
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 10

ISSN 1899-3230

Rok V

Warszawa–Opole 2012

*MALGORZATA WZOREK**

*ANNA KRÓL***

Ocena jakości paliw z odpadów stosowanych w procesach współspalania z węglem

Słowa kluczowe: odpady, paliwa z odpadów, współspalanie z węglem.

Przepisy prawne dotyczące ochrony środowiska, regulujące m.in. odzysk materiałów i energii z odpadów, skłoniły do wzrostu zainteresowania możliwością wykorzystania paliw wytworzonych z odpadów w procesach współspalania z węglem.

W artykule przedstawiono problematykę klasyfikacji oraz wymagań stawianych paliwom z odpadów wykorzystywanym w procesach współspalania z węglem. Zaprezentowano parametry definiowane jako kryterialne oraz omówiono standardy jakościowe stawiane paliwom wykorzystywanym w sektorze energetycznym oraz w przemyśle cementowym.

Wartość parametrów, którymi muszą charakteryzować się paliwa z odpadów uzależnione są od rodzaju instalacji, w jakiej mają być stosowane. Niemniej jednak zarówno w przemyśle cementowym, jak i w energetyce wspólnymi definiowanymi wielkościami jest wartość opałowa, wpływająca na parametry termiczne procesu oraz zawartość chloru i rtęci, które szkodliwie oddziałują na proces technologiczny i emisję zanieczyszczeń.

1. Wprowadzenie

W ostatnim czasie wzrosło zainteresowanie wykorzystaniem paliw wytworzonych z odpadów w procesach przemysłowych. Paliwa z odpadów mogą być stosowane w procesach współspalania z węglem w kotłach energetycznych, w przemyśle cementowym oraz spalania w spalarniach odpadów komunalnych przystosowanych do współspalania paliw alternatywnych, jak również w specjalnych obiektach energetycznych dostosowanych tylko do ich spalania [1–7]. Każdy z tych procesów determinuje inne wymagania dotyczące parametrów stosowanych paliw, dlatego też określenie kryteriów jakościowych dla paliw

* Dr inż., Politechnika Opolska.

** Dr inż., Politechnika Opolska.

z odpadów jest od wielu lat przedmiotem dyskusji i opracowań podejmowanych przez ośrodki badawcze, producentów oraz odbiorców paliw. Przetwarzanie odpadów w kierunku uzyskania paliw umożliwia otrzymanie produktu o sprecyzowanych wymaganiach jakościowych dostosowanych do procesu, w którym mają być zastosowane, dzięki czemu unika się problemów technicznych i eksploatacyjnych związanych z niestabilnością i niejednorodnością składu odpadów nieprzetworzonych.

Według prognoz dokonanych przez QUO VADIS (Quality Management Organisation, Validation of Standards, Developments and Inquiries for Solid-Recovered Fuels), możliwość wykorzystania paliw z odpadów w krajach UE (dawna 15) szacowana jest na $27 \div 37$ mln Mg/rok [8–9], w tym:

- $3,5 \div 7,0$ mln Mg/rok w przemyśle cementowym – substytucja $\sim 15 \div 30\%$ paliwa kopalnego,
- $6,5 \div 13,0$ mln Mg/rok w produkcji energii elektrycznej – substytucja $\sim 2 \div 4\%$ paliwa kopalnego,
- 17 mln Mg/rok w produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu – substytucja $\sim 12\%$ paliwa kopalnego.

W Europie używane są różne określenia dla paliw z odpadów, takie jak alternative fuel, secondary fuel (paliwa alternatywne). W Niemczech paliwa z odpadów nazywane są: SBS (Sekundärbrennstoffe), EBS (Ersatzbrennstoffe) lub BRAM (Brennstoff aus Müll) [2, 10–11]; we Włoszech – CDR (combustibili derivato di rifiuti) lub CSS (combustibili solido secondario) [12]. Natomiast w innych krajach europejskich określane są mianem RDF (refused derived fuel) [13–16] lub jako SRF [17–19], które to nazewnictwo zostało wprowadzone przez Europejski Komitet Normalizacyjny [20–22]. W Polsce funkcjonują następujące nazwy: paliwo alternatywne [23–24], paliwo zastępcze [2, 25], paliwo formowane [4, 20–21], a w ostatnim czasie pojawiła się również nazwa stałe paliwa wtórne (SRF) [3, 9, 26].

