

PORÓWNANIE SKUMULOWANEJ EMISJI POCHODZĄCEJ  
Z OPERACJI TECHNOLOGICZNYCH I ZE ZUŻYCIA ENERGII  
PODCZAS WYTWARZANIA WYBRANYCH WYROBÓW  
PRZEMYSŁOWYCH

AGATA MALINA, JAN KONIECZYŃSKI

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Ochrony Powietrza  
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

Keywords: energy consumption, environmental pollution, industrial emission sources, cumulated noxiousness index.

COMPARISON OF CUMULATIVE TECHNOLOGY EMISSION AND ENERGY  
CONSUMPTION EMISSION WHILE MANUFACTURING SELECTED INDUSTRIAL  
PRODUCTS

The effect of total energy consumption and electric energy consumption on cumulated noxiousness index (SWU) value of coke production process, steel rolled goods and PVC windows profiles is presented in the paper. Using the sequential analysis it was proved that in SWU of the prediction process, from the stage of raw materials to the final product, the onerousness connected with energy consumption amounts from 70% up to 81%, whereas that connected with electric energy directly or indirectly consumed – from 60% up to 77%.

Streszczenie

Przedstawiono wpływ energochłonności i elektrochłonności na wielkość skumulowanego wskaźnika uciążliwości (SWU) procesu produkcji koksu, wyrobów walcowanych ze stali i profili okiennych z PCW. Stosując sekwencyjną analizę na drodze od pozyskania surowców do wytworzenia produktu końcowego wykazano, że w SWU produkcji wymienionych wyrobów udziały uciążliwości związanej z zużyciem energii wynoszą od 70% do 81% a energii elektrycznej bezpośrednio i pośrednio zużytej od 60% do 77%.

WSTĘP

Działalność produkcyjna i usługowa wymaga zużycia energii, co powoduje obciążenie środowiska emisją substancji zanieczyszczających w związku z pozyskaniem paliw ich przeróbką, transportem i procesami przemiany energii chemicznej w nich zawartej na ciepło i energię elektryczną. Na wielkość tej emisji, w największym stopniu przyczyniającej się do

zanieczyszczenia powietrza pyłem i gazami, wpływa nie tylko całkowite zużycie energii, lecz także struktura zużycia pierwotnych nośników energii. Przyjęte na początku lat 90. zasady gospodarki rynkowej skutkują zasadniczą zmianą w podejściu do problematyki ochrony środowiska co znalazło wyraz w przyjętej koncepcji ekorozwoju. Jednym z jej podstawowych założeń jest racjonalizacja i zmiana struktury użytkowania energii. Pomimo głębokich zmian ciągle jeszcze w strukturze zużycia nośników energii pierwotnej w gospodarce narodowej utrzymuje się dominująca rola węgla kamiennego i brunatnego, paliw uciążliwych dla środowiska. Choć różnorodność warunków i czynników utrudnia znalezienie prostej zależności pomiędzy charakterem gospodarki, zapotrzebowaniem na energię, surowce i materiały a stopniem zanieczyszczenia środowiska to jednak od dawna zwracano uwagę na nadmierną energochłonność polskiej gospodarki i wynikające z tego skutki. Panuje zgodny pogląd, że energochłonność dochodu narodowego stanowi syntetyczny wskaźnik stopnia nowoczesności gospodarki. Bliższe poznanie udziału energii ogółem, w tym energii elektrycznej w uciążliwości procesów wytwórczych w przemyśle przyniesie postęp w podejściu do ocen ekologicznych.

### ENERGOCHŁONNOŚĆ I EMISJENNOŚĆ GOSPODARKI

Energochłonność dochodu narodowego (lub PKB) – to wskaźnik definiowany jako stosunek ilości energii zużytej na jego wytworzenie w danym okresie do wytworzonej w tym czasie wartości dochodu narodowego (lub PKB) wyrażonego w jednostkach pieniężnych.

Każdy produkt powstaje w wyniku zużycia energii nie tylko w bezpośrednim, finalnym procesie jego wytwarzania, lecz również we wszystkich – często bardzo licznych – procesach wcześniejszych, bez których nie mógłby być zrealizowany. Takie łączne zużycie energii niezbędnej do wytworzenia produktu przyjęto nazywać energochłonnością skumulowaną.

Energia służąca bezpośrednio lub pośrednio do wytworzenia produktu jest zużywana w trzech podstawowych strumieniach procesów, obejmujących [1]:

- strumień paliw i energii, a więc w procesach pozyskiwania pierwotnych nośników energii, przetwarzania ich na nośniki wtórne i przesyłania ich do procesu wytwarzania;
- strumień surowców i materiałów, a więc w procesach pozyskiwania surowców naturalnych, przetwarzania ich na materiały i półprodukty oraz transportu ich do procesu wytwarzania;
- strumień urządzeń i obiektów, a więc w procesach budowy maszyn i urządzeń składających się na obiekty ciągu technologicznego procesu wytwarzania produktu.

Analizując zużycie nośnika energii (lub energii) pierwotnej lub przetworzonej, potrzebnej do wytworzenia energii bezpośrednio lub pośrednio zużytej w całej sieci technologicznej w związku z wytwarzaniem danego wyrobu określa się wskaźnik skumulowanego zużycia energii (lub energii) [4, 5]. Dla różnych produktów relacje pomiędzy energochłonnością bezpośrednią i skumulowaną przybierają różną wartość, jak to ilustruje tabela 1.

