

TECHNOLOGIE BUDOUCNOSTI V OCELÁŘSKÉM PRŮMYSLU¹

Informace pro projektové partnery ESSA

V rámci WP2 (pracovní skupina 2) probíhá práce na identifikaci technologií v ocelářském průmyslu, které budou použity v budoucnosti. Identifikace těchto technologií umožní WP3 identifikovat možné nové profese v metalurgii na jedné straně a na straně druhé změnit požadavky a kvalifikace stávajících profesí. To zase umožní WP4 vyvinout případné změny a vylepšení systémů VET (odborného vzdělávání) a později vyvinout BLUEPRINT (návrh) pro toto odvětví.

V současné fázi implementace projektu ESSA, identifikovala WP2 řadu technologií typických pro průmysl 4.0, které budou určitě použity také v ocelářském průmyslu. Tyto technologie zahrnují:

- Novou generaci senzorů,
- Big Data, strojové učení,
- Umělou inteligenci (AI),
- Internet věcí (IoT),
- Internet služeb,
- Mechatroniku a pokrokovou robotiku,
- Cloud Computing,
- Kybernetickou bezpečnost,
- Výrobu aditiv,
- Digitální dvojčata,
- Prediktivní údržbu.

Tyto technologie budou široce využívány v ekonomice, a to nejen ve zpracovatelském průmyslu, kterým je ocelářský průmysl.

Každé odvětví ekonomiky pracuje na svém vlastním vývoji a technologiích, které ho umožní. Totéž se děje v ocelářském průmyslu. Ochrana životního prostředí je hlavní hnací silou vývoje v tomto odvětví po celá léta. To platí pro všechny fáze metalurgické výroby, počínaje výrobou oceli, přes procesy tváření plastů, tepelné zpracování až po expedici hotových výrobků.

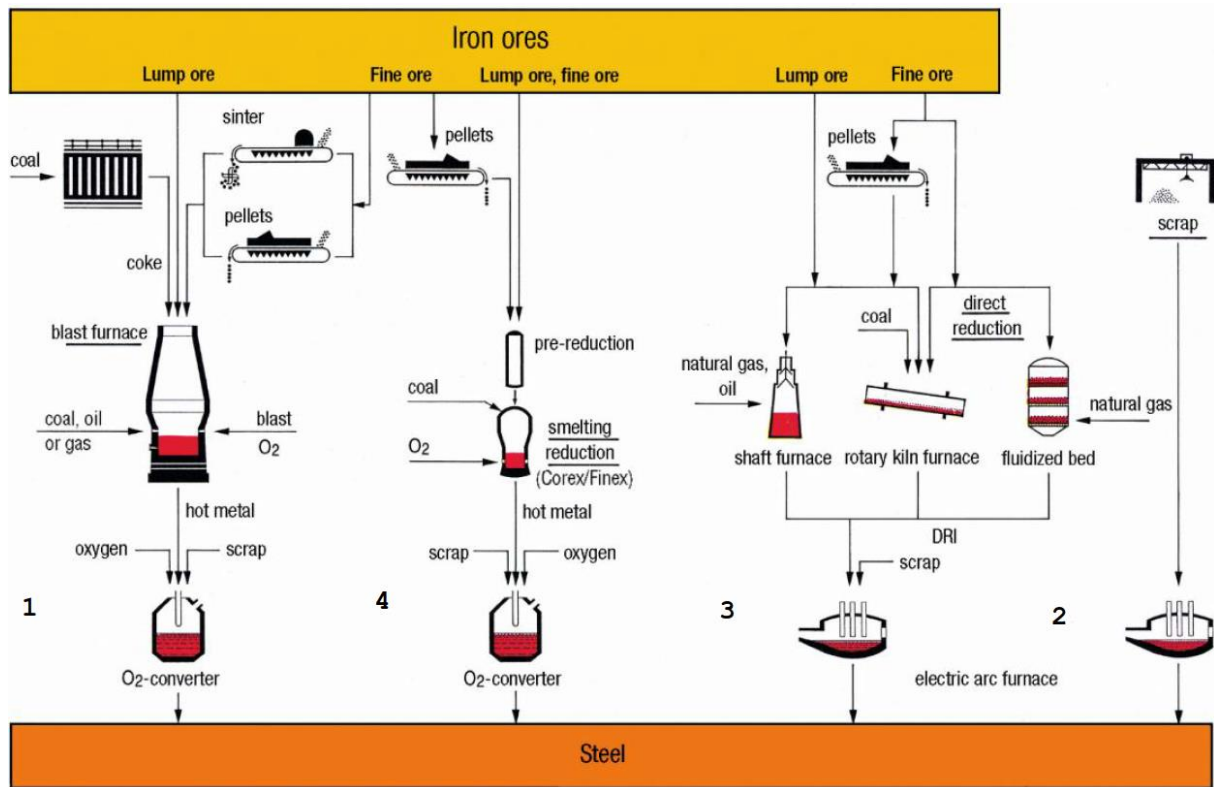
Vzhledem k tomu, že největší ekologické hrozby, např. emise skleníkových plynů, vznikají na začátku výrobního řetězce hutnictví, tj. procesů souvisejících s výrobou oceli jak ze železné rudy, tak ze šrotu, tato fáze výroby je největší výzvou pro lidi, kteří se zabývají technologickými změnami. V tomto ohledu lze v následujících letech očekávat zavádění průlomových technologií výroby oceli – technologie bez emisí oxidu uhličitého nebo s výrazně sníženými emisemi CO₂.

