

# ANALIZA I PREDYKCJA TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W POLSCE, W EUROPIE I NA ŚWIECIE

*Celem niniejszej publikacji jest analiza i predykcja wielkości produkcji stali według technologii wytwarzania (proces konwertorowy i elektryczny) w krajowym, europejskim i światowym hutnictwie. W artykule przedstawiono przebieg linii trendów wielkości produkcji stali według procesów wytwarzania w układzie kraj, Europa, świat. Poszczególne trendy poddano interpretacji, a następnie dokonano predykcji zmian w ich przebiegu do 2020 roku.*

*Słowa kluczowe: predykcja, sektor stalowy, produkcja stali, proces konwertorowy produkcji stali, proces elektryczny produkcji stali*

## ANALYSIS AND PREDICTION OF STEEL PRODUCTION TECHNOLOGY TRENDS IN POLAND, EUROPE AND IN THE WORLD

*The aim of the article is analysis and prediction of steel production according to used technology (converter and electric process) in Poland, Europe and in the world. Particular time trends are presented in the paper. On the base of the analysis prediction of their changes until 2020 was developed.*

*Keywords: prediction, steel industry, steel production, converter process of steel production, electric process of steel production*

### 1. WSTĘP

W gospodarce rynkowej przedsiębiorstwa produkcyjne są ściśle uzależnione od potrzeb rynku, których zaspokajanie jest warunkiem ich rozwoju. Konkuruje na rynku, przedsiębiorstwa doskonalą procesy technologiczne, aby obniżyć koszty produkcji i dostarczyć na rynek zmodyfikowane wyroby. Ocena konkurencyjności technologii polega na wskazaniu tych technologii, które są ważne (i w jakim stopniu) dla utrzymania bądź wzmocnienia pozycji konkurencyjnej branży (przedsiębiorstw). Rosnąca zmienność potrzeb odbiorców, konieczność uwzględniania wymagań jakościowych i środowiskowych, a także sektorowych strategii polityki makroekonomicznej są czynnikami zewnętrznymi (niezależnymi od przedsiębiorstwa), które mają charakter ssania (ciągnięcia) postępu technologicznego. Problem z technologią polega na tym, że nie stoi ona w miejscu. Technologia wytwarzania w warunkach rosnącej konkurencji jest granicą rozwoju przedsiębiorstw, która przesuwa się w przyspieszonym tempie. Zmiany w technologii wytwarzania, w zależności od ich rozmiarów, wymuszają albo modyfikację albo radykalną przebudowę procesów wytwórczych.

W niniejszej publikacji przedstawiono wielkość produkcji stali w zależności od stosowanego procesu wytwórczego. Zakresem badań objęto dwie podstawowe technologie produkcji stali: proces konwertorowy i elektryczny (piece łukowe). Analiza w przedmiotowym zakresie składa się z diagnozy i prognozy. Analizując

poziom technologii wytwarzania w czasie ustalono linie trendów wielkości produkcji stali według procesów wytwarzania. Na podstawie danych statystycznych przedstawiono strukturę produkcji stali konwertorowej i elektrycznej w okresie kilkudziesięciu lat. Zgromadzone dane posłużyły do wykonania prognoz zmian w produkcji stali konwertorowej i elektrycznej na najbliższe pięć lat (do 2020 roku) w kraju, w Europie i na świecie. Wnioskowanie na przyszłość (predykcja), jak będzie się kształtować produkcja stali według technologii wytwarzania (szukanie prognozy), dokonano na podstawie danych empirycznych za lata 2000–2015 (wielkość produkcji stali w procesie konwertorowym i w piecach elektrycznych).

Rozdział produkcji stali na oba procesy wytwórcze jest nie tylko statystyczny, ale wymaga uwzględniania innych czynników, które nie zostały omówione w niniejszej publikacji. Jednym z najważniejszych jest to, że stal wytworzona oboma sposobami jest różna: stal wytworzona w procesie konwertorowym, a więc z rudy żelaza, jest znacznie droższa od stali z procesu elektrycznego, proces odbywa się przy kilkukrotnie większej emisji dwutlenku węgla, a stal jest znacznie czystsza pod względem metalurgicznym. Z tych powodów stal ta przeznaczona jest na bardziej odpowiedzialne wyroby, głównie wyroby płaskie. Stal w procesie elektrycznym wytwarzana jest ze złomu stalowego i jej jakość w znacznym stopniu zależy od jakości złomu i procesu jego segregacji. Stal z tego procesu przeznaczona jest głównie na mniej odpowiedzialne wyroby

masowego przeznaczenia, głównie wyroby długie. Tak więc jednym z elementów decydującym o wielkości produkcji stali jest jej końcowe przeznaczenie, a to nie było badane w recenzowanym artykule. Innym elementem jest dostępność surowców – o możliwości stosowania procesu elektrycznego do wytwarzania stali decyduje dostępność do złomu stalowego odpowiedniej jakości. Kolejnym elementem, istotnym głównie dla hutnictwa europejskiego, a w tym i krajowego, jest dążenie do obniżenia emisji CO<sub>2</sub> w procesie wytwarzania stali. Jednym z możliwych rozwiązań w tym zakresie jest zwiększanie udziału produkcji stali z wykorzystaniem procesu elektrycznego. Jest to jednak uwarunkowane dostępnością złomu oraz uzyskaniem stali odpowiedniej jakości, decydującej o możliwych zastosowaniach.

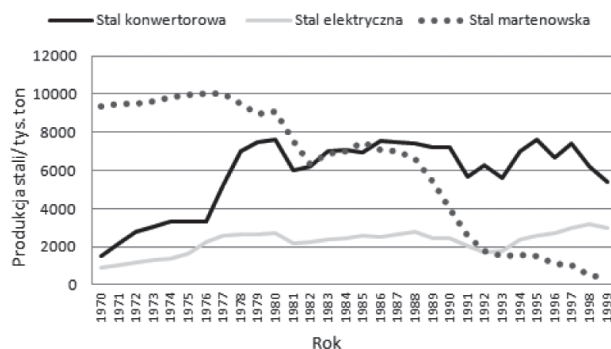
Wykonana analiza przewidywanych zmian wielkości produkcji stali według stosowanych technologii do 2020 roku w kraju, Europie i na świecie ograniczona została do statystyki, stąd użycie terminu „predykcja” (użycie w artykule terminu „prognoza” należy traktować w tym przypadku jako synonim terminu „predykcja”). Predykcja jako przewidywania zjawisk statystycznych przyszłości na podstawie statystycznych danych historycznych jest procesem probabilistycznym. Powstaje w związku z tym problem wyboru najlepszej metody predykcji, czyli metody, która zapewniałaby, że popełnione błędy byłyby możliwie małe. Testując poszczególne metody predykcji stosunkowo małe błędy otrzymano w modelach autoregresyjnych i w metodzie trendu pełzającego (prognozowanie metodą wag harmonicznym) [1–5]. W publikacji zastosowano te metody, aby ustalić prognozy wielkości produkcji stali w podziale na procesy wytwarzania do 2020 roku dla Polski, Europy i świata.