Paliwa alternatywne mogą być wytwarzane z odpadów komunalnych, przemysłowych i innych będących odpadami innymi niż niebezpieczne, które posiadają odpowiednie właściwości energetyczne. Rodzaje odpadów wykorzystywanych w produkcji paliw to: odpady komunalne, papier, tworzywa sztuczne, guma, odpadowe rozpuszczalniki, przepracowane oleje, opony, opony rozdrobnione, osady kanalizacyjne, osady ściekowe, odpady zwierzęce, tekstylia.

Określenie paliwo alternatywne funkcjonuje w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2001 r. nr 112, poz. 1206). Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 10 lutego 2004 r. w sprawie rodzajów odpadów innych niż niebezpieczne oraz rodzajów instalacji i urządzeń, w których dopuszcza się ich termiczne przekształcanie

(Dz.U. z 2004 r. nr 25, poz. 221) paliwem alternatywnym są odpady palne, rozdrobnione, o jednorodnym stopniu wymieszania, powstałe w wyniku zmieszania odpadów innych niż niebezpieczne, z udziałem lub bez udziału paliwa stałego, ciekłego lub biomasy, które w wyniku przekształcenia termicznego nie powodują przekroczenia poziomów emisji określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów emisyjnych z instalacji odnoszących się do procesu współspalania odpadów [27].

Zgodnie z PN-EN 15357 [28] stałym paliwem wtórnym SRF nazywa się paliwo wytworzone z odpadów innych niż niebezpieczne, wykorzystywane dla odzysku energii w instalacjach spalania lub współspalania oraz spełniające wymagania klasyfikacji podane w PN-EN 15359 [29].

Natomiast paliwo formowane zdefiniowane zostało przez Wandrasza [4] jako substancja palna przeznaczona do realizacji określonego procesu termicznego, w określonych warunkach procesowych, utworzona w wyniku przemian fizycznych, fizykochemicznych, biologicznych, biochemicznych i biotermicznych oraz termicznych, na bazie paliw naturalnych, sztucznych, substancji palnej różnego pochodzenia, w tym biologicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, produktów przetwarzania odpadów zarówno komunalnych, przemysłowych, odpadów medycznych i innych, w tym niebezpiecznych, uzyskiwane na drodze formowania mechanicznego, chemicznego, biologicznego, a także wszystkich dostępnych środków i technologii.

Dobór technologii wytwarzania paliw z odpadów jest uzależniony od surowca wybranego do jego preparacji oraz jego oczekiwanych cech jakościowych. Projektowanie i dostosowanie instalacji wytwarzających paliwa z odpadów do wymagań jakościowych odbiorcy stanowią przedmiot wielu prac badawczych, badawczo-rozwojowych oraz projektowo-wdrożeniowych.

Przeróbka odpadów na paliwa ma na celu przede wszystkim [4, 25]:

- waloryzację parametrów energetycznych odpadów,
- redukcję stężeń substancji niebezpiecznych w produkcie poprzez ich zateżanie w wyprowadzanych z instalacji strumieniach ubocznych.

W tabeli 1 przedstawiono parametry paliw z odpadów (wartości średnie) produkowanych przez różnych wytwórców.