Pro výrobu oceli existují čtyři hlavní technologické cesty - obr. 1.

1. BF / BOF (60 % - EU 28 (2016)).

¹ Většina informací obsažených v tomto dokumentu pochází z projektu RFCS „Nízko uhlíkatá budoucnost/Low Carbon Future“ - závěrečný webinář 24/03/2020.

2. Šrot / EAF (40 % - EU 28 (2016)).
3. Přímá redukce (na bázi plynu) / EAF.
4. Redukce tavení (na bázi uhlí) / BOF.



Zdroj: Project Low Carbon Future

Obrázek 1. Čtyři současné cesty výroby oceli

Hlsarna je pravděpodobně nejstarším projektem v Evropě na snížení využití uhlí při výrobě oceli ze železné rudy. První významné oživení přišlo v roce 1986, když Hoogovens hledal způsob výroby oceli, aniž by musel vyrábět aglomeráty železné rudy, jako jsou pelety a spečence.

Proces výroby železa **Hlsarna** je přímý redukovaný proces výroby železa, při kterém se železná ruda téměř přímo zpracovává na tekuté železo nebo horký kov. Tento proces kombinuje dvě procesní jednotky, Cyclone Converter Furnace (CCF) pro tavení a před-redukci rudy a redukční nádobu na tavení (SRV), kde probíhá konečná redukční fáze na tekuté železo. Tento postup nevyžaduje výrobu aglomerátů železné rudy, jako jsou pelety a spečence, ani výrobu koksu, které jsou nezbytné pro proces vysoké pece. Bez těchto kroků je proces Hlsarna energeticky účinnější a má nižší uhlíkovou stopu než tradiční procesy výroby železa. V roce 2010 byl v Tata Steel IJmuiden postaven pilotní závod Hlsarna. Pilotní závod má kapacitu produkovat 65 000 tun surového železa ročně. V roce 2018 společnost Tata Steel oznámila, že prokázala, že pomocí technologie Hlsarna je možné snížit emise CO₂ o více než 50%, aniž by byla zapotřebí technologie zachycování uhlíku.

Projekt výroby oceli s nízkým obsahem CO₂ (ULCOS) byl zahájen v září 2004 s cílem snížit emise CO₂ o více než 50%. V rámci projektu byly analyzovány různé přístupy ke snižování emisí CO₂, vývoj předpokladů pro několik technologických řešení založených na využití uhlí a biomasy pomocí řešení zachycování a skladování uhlíku (CCS) - ULCOS Blast Furnace (BF) a Hlsarna (tato

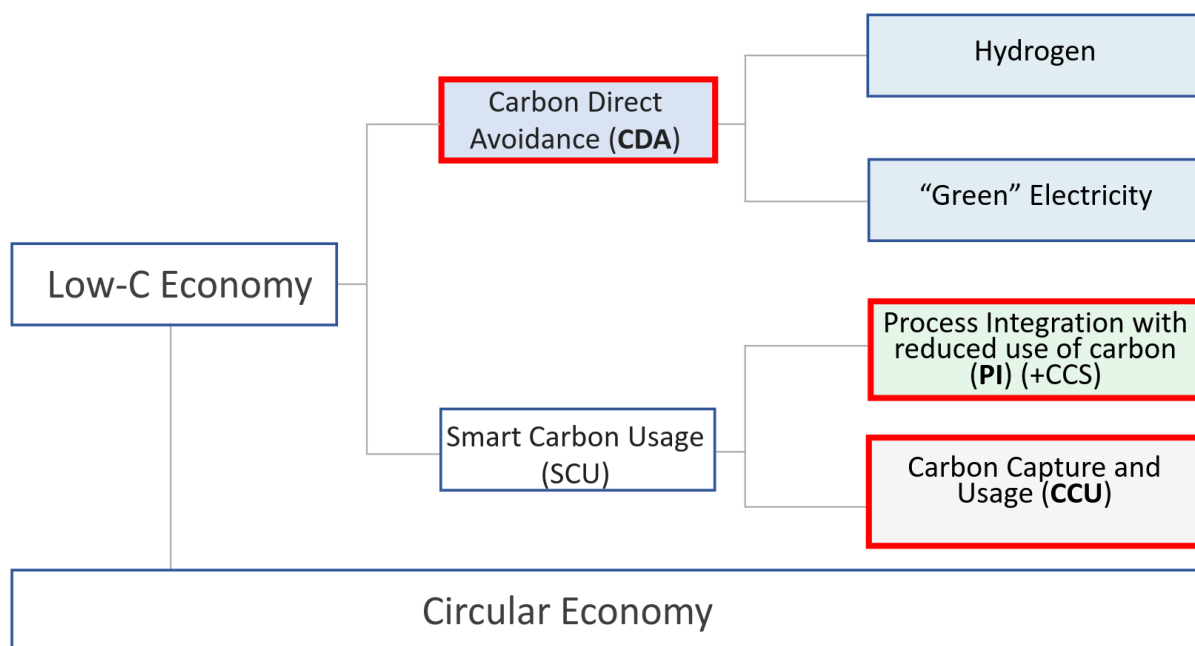
technologie byla dokončena v rámci projektu UCOS); pomocí zemního plynu (ULCORED) a elektřiny (ULCOWIN).