## 2. PRZEBIEG TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W POLSCE – UJĘCIE HISTORYCZNE

Przez wiele lat w krajowym hutnictwie dominowała technologia produkcji stali w piecu martenowskim, którą stopniowo zastępowały stalownie konwertorowe, a z czasem także stalownie elektryczne. Na rys. 1 przedstawiono przebieg linii trendu zmian w technologii wytwarzania stali w krajowym hutnictwie w latach 1970–1999.

Analiza linii trendów poszczególnych technologii wytwarzania stali w Polsce w latach 1970–1999 pozwala na sformułowanie następujących wniosków [7]:

- do końca lat 70. stosując technologię martenowską, wytwarzano około 8 mln ton stali rocznie, w latach 80. początkowo trend stali martenowskiej wykazuje powolny spadek, a szczególne nasilenie tego zjawiska widoczne jest pod koniec tej dekady i w pierwszej połowie lat 90., u schyłku ubiegłego wieku w technologii martenowskiej wytworzono w kraju mniej niż 400 ton stali,
- w połowie lat 70. gwałtownie rośnie produkcja stali konwertorowej, osiągając poziom 7 mln ton pod koniec dekady, w latach 80. poziom oscylujący wokół 7 mln ton stali był utrzymany, spadek poniżej 6 mln ton stali rocznie odnotowano w 1991 roku i w 1993 roku, w kolejnych latach wahania były na poziomie od 6,5 mln ton stali rocznie do około 8 mln ton, koniec



Rys. 1. Trendy produkcji stali według technologii wytwarzania w Polsce w latach 1970–1999

Fig. 1. Trends of steel production technology in Poland, 1970–1999

Źródło: Opracowano na podstawie danych: *Roczników Statystycznych Przemysłu, GUS, Warszawa: 1970, s. 275–276; 1974, s. 210–220; 1977, s. 249; 1979, s. 313–317; 1980, s. 328–332; 1981, s. 345; 1986, s. 315; 1988, s. 293; 1990, s. 240–241; 1991, s. 215–216; 1992, s. 177–178; 1993, s. 193–194; 1995; 1998; 2000 (dział: Produkcja wybranych wyrobów) – [6]*

- lat 90. to ponowny spadek produkcji stali w technologii konwertorowej,
- w procesie elektrycznym wytwarzano w analizowanym okresie od nieco ponad 900 ton stali w 1970 roku do ponad 3 mln ton po koniec lat 90., była to stosunkowo nowa technologia produkcji stali w krajowym hutnictwie.

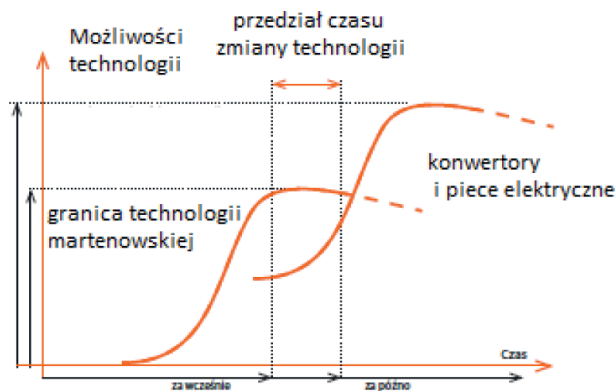
Uwzględniając poziom nowoczesności poszczególnych technologii w analizowanym okresie można było odnotować opóźnienie czasowe w stosunku do hutnictwa europejskiego i światowego. Średni wiek stalowni martenowskich w kraju na koniec 1982 roku wynosił 60 lat. W tym okresie już wiele krajów na świecie zaniechało tego procesu, jako nadmiernie energo- i materiałochłonnego. Likwidacja pieców martenowskich w krajach uprzemysłowionych Europy i świata nasiliła się w latach 1960–1980. Opóźnienie krajowego hutnictwa w stosunku do zmian technologicznych w zakresie innowacyjności stalowni konwertorowych w skali światowej wynosiło około 30 lat, a elektrycznych nawet 40 lat (na świecie wprowadzano już wtedy piece o większej pojemności i wydajności) [8].

W końcu lat 90. produkcja stali i stalowych wyrobów hutniczych była objęta rządowym programem restrukturyzacji. Był to z jednej strony wymóg dostosowania przemysłu stalowego do potrzeb gospodarki rynkowej, jako rezultat transformacji systemu gospodarczego w kraju, a z drugiej konieczność uzyskania wskaźników ekonomicznych na poziomie hutnictwa Unii Europejskiej, w związku z przystąpieniem Polski do Wspólnot [9].

## 3. ANALIZA TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W POLSCE W OSTATNIACH PIĘTNASTU LATACH

W latach 2000–2015 w krajowym hutnictwie dominowały dwie technologie produkcji stali: proces zintegrowany (wielkie piece i konwertory) oraz proces elektryczny, które są uznawane za kluczowe (podstawowe) i rozwojowe. Technologia martenowska osiągnęła swoje możliwości technologiczne i ostatecznie została wycofa-

na w 2002 roku. Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat cyklu życia technologii produkcji stali.

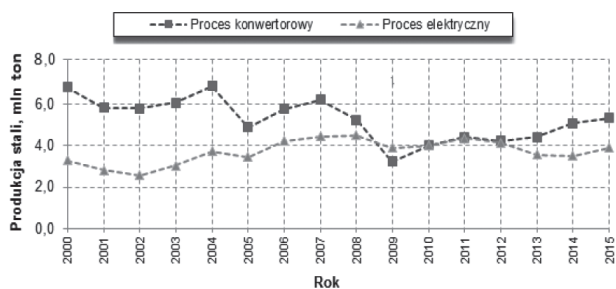


Rys. 2. Cykl życia martenowskiego procesu wytwarzania stali (schemat poglądowy)

Fig. 2. Cycle of open hearth steel manufacturing process (general scheme)

Źródło: opracowano na podstawie [10, 11]

Przyjmując założenie, że udział technologii martenowskiej w produkcji stali ogółem do końca 2002 roku był nieznaczny (w 2000 roku 3,8%, w 2001 roku 2,3%, a w 2002 roku 1,2%) [12], na rys. 3 przedstawiono tylko trendy czasowe technologii konwertorowej i elektrycznej w latach 2000–2015.



