

# Perspektywy rozwoju technologii biopaliwowych w świecie do 2050 roku

Krzysztof BIERNAT - Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Instytut Ekologii i Bioetyki UKSW, Warszawa

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2012, 66, 11, 1178-1189

## Wprowadzenie

W planowanej perspektywie produkcji i stosowania biopaliw (paliw alternatywnych) przyjmuje się, że paliwa te powinny:

- występować w dostatecznie dużych ilościach
- cechować się technicznymi i energetycznymi właściwościami determinującymi ich przydatność do zasilania silników lub urządzeń grzewczych
- być tanie w produkcji i sprzedaży
- stanowić mniejsze zagrożenia dla środowiska niż paliwa dotychczas stosowane dzięki mniejszej emisyjności związków toksycznych i gazów cieplarnianych w procesie ich spalania
- zapewnić możliwe do przyjęcia wskaźniki ekonomiczne silników lub kotłów i bezpieczeństwo ich użytkowania, a także umożliwić niższe koszty eksploatacji tych urządzeń
- zwiększać niezależność energetyczną.

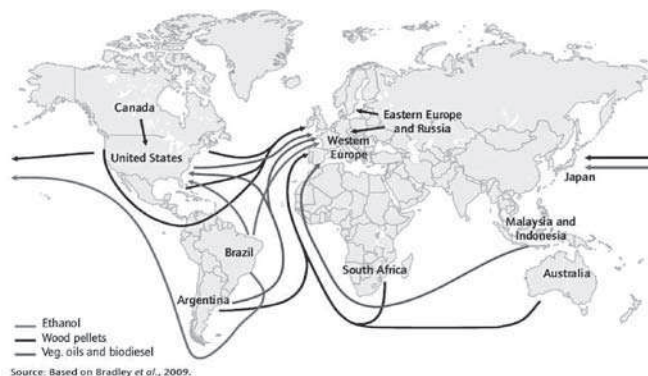
Zakładano, że podstawowy surowiec do otrzymywania biopaliw stanowić będzie szeroko pojęta biomasa. Do tej pory istniało kilka wzajemnie uzupełniających się definicji biomasy. Zgodnie z definicją europejską określoną w obowiązującej dyrektywie 2009/28/WE, biomasa oznacza ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działań przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich. A zatem, przyjmując biomasa jako podstawowe źródło surowcowe do otrzymywania biopaliw, w definicji europejskiej uwzględnione zostały dwie podstawowe ścieżki surowcowe oraz odpowiadające im technologie przekształcania, a mianowicie procesy BtL (*biomass to liquid*), alternatywnie BtG (*biomass to gas*) i WtL (*waste to liquid*), alternatywnie WtG (*waste to gas*).

Powyższa dyrektywa wprowadziła także pojęcie *bioliquids* – biociecicy, jako ciekłych biopaliw wykorzystywanych do celów energetycznych innych niż w transporcie, w tym do wytwarzania energii elektrycznej oraz energii ciepła i chłodu, produkowane z biomasy. A zatem procesy prowadzące do otrzymania biociecicy, z tak zdefiniowanej biomasy jako surowca mieszczą się w grupach BtE (*biomass to energy*) oraz WtE (*waste to energy*).

Uwzględniając powyższe uwarunkowania, Europejska Platforma Technologiczna Biopaliw, opracowała na początku 2010 roku korektę do Strategicznej Agendy Badawczej w Zakresie Biopaliw. W korekcie tej uwzględniono postęp technologiczny oraz konieczność zintensyfikowania działań w zakresie ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Niezależnie od tego, Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) opracowuje Mapę Drogową Biopaliw w transporcie, w której uwzględnia się także konieczność zrównoważonego rozwoju oraz ograniczania emisji GHG, poprzez m.in. wykorzystanie ditlenku węgla. Także dyrektywa europejska w preambule zaleca, aby „...podjąć odpowiednie działania, obejmujące wsparcie zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do biopaliw oraz rozwój biopaliw drugiej i trzeciej generacji we Wspólnocie i na całym świecie...”.