Jedním z úspěchů projektu ULCOS byl vývoj Koncepce vysokopecní recyklace plynu (TGR BF) s odstraňováním CO₂ z topného plynu, opětovným ohřevem CO / H₂ a jeho opětovným vstřikováním, při použití čistého kyslíku a ukládání CO₂.

Seznam koncepcí snižování emisí CO₂ ve výrobě oceli je velmi dlouhý. Dělo se tak nejen v Evropě, ale i ve světě. Výše jsou uvedeny dva, zřejmě nejdůležitější dosud realizované projekty v Evropě.

Evropská komise a Evropská unie se neustále snaží trvale snižovat emise CO₂ ve všech hospodářských činnostech, samozřejmě i v ocelářském průmyslu. Proto se neustále objevují nové koncepty, které snižují emise CO₂ nebo se jim vyhýbají.

V posledních třech letech (1. dubna 2018–31. března 2020) byl realizován projekt Low Carbon Future/Nízko uhlíková budoucnost (Projekt doprovodných opatření RFCS). V rámci projektu byly analyzovány následující technologie / koncepty / nápady - obr. 2.



Zdroj: Project Low Carbon Future

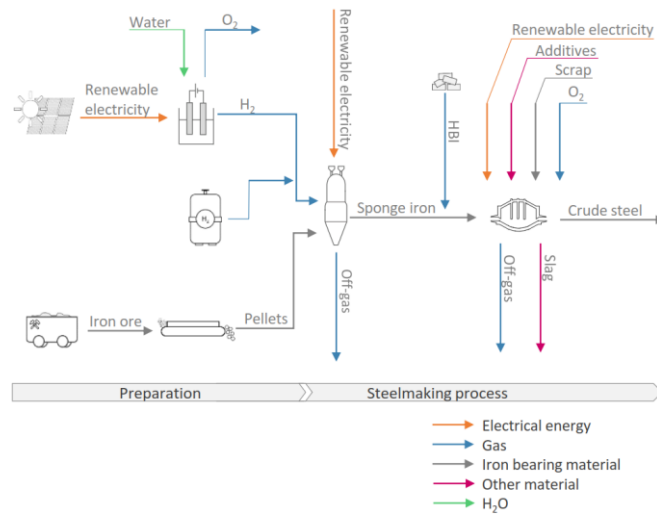
Obrázek 2. Technologické cesty snižování emisí CO₂-v ocelářském sektoru

Přímé zamezení uhlíku (CDA) znamená vývoj nových procesů výroby oceli z panenské železné rudy bez přímého uvolňování uhlíkových emisí. Elektrifikace výroby oceli nahrazením stávajících fosilních paliv obnovitelnou elektřinou nebo zeleným vodíkem (H₂) vyrobeným z obnovitelné elektřiny. Následné procesy nových technologií jsou podobné procesům integrované trasy.

Byly analyzovány následné CDA technologie:

- Přímá redukce na bázi vodíku (H-DR) - Přímá redukce železných rud pomocí H₂ jako redukčního činidla a dalším tavením v elektrické obloukové peci (EAF) - obr. 3:
 - Surovina – pelety ze železné rudy nebo kusová ruda

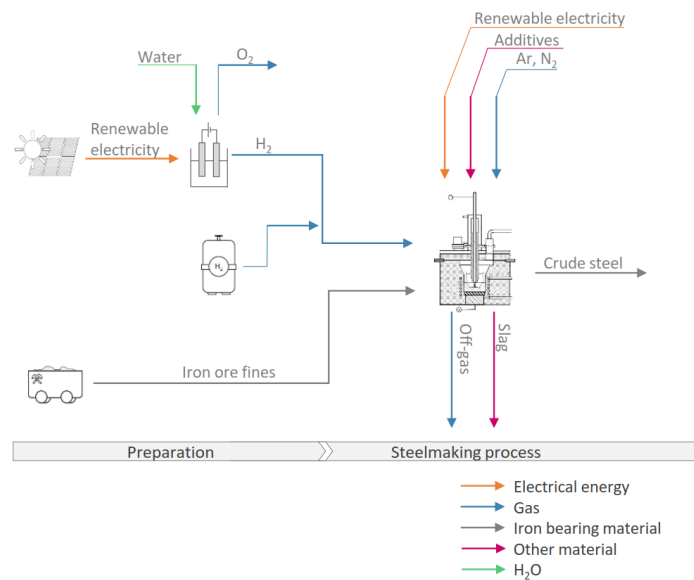
- Produkt procesu H-DR – železná houba nebo horké briketované železo (HBI)
- Reakce – $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$