Na początku transformacji ustrojowej, w roku 1990 Polska należała do państw o bardzo wysokiej energochłonności dochodu narodowego, ocenianej na 31,8 MJ/USD, co stanowiło wartość dwukrotnie wyższą od średniej osiągniętej w 1989 r. w krajach OECD (14,7 MJ/USD). Jedną z głównych przyczyn takiego stanu rzeczy, jak wspomniano, był duży udział energochłonnego przemysłu w tworzeniu dochodu. W Polsce w roku 1990 udział sfery produkcji materialnej w tworzeniu dochodu narodowego wynosił 65,2% wobec 34,8%

udziału sfery usług. W krajach o rozwiniętej gospodarce rynkowej zgrupowanych w OECD udział sfery usług wynosił 62,7%. W Polsce w sferze produkcji materialnej zwraca uwagę znacznie większy – 44,1% udział przemysłu, w tym 11,6% udział energochłonnych gałęzi, w porównaniu z krajami OECD, w których udział przemysłu wynosił 26,2%, a udział gałęzi energochłonnych 6%. Aktualnie udział przemysłu w tworzeniu dochodu narodowego jest niższy niż w 1990 r. i wynosi około 36%. Świadczy to, że zmiany w sposobie gospodarowania rozpoczęte w 1990 r. zbliżają polską gospodarkę do gospodarek państw rynkowych [6, 15].

Tabela 1. Wskaźniki energochłonności bezpośredniej i skumulowanej wyrobów o względnie dużym stosunku energochłonności skumulowanej do bezpośredniej [1]  
Direct and cumulated noxiousness values for products with relatively large cumulated to direct energy consumption ratio [1]

Lp. No	Nazwa produktu Product name	Wskaźniki energochłonności Energy consumption value [MJ/Mg]		Stosunek energochłonności skumulowanej do bezpośredniej (4:3) Cumulated to direct energy consumption ratio (4:3)
		bezpośredniej direct	skumulowanej cumulated	
1	Wyroby zimnowalcowane Cold-rolled goods	2126,9	39468,5	18,56
2	Rury stalowe Steel pipes	6737,4	49422,2	7,33
3	Kwas azotowy Nitric acid	1842,2	18106,6	9,83
4	Kwas siarkowy Sulphuric acid	223,6	4213,6	18,84
5	Akrylonitryl Acrylonitrile	4884,7	62199,1	12,73
6	Polichlorek winylu Polyvinyl chloride	8440,6	121940,5	14,45
7	Włókno poliamidowe Polyamide fiber	14695,7	205852,8	14,00
8	Acetylen karbidowy Acetylene	1130,4	206716,1	182,87

Do syntetycznego określenia sprawności energetycznej gospodarki stosuje się wspomnianą już energochłonność tworzenia PKB, z kolei dla określenia związku pomiędzy PKB i emisją substancji zanieczyszczających jako negatywnym skutkiem działalności wytwórczej Kabsch [9] zaproponował zastosowanie wskaźnika *emisjogenności tworzenia PKB* rozumianej jako wielkość łącznej (sumarycznej) emisji zastępczej przypadającej na jednostkę PKB. Przeliczając emisję ditlenku siarki, ditlenku azotu, tlenku węgla, pyłu oraz ditlenku węgla na równoważną (zastępczą) emisję ditlenku siarki, emisjogenność PKB mierzy się w g SO<sub>2</sub>/USD PKB.

Oceniając minione lata można stwierdzić, że transformacja polskiej gospodarki w latach



1990–1995 odbywała się przy niemal stałym zapotrzebowaniu na energię pierwotną. Oscylowało ono wokół wartości ok. 4150 PJ/rok. Systematycznie natomiast zmniejszała się łączna emisja zastępcza – z ok.  $6,5 \cdot 10^6$  Mg SO<sub>2</sub>/rok w 1990 r. do nieco mniej niż  $5 \cdot 10^6$  Mg SO<sub>2</sub>/rok w 1995 r. Dysponując danymi o emisji zastępczej i PKB obliczono dla okresu 1989–1998 emisjogenność produktu wyrażoną w kg SO<sub>2</sub>/1000 PLN PKB (Tab. 2). Użycie cen stałych pozwoliło na przedstawienie badanego PKB w wartościach porównywalnych dla całego okresu i otrzymanie obrazu rzeczywistych zmian polegających na systematycznym spadku emisjogenności PKB.

Przedstawione w tabeli 3 porównanie z wybranymi państwami z ugruntowaną gospodarką rynkową wykazuje, że emisjogenność gospodarek polskiej i czeskiej jest bardzo wysoka. Można oczekiwać, że kontynuacja modernizacji gospodarki wpłynie na dalsze stopniowe obniżenie tego wskaźnika.

Emisjogenność polskiej gospodarki spowodowana jest także przez szczególnie niekorzystną strukturę zużycia pierwotnych nośników energii, z dominującą pozycją węgla, zwłaszcza kamiennego. Ilość szkodliwych odpadów stałych i gazowych powstających przy wyzwaniu jednostki energii chemicznej przy spalaniu paliwa jest w przypadku węgla wielokrotnie większa w porównaniu z paliwem gazowym i ciekłym, co było przyczyną niepokojącej degradacji środowiska w Polsce.

Jak przedstawia tabela 4, jeszcze w latach 80. ubiegłego wieku udział węgla wynosił 79% a gazu ziemnego i paliw ciekłych pochodzących z przeróbki ropy naftowej około 20% (łącznie). Obecnie udział węgla kamiennego i brunatnego wynosi 63,2% podczas gdy udział wymienionych paliw gazowych i ciekłych stanowi 31,5%. Nastąpiło to w wyniku zwiększenia udziału importu netto energii, bowiem łączne krajowe zużycie, wynoszące w 2001 roku 3761 PJ znajduje pokrycie w pozyskaniu krajowym w wysokości 3358 PJ.

Chociaż monokultura węglowa odchodzi w przeszłość, nadal w Polsce struktura zużycia pierwotnych nośników energii odbiega od tej, która występuje w Europie zachodniej gdzie udział węgla wynosi mniej niż 19% a paliw gazowych i płynnych ponad 63%. Krajowe wydobywanie węgla kamiennego, w roku 2001 wynoszące 102,6 mln Mg pokrywało zużycie krajowe: 84,2 mln Mg, w tym 39,9 mln Mg w energetyce zawodowej. Z kolei 59,5 mln Mg wydobytego węgla brunatnego zużyto w kraju, niemal w całości w energetyce zawodowej.