Uwzględniając dotychczasowe doświadczenia i rozwój technologii wytwarzania biopaliw, a dokładniej paliw alternatywnych, po-

chodzących z surowców biologicznie i cywilizacyjnie odpadowych (procesy xtl) dąży się przede wszystkim do ograniczania emisji CO<sub>2</sub>, lub też optymalnego jego zbilansowania w procesach wytwarzania i spalania paliw. Wprowadzenie pojęcia „procesy xtl” podyktowane zostało potwierdzonym niedoborem biomasy jako surowca, co mogłoby uniemożliwić otrzymywanie biopaliw w ilościach umożliwiających spełnienie założonych celów wskaźnikowych, zarówno w zakresie % udziału w ogólnej puli paliw transportowych, jak i też w istotnym ograniczaniu emisji ditlenku węgla. Problem niedoboru biomasy jako surowca jest bardzo istotny szczególnie w Europie, gdzie spełnienie założonych celów wskaźnikowych wymaga już importu biomasy i niektórych biopaliw (etanolu, biodiesla i olejów roślinnych, których kierunki przedstawiono na Rysunku 1.



Rys. 1. Kierunki transportu biomasy i biopaliw I-szej generacji

## Podział biopaliw

Podstawowy jest podział biopaliw ze względu na stan skupienia. Zgodnie z aneksem nr 1, Komunikatu Komisji Europejskiej nr 34 z 2006r, COM(2006)34 final, podzielono biopaliwa na ciekłe, gazowe oraz inne, wprowadzając po raz pierwszy w tym komunikacie pojęcia pierwszej i drugiej generacji biopaliw. Niezależnie od tego, zdefiniowano pojęcie „syntetyczne biopaliwa” określając je jako syntetyczne węglowodory lub ich mieszaniny otrzymywane z biomasy, np. SynGaz produkowany w procesach gazyfikacji biomasy leśnej lub SynDiesel.

W klasyfikacji europejskiej, ze względu na stan skupienia, wydzieleno: Biopaliwa ciekłe:

- bioetanol otrzymywany z biomasy i/lub z biodegradalnych frakcji odpadowych, możliwy do zastosowania jako biopaliwo E5, zawierające 5% etanolu i 95% benzyny silnikowej oraz jako E85, zawierające 85% etanolu i 15% benzyny
- biodiesel zawierający estry metylowe (PME, RME, FAME) otrzymane z olejów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego lub odpadowych (np. posmazalnicych) tłuszczów i olejów, spełniające wymagania odpowiednich norm na oleje napędowe B5, zawierający 5% estrów i 95% naftowego oleju napędowego, B30, odpowiednio 30% i 70% oraz B100, stanowiący czyste estry o właściwościach zgodnych z odpowiednią normą

- biometanol jako paliwo lub komponent paliwowy otrzymywany z biomasy
  - bio-ETBE, eter etylo *tert*-butylowy otrzymywany z bioetanolu, jako dodatek przeciwstukowy do benzyn podwyższający ich liczbę oktanową, stosowany w ilości 47%
  - bio-MTBE, eter metylo *tert*-butylowy otrzymywany z biometanolu, o tym samym przeznaczeniu jak Bio-ETBE, stosowany w ilości 36%;
  - BtL, jako ciekłe frakcje i ich mieszaniny otrzymywane z biomasy, mogące stanowić biopaliwa lub komponenty paliwowe
  - czyste oleje roślinne, otrzymywane z procesów tłoczenia, ekstrakcji i podobnych procesów, łącznie z rafinacją, z wyłączeniem modyfikacji ich składu metodami chemicznymi, mogące stanowić biopaliwa spełniające wymagania ochrony środowiska, do odpowiednich typów silników.
- Biopaliwa gazowe:
- bio-DME, eter dimetylowy otrzymywany z biomasy do bezpośredniego stosowania jako biopaliwo do silników o zapłonie samoczynnym
  - biogaz, jako biopaliwo otrzymywane z biomasy i/lub biodegradowalnych frakcji odpadowych, odpowiednio oczyszczone, tak aby odpowiadał jakością gazowi naturalnemu
  - biowodór, jako biopaliwo otrzymywane z biomasy lub biodegradowalnych frakcji odpadowych.