Rys. 3. Trendy produkcji stali według technologii wytwarzania w Polsce w latach 2000-2015

Fig. 3. Trends of steel production technology in Poland, 2000-2015

Źródło: Opracowano na podstawie [12]

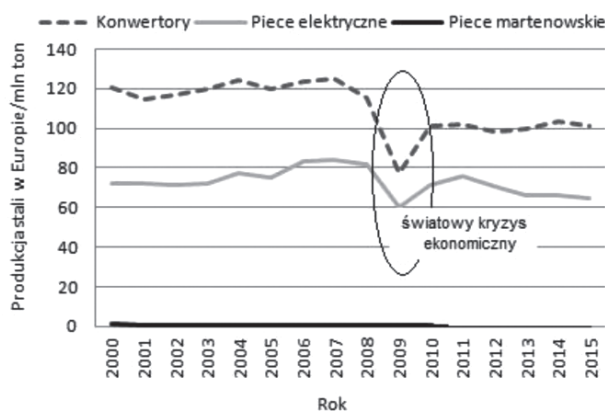
Analiza linii trendów poszczególnych technologii wytwarzania stali w kraju w latach 2000-2015 pozwala na stwierdzenie, że:

- więcej stali produkuje się w kraju w procesie konwertorowym niż w elektrycznym (za wyjątkiem 2009 roku),
- ilość stali wytworzonej w poszczególnych procesach ulegała wahaniom, najwięcej stali konwertorowej wytworzono w 2004 roku (ponad 6,8 mln ton), a najmniej w 2009 roku (nieco ponad 3,1 mln ton w stosunku do maksymalnego poziomu było to o 54% mniej); natomiast najwyższy poziom produkcji stali w piecach elektrycznych odnotowano w 2008 roku – 4,5 mln ton stali, a najniższy w 2002 roku – tylko 2,5 mln ton (o 44% mniej),
- w latach 2010–2012 proporcje udziału poszczególnych technologii w produkcji stali były prawie identyczne, tyle samo stali wytwarzały stalownie konwertorowe co elektryczne, po nieco ponad 4 mln ton rocznie,
- po 2012 roku trend wyprodukowanej stali konwertorowej był rosnący, a elektrycznej malejący, w 2015

roku wyprodukowano 5,3 mln ton w procesie konwertorowym i prawie 3,9 mln stali w procesie elektrycznym [12].

#### 4. ANALIZA TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W EUROPIE W OSTATNICH PIĘTNASTU LATACH

Na rynku europejskim (kraje UE) kluczowe technologie wytwarzania stali to konwertorowa i elektryczna. W krajach Unii Europejskiej technologia martenowska była wykazywana w zestawieniach statystycznych do 2010 roku, a jej udział w pierwszej dekadzie nie przekraczał 1% produkcji ogółem w krajach UE (Rys. 4).



Rys. 4. Trendy produkcji stali w Europie według technologii wytwarzania w latach 2000-2015

Fig. 4. Trends of steel production technology in Europe, 2000-2015

Źródło: Opracowano na podstawie [13, 14]

Analiza linii trendów poszczególnych technologii wytwarzania stali w krajach UE w latach 2000–2015 umożliwia następujące wnioskowanie [13, 14]:

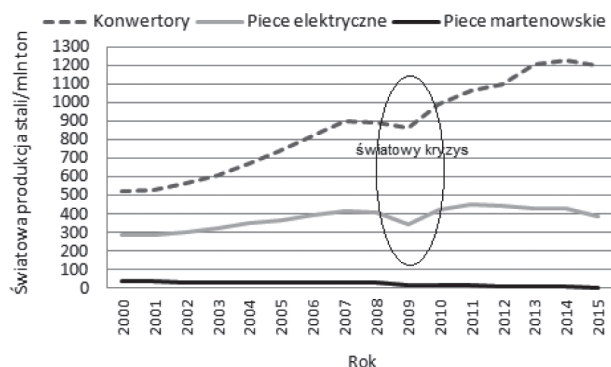
- technologia martenowska, w analizowanym czasie, to technologia schyłkowa (nieznaczająca), niewielką ilość stali martenowskiej produkowano w krajach UE w latach 2000–2010, obecnie technologia nie jest stosowana (całkowite wygaszenie),
- do 2007 roku w przebiegu trendu technologii konwertorowej w Europie widać wyraźną przewagę, co do wielkości produkcji, nad technologią pieców elektrycznych,
- w latach 2008–2009 w przebiegu obydwu linii trendów odnotowano gwałtowną tendencję spadkową, będącą rezultatem światowego kryzysu ekonomicznego,
- w 2010 roku i w latach następnym trend technologii konwertorowej produkcji stali w UE ma charakter łagodny (stabilny), w tym okresie produkcja stali w konwertorach utrzymuje się na poziomie około 100 mln ton stali rocznie, w analogicznym okresie w przypadku stali elektrycznej można zauważyć szybki wzrost do poziomu ponad 70 mln ton stali w latach 2011–2012 i spadek w kolejnych latach do poziomu nieco ponad 60 mln ton stali rocznie,
- najwięcej stali w procesie konwertorowym otrzymano w 2004 roku – 124 mln ton, a najmniej w 2009 roku – 77 mln ton, w przypadku stali wytwarzanej w piecach elektrycznych najwyższa produkcja była



w 2007 roku – 84 mln ton i w roku poprzednim 83 mln ton, a najniższa w 2009 roku – 60 mln ton.

## 5. ANALIZA TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI NA ŚWIECIE W OSTATNICH PIĘTNASTU LATACH

W ujęciu globalnym produkcja stali zestawiona jest według trzech technologii wytwarzania: konwertory, piece elektryczne i piece martenowskie (Rys. 5).



Rys. 5. Trendy produkcji stali na świecie według technologii wytwarzania w latach 2000–2015

Fig. 5. Trends of steel production technology in the world, 2000–2015

Źródło: Opracowano na podstawie [13, 14]

Analiza linii trendów poszczególnych technologii wytwarzania stali na świecie w latach 2000–2015 pozwala na stwierdzenie, że [13, 14]:

- technologia martenowska wytwarzania stali należy do technologii przestarzałych, w piecach martenowskich otrzymano od 37 mln ton stali w 2000 roku do 5 mln ton stali w 2015 roku,
- najwięcej stali wytwarza się w hutach zintegrowanych, wyposażonych w wielkie piece i konwertory – stosując tę technologię wytworzono w analizowanym okresie od nieco ponad 500 mln ton do ponad 1 200 mln ton w ostatnich trzech latach,
- udział stali wyprodukowanej w stalowniach elektrycznych wahał się w analizowanym okresie od 280 mln ton (lata 2000–2001) do ponad 450 mln ton (2011 rok),
- w 2009 roku w przebiegu linii trendów stali konwertorowej i elektrycznej widać wyraźny spadek wielkości produkcji spowodowany światowym kryzysem ekonomicznym.