T a b e l a 1

Przykładowe parametry (wartości średnie) różnych rodzajów paliw z odpadów [13, 23, 30]

Parametr	Jednostka	SBS 1 ¹ [30]	BIOBS ² [30]	RDF ³ [13]	RDF pelety ⁴ [13]	PASi ⁵ [23]	PASr ⁶ [23]
Wartość opałowa	MJ/kg	13,50	11,80	17,60	18,10	9,15	24,38
Zawartość wilgoci	%	25,20	26,80	11,70	2,90	30,45	3,19
Zawartość popiołu	%	9,20	9,90	16,50	15,80	24,13	7,98
Zawartość chloru	%	0,38	0,26	0,79	0,58	0,24	0,23
Zawartość siarki	%	0,18	0,20	b.d	b.d	0,28	0,23

¹ SBS 1 – paliwo wytworzone na bazie wysokokalorycznych frakcji odpadów komunalnych, produkowane przez firmę REMONDIS®, wartości średnie z lat 2009–2010;

² BIOBS (BIOBrennStoff) – paliwo wyprodukowane z wysokokalorycznych frakcji odpadów z wysoką zawartością frakcji biogennej różnego rodzaju „bioodpadów”, produkowane przez firmę REMONDIS®, wartości średnie z lat 2009–2010;

³ RDF – produkowany we Włoszech z wysuszonych odpadów komunalnych (firmy Ecodeco, Pirelli i Herhof/Fusina);

⁴ RDF pelety – paliwo w postaci peletów, produkowanych z wyselekcjonowanych odpadów przemysłowych, wykorzystywanych przez elektrociepłownię Söderenergi;

⁵ PASi (paliwo alternatywne impregnowane) – powstałe przez zmieszanie sorbenta w postaci trocin, pyłu tytoniowego z odpadami farb, lakierów, ciężkich frakcji podestylacyjnych ziem okrzemkowych nasączonych odpadami ropopochodnymi, produkowane przez firmę EcoGal;

⁶ PASr (paliwo alternatywne rozdrobnione) – produkowane z papieru, tektury, folii, szmat, tekstyliów, opakowań plastikowych, taśm, kabli i czyściw przez firmę SUWO.

2. Problematyka standaryzacji jakości paliw z odpadów

W wielu krajach starano się nadać paliwom z odpadów odpowiednią klasyfikację i określić ich standardy jakościowe. Przykładem klasyfikacji uwzględniającej tylko operacje przetworzenia odpadów jest specyfikacja paliwa RDF według ASTM (the American Society for Testing and Materials) [15], która określa 7 typów paliw, a mianowicie za: RDF 1 uważa się substancję palną odpadów w stanie nieprzetworzonym; RDF 2 – substancję rozdrobnioną z/bez separacji magnetycznej; RDF 3 – substancję rozdrobnioną po separacji magnetycznej, oddzielenie szkła i innych substancji nieorganicznych, o 95% udziale ziaren przesiewnych na sicie o otworach kwadratowych 50 mm; RDF 4 – substancję pylistą o 95% udziale ziaren przesiewnych na sicie o otworach kwadratowych 2 mm; RDF 5 – to RDF brykietowany lub peletowany; RDF 6 – paliwo płynne

uzyskane z przetworzonych części palnych odpadów oraz RDF 7 – paliwo gazowe uzyskane z palnych części odpadów.

Klasyfikacje uwzględniające parametry jakościowe, w tym właściwości paliwowe oraz zawartość składników szkodliwych w paliwach według standardów włoskich i fińskich przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Charakterystyka jakościowa paliw z odpadów wg norm włoskich i fińskich [13]

Parametr	Jednostka	Włochy		Finlandia		
		standardowa jakość	wysoka jakość	klasa I	klasa II	klasa III
Wartość opałowa	MJ/kg	> 15	> 19			
Zawartość wilgoci	%	< 25	< 15			
Zawartość popiołu	%	< 20	< 13			
Zawartość Cl	%	0,9	< 0,7	< 0,15	< 0,5	< 1,5
Zawartość Hg	mg/kg s.m.	< 7	< 1	< 0,1	< 0,2	< 0,5
Zawartość Cd+Tl	mg/kg s.m.	–	< 4	< 1,0	< 4,0	< 5,0
Suma metali ciężkich	mg/kg s.m.	< 1040	< 350			

