

Kolej i hutnictwo żelaza – na przykładzie działalności ArcelorMittal w Polsce

Marek GRAFF¹

Streszczenie

Hutnictwo żelaza jest ściśle powiązane z koleją – rozwój jednej branży był możliwy na szeroką skalę dzięki drugiej i odwrotnie. Rewolucja przemysłowa, która rozpoczęła się w Anglii i Szkocji w XVIII w. nie byłaby możliwa bez maszyn parowych oraz odkrycia znacznych złóż węgla kamiennego. Rozwój parowozów, który także nastąpił w Anglii na początku XIX w. umożliwił zrewolucjonizowanie transportu – przewozu osób i ładunków. Opracowanie wydajnych technologii otrzymywania stali w dużych ilościach przyspieszyło rozwój kolejnictwa, które także stymulowało rozwój przemysłu, początkowo w Anglii, a później także we Francji czy Niemczech, odmieniając oblicze kontynentu europejskiego. Hutnictwo stali w Polsce rozwinęło się w XIX w., a przyspieszenie nastąpiło po 1945 r. wraz z narzuceniem ustroju komunistycznego. Obecnie wytwarzanie stali zmniejszyło się (po 1989 r.), a większość hut żelaza została przejęta w 2005 r. przez hinduski koncern ArcelorMittal. Oznaczało to m.in. podniesienie jakości produkcji – nie wytwarzano dużych ilości stali surowej, a raczej gotowe wyroby stalowe. Unowocześnienie hut żelaza w Polsce (technologie zastosowane w hutach powstałych w latach 50. XX w. były raczej prymitywne) czy szerzej, restrukturyzacja polskiego hutnictwa, oznaczała zamknięcie zakładów najbardziej uciążliwych dla środowiska, czyli poprawę jakości powietrza oraz wdrożenie nowych technologii produkcji.

Słowa kluczowe: kolej, stal, huty żelaza, Polska, ArcelorMittal

1. Wstęp

Kolej jest związana z hutnictwem żelaza praktycznie od początku istnienia. Wprawdzie wytapianie żelaza było początkowo praktykowane w dymarkach już w średniowieczu, jednak dopiero rozwój kolei sprawił, iż dynamizacja hutnictwa stała się możliwa na szeroką skalę. Rola kolei w rozwoju hutnictwa żelaza jest związana z możliwością transportu ciężkich ładunków na duże odległości, co nie było możliwe w czasach, gdy wykorzystywano siłę pociągową zwierząt (głównie koni). Dodatkowo, poznanie tajników wytopu żelaza wysokiej jakości (np. w piecach Bessemera, Siemens-Martina) [19], którego nie trzeba było mozolnie przekuwać ręcznie młotami w kuźniach, spowodowało upowszechnienie procesu otrzymywania stali, a także rozwój kolei. Ponadto, tabor (parowozy, wagony) oraz infrastruktura (szyny kolejowe, mosty itp.)

były budowane ze stali, także również statki, a na początku XX w. dodatkowo samochody. Rozwój gospodarczy Górnego Śląska czy Zagłębia Dąbrowskiego w połowie XIX w. wynikał z odkrycia złóż węgla kamiennego, wykorzystywanego jako paliwo do napędu początkowo maszyn parowych, a później także parowozów. Dodatkowo, węgiel kamienny jest także wykorzystywany jako reduktor w hutnictwie żelaza (po przekształceniu węgla w koks²). Zatem na Górnym Śląsku (wówczas będącym częścią Niemiec) nastąpił dynamiczny rozwój kolei, gdzie prywatny kapitał zabiegał o koncesje na budowę linii kolejowych. To kontrastowało z sytuacją w innym regionie Niemiec – rolniczymi Prusami Wschodnimi, gdzie zainteresowanie prywatnego kapitału budową linii kolejowych było niskie, natomiast koszt budowy, np. linii kolejowych łączących Berlin z Królewcem czy Wystrucią (niem. *Insterburg*) sędowano na państwo.

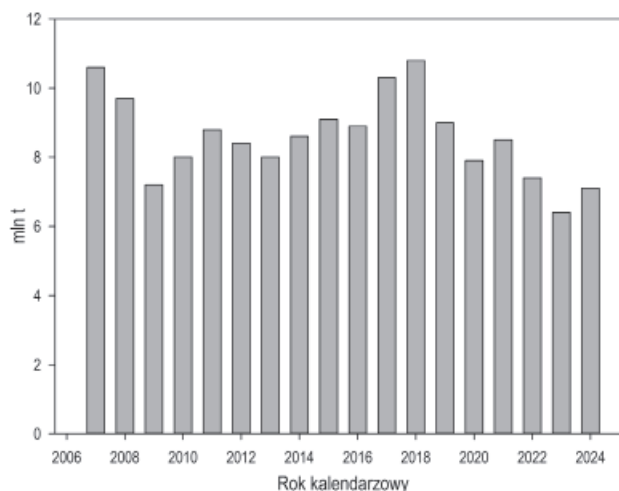
¹ Dr; Instytut Chemii i Techniki Jądrowej; e-mail: marek.graff@infotransport.pl.

² Jest to realizowane w procesie pirolizy (suchej destylacji) – ogrzewania w temperaturze 900–1200°C bez dostępu tlenu, co pozwala usunąć składniki ciekłe i gazowe. Jako produkt otrzymuje się praktycznie czysty węgiel pierwiastkowy (90–95%, maksymalnie 98%). Produktem ubocznym jest gaz koksowniczy, który jest wykorzystywany jako paliwo w kolejnych procesach technologicznych. Składniki gazu koksowniczego to m.in.: H₂ (około 55%), CH₄ (23–27%), CO (9–10%), N₂ (około 5%).

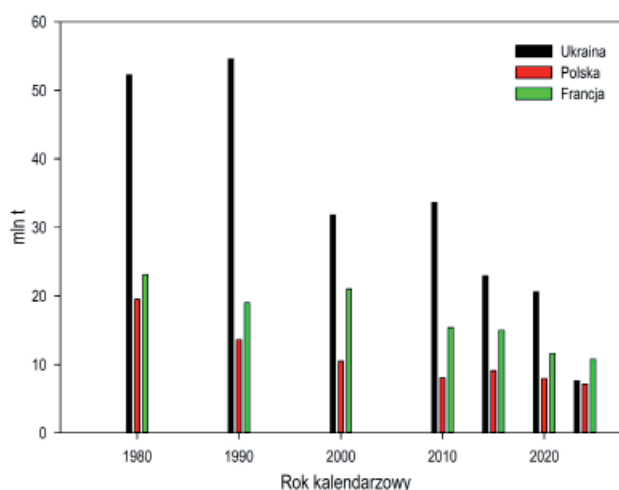
Zastosowanie żelaza jest także związane ze znacznym rozpowszechnieniem tego pierwiastka w przyrodzie (czwarty w kolejności), a także z pewną szczególną właściwością, wręcz unikalną. Właściwości stopów żelaza można w szerokim zakresie zmieniać przez relatywnie niewielkie dodatki innych pierwiastków. Przykładem jest dodatek węgla, który przy zawartości < 2,1% tworzy z żelazem stal, nawet 1000 razy twardszą niż czyste żelazo, a w przypadku wyższej zawartości węgla – od 2,11% do 6,67% uzyskuje się żeliwo.

2. Hutnictwo żelaza w Europie

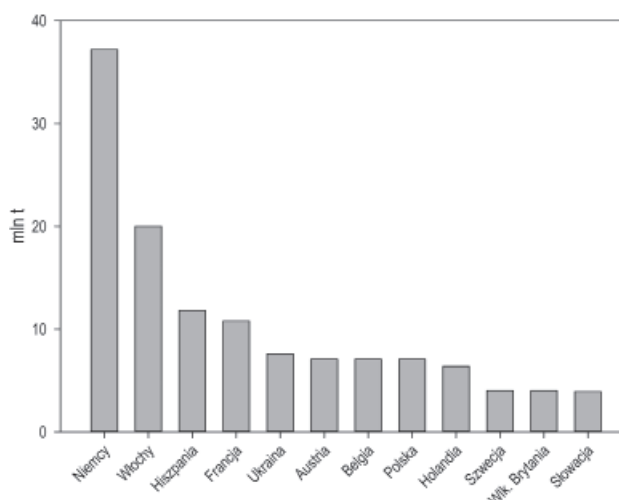
Obecnie hutnictwo żelaza istnieje w zdecydowanej większości krajów UE, przy czym poziom produkcji może się różnić. W Polsce w latach 2022–2023 otrzymywano 7–8 mln t stali, dla porównania: w 1980 r. – 20 mln t, 1990 r. – 15 mln t, w 2000 r. – 10 mln t (rys. 1). Znaczny spadek wolumenu otrzymywanej stali po 1989 r. jest związany z porzuceniem forsownego rozwoju przemysłu ciężkiego (motywowanego ideologicznie, a nie ekonomicznie), przy czym znaczna część stali była wykorzystywana na cele zbrojeniowe. Z drugiej strony, dla ówczesnych władz centralnych istotny był wolumen otrzymywanej stali, ale już nie produkcja określonych wyrobów ze stali. Świadczyło to o przekładaniu ilości nad jakość oraz zacofaniu ówczesnej gospodarki. Obecnie poziom produkcji stali w Polsce jest porównywalny z odpowiednikiem we Francji czy Hiszpanii (11–12 mln t), w których gospodarka jest 2–3 razy większa w porównaniu z polską gospodarką (rys. 2). Dla porównania, obecny poziom produkcji stali w Niemczech czy Włoszech wynosi odpowiednio 40 mln t i 20 mln t, co wynika z m.in. rozbudowanego przemysłu samochodowego (rys. 3). Zatem wolumen wytopu stali nie określa obecnie poziomu rozwoju gospodarczego, jak w XIX w. czy na początku XX w. W Europie Wschodniej znacznym producentem stali była Ukraina, gdzie w latach 1980–1990 wytwarzano 50–60 mln t stali, a po spadku produkcji w 1991 r. wolumen był nadal wysoki 30–35 mln t (w latach 2000–2010). Na przyczyny tak wysokiej produkcji złożyły się następujące warunki: Ukraina była wówczas częścią Związku Sowieckiego), dostępność węgla kamiennego w Zagłębiu Donbaskim na wschodzie Ukrainy (w tym regionie rozwinęło się także hutnictwo stali), tani gaz ziemny importowany z Rosji. Po 2022 r. wolumen obniżył się < 10 mln t (inwazja Rosji na Ukrainę w lutym 2022 r.), co wynika m.in. ze zniszczenia kopalń i hut w wyniku działań wojennych (znaczna część zakładów nie została odbudowana z powodu rozległego zakresu zniszczeń). Polsce także został narzucony system nakazowo-rozdzielczy, który preferował rozwój przemysłu ciężkiego.



