

ENERGOCHŁONNOŚĆ PRODUKCJI STALI – ANALIZA RETROSPEKTYWNA I PROGNOSTYCZNA

Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie prognoz wielkości produkcji stalowni konwertorowych i elektrycznych z uwzględnieniem zużycia energii ogółem, ze szczególnym naciskiem na energię elektryczną. W publikacji wykorzystano prognozowanie statystyczne oraz wtórne źródła informacji w formie dostępnych opracowań energochłonności produkcji hutniczej w Polsce. Analiza ex post obejmowała wielkość produkcji stali i jej energochłonność za lata 2000–2015. Dane empiryczne (statystyczne) stały się podstawą do wyznaczenia krótkoterminowej prognozy zmian w wielkości produkcji stali w podziale na procesy technologiczne (konwertory, piece elektryczne). Na podstawie założeń zmian energochłonności hutnictwa (dostępne opracowania) ustalono zużycie energii ogółem potrzebnej do wyprodukowania prognozowanych wielkości stali.

Słowa kluczowe: hutnictwo, produkcja stali, konwertor, piece elektryczne, energochłonność

ENERGY INTENSITY OF STEEL PRODUCTION – RETROSPECTIVE AND PROGNOSTIC ANALYSIS

The aim of this publication is to present forecasts of production of converter steel and electric with regard to total energy consumption, with special emphasis on electric energy. The publication uses statistical forecasting and secondary sources of information available in the form of studies on energy intensity of steel production in Poland. An ex post analysis included the volume of production of steel and its energy consumption for the period 2000–2015. Empirical data (statistics) became the basis for the designation of a short-term forecast of changes in steel production, broken down by technological process (converters, electric furnaces). Based on the assumptions of changes in energy intensity in metallurgy (available studies), the total energy required to produce the forecast quantity of steel was established.

Keywords: steel industry, steel production, converter, electric furnaces, energy intensity

1. WPROWADZENIE

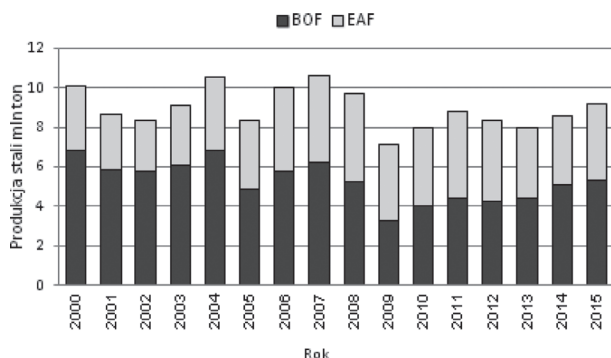
Prognozowanie wielkości produkcji jest kluczowym elementem procesu planistycznego w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Decyzje podejmowane w obszarze produkcji są trudne z powodu ich skomplikowanej natury i ponoszenia na realizację poszczególnych działań bardzo często wysokich nakładów inwestycyjnych. Wolumen produkcji zmienia się w zależności od zapotrzebowania na rynku. Popyt rynkowy wpływa na wzrost lub spadek rozmiarów produkcji. Restrukturyzacja przemysłu hutniczego skutkuje, w długim okresie, ograniczyła wielkość produkcji stali poprzez poprawę konkurencyjności. Po transformacji systemu gospodarczego kraju, hutnictwo zredukowało zdolności produkcyjne i wycofało nieopłacalne ekonomicznie technologie (w 2002 roku zakończono produkowanie stali w piecach martenowskich). Pod koniec ubiegłego wieku huty produkowały ponad 10 mln ton stali rocznie [1, 2]. Obecnie nieco ponad 9 mln ton [3]. W ciągu ostatnich piętnastu lat wystąpiły wahania w produkcji stali (wahania te nie miały charakteru cyklicznego). W części analitycznej pracy przedstawiono przebieg trendu produkcji stali w podziale na procesy technologiczne: konwertory i piece elektryczne wraz z ich ener-

gochłonnością. Zakres czasowy analizy obejmował lata 2000–2015. W części prognozy ustalono wielkości produkowanej stali w procesach hutniczych do 2020 roku. Na podstawie prognoz ustalono energochłonność (zużycie energii na jednostkę produkcji) dla prognozowanych wielkości.

2. PRODUKCJA STALI WEDŁUG PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH W POLSCE W LATACH 2000–2015

W hutnictwie podstawowym procesem otrzymywania stali jest metoda konwertorowa. W Polsce istnieją dwie stalownie konwertorowe, po jednej w Krakowskim i Dąbrowskim Oddziale ArcelorMittal Poland. Stalownie te produkują ponad 50% stali w kraju. W 2015 roku ArcelorMittal Poland wyprodukował ponad 5 mln ton stali (prawie 55% krajowej produkcji stali) [4]. Stalownie konwertorowe należące do ArcelorMittal Poland mają wysokie zdolności produkcyjne. Stalownia w Krakowie (konwertor typu TMB – *Thyssen Blast Metalurgie*) pomimo, że powstała 45 lat temu jest w stanie wyprodukować rocznie 2,6 mln ton stali (średni ciężar wytopu 160 ton), a nowszy (konwertory typu LD – *Linz-Donawitz*

i TMB) w Dąbrowie Górniczej 5 mln ton stali (średni ciężar wytopu 330 ton), łączna zdolność produkcyjna 7,6 mln ton stali rocznie [5]. Pozostałe huty w Polsce produkują stal w piecach elektrycznych (łukowych). Piece łukowe są podstawowym źródłem otrzymywania stali masowych w technologii elektrycznej. Objętość pieców i moc ich transformatorów rośnie (piece UHP – ultra wysokiej mocy). Małe piece mają pojemność od 30 i więcej ton stali. Pojemność dużych pieców łukowych elektrycznych to nawet 200 ton i więcej ciekłej stali. Piece zasilane są prądem zmiennym lub stałym (na świecie przybywa pieców zasilanych prądem stałym). Piece na prąd stały mają mniejsze „migotanie” prądu i są znacznie cichsze od pieców na prąd zmienny, natomiast wymagają wyższych nakładów inwestycyjnych i droższych materiałów stosowanych w trzonie, przy czym ich trwałość jest większa w porównaniu z piecami zasilanymi prądem zmiennym [5]. Technologia wytwarzania stali w piecach elektrycznych określana jest jako EAF od *Electric Arc Furnace*, a w konwertorach jako BOF – *Basic Oxygen Furnace*. Przebiegi czasowe produkcji stali ogółem w Polsce i w podziale na procesy technologiczne przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Produkcja stali w podziale na procesy technologiczne w Polsce w latach 2000–2015 [3]