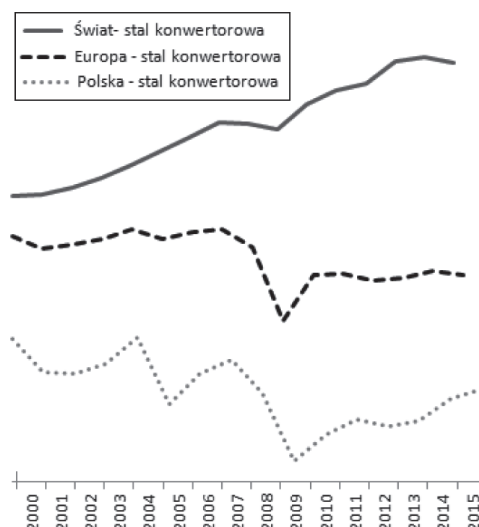
## 6. ZESTAWIENIE TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W POLSCE, EUROPIE I NA ŚWIECIE

Dokonując odniesienia przebiegu linii trendów stali wytwarzanej w procesach konwertorowych na rynkach światowym, europejskim i krajowym (Rys. 6) zaobserwowano, że:

- przebieg światowego trendu produkcji stali konwertorowej jest łagodniejszy od pozostałych (występują najmniejsze amplitudy wahań linii trendu), największe wahania w przebiegu trendu zaobserwowano w kraju, w Europie pojawiła się tendencja schodko-

wa (do 2008 roku produkcja na zbliżonym poziomie, po 2009 roku spadek w stosunku do okresu przed kryzysem ekonomicznym),

- wszystkie trzy linie trendu mają wyraźny spadek wielkości produkcji stali konwertorowej w 2009 roku w trakcie trwania światowego kryzysu ekonomicznego, przy czym poziom tego spadku (głębokość) jest znacznie wyższy w UE i w Polsce niż na świecie,
- po 2009 roku światowa, europejska i krajowa produkcja stali w procesie konwertorowym rośnie, wahania w przebiegu linii trendów po 2010 roku są mniej widoczne (łagodny przebieg linii trendu),
- od 2000 roku do 2007 na świecie była tendencja wzrostowa trendu, a w UE produkcja utrzymywała się prawie na tym samym poziomie, natomiast w kraju występowały znaczne wahania w poziomie produkcji stali w procesie konwertorowym,
- w ostatnich trzech latach przebieg trendu stali konwertorowej w kraju nie pokrywa się z przebiegiem linii trendów na świecie i w Europie, tam bowiem odnotowano nieznaczny spadek produkcji, a w kraju wystąpiła tendencja wzrostowa.



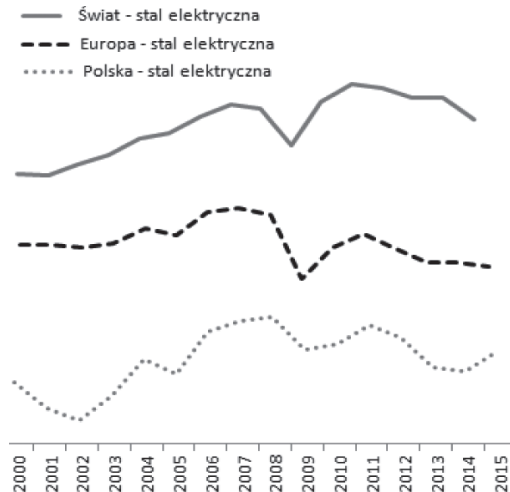
Rys. 6. Trendy produkcji stali w procesie konwertorowym w Polsce, Europie i na świecie w latach 2000–2015

Fig. 6. Trends of steel production converter process in Poland, Europe and in the world, 2000–2015

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych statystycznych (źródła w rys. 3–5)

Podobnie, jak wielkość produkcji w procesie konwertorowym, zestawiono produkcję stali otrzymanej w piecach elektrycznych (Rys. 7). W rezultacie odnotowano, że:

- tak jak w przypadku przebiegu linii trendu produkcji stali w procesie konwertorowym również w elektrycznym największe wahania widoczne są w trendzie krajowym w odniesieniu do trendów w Europie i na świecie,
- identycznie, jak w procesie konwertorowym, wszystkie trzy linie trendu procesu elektrycznego mają wyraźny spadek wielkości produkcji stali w 2009 roku podczas światowego kryzysu ekonomicznego, przy czym poziom tego spadku (głębokość) jest znacznie wyższy na świecie i w UE niż w kraju,
- od 2000 roku do 2007 utrzymywała się tendencja wzrostowa produkcji stali w piecach elektrycznych na wszystkich rynkach,



Rys. 7. Trendy produkcji stali w procesie elektrycznym w Polsce, Europie i na świecie w latach 2000–2015

Fig. 7. Trends of steel production in electric process in Poland, Europe and in the world, 2000–2015

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych statystycznych (źródła w rys. 3–5)

– w ostatnich trzech latach przebieg trendu w kraju nie pokrywa się z przebiegiem linii trendów na świecie i w Europie, tam bowiem odnotowano nieznaczny spadek produkcji w procesie elektrycznym, a w kraju wystąpiła tendencja wzrostowa.

## 7. PREDYKCJA PRZEBIEGU TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W POLSCE

Predykcję wykonano w oparciu o modele autoregresyjne i na podstawie metody trendu pełzającego z prognozowaniem metodą wag harmonicznymi (najmniejsze błędy szacunku). Zgodnie z metodą trendu pełzającego – prognozowanie metodą wag harmonicznymi – uzyskano następujące prognozy wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym w kraju: 5,433 mln ton w 2016 roku; 5,542 mln ton w 2017 roku; 5,652 mln ton w 2018 roku; 5,761 mln ton w 2019 roku; 5,871 mln ton w 2020 roku. Na rys. 8 przedstawiono trend wyznaczonych prognoz – trend nieznacznie rosnący. Uzyskane błędy to:  $RMSE^* = 0,379$ ,  $\psi = 0,059$ . Liczba elementów w segmencie  $k = 4$ .

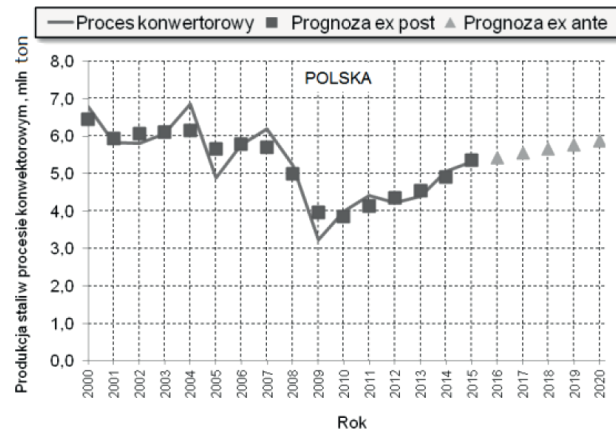
Z kolei poprzez autoregresję (AR 1)<sup>1</sup> uzyskano następujące przewidywane wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym: 5,190 mln ton w 2016 roku; 5,122 mln ton w 2017 roku; 5,086 mln ton w 2018 roku; 5,067 mln ton w 2019 roku; 5,057 mln ton w 2020 roku, przy  $R^2 = 0,3217$  (co świadczy o dość niskim dopasowaniu modelu do punktów empirycznych), przy błędach expost:  $\psi = 0,124$ ,  $RMSE^* = 0,772$ . Uzyskany model to:

$$y_T^* = 2,4259 + 0,5193 \cdot WSTECZ1$$

Na rys. 9 przedstawiono trend wyznaczonych prognoz – trend powoli malejący.