Rys. 1. Produkcja stali surowej w Polsce [12]



Rys. 2. Produkcja stali surowej w Polsce, Ukrainie i Francji [12]

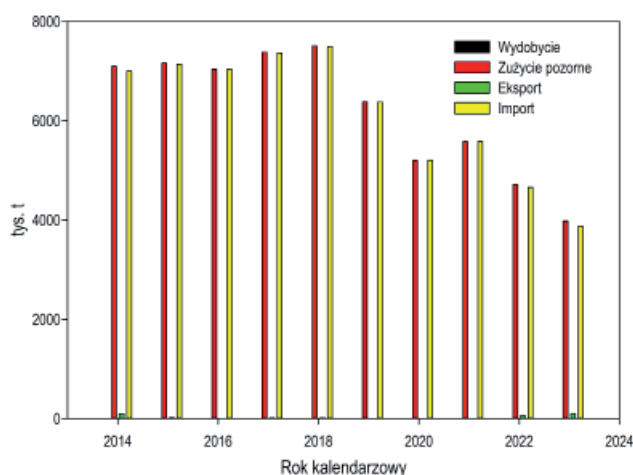


Rys. 3. Produkcja stali surowej w wybranych krajach w Europie w 2024 r. [12]

3. Hutnictwo żelaza w Polsce

W Polsce nie występują złoża rud żelaza, zatem surowce muszą być importowane (rys. 4 i 5). Do produkcji stali można wykorzystywać:

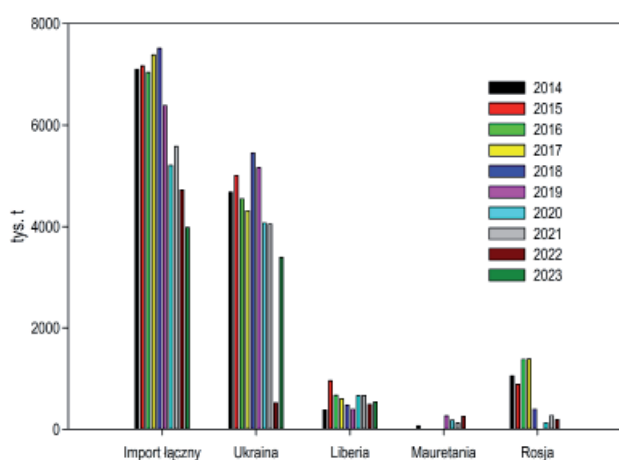
- rudy i koncentraty żelaza,
- surowkę żelaza,
- surowce wtórne żelaza (złom stalowy i żeliwny, odpady żelazonośne),
- stal surową.



Rys. 4. Gospodarka rudami i koncentratami żelaza w Polsce [12]

Stal oraz wyroby stalowe są obecnie wytwarzane w Polsce w kilku dużych lub średnich hutach (tabl. 1, rys. 6–9), z których część powstała jeszcze w XIX w. (w Ostrowcu Świętokrzyskim, Częstochowie, Chorzowie), na początku XX w. (w Zawierciu, Stalowej Woli), ewentualnie po 1945 r. (w Gliwicach, Warszawie, Krakowie). Szczególnym przypadkiem jest dawna Huta Kato-

wice (obecnie ArcelorMittal Poland Oddział w Dąbrowie Górniczej) zbudowana w połowie lat 70. XX w. w technologii zachodniej [10]. Dla porównania, huta w Krakowie powstała na bazie (przestarzałej) technologii sowieckiej z lat 50. XX w., co miało wpływ na decyzję o stopniowym wygaszaniu wytopu stali. Wraz ze spadkiem zapotrzebowania na stal w Polsce, nowy właściciel (ArcelorMittal Poland) uznał za niecelowe modernizowanie raczej przestarzałego zakładu na rzecz innych, którymi dysponował w Polsce. Istotne jest, iż na potrzeby dawnej Huty Katowice zbudowano m.in. LHS do transportu rudy żelaza z zagłębia Krzywego Rogu na obecnej Ukrainie.



Rys. 5. Import rud i koncentratów żelaza do Polski [12]

Po 1989 r. oraz zmianach polityczno-gospodarczych w Polsce podczas transformacji gospodarki od centralnie sterowanej do rynkowej, zmiany objęły także metalurgię żelaza. Zakłady poddano prywatyzacji, poszukując dużych inwestorów, którzy nie tylko mogliby przejąć zakłady, ale także zapewnić rozwój i inwestycje, przy-

Tablica 1

Główni producenci stali surowej Polsce

Rodzaj stali surowej	Producenci	Lokalizacja	Rok uruchomienia wytopu surowki żelaza
Z konwertorów	ArcelorMittal Poland S.A.	Oddział w Dąbrowie Górniczej, Oddział w Krakowie – do 2019 r.	1975 1954
	Arcelor Huta Warszawa sp. z o.o.	Warszawa	1957
Z pieców elektrycznych	CMC Zawiercie S.A.	Zawiercie	1901
	CELSA Huta Ostrowiec sp. z o.o.	Ostrowiec Świętokrzyski	1839
	Huta Stalowa Wola S.A.	Stalowa Wola	1939
	LIBERTY Steel Poland sp. z o.o.	Częstochowa	1896
	Huta Batory sp. z o.o.	Chorzów	1873
	FERROSTAL Łąbędzy sp. z o.o.	Gliwice	1950

Opracowanie własne na podstawie [12].

najmniej w perspektywie średnioterminowej. Ostatecznie w 2005 r. pozyskano inwestora z Indii – koncern Arcelor, który w 2006 r. połączył się z producentem Mittal, tworząc ArcelorMittal. Jest to koncern globalny (drugie miejsce w zakresie produkcji stali na świecie³), który kontroluje w Polsce 5 zakładów w: Dąbrowie Górniczej, Krakowie, Warszawie, Świętochłowicach i Sosnowcu oraz jest największym podmiotem wytwarzającym stal w Polsce (70%). ArcelorMittal Poland Oddział w Zdzieszowicach produkuje także koks na potrzeby hutnictwa – 4 mln t (40% krajowego zapotrzebowania, 2008 r.). Obecnie w Polsce funkcjonują 2 wielkie piece (nr 2 i nr 3) w Dąbrowie Górniczej (dawna Huta Katowice). Inne lokalizacje, np. Huta Pokój w Rudzie Śląskiej czy huty w Krakowie, Zawierciu, Częstochowie, Ostrowcu Świętokrzyskim i Warszawie, w większości albo zakończyły produkcję surówki wielkopiecowej (przekształcając się w walcownie lub inne zakłady przetwórcze), albo ich piece zostały wygaszone i często pełnią funkcje zabytków, ewentualnie są w trakcie adaptacji na cele po-przemysłowe (jak np. Wielki Piec w Rudzie Śląskiej).



Rys. 6. Wielki piec na terenie huty żelaza im. T. Sendzimira, obecnie nieistniejący, Nowa Huta, Kraków / ArcelorMittal Kraków (16.07.2011 r.) [Z. Put / Wikimedia Commons]

Poza uciążliwością dla środowiska naturalnego, innym problemem z jakim zmagало się polskie hutnictwo po 1989 r. był przerost zatrudnienia. Przykładowo, w latach 70. XX w. dawna Huta w Krakowie zatrudniała prawie 40 tys. osób, działało 5 wielkich pieców, stalownia martenowska, w miejscowej koksowni funkcjonowało 12 baterii koksowniczych oraz pozyskiwano 6,7 mln t stali rocznie [4]. Po 1989 r. w hucie powoli wygaszano produkcję – już w latach 90. wyburzono 3 wielkie piece, zamknięto stalownię martenowską oraz walcownie: zgniatacz i slabing. Pojawiła się także automatyzacja, która zmniejszyła zapotrzebowanie na prostą pracę fizyczną. W 2018 r. zakład zatrudniał już tylko 3,5 tys. osób, funkcjonował 1 wielki piec, 1 bateria koksownicza, 3 konwertory, 1 linia ciągłego odlewania stali, walcownie: zimna, gorąca i rur zgrzewanych oraz ocynkownia. Poziom produkcji był równy 1,5 mln t stali surowej. Obecnie wytop surówki czy produkcja koksu są wstrzymane (ostatni wielki piec wygaszono w 2019 r.), a zakład wytwarza m.in. pręty i profile, blachy ocynowane, blachy walcowane na gorąco i zimno oraz rury.

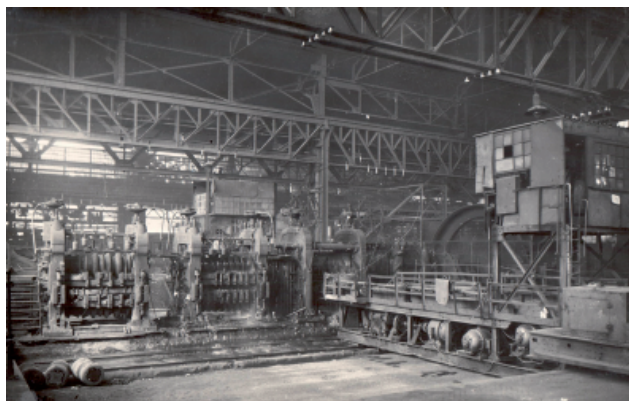
Na początku lat 90. XX w. poziom zatrudnienia w innym zakładzie – Hucie Katowice wynosił 23,2 tys. osób i pozyskiwano 4,5 mln t stali rocznie. Wówczas działały 3 wielkie piece, 2 walcownie (Duża i Średnia), stalownie z trzema konwertorami tlenowymi oraz 3 linie ciągłego odlewania stali. W 2001 r. zakład zatrudniał tylko 5,1 tys. osób, a w 2005 r. – 4 tys. Co więcej, redukcja zatrudnienia nie wpłynęła na wolumen produkcji, co jest zasługą automatyzacji.

Huta Warszawa, która może być uważana za młodszą siostrę huty w Krakowie, wytop stali rozpoczęła w 1960 r. (staliwa – w 1957 r.). Losy zakładu po 1989 r. były bardziej pomyślne niż siostrzanego zakładu z Krakowa – już w 1992 r. huta Warszawa została przejęta przez koncern Lucchini, który w 1995 r. rozpoczął mo-



Rys. 7. Huta Warszawa / ArcelorMittal Warszawa (8.09.2021 r.) [fot. Ewa75nuta / Wikimedia Commons]

³ Wolumen produkcji stali wynosił 68,52 mln t (2023 r.), pierwsze miejsce zajmuje China Baowu Steel Group Corp. z wolumenem produkcji 130,77 mln t; na podstawie danych „2023 Top steel-producing companies” World Steel Association.