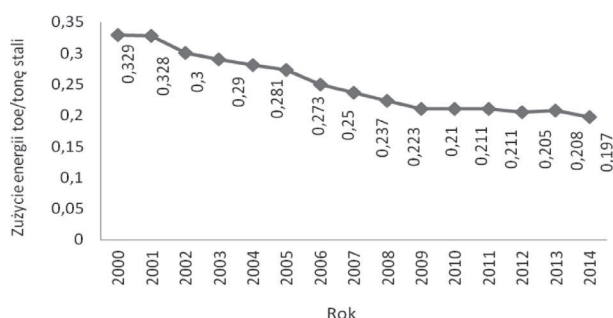
Fig. 1. Steel production according to used technology in Poland in 2000–2015 [3]

W przebiegu czasowym trendu wielkości produkcji stali w podziale na procesy technologiczne występują wahania. W latach 2000–2008 więcej (o kilka procent) produkowano stali w procesie konwertorowym niż elektrycznym. W 2009 roku, po raz pierwszy, wystąpiła sytuacja przewagi wyprodukowanej stali w stalowniach elektrycznych nad konwertorowymi (odpowiednio 55% ogólnej produkcji stali i 45%). Proporcja zbliżona wystąpiła w 2010 roku (50,02% produkcja w piecach elektrycznych i 49,98% w konwertorach). Po 2011 roku odnotowano ponowny wzrost produkcji stali w konwertorach. W 2015 roku stal otrzymana w procesie konwertorowym stanowiła 57,8% produkcji ogółem a w piecach elektrycznych 42,2% [6].

3. ENERGOCHŁONNOŚĆ PRODUKCJI STALI OGÓŁEM W KRAJU

Przemysł hutniczy jest energochłonny. Według danych GUS w całkowitym zużyciu energii w przemyśle przetwórczym około 60% energii używają przemysły: hutniczy, chemiczny i mineralny [7]. W przeliczeniu na tonę stali w latach 2000–2015 odnotowano spadek energochłonności produkcji ponieważ w krajowym hut-

nictwie wprowadzono zmiany technologiczne (np. wycofano technologię martenowską) a wielkość produkcji spadła między innymi z nadmiernego wzrostu importu, tańszych wyrobów hutniczych do kraju (ujemny bilans wymiany handlowej z zagranicą) [8] (Rys. 2).



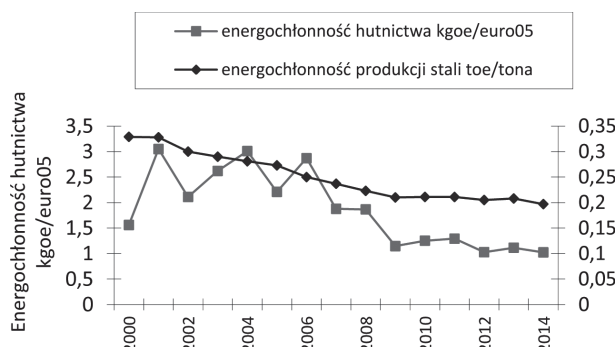
Objaśnienia do rys. 2:

toe – to jednostka umowna energochłonności – tona oleju ekwiwalentnego, 1 toe odpowiada 41,86 GJ lub 11 647 kWh.

Rys. 2. Jednostkowe zużycie energii w produkcji stali w Polsce w latach 2000–2014 [7, 9, 10]

Fig. 2. Specific energy consumption in steel production in Poland in 2000–2014 [7, 9, 10]

Na rys. 3 połączono jednostkową energochłonność produkcji stali z energochłonnością hutnictwa ogółem w przeliczeniu na kilogram oleju ekwiwalentnego (kgoe) według wartości euro wyrażonej w kursie z 2005 roku.



Rys. 3. Energochłonność hutnictwa i produkcji stali w Polsce w latach 2000–2014 [7, 9, 10]

Fig. 3. Energy intensity in the steel industry and steel production in Poland in 2000–2014 [7, 9, 10]

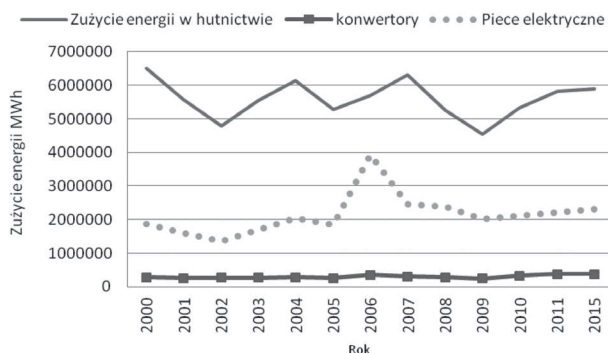
W 2010 roku koszty zużycia energii wynosiły 0,19 tys. zł/tonę stali. Polski przemysł stalowy płaci o 20÷30% wyższe ceny za energię elektryczną niż jego konkurenci w Unii Europejskiej. Koszty energii (energii elektrycznej i gazu) dla branży stalowej w Polsce stanowią ponad 50% wytworzonej wartości dodanej brutto w sektorze hutniczym i są najbardziej istotnym elementem kosztowym wpływającym na konkurencyjność branży [11].