W przypadku drugiego procesu (wytwarzanie stali w piecach elektrycznych) według metody trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne – uzyskano następujące wielkości produkcji stali:

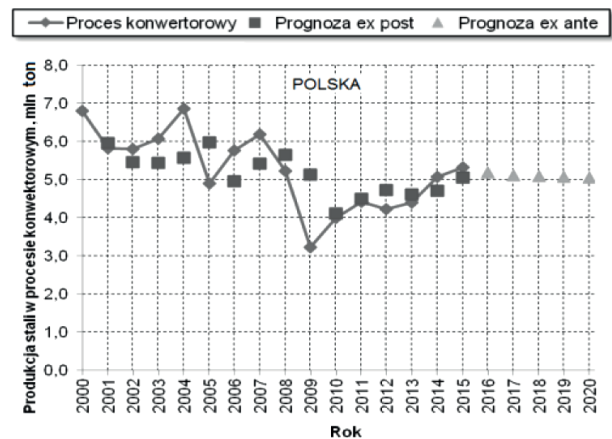
<sup>1</sup> AR (1) – Wstecz 1 (najlepsze dopasowanie) wśród testowanych metod autoregresyjnych.



Rys. 8. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym w Polsce do 2020 roku według metody trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne

Fig. 8. Prediction trend of steel production in converter process in Poland until 2020 on the base of crawling model with harmonic weights

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym w Polsce do 2020 roku według modelu autoregresyjnego AR (1)

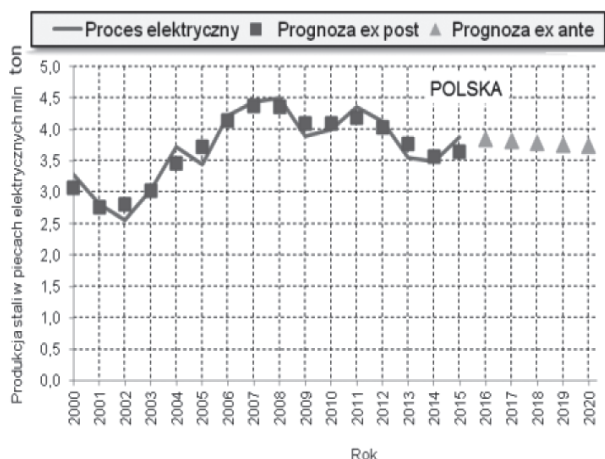
Fig. 9. Prediction trend of steel production in converter process in Poland until 2020 on the base of autoregressive model AR(1)

Źródło: opracowanie własne

3,850 mln ton w 2016 roku; 3,820 mln ton w 2017 roku, 3,790 mln ton w 2018 roku; 3,761 mln ton w 2019 roku; 3,731 mln ton w 2020 roku. Obliczone błędy ex-post:  $RMSE^* = 0,172$ ,  $\psi = 0,041$ . Liczba elementów w segmencie  $k = 4$ . Na rys. 10 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend nieznacznie malejący. Nieznaczny spadek produkcji stali w piecach elektrycznych może być spowodowany ograniczeniem mocy produkcyjnych mniejszych hut (mikrohuty). Na polskim rynku stali miały miejsce już takie gwałtowne spadki produkcji stali w procesach elektrycznych, np. w 2012 roku ISD Huta Częstochowa wyprodukowała 394 440 ton stali, a dwa lata później 20 746 ton (spadek o 95%).

Z kolei zgodnie z modelem autoregresyjnym AR (1,2,6)<sup>2</sup> uzyskano następujące wielkości produkcji stali elektrycznej w kraju: 4,064 mln ton w 2016 roku; 3,848 mln ton w 2017 roku; 3,822 mln ton w 2018 roku; 4,087

<sup>2</sup> AR (1,2,6) – Wstecz 1,2,6, najlepsze dopasowanie.



Rys. 10. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym w Polsce do 2020 roku według metody trendu pelzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne

Fig. 10. Prediction trend of steel production in electric process in Poland until 2020 on the base of crawling model with harmonic weights

Źródło: opracowanie własne

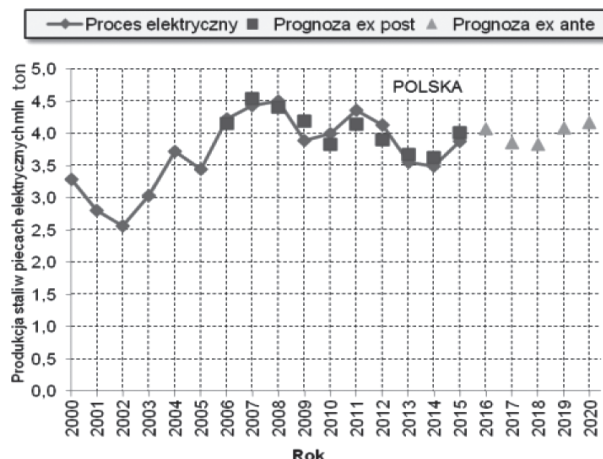
mln ton w 2019 roku; 4,162 mln ton w 2020 roku. Użytko model prognostyczny:

$$y_T^* = 5,893 + 0,178 \cdot \text{WSTECZ1} + -0,334 \cdot \text{WSTECZ2} - 0,338 \cdot \text{WSTECZ6}$$

przy czym współczynnik korelacji  $R = 0,7340$  – co świadczy o dobrym dopasowaniu modelu do punktów empirycznych. Obliczone błędy ex-post:  $\text{RMSE}^* = 0,171$ ,  $\psi = 0,039$ . Na rys. 11 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend z silnymi wahaniami.

Wszystkie predykcje wielkości produkcji według technologii wytwarzania zestawiono w tabeli 1.

Predykcja wielkości produkcji stali w kraju według procesów wytwarzania wskazują, że nadal będzie występować przewaga produkcji stali konwertorowej nad elektryczną. W najbliższych latach produkcja wyniesie ponad 5 mln ton stali rocznie. Natomiast prognozy stali elektrycznej są na poziomie od 3,7 mln ton do 4,1 mln ton. Uzyskane trendy są możliwe przy rocznej produkcji stali na poziomie około 9 mln ton. Obecne zdolności produkcyjne w kraju to 13,055 mln ton stali surowej, w tym w procesie zintegrowanym 7,6 mln ton. Niestety krajowy sektor hutniczy wykorzystuje tylko 70% mocy produkcyjnych. Konsumpcja stali przez sektory stalochłonne to zaledwie 1/3 dostaw krajowych stali, a 3/4 to eksport. Według opinii ekspertów sektora hutniczego w najbliższych latach produkcja na poziomie 9 mln



Rys. 11. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym w Polsce do 2020 roku według modelu autoregresyjnego AR (1,2,6)

Fig. 11. Prediction trend of steel production in electric process in Poland until 2020 on the base of autoregressive model AR(1,2,6)

Źródło: opracowanie własne

ton będzie trudna do utrzymania z uwagi na dopływ tanich wyrobów hutniczych z państw trzecich (głównie z Chin). Nadprodukcja stali na rynku światowym nie sprzyja wzrostowi produkcji stali w kraju (do 2020 roku Chiny zobowiązały się zmniejszyć produkcję stali o 100÷150 mln ton) [15].

## 8. PREDYKCJA PRZEBIEGU TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI W EUROPIE

W przypadku rynku europejskiego (kraje UE) predykcje wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym zgodnie z modelem trendu pelzającego z wagami harmonicznymi są następujące: 100,809 mln ton w 2016 roku; 100,343 mln ton w 2017 roku; 99,877 mln ton w 2018 roku; 99,411 mln ton w 2019 roku i 98,945 mln ton w 2020 roku. Na rys. 12 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend nieznacznie malejący.