Dwudziestoprocentowy udział energii elektrycznej w pokrywaniu bezpośredniego zapotrzebowania na energię świadczą o stopniu rozwoju gospodarczego jest w Polsce mniejszy niż w państwach bardziej rozwiniętych. Produkcja energii elektrycznej w przeliczeniu na jednego mieszkańca wynosi w Polsce 3766 kWh/mk wobec średniej wartości dla państw UE – 6621 kWh/mk.

## CEL, ZAKRES I METODYKA ANALIZY

Celem analizy jest określenie wpływu energochłonności i elektrochłonności na wielkość skumulowanego wskaźnika uciążliwości przemysłowych procesów produkcyjnych na przykładzie koksu, wyrobów walcowanych ze stali i profili okiennych z polichlorku winylu. Skumulowane wskaźniki uciążliwości (SWU) wyrażone w jednostkach pieniężnych na 1 Mg wyrobu lub jego jednostkę fizyczną są sumą jednorodnych wskaźników ciągnionej emisji zanieczyszczeń powietrza, wody i odpadów stałych także odniesionych do jednostki ilości produktu. Przyjęto, że w przypadku powietrza jest to ciągniona opłata za wprowadzanie

Tabela 2. Emisja zastępcza głównych substancji zanieczyszczających powietrze przypadająca na 1000 PLN PKB [13]  
Equalized emission of main air contaminants that falls on 1000 PLN of GDP [13]

Wyszczególnienie Description	Jednostka Unit	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Emisja zastępcza Equalized emission	$10^3 \text{ Mg SO}_2$	6662	5524	5090	4787	4637	4449	4189	4185	3895	3350
PKB (ceny stałe) GDP (fixed prices)	mln PLN	505710	447047,6	415754,3	426563,9	442773,3	465797,6	498403,4	528307,6	564232,5	591315,7
Emisjogenność Emissivity	$\text{kg SO}_2 / 1000 \text{ PLN PKB}$	13,2	12,4	12,2	11,2	10,5	9,6	8,4	7,9	6,9	5,7

Tabela 3. Emisja zastępcza głównych substancji zanieczyszczających powietrze przypadająca na 1000 USD PKB w 1997 r. [13]  
Equalized emission of main air contaminants that falls on 1000 USD of PKB in 1997 [13]

Wyszczególnienie Description	Jednostka Unit	USA	Japonia Japan	Francja France	Niemcy Germany	Wielka Brytania Great Britain	Włochy Italy	Polska Poland	Czechy Czech Republic
Emisja zastępcza Equalized emission	$10^3 \text{ Mg}$	41673,3	2405,8	2756,8	3438,5	4200,9	3355,5	3894,9	1191,8
PKB (ceny bieżące) GDP (fixed prices)	mln USD	7819300	42234400	1393800	2115400	1278400	1146200	143066	53400
Emisjogenność Emissivity	$\text{kg SO}_2 / 1000 \text{ USD PKB}$	5,3	0,57	2	1,6	3,3	2,9	27,2	22,3

Tabela 4. Zużycie ogółem nośników energii pierwotnej w gospodarce narodowej [10]  
Total consumption of primary energy carrier in national economy [10]

Wyszczególnienie Description	1980		1990		2002	
	TJ	%	TJ	%	TJ	%
Węgiel kamienny Hard coal	3789810	73,0	2695338	63,5	1905021	49,9
Węgiel brunatny Brown coal	277868	5,4	563107	13,3	507244	13,3
Ropa naftowa Petroleum	678467	13,1	530722	12,5	760178	19,9
Gaz ziemny Natural gas	386162	7,4	404544	9,5	458347	12,0
Torf i drewno opalowe Coal peat and fuel wood	20561	0,4	22088	0,5	131264	3,4
Energia wody, wiatru, słoneczna, geotermalna Hydropower, wind power, solar power, geothermal energy	36889	0,7	4700	0,1	8685	0,2
Paliwa odpadowe stałe i inne surowce Waste fossil fuels and other raw materials			26700	0,6	48517	1,3
Razem Total	5189757		4247199		3819256	

substancji zanieczyszczających w przeliczeniu na emisję równoważną w kg SO<sub>2</sub>. W przypadku wody jest to ciążniona opłata za wprowadzanie substancji zanieczyszczających ocenianych jako: BZT<sub>3</sub>, ChZT, zawiesina ogólna, suma jonów chlorków i siarczanów a w przypadku gleby – ciążniona opłata za zrzut odpadów według stawek właściwych dla rodzajów tych odpadów. Sposób ich ustalania opisano we wcześniejszych pracach [11, 16].

#### PRODUKCJA ENERGII, ŹRÓDŁA I DROGI PRZENIKANIA ZANIECZYSZCZEŃ DO ŚRODOWISKA

Analiza energochłonności i elektrochłonności w SWU wymienionych procesów produkcyjnych poprzedzona została określeniem skumulowanej uciążliwości wytwarzania energii elektrycznej. Obliczenia wykonano wykorzystując informację o energochłonności wytwarzania energii elektrycznej, która wynosi 11,4 MJ/kWh [1, 5]. Odpowiada to średniej sprawności bezpośredniej netto wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, wynoszącej w 1999 r. 33,1% [8]. Do obliczeń przyjęto wartość opałową węgla kamiennego 21 MJ/kg i brunatnego 8,1 MJ/kg, spalanych w dużych obiektach energetycznych z uwzględnieniem



struktury zużycia tych paliw w produkcji energii elektrycznej (61,4% węgiel kamienny, 38,6% węgiel brunatny [14]). Przyjęto założenie, że energochłonność pozyskania węgla i energii elektrycznej można mierzyć zużyciem energii elektrycznej wytwarzanej w dużych obiektach energetycznych, energetycznych kotłach z paleniskami pyłowymi i stosując wskaźniki emisji wyrażone w emisji zastępczej w kg SO<sub>2</sub> [17] uaktualnione w wyniku pomiarów i analiz [2, 7, 12].