4. ENERGOCHŁONNOŚĆ PRODUKCJI STALI W PODZIALE NA PROCESY TECHNOLOGICZNE W KRAJU

Zakresem analizy objęto zużycie energii elektrycznej i cieplnej w podstawowych procesach technologicznych wytwarzania stali w Polsce w latach 2000–2015.

4.1. ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH PRODUKCJI STALI

Bardziej energochłonny jest proces elektryczny niż konwertorowy. Na rys. 4 przedstawiono zużycie energii w stalowniach elektrycznych i konwertorowych w Polsce w latach 2000–2015.



Źródło: Opracowano na podstawie danych HIPH

Rys. 4. Zużycie energii elektrycznej w procesach technologicznych wytwarzania stali w Polsce w latach 2000–2015 [13]

Fig. 4. Energy consumption in technology of steel production in Poland in 2000–2015 [13]

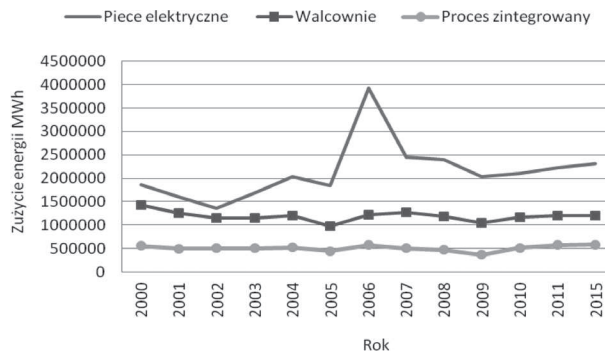
Najniższy poziom zużycia energii w krajowym hutnictwie odnotowano w 2009 roku wówczas zużycie energii elektrycznej wynosiło 4538836 MWh. W tym roku wyprodukowano tylko 7,1 mln ton stali. W tym roku nasiliły się w krajowym sektorze hutniczym ekonomiczne skutki światowego kryzysu gospodarczego. Największe zużycie energii elektrycznej było w 2000 roku 6503036 MWh. W procesie konwertorowym (Rys. 4) największe zapotrzebowanie energetyczne na poziomie 376386 MWh miało miejsce w 2011 roku, a najniższe w w 2009 roku – zużycie energii to 251812 MWh. Gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w procesie elektrycznym odnotowano w 2006 roku, w tym roku wyprodukowano 9,9 mln ton stali w tym w technologii EAF otrzymano 4,2 mln ton stali. Był to pierwszy rok, w którym wielkości wyprodukowanej stali elektrycznej przekroczyła poziom 4 mln ton. Po przeliczeniu na 1 tonę stali uśrednione zużycie energii elektrycznej wynosi odpowiednio: stal elektryczna: 578,4 kWh/t¹, stal konwertorowa 55,66 kWh/t². W tabeli 1 zestawiono produkcję stali w podziale na procesy technologiczne wraz z zużyciem energii elektrycznej w latach 2000–2015. W latach 2000–2002 prowadzona była w Polsce produkcja stali w piecach martenowskich (kolor szary w tabeli 1) lecz jej udział nie był znaczący (w latach 2000, 2001, 2002 odpowiednio: 0,041343 mln ton, 0,0177615 mln ton i 0,007221 mln ton; piece martenowskie zużywały w latach 2000, 2001 odpowiednio: 55773 MWh energii, 46095 MWh) [13].

1 Sposób wykonania obliczenia średniego wskaźnika zużycia energii elektrycznej w procesie EAF: Suma zużycia energii elektrycznej w procesie EAF w latach 2000–2015/ łączną produkcję stali w piecach elektrycznych w latach 2000–2015 (po przeliczeniu MWh na kWh, 1 MWh = 1000 kWh).

2 Sposób wykonania obliczenia średniego wskaźnika zużycia energii elektrycznej w procesie BOF: Suma zużycia energii elektrycznej w procesie BOF latach 2000–2015/ łączną produkcję stali konwertorowej w latach 2000–2015 (po przeliczeniu MWh na kWh, 1 MWh = 1000 kWh).

W porównaniu do zużycia z lat 80. i 90. ubiegłego wieku zużycie energii elektrycznej w przeliczeniu na 1 tonę stali zmniejszyło się przy produkcji stali elektrycznej o około 150 kWh. Średni wskaźnik zużycia energii elektrycznej w 1980 roku wynosił 737 kWh/t stali [14]. W tym okresie w krajach Europy Środkowo-Wschodniej zużycie energii elektrycznej w produkcji stali elektrycznej wynosiło około 600 kWh/t stali, a w Japonii i Stanach Zjednoczonych odpowiednio: 505 kWh/t stali i 507 kWh/t stali [14].

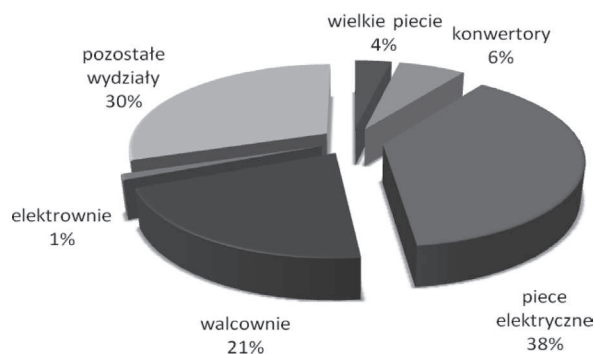
Pod względem wielkości zużycia energii w procesach hutniczych w kraju najwięcej energii elektrycznej poza piecami elektrycznymi potrzebują walcownie, średnio roczne zużycie to około 1191936 MWh. W porównaniu z średniorocznym zapotrzebowaniem stalowni elektrycznych (2141818 MWh) jest to o 949882 MWh mniej. Trzecia pozycja to energochłonność wielkich pieców i konwertorów. Procesy te występują łącznie i określane są jako zintegrowane. Łączne zużycie energii w hutach zintegrowanych (wielki piec i proces konwertorowy) to około 6084573 MWh/rok [13]. Na rys. 5 przedstawiono trendy czasowe energochłonności stalowni i walcowni (ujęcie retrospektywne).



