

Ocena środowiskowa technologii wytwarzania proppantu na podstawie analizy LCA – analiza porównawcza

PROF. DR HAB. INŻ. STANISŁAW SERKOWSKI
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
I METALURGII, INSTYTUT NAUKI O MATERIAŁACH

DR INŻ. JERZY KOROL
GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICICTWA, ZAKŁAD INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

Celem artykułu była ocena potencjalnego wpływu na środowisko dwóch technologii wytwarzania surowego proppantu z zastosowaniem techniki LCA. Zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej z dnia 9 kwietnia 2013 r. „w sprawie stosowania wspólnych metod pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji oraz informowania o niej” ocena ta, dla nowych produktów i technologii, wykonywana jest zgodnie z techniką oceny cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assessment*). Mimo że w literaturze poruszane są zagadnienia wpływu na środowisko różnych technologii, brak jest wyników analiz środowiskowych obejmujących różne aspekty wpływu na środowisko, takie jak: zużycie zasobów kopalnych, emisja gazów cieplarnianych, wykorzystanie terenu oraz zużycie energii z surowców odnawialnych i nieodnawialnych. Główne pytanie, na które starali się odpowiedzieć autorzy pracy, brzmi: która technologia wytwarzania surowego proppantu ma mniejszy negatywny wpływ na środowisko przy uwzględnieniu podejścia cyklu życia oraz różnych kategorii wpływu na środowisko naturalne.

SŁOWA KLUCZOWE

proppant, technologia wytwarzania proppantu, przemiał surowców, granulacja, ocena środowiskowa, ocena cyklu życia (LCA)

KEYWORDS

proppant, proppant manufacturing technology, milling of raw materials, granulation, environmental assessment, life cycle assessment (LCA)

Analizowane technologie wytwarzania surowego proppantu

Aktualnym standardem technologicznym wytwarzania granulatu ceramicznego tak w produkcji płytek ceramicznych (granulat do ciśnieniowego formowania), jak i proppantów jest przemiał surowców na mokro w młynach kulowych i wytwarzanie granulatu w suszarniach rozpyłowych. Są to rozwiązania wysoce energochłonne, a zwłaszcza takim procesem jest proces wytwarzania granulatu z gęstwy ceramicznej (Baker, McKenzie, 2005; www.energy-efficiency.gov.uk). W projekcie sfinansowanym przez MNiSW pt. *Sucha technologia produkcji płytek ceramicznych* (Serkowski, 2008), opracowano nową koncepcję technologiczną wytwarzania granulatu ceramicznego charakteryzującą się wydatnie zmniejszoną energochłonnością. Zastosowanie

Stanisław Serkowski



Pracownik na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii w Politechnice Śląskiej. Główny obszar badań profesora to inżynieria materiałowa tworzyw ceramicznych. Aktualnie koncentruje swoją uwagę na zagadnieniach związanych z wprowadzaniem technologii i zagadnieniach utylizacji odpadów przemysłowych. stanislaw.serkowski@polsl.pl

Jerzy Korol



W roku 2004 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej. Pracę doktorską z zakresu inżynierii materiałowej obronił w 2009 r. na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej. Od 2009 r. jest adiunktem w Zakładzie Inżynierii Materiałowej Głównego Instytutu Górnicztwa w Katowicach. jkorol@gig.eu