Ujemne skutki ekologiczne występują już przy pozyskiwaniu kopalnych surowców energetycznych. Emisja zanieczyszczeń występuje w procesach wydobywania, przeróbki i wzbogacania paliw kopalnych oraz podczas ich transportu do odbiorców. Stałe odpady kopalniane są źródłem pylenia, powodują zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych. Problemem o dużym znaczeniu gospodarczym są zasolone wody kopalniane, które stanowią zagrożenie dla Wisły i Odry.

Na środowisko oddziałują przede wszystkim produkty spalania paliw, a więc pochodzące z obiegu paliwowego elektrowni. Można je podzielić na dwie grupy:

- zanieczyszczenia szkodliwe dla środowiska przyrodniczego – należą do nich: ditlenek siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, węglowodory alifatyczne i aromatyczne w tym benzo(a)piren, pyły ze źródeł powierzchniowych: przy rozładunku, składowaniu i czerpaniu węgla ze składów, popiół lotny wychwycony przez urządzenia odpylające i żużel spod kotłów, ścieki z obiegów wodnych, odpady i ścieki z instalacji odsiarczania spalin;
- zanieczyszczenia sprzyjające występowaniu efektu cieplarnianego – ditlenek węgla, metan, podtlenek azotu, niemetanowe lotne węglowodory (w niniejszej pracy nie uwzględniono gazów cieplarnianych przy obliczaniu SWU).

Posługując się metodą sekwencyjną obliczono SWU wytwarzania energii elektrycznej, który wynosi 7,78 PLN/MWh. Na jego wartość w 67% wpływa uciążliwość względem powietrza atmosferycznego spowodowana towarzyszącą emisją zanieczyszczeń w postaci pyłu i gazów, w 23% uciążliwość względem wody spowodowana przez zrzut ścieków, głównie z procesów uzdatniania wody i z odsiarczania spalin, pozostałe 10% to uciążliwość w odniesieniu do gleby określona poprzez ilości składowanych odpadów, w postaci popiołu, żużla i odpadów z odsiarczania spalin. Na wartość SWU wytwarzania energii elektrycznej w 35% ma wpływ wydobywanie, wzbogacanie i transport węgla.

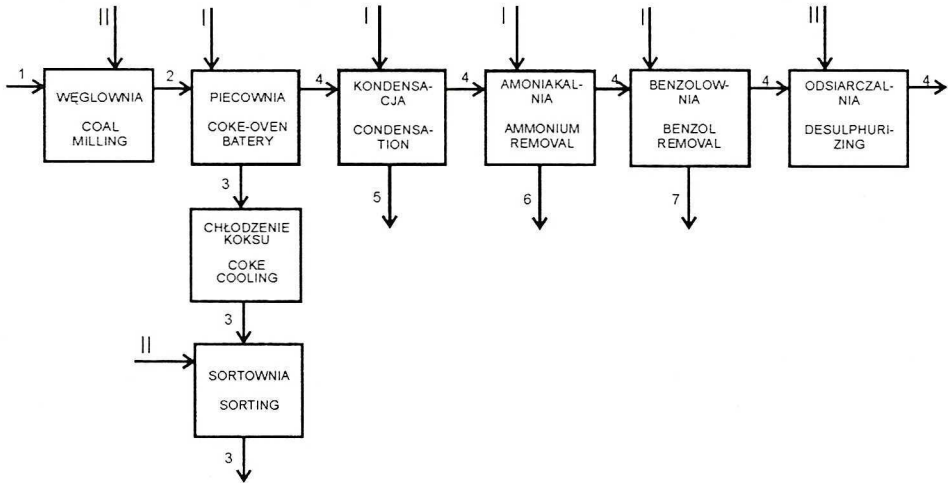
Obliczone SWU wydobywania węgla (3,09 PLN/Mg węgla) oraz SWU wytwarzania energii elektrycznej (7,78 PLN/MWh) wykorzystano w obliczeniach SWU procesu koksowania węgla, wytwarzania blachy zimnowalcowanej oraz profili okiennych z polichlorku winylu. Inne formy energii, głównie ciepło, zużywane w procesach produkcyjnych, wpływające na wielkość SWU, zostały uwzględnione w rachunku sekwencyjnym. Przy obliczeniach wzięto pod uwagę wspomnianą już uciążliwość towarzyszącą pozyskaniu i transportowi nośników energii pierwotnej oraz ich spalaniu.

Przy ocenie uciążliwości surowców i materiałów importowanych tj. rudy żelaza, gazu ziemnego, materiałów pomocniczych przy syntezie chlorku winylu i jego polimeryzacji przyjęto, że środki płatnicze na zakup surowców i materiałów importowanych pochodzą ze sprzedaży za granicą produktów naszego przemysłu [4, 16]. Na podstawie danych statystycznych [3] dotyczących wartości produkcji sprzedanej przemysłu i emisji do powietrza podstawowych substancji zanieczyszczających z procesów przemysłowych, przeliczonej na emisję równoważną, obliczono wskaźnik emisji zanieczyszczeń odnoszący się do wartości produkcji sprzedanej przemysłu (8,59 kg SO<sub>2</sub>/1000 PLN). Na podstawie ceny importowanego

surowca lub materiału, kursu dolara i obciążenia równoważną emisją w postaci  $\text{SO}_2$  produkcji sprzedanej wyznaczono uciążliwość dla środowiska zakupu wykorzystywanych w produkcji produktów importowanych.

### PRODUKCJA KOKSU, ŹRÓDŁA I DROGI PRZENIKANIA ZANIECZYSZCZEŃ DO ŚRODOWISKA

Proces koksowania węgla, przedstawiony na rysunku 1, obejmuje szereg emisjogennych i energochłonnych procesów.