Zdroj: Project Low Carbon Future

Obrázek 3. Přímá redukce na bázi vodíku (H-DR)

- Redukce tavení vodíkové plazmy (HPSR) - Proces přímé transformace z oxidů železa na tekutou ocel pomocí plazmy H₂ (H + = ionizovaná H₂) - obr. 4:
- Surovina – koncentrát železné rudy
- Produkt redukce tavení plazmy – tekutá surová ocel
- Reakce – $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$

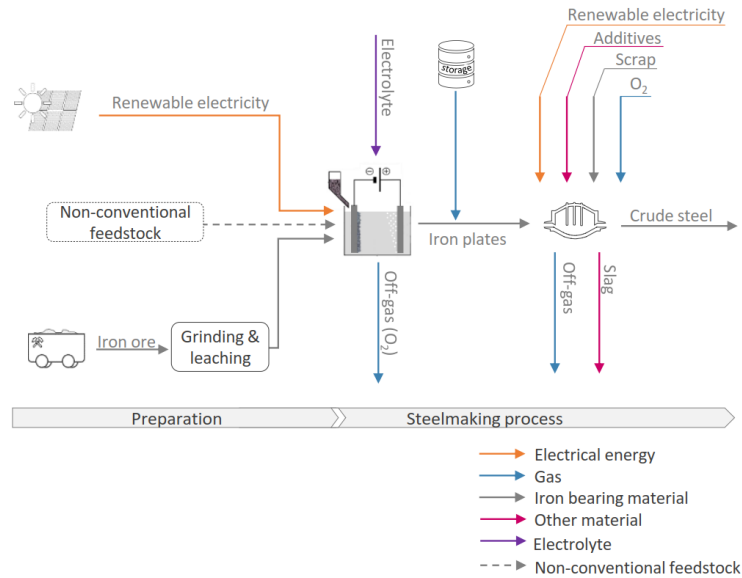


Zdroj: Project Low Carbon Future

Obrázek 4. Redukce tavení vodíkové plazmy (HPSR)

- Elektrolýza alkalickou železnou rudou – elektrolýza alkalické železné rudy a její další tavení v EAF - obr. 5:

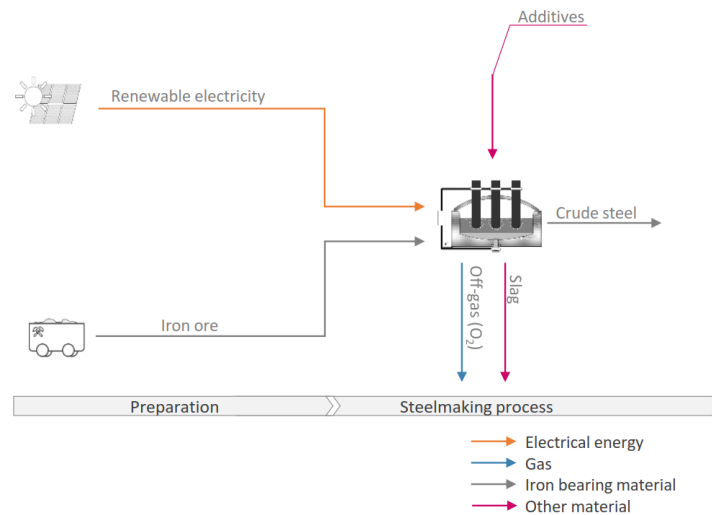
- Surovina – drcená a vyluhovaná železná ruda a nekonvenční surovina (vedlejší produkty z neželezných metalurgických zbytků)
- Produkt elektrolýzy alkalické železné rudy – železné pláty
- Reakce $-\frac{1}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe} + \frac{3}{4}\text{O}_2$



Zdroj: Project Low Carbon Future

Obrázek 5. Elektrolýza alkalické železné rudy

- Elektrolýza roztavených oxidů (MOE) - přímá transformace z oxidů železa na tekutou ocel vysokoteplotní elektrolýzou - obr. 6:
 - Surovina – kusová ruda, pelety ze železné rudy
 - Produkt elektrolýzy roztavených oxidů – tekutá surová ocel
 - Reakce $-\frac{1}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe} + \frac{3}{4}\text{O}_2$



Zdroj: Project Low Carbon Future

Obrázek 6. Elektrolýza roztavených oxidů (MOE)

Inteligentní využití uhlíku (SCU) znamená

- Modifikace procesu navržené pro integraci do konvenčních oceláren

- Inteligentní využití fosilních paliv (uhlí, zemní plyn atd.) ke snížení emisí CO₂ oceláren
- Zachycení, použití nebo skladování CO₂ v souladu s výrobními procesy

Integrace procesů (PI) znamená snížené použití uhlíku a výsledných emisí CO₂ úpravami stávajících procesů výroby železa / oceli:

- Cesta BF/BOF, včetně alternativních procesů výroby železa založených na fosilních palivech (a produkujících méně CO₂ / t oceli), které mohou nahradit BF,
- Cesta EAF.