Rys. 5. Zużycie energii elektrycznej w stalowniach i walcowniach w Polsce w latach 2000–2015 [13]

Fig. 5. Energy consumption in steelworks and rolling mills in Poland in 2000–2015 [13]

Na rys. 6 przedstawiono ujęcie procentowe energochłonności sektora hutniczego (ujęto wszystkie wydziały produkcyjne). Wysokie zapotrzebowanie energetyczne zgłaszały do 2002 roku elektrownie funkcjonujące na terenie hut (w 2000 roku 215199 MWh, w 2001 roku 138182 MWh). Począwszy od 2002 roku zużycie energetyczne spadło (najniższy poziom odnotowano w 2002 roku 45708 MWh, a najwyższy w 2011



Rys. 6. Udział zużycia energii elektrycznej w procesach hutniczych w Polsce [13]

Fig. 6. Share of energy consumption in particular technological processes in Poland [13]

Tabela 1. Zużycie energii elektrycznej według procesów technologicznych w krajowym hutnictwie w latach 2000–2015 [13]
Table 1. Consumption of electricity by technological process in the domestic steel industry in the years 2000–2015 [13]

Rok	Produkcja stali ogółem [mln ton]	Proces konwertorowy		Proces elektryczny		Proces martenowski	
		Produkcja stali [mln ton]	Zużycie energii [MWh]	Produkcja stali [mln ton]	Zużycie energii [MWh]	Produkcja stali [mln ton]	Zużycie energii [MWh]
2000	10,498	6,800	280387	3,285	1859628	0,041343	55773
2001	8,809	5,823	260354	2,809	1596210	0,017761	46095
2002	8,367	5,799	269725	2,561	1361583	0,007221	Nie wykazano
2003	9,107	6,070	269280	3,037	1692770		
2004	10,578	6,858	282732	3,721	2038281		
2005	8,336	4,893	263362	3,443	1842244		
2006	9,992	5,766	356007	4,225	3925547		
2007	10,631	6,198	303138	4,433	2448640		
2008	9,727	5,225	284628	4,502	2396101		
2009	7,128	3,236	251812	3,893	2028433		
2010	7,993	3,995	335243	3,998	2111456		
2011	8,776	4,424	376386	4,353	2221370		
2012	8,348	4,227	235275*	4,132	2389949*		
2013	7,950	4,399	244848*	3,551	2053898*		
2014	8,558	5,067	282029*	3,491	2019194*		
2015	9,202	5,323	296278*	3,879	2243613*		

*Obliczono na podstawie wskaźnika średniego zużycia energii: dla konwertorów 0,05566 MWh/t stali dla pieców elektrycznych 0,5784 MWh/t stali).

roku 63299 MWh. Pozostałe wydziały huty zużyły od 1021632 MWh (wartość minimalna w 2009 roku) do 237919 MWh energii elektrycznej (wartość maksymalna odnotowana w 2000 roku) [13].

4.2. ZUŻYCIE ENERGII CIEPLNEJ W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH PRODUKCJI STALI

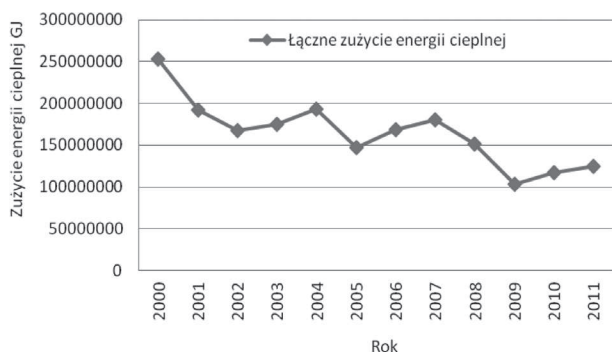
W zestawieniu (Tab. 2) ujęto całkowite zużycie energii cieplnej w poszczególnych procesach produkcyjnych w hutnictwie w latach 2000–2011. Stalownie konwertorowe zużywają w ostatnich latach więcej energii ciep-

nej niż stalownie elektryczne (trendy czasowe ujęto na rys. 7).

Trend czasowy łącznego zużycia energii cieplnej jest malejący. W 2000 roku hutnictwo zużyło 253521915 GJ energii cieplnej, natomiast w 2011 roku 124149242 GJ (spadek o ponad 50%). Wzrost zużycia energii elektrycznej (lata 2004, 2007) spowodowany był wzrostem popytu na stali. W latach 2004 i 2007 wyprodukowano 10,578 mln ton i 10,363 mln ton (Tab. 1). Trend malejący zużycia energii cieplnej występuje również w odniesieniu do stalowni elektrycznych, w których zużycie energii cieplnej zmniejszyło się w porównaniu z 2000

Tabela 2. Zużycie energii cieplnej według procesów technologicznych w krajowym hutnictwie latach 2000–2011 [13]
Table 2. Consumption of thermal energy by technological process in the domestic steel industry between 2000–2011 [13]

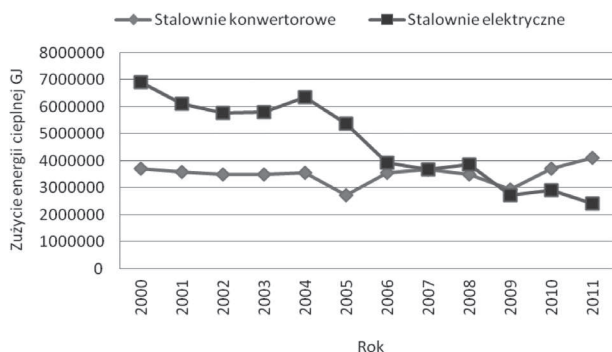
Rok	Zużycie energii cieplnej [GJ]				
	Łączne zużycie w hutnictwie	Wielkie piece	Stalownie konwertorowe	Stalownie elektryczne	Piece martenowskie
2000	253521915	113691935	3714666	6919743	3162263
2001	192281423	94237578	3588417	6106284	1586261
2002	167558804	93230088	3479455	5760522	
2003	175300363	98810159	3492923	5785240	
2004	193541823	110696019	3567187	6363613	
2005	147171345	84064382	2711657	5367645	
2006	168512966	96094962	3560070	3925547	
2007	180330262	109467424	3662592	3675678	
2008	151755335	92207770	3502392	3854406	
2009	103359621	59234630	2924274	2711662	
2010	116879444	59322457	3721980	2911991	
2011	124149242	71606347	4095038	2429048	