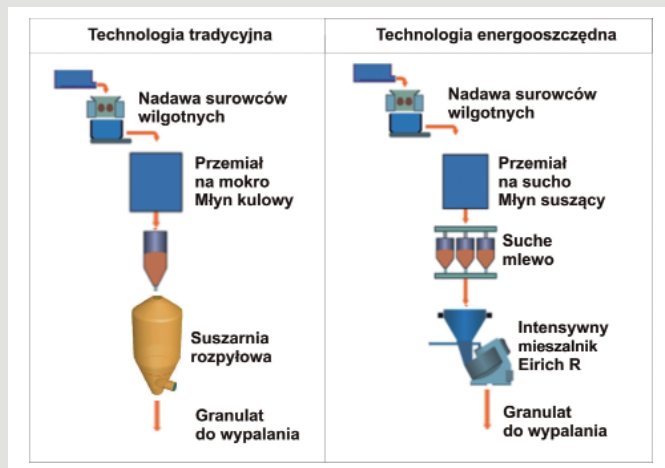
STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki oceny środowiskowej dwóch technologii produkcji proppantu. Podobnie jak w przypadku wytwarzania granulatu ceramicznego technologia klasyczna obejmuje przemiał surowców na mokro w młynie kulowym oraz granulację w suszarni rozpyłowej. Nowa technologia opiera się na energooszczędnym przemiale surowców wilgotnych w młynie suszącym oraz granulacji w mieszalniku intensywnym. Analizę środowiskową dwóch technologii granulacji wykonano na podstawie techniki oceny cyklu życia LCA (*Life Cycle Assessment*). Zastosowanie LCA pozwoliło na wyznaczenie różnych kategorii wpływu na środowisko, w tym wskaźników emisji gazów cieplarnianych porównywanych technologii i wskaźnika skumulowanego zapotrzebowania na paliwa kopalne. Wyznaczono również wskaźnik uwzględniający kategorie szkód dla zdrowia człowieka, jakość ekosystemu oraz zużycie zasobów kopalnych. Ocena środowiskowa została przeprowadzona zgodnie z normą PN-EN ISO 14044:2009, czterema metodami oceny wpływu: ReCiPe, IPCC, CED. Ponieważ wypalanie uzyskanego omawianymi technologiami granulatu jest realizowane w piecach obrotowych, w analizie porównawczej uwzględniono jedynie operacje technologiczne przygotowania granulatu do wypalania.

SUMMARY

Environmental assessment of proppant production technology based on LCA – compare evaluation

In this paper result of the environmental assessment of two proppant production technology is presented. Similarly as in the preparation of ceramic granules, classical technology includes as follow: milling of raw materials in a wet ball mill and spray-drying granulation. The new technology is based on low-energy wet milling of raw materials with use of drying mill and granulation in an intensive mixer. Environmental analysis was done for two technologies of granulation, based on life cycle assessment LCA (*Life Cycle Assessment*). Use of LCA analysis allowed to indicate different categories of environmental impact of compared technologies, including the emission of greenhouse gases and cumulative energy demand. The environmental assessment was carried out in accordance with PN-EN ISO 14044:2009, based on three methods of impact assessment: ReCiPe, IPCC, CED. Because of firing of compared granules in both cases is carried out in rotary kilns, comparative LCA analysis include technological operations of preparation of granules for firing.



Rys. 1. Schematy porównywanych technologii

nowoczesnego, ciągłego procesu przemiału w młynie suszącym, wahadłowo-pierścieniowym, surowców wilgotnych z ciągłą separacją mlewa prowadzi do znaczącego obniżenia zużycia energii. Wysoki stopień automatyzacji procesu przemiału umożliwia łatwe sterowanie i optymalizuje pobór energii w zależności od wilgotności nadawy. Suche mlewo jest następnie granulowane w mieszalniku intensywnym przy minimalnym dodatku wody. Ponieważ wilgotność surowego granulatu wynosi średnio 11%, surowy granulat musi być suszony do wilgotności ok. 6%, aby ułatwić jego transport do pieca i ewentualne przejściowe składowanie.

Opracowanie zostało doprowadzone do fazy prób przemysłowych z wytworzeniem kilku ton granulatu z masy o recepturze zbliżonej do produkcji płytek typu *gres porcellanato*. Ogólny schemat operacji technologicznych porównywanych technologii przedstawiono na rysunku 1., natomiast zużycie materiałów i energii dla analizowanych procesów przedstawiono w tabeli 1.

