravy šrotu, ktorý umožňuje plynulé zavážanie v priebehu procesu tavenia. Šachtová technológia sa postupne vyvíjala v niekoľkých krokoch. Všetky emisie, ktoré pochádzajú zo systému predohrievania šrotu je možné spaľovať v samostatne nadväzujúcej spaľovacej komore. Ďalším súčasným systémom na predohrev je technológia CONSTEEL, *obr. 4*.



Obr. 4 Schéma procesu CONSTEEL



## 2. Redukcia PCDD/F pomocou následného spaľovania a hasenia v kombinácii s tkaninovým filtrom:

Následné spaľovanie v spaľovacej komore sa primárne zameriava na úplné spálenie CO a H<sub>2</sub>, ktoré zostali v spalínach, aby sa predišlo neriadeným reakciám v zariadení pre čistenie plynu. Ak je toto následné spaľovanie vhodne optimalizované, redukujú sa emisie organických a organochlórových zlúčenín, ako napr. PAH, PCB, alebo PCDD/F. Aby sa predišlo vzniku väčšieho množstva PCDD/F, je dôležité uskutočniť rýchle ochladenie plynu - čo najskôr po následnom spaľovaní na teplotu pod 250°C, pri ktorom je riziko vzniku PCDD/F vylúčené. Pri riadnom dodržaní uvedenej techniky je možné emisné koncentrácie PCDD/F znížiť na menej ako 0,1ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>.

Ďalšie emisné zaťaženie životného prostredia je možné dosiahnuť pomocou nasledujúcich techník:

- redukcia emisií prachu zo spracovania trosky,
- redukčné techniky pre primárne a sekundárne emisie do ovzdušia z EOP,
- spracovanie prachu z EAS pre recykláciu ťažkých kovov,
- spracovanie trosky z EOP,
- úprava trosky z výroby vysokolegovanej a korozivzdornej ocele v EOP.

Na nasledujúcej stránke je kompletný súbor pre najlepšie techniky využívané v metalurgických technológiach výroby železa a ocele.

<http://www.ippc.cz/dokumenty/DF0475/preklad/bref-zelezo-final-v2>