Rys. 1. Schemat technologii koksowania węgla

I – energia, II – energia elektryczna, 1 – węgiel, 2 – mieszanka węglowa, 3 – koks,  
4 – gaz koksowniczy, 5 – smoła, 6 – siarczan amonu, 7 – benzol surowy  
Flow-sheet of coke manufactured

I – energy, II – electric energy, 1 – coal, 2 – coal blend, 3 – coke, 4 – coke-oven gas, 5 – gas pitch,  
6 – ammonium sulphate, 7 – unrectified benzol

Uciążliwość produkcji koksu obejmuje uciążliwość procesów wydobywania, przeróbki i transportu węgla wsadowego, procesu koksowania węgla oraz uciążliwość związaną z energią doprowadzoną do procesu. Ze źródeł technologicznych w koksowni 75–95% całkowitej emisji pyłowo-gazowej pochodzi z baterii koksowniczych. Do zanieczyszczeń powietrza, występujących w największych ilościach, należą: pył, ditlenek siarki, tlenek węgla, tlenki azotu i węglowodory alifatyczne. Dominujący wpływ na atmosferę mają: proces opalania baterii koksowniczych (ok. 45% emisji ogółem), koksowanie wsadu węglowego (ok. 20% emisji ogółem) oraz mokre chłodzenie koksu (ok. 15% emisji ogółem). Nowoczesny sposób prowadzenia procesu koksowania węgla sprawia, iż ścieki i odpady są utylizowane w koksowni.

Pełne ujęcie uciążliwości obejmuje emisję towarzyszącą spalaniu połowy gazu koksowniczego w celu produkcji pary do procesów grzewczych w oddziale węgl pochodnych, hydroinżekcji i in. Obejmuje również liczoną w sposób ciągły emisję zanieczyszczeń związaną z produkcją (poza koksownią) energii elektrycznej potrzebnej do

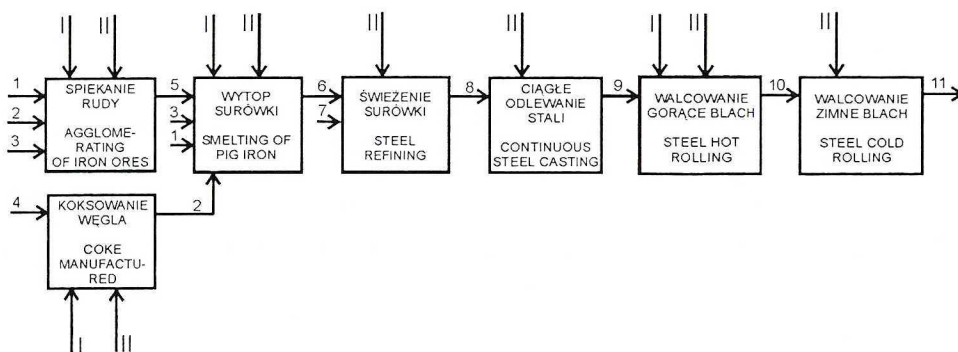


napędu młynów, przenośników, pomp, wentylatorów i innych, oraz energii elektrycznej potrzebnej na pozyskanie, uzdatnienie i transport wody uzupełniającej obieg zamknięty.

Należy zaznaczyć, że specyfika produkcji koksu i sposób kompletowania danych o emisji technologicznej nie pozwalają na oddzielenie procesu produkcji koksu od produkcji surowego gazu, smoły, wody amoniakalnej i benzolu. Dlatego obliczony SWU produkcji koksu (5,75 PLN/Mg produktu) odnosi się w rzeczywistości do Mg koksu i towarzyszących nieprzetworzonych węglpochodnych, jest więc nieco zawyżony.

## PRODUKCJA BLACHY ZIMNOWALCOWANEJ, ŹRÓDŁA I DROGI PRZENIKANIA ZANIECZYSZCZEŃ DO ŚRODOWISKA

Płaskie stalowe wyroby walcowane powstają w wyniku ciągu procesów hutniczych, na który składają się: wytop surówki żelaza, produkcja stali oraz jej obróbka plastyczna. Schemat wytwarzania wyrobów walcowanych przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat technologii wytwarzania blachy walcowanej na zimno

- I – energia, II – energia elektryczna, I – rudy żelaza, 2 – koks lub koksik, 3 – dolomit, kamień wapienny, 4 – węgiel, 5 – spiek, 6 – surówka żelaza, 7 – złom, 8 – stal płynna, 9 – slaby,  
10 – blacha gorącowałcowana, 11 – blacha zimnowalcowana

Flow-sheet of cold rolled steel sheet production

- I – energy, II – electric energy, I – iron ores, 2 – coke or coke breeze, 3 – dolomite, limestone,  
4 – coal, 5 – agglomerate, 6 – pig iron, 7 – scrap, 8 – steel, 9 – cast, 10 – hot rolled steel sheet,  
11 – cold rolled steel sheet

Uciążliwość produkcji blachy zimnowalcowanej obejmuje uciążliwość procesów wydobywania, przeróbki i transportu materiałów wsadowych, właściwych procesów hutniczych oraz uciążliwość związaną z energią doprowadzoną do procesu. Emisja substancji zanieczyszczających w hucie pochodzi z procesów przygotowania wsadu do wielkiego pieca (koks, spiek, topniki), procesu wielkopiecowego, stalowniczego i walcowniczego. Procesy hutnicze są źródłem emisji przede wszystkim pyłów, zawierających metale (Fe, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb i in.), i szkodliwych gazów.

Przygotowanie rudy jest źródłem emisji pyłu zarówno w czasie składowania, rozdrabniania, suszenia, spiekania, a następnie kruszenia i przesiewania spieku. Do źródeł pylenia należy także mielenie i przesiewanie kamienia wapiennego, dolomitu i koksu. Gazy odlotowe z taśmy spiekalniczej zawierają, oprócz pyłu, gazowe substancje zanieczyszczające: tlenek węgla, tlenki siarki  $SO_2$  i  $SO_3$ , tlenki azotu, chlorki, węglowodory.