Hlavní možnosti PI:

Propojení na oběhové hospodářství



Links with circular economy

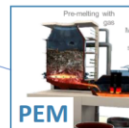
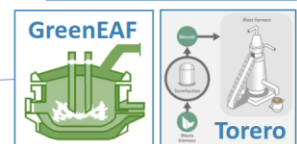
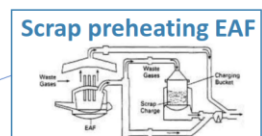
1	Increase metallic iron input	<ul style="list-style-type: none"> • Increase scrap and DRI/HBI in BF/BOF • Recycle Fe from by-products (slag, dust, etc)
2	Energy recovery and reuse	<ul style="list-style-type: none"> • Recover waste heat on intermediate products, slags and gases and re-use in production processes
3	Switch to leaner energy sources	<ul style="list-style-type: none"> • Partial substitution of coals by biomass (and spent carbon streams) • Gas injection in BF for partial substitution of solid C (NG, biogas, green H₂, etc) and/or by green electricity (wind superheating by plasma torches, etc) • Replace NG in burners, by biogas or green H₂
4	Better use of steel plant gases	<ul style="list-style-type: none"> • Replace NG (burners, furnaces, etc) by steel plant gases • Substitute solid C in BF by gas injection (steel plant gases, possibly reformed and heated)
5	Capture CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • End-of-pipe capture using advanced processes (amines, PSA, etc) • Smart integration of capture processes in steel plants
6	Switch to alternative processes	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative iron/steelmaking processes (leaner = based on fossil fuels, but consuming less total coal and thus producing less CO₂/t steel)
7	Avoid external CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Harvesting of renewable energies in steel plants (solar, wind, geothermal, etc) • Reinforce the societal use of steel by-products (cement, etc)

Zdroj: Project Low Carbon Future

Několik projektů/procesů

A few projects/processes :

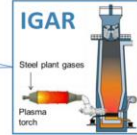
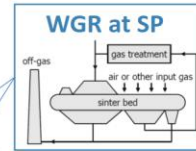
1	Increase metallic iron input	<ul style="list-style-type: none"> • Increase scrap and DRI/HBI in BF/BOF • Recycle Fe from by-products (slag, dust, etc)
2	Energy recovery and reuse	<ul style="list-style-type: none"> • Recover waste heat on intermediate products, slags and gases and re-use in production processes
3	Switch to leaner energy sources	<ul style="list-style-type: none"> • Partial substitution of coals by biomass (and spent carbon streams) • Gas injection in BF for partial substitution of solid C (NG, biogas, green H₂, etc) and/or by green electricity (wind superheating by plasma torches, etc) • Replace NG in burners, by biogas or green H₂
4	Better use of steel plant gases	<ul style="list-style-type: none"> • Replace NG (burners, furnaces, etc) by steel plant gases • Substitute solid C in BF by gas injection (steel plant gases, possibly reformed and heated)
5	Capture CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • End-of-pipe capture using advanced processes (amines, PSA, etc) • Smart integration of capture processes in steel plants
6	Switch to alternative processes	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative iron/steelmaking processes (leaner = based on fossil fuels, but consuming less total coal and thus producing less CO₂/t steel)
7	Avoid external CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Harvesting of renewable energies in steel plants (solar, wind, geothermal, etc) • Reinforce the societal use of steel by-products (cement, etc)



zdroj: Project Low Carbon Future

A few projects/processes :

1	Increase metallic iron input	<ul style="list-style-type: none"> Increase scrap and DRI/HBI in BF/BOF Recycle Fe from by-products (slag, dust, etc)
2	Energy recovery and reuse	<ul style="list-style-type: none"> Recover waste heat on intermediate products, slags and gases and re-use in production processes
3	Switch to leaner energy sources	<ul style="list-style-type: none"> Partial substitution of coals by biomass (and spent carbon streams) Gas injection in BF for partial substitution of solid C (NG, biogas, green H₂, etc) and/or by green electricity (wind superheating by plasma torches, etc) Replace NG in burners, by biogas or green H₂
4	Better use of steel plant gases	<ul style="list-style-type: none"> Replace NG (burners, furnaces, etc) by steel plant gases Substitute solid C in BF by gas injection (steel plant gases, possibly reformed and heated)
5	Capture CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> End-of-pipe capture using advanced processes (amines, PSA, etc) Smart integration of capture processes in steel plants
6	Switch to alternative processes	<ul style="list-style-type: none"> Alternative iron/steelmaking processes (leaner = based on fossil fuels, but consuming less total coal and thus producing less CO₂/t steel)
7	Avoid external CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> Harvesting of renewable energies in steel plants (solar, wind, geothermal, etc) Reinforce the societal use of steel by-products (cement, etc)