Przewidywane wielkości produkcji stali konwertorowej w oparciu o model AR(1) to: 104,236 mln ton w 2016 roku; 105,870 mln ton w 2017 roku; 106,773 mln ton w 2018 roku; 107,272 mln ton w 2019 roku i 107,547 mln ton w 2020 roku. Uzyskany model prognostyczny:

$$y_T^* = 48,30961 + 0,552218 \cdot \text{WSTECZ1}$$

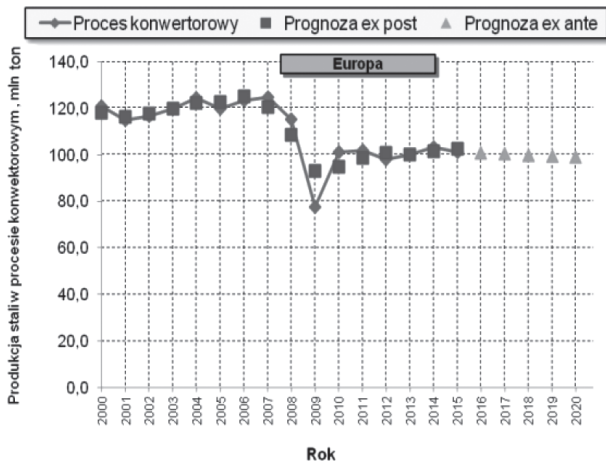
Tabela 1. Predykcje wielkości produkcji stali według procesów technologicznych w Polsce (mln ton)

Table 1. All predictions of steel production technology in Poland (million tons)

Rok	Predykcje wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym		Predykcje wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym	
	Metoda trendu pelzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne	Model autoregresyjny AR (1)	Metoda trendu pelzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne	Model autoregresyjny AR (1,2,6)
2016	5,433	5,190	3,850	4,064
2017	5,542	5,122	3,820	3,848
2018	5,652	5,086	3,790	3,822
2019	5,761	5,067	3,761	4,087
2020	5,871	5,057	3,731	4,162

Źródło: opracowanie własne



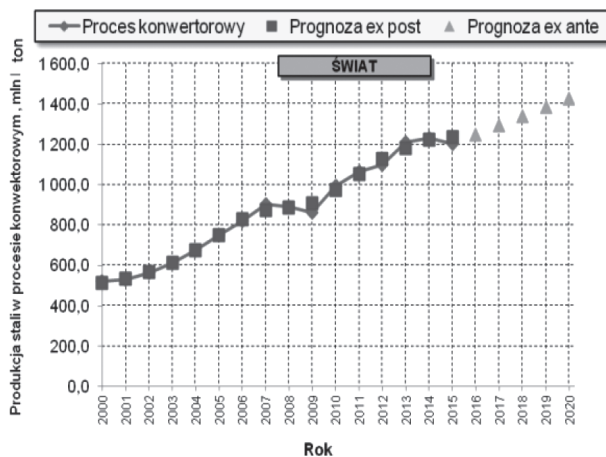


Rys. 12. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym w Europie do 2020 roku według metody trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne

Fig. 12. Prediction trend of steel production in converter process in Europe until 2020 on the base of crawling model with harmonic weights

Źródło: opracowanie własne

przy współczynniku korelacji  $R^2 = 0,309$  (bardzo małe dopasowanie). Na rys. 13 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend nieznacznie rosnący.



Rys. 13. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym w Europie do 2020 roku według modelu autoregresyjnego AR(1)

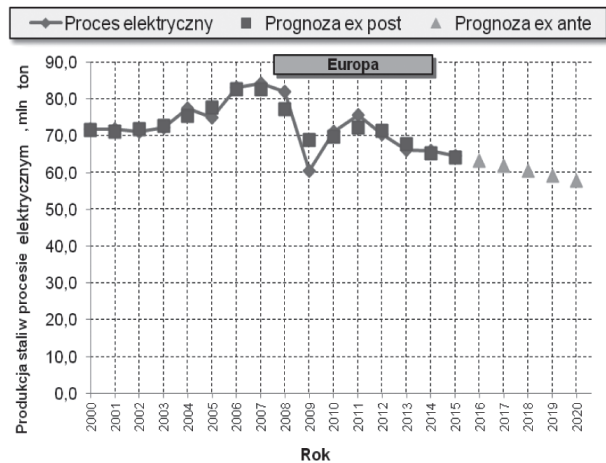
Fig. 13. Prediction trend of steel production in converter process in Europe until 2020 on the base of autoregressive model AR(1)

Źródło: opracowanie własne

Przewidywana produkcja stali elektrycznej w Europie zgodnie z modelem trendu pełzającego przy użyciu wag harmonicznych to w kolejnych pięciu latach: 63,250 mln ton, 61,897 mln ton, 60,545 mln ton, 59,192 mln ton, 57,839 mln ton. Na rys. 14 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend silnie spadkowy.

Testując metody do prognozowania stali elektrycznej, dobrym dopasowaniem okazały się modele AR (1). Dla AR(1) uzyskano: 68,916 mln ton w 2016 roku; 70,832 mln ton w 2017 roku; 71,683 mln ton w 2018 roku; 72,061 mln ton w 2019 roku i 72,229 mln ton w 2020 roku. Uzyskany model prognostyczny:

$$y_T^* = 40,21948 + 0,444199 \cdot \text{WSTECZ1}$$

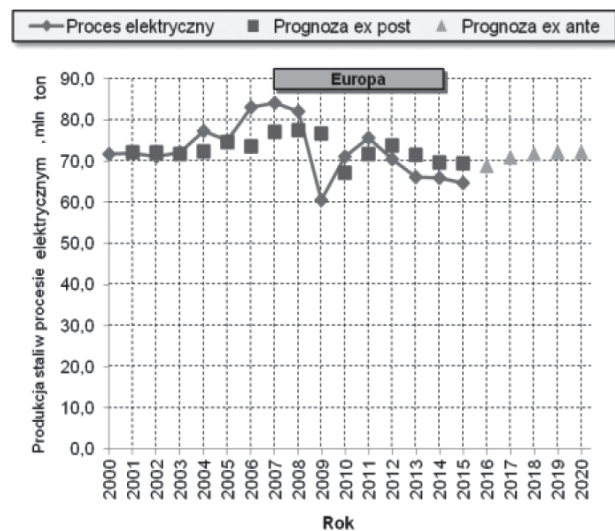


Rys. 14. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym w Europie do 2020 roku według metody trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne

Fig. 14. Prediction trend of steel production in electric process in Europe until 2020 on the base of crawling model with harmonic weights

Źródło: opracowanie własne

Na rys. 15 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend słabo rosnący.