Już z samego porównania charakterystyk zużycia energii w obu porównywanych technologiach wynika, że nowa technologia jest aktualnie najbardziej ekologicznym sposobem wytwarzania proppantów i granulatu ceramicznego do formowania ciśnieniowego.

Proppant jest materiałem podszadkowym, chemicznie objętym, wykorzystywanym podczas wydobywania gazu łupkowego oraz ropy naftowej umiejscowionej w skałach łupkowych. Podczas odwiertów stanowi do 10% objętości płynu, który jest wpompowywany w procesie szczelinowania hydraulicznego (www.pl.wikipedia.org, 2014; www.en.wikipedia.org, 2014). Ma postać kulek o średnicy od 0,3 do 0,7 mm. Proppant powinien charakteryzować się regularnym kształtem, możliwie zbliżonym do kulistego, małą średnicą ziarna oraz wysoką wytrzymałością. Włóczyony w szczelinie skalną ma za zadanie zablokowanie jej ewentualnego zaciśnięcia się i umożliwienie swobodnego wypływu gazu ze szczelinowanego



Rys. 2. Rodzaje proppantów (Woźniak, Janus, 2013):

- piasek kwarcowy
- proppanty ceramiczne (granulacja w suszarni rozpyłowej): ultralekkie, lekkie, średniej gęstości
- spiekane boksyty (granulacja mechaniczna): proppanty o wysokiej gęstości

Tabela 1. Zużycie mediów przy produkcji proppantu porównywanymi technologiami – zużycie na 1 tonę surowego proppantu

Media	Technologia tradycyjna	Nowa, energooszczędna technologia
Energia elektryczna [kWh]	55	19
Gaz ziemny [Nm ³]	62	8
Woda [kg]	667	107

złoża. Rodzaje proppantów zostały przedstawione na rysunku 2. Od ich jakości zależy wydajność całego procesu szczelinowania i wydobywania gazu. Ważnym czynnikiem jest fakt, iż stosowane materiały nie mogą w żaden sposób zagrażać środowisku, który to warunek w przypadku produktów ceramicznych jest spełniony.

Obecnie największymi producentami materiałów podszadkowych tego typu są Chiny i USA (Woźniak, Janus, 2013). Z uwagi na duże zużycie w pojedynczym odwiercie ważne jest, aby ceny proppantów były relatywnie niskie. W tym celu poszukuje się takich surowców i możliwości wytwarzania, które mogą zmniejszyć koszty produkcji.

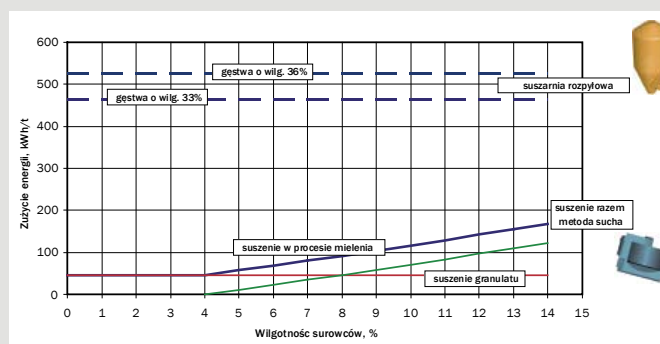
Opracowana nowa technologia z przemiałem na sucho oraz granulacją mechaniczną wychodzi naprzeciw tym wyzwaniom, oferując znaczące obniżenie uciążliwości dla środowiska a równocześnie oferuje lepszy produkt. Granulat uzyskany tą metodą posiada o ok. 10% wyższą gęstość ponieważ nie zawiera pustych granul, co jest typowym defektem granulatu z suszarni rozpyłowych (rys. 3). Wyższa gęstość granulatu surowego umożliwia obniżenie temperatury spiekania do pełnej gęstości o ok. 20°C (Izak, Serkowski, 2011). Mechaniczna granulacja zapewnia uzyskiwanie współczynnika sferyczności produktu na poziomie 90-95%.