Zdroj: Project Low Carbon Future

	Current TRL	Main limiting factors (external)	Main R&D needs
1	TRL 5-8	Availability of clean scrap and DRI/HBI	<ul style="list-style-type: none"> Sorting and cleaning of scrap Processing and recycling of by-products
2	TRL 4-8		<ul style="list-style-type: none"> Specific heat recovery systems
3	TRL 5-8	Availability of biomass, biogas, green H ₂ , green electricity	<ul style="list-style-type: none"> Pre-processing of biomass and biogas Substitution trials (coke, sinter, BF, EAF) Industrial demo of large plasma torches Gas injection systems in BF
4	TRL 4-8		<ul style="list-style-type: none"> Processing of steel plant gases (cleaning, separation, reforming, compression, etc)
5	TRL 5-7	External infrastructure for CCUS (storage infrastructure, network to CO ₂ users), social acceptance	<ul style="list-style-type: none"> Adaptation of advanced capture processes to capture conditions In-process integration of capture
6	TRL 6-8		<ul style="list-style-type: none"> Demonstration of alternative processes
7	TRL 3-7	Accounting rules for CO ₂ credits	<ul style="list-style-type: none"> Use of non-BF slags as clinker substitutes Use of non-BF slags as substitute to other mineral resources

Zdroj: Project Low Carbon Future

Průlomové cesty v rámci projektu ULCOS

Breakthrough PI routes developed in the frame of the ULCOS project

	Coal			Natural gas	Electricity
	BF/BOF	TGR-BF (Revamping BF)	Hisarna (Brownfield BF)	DR+EAF	EAF scrap
Energy (net, GJ/t steel)	Reference	0 to -10 %	0 to -5 %	-5 to -10 %	-75 to -80 %
Current TRL	9	7	7	9	9
CO ₂ emissions without CCUS	Reference	-15 to -20 %	-10 to -15 %	-55 %	-90 %
CO ₂ emissions with CCUS (with one capture point)	-30 to -35 %	-50 to -65 %	-80 to -85 %	-65 to -70 %	

Zdroj: Project Low Carbon Future

Zachycování a používání uhlíku (CCU) znamená možnosti využití buď CO₂ zachyceného v ocelárnách nebo přímo obsahu CO / CO₂ v plynech z procesu zpracování oceli jako suroviny pro výrobu cenných produktů, jako jsou paliva, základní chemikálie, polymery nebo minerály. To bude zahrnovat zejména důležitou meziodvětvovou spolupráci s jinými průmyslovými odvětvími.

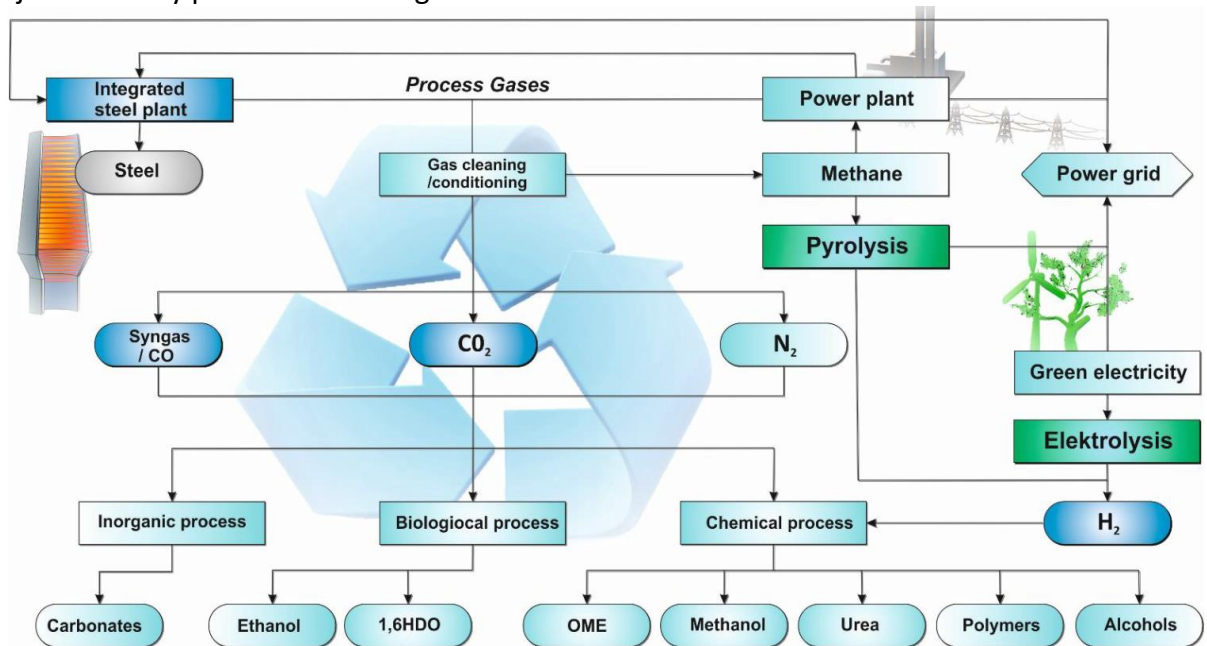
Z tohoto důvodu existují pochybnosti o tom, do jaké míry tyto technologie ovlivní ocelářský

průmysl a do jaké míry ho ovlivní další odvětví dále zpracovávající CO₂ z metalurgických závodů.