Rys. 15. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym w Europie do 2020 roku według modelu autoregresyjnego AR(1)

Fig. 15. Prediction trend of steel production in electric process in Europe until 2020 on the base of autoregressive model AR (1)

Źródło: opracowanie własne

Wszystkie przewidywane wielkości produkcji stali według technologii wytwarzania dla Europy zestawiono w tabeli 2.

Na podstawie zestawienia można wskazać na dwa scenariusze zmian: trendy nieznacznie rosnące (na podstawie modelu AR Wstecz 1) i malejące przy modelu trendu pełzającego. Uwzględniając te dwa scenariusze można domniemywać, że w Europie produkcja stali w procesie konwertorowym będzie na poziomie oscylującym wokół 100 mln ton rocznie, a w piecach elektrycznych będzie osiągać poziom od 60 do 70 mln ton stali rocznie.

Tabela 2. Predykcje wielkości produkcji stali według procesów technologicznych w Europie (mln ton)

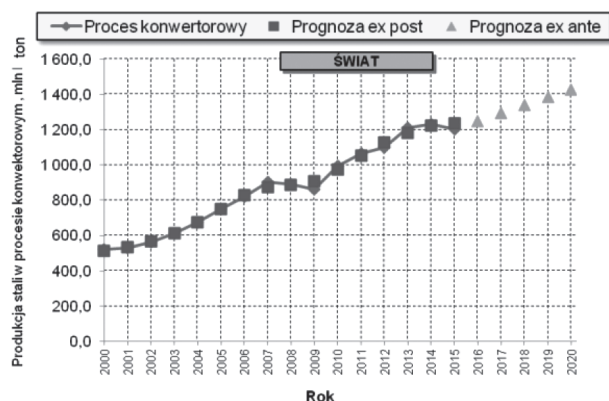
Table 2. All predictions of steel production technology in Europe (million tons)

Rok	Predykcje wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym		Predykcje wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym	
	Metoda trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne	Model autoregresyjny AR (1)	Metoda trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne	Model autoregresyjny AR (1)
2016	100,809	104,236	63,250	68,916
2017	100,343	105,870	61,897	70,832
2018	99,877	106,773	60,545	71,683
2019	99,411	107,272	59,192	72,061
2020	98,945	107,547	57,839	72,229

Źródło: opracowanie własne

## 9. PREDYKCJA PRZEBIEGU TRENDÓW TECHNOLOGII WYTWARZANIA STALI NA ŚWIECIE

Zgodnie z modelem trendu pełzającego przewidywania dla stali konwertorowej produkowanej na świecie są następujące: 1 248,489 mln ton w 2016 roku; 1 293,279 mln ton w 2017 roku; 1 338,069 mln ton w 2018 roku; 1 382,859 mln ton w 2019 roku i 1 427,649 mln ton w 2020 roku. Na rys. 16 przedstawiono trend wyznaczonej prognozy – trend wyraźnie rosnący.



Rys. 16. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym na świecie do 2020 roku według metody trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne

Fig. 16. Prediction trend of steel production in converter process in the world until 2020 on the base of crawling model with harmonic weights

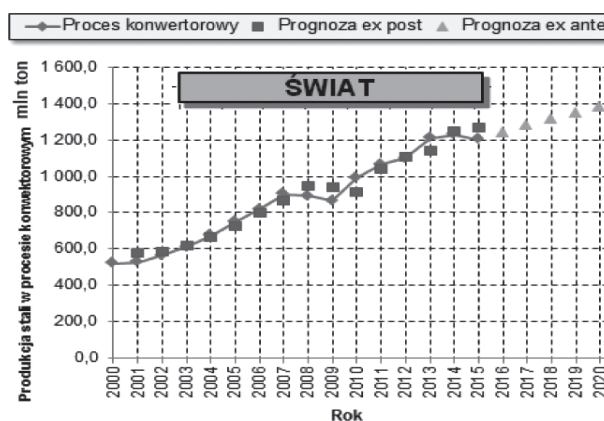
Źródło: opracowanie własne

W oparciu o model autoregresji z przesunięciem 1 (AR 1) ustalono zmiany światowej produkcji stali w procesie konwertorowym. Uzyskano model prognostyczny:

$$y_T^* = 67,494 + 0,9739 * WSTECZ1$$

przy czym współczynnik korelacji  $R^2 = 0,9613$  – co świadczy o bardzo dobrym dopasowaniu modelu do punktów empirycznych (najlepsze dopasowanie spośród użytych metod prognostycznych), przy błędach:  $\psi = 0,042$ ,  $RMSE^* = 45,059$ .

Przewidywana produkcja to: 2016 rok 1 239,842 mln ton stali; 2017 rok 1 275,043 mln ton stali; 2018 rok 1 309,328 mln ton stali; 2019 rok 1 342,719 mln ton stali; 2020 rok 1 375,241 mln ton stali. Trend prognozowanych wielkości jest rosnący (Rys. 17).

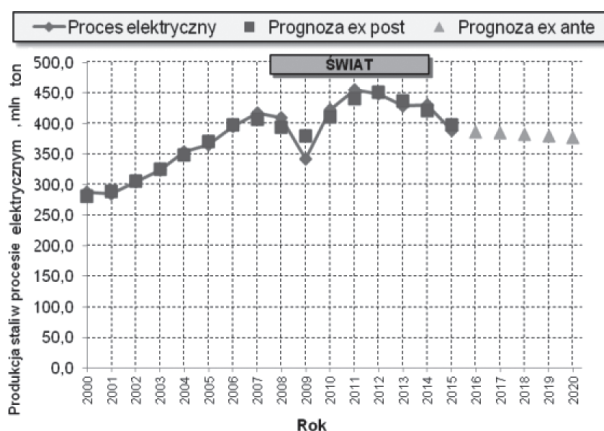


Rys. 17. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym na świecie do 2020 roku według modelu autoregresyjnego AR (1)

Fig. 17. Prediction trend of steel production in converter process in the world until 2020 on the base of autoregressive model AR(1)

Źródło: opracowanie własne

Przewidywane wielkość produkcji stali elektrycznej – trend pełzający – to: 386,539 mln ton w 2016 roku; 384,124 mln ton w 2017 roku; 381,718 mln ton w 2018 roku; 379,308 mln ton w 2019 roku; 376,897 mln ton w 2020 roku (Rys. 18).