W próbach przemysłowych nowej, energooszczędnej technologii wytwarzania granulatu (Serkowski, 2008) zebrano wszystkie parametry zużycia mediów energetycznych w procesie mielenia i granulacji, a następnie porównano je z parametrami energetycznymi klasycznej linii przemysłowej z przemiałem na mokro i granulacją w suszarni rozpyłowej (granulat ceramiczny), co umożliwiło przeprowadzenie porównawczej analizy LCA.

Głównym źródłem oszczędności energii jest ograniczenie ilości wody odparowywanej w procesie. Na rysunku 4. przedstawiono



Rys. 3. Typowe defekty granulatu z suszarni rozpyłowych (Izak, Serkowski, 2011)



Rys. 4. Zużycie energii na procesy suszenia w porównywanych technologiach w przeliczeniu na 1 Mg surowego granulatu

porównanie zużycia energii na procesy suszenia w obydwu analizowanych technologiach.

Metodyka badań oceny cyklu życia LCA

W celu oceny wpływu na środowisko dwóch technologii wytwarzania surowego proppantu zastosowano analizę cyklu życia LCA, która została przeprowadzona zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 14040:2009 według czterech etapów:

- określenie celu i zakresu,
- analiza zbioru wejść i wyjść LCI (*Life Cycle Inventory*),
- wybór kategorii i metod oceny wpływu na środowisko LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*),
- interpretacja wyników.

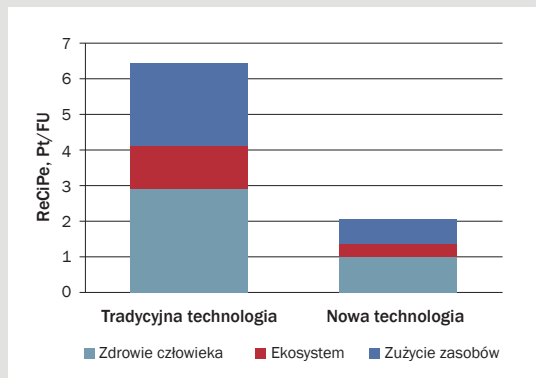
Analizę cyklu życia technologii przeprowadzono z wykorzystaniem programu SimaPro 8 (Pre Consultants BV), korzystając z najnowszej bazy danych Ecoinvent 3. W celu porównania wpływu na środowisko dwóch technologii wytwarzania surowego proppantu analizy zostały odniesione do tej samej jednostki funkcjonalnej (FU – *Functional Unit*), tj. na 1 Mg wyprodukowanego granulatu. Granice systemu obejmują procesy wytwarzania granulatu do wypalania (rys. 1). Analizę środowiskową przeprowadzono trzema metodami oceny wpływu cyklu życia:

- **ReCiPe 2008** – kompleksowa metoda oceny wpływu na środowisko umożliwiająca ocenę wpływu w trzech kategoriach szkód: wpływ na zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu i zubożenie zasobów. Wpływ na środowisko wyrażony jest w Pt/FU. Jeden ekopunkt (1 Pt) reprezentuje tysięczną część rocznych szkód w środowisku, które powoduje jeden mieszkaniec Europy (Goedkoop, Heijungs, 2009).
- **Metoda IPCC** (*Intergovernmental Panel on Climate Change – carbon footprint* – ślad węglowy) została opracowana przez Międzynarodowy Zespół do spraw Zmian Klimatu. Służy do przedstawienia wpływu produktów i technologii na emisję gazów cieplarnianych. Emisja gazów cieplarnianych wyrażona jest w kg CO₂ eq/FU (*IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007*).
- **CED** (*Cumulative Energy Demand*) – pozwala na określenie skumulowanego zapotrzebowania na energię. Wskaźniki podane są w podziale na 7 kategorii wpływu: dwie nieodnawialne (paliwa kopalne oraz energetyka jądrowa) oraz pięć odnawialnych (biomasa, energia wiatrowa, słoneczna, geotermia oraz energia wodna). Zapotrzebowanie na energię wyrażone jest w jednostkach energii, MJ/FU (Deutscher, 1997). W przypadku analizy granulatu uwzględniono zapotrzebowanie na paliwa kopalne.