Rys. 7. Łączne zużycie energii cieplnej w krajowym hutnictwie w latach 2000–2011 [13]

Fig. 7. Total thermal energy consumption in steel production in Poland in 2000–2011 [13]

rokiem o 4490695 GJ (tj. o 65%). W stalowniach konwertorowych odnotowywany jest wzrost zużycia energii cieplnej po 2005 roku (z wyjątkiem 2009 roku). Po 2009 roku stalownie konwertorowe zużyły więcej energii cieplnej niż elektryczne (Rys. 8).



Rys. 8. Zużycie energii cieplnej w krajowych stalowniach konwertorowych i elektrycznych w latach 2000–2011 [13]

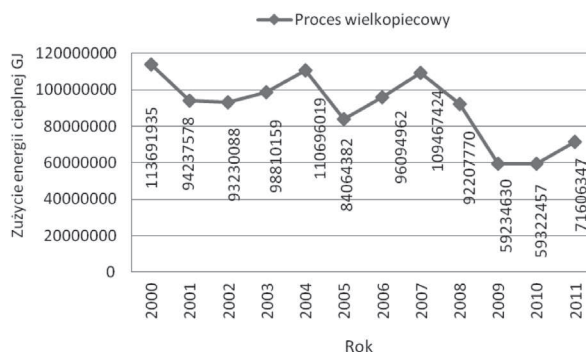
Fig. 8. Thermal energy consumption in electric and converter processes in Poland in 2000–2011 [13]

Na tonę stali przypada w procesie konwertorowym 0,8625 GJ³, a w procesie elektrycznym 1,6756 GJ (wielkości uśrednione)⁴.

Zużycie energii cieplnej w procesie wielkopiecowym ujęto na rys. 9. W 2000 roku krajowe huty w procesie wielkopiecowym zużyły ponad 113 mln GJ energii cieplnej. Po 2007 roku (skutek światowego kryzysu gospodarczego i rezultat spadku popytu na stal) zmniejszyło się zużycie energii cieplnej w procesie wielkopiecowym. W tym okresie jeden z wielkich pieców należący do przedsiębiorstwa ArcelorMittal Poland został wyłączony. W 2009 i 2010 roku zużyto najmniej energii cieplnej – nieco ponad 59 mln GJ. Zużycie energii cieplnej w procesie wielkopiecowym stanowi obecnie prawie 58% ogólnego zużycia energii cieplnej w hutnictwie. Drugą pozycję pod względem udziału w zapotrzebowania na energię cieplną zajmują walcownie. Stalownie znajdują się na ostatnich pozycjach, ze zużyciem od 2% do 3% energii cieplnej (Rys. 10).

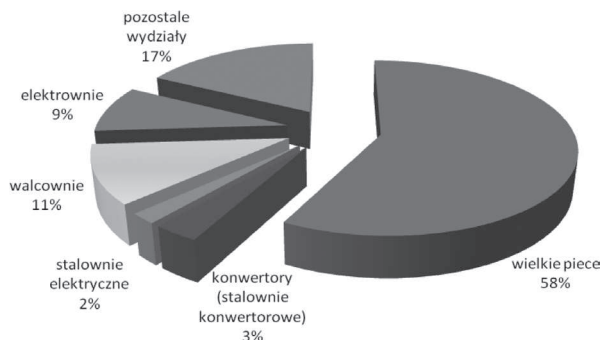
³ Sposób wykonania obliczenia średniego wskaźnika zużycia energii cieplnej w procesie BOF: Suma zużycia energii cieplnej w procesie BOF latach 2000–2015/ łączną produkcję stali w konwertorach w latach 2000–2015.

⁴ Sposób wykonania obliczenia średniego wskaźnika zużycia energii cieplnej w procesie EAF: Suma zużycia energii cieplnej w procesie EAF latach 2000–2015/ łączną produkcję stali w piecach łukowych w latach 2000–2015.



Rys. 9. Zużycie energii cieplnej w procesie wielkopiecowym w Polsce w latach 2000–2011 [13]

Fig. 9. Thermal energy consumption in the blast furnace process in Poland in 2000–2011 [13]



Rys. 10. Udział zużycia energii cieplnej według procesów hutniczych w Polsce [13]

Fig. 10. Share of thermal energy consumption in particular technological processes in the steel industry in Poland [13]

5. PROGNOZOWANIE WIELKOŚCI PRODUKCJI STALI OGÓŁEM I W PODZIALE NA PROCESY TECHNOLOGICZNE W POLSCE DO 2020 ROKU

W prognozowaniu zmian badanych zjawisk (wielkość produkcji stali ogółem, produkcja stali konwertorowej i elektrycznej) zastosowano model trendu pełzającego z wagami harmonicznymi. Za kryterium optymalizacji wartości prognozy punktowej przyjęto minimalną wartość jednego z błędów: pierwiastka kwadratowego obliczanym ze średniego kwadratowego błędów prognoz pozornych RMSE* i średniej wartości względnego błędów prognoz wygasłych Ψ [15–17]. Dane empiryczne to dane dotyczące: wielkość produkcji stali ogółem, wielkość produkcji stali w procesie elektrycznym, wielkość produkcji stali w procesie konwertorowym. Zakres czasowym danych empirycznych to lata 2000–2015 (dane GUS i HIPH). Uzyskano wyniki kryteriów optymalizacji dla przyjętej metody ujęto w tabeli 3.

Błąd *ex ante* wyznaczono dla roku 2015.