Określanie kryteriów jakościowych dla paliw alternatywnych od wielu lat jest przedmiotem dyskusji i opracowań, podejmowanych przez ośrodki badawcze, różne instytucje, jak np. Niemieckie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (Bundesgütengemeinschaft Sekundärbrennstoffe), EURTIS (Europejskie Stowarzyszenie Zakładów Termicznego Przekształcania Opadów), czy w Polsce ICHPW (Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla) oraz odbiorców paliw. Standardy jakościowe określone są również przez firmy produkujące paliwa z odpadów, które na podstawie norm zakładowych lub branżowych określają klasy jakości paliw kierowanych do różnych gałęzi przemysłowych. Dobrym przykładem jest firma REMONDIS®, produkująca paliwa SBS (paliwo z odpadów komunalnych uzyskane na bazie wydzielonych frakcji, np. z mieszanin odpadów komunalnych, podobnych do komunalnych i wielkogabarytowych) oraz paliwo BPG (paliwo o wysokiej jakości uzyskane ze specyficznych odpadów poprodukcyjnych przez obróbkę poszczególnych rodzajów odpadów lub ich grup).

Specyfikacja wytwórcy obejmuje sześć rodzajów paliw przeznaczonych dla różnych odbiorców [30]:

BPG 1 – paliwo przeznaczone do wykorzystania w elektrowniach, produkowane z pozostałości z produkcji papieru, papieru fotograficznego, klisz papierowych, papieru filtracyjnego, ręczników celulozowych, makulatury oraz papieru wołkowego;

BPG 2 – paliwo przeznaczone do wykorzystania w cementowniach, produkowane z odpadów papierowych jak BPG 1 oraz tworzyw sztucznych, żywic poliestrowych, poliakrylowych i poliolefinowych, tkanin oraz wykładzin itp.;

BPG 3 – paliwo przeznaczone do wykorzystania w przemyśle wapienniczym, produkowane z tworzyw ubogich w składniki mineralne, z żywic poliakrylowych, poliamidowych, poliestrów, poliolefin itp.;

SBS 1 – paliwo przeznaczone do wykorzystania w elektrowniach spalających węgiel brunatny, produkowane z różnych wysokokalorycznych frakcji odpadów komunalnych oraz odpadów budowlanych i przemysłowych;

SBS 2 – paliwo przeznaczone do wykorzystania w elektrowniach spalających węgiel kamienny i cementowniach, produkowane z odpadów, takich jak paliwo SBS 1.

Podstawowa charakterystyka jakościowa wyżej wymienionych paliw została przedstawiona w tabeli 3.

Tabela 3

Podstawowa charakterystyka jakościowa paliw wg firmy REMONDIS® [30]

Parametr	Jednostka	BPG 1	BPG2	BPG 3	SBS 1	SBS 2
Wartość opałowa	MJ/kg	16–20	20–24	23–27	13–18	18–23
Zawartość wilgoci	%	< 35	< 20	< 12,5	< 35	< 20
Zawartość chloru	%	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,7	< 1,0
Zawartość fluoru	%	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Zawartość siarki	%	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,5	< 0,8
Zawartość popiołu	%	< 20	< 15	< 9	< 20	< 15
Zawartość metali ciężkich:						
As		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Be		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd		< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
Co		< 12	< 12	< 12	< 12	< 12
Cr		< 120	< 120	< 120	< 120	< 120
Cu		< 400	< 400	< 400	< 400	< 400
Hg		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Mn		< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Ni		< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Pb		< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Sb		< 120	< 120	< 120	< 120	< 120
Se		< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Sn		< 70	< 70	< 70	< 70	< 70
Tl		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

W celu ujednoczenia istniejących standardów jakościowych dla paliw produkowanych z odpadów, w ostatnim czasie, Europejski Komitet Normalizacyjny

CEN ustanowił nowy system klasyfikacji. Wartości parametrów klasyfikacyjnych dla stałych paliw wtórnych przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wartości parametrów klasyfikacyjnych dla stałych paliw wtórnych SRF wg PN-EN 15359 [29]