Rys. 8. Huta Pokój, Ruda Śląska (4.04.2018 r.) [fot. ze zbiorów autora]



Rys. 9. Huta żelaza [fot. ze zbiorów autora]

dernizację i restrukturyzację zakładu. W 1998 r. rozpoczęła pracę nowa stalownia (EAF 80 t, LF 80 t i 4-żyłowe CC), a w 2001 r. zakończono modernizację stalowni i uruchomiono VD 80 t. Powstały także dwie nowe linie wykańczające na walcowniach gorących w 2002 r. W 2005 r. huta zmieniła właściciela, którym został Arcelor (od 2006 r. ArcelorMittal) [28]. W 2008 r. pracę rozpoczęła nowa walcownia prętów. Obecnie huta w Warszawie produkuje stal w piecach elektrycznych, a głównym wyrobem jest stal szlachetna, w tym taśmy zimnowalcowane, wyroby długie ze stali węglowych i stopowych, stosowane w przemyśle samochodowym, maszynowym, łożyskowym, w przeróbce plastycznej oraz w budownictwie. Na terenie zakładu znajdują się wydziały produkcyjne:

- stalownia elektryczna, mogąca wyprodukować ponad 500 gatunków stali,
- walcownia prętów jakościowych i żebrowanych (jedna z najnowocześniejszych linii walcowniczych w Europie),
- linie wykańczające.

W modernizację warszawskiej huty zainwestowano w latach 2008–2024 ponad 760 mln PLN. Zmniejszono emisję pyłów o 97%, a emisję gazów o 60%. Ograniczono częstotliwość wypadków o 90% znacząco podnosząc standardy bezpieczeństwa i higieny pracy. Poziom produkcji w 2024 r. wynosił 0,46 mln t.

ArcelorMittal Poland nie tylko przejął zakłady w Polsce, ale także systematycznie inwestuje w nich i modernizuje – nakłady są już równe 7 mld PLN, co obejmowało:

- w Dąbrowie Górniczej budowę: trzeciej linii ciągłego odlewania stali (2006 r.), dwustanowiskowego pieca kadziowego (2009 r.), centrum serwisowania grodzic (2014 r.), uruchomienie produkcji długich szyn (120 m; 2014 r.), modernizację systemu odpylania taśm spiekalniczych (2018 r.);
- w Krakowie budowę: walcowni blach gorących, najnowocześniejszego zakładu w Europie (2007 r.), instalacji oczyszczania gazu koksow-

niczego (2012 r.), rozbudowę walcowni gorącej (2016 r.), nowej ocynkowni ogniowej (2017 r.);

- w Sosnowcu: modernizację wydziału walcowni (2006 r., 2018 r.);
- w Zdziechowie: modernizację baterii koksowniczych nr 8, 11, 12 (w latach 2006–2008).

Koncern zatrudnia około 10 tys. osób w Polsce. Zestawienie profilu produkcji głównych producentów wyrobów stalowych w Polsce zamieszczono w tablicy 3, natomiast w tablicy 2. znajduje się szacunkowa struktura krajowego zużycia stali w Polsce.

Tablica 2

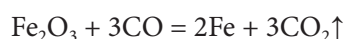
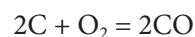
Szacunkowa struktura zużycia krajowego

Surowiec	Produkt	[%]
Rudy i koncentraty żelaza	surówka żelaza	100
Surówka żelaza, Surowce wtórne żelaza	stal	100
Stal surowa	wyroby stalowe	100

Opracowanie własne na podstawie [12].

4. Technologie wytapiania stali

Stal jest wytapiana w kilku rodzajach pieców, których konstrukcja zmieniała się na przestrzeni lat. Zasada jednak pozostała niezmienna i polegała na umieszczeniu w nim rudy żelaza, reduktora (węgla, koksu) oraz topników, które adsorbują zanieczyszczenia. Koks jest używany jako reduktor i paliwo w procesie otrzymywania surówki żelaza (rys. 10), według reakcji:



Do produkcji surówki z rudy żelaza służy wielki piec. Jest to pierwszy i podstawowy etap. Wielki piec ma po-

Tablica 3

Główni producenci wyrobów stalowych w Polsce

Profil produkcji	Producenci	Lokalizacja
Pręty i profile	ArcelorMittal Poland CMC Zawiercie CELSA Huta Ostrowiec Liberty Steel Poland Huta Pokój Huta Batory Huta Stalowa Wola	Oddziały w Krakowie i Katowicach Zawiercie Ostrowiec Świętokrzyski Częstochowa Ruda Śląska Chorzów Stalowa Wola
Blachy walcowane na gorąco	ArcelorMittal Poland Liberty Steel Poland Huta Pokój Huta Batory Huta Stalowa Wola	Oddział w Krakowie Częstochowa Ruda Śląska Chorzów Stalowa Wola
Blachy walcowane na zimno i blachy ocynowane	ArcelorMittal Poland Huta Stalowa Wola	Oddział w Krakowie Stalowa Wola
Blachy ocynkowane	ArcelorMittal Poland	Oddziały w Krakowie i Świętochłowicach
Taśmy zimnowalcowane	ArcelorMittal Poland	Oddziały w Krakowie, Świętochłowicach i Sosnowcu
	Arcelor Huta Warszawa	Warszawa
Rury	ArcelorMittal Poland	Oddział w Krakowie
	Liberty Steel Poland	Częstochowa; Jedność, Andrzej, Ferrum, Batory, Buczek, Severstallat

Opracowanie własne na podstawie [12].

stać dwóch ściętych stożków złączonych podstawami. Wysokość wielkiego pieca to około 40 m (z osprzętem odpowiedzialnym za wsad – do 100 m), a wsad – ruda żelaza (przede wszystkim FeO , Fe_2O_3 i Fe_3O_4), koks i wapień jest umieszczany od góry przez tzw. szyb pełniący rolę zasobnika surowca. Spust surówki następuje w dolnej części pieca. Podsumowując, wielki piec to początkowy etap produkcji żelaza, a konwertor to kolejny etap, w którym żelazo jest dalej przetwarzane w stal o pożądanych właściwościach. W artykule opisano cztery konwertory o różnych konstrukcjach.



Rys. 10. Schładzanie rozżarzonego koksu na terenie koksowni Prosper w Bottrop, land Nadrenia Północna-Westfalia, Niemcy (26.04.2011 r.) [fot. NatiSythen / Wikimedia Commons]

Konwertor Bessemera został opracowany w 1856 r. przez Henry'ego Bessemera, brytyjskiego inżyniera i wynalazcę. Umieszcza się w nim surówkę lub złom stalowy, a następnie w dolnej części wtłacza powietrze, które rozgrzewa się do $1600\text{--}1700^\circ\text{C}$. Proces redukcji tlenków żelaza tlenkiem węgla przebiega zatem w wysokiej temperaturze – 1550°C , a zanieczyszczenia obecne w stali (żelazie) reagują z tlenem. Po zakończeniu procesu konwertor przechylano i wylano z niego gotową stal. Uzyskane żelazo ma czystość 99,445%, co jest wartością akceptowalną. Zanieczyszczenia stanowią $< 0,5\%$, a ich główne składniki to: C – 0,294%, P – 0,014%, Mn – 0,199%, Cu – 0,105% i Si – 0,033%. Zaletą metody Bessemera jest możliwość uzyskania żelaza o niskiej zawartości zanieczyszczeń, zatem jakość wytapianej stali jest wysoka. Metoda Bessemera była wykorzystywana na całym świecie przez prawie wiek. Bessemer opracował także konwertorowanie (świeżenie), czyli proces usuwania niechcianych domieszek ze stopu (w tym żelaza) przez ich wybiórcze utlenianie. Konwertorowanie można zastosować wobec produktów utleniania, które znajdują się w fazie gazowej (np. CO), a składniki stałe stopu wykazują różnice w powinowactwie chemicznym do tlenu. Zaletą metody Bessemera była duża szybkość wytopu (15–25 min.) wobec np. tradycyjnych pieców pudlarskich (kilka godzin), a także niski koszt oraz prostota procesu, co umożliwiło upowszechnienie stali. Jej wadą było wymaganie określo-

nego składu surowki, ponieważ metoda była wrażliwa na zawartość fosforu, który osłabiał stal, co ograniczało zastosowanie ww. metody.

Konwertor Martenowski / Siemensa–Martina (tabl. 4) skonstruowany w 1856 r. przez braci Siemens (Carla Friedricha i Carla Wilhelma) początkowo był wykorzystywany do wytopu szkła. Natomiast w 1864 r. francuski metalurg Pierre-Émile Martin opracował proces wytopu surowki żelaza i złomu w piecu regeneratorskim, co umożliwiło precyzyjną kontrolę końcowego składu stali. Jest to hutniczy wannowy piec płomieniowy ogrzewany przez odzyskiwanie ciepła spalin. Piece martenowskie zaczęły się upowszechniać w metalurgii żelaza w drugiej połowie XX w. oraz wyparły stosowane wcześniej piece Bessemera: w latach 60. XX w. (w ten sposób wytapiano 90% stali) dla metody Bessemera ww. wskaźnik wynosił 2%, pozostałe 8% stali było wówczas wytapiane z użyciem całkowicie nowatorskiej technologii elektrycznych pieców łukowych. Energia cieplna w piecu martenowskim pochodzi od spalania gazu węglowego (CO uzyskany z koksu).

Podczas wytopu żelaza, gorące powietrze jest włączane przez dysze znajdujące się w dole komory. Surowka żelaza wraz z żużłem zbiera się w dolnej części pieca, po czym jest spuszczana przez otwór w tylnej ścianie komory roboczej. Proces wytopu stali podob-

ną metodą zajmuje 4–12 godzin. Różnicą wobec metody Bessemera jest zastąpienie zimnego powietrza gorącym uzyskanym przez ogrzanie gorącymi gazami powstającymi po spalaniu tlenku węgla, co pozwoliło podnieść wydajność przez zmniejszenie strat energii oraz podwyższyć temperaturę panującą w piecu. Umożliwiło to dodawanie do rudy żelaza (wsad do pieca) także złomu stalowego oraz spowodowało obniżenie kosztów produkcji. Do surowki dodaje się węglan wapnia (wapień), który rozkłada się w temperaturze około 900°C według reakcji:



Obecne w surowce krzem i mangan tworzą odpowiednio SiO_2 , czy MnO natomiast żużel, który gromadzi się na powierzchni stopionego żelaza, składa się głównie z CaSiO_3 powstałego z reakcji SiO_2 z CaO . Obecnie, nie stosuje się pieców martenowskich z powodów technologicznych i ekonomicznych (zostały wyparte przez piece konwertorowe). Niekiedy używa się pieców martenowskich do wytapiania stali specjalnych, w tym stali nierdzewnych. Większość pieców martenowskich została wygaszona na początku lat 90. XX w., przede wszystkim z powodu ich powolnej pracy i zastąpiona przez piece tlenowe lub elektryczne łukowe.