Założenia metodyczne:

- Wybrano segmenty po $k = 4$ obserwacje
- Wagi, czyli współczynniki uwzględniające starzenie się informacji obliczono wg wzoru:

$$C_{t+1}^n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^t \frac{1}{n-1} \quad (1)$$

Prognozy *ex-ante* obliczono wg wzoru:

$$y_T^* = y_n + (T-n) \left(\sum_{t=2}^n w_t c_t \right) \quad \text{dla } T = n+1, \dots, t \quad (2)$$

Tabela 3. Rezultaty optymalnych kryteriów dla metody trendu pełzającego z prognozowaniem metodą wag harmonicznym w ramach badanych obszarów prognoz*

Table 3. Results of optimal criteria for the crawling trend method with harmonic scales forecasting in the investigated areas of forecasts

Nr	Obszar prognozy	Błąd <i>ex post</i>		Błąd <i>ex ante</i>
		ψ	RMSE*	ψ
1	Produkcja stali ogółem	0,044	0,521	0,0230
2	Produkcja stali konwertorowej	0,059	0,379	0,0046
3	Produkcja stali elektrycznej	0,041	0,172	0,0615

* Weryfikację metod nadzorował prof. Pol. Śl., dr hab. inż. Jan Szmyszal (autorka składa serdeczne podziękowania)

Uzyskane rezultaty modelowania przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zbiorcze zestawienie uzyskanych prognoz wielkości produkcji stali ogółem i według procesów technologicznych w Polsce do 2020 roku

Table 4. Summary of the obtained forecasts for steel production in total and by technological process in Poland until 2020

Rok	Prognozowana wielkość produkcji stali		
	ogółem [mln ton]	w procesie konwertorowym [mln ton]	w procesie elektrycznym [mln ton]
2016	9,280	5,430	3,850
2017	9,360	5,540	3,820
2018	9,440	5,650	3,790
2019	9,520	5,760	3,760
2020	9,600	5,870	3,730

Źródło: opracowanie własne na podstawie przedstawionej w publikacji metodyki badań

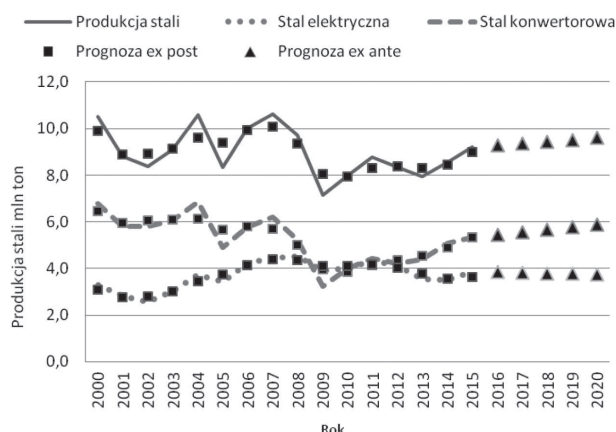
Na podstawie modelu trendu pełzającego z prognozowaniem metodą wag harmonicznym uzyskano rosnący trend wielkości produkcji stali ogółem i w procesie konwertorowym oraz lekko malejący w odniesieniu do stali elektrycznej (Rys. 11). Nieznaczny spadek produkcji stali w piecach elektrycznych może być spowodowany ograniczeniem mocy produkcyjnych hut. 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%) [13].

Tabela 5. Zbiorcze zestawienie uzyskanych prognoz energochłonności produkcji stali ogółem i według procesów technologicznych w Polsce do 2020 roku

Table 5. Summary of the obtained forecasts of energy consumption in steel production in total and by technological process in Poland until 2020

Rok	Prognoza produkcji stali konwertorowej mln ton	Energochłonność procesu konwertorowego		Prognoza produkcji stali elektryczne mln ton	Energochłonność procesu elektrycznego	
		Energia elektryczna MWh	Energia cieplna GJ		Energia elektryczna MWh	Energia cieplna GJ
2016	5,430	302233,8	4683375,0	3,850	2228765,0	6451060,0
2017	5,540	308356,4	4778250,0	3,820	2209488,0	6400792,0
2018	5,650	314479,0	4873125,0	3,790	2192136,0	6350524,0
2019	5,760	320601,6	4968000,0	3,760	2174784,0	6300256,0
2020	5,870	326724,2	5062875,0	3,730	2157432,0	6249988,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie przedstawionej w publikacji metodyki badań



Źródło: opracowanie własne na podstawie przedstawionej w publikacji metodyki badań

Rys. 11. Prognozy krajowej wielkości produkcji stali ogółem i według procesów technologicznych do 2020 roku

Fig. 11. Prognoses of steel production in total and by to technology in Poland until 2020

6. PROGNOZOWANIE ENERGOCHŁONNOŚCI PRODUKCJI STALI OGÓŁEM I W PODZIALE NA PROCESY TECHNOLOGICZNE W POLSCE DO 2020 ROKU

Prognozowanie energochłonności oparto na przeliczeniach uśrednionych:

1. Dla energii elektrycznej w produkcji stali w konwertorach przyjęto wskaźnik 0,05566 MWh/t, a dla stali elektrycznej 0,5784 MWh/t stali).
2. Dla energii cieplnej w procesie konwertorowym 0,8625 GJ, a w procesie elektrycznym 1,6756 GJ.

Sposób obliczenia wskaźnika średniego zużycia energii: suma zużycia energii w procesie/ łączna produkcja stali w tym procesie (obliczono na podstawie danych empirycznych za lata 2000–2011).

Wyniki obliczeń ujęto w tabeli 5.

Przedstawione prognozy zużycia energii są zawyżone – nie uwzględniono zmian technologicznych w produkcji stali (wymogi BAT – najlepszych dostępnych technik) [18–20], w tym wykorzystanie gazów przemysłowych do generowania energii oraz innych efektów w ramach zakładowych programów maksymalizujących efektywność energetyczną wdrażanych w ramach systemu ISO 50001 – tzw. białe certyfikaty hut.