Inne paliwa z odnawialnych źródeł energii, jako niewymienione biopaliwa, otrzymywane ze źródeł definiowanych Dyrektywą 2001/77/EC, które mogą być zastosowane do napędu w środkach transportu.

Jak już wspomniano, w tym samym komunikacie określono założenia podziału biopaliw na biopaliwa generacji pierwszej oraz drugiej. Podział ten wynikał z omówionych uwarunkowań, a przede wszystkim z oceny przydatności paliw we współczesnej technice silnikowej i dostępności surowców oraz ich wpływu na środowisko. Formalny podział biopaliw na odpowiednie generacje został opublikowany w raporcie „Biofuels in the European Vision, a Vision 2030 and Beyond”. Raport ten podzielił biopaliwa na biopaliwa pierwszej generacji, tak zwane konwencjonalne oraz na biopaliwa drugiej generacji, tak zwane przyszłościowe.

Do biopaliw pierwszej generacji (konwencjonalnych) zaliczone zostały:

- bioetanol (BioEtOH, BioEt), rozumiany jako konwencjonalny etanol otrzymywany z procesów hydrolizy i fermentacji, z takich surowców jak: zboża, buraki cukrowe itp.
- czyste oleje roślinne (*PVO-pure vegetable oils*), otrzymywane z procesów tłoczenia na zimno i ekstrakcji ziaren roślin oleistych
- biodiesel stanowiący estry metylowe oleju rzepakowego (RME) lub estry metylowe (FAME) i etylowe (FAEE) wyższych kwasów tłuszczowych innych roślin oleistych otrzymywane w wyniku procesów tłoczenia na zimno, ekstrakcji i transestryfikacji
- biodiesel, stanowiący estry metylowe i etylowe otrzymywany w wyniku transestryfikacji posmażalniczych odpadów olejowych
- biogaz otrzymywany w wyniku procesów oczyszczania zawilgoczonego biogazu składowiskowego, bądź rolniczego
- bio-ETBE, otrzymywany z przeróbki chemicznej bioetanolu.

Do biopaliw drugiej kategorii (przyszłościowych) zostały sklasyfikowane:

- bioetanol, biobutanol i mieszaniny wyższych alkoholi oraz ich pochodne otrzymywane w wyniku zaawansowanych procesów hydrolizy i fermentacji lignocelulozy pochodzącej z biomasy (z wyłączeniem surowców o przeznaczeniu spożywczym)
- syntetyczne biopaliwa stanowiące produkty przetwarzania biomasy poprzez zgazowanie i odpowiednią syntezę na ciekłe komponenty paliwowe w procesach BtL oraz powstałe w wyniku przetwarzania biodegradowalnych odpadów pochodzenia przemysłowego i komunalnego, w tym ditlenku węgla w procesach WtL

- paliwa do silników o zapłonie samoczynnym pochodzące z przetwarzania lignocelulozy z biomasy w procesach Fischer-Tropscha, w tym biodiesel syntetyczny pochodzący z kompozycji produktów lignocelulozowych
- biometanol otrzymywany w wyniku procesów przekształcania lignocelulozy, w tym syntezy Fisher-Tropscha a także z wykorzystaniem odpadowego ditlenku węgla
- biodimetyloeter (bioDME) otrzymywany w termochemicznych procesach przetwarzania biomasy, w tym biometanolu, biogazu i gazów syntezowych stanowiących pochodne procesów przekształcania biomasy
- biodiesel, jako biopaliwo lub komponent paliwowy do silników o zapłonie samoczynnym otrzymywany w wyniku rafinacji wodorem (hydrogenizacji) olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych
- biodimetylofuran (bioDMF) pochodzący z procesów przetwarzania cukrów, w tym celulozy w procesach termo i biochemicznych
- biogaz jako syntetycznie otrzymywany gaz ziemny – biometan (SNG), otrzymywany w wyniku procesów zgazowania lignocelulozy i odpowiedniej syntezy oraz w wyniku procesów oczyszczania biogazu rolniczego, wysypiskowego i z osadów ściekowych
- biowodór otrzymywany w wyniku zgazowania lignocelulozy i syntezy produktów zgazowania lub w wyniku procesów biochemicznych.