Tablica 4

Porównanie wielkiego pieca i pieca martenowskiego

Cecha	Piec martenowski	Wielki piec
Główny cel	proces wytopu surowki żelaza i złomu	wytopienie surowki żelaza (stopu żelaza z węglem i innymi pierwiastkami) z rudy żelaza i złomu
Typ procesu	wsadowy (nieciągły), w którym materiał jest ładowany, a następnie przetwarzany, a produkt usuwany	ciągły, dwukierunkowy przepływ materiałów (wsad z góry, gaz z dołu)
Proces	wsad (złom i ciekłe żelazo) jest podgrzewany przez płomień od góry; ciepło spalin jest odzyskiwane w regeneracjach, które podgrzewają powietrze do spalania	proces redukcji tlenków żelaza za pomocą koksu i tlenku węgla w wysokiej temperaturze (około 1500°C, maks. 2000–2300°C)
Wsad (surowiec)	surowka odlewnicza i złom stalowy	ruda żelaza, koks (paliwo i reduktor), topniki (np. wapień)
Źródło energii	Spalanie gazu koksowniczego	
Produkt główny	stal płynna	surowka żelaza (oraz żużel i gaz wielkopiecowy)
Dopływ powietrza/gazu	wymuszony podmuch gorącego powietrza	wymuszony podmuch gorącego powietrza (lub powietrza wzbogaconego w tlen)
Zalety	bogaty dostęp do surowców i stabilny proces wytopu	skrócenie całkowitego czasu cyklu o 90% wobec czasu cyklu pieca martenowskiego; znaczące oszczędności energii i kosztów, pomimo wyższych kosztów materiałów
Wady	powolna praca, duże zużycie paliwa i tlenu, niska wydajność	duże zużycie koksu, szkodliwość dla środowiska

[Opracowanie własne].

Konwertor służy do przekształcania surowki żelaza w stal (tabl. 5). Konwertor (np. tlenowy) w odróżnieniu od pieca martenowskiego wykorzystuje procesy tlenowe, a źródło ciepła pochodzi z reakcji chemicznych tlenu z zanieczyszczeniami (C, Si, Mn) w ciekłym żelazie. Powietrze / tlen jest wdmuchiwany do ciekłego żelaza, utleniając zanieczyszczenia i wytwarzając wysoką temperaturę potrzebną do wytopu stali. Nie jest wymagane zewnętrzne źródła paliwa.

Elektryczny łukowy, w których wytwarzany jest łuk elektryczny, dzięki czemu powstaje wysoka temperatura, która umożliwia wytopianie stali (tabl. 6). Elementami elektrycznego pieca łukowego są naczynia dolne i górne oraz dach, przy czym istnieje możliwość przechylania pieca siłownikiem hydraulicznym. Energia elektryczna jest zapewniana przez transformator piecowy, chłodzony olejem i zabezpieczony przed wysoką temperaturą (tj. od pracującego pieca). Elementami pieca łukowego są ponadto:

- hydrauliczny zespół napędowy zapewniający ruch elektrod;
- podnośnik dachowy;
- system chłodzenia wodą;
- system sprężonego powietrza;
- instalacja zasysająca gazy procesowe;
- kadz.

Stal w Polsce jest obecnie otrzymywana zarówno w wielkich piecach, jak i elektrycznych piecach łukowych (patrz tabl. 1). Wielkie piece wykorzystują prostą, wydajną i taną technologię przerobu rud i koncentratów żelaza, ewentualnie złomu stalowego na surowkę stali. Podobna technologia wiąże się jednak ze znaczną uciążliwością dla środowiska naturalnego z powodu zapotrzebowania na znaczne ilości koksu w procesie wytopu stali, a w celu uzyskania odpowiedniej wydajności wytopu, podobne zakłady mają także znaczne rozmiary. Dodatkowo, aby ogra-

niczyć koszty transportu, tradycyjne huty powstają w pobliżu portów, kopalni węgla kamiennego. Rozwiązaniem wobec wielkich pieców są piece wykorzystujące łuk elektryczny powstający pomiędzy elektrodami grafitowymi [21], co pozwala na uzyskiwanie wyższych temperatur w porównaniu z wielkim piecem (3000°C wobec 2000–2300°C). Opisana technologia wymaga także mniejszego zapotrzebowania na energię (około 12 razy), aby wyprodukować podobną ilość stali oraz umożliwia 4-krotnie zmniejszyć emisję CO₂. Minusem jest możliwość pracy z wykorzystaniem tylko złomu stalowego, a nie rud czy koncentratów żelaza, co znacząco zmniejsza stosowność podobnej technologii. Masa stali uzyskiwanej w piecu z łukiem elektrycznym jest kilkukrotnie niższa w porównaniu z tradycyjnym wielkim piecem. Funkcjonowanie pieców z łukiem elektrycznym wymaga znacznych ilości energii elektrycznej, które jednak mogą pracować bardziej elastycznie niż wielkie piece, które funkcjonują w systemie ciągłym i raczej nie praktykuje się ich wyłączania – czas od rozpalenia do wygaszenia pieca trwa kilka lat. Potencjalna przerwa wynika przeważnie np. z powodu uszkodzenia wyłożenia ogniowatego.

5. Transport rudy żelaza w Polsce

Zapotrzebowanie na rudę żelaza w Polsce wzrosło po 1945 r. wraz z rozwojem przemysłu ciężkiego oraz narzuconego przez Związek Sowiecki programu zbrojeń. Ponieważ Polska nie dysponowała własnymi złożami rudy żelaza, zatem surowiec był importowany. W rejonach przygranicznych powstały stacje przeładunkowe – Medyka i Żurawica oraz Małaszewicze, gdzie wykonywano przeładunek towarów z wagonów szerokotorowych do normalnotorowych

Tablica 5

Charakterystyka konwertora tlenowego

Cecha	Opis
Główny cel	oczyszczanie surowki żelaza ze zbędnych pierwiastków (głównie C, Si, Mn, P) w celu uzyskania stali
Typ procesu	przekształcanie surowki żelaza w stal
Proces	utlenianie (konwertorowanie) nadmiaru węgla i innych zanieczyszczeń poprzez wdmuchiwanie tlenu lub powietrza
Wsad (surowiec)	głównie płynna surowka żelaza z wielkiego pieca, często z dodatkiem złomu stalowego
Źródło energii	reakcje chemiczne tlenu z zanieczyszczeniami (C, Si, Mn) w ciekłym żelazie
Produkt główny	stal płynna (oraz żużel)
Dopływ powietrza / gazu	wdmuchiwanie czystego tlenu (w nowoczesnych konwertorach tlenowych)

[Opracowanie własne].

Tablica 6

Porównanie wielkiego pieca i pieca wykorzystującego łuk elektryczny

Cecha	Wielki Piec (WP)	Elektryczny Piec Łukowy (EAF)
Wsad (zasadniczy składnik)	ruda i koncentrat żelaza (złom metalowy jest tylko dodatkiem)	głównie złom stalowy (recykling), opcjonalnie żelazo gąbczaste (DRI)
Elastyczność pracy	niska (praca w systemie ciągłym)	duża
Źródło energii dla podtrzymania procesu wytopu stali	spalanie koksu (węgla), energia chemiczna i cieplna	energia elektryczna (łuk elektryczny pomiędzy elektrodami a wsadem)
Różnice konstrukcyjne w budowie pieca	niskie	duże
Produkt pierwotny	surówka żelaza (którą następnie przetwarza się w stal w konwertorach tlenowych)	bezpośrednio stal
Proces	redukcyjny, ciągły proces wytwarzania żelaza	topienie i rafinacja wsadu, proces wsadowy (cykliczny)
Zastosowanie	produkcja pierwotnego żelaza na masową skalę	produkcja stali z recyklingu, wysokojakościowych stali specjalnych
Maksymalna uzyskiwana temperatura wewnątrz pieca	2000–2300°C	3000°C
Zapotrzebowanie na energię [35]	5555 kWh (20 GJ) / 1 t stali	400 kWh / 1,6 GJ / 1 t stali
Wydajność na dobę	2–10 tys. t	2–2,5 tys. t
Emisja CO ₂ na 1 t wyprodukowanej stali [1, 6]	2,5–3,5 t	0,6 t
Wymagania transportowe	duże	niskie
Lokalizacja	z powodu znacznej wielkości zakładu, huty tradycyjne są budowane w pobliżu portów, kopalni węgla kamiennego itp., aby zmniejszyć koszty transportu	blisko rynków wyrobów stalowych (tj. dowolna)
Wady	znaczna uciążliwość dla środowiska, w tym emisja CO ₂	brak wystarczającej ilości złomu stalowego dla szerszego uruchomienia produkcji stali z wykorzystaniem ww. technologii [20]
Zalety	możliwość wytopu stali z rud i koncentratów (nie tylko ze złomu stalowego)	możliwość zastosowania wodoru oraz eliminacja paliw kopalnych (węgla, gazu itp.) [8, 11, 31]

[Opracowanie własne].

i odwrotnie. Były to stacje rozbudowane podczas okupacji niemieckiej oraz funkcjonowania tymczasowej granicy niemiecko-sowieckiej w latach 1939–1941 (tzw. IV rozbiór Polski, w konsekwencji paktu Ribbentrop-Mołotow). Na początku lat 50. XX w. odbiorcami rudy żelaza były, poza hutami na Górnym Śląsku, także wówczas nowe kombinaty metalurgiczne w Krakowie czy Warszawie.