6.1. ODNIESIENIE PORÓWNAWCZE PROGNOZ ENERGOCHŁONNOŚCI PRODUKCJI STALI DO WYMOGÓW TECHNOLOGII BAT

Uzyskane prognozy odniesiono do opracowania PKEE [21], w którym energochłonność produkcji stali zestawiono w wariantach 20% – opartym na 20% oszczędności energii typowej dla technologii BAT i wariantie podstawowym (Tab. 6). Oszacowanie energochłonności w hutnictwie dokonano na podstawie analizy zmian energochłonności wytwarzania wartości dodanej w latach 1999–2006. W tym okresie średnioroczne tempo spadku energochłonności w wartości dodanej przemysłu, w gospodarce polskiej wynosiło 5%, a w hutnictwie przekraczało 10%. Założenia dotyczące dynamiki zmian dla sektora hutniczego (metalurgicznego) w wariantach podstawowych to: w 2005 roku 1,0; w 2010 roku 0,86; w 2015 roku 0,75; w 2020 roku 0,71; w 2025 roku 0,67; w 2030 roku 0,61.

Po przeliczeniu w oparciu o scenariusz bazowy w wariantach oszczędnościowym uzyskano odpowiednio następującą energochłonność:

1. Proces elektryczny:

a) scenariusz bazowy w wariantach 20% prognoza energochłonności na 2020 rok to 15616000 GJ (przy prawie dwukrotnie wyższej prognozie produkcji w procesie elektrycznym w stosunku do prognozy autorskiej – obliczenia w tabeli 7), w wariantach podstawowych to 16512000 GJ,

b) scenariusz umiarkowany w wariantach 20% prognoza energochłonności na 2020 rok to 11712000 GJ, w wariantach podstawowych to 12384000 GJ.

2. Proces konwertorowy:

a) scenariusz bazowy w wariantach 20% prognoza energochłonności na 2020 rok to 4958000 GJ, w wariantach podstawowych to 7400000 GJ,

b) scenariusz umiarkowany w wariantach 20% prognoza energochłonności na 2020 rok to 4288000 GJ, w wariantach podstawowych to 6400000 GJ.

6.2. WERYFIKACJA PROGNOZ ENERGOCHŁONNOŚCI PRODUKCJI STALI W POLSCE ZGODNIE Z ZAŁOŻENIAMI TECHNOLOGII BAT

Przyjmując założenia przytoczonego opracowania przygotowano wariant oszczędnościowy zużycia energii według technologii BAT (wariant oszczędności 20%). Zestawienie zbiorcze ujęto w tabeli 7.

7. WNIOSKI Z ANALIZY RETROSPEKTYWNEJ I PROGNOSTYCZNEJ

Na podstawie wykonanej analizy ustalono, że:

- przemysł hutniczy należy do energochłonnych gałęzi przemysłu (zużycie energii wraz z przemysłem chemicznym i mineralnym wynosi 60% ogółu energii),
- energochłonność produkcji stali w latach 2000-2014 wykazywała tendencję spadkową (z 0,329 toe/t stali w 2000 roku do 0,197 toe/t stali w 2014 roku),
- zużycie energii elektrycznej jest wyższe w procesie elektrycznym produkcji stali niż w procesie konwertorowym (uśredniony wskaźnik dla stali EAF to 578,4 kWh/t, dla stali BOF to 55,66 kWh/t) co wynika ze sepcyfiki technologii wytwarzania stali (jeden proces pracuje na zimnym wsadzie – złom a drugi na ciekłym – surówka),
- zużycie energii cieplnej w procesie konwertorowym w analizowanym okresie wynosiło od 2711657 GJ w 2005 roku (zużycie najmniejsze) do 4095038 GJ

Tabela 6. Prognozowanie energochłonności produkcji stali w Polsce do 2030 roku według PKEE [21]

Table 6. Predicting energy intensity of steel production in Poland by 2030, according to PKEE [21]

Rok	Prognozy produkcji stali mln ton				Energochłonność wariant 20% GJ/t		Energochłonność wariant podstawowy GJ/t	
	Stal EAF		Stal BOF		Stal EAF	Stal BOF	Stal EAF	Stal BOF
	Bazowy	Umiarkowany	Bazowy	Umiarkowany				
2020	6,4	4,8	7,4	6,4	2,44	0,670	2,58	1,000
2025	6,8	5,0	7,4	6,5	2,41	0,650	2,58	1,000
2030	7,0	5,0	7,4	6,5	2,37	0,650	2,58	1,000

Tabela 7. Zbiorcze zestawienie uzyskanych prognoz energochłonności produkcji stali ogółem i według procesów technologicznych w Polsce do 2020 roku (wariant 20%)

Table 7. Summary of the obtained forecasts of energy consumption in steel production in total and by technological process in Poland by 2020 (20% variant)

Rok	Prognoza produkcji stali konwertorowej mln ton	Energochłonność procesu konwertorowego Wariant 20%		Prognoza produkcji stali elektryczne mln ton	Energochłonność procesu elektrycznego Wariant 20%	
		Energia elektryczna MWh	Energia cieplna GJ		Energia elektryczna MWh	Energia cieplna GJ
2016	5,430	241787	3746700	3,850	1783012,0	5160848,0
2017	5,540	246685	3822600	3,820	1767590,4	5120633,6
2018	5,650	251583	3898500	3,790	1753708,8	5080419,2
2019	5,760	256481	3974400	3,760	1739827,2	5040204,8
2020	5,870	261379	4050300	3,730	1725945,6	4999990,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie przedstawionej w publikacji metodyki badań

w 2011 roku (zużycie najwyższe), natomiast w procesie elektrycznym najniższe zużycie odnotowano w 2011 roku 2429048 GJ, a najwyższe w 2000 roku 6919743 GJ.