Parametr klasyfikacyjny	Wartość statystyki	Jednostka	Klasa				
			1	2	3	3	5
Wartość opałowa	średnia arytmetyczna	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Zawartość chloru	średnia arytmetyczna	% s.m.	klasa				
			1	2	3	3	5
			≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Zawartość rtęci	mediana 80. percentyl	mg/MJ	klasa				
			1	2	3	3	5
			≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,06	≤ 0,08	≤ 0,16
			≤ 0,04	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 1,00

System zaproponowany przez CEN oparty jest na trzech parametrach paliw, a mianowicie wartości opałowej, zawartości chloru oraz zawartości rtęci. Wybór tych parametrów związany jest z trzema aspektami oceny paliwa: ekonomicznym, technologicznym oraz emisyjnym. Dążenie do wprowadzenia standaryzacji paliw i ich klasyfikacji ma na celu sprecyzowanie ich właściwości i zagwarantowanie jakości spełniającej wymagania odbiorcy. Paliwa z odpadów mogą być wykorzystane w wielu gałęziach przemysłu, jednak głównymi odbiorcami paliw alternatywnych jest przemysł cementowy oraz energetyka.

3. Kryteria jakości paliw z odpadów stosowane w energetyce

Potencjał energetyki w zakresie możliwości stosowania paliw z odpadów oceniany jest jako znacznie większy niż przemysłu cementowego, jednak doświadczenia w tym zakresie dotyczą głównie Niemiec i Holandii, gdzie paliwa z odpadów wykorzystywane są od 2000 r. [21]. Wymagania stawiane paliwom SRF przez sektor energetyczny na podstawie specyfikacji odbiorców niemieckich i holenderskich przedstawiono w tabeli 5.

Wasilewski i in. [3, 26] ocenili, że przemysł energetyczny zainteresowany jest pozyskiwaniem paliw z odpadów o:

– stabilnej charakterystyce parametrów energetycznych, emisyjnych i korozyjnych (wartość opałowa, zawartość siarki, chloru);

- jednorodnych rozmiarach i gęstości nasypowej, które określone powinny zostać indywidualnie dla poszczególnych typów instalacji kotłowych;
- braku zanieczyszczeń metalicznych i mineralnych uszkadzających układy mielenia i dozowania.

Tabela 5

Wymagania stawiane paliwom SRF przez sektor energetyczny [21]

Parametr	Jednostka	Kocioł pyłowy		Kocioł fluidalny
		węgiel kamienny	węgiel brunatny	
Wartość opałowa	MJ/kg	11–18 < 13,5*	13,5–18 < 13,5*	9–18 13,5*
Zawartość chloru	% s.m.	< 1,3 0,6*	< 0,7 0,4*	< 1,4 0,4*
Zawartość rtęci	mg/MJ	< 0,065	< 0,085	< 0,028
Zawartość kadmu	mg/MJ	< 1,21	< 0,42	< 0,63

* – wartość średnia.

4. Kryteria jakości paliw z odpadów stosowane przez przemysł cementowy

Paliwa z odpadów wykorzystywane w przemyśle cementowym muszą spełniać wiele wymagań wynikających z procesu technologicznego. Przede wszystkim powinny charakteryzować się odpowiednimi:

- właściwościami paliwowymi, w tym wartością opałową, która jest decydującym parametrem mającym zasadniczy wpływ na ilość subsydiowanego paliwa konwencjonalnego;
- składem chemicznym, ze względu na to, że popiół po jego spalaniu jest absorbowany przez tworzący się klinkier;
- właściwościami fizycznymi, które określają podatność na takie operacje, jak transport, magazynowanie i dozowanie do pieca.

W ostatnim czasie poszczególne koncerny sprecyzowały swoje wymagania dotyczące parametrów różnych rodzajów paliw. Jednak wyraźnie twierdzi się, że nie jest możliwe określenie na poziomie sektora cementowego ścisłych wymagań jakościowych dla paliw z odpadów. Parametry, którymi powinny charakteryzować się paliwa alternatywne stosowane w danej instalacji pieca wymagają indywidualnych uzgodnień z prowadzącym daną instalację cementową. W tabeli 6 przedstawiono przykładowe wymagania stawiane przez różne koncerny, organizacje oraz kraje.