Z przedstawionej klasyfikacji wynika, że do biopaliw drugiej generacji nie można zaliczać przetworzonych biopaliw pierwszej generacji, co oznacza, że dalsza przeróbka estrów, na przykład poprzez rafinację wodorem, nie powoduje otrzymania biopaliwa drugiej generacji i jest nieracjonalna technicznie ani ekonomicznie. W zasadzie koncepcja rozwoju biopaliw drugiej generacji opiera się na założeniu, że surowcem do ich wytwarzania powinna być zarówno biomasa jak odpadowe oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce, oraz wszelkie odpadowe substancje pochodzenia organicznego, nieprzydatne w przemyśle spożywczym lub leśnym.

Departament Transportu i Energetyki Komisji Europejskiej zaproponował wydzielenie biopaliw trzeciej generacji, jako tych, dla których opracowanie technologii powszechnego otrzymywania i wdrożenia ich do eksploatacji może być szacowane na lata 2030 i powyżej. Do tych paliw zakwalifikowano wstępnie biowodór i biometanol.

Ze względu na najbardziej istotny czynnik wymuszający upowszechnienie stosowania biopaliw, a mianowicie: ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (GHG), w tym głównie ditlenku węgla, uściślono pojęcia biopaliw trzeciej generacji i zaproponowano wprowadzenie biopaliw czwartej generacji. Obydwie te grupy biopaliw zaliczane są do grupy biopaliw przyszłościowych (*advanced biofuels*). I tak biopaliwa trzeciej generacji, mogą być otrzymywane podobnymi metodami co paliwa drugiej generacji, ale ze zmodyfikowanego na etapie uprawy surowca (biomasy) za pomocą molekularnych technik biologicznych. Celem tych modyfikacji jest udoskonalenie procesu konwersji biomasy do biopaliw (biowodór, biometanol, biobutanol) poprzez np. uprawy drzew o niskiej zawartości ligniny, rozwój upraw z wbudowanymi odpowiednio enzymami itp.

Propozycja wydzielenia, nowej czwartej generacji biopaliw powstała ze względu na konieczność zamknięcia bilansu ditlenku węgla lub eliminacji jego oddziaływania na środowisko. A zatem technologie wytwarzania biopaliw czwartej generacji powinny uwzględniać procesy CCS (*Carbon Capture and Storage*) czyli wychwytu i składowania węgla na etapie surowców i technologii wytwarzania tych biopaliw. Surowcami do ich produkcji mają być rośliny o zwiększonej, nawet genetycznie, asymilacji CO<sub>2</sub> podczas uprawy, a stosowane technologie muszą uwzględniać wychwyt ditlenku węgla w odpowiednich formacjach geologicznych poprzez doprowadzenie do stadium węglanowego lub składowanie w wyrobiskach ropy naftowej i gazu.

### Biopaliwa i perspektywy ich rozwoju w USA

W USA nie występuje kategoryzacja biopaliw. Według opracowania NREL, (Narodowe Laboratorium Energii Odnawialnej) przewidywane jest stopniowe opracowywanie i wdrażanie technologii otrzymywania biopaliw w czasie.

Według danych NREL, aktualnie wdrażane są technologie następujących biopaliw:

- etanolu jako komponentu biopaliwowego, dla którego surowcem są ziarna zbóż oraz celuloza pochodząca z rolnictwa i leśnictwa
- biodiesel, stanowiący mieszaninę estrów wyższych kwasów tłuszczowych z procesów transestryfikacji olejów roślinnych i naftowego oleju napędowego

W perspektywie czasowej, przewidywane jest wdrażanie technologii kolejnych biopaliw:

- *Green Diesel and Jet Fuel*, tak zwany zielony diesel i uniwersalne paliwo do silników turbinowych (głównie jako paliwo dla potrzeb wojskowych), otrzymywane z tłuszczów, olejów odpadowych i czystych olejów roślinnych, rafinowanych w naftowych rafineriach do bardzo niskiego poziomu zawartości siarki
- inne produkty procesów fermentacyjnych biomasy, takie jak: butanol, octany (etaniany) i mleczały (2-hydroksypropaniany) itp.
- ciecze popirolityczne z procesów pirolizy biomasy, jako alternatywny surowiec do rafinerii naftowych lub procesów zgazowania
- gaz syntezowy otrzymywany z biomasy metodą Fischer-Tropscha, jako surowiec do wytwarzania metanolu, eteru dimetylowego lub mieszanin alkoholi
- *Algae-derived Fuels*, paliwa pochodzące z biomasy z alg morskich, jako źródła triglicerydów do otrzymywania biodiesla, zielonego diesla i paliwa lotniczego Jet oraz jako surowce do otrzymywania węglowodorów
- biopaliwa otrzymywane z takich surowców, jak: jatrofa, halofty, lnicznik (*Camelina sativa*) z przeznaczeniem na oleje napędowe i paliwa typu Jet
- paliwa węglowodorowe, jako biopaliwa dalekiej przyszłości, pochodzące z procesów biologicznych lub uwodornienia biomasy, w tym paliwa z procesów xTL.

Ta ostatnia grupa biopaliw nabiera coraz bardziej istotnego znaczenia, ponieważ ze względu na konieczność coraz bardziej znacznego ograniczenia emisji ditlenku węgla, stwierdzono, że należy poszukiwać nowych dróg zamykania bilansu tego gazu poprzez poszukiwanie nowych surowców oraz dróg ich przetwarzania. Stąd też opracowywane są nowe, perspektywiczne technologie w USA i Europie, w zakresie:

- technologii produkcji biopaliwa, w tym typu Jet, poprzez bezsłoneczną hodowlę glonów ze szlamów pochodzenia rolniczego, traw i substancji odpadowych, z wykorzystaniem ditlenku węgla (technologia SOLAZYME)
- technologii plazmowej gazyfikacji odpadowej biomasy oraz odpadów komunalnych i przemysłowych (procesy BtG i WtG), a następnie przetworzenie otrzymanych gazów na biopaliwa płynne (oleje napędowe i paliwa typu Jet) w procesie GtL (technologia SOLENA, wdrażana w Wielkiej Brytanii i we Włoszech)
- technologii wykorzystywania ditlenku węgla w procesach produkcji nośników energii
- kompleksowych technologii biorafineryjnych.

### Perspektywiczne technologie biopaliw, według Europejskiej Strategicznej Agendy Badawczej

Uwzględniając niedobory surowcowe w zakresie możliwości wykorzystywania biomasy jako surowca, a także istotne niedoskonałości biopaliw I generacji, związane głównie z konkurencją z żywnością (*food competition*) oraz niedomykalnością bilansu CO<sub>2</sub>, strategia europejska określona w „European Strategic Research Agenda, Update 2010” określa, jako perspektywiczne, następujące biopaliwa, podając jednocześnie ścieżki technologiczne ich otrzymywania:

- paliwa syntetyczne/węglowodory z gazyfikacji biomasy (zastosowanie: paliwa transportowe z OZE do silników lotniczych i silników o zapłonie samoczynnym)
- biometan i inne gazowe paliwa z gazyfikacji biomasy (substytuty gazu ziemnego i innych paliw gazowych), (zastosowanie: paliwa silnikowe oraz wysoko efektywna produkcja energii)
- biopaliwa (biociecze) z biomasy otrzymywane przez inne procesy termochemiczne jak piroliza (zastosowanie: paliwa grzewcze, wytwarzanie energii lub pośrednio poprzez procesy xTL do paliw transportowych)
- etanol i wyższe alkohole z cukrów zawierające biomasę (zastosowanie: paliwa transportowe z OZE lub jako komponenty benzynowe, E85)
- węglowodory z biomasy, otrzymywane z cukrów, wytworzone w procesach biologicznych i/lub chemicznych (zastosowania: odnawialne paliwa transportowe do silników lotniczych i silników o zapłonie samoczynnym)
- biopaliwa otrzymywane w wyniku wykorzystywania ditlenku węgla do produkcji mikroorganizmów lub z bezpośredniej syntezy ditlenku węgla, naturalnego pochodzenia, w procesach termo- i biochemicznych (zastosowania: paliwa transportowe z OZE i dla lotnictwa).