Množství a hlavní sloučeniny uhlíku a vodíku v ocelářských plynech v integrované ocelárně – příklad pro integrovanou ocelárnu s výrobou oceli 12 mil. t / rok:

- Vysokopecní plyn 20-30 % CO; 20-25 % CO₂ 2.000.000 m³/h,
- Koksárenský plyn 55-65 % H₂; 20-25 % CH₄; 5-10 % CO 180.000 m³/h,
- Konvertorový plyn 60-68 % CO; 15-20 % CO₂ 100.000 m³/h.

Zjednodušený přehled technologií CCU:



Zdroj: Project Low Carbon Future

Shrnutí

Krátkodobé/střednědobé průmyslové nasazení

Hlavní technologie

Main Technologies

Process integration PI

- **Recycling of decarbonated top gas + oxygen-BF**
 - Low CO₂ savings w/o CCUS; high CO₂ savings with CCUS; Low/medium CO₂ mitigation costs
- **End-of-pipe CO₂ capture at the BF + CCS**
 - Medium CO₂ savings
- **Charging of charcoal in coal blend or mixed with coke**
 - Low to High CO₂ savings (Limited charcoal exchange rate at large BF's)
- **Biomass torrefaction to replace coal injection at BF**
 - Medium CO₂ savings
- **Injection of H₂ or hydrogen-rich gases at the BF**
 - Low/medium CO₂ savings
- **Advanced natural gas-based direct reduction**
 - Medium CO₂ savings
- **Melting of scrap using available steel plant gases**
 - Medium CO₂ savings

Carbon direct avoidance CDA

- **Hydrogen based direct reduction + EAF**
 - High CO₂ savings; Medium CO₂ mitigation costs

Carbon capture and usage

- **Methanol, ethanol, polymer precursors production from integrated steel plant process gas** (e. g. Carbon2Chem, Steelanol, Carbon4PUR)
 - Medium to high CO₂ savings; High CO₂ mitigation costs
- **Mineral carbonation using residues** (initial small scale applications are available)
 - Low / medium CO₂ savings; Medium CO₂ mitigation costs

Auxiliary processes

- **Hydrogen production:** Alkaline water electrolysis (AEL), PEM electrolyser; Polymer-Electrolyte-membrane electrolysis (PEMEL), Sorption Enhanced Water Gas Shift technology (SEWGS)
- **CO₂ capture:** VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption), Amine scrubbing, Methanol scrubbing, cryogenic separation

Zdroj: Project Low Carbon Future

Možný scénář (2020-2030)

Cíl snížení CO₂ o 40% do roku 2030 ve srovnání s úrovní roku 1990, podle evropské výroby oceli

→ Snížení 27 Mt/a emisí CO₂ do roku 2030

- Některé BF/BOF mohou být nahrazeny DR (přímá redukce)/EAF na bázi zemního plynu
 - Kapacita 10 Mtcs (= 5 až 10 DR šachet + EAF nahradí 5 BF/BOF závodů)
- Přejít z konvenční BF na různé vylepšené možnosti BF (např. použití HBI v BF; rekuperace tepla v chladiči aglomerátu; hašení koksu za sucha; turbíny s rekuperací nejvyššího tlaku v BF; optimalizace poměru pelety BF; vstřikování COG do BF)
 - 45 Mtcs/kapacita (= polovina BF)
- Náhrada části PCI v některých BF torefikovanou biomasou
 - náhrada 50% PCI celkem 10 BF (tj. produkce 20 Mtcs)

Výsledek: Upgradujte 78% výrobní kapacity surové oceli cestou BF-BOF -> snížení CO₂ o cca 25,0 Mt.