Z powodu znacznego ciężaru właściwego (około 4 t/m³), ruda żelaza może być przewożona tylko w niewielkiej części ładunkowej wagonów typu Eaos, aby nie przekroczyć dopuszczalnego nacisku osi. Zakładając nacisk osi równy 20 t, przy masie własnej wa-

gonu 20 t, masa ładunku nie może przekroczyć 60 t, czyli 15 m³. Dla wagonu Eaos o objętości ładunkowej 72 m³, oznacza to wykorzystanie niecałych 20% objętości (przy milczącym założeniu, iż ładunek doładnie do siebie przylega, co nie jest ściśle prawdą). Zatem logiczne okazało się zaprojektowanie wagonu (typu Eamos i Eams) o zmniejszonej objętości ładunkowej do 30 m³, które mogły być wykorzystane bardziej efektywnie. Podobnych wagonów wyprodukowano dla PKP około 8 tys. w latach 1961–1973 [33]. Pociągi z rudą o masie brutto 3200 t standardowo były prowadzone przez lokomotywę ET22 i zestawione z około 40 wagonów Eamos (rys. 11 i 12) oraz

kursowały umownie pomiędzy Medyką i hutą żelaza w Krakowie, ewentualnie z hutami na Górnym Śląsku, czy Małaszewiczami i hutą w Warszawie. Z powodu konieczności rozmrażania rudy żelaza w porze zimowej konieczne było uruchomienie rozmrażalni rudy (6-stanowiskowej, terminal VI w Medyce, rys. 13), gdzie przetaczano całe pociągi [14]. Proces rozmrażania trwał około 12 godzin, a rozmrażalnia była opalana gazem ziemnym – gorące gazy spalinowe były kierowane na rudę, co powodowało rozmrażanie. Masa przeładowywanej rudy żelaza wynosiła około 7,5 mln t (1960 r.). Niekiedy do transportu rudy stosowano wagony SŻD (rys. 14 i 15), w których wymieniano wózki na normalnotorowe. W celu połączenia wagonów SŻD z lokomotywami PKP stosowano wagony ochronne Eaos wyposażone w oba rodzaje sprzęgów – samoczynny SA-3 i śrubowy UIC na każdym końcu wagonu. Podnośniki Kutruffa do wymiany wózków były zamontowane na stacjach Medyka oraz Małaszewicze [24]. Ruda żelaza była przeładowywana grawitacyjnie na dwupoziomowych stanowiskach przeładunkowych – na górny poziom wjeżdżały wagony szerokotorowe, w których zwalniano blokadę podłogi powodując wysypywanie zawartości na dolny plac ładunkowy (rys. 16).



Rys. 11. ET22-114 z wagonami typu Eaos z rudą żelaza na odcinku Munina – Jarosław na LK 91 (24.12.2007 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 12. Wagonami typu Eaos na stacji Żurawica (16.09.2016 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 13. Rozmrażalnia rudy żelaza na stacji Medyka (28.07.2015 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 14. Węglarki serii 12-753 i 12-132 (1520 mm) na stacji Sędziszów LHS (11.06.2016 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 15. Wagonami typu Eaos (1435 mm) i serii 12-753 (1520 mm) na stacji Medyka (28.07.2015 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 16. Stanowisko do rozładunku grawitacyjnego rudy żelaza na stacji Medyka (28.07.2015 r.) [fot. M. Graff]

Po wybudowaniu w 1979 r. Linii Hutniczej Szerokotorowej (LHS, LK 65) o długości 394,650 km, znaczna część rudy żelaza przywożona z kierunku wschodniego została przekierowana na nową linię, odcinając dotychczas używaną linię – LK 91 [16]. Nie było także konieczności rozmrażania rudy w zimie, ponieważ na stacji granicznej Hrubieszów LHS wymieniano tylko lokomotywy (2M62 → ST44). Natomiast ruda żelaza była rozładowywana dopiero na stacji końcowej w Dąbrowie Górniczej (Baza Przeładunku Rud Huty Katowice) z użyciem wywrotnic, skąd była transportowana taśmociągami do dawnej huty Katowice (rys. 17 i 18).



Rys. 17. Węglarka serii 12-753 (1520 mm) przygotowana do rozładunku rudy żelaza na wywrotnicy w Bazie Przeładunku Rud Huty Katowice, Dąbrowa Górnicza / ArcelorMittal Poland (25.06.2016 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 18. Hala wyposażona w wywrotnice do rozładunku rudy żelaza na terenie Bazy Przeładunku Rud Huty Katowice, Dąbrowa Górnicza / ArcelorMittal Poland (25.06.2016 r.) [fot. M. Graff]

W Polsce po 1989 r. zapotrzebowanie na rudę żelaza i stal wprawdzie zmniejszyło się, ale nie zniknęło. Utrzymano wschodni kierunek importu, przy czym nie był to już Związek Sowiecki, tylko Ukraina. Logicznym było przewożenie rudy po LHS, zwłaszcza, iż LK 65 została w tym celu zbudowana. Poza tym, wyeliminowanie przeładunku na stacjach granicznych zmniejszało koszty: brak konieczności zatrudnienia wielu osób (koszty pracy fizycznej wzrosły po 1989 r.), potrzeby infrastruktury przeładunkowej, urządzeń typu koparki, ładowarki, czy rozmrażalni rudy cena gazu ziemnego znacznie wzrosła po 1989 r.⁴. Ukraina jest obecnie głównym dostawcą rudy żelaza do Polski (transport jest wykonywany koleją), a pomniejszymi dostawcami jest m.in. Liberia (do 2023 r. była także Rosja). Wolumen importu wynosi niecałe 8 mln t rud i koncentratów (z Ukrainy pochodzi około 6 mln t). Import z Liberii różni się tym od importu z Ukrainy, iż jest realizowany statkami, a w porcie (np. Gdańsk Port Północny, Świnoujście) ruda jest przeładowywana do wagonów kolejowych i przewożona do hut. Polska także importuje stal surową czy surówkę żelaza, zatem sumaryczne zapotrzebowanie na stal jest wyższe (15–16 mln t) niż pokazuje to wolumen produkcji stali surowej. Import może być realizowany przykładowo z Rosji, Białorusi, Serbii, Chin, Turcji, gdzie np. cena gazu ziemnego jest niższa (Rosja, Białoruś), ewentualne koszty pracy, co znacząco wpływa na cenę końcową. Znaczenie ma także brak ponoszenia kosztów emisji CO₂. Dodatkowo stal może być importowana z krajów UE, gdzie moce wytwórcze hut są określone na 210 mln t, a obecny wolumen produkcji to 152 mln t, zatem rezerwa wynosi 50 mln t (2022 r.) [26].

5.1. Port Północny w Gdańsku

Terminal w Porcie Północnym w Gdańsku [32] jest wyposażony w pirsy rudowe i węglowe o długości po 15 m, co umożliwia podjęcie największych masowców o długości do 300 m. Zatem jest możliwe, także dzięki nowoczesnym urządzeniom przeładunkowym, uzyskanie raty przeładunkowej o wartościach:

- węgiel: 25 tys. t/doba, ewentualnie maksymalnie 9,1 mln t rocznie (wydajność teoretyczna);
- ruda żelaza: 22 tys. t/doba, ewentualnie maksymalnie 8 mln t rocznie (wydajność teoretyczna).

⁴ Polska i Rosja przed 1991 r. dokonywały rozliczeń w tzw. rublach transferowych, waluty istniejącej tylko w zapisach księgowych, z nieprecyzyjnym kursem wymiany. Po 1991 r. zdecydowano się przejść na rozliczenia w USD, przy czym cena gazu ziemnego z importu systematycznie rosła – od < 50 USD / 1 tys. m³ przed 1991 r., poprzez 100 USD w połowie lat 90. XX w. do 300-400 USD / 1 tys. m³ po 2000 r.

Zastosowana technologia przeładunku: żurawie portowe, taśmociągi oraz urządzenia, pozwalają osiągać wysokie parametry przeładunku:

- zautomatyzowany system taśmociągów: 3800 t/h;
- 3 żurawie portowe Liebherr LPS 600 – udźwig: 60 t;
- 4 ładowarko-zwałowarki: 3800 t/h.

W obrębie portu znajdują się utwardzone place składowe oraz urządzenia przeładunkowe, co umożliwia składowanie 1,4 mln t ładunków. Do przeładunku rudy i węgla są używane własne maszyny lub pojazdy:

- ładowarki kołowe: 11 × CAT 988/Volvo L350, 7 × CAT 966/Volvo L150;
- koparki: 3 × CAT 320/325, 2 × Volvo EC480, 1 × Volvo EC300;
- spychacze: 3 × CAT D9.

Ponadto, wyposażenie kolejowe Portu Północnego stanowią także:

- bocznic kolejowa z własną nastawnią;
- 4 lokomotywy;
- rampa przeładunkowa z wagą kolejową;
- zautomatyzowana załadownia wagonów;
- zautomatyzowana wywrotnica wagonów;
- możliwość załadunku 11 pociągów na dobę.

Dodatkowo stosowany jest transport kołowy, którego zakres stanowi m.in:

- 11 ładowarek kołowych;
- 2 wagi samochodowe;
- skomputeryzowany system awizacji i ważenia;
- możliwość załadunku 400 samochodów na dobę.

Wdrożono zautomatyzowany system zapobiegania nadmiernemu pyleniu (system stacjonarnych zraszaczy):

- mobilne zraszanie;
- 2 × zamiatarki placów składowych oraz przyległych dróg;
- myjnia kół.

5.2. Port w Świnoujściu

OT Port Świnoujście [30] świadczy usługi przeładunkowo-składowe dla ładunków masowych, m.in. takich jak „masowe agro”: zboża, śruta i pasze, biomasa, koks, węgiel, ruda żelaza, kruszywa, nawozy. Roczna zdolność przeładunkowa ładunków maso-

wych wynosi 7 mln t. Obsługa ładunków masowych i agro odbywa się na nabrzeżach: Górników, Hutników i Chemików (tabl. 7).

6. Huty żelaza w sąsiednich krajach – Słowacji, Węgrzech i Rumunii

Po 1945 r., w krajach Europy Środkowej, w których podobnie jak w Polsce, został narzucony system komunistyczny, rozbudowano stacje przeładunkowe na granicy wschodniej (Polska, Czechosłowacja), a także północnej (Rumunia, Węgry) w celu usprawnienia wymiany handlowej – głównie surowcowej (ropy naftowej⁵, węgla kamiennego, rud metali itp.). Analogicznie jak w Polsce, także zdecydowano się na budowę nowych hut żelaza z powodu forsownego rozwoju przemysłu ciężkiego oraz związanej z tym dodatkowej infrastruktury przeładunkowej, czy nowej linii szerokotorowej (analogia do LHS).