Proces wielkopiecowy to kolejne źródło emisji pyłu oraz emisji związków siarki: tlenosiarczku węgla, ditlenku siarki oraz siarkowodoru. Emisja ta jest związana z nieuniknionymi stratami gazu wielkopiecowego i garowego, odprowadzaniem i utylizacją żużla oraz rozlewaniem surówki.

Emisja substancji zanieczyszczających, głównie  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  i CO, towarzysząca procesowi ciągłego odlewania stali jest niższa w porównaniu z tradycyjnym odlewaniem stali. Sam proces walcowania jest źródłem emisji towarzyszącej spalaniu mieszaniny gazu wielkopiecowego i koksowniczego stosowanej do opalania pieców grzewczych.

Proces produkcji blachy zimnowalcowanej powoduje więc emisję o charakterze technologicznym i liczoną w sposób ciągłony emisję zanieczyszczeń związaną z produkcją energii elektrycznej potrzebnej do napędu przenośników, pomp, wentylatorów i innych, energii elektrycznej potrzebnej na pozyskanie, przygotowanie i transport wody a także ciepła potrzebnego do ogrzewania różnego rodzaju pieców. Obliczenia uciążliwości zostały przeprowadzone przy założeniu, że energia elektryczna jest dostarczana do zakładu z zewnątrz, natomiast ciepło do ogrzewania urządzeń jest produkowane w zakładowej ciepłowni spalającej węgiel i odpadowy gaz wielkopiecowy i konwertorowy. Gazy te są również bezpośrednio spalane w urządzeniach ciągu technologicznego.

Przy produkcji blachy zimnowalcowanej powstają odpady: ścieki z systemów chłodzenia oraz pyły i szlamy nie nadające się do utylizacji jako materiały żelazonośne.

#### PRODUKCJA PROFILI OKIENNYCH Z PCW, ŹRÓDŁA I DROGI PRZENIKANIA ZANIECZYSZCZEŃ DO ŚRODOWISKA

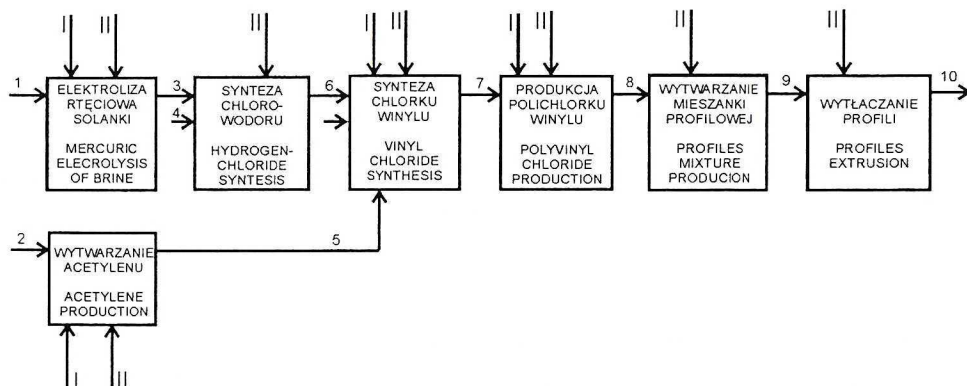
Profile okienne z polichlorku winylu są produktem wymagającym zastosowania procesów chemicznych prowadzących do wytworzenia polichlorku winylu i niezbędnych substancji pomocniczych, tj. stabilizatorów, modyfikatorów, substancji smarujących i innych, wymagającym wytwarzania mieszanki profilowej i wytłaczania profili okiennych. Schemat technologiczny produkcji profili okiennych przedstawia rysunek 3.

Uciążliwość produkcji profili okiennych obejmuje pozyskanie i transport surowców i materiałów, właściwych procesów technologicznych w zakładzie produkcji finalnej oraz uciążliwość związaną z energią doprowadzoną do procesu. Zastosowane procesy technologiczne są źródłem emisji chlorowodoru, benzo(a)pirenu, ditlenku azotu, ditlenku siarki, tlenku węgla i pyłu zawieszzonego. Pochodzi ona z poszczególnych węzłów technologicznych oraz z procesów utylizacji drogą spalania gazów i produktów odpadowych z procesu syntezy i polimeryzacji chlorku winylu.

Elektroliza rtęciowa jest źródłem emisji chloru i oparów rtęci przy obsłudze elektrolizera i w czasie prac remontowych. Synteza chlorowodoru powoduje emisję chlorowodoru podczas uruchamiania pieców.

Produkcja acetyleny jest źródłem emisji: acetyleny, ditlenku azotu, ditlenku siarki, tlenku węgla, węglowodorów aromatycznych i alifatycznych oraz sadzy. Wymienione substancje zanieczyszczające pochodzą z procesu pirolizy metanu, oczyszczania gazu pokrakinowego oraz spalania odzyskanej frakcji metanowej jako czynnika grzewczego.

W instalacji do syntezy chlorku winylu (CW) występuje jedynie emisja niezorganizowana tego związku, której źródłem mogą być nieszczelności aparatury i armatury. Emisja chlorku winylu pochodzi też z nieszczelności instalacji do polimeryzacji oraz z procesu



Rys. 3. Schemat procesu technologicznego wytwarzania profili okiennych z PCW

I – energia, II – energia elektryczna, 1 – solanka, 2 – gaz ziemny, 3 – chlor, 4 – wodór, 5 – acetylen, 6 – chlorowodór, 7 – chlorek winylu, 8 – polichlorek winylu, 9 – mieszanka profilowa, 10 – profile okienne

Flow-sheet of PVC window profiles production

I – energy, II – electric energy, 1 – brine, 2 – natural gas, 3 – chlorine, 4 – hydrogen, 5 – acetylene, 6 – hydrogen chloride, 7 – vinyl chloride, 8 – polyvinyl chloride, 9 – profiles blend, 10 – window profiles

odwodnienia suspensji PCW. Emisja pyłu PCW pochodzi z instalacji magazynowania i pakowania PCW. Produkcji mieszanek profilowych towarzyszy emisja pyłów PCW i stosowanych dodatków. Zanieczyszczenia nie są emitowane z instalacji wytłaczania profili.