Rys. 18. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym na świecie do 2020 roku według metody trendu pełzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne

Fig. 18. Prediction trend of steel production in electric process in the world until 2020 on the base of crawling model with harmonic weights

Źródło: opracowanie własne



Tabela 3. Predykcje wielkości produkcji stali według procesów technologicznych na świecie (mln ton)

Table 3. All predictions of steel production technology in the world (million tons)

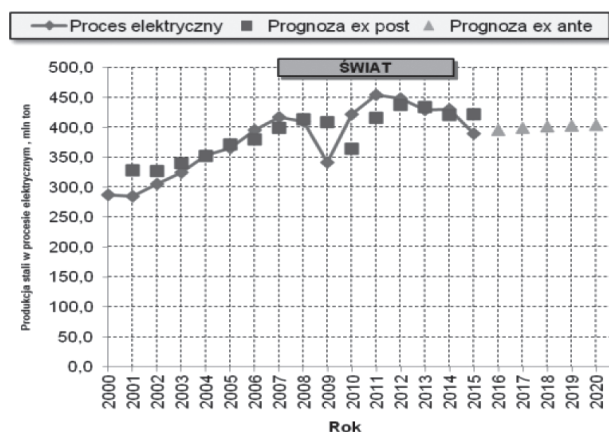
Rok	Predykcje wielkości produkcji stali w procesie konwertorowym		Predykcje wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym	
	Metoda trendu pelzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne	Model autoregresyjny AR (1)	Metoda trendu pelzającego – prognozowanie poprzez wagi harmoniczne	Model autoregresyjny AR (1)
2016	1 248,489	1 239,842	386,539	392,767
2017	1 293,279	1 275,043	384,124	395,573
2018	1 338,069	1 309,328	381,718	397,636
2019	1 382,859	1 342,719	379,308	399,151
2020	1 427,649	1 375,241	376,897	400,266

Źródło: opracowanie własne

Stosując model AR (1) w odniesieniu do procesu elektrycznego uzyskano produkcję: 392,767 mln ton w 2016 roku; 395,573 mln ton w 2017 roku; 397,636 mln ton w 2018 roku; 399,151 mln ton w 2019 roku oraz 400,266 mln ton w 2020 roku (Rys. 19 – trend produkcji nieznacznie rosnący w stosunku do 2015 roku). Uzyskano model prognostyczny:

$$y_T^* = 106,8797 + 0,7350 \cdot \text{WSTECZ1}$$

przy współczynniku korelacji  $R^2 = 0,66065$  oraz błędach:  $\Psi = 0,0583$ ,  $\text{RMSE}^* = 29,785$ .



Rys. 19. Predykcja trendu wielkości produkcji stali w procesie elektrycznym na świecie do 2020 roku według modelu autoregresyjnego AR (1)

Fig. 19. Prediction trend of steel production in electric process in the world until 2020 on the base of autoregressive model AR(1)

Źródło: opracowanie własne

Wszystkie przewidywane wielkości produkcji stali według stosowanych technologii wytwarzania na świecie zestawiono w tabeli 3.

Zestawienie zbiorcze produkcji stali na świecie pozwala na stwierdzenie, że: produkcja stali konwerto-

rowej będzie w najbliższych latach oscylować wokół 1200÷1400 mln ton, natomiast stal elektryczna to niecałe 400 mln ton rocznie.

## 10. PODSUMOWANIE

Produkcja stali na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat ulegała znacznym zmianom. Na ten stan miało wpływ wiele różnych czynników, przede wszystkim ekonomicznych. Obserwując zmiany produkcji stali na świecie, w UE i w Polsce można zauważyć, że występują trendy rosnące w przypadku stali konwertorowej a spadkowe w przypadku stali elektrycznej (z wyjątkiem ostatnich lat w Polsce). Produkcja stali na świecie (ogółem) systematycznie wzrasta, podczas gdy w UE (w krótkim okresie) i w Polsce (w długim okresie) odnotowuje się jej spadek. Można wnioskować, że do 2020 roku w zakresie technologii wytwarzania stali nie będzie większych zmian. Dotychczasowe proporcje zostaną utrzymane: przewaga stali konwertorowej nad elektryczną. W Polsce stal konwertorowa to ponad 55% produkcji ogółem. W najbliższych latach ponad 5 mln ton stali otrzymywanej będzie w procesie konwertorowym a niecałe 4 mln ton w piecach elektrycznych (łukowych), przy założeniu produkcji rocznej na poziomie 9 mln ton rocznie. Dominacja produkcji stali w procesie konwertorowym nad elektrycznym jest zgodna z trendami na światowym i europejskim rynku stali. Na świecie prognozowane wielkości produkcji stali otrzymywanej w konwertorach to 1200÷1400 mln ton, natomiast w piecach elektrycznych – niecałe 400 mln ton rocznie. Dla Europy prognozy dla stali konwertorowej to nieco ponad 100 mln ton rocznie, a dla stali elektrycznej od 60 do 70 mln ton rocznie. Ustalone wielkości prognostyczne można traktować jako przypuszczalną wielkość produkcji stali, która może zostać uzyskana dla określonych okresów. Należy jednak zaznaczyć, że przewidywania są zawsze obciążone pewnym błędem predykcji.

## LITERATURA

- [1] B. Guzik, Wstęp do teorii prognozowania i symulacji, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 2008.
- [2] M. Lipiec-Zajchowska (red.), Wspomaganie procesów decyzyjnych. Ekonometria, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2003.
- [3] E. Nowak (red), Prognozowanie gospodarcze: metody, modele, zastosowania, przykłady, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998.
- [4] M. Sobczyk, Prognozowanie. Teoria, przykłady, zadania, Wydawnictwo Placet, Warszawa 2008.
- [5] A. Zeliaś, Teoria prognozy, Polskie Wydawnictwa Ekonomiczne Warszawa 1997.
- [6] Roczniki Statystyczne Przemysłu, GUS, Warszawa: 1970, s. 275–276; 1974, s. 210–220; 1977, s. 249; 1979, s. 313–317; 1980, s. 328–332; 1981, s. 345; 1986, s. 315; 1988, s. 293; 1990, s. 240–241; 1991, s. 215–216; 1992, s. 177–178; 1993, s. 193–194; 1995; 1998; 2000 (dział: Produkcja wybranych wyrobów).
- [7] B. Gajdzik, Retrospekcja zmian w technologii wytwarzania stali według procesów w polskim hutnictwie, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza 67 (4) (2015) 54–59.
- [8] B. Gajdzik, Cykle życia technologii w krajowym przemyśle hutniczym, Hutnik-Wiadomości Hutnicze 82 (12) (2015), 765–771, na podstawie: Kierunkowa koncepcja programu modernizacji i perspektyw hutnictwa żelaza do 1990 roku (wydanie II), BIOPHUT, Gliwice 1983 s. 15–19.
- [9] B. Gajdzik, Restrukturyzacja przedsiębiorstw hutniczych w zestawieniach statystycznych i badaniach empirycznych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [10] Strategor, Zarządzanie firmą. Strategie, struktury, decyzje, tożsamość, PWE, Warszawa 1996, s. 150.
- [11] A.D. Little, Stratégie et technologie, dokument ADL przedstawiony na European Management Forum, Davos 1981.
- [12] Raporty Hutniczej Izby Przemysłowo-Handlowej w Katowicach, Polski przemysł hutniczy, 2000–2015, dział: Produkcja.
- [13] Crude steel production 1980–2014, World Steel Association, dostęp: worldsteel.org.
- [14] Crude steel production 2015–2016, World Steel Association, dostęp: <https://www.worldsteel.org/statistics/crude-steel-production.html>.
- [15] A. Świdzka, Rynek dwóch prędkości. Hutnictwo i odlewnictwo w Polsce – raport, Magazyn Przemysłowy 161 (9) (2016) 18–23, dostęp: [www.magazynprzemyslowy.pl](http://www.magazynprzemyslowy.pl).