• Czechosłowacja (obecna Słowacja)

Na przełomie lat 40. i 50. XX w. rozbudowano stację graniczną ČSD Čierna nad Tisou jako styczną ze stacją SŽD Czop (do czasu uzyskania pełnej przepustowości korzystano m.in. ze stacji w Medyce). Stacją graniczną SŽD, obecnie UZ jest stacja Czop, która zapewnia połączenie nie tylko ze Słowacją, ale także z Węgrami przez stację Záhony. W latach 1951–1955, linię Koszyce – Čierna nad Tisou rozbudowano do dwutorowej (98,75 km), a w latach 1961–1962 zelektryfikowano napięciem 3 kV DC. Centralne władze Czechosłowacji zdecydowały się zbudować nowe zakłady przemysłu ciężkiego na terenie obecnej Słowacji, która była wówczas raczej rolniczym regionem w porównaniu do przemysłowych Czech. Jednym z nich była huta żelaza w Koszycach (słow. *Východoslovenské železiarne Košice, VŽK*) zbudowana w latach 1960–1964 (wytwarzanie surówki stali rozpoczęto w 1965 r.) o obecnej wydajności 4,0 mln t stali rocznie (rys. 19, 20) [29]. W listopadzie 2000 r. po wielu perypetiach związanych z tzw. prywatyzacją kuponową oraz poszukiwaniem inwestora, zakład stał się własnością U.S. Steel (*United States Steel Corporation*) za kwotę 340 mln USD. Wskutek poprawy zarządzania oraz nowych rynków zbytu, huta przestała przynosić straty, co było wręcz trwałą cechą tego zakładu w latach 90. XX w. Ponieważ ruda że-

⁵ Pierwsze rurociągi do przesyłania ropy naftowej ze Związku Sowieckiego uruchomiono w 1964 r. (Družba), a gazociągi w 1970 r. (Orenburski) i 1976 r. (Sojuz) w celu przesyłania gazu ziemnego do tzw. bratnich krajów oraz do Niemiec Zachodnich, które przekazały m.in. rury oraz sprężarki gazowe o określonej wydajności (Związek Sowiecki nie dysponował wówczas technologiami ich produkcji).

Tablica 7

Charakterystyka Portu Świnoujście

Nabrzeże	Parametry	Wyposażenie
Górników	- długość nabrzeża – 331,5 m; - maksymalne zanurzenie – 13,50 m; - powierzchnia składowa – 124 tys. m²; - obsługiwane ładunki: węgiel, biopaliwa, kruszywa, drobnica, sztuki ciężkie, kontenery. W sąsiedztwie Nabrzeża znajduje się nabrzeże pomocnicze do obsługi barek o maksymalnym zanurzeniu 4,50 m i długości 156,5 m.	- ciąg przenośników taśmowych o łącznej długości około 7 km, łączących nabrzeże z placami składowymi, o wydajności 2 tys. t/h; 2 żurawie LIEBHERR LHM 550 DOR = 124 t o wydajności 1 tys. t/h; 2 żurawie bramowe stacjonarne o udźwigu 10 t i wydajności 120 t/h; - urządzenia załadunkowe statków o wydajności 25 tys. t/oba; - załadownia wagonów o wydajności < 10 tys. t/doba; - place składowe o łącznej powierzchni 124 tys. m², na których można złożyć jednorazowo < 0,7 mln t węgla; - place są wyposażone w zwałowarko-ładowarki, pracujące z wydajnością do 1 tys. t/h każda; 2 wywrotnice wagonów o wydajności < 20 tys. t/doba.
Hutników	- długość nabrzeża – 284,4 m; - maksymalne zanurzenie – 13,20 m; - powierzchnia składowa placów – 48 tys. m²; - pojemność składowa magazynów – 85 tys. t; - obsługiwane ładunki: ruda żelaza, kruszywa budowlane.	2 suwnice bramowe chwytakowe o udźwigu Q = 20 t, wydajność suwnic przy obsłudze statków typu PANAMAX wynosi < 20 tys. t/doba; 23 przenośniki taśmowe ciągu technologicznego o łącznej długości 2,5 tys. m; - place składowe z magazynami o powierzchni około 64,2 tys. m².
Chemików	- długość nabrzeża – 328,7 m; - maksymalne zanurzenie – 13,20 m; - powierzchnia składowa – 127 tys. m²; - obsługiwane ładunki: węgiel, ruda żelaza, kruszywa, drobnica, kontenery. Na nabrzeżu znajduje się plac składowy o pojemności 9866 m², którego pojemność dla rudy żelaza wynosi 65 tys. t, dla kruszywa 40 tys. t, a maksymalne obciążenie placu wynosi 18 t/m². Na Nabrzeżu usytuowany jest także Terminal przeładunku paku płynnego DEZA POLSKA. Pojemność zbiorników wynosi 7 tys. m³.	- suwnica bramowa o udźwigu Q = 25 t i wydajności 720 t/h; - suwnica bramowa o udźwigu Q = 40 t i wydajności 840 t/h; - suwnica kontenerowa o udźwigu Q = 68 t i wydajności 40 ruchów/h. W dalszej części znajdują się place składowe o łącznej powierzchni 117 tys. m² oraz magazyn kryty o powierzchni 5,8 tys. m².

Opracowanie własne na podstawie [32].

laza importowana ze Związku Sowieckiego była także przewożona do hut w Ostrawie i Kladnie w obecnych Czechach, przepustowość stacji Čierna nad Tisou szybko zaczęła się wyczerpywać.

Zatem do VŽK zbudowano jednotorową, szerokotorową linię kolejową tzw. Širokorozchodná trať (87,159 km) biegnącą z Užhorodu (obecna Ukraina) przez Maťovce do stacji Haniska pri Košiciach położoną na południe od miasta [13]. Przewozy po linii rozpoczęły się w latach 1965–1966. Z powodu znacznych pochyłości terenowych (17‰) oraz ciężkich pociągów z rudą żelaza (4000 t), zdecydowano wycofać 3–4 lokomotywy spalinowe serii M62 do prowa-

dzenia składów (oraz 1–2 lokomotywy popychające na trudnych odcinkach) i w lutym 1978 r. linię zelektryfikowano (3 kV DC). Ruda żelaza była importowana z obecnej Ukrainy – zagłębia Krzywego Rogu oraz okolic Kurska w Rosji. Do prowadzenia pociągów załadowanych rudą żelaza, w 1975 r. zakłady Škoda dostarczyły 22 dwuczłonowe lokomotywy serii E 469.5 / 125.8 (typ 67E). Podobnie jak na LHS w Polsce, nie pozyskano własnych wagonów szerokotorowych, lecz korzystano z wagonów SŽD, obecnie UZ czy RŽD (do 2023 r.). W przeciwieństwie do LHS, gdzie przewożono m.in. siarkę czy węgiel eksportowy, po ŠRT transportowano wyłącznie rudę żelaza z importu.



Rys. 19. Huta USS Steel Koszyce, Słowacja: a)–d) etapy procesu wytwarzania stali, d) ogólny widok na Hutę USS Steel Koszyce [fot. P. Zubek / USS Steel Koszyce]



Rys. 20. Ruda żelaza, Huta USS Steel Koszyce, Słowacja [fot. USS Steel Koszyce]



Rys. 21. Stanowisko do rozładunku grawitacyjnego rudy żelaza na stacji Eperjeske alsó, Węgry (4.09.2022 r.) [fot. M. Graff]

• Węgry

Stacja Záhony oraz kompleks przeładunkowy Eperjeske (rys. 21) powstały po 1945 r. w celu usprawnienia wymiany handlowej ze Związkiem Sowieckim. Choć na Węgrzech także rozbudowano przemysł ciężki, jednak tradycyjnie w tym kraju był rozwinięty przemysł metalurgii aluminium związany z dostępnością boksytów – rud tego metalu^{6,7}. Zatem nie zdecydowano się na budowę nowych hut żelaza ani linii szerokotorowych do transportu rud żelaza. Obecnie na Węgrzech funkcjonuje jedna huta żelaza w mieście Dunaújváros położonym około 60 km na południe od Budapesztu, wytwarzająca raczej niewielkie wolumeny stali surowej (1,6 mln t rocznie). Huta jest wyposażona w 2 wielkie piece i 2 konwertory oraz zatrudnia 4,5 tys. osób [23, 25]. W lipcu 2023 r. Liberty Steel (*Liberty Steel Group Holdings UK Ltd.*) kupił zakład za kwotę 55 mln euro. Wprawdzie w Miskolcu w północno-wschodnich Węgrzech funkcjonował przemysł ciężki (pierwsze huty żelaza powstały jeszcze w XVIII w.), jednak w latach 90. XX w. produkcję drastycznie zmniejszono, co skutkowało wysokim bezrobociem w regionie. W przemyśle metalowym zatrudniano wówczas około 18 tys. osób oraz wytwarzano >1 mln t stali.

• Rumunia

W mieście Gałaczu funkcjonuje huta żelaza importująca rudę żelaza z obecnej Ukrainy. Decyzję o budowę huty (rum. *Combinatul Siderurgic Galați*), centralne władze Rumunii podjęły w 1960 r., co spotkało się z niechęcią strony sowieckiej, która traktowa-

ła kraje południowe, takie jak Bułgaria czy Rumunia, raczej jako zagłębienie rolnicze niż lokalizacje nowych ośrodków przemysłowych (za takie uważano Czechosłowację czy wschodnie Niemcy). Strona rumuńska była jednak nieugięta i zbudowała hutę (rys. 22), która rozpoczęła pracę w kwietniu 1963 r. i stała się największym kombinatem metalurgicznym w Rumunii [5]. Lokalizacja w Gałacz nie była przypadkowa – miasto leży w sąsiedztwie granicy – wcześniej ze Związkiem Sowieckim, obecnie z Ukrainą i Mołdawią, zatem przeładunek importowanej rudy żelaza oznaczał tylko rozbudowę sieci szerokotorowej w rejonie przygranicznym, bez konieczności przeładunku do wagonów normalnotorowych, nie wspominając o kosztowej budowie nowej linii szerokotorowej, jak w Polsce lub Czechosłowacji [15]. W latach 1968–1972 hutę rozbudowano i zatrudniono 40 tys. osób (wraz z zakładami – kooperantami w liczbie 50 tys. osób). Po 1989 r. oraz zmianie ustroju polityczno-gospodarczego zakład zrestrukturyzowano, poszukując jednocześnie inwestora. W 2001 r. hutą zainteresował się Mittal Steel Company, który w 2004 r. zdecydował się przejąć zakład nazwany ArcelorMittal Galați. Proces zakupu i późniejszej restrukturyzacji kombinatu w latach 2006–2008 na tle innych hut metali w Rumunii był przeprowadzony wręcz modelowo. Wolumen wytwarzanej stali wynosił w 2011 r. 3,5 mln t rocznie. Mittal Steel Company znacznie zredukował zatrudnienie z 18,5 tys. osób (2004 r.) do 5,1 tys. (2019 r.). Nowym właścicielem zakładu w 2019 r. został inny podmiot z Indii – Liberty House Group, spółka-córka GFG Alliance za kwotę 740 mln euro [22, 34].

⁶ Duża huta aluminium znajduje się w Székesfehérvár, która jest największym zakładem w Europie wytwarzającym konstrukcje aluminiowe z 6 liniami technologicznymi i możliwością powlekania powierzchni oraz 300 maszynami do produkcji.