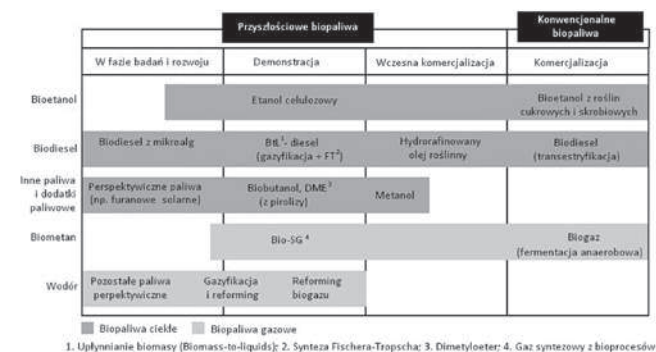
Określenia te obejmują także wytwarzanie już zdefiniowanych biopaliw co do rodzaju, takich jak bioDME, bioDMF i inne pochodne furanowe, FT-diesel, HTU-diesel, paliwa z uwodornienia odpadowych olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych nieprzydatnych w przemyśle spożywczym. Wydzielanie poszczególnych generacji biopaliw nie musi być więc konieczne, ponieważ zawarta w dyrektywie definicja biomasy jednoznacznie określa możliwości surowcowe, determinując jako zalecane procesy jej biochemicznego lub termochemicznego przetwarzania. Ze względu jednak na zasadniczy cel wprowadzania biopaliw jako paliw samoistnych, bądź jako komponentów paliwowych, który wynika z konieczności obniżania emisji ditlenku węgla, pewną nowością jest uwzględnienie jako biopaliw także paliw powstających w wyniku syntezy, bądź wykorzystywania odpadowego ditlenku węgla, w procesach wytwarzania nośników energii dla celów transportowych. Paliwa tak otrzymane, w terminologii przejętej przez Międzynarodową Agencję Energii, zostały określone jako *solarfuels* (paliwa słoneczne).

### Perspektywiczne biopaliwa, według Mapy Drogowej Biopaliw dla Transportu MAE

Z przedstawionych rozważań dotyczących podziału biopaliw i rosnącej liczby ich gatunków, dla zapewnienia realnych możliwości produkcji tych paliw, spełniających wymagania współczesnych silników spalinowych, rysuje się konieczność określenia optymalnych i w miarę uniwersalnych technologii ich wytwarzania. Stąd też technologie otrzymywania biopaliw, przy uwzględnieniu tendencji rozwoju systemów zasilania i spalania silników spalinowych, muszą zapewnić możliwość bezpiecznej eksploatacji tych silników przy jednoczesnym ograniczeniu emisji toksycznych składników spalin, zgodnie z wymaganiami odpowiednich klas „EURO” w Europie i US/California ULEV w USA. Jednocześnie ważne jest, aby biopaliwa o porównywalnym składzie i właściwościach były dostępne w każdym kraju, właśnie ze względu na wymagania silnikowe.

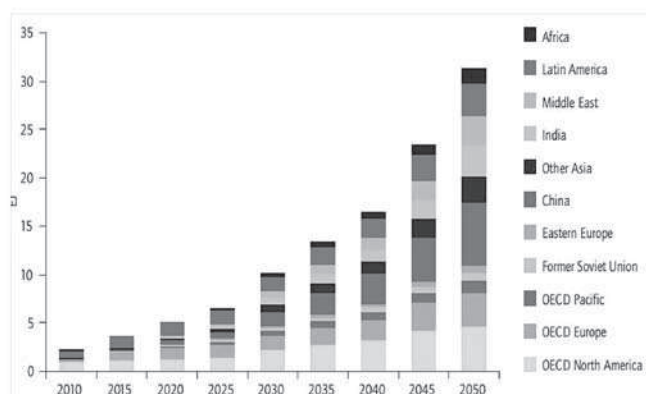
Dlatego też, opracowana przez Międzynarodową Agencję Energii mapa drogowa biopaliw w transporcie („Technology Roadmap. Biofuels for Transport”) określa perspektywy rozwoju technologii biopaliw w świecie do 2050 r., z uwzględnieniem powyższych wymagań oraz światowych możliwości surowcowych. Ze względu na uzasadnioną konieczność ograniczania liczby gatunków biopaliw z jednoczesnym umożliwieniem rozwoju technologii ich wytwarzania bez potrzeby wprowadzania kolejnych generacji, proponuje się podzielić biopaliwa tylko na konwencjonalne (*conventional*) i przyszłościowe (*advanced*). Podział i stopień zaawansowania poszczególnych biopaliw w obu grupach, według MAE przedstawiono na Rysunku 2.