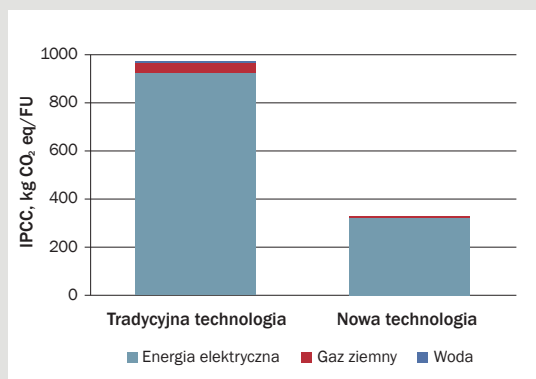
Wyniki i ich omówienie

Ocenę wpływu na środowisko dwóch technologii wytwarzania surowego proppantu metodą ReCiPe przedstawiono na rysunku 5. Wskaźnik środowiskowy uzyskany dzięki zastosowaniu metody ReCiPe, zawiera trzy kategorie szkód: wpływ na zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu oraz zużycie zasobów. Analiza wyników oceny LCA metodą ReCiPe wykazała, że nowa technologia charakteryzuje się ponadtrzykrotnie niższym wskaźnikiem środowiskowym niż technologia tradycyjna.

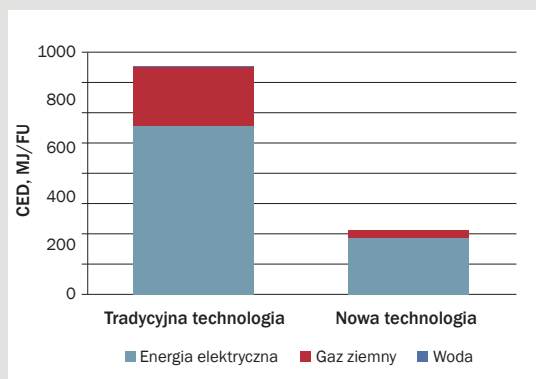
Na podstawie analiz stwierdzono, że całkowity wskaźnik środowiskowy technologii tradycyjnej wynosi 6,4 Pt/FU, w tym wpływ na zdrowie ludzkie wynosi 2,9 Pt/FU, wskaźnik zużycia zasobów wynosi 2,3 Pt/FU a wskaźnik jakości ekosystemu 1,2 Pt/FU. Natomiast w przypadku nowej technologii wytwarzania surowego proppantu całkowity wskaźnik środowiskowy jest znacznie niższy i wynosi 2,0 Pt/FU, w tym wpływ na zdrowie ludzkie wynosi 0,9 Pt/



Rys. 5. Wyniki oceny wpływu na środowisko w trzech kategoriach szkód metodą ReCiPe



Rys. 6. Wyniki oceny emisji gazów cieplarnianych metodą IPCC



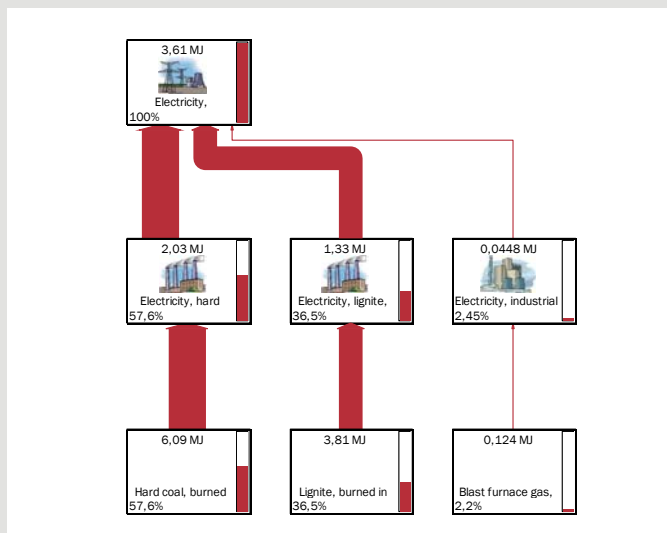
Rys. 7. Wyniki oceny skumulowanego zapotrzebowania na paliwa kopalne metodą CED