⁷ Wykorzystując ów fakt, koncern Stadler zleca produkcję aluminiowych pudeł do produkowanych pojazdów podwykonawcom na Węgrzech.



Rys. 22. Huta żelaza w Gałaczu / ArcelorMittal Galați, Rumunia (10.01.2010 r.) fot. Felix O / Wikimedia Commons

- **Zagłębie surowcowe oraz huta żelaza w Krzywym Rogu na Ukrainie**

Większość rudy żelaza eksportowanej do Polski, Słowacji, Węgier czy Rumunii pochodzi z Ukrainy. Surowiec jest wydobywany w Krzyworskim Zagłębiu Rud Żelaza we wschodniej Ukrainie na obszarze obwodu dniepropietrowskiego, ze wskazaniem rejonu miasta Krzywy Róg jako centrum. Wydobywanie jest realizowane metodami zarówno odkrywkowymi, jak i głębinowymi (rys. 23 i 24). Występują złoża rudy o dużej zawartości żelaza około 65% (zasoby około 2 mld t) i rudy o zmniejszonej zawartości żelaza 25–45% (zasoby około 19 mld t). Wydobywanie rozpoczęło w 1881 r. [18]. Poziom wydobywania podlegał wahaniom – w 1940 r. wynosił 19 mln t, w 1959 r. – 47 mln t, maksymalny poziom osiągnięto w 1978 r. – 120 mln t, minimalny zaś w 1997 r. – 10 mln t [7]. Obecnie jest wydobywane 50 mln t rudy rocznie, w tym 37 mln t metodą odkrywkową. Na początku XXI wieku w zagłębiu działało 9 kopalń i 5 zakładów górniczo-przetwórczych [9]. Sumarycznie, od początku rozwoju przemysłu w Krzyworskim Zagłębiu Rud Żelaza wydobyto 5,5 mld t rudy żelaza. Do przetwarzania rudy wybudowano wielką hutę Kriworizstal uruchomioną w 1934 r. podczas stalinowskiej industrializacji [17]. Zakład był sukcesywnie rozbudowywany i ostatni wielki piec – nr 9 uruchomiono w 1974 r. W 2005 r. huta wyprodukowała ponad 6 mln t stali surowej, 5 mln t wyrobów walcowanych i 5,5 mln t surówki [27]. W 2006 r. po prywatyzacji przeprowadzonej pod ręcznikowo, nowym właścicielem kombinatu stał się ArcelorMittal (*ArcelorMittal Kryvyi Rih*), który za kwotę 4,8 mld USD kupił zakład, a za kolejne 5,2 mld USD wydane w latach 2006–2022 przeprowadził modernizację zakładu [3]. Zatem:

- zmodernizowano baterie koksownicze nr 3 oraz 4 (199 mln USD);
- przebudowano wielki piec nr 8 (127 mln USD);
- zbudowano piec kadziowy i maszyny do ciągłego odlewania stali nr 1 (112 mln USD);
- przebudowano wielki piec nr 6 (117 mln USD);

- zbudowano system wtrysku pyłu węglowego w wielkim piecu nr 9 (60 mln USD);
- zmodernizowano baterie koksownicze nr 5 i 6 wraz z wdrożeniem środków ochrony środowiska, a także zautomatyzowanego systemu monitorowania środowiska (157 mln USD);
- zmodernizowano spiekalnię nr 2 (ponad 180 mln USD);
- zbudowano 2 nowe maszyny do ciągłego odlewania stali nr 2 i 3 (> 160 mln USD);
- przebudowano walcownię lekką 250-4 (> 60 mln USD);
- zbudowano nowe instalacje do oczyszczania gazów dla konwertorów nr 4, 5 i 6 z wykorzystaniem spalania CO oraz wdrożono zautomatyzowany system monitoringu środowiska (65 mln USD).



Rys. 23. Kopalnia odkrywkowa rudy żelaza Północna, Krzywy Róg, Ukraina (24.03.2002 r.) [fot. geka_b / Wikimedia Commons]



Rys. 24. Kopalnia głębinowa rudy żelaza im. Frunze, Krzywy Róg, Ukraina (19.12.2017 r.) [fot. Sukhabalka / Wikimedia Commons]

W latach 2008–2015 zainwestowano około 500 mln USD w: modernizację starych kruszarek, budowę nowych sekcji w zakładach wzbogacania (łącznie

nie trzech sekcji), zakup nowych młynów kulowych, modernizację parku transportowego i maszyn wewnętrznyrobiskowych, otwarcie nowego szybu w kopalni głębinowej Artem (1135 m) oraz zrekonstruowanie stawów osadowych.

W lutym 2022 r. rosyjska inwazja na Ukrainę spowodowała, że ArcelorMittal Krzywy Róg tymczasowo wstrzymał kilka dużych inwestycji, w tym budowę zakładu produkcji peletu, którego otwarcie pierwotnie planowano w 2023 r. Huta realizuje obecnie tylko inwestycje, które są niezbędne dla utrzymania produkcji. Uczyniono wyjątek jedynie dla tych inwestycji, bez których produkcja mogłaby zostać całkowicie wstrzymana. Przykładem jest budowa nowego składowiska odpadów poflotacyjnych „Tretja Karta”, które ma kluczowe znaczenie dla kontynuacji wydobywania rudy i bezpiecznego składowania odpadów produkcyjnych. Uruchomienie nowego składowiska umożliwi likwidację dwóch podobnych obiektów i zmniejszenie antropogenicznego obciążenia pobliskich terenów. Holding ArcelorMittal przeznaczył na to zadanie ponad 150 mln USD.

Od września 2024 r. ArcelorMittal Kryvyi Rih planuje kontynuować działalność pomimo obecnych wyzwań związanych ze spadkiem cen rudy żelaza i stagnacją na europejskim rynku stali. Kolejną przeszkodą jest kampania mobilizacyjna na Ukrainie, ponieważ ponad 3000 pracowników wstąpiło do Sił Zbrojnych Ukrainy, z których 233 uważa się za poległych lub zaginionych.

7. Wyroby stalowe dla kolejnictwa – na przykładzie asortymentu oferowanego przez ArcelorMittal Poland

ArcelorMittal Poland oferuje szeroki asortyment wyrobów dla pojazdów szynowych – kolei, tramwajów i tym podobne [2]:

- szyny kolejowe;
- szyny tramwajowe;
- szyny dźwigowe;
- szyny pośrednie i wąskotorowe;
- akcesoria szynowe.

7.1. Szyny kolejowe

Szczegółowo, są produkowane szyny oraz akcesoria dla systemów kolejowych (klasycznych i dużych prędkości), przemysłowych, tramwajowych, dźwigowych, wąskotorowych oraz akcesoria w szerokim asortymencie. Jakość wytwarzanych wyrobów spełnia wymagane normy polskie i europejskie:

- szyny o różnej masie: od 40 kg/m do 80 kg/m;
- szyny wykonane z rozmaitych gatunków stali zgodnie ze standardami międzynarodowymi lub

na podstawie specyfikacji technicznych samych klientów; zarówno do budowy nowych linii, jak i do modernizacji już istniejących;

- możliwość wykonania każdego nowego typu szyny (dla zamówień > 4000 t);
- szyny o wąskim zakresie tolerancji wymiarowych dla szybkiej kolei;
- szyny jednoczęściowe o długości jednostkowej < 120 m;
- długie szyny, spawane (< 288 m);
- szyny asymetryczne.

Zatem wśród asortymentu szyn produkowanych przez ArcelorMittal Poland można wyróżnić:

1. Oferowane są także szyny dla systemów komunikacji miejskiej i podmiejskiej, gdzie linie często przebiegają przez nierówny teren, na którym występują zakręty i różnice wysokości. Poza tym, odcinki hamowania oraz przyspieszania są stosunkowo krótkie.
2. Szyny używane na liniach do przewozu ciężkich ładunków (tj. o dużym nacisku osi) to szyny o dużej odporności na zmęczenie materiału i usterki spowodowane zużyciem, wyprodukowane ze stali o dużej twardości, czyste metalurgicznie (o minimalnej zawartości szkodliwych domieszek) lub szyny z hartowaną główką. Szyny hartowane powstają w systemie hartowania główki (HH) opartym na kontrolowanym chłodzeniu strumieniem wody. Wykorzystywane są kontrolowane strumienie wody do rozproszenia ciepła w stali na kolejnych etapach w celu uzyskania struktury całkowicie perlitycznej, idealnie dostosowanej do właściwości metalurgicznych podobnego typu szyn. Temperatury wejścia i wyjścia decydują o optymalnym zakresie dla zapewnienia całkowicie perlitycznej struktury na całej długości szyny. Ponadto, utajone ciepło wytwarzane podczas walcowania umożliwia zmniejszenie zużywanej energii w procesie. Ponieważ system jest zintegrowany w linii produkcyjnej, układ hartowania główki szynowej jest związany z minimalnymi wymaganiami w zakresie obsługi. Prowadzi to również do większej elastyczności w odniesieniu do przyszłych modyfikacji procesu produkcyjnego, jak np. wytwarzania dłuższych szyn.
3. Szyny dla szybkiej kolei (uzyskiwane prędkości 300–350 km/h) muszą spełniać parametry takie jak: maksymalna trwałość, dokładność geometryczna, płaskość, tolerancja i najwyższa jakość dostępna na rynku. Poza tym, jest wymagana: trwałość i efektywność kosztowa, a także minimalne oddziaływanie akustyczne. Całość jest osiągnięta przez parametry techniczne takie jak:
 - odpowiednia mechanika pękania;
 - jednorodność chemiczna, mechaniczna oraz strukturalna;
 - jednolitość wymiarów;

- brak wad powierzchniowych i wewnętrznych;
- uderność, odporność na zużycie i zmęczenie materiału;
- niskie naprężenia szczątkowe;
- spawalność.

7.2. Szyny tramwajowe

Produkowane są także szyny dla systemów tramwajowych, takie jak szyny rowkowe, Vignole i blokowe zgodnie z normą EN 14811. W celu zwiększenia żywotności szyn rowkowych, do produkcji jest używana stal o niskiej zawartości węgla z dodatkiem wanadu (LCV), które poprawiają trwałość szyn i przedłużają ich żywotność. Pozwala to na:

- realizację napraw metodą napawania;
- ułatwia naprawy i utrzymanie;
- spawanie jest zgodnie z normą EN 16771;
- zwiększenie odporności na zużycie i pękanie;
- obniżenie kruchości.