Procesy wytwarzania acetyleny, chloru i wodoru oraz synteza CW obciążają środowisko poprzez zrzut ścieków, których część po oczyszczeniu zawraca się do systemów chłodzących instalacje.

Większość odpadów produkcyjnych zawraca się do procesu, pozostałe odpady są sprzedawane bądź składowane.

Proces produkcji profili okiennych jest też obciążony liczoną w sposób ciągły emisją zanieczyszczeń związaną z produkcją energii elektrycznej do napędu przenośników, wentylatorów, sprężarek, wykorzystanej do produkcji zimna, wytłaczania profili i innych, potrzebnej na pozyskanie, przygotowanie i transport wody. A także emisją zanieczyszczeń związaną z produkcją ciepła potrzebnego do ogrzewania pieców, reaktorów, autoklawów.

Ocenę uciążliwości przeprowadzono przy założeniu, że energia elektryczna dostarczana do procesów pochodzi spoza zakładu, a ciepło do celów grzewczych dostarcza zakładowa ciepłownia. Do produkcji ciepła wykorzystywane są: węgiel kamienny, gazy odpadowe oraz część produktów odpadowych z procesów technologicznych.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW ANALIZY

Oceny uciążliwości wytwarzania wybranych produktów dokonano wykorzystując wspomnianą wyżej metodę sekwencyjną. Uciążliwość wytwarzania produktu stanowi więc sumę uciążliwości powstających w obrębie przedsiębiorstwa produkcji finalnej i w procesach wcześniejszych, w fazie powstawania nośników energii i samej energii, surowców, półproduktów i materiałów.



Postępując w ten sposób porównano wielkości skumulowanej emisji zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby pochodzącej z operacji technologicznych i ze zużycia energii, w tym energii elektrycznej podczas wytwarzania koksu, blachy zimnowalcowanej i profili okiennych z PCW.

SWU produkcji koksu wynosi 5,75 PLN/Mg produktu, w tym 41% to uciążliwość w odniesieniu do powietrza, 48% w odniesieniu do wody, 11% w odniesieniu do gleby. Tylko 20% obliczonego SWU przypada na operacje i procesy technologiczne realizowane w zakładzie koksowniczym, pozostałe 80% uciążliwości powstaje poza koksownią.

Uciążliwość ciągniona związana z produkcją energii dostarczonej do procesu koksowania stanowi 81% wartości tego wskaźnika, z czego 95% stanowi uciążliwość towarzysząca wytwarzaniu energii elektrycznej (77% SWU). Wpływają na to głównie procesy wydobywania węgla, a w mniejszym stopniu, jego przygotowania i transportu, odbywające się poza koksownią. Ponieważ potrzeby energetyczne endotermicznego procesu koksowania węgla są zaspakajane ciepłem uzyskiwanym ze spalania gazu koksowniczego uciążliwość związana z „zewnątrzną” energią dostarczoną bezpośrednio do procesu koksowania stanowi jedynie 8% SWU produkcji koksu. W energii „zewnątrznej” udział energii elektrycznej wynosi 48%, co stanowi 4% SWU. Na uciążliwość wspomnianych procesów ma przede wszystkim wpływ energochłonność wydobywania węgla.

SWU produkcji blachy zimnowalcowanej wynosi 11,72 PLN/Mg produktu, gdzie 53% stanowi uciążliwość w odniesieniu do powietrza, 35% uciążliwość w odniesieniu do wody i 12% w odniesieniu do gleby. W obliczonym SWU 60% przypada na operacje i procesy technologiczne realizowane w zakładzie hutniczym.

Udział uciążliwości ciągnionej związanej z wytwarzaniem energii wynosi 70% SWU produkcji blachy zimnowalcowanej, w tym 86% to uciążliwość związana z energią elektryczną (60% SWU). Na duży udział uciążliwości związanej z energią w SWU produkcji blachy zimnowalcowanej mają wpływ przede wszystkim proces świeżenia surówki oraz procesy gorącego i zimnego walcowania. Najmniejszy udział w SWU ma proces ciągłego odlewania stali.

W procesach spiekania rudy i ciągłego odlewania stali oraz w procesach walcowania energia dostarczana do procesu to przede wszystkim energia elektryczna.

SWU produkcji profili okiennych z PCW wynosi 65,67 PLN/Mg produktu, gdzie 63% stanowi uciążliwość w odniesieniu do powietrza, 31% uciążliwość w odniesieniu do wody, 6% w odniesieniu do gleby.

Na wartość SWU składają się w 93% obciążenia środowiska powstające na terenie zakładu produkcji finalnej. Pochodzą one z elektrolizy rtęciowej solanki, półspalania acetyleny, syntezy chlorowodoru, syntezy i polimeryzacji CW, wytwarzania mieszanki profilowej oraz wytłaczania profili okiennych. Należy podkreślić, że produkcja finalna odbywa się w dużym kombinacie chemicznym. Poza zakładem pozostaje niewielka ilość procesów, tj. wydobywanie i transport solanki do produkcji chloru i wodoru, zakup i transport importowanego gazu ziemnego, zakup i transport importowanych materiałów pomocniczych do polimeryzacji CW, produkcja krajowych materiałów pomocniczych do mieszanki profilowej, przygotowanie i transport wody oraz wytwarzanie energii elektrycznej.