FU, wskaźnik zużycia zasobów wynosi 0,7 Pt/FU a wskaźnik jakości ekosystemu – 0,4 Pt/FU. W przypadku analizowanych technologii wpływ na środowisko determinowany jest w największym stopniu zużyciem energii elektrycznej.

Wyniki oceny środowiskowej badanych technologii wytwarzania surowego proppantu metodą IPCC, przedstawiono na rysunku 6. Nowa technologia charakteryzuje się prawie trzykrotnie niższą emisją gazów cieplarnianych (wyrażonych, jako ekwiwalent CO₂) niż technologia tradycyjna.

Wyniki analizy porównawczej skumulowanego zapotrzebowania na energię CED, uwzględniające zużycie paliw kopalnych pokazano na rysunku 7. Tradycyjna technologia charakteryzuje się 3,5-krotnie wyższym wskaźnikiem środowiskowym skumulowanego zapotrzebowania na energię CED niż nowa technologia.

Uzyskane wyniki, przedstawionych powyżej ocen środowiskowych związane są w największym stopniu ze zużyciem energii



Rys. 8. Główne źródła energii w polskim miksie energetycznym

elektrycznej produkowanej w Polsce – tzw. polski miks energetyczny. Zgodnie danymi bazy Ecoinvent 3, do produkcji 1 kWh energii elektrycznej w Polsce zużywa się głównie węgiel kamienny (0,56 kWh) i brunatny (0,37 kWh), co stanowi ok. 91% wszystkich źródeł energii wchodzących w skład polskiego miksu energetycznego (rys. 8). Pozostałe składowe polskiego miksu energetycznego to energia produkowana z gazów przemysłowych, gazu ziemnego i elektrowni wodnych / wiatrowych oraz inne.

Dla produkcji energii elektrycznej w Polsce (polski miks energetyczny) przeprowadzono również analizę cyklu życia (LCA) trzema metodami: ReCiPe, IPCC i CED, w odniesieniu do 1 kWh. Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 2.

Produkcja energii elektrycznej w Polsce, wiąże się z wysokimi obciążeniami środowiskowymi, ze względu na duży udział paliw kopalnych jako źródeł energii. Nowa technologia produkcji propanatów, ze względu na dużo mniejsze zużycie energii elektrycznej niż technologia tradycyjna, charakteryzuje się znacząco mniejszym wpływem na środowisko. W przypadku, kiedy w Polsce udział odnawialnych źródeł energii w polskim miksie energetycznym wzrośnie, nowa technologia produkcji propanatów będzie w jeszcze mniejszym stopniu wpływać na środowisko.

Podsumowanie

Skala oszczędności energii, jaką oferuje nowa technologia przemianu na sucho i granulacji w mieszalniku intensywnym uwidacznia się, gdy zużycie poszczególnych mediów przeliczy się na zużycie w skali jednego roku. Wdrożenie opracowanej technologii oferuje w przypadku typowej linii o wydajności 15 t/h (w skali roku ok. 100 000 ton produktu) zaoszczędzenie energii elektrycznej w wysokości ok. 3,6 GWh i gazu ziemnego w ilości 5,4 mln m³ w przypadku surowców o typowej, średniej wilgotności 9,8%. Dodatkowymi atutami jest ograniczenie o ok. 90% zużycia wody i eliminacja stosowania jakichkolwiek dodatków upłynniaczy, spoiw i środków