T a b e l a 6

Wymagane parametry paliw alternatywnych wg różnych źródeł [16, 21, 23, 31–32]

Parametr	Jednostka	CEMEX Polska [31]				LAFARGE [23]	CEM-BURAU [32]	EURTIS [21]	SZWAJCARIA [16]	NIEMCY [16]
		paliwo alternatywne 19 12 20	zużyte opony 16 01 03	osady ściekowe						
Wartość opałowa	MJ/kg	> 17* > 20***	> 30	> 12	> 14*** > 11,7****	> 13	> 15	18	-	
Wilgotność	%	< 20	< 1	< 10	-	< 30	-	-	-	
Popiół	%	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chlor	%	< 0,7	< 0,05	< 0,7	< 0,2	< 0,3	< 0,5	-	1,5	
Siarka	%	< 1	< 2	< 1	< 2,5	< 2,5	< 0,4	-	-	
Σ metali ciężkich		< 2 000	< 2000	< 2 000	< 2 500	< 2 500	-	-	-	
Hg		-	-	-	< 10	< 10	< 2	0,5	1,2	
Cd+Tl+Hg		-	-	-	-	< 100	< 14	-	-	
Cd+Hg		-	-	-	< 100	-	-	-	-	
As		-	-	-	-	-	-	15	13	
Sb		-	-	-	-	-	-	5	120	
Be		-	-	-	-	-	-	5	2	
Pb		-	-	-	-	-	-	200	400	
Cd		-	-	-	-	-	-	2	9	
Cr		-	-	-	-	-	-	100	250	
Cu		-	-	-	< 50	-	0,2–0,5	100	700	
Co		-	-	-	-	-	-	20	12	
Ni		-	-	-	-	-	-	100	-	
Zn		-	-	-	-	-	-	400	-	
Sn		-	-	-	-	-	-	10	70	
PCB		-	-	-	-	-	-	-	-	
Rozdrobnienie	mm	< 30	< 30	granulat/pył	-	-	-	-	-	

* – prekalcyntor, ** – palnik główny (> 21 MJ/kg Cementownia „Chelm”), *** – średnia tygodniowa, **** – średnia dzienna.

5. Podsumowanie

Zainteresowanie przetwarzaniem odpadów w kierunku uzyskania z nich paliw alternatywnych wynika z wielu aspektów. Przede wszystkim stosując w procesach współspalania z węglem paliwa wytworzone z odpadów unika się problemów występujących w przypadku wykorzystania samych nieprzetworzonych odpadów, takich jak niejednorodność składu oraz niestabilność właściwości fizykochemicznych. Dodatkowo również regulacje prawne niejako wymuszają zmianę podejścia do palnych frakcji odpadów, a równocześnie przemysł poszukuje tańszych, niż paliwa pierwotne, źródeł energii, dlatego też fabrykacja paliw z odpadów nabiera coraz większego znaczenia.

Przemysł cementowy oraz energetyka są największymi potencjalnymi odbiorcami paliw z odpadów i każde z nich determinuje inne wymagania dotyczące parametrów stosowanych paliw. Niemniej jednak w obu przypadkach wymagania jakościowe dotyczą takich parametrów, jak: wartość opałowa, zawartość chloru, siarki oraz metali ciężkich, w tym rtęci, a ich wartości uzależnione są od rodzaju instalacji, w jakich mają być stosowane. Jednakże parametry paliw z odpadów muszą spełniać wymagania konkretnej instalacji nie tylko pod względem właściwości energetycznych, ale też postaci fizycznej (granulometria czy stopień rozdrobnienia), co jest przedmiotem indywidualnych ustaleń pomiędzy producentem paliw oraz ich odbiorcą. Od producentów paliw wymaga się zachowania ustalonych standardów technologicznych związanych z utrzymaniem stabilności procesu spalania oraz zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego*.

* Cytowaną literaturę zamieszczono po tłumaczeniu artykułu w języku niemieckim.