Na podstawie prognoz wielkości produkcji stal do 2020 roku ustalono, że:

- w latach 2016–2020 (okres pięciu lat) produkcja stali nieznacznie będzie rosła uzyskując w 2020 roku poziom 9,6 mln ton, w tym w procesie konwertorowym 5,9 mln ton, a w piecach elektrycznych (łukowych) 3,7 mln ton stali,
- energochłonność procesu elektrycznego (produkcja stali w piecach elektrycznych/łukowych) będzie nadal wyższa niż procesie konwertorowym.

8. PODSUMOWANIE

Użyta w publikacji metodyka prognostyczna ma charakter autorski, może jednak stanowić odniesienie do opracowania strategii rozwoju produkcji hutniczej do 2020 roku. Po opublikowaniu danych dotyczących wielkości produkcji stali w Polsce w 2016 roku należy dokonać weryfikacji opracowanej prognozy. Założenia metodyczne można odnieść do energochłonności poszczególnych zakładów produkcyjnych w ramach analizy benchmarkingowej. Zestawione dane statystyczne w zakresie energochłonności produkcji stali mogą posłużyć do optymalizacji kosztów w oparciu o dostępne metody (np. spin-off) [22]. Należy również podkreślić, że wykonana prognoza energochłonności wielkości produkcji stali w kraju w podziale na procesy technologiczne winna być (do celów decyzyjnych) rozbudowana o prognozy energochłonności procesu wielkopiecowego, który stanowi integralną część Zin terowanego wytwarzania stali.

LITERATURA

1. Gajdzik B.: Restrukturyzacja przedsiębiorstw hutniczych w zestawieniach statystycznych i badaniach empirycznych, Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013, s. 155
2. Garbarz B.: Zintegrowane procesy wytwarzania wyrobów hutniczych, „Hutnik – Wiadomości Hutnicze” 1997, nr 8
3. Polski przemysł stalowy. Roczne raporty Hutniczej Izby Przemysłowo-Handlowej w Katowicach; dostęp: www.hiph.org/polski_przemysl_handlowy; Raport 2016
4. Raport zrównoważonego rozwoju 2015 według GRI G4, ArcelorMittal Poland, Dąbrowa Górnicza
5. Łędzki A., Zieliński K., Klimczyk A.: Podstawy technologii wytwarzania i przetwarzania. Część V Stalownictwo (materiały wewnętrzne). Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, 2010
6. Gajdzik B.: Retrospekcja zmian w technologii wytwarzania stali według procesów w polskim hutnictwie, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, 2015, t. 67, nr 4, s. 54–59
7. Efektywność wykorzystania energii w latach 2001–2011 GUS, Warszawa 2013, s. 54–55
8. Zdonek B., Mazur A., Szypuła I.: Kierunki optymalizacji kosztów materiałów wsadowych, eksploatacyjnych i energii w procesie wytwarzania stali, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, 2000, t. 52, nr 2, s. 30
9. Efektywność wykorzystania energii w latach 2000–2010 GUS, Warszawa 2012, s. 52–53
10. Efektywność wykorzystania energii w latach 2004–2014 GUS, Warszawa 2016, s. 59–60
11. Kozicz J., Dzienniak S.: Problemy przemysłowych odbiorców gazu na przykładzie przemysłu stalowego, Hutnicza Izba Przemysłowo-Handlowa Senat RP, Warszawa, 29.10.2014 s. 10, dostęp: www.hiph.org
12. Sprawozdanie z realizacji restrukturyzacji hutnictwa żelaza i stali za rok 2010. W ramach zadania ministra gospodarki pt.: „Monitorowanie przebiegu procesu restrukturyzacji hutnictwa żelaza i stali”, Ministerstwo Gospodarki, lipiec 2011, s. 10–11 (dział koszty produkcji); dostęp: www.mg.gov.pl
13. Dane HIPH (udostępniono w 2016 roku, maj/czerwiec – pismo Katedry Inżynierii Produkcji, Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Politechnika Śląska (w ramach BK RM1 2016)
14. Kierunkowa koncepcja programu modernizacji i perspektyw hutnictwa żelaza do 1990 roku, wydanie II, Biuro Projektów Przemysłu Hutniczego, Gliwice 1983
15. Pawłowski Z.: Prognozy ekonometryczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1973
16. Pawłowski Z.: Zasady predykcji ekonometrycznej. PWN, Warszawa 1982
17. Sadowski W.: Ekonometria. Wyd. Prywatnej Wyższej Szkoły Handlowej, Warszawa 1997
18. Najlepsze dostępne techniki (BAT) wytyczne dla produkcji żelaza i stali huty zintegrowane, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, luty 2005
19. Garbarz B., Postęp technologiczny w hutnictwie zgodny z zasadą zrównoważonego rozwoju, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, 2008, nr 3, s. 1–7
20. Wytyczne dla branży metali żelaznych – huty o pełnym cyklu produkcyjnym- huty zintegrowane, dostęp: https://www.mos.gov.pl/fileadmin/introduction/images/Wytyczne_dla_branzy_metali_zelaznych_-_huty_o_pelnym_cyklu_produkcyjnym_-_huty_zintegrowane.pdf
21. Wpływ proponowanych regulacji unijnych w zakresie wprowadzenia europejskiej strategii rozwoju energetyki wolnej od emisji CO₂ na bezpieczeństwo energetyczne Polski, a w szczególności możliwości odbudowy mocy wytwórczych wykorzystujących paliwa kopalniane oraz poziom cen energii elektrycznej. Zał. 2. Założenia dotyczące poziomów aktywności i energochłonności wyróżnionych rodzajów produkcji lub usług, Warszawa, czerwiec 2008. Prace wykonała firma Badania Systemowe EnergoSys na zlecenie PKEE, dostęp: www.toe.pl/plwybrane-dokumenty/rok-2008?download=455:załącznik-2
22. Borowiecki R., Wysłocka E.: Możliwości i kierunki optymalizacji kosztów produkcji w polskim hutnictwie, Zeszyty Naukowe, Akademia Ekonomiczna w Krakowie, 2003, nr 618, s. 17–33