7.3. Szyny dźwigowe

Szyny dźwigowe oferowane są dla systemów portowych i przemysłowych w ponad 30 różnych przekrojach, w tym wykonanych ze stali w gatunku R340, która gwarantuje wytrzymałość na rozciąganie i twardość wynoszące odpowiednio $> 1150 \text{ N/mm}^2$ i $> 340 \text{ HB}$. Produkowane szyny spełniają wymagania międzynarodowych norm ISO 9001, 14001 i 18001, a także międzynarodowej sieci jednostek IQNet zajmujących się oceną i certyfikacją systemów jakości. Możliwa jest także współpraca z klientami przy opracowywaniu nowych i/lub specjalnych szyn i wyrobów dostosowanych do wymagań klientów, w tym maksymalnej wytrzymałości zmęgniowej na działanie dużych obciążeń. W celu minimalizacji wad wewnętrznych, szyny przechodzą automatyczne badania ultradźwiękowe.

7.4. Szyny pośrednie i wąskotorowe

Szyny pośrednie są produkowane dla podziemnych systemów górniczych oraz jako specjalne rozwiązanie transportu lekkiego, takie jak: ASCE 60, ASCE 80 i ASCE 85. Szyny pośrednie i wąskotorowe o masie od 18 kg/m do 40 kg/m są przeważnie stosowane pod ziemią w kopalniach, a także w środowiskach przemysłowych. Szczegółowo, są oferowane:

- profile europejskie: S18, S20, S24, S30, S31, S39, S41A, ANFOR26, ANFOR36 i BS80A;
- profile amerykańskie: ASCE 60, ASCE 80 i ASCE 85;
- szyny prowadzące RG28;
- szyny prądowe STR40 i STR74.

Poza tym, producent oferuje szeroki wachlarz operacji wykańczania szyn, takich jak: wiercenie, cię-

cie pod kątem, cięcie na długość, powlekanie, frezowanie, gięcie, specjalne pakowanie oraz inne, na życzenie klienta.

7.5. Akcesoria szynowe

Produkowane są akcesoria szynowe, do których zalicza się:

- podkładki żebrowe z kształtowników: KRph6, KRph1, KRp01/01, KSRp1(g);
- podkładki żebrowe, w tym typu Rus: RpI-20/4, Pza16, Pzb16A, Pzb18B, BL3A, PT180-160, Pza49A, P39, Ps49A, Ps60-112, Pm49, Pm60;
- łubki: Ł49, Ł49-900/6, Ł49d, Ł49d-263, Ł60, Ł60-940/6, Ł39, Ł49-545/28, FI 14c, FI 14a, FI 30;
- łapki: Łp2, Łp3, Łp5, Kpo6;

oraz **kształtowniki do rozjazdów kolejowych:**

- iglicowe: 49 E1A3, 60 E1A6;
- klockowe: 49 E1F2, 60 E1F2.

8. Wnioski

Wprawdzie produkcja stali w Polsce po 1989 r. zmniejszyła się z 20 mln t do 7–8 mln t (maksymalnie 10 mln t), to obecny poziom pozostaje stabilny. Po przejęciu w 2005 r. kilku dużych hut żelaza przez hinduskiego inwestora ArcelorMittal, zakłady zostały unowocześnione oraz mają zapewnione rynki zbytu dla własnej produkcji. Hinduski inwestor dysponuje także innymi hutami żelaza w Europie Środkowo-Wschodniej oraz kopalniami rudy na Ukrainie, zatem kontroluje cały cykl – od wydobycia, przez przerób, aż do wytwarzania gotowych wyrobów stalowych. LHS zbudowana w 1979 r. w warunkach gospodarki planowej, nadspodziewanie dobrze funkcjonuje w obecnej gospodarce rynkowej oraz pozwala utrzymać import rudy żelaza do Polski w akceptowalnym wolumenie.

Zdecydowana większość rudy żelaza czy koncentratów przerabianych w Polsce pochodzi z Ukrainy, a transport jest realizowany koleją. W przypadku zmiany okoliczności jest możliwy import rudy żelaza drogą morską – porty w Gdańsku i Świnoujściu są do tego technicznie przygotowane, choć jest to rozwiązanie droższe. Obecnie problemem hutnictwa stali w Polsce pozostają ceny energii elektrycznej oraz opłaty za emisję CO₂, co skłoniło ArcelorMittal do ograniczenia produkcji stali, w tym wygaszenia kilku wielkich pieców.

Literatura

1. Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members, International Energy Agency, May 2022.
2. ArcelorMittal Kryvyi Rih, WWW <https://rails.arcelormittal.com/pl/produkty/> [dostęp 07.04.2026].

3. ArcelorMittal Kryvyi Rih, WWW <https://ukraine.arcelormittal.com/en/index.php> [dostęp 07.04.2026].
4. Biniek T.: *Służby inwestycyjne Nowej Huty*, Towarzystwo Słowaków w Polsce, Kraków, 2009.
5. Creșterea și descreșterea Combinatului Siderurgic Galați. S-au împlinit 45 de ani de când Ceaușescu a tăiat panglica 28.11.2011, WWW <https://adevarul.ro/stiri-locale/galati/cresterea-si-descresterea-combinatului-siderurgic-1027056.html> [dostęp 07.04.2026].
6. De Ras K. et.al. *Carbon capture and utilization in the steel industry: challenges and opportunities for chemical engineering*, *Current Opinion in Chemical Engineering*, 2019.
7. Dowhyj S.O. et.al. *Kryteriji ekolohicznoji i heolohoe-ekonomicznoji ocinky ta mineralohija widchodiw hirnyczo-metalurhijnoho kompleksu Krywbasu: monohrafija / NAN Ukrainy, In-t telekomunikacij i hlobal. inform. prostoru.* – Kyjiv: Nika-Centr, 2013, 228 s.
8. Fossil-free steel production ready for industrialization HYBRIT: SSAB, LKAB and Vattenfall (fossil-free steel), 2024.
9. Gabzdyl W.: *Geologia złóż*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1999.
10. Gajdziński P.: *Gierek. Człowiek z węgla*, Wydawnictwo Poznańskie Poznań, 2013.
11. Gillingham K. et.al.: *New frontiers in research on industrial decarbonization. Research is needed to quantify impacts and understand interactions with the broader economy* Science 338, 23 October 2025.
12. Gospodarka surowcami mineralnymi w Polsce w latach 2014–2023, Praca zbiorowa pod redakcją E. Lewickiej i A. Burkowicz, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków, 2024.
13. Graff M., Štefek P.: *Komunikacja kolejowa na pograniczu słowacko-węgiersko-ukraińskim*, Technika Transportu Szynowego, 2018, nr 11.
14. Graff M.: *Komunikacja kolejowa pomiędzy Polską i Ukrainą*, Technika Transportu Szynowego, 2017, nr 7–8.
15. Graff M.: *Komunikacja kolejowa pomiędzy Rumunią oraz Związkiem Radzieckim (1945–1991) / Ukrainą i Mołdawią (po 1991 roku)*, Technika Transportu Szynowego, 1–2/2019.
16. Graff M.: *Linia Hutnicza Szerokotorowa*, Technika Transportu Szynowego, 2019, nr 4.
17. Gurov N.A.: *Phases of large growth – The 45th anniversary of the Krivorozhstal plant*, Metallurgist, 1979, s. 439.
18. Historical chronicle of events (Kryvyi Rih City) Prepared by: Oleksandr O. Melnyk, principal research officer of Kryvyi Rih, Museum of regional studies and history, 2007. <https://kryvyrih.dp.ua/> [dostęp 07.09.2026].
19. Holtzer M.: *Procesy metalurgiczne i odlewnicze stopów żelaza. Podstawy fizykochemiczne*, Warszawa, PWN, 2013.
20. Iron and Steel Technology Roadmap, International Energy Agency, 2020.
21. Łędzki A., Michaliszyn A., Klimczyk A.: *Metalurgia ekstrakcyjna żelaza część V. Wytapianie stali w elektrycznych piecach łukowych*, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (skrypt uczelniany), 2023.
22. LIBERTY Galati, WWW <https://libertysteelgroup.com/ro/?lang=en> [dostęp 07.09.2026].
23. Liberty Steel Dunafer Dunaújváros steel plant, WWW https://www.gem.wiki/Liberty_Steel_Dunafer_Duna%C3%BAjv%C3%A1ros_steel_plant [dostęp 07.04.2026].
24. Maciążek F.: *Komunikacja kolejowa między Polską a Białorusią*, Technika Transportu Szynowego, 2017, nr 10.
25. Metal Bulletin Directories: Iron and Steel Works of the World 2012, 20. Aufl.
26. Mincewicz J.: *Nie ma obaw, że zabraknie rudy żelaza dla polskiego hutnictwa* rozmowa z S. Dzienniakiem, prezesem Hutniczej Izby Przemysłowo-Handlowej, 1.03.2022 r., WWW https://nettg.pl/gornictwo/184944/nie-ma-obaw-ze-zabraknie-rudy-zelaza-dla-polskiego-hutnictwa#google_vignette [dostęp 09.04.2026].
27. Mittal Steel Company Acquires a 93% Stake in Kryvorizhstal in Ukraine, www.prnewswire.com [dostęp 07.04.2026], Mittal Steel Company NV, 24 Oct 2005.
28. O ArcelorMittal Warszawa, WWW <https://www.arcelormittal-warszawa.com/> [dostęp 07.04.2026].
29. O dejinách HUKO a VSŽ alebo ako sa Košice stali metropolou východného Slovenska KOŠICE ONLINE, WWW <https://www.kosiceonline.sk/o-dejinach-huka-a-vsz-alebo-ako-sa-kosice-stali-metropolou-vychodneho-slovenska> [dostęp 07.05.2020].
30. OT Port Świnoujście OT Logistics Group Obsługa ładunków masowych <https://otport.swinoujscie.pl/nasze-uslugi/obsługa-ładunkow-masowych/> [dostęp 07.04.2026].
31. Pei M. et.al. *Toward a Fossil Free Future with HYBRIT: Development of Iron and Steelmaking Technology in Sweden and Finland*, Metals, 2020.
32. Port Północny w Gdańsku, WWW <https://www.port-polnocny.pl/oferta/> [dostęp 07.04.2026].
33. Terczyński P.: *Atlas wagonów towarowych*, Kolpress, Poznań, 2017.
34. Trufasu V. Liberty a cumpărat activele ArcelorMittal printr-o tranzacție de 740 de milioane de euro, una dintre cele mai importante fiind combinatul siderurgic de la Galați 01.07.2019, WWW <https://adevarul.ro/stiri-locale/galati/liberty-a-cumparat-activele-arcelormittal-printr-o-1954477.html> [dostęp 07.04.2026].
35. World Steel Association, WWW <https://worldsteel.org/> [dostęp 07.04.2026].