Další možnosti

- Modernizace výrobní kapacity surové oceli o 20 Mt technologií CCS (21 % z celkové výroby primární oceli v roce 2030) -> to splňuje 50% cíle EU pro snížení emisí do roku 2030
- Počáteční nasazení vstřikování H₂ nebo plynů bohatých na vodík do BF
- Počáteční použití pokročilých PI technologií speciálně navržených pro spojení s CCUS (jako TGR-BF, IGAR nebo HISARNA)

Střednědobé průmyslové nasazení

Hlavní technologie

Main Technologies

Carbon direct avoidance CDA

- **Electrowinning process (alkaline solution)**
 - High CO₂ savings; High CO₂ mitigation costs

Process integration PI

- **Advanced coal-based smelting reduction with/without CCUS (e.g. HISARNA)**
 - High CO₂ savings (with CCS); Low CO₂ mitigation Costs

Carbon capture and usage

- **Microalgae production**
 - Medium CO₂ savings; no CO₂ mitigation costs information
- **Direct mineral carbonation (Primary minerals)**
 - no information about CO₂ savings; Medium CO₂ mitigation Costs
- **Other CCU processes**
 - Single stage DME synthesis; hydrogen intensified methane synthesis; Cyclic carbonates synthesis; RWGS - dry reforming

Auxiliary processes

- **Hydrogen production:** SOEC / High-temperature steam electrolysis (HTE); Pyrolytic conversion of natural gas in hydrogen and solid carbon (coke bed reactor)
- **CO₂ capture:** Different membrane processes; Solid sorbents; New, universally applicable absorbents

Source: Project Low Carbon Future

Možný přechodný scénář

- Další nahrazení některých zařízení BF / BOF zařízeními na bázi zemního plynu nebo vodíku DR-EAF
- Postupné zvyšování podílu vodíku v závodech DR
- Další využití biomasy a CCS, pokud jsou dostupné a použitelné

Další možnosti

- Zvýšený podíl H₂ nebo o H₂-obohacené plyny a injektáž do BF

Dlouhodobé průmyslové nasazení

Hlavní technologie

Main Technologies

Carbon direct avoidance CDA

- **Hydrogen plasma smelting reduction**
 - High CO₂ savings; CO₂ mitigation costs not specified
- **Molten oxide iron electrolysis (MOE) / Pyroelectrolysis**
 - High CO₂ savings; High CO₂ mitigation costs

Carbon capture and usage CCU

- Different biological fermentation processes; Combined CO₂ electrolysis and bioreactor (Artificial photosynthesis); Electrochemical CO₂ reduction/conversion; Photo-chemical CO₂ reduction
- Auxiliary processes:
 - **Hydrogen production:** Photocatalytical water splitting by solar energy

Zdroj: Project Low Carbon Future

Možný scénář (2050)

- Cíl 2050: Snížení emisí skleníkových plynů o 80–95% ve srovnání s úrovněmi z roku 1990
- 25% cesty primární výroby oceli: opatření CDA, jako je cesta vodík-DR-EAF, ale také redukce tavení vodíkové plazmy a elektrolýza železa
- 50% cesty primární výroby oceli: Procesy na bázi fosilního uhlí v kombinaci s opatřeními PI + CCU (např. vstřikování plynů z ocelárny reformovaných plazmou do BF v kombinaci s biologickými nebo chemickými procesy pro výrobu paliva nebo chemikálií z integrovaných procesů zpracování oceli)
- 25 % cesty primární výroby oceli: Fosilní na uhlí založené procesy v kombinaci s opatřeními PI+CCUS (tj. BF-BOF; HISARNA)
- Další kombinace technologií mohou umožnit vyšší snížení CO₂

V pilotním projektu Evropského parlamentu „Zelená ocel pro Evropu“ bude většina výše uvedených technologií dále analyzována:

- Přímá redukce na bázi vodíku - H2-DR
- Redukce tavby na bázi reaktoru železné lázně (tj. Hlsarna®) - IBRSR
- Špičková vysoká pec na bázi recyklace plynu - TGR-BF
- Zachycování uhlíku a jeho využití na bázi procesů chemické konverze
- Zachycování uhlíku a jeho využití na bázi procesů biologické konverze
- Elektrolýza alkalické železné rudy
- Redukce tavby vodíkovou plazmou - HPSR
- Elektrolýza roztaveným oxidem - MOE
- Zvýšená náhrada fosilních paliv biomasou
- Zvýšený vstup šrotu do BF/BOF
- Obnova energie a její opětovné využití (Využití odpadního tepla na meziprodukty, strusek a plynů a opětovné použití ve výrobních procesech)
- Zpracování strusek z oceláren

Samozřejmě nebudou implementovány všechny uvedené / analyzované technologie. Rozsah těchto technologických analýz však naznačuje, jakým směrem by se měly očekávat průlomové technologie. Tyto technologie budou implementovány v podmínkách PRŮMYSLU 4.0 a budou nevyhnutelně vybaveny nástroji typickými pro tuto technickou revoluci, které byly uvedeny na začátku této informace (např. AI, IoT atd.). Lze tedy předpokládat, že nejen dovednosti související s digitalizací a IT, ale také dovednosti související s průlomovými technologiemi používanými při výrobě oceli se objeví v dovednostech vyžadovaných v OCELI 4.0. Dokážete si představit, že se jedná například o dovednosti spojené s výrobou vodíku, jeho dopravou a skladováním. Rozsah těchto potenciálně požadovaných dovedností vyžaduje hlubší reflexi nejen mezi partnery projektu ESSA, ale také, a možná především mezi odborníky z ocelářského průmyslu, např. během výzkumu Delphi.