Tabela 2. Wskaźniki środowiskowe polskiego miksu energetycznego

Metoda	Jednostka	LCA
ReCiPe	[Pt/kWh]	0,10
IPCC	[kgCO ₂ /kWh]	1,12
CED	[MJ/kWh]	13,48

wspomagających mielenie w zawieszynie wodnej i granulacji w suszarni rozpyłowej. W porównaniu nakładów na media energetyczne zalety nowej technologii uwidaczniają się w wyższym stopniu niż to wynika z analizy wpływu na środowisko. Pełna ocena środowiskowa technologii uwzględnia nie tylko bezpośrednie, ilościowe zużycie wody i energii, ale też pośrednie oddziaływanie na środowisko wynikające z rodzaju zużywanej energii oraz wielkości i rodzaju emisji.

Wyniki przeprowadzonej analizy środowiskowej wskazują jednoznacznie, że nowa technologia charakteryzuje się niższym wskaźnikiem emisji gazów cieplarnianych i mniejszym zużyciem paliw kopalnych. Technologia produkcji granulatu z wykorzystaniem mieszalnika intensywnego w porównaniu z granulacją w suszarni rozpyłowej charakteryzuje się mniejszą uciążliwością dla środowiska we wszystkich analizowanych kategoriach wpływu, uwzględniając przyjęte założenia i granice systemu co potwierdziły przeprowadzone analizy w oparciu o technikę oceny cyklu życia LCA.

Dzięki zastosowaniu analizy LCA można dokonać oceny wpływu danego produktu czy technologii na środowisko z uwzględnieniem różnych kategorii wpływu, np: zdrowie ludzkie, emisja gazów cieplarnianych, skumulowane zużycie energii oraz wiele innych. Daje to prawdziwy i kompleksowy obraz wpływu analizowanych procesów na środowisko naturalne i dostarcza danych do optymalnego wyboru procesu do zastosowania w działalności produkcyjnej.

LITERATURA

- Baker C.G.J., McKenzie K.A. (2005), *Energy consumption of industrial spray dryers*, Drying Technology, 23, s. 365-386
- Deutscher V. (1997), *VDI-richtlinie 4600: Cumulative Energy Demand, Terms, Definitions, Methods of Calculation*, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf
- Goedkoop M., Heijungs R. (2009), *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Ruimte en Milieu
- IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change (2007), <http://www.ipcc.ch> (dostęp 05.03.2014)
- Izak P., Serkowski S. (2011), *Energooszczędna technologia przygotowania granulatu ceramicznego. Cz. II – Właściwości granulatu* [w:] Materiały Ceramiczne/Ceramic Materials, 63, 3, s. 552-557
- Serkowski S. (2008), *Raport końcowy z projektu rozwojowego R08 020 01, Sucha technologia produkcji płytek ceramicznych*, realizacja w latach 2006-2008, Politechnika Śląska, kierownik projektu prof. S. Serkowski, materiał niepublikowany
- Woźniak P., Janus D. (2013), *Gaz z łupków, szczelinowanie i ceramiczne propanaty cz.2*, Baltic Ceramics, Wiadomości, 180, 4
- www.energy-efficiency.gov.uk, (dostęp 25.03.2014)
- www.en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_fracturing_proppants, (dostęp: 31 marca 2014)
- www.pl.wikipedia.org/wiki/Gaz_z_%C5%82upk%C3%B3w, (dostęp: 31 marca 2014)

SPROSTOWANIE

W SiC 4/2014 w artykule dr Anny Wiszniewskiej *Spółdzielnia Przemysłu Ludowego i Artystycznego KWIATOGAL – powstanie, profil produkcji i stylistyka* błędnie podano imię jednej z pracowniczek Spółdzielni: zamiast Ewa Sobieraj powinno być: ELŻBIETA SOBIERAJ (s. 20 i 21). Panią Elżbietę serdecznie przepraszamy.

Jednocześnie informujemy, że w jednym z kolejnych numerów SiC ukaże się cykl fotografii obiektów powstałych w KWIATOGALU.

Autorka i Redakcja