Energia dostarczana do procesów to, oprócz bezpośrednio zużytej energii elektrycznej, ciepło i energia elektryczna zużyta do produkcji zimna, sprężonego powietrza i azotu, przygotowanie i transport wody, zakup i transport importowanego gazu ziemnego i materiałów pomocniczych. Uciążliwość ciągniona związana z wytwarzaniem energii dostarczonej do

procesu produkcji stanowi 75% SWU produkcji profili okiennych, w tym 81% stanowi uciążliwość związana z wytwarzaniem energii elektrycznej (61% SWU). Analizując bezpośrednio zużycie energii w poszczególnych etapach produkcji za najbardziej energochłonne można uznać elektrolizę rtęciową solanki, proces wytwarzania acetyleny oraz wytłaczanie profili okiennych. Prawie 100% tej energii stanowi energia elektryczna w procesie elektrolizy rtęciowej oraz wytwarzania mieszanki profilowej i wytłaczania profili.

Rezultaty analizy w syntetyczny sposób przedstawiono w poniższych tabelach (Tab. 5 i 6).

Tabela 5. Udział procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie produkcji finalnej\* i procesów produkcyjnych realizowanych poza przedsiębiorstwem produkcji finalnej w SWU, w %  
Production processes share in final production enterprise\* and production processes accomplished beyond final production enterprise in SWU, in %

Produkt finalny Final product	Procesy produkcyjne realizowane poza przedsiębiorstwem, % Production processes executed beyond an enterprise, %	Procesy produkcyjne realizowane w przedsiębiorstwie, % Production processes executed in an enterprise, %
Koks Coke	80	20
Błacha zimnowalcowana Cold rolled steel sheet	40	60
Profile okienne z PCW PVC window profiles	7	93

\* w przypadku kombinatu chemicznego – wydział produkcji finalnej

\* in case of a chemical complex enterprise – the final production department

Tabela 6. Udział uciążliwości związanej z operacjami technologicznymi, energią, w tym energią elektryczną użytą do procesów produkcyjnych w SWU, %  
Noxiousness share connected with engineering processes, power, including electric power consumed in manufacturing processes in CNV, %

Produkt finalny Final product	Udział w SWU, % SWU share, %		
	Operacje technologiczne Engineering operations	Energia ogółem Energy, overall	W tym energia elektryczna Including electric power
Koks Coke	19	81	77
Błacha zimnowalcowana Cold rolled steel sheet	30	70	60
Profile okienne z PCW PVC window profiles	25	75	61

## WNIOSKI

1. Udziały uciążliwości związanej z zużyciem energii przy produkcji wybranych wyrobów w skumulowanych wskaźnikach uciążliwości wynoszą odpowiednio: dla koksu – 81%, dla blachy zimnowalcowanej – 70%, dla profili okiennych z PCW – 75%.
2. W wartości SWU dominujący udział ma energia elektryczna bezpośrednio i pośrednio zużyta w procesach produkcji wybranych produktów i stanowi dla koksu 77%, dla blachy zimnowalcowanej – 60%, dla profili okiennych z PCW – 61%.
3. Zastosowanie najlepszej dostępnej techniki (BAT) w energetyce i racjonalizacja zużycia energii w największym stopniu przyczynić się może do zmniejszenia ekologicznej uciążliwości procesów produkcyjnych.

## LITERATURA

- [1] Bibrowski Z. (red.): *Energochłonność skumulowana*, PWN, Warszawa 1983.
- [2] Górczyński J., A. Sala: *Problemy energochłonności przemysłowej*, Gospodarka Paliwami i Energią, **11**, 8–12 (1993).
- [3] Górczyński J., K. Urbaniec: *Wytwarzanie i użytkowanie energii w przemyśle*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [4] Informacje uzyskane od służb Elektrowni Bełchatów i Turów.
- [5] Kabsch P.: *Energochłonność gospodarki a zagrożenie emisją*, [w:] Materiały konferencyjne III Konferencji „Problemy ochrony powietrza w aglomeracjach miejsko-przemysłowych”, Ustroń, wrzesień 1998, 107–116.
- [6] Koniecznyński J., A. Malina: *Koncepcja skumulowanego wskaźnika uciążliwości ekologicznej produktu*, Gospodarka Paliwami i Energią, **3**, 16–20 (2000).
- [7] Koniecznyński J., A. Pasoń-Koniecznyńska: *Scalony wskaźnik emisji substancji zanieczyszczających powietrze w procesie spalania węgla*, Archiwum Ochrony Środowiska, **25**, 1, 29–40 (1999).
- [8] Malina A., J. Koniecznyński: *Ocena ekologiczna wybranych procesów produkcyjnych*, monografia Nr 58. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [9] Materiały Agencji Rynku Energii, [www.are.waw.pl](http://www.are.waw.pl).
- [10] Mazur J., J. Koniecznyński: *Dystrybucja pierwiastków śladowych we frakcjach ziarnowych popiołu lotnego emitowanego z elektrowni*, Monografia Nr 64, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [11] *Ochrona środowiska 2003, Informacje i opracowania statystyczne*, GUS, Warszawa 2003.
- [12] Pasoń-Koniecznyńska A., J. Koniecznyński: *Współczynniki toksyczności do oceny WWA*, [w:] V Sympozjum Ograniczanie Emisji Zanieczyszczeń do Atmosfery, POL-EMIS 2000, Szklarska Poręba 2000, 105–108.
- [13] *Rocznik Statystyczny 1981, 1991, 1996, 2000*, GUS, Warszawa 1981, 1991, 1996, 2000.
- [14] *Rocznik statystyczny GUS 2003*, GUS 2003.
- [15] Szargut J.: *Analiza termodynamiczna i ekonomiczna w energetyce przemysłowej*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
- [16] Telenga J., J. Koniecznyński: *Emisjogenność produktu krajowego brutto w Polsce w latach 1989 – 2000*, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, **37**, 62–67 (2003).
- [17] Ziębik A., J. Szargut: *Podstawy gospodarki energetycznej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.

Wpłynęło: 25 lutego 2004, zaakceptowano do druku: 30 czerwca 2004.