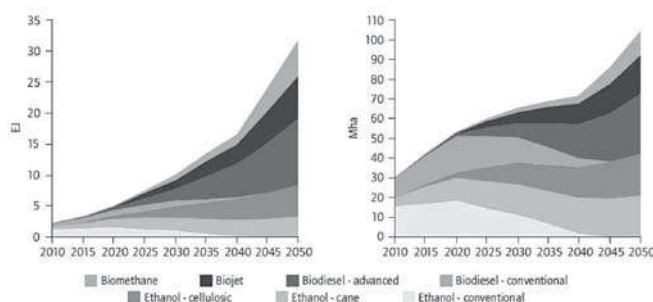


Rys. 2. Podział biopaliw i stopień zaawansowania ich produkcji

Według mapy drogowej MAE, w przedziale do 2050 r., ze względu na przyjęte cele wskaźnikowe, popyt na biopaliwa będzie rósł (Rys. 3).



Rys. 3. Zapotrzebowania na biopaliwa w różnych regionach świata



Rys. 4. Energetyczne zapotrzebowanie na biopaliwa (po lewej) i odpowiadające temu zapotrzebowaniu areal upraw (wg MAE)

Zapewnienie prognozowanych ilości biopaliw w 2050 r. wymagać będzie surowca o łącznym potencjale energetycznym szacowanym na ok. 65 EJ, co odpowiada 100 mln ha upraw 2050 r., przy założeniu, że 50% surowca do produkcji zaawansowanych biopaliw pochodzić będzie z substancji odpadowych (procesy xtL). Oznacza to, że konieczny jest wzrost areal przeznaczanego na uprawy biomasy dla celów energetycznych. Planowanemu wzrostowi ilości biopaliw odpowiada zapotrzebowanie na ziemię pod uprawy (Rys.4). Przy założeniu rygorystycznych wymagań w zakresie upowszechnienia procesów xtL, w optymistycznym wariantcie, zakłada się możliwość uzyskania do roku do roku 2050, 145 EJ energii z biomasy i wszelkiego typu substancji odpadowych przeznaczonej łącznie na płynne nośniki energii dla środków transportu (65 EJ) oraz na przetwarzanie na energię cieplną i elektryczną w procesach poligeneracji (80 EJ). Istnieją szacunki zakładające, że przy prognozowanym wzroście produkcji rolnej oraz zagospodarowaniu nieużytków, łączny potencjał tak zwanej bioenergii może nawet osiągnąć w 2050 r. wartość 475 EJ. Szacowane zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> określa się na 2,1 Pg w skali jednego roku, przy udziale biopaliw wynoszącym 27% (v/v) całej puli paliw transportowych.

Uwzględniając zapotrzebowanie na biopaliwa spełniające wymagania przyszłych źródeł napędu dla środków transportu, łącznie z transportem lotniczym, a także ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>, w zakresie paliw przyszłościowych preferowane są według MAE następujące biopaliwa i ich ścieżki technologiczne:

- **paliwa z procesów BtL** (kompozycje syntetycznych węglowodorów), otrzymywane przez szybką pirolizę, ogrzewanie biomasy do temperatury pomiędzy (400...600) °C, a następnie szybkie schłodzenie, przy czym nietrwałe związki mogą być konwertowane do cieczy (proces HTU), jako paliwo HTU-diesel lub też odtleniane (proces HDO) destylowane i rafinowane na kompozycje paliwowe. Pozostałość tzw. Bio-char (*charcoal*) jako produkt uboczny, może być stosowany jako paliwo stałe, lub stosowany jako środek do sekwestracji węgla i nawożenia gleby
- **olej napędowy z procesów (BtL)**, tak zwany FT-diesel, otrzymywany przez konwersję do gazu syntezowego i katalityczną syntezę Fischer-Tropscha (FT) w szerokim zakresie węglowodorów ciekłych, w tym syntetycznego oleju napędowego i biopaliw typu JET
- **hydrotorafinowany olej roślinny (HVO)** jako paliwo do silników o zapłonie samoczynnym lub olej opałowy produkowany przez uwodornienie olejów roślinnych lub tłuszczów zwierzęcych (nie-spożywczych i odpadowych). Pierwsze duże zakłady zostały uruchomione w Finlandii i Singapurze, ale procesy nie zostały jeszcze w pełni skomercjalizowane.
- **bioetanol celulozowy** produkowany z surowców lignocelulozowych przez biochemiczną konwersję celulozy i hemicelulozy prowadzącą do fermentacji cukrów (IEA, 2008a). Etanol celulozowy ma lepszy bilans energetyczny, pod względem emisji gazów cieplarnianych i wymagań użytkowania terenu niż etanol skrobiowy
- **biogaz** otrzymywany poprzez beztlenową fermentację surowców, takich jak odpady organiczne, odchody zwierzęce i osady ściekowe, lub/i rośliny energetyczne Oczyszczany do **biometanu** (SNG) poprzez usunięcie CO<sub>2</sub> i siarkowodoru (H<sub>2</sub>S), może stanowić paliwo silnikowe lub źródło wodoru, także do ogniw paliwowych
- **eter dimetylowy (bioDME)** jako gazowe paliwo do silników o zapłonie samoczynnym, otrzymywany z metanolu w procesie katalitycznego odwodnienia, z gazu syntezowego przez zgazowanie lignocelulozy i innej biomasy. Produkcja bioDME ze zgazowania biomasy jest w fazie demonstracyjnej (wrzesień 2010 r. w Szwecji, *Chemrec*)
- **biobutanol** posiadający większą gęstość energetyczną i korzystniejszy niż etanol w benzynach silnikowych (BS). Może być dystrybuowany poprzez istniejącą sieć dla BS, Biobutanol może być wytwarzany przez fermentację cukrów za pomocą bakterii *Clostridium acetobutylicum*. Zakłady demonstracyjne działają w Niemczech i USA, a inne są w budowie
- **paliwa furanowe**, dla których polisacharydy typu celuloza i skrobia, stanowią surowiec, otrzymywane w procesach defragmentacji łańcuchów wielocukrowych prowadzących do otrzymania glukozy, następnie przekształcanie we fruktozę, w reakcji izomeryzacji przy użyciu katalizatorów enzymatycznych. Fruktoza w procesie dehydratacji przechodzi w HMF (5-hydroksymetylofurfural), który w procesie hydrogenolizy, w obecności katalizatora miedzano-rutenowego jest przekształcony w DMF (dimeitylofuran), stanowiący paliwo do silników o zapłonie iskrowym, o zaletach przewyższających etanol, bez jego wad jako komponentu paliwowego.
- **paliwa solarne (solarfuels)**, otrzymywane przez zgazowanie biomasy do gazu syntezowego przy użyciu ciepła wytwarzanego przez koncentrację energii słonecznej, co potencjalnie poprawia efektywność konwersji oraz zapewnia większe obniżenie emisji gazów cieplarnianych. Mogą być także otrzymywane w wyniku rozkładu wody (pary wodnej) i wykorzystaniu ditlenku węgla do wytworze-

nia gazu syntezowego, przekształcanego katalitycznie na frakcje paliwowe. W zakresie wytwarzania tych paliw mogą także mieścić się technologie tzw. sztucznego liścia

- **bio rafineryjne systemy** wytwarzania paliw płynnych i półproduktów chemicznych, których omówienie znacznie przekracza ramy niniejszego artykułu.

W zakresie najbardziej obiecujących surowców do otrzymywania biopaliw przyszłościowych, uwzględniających tak zwany głód ziemi (*ground competition*) oraz wymagania w zakresie ograniczania emisji CO<sub>2</sub>, preferowane są uprawy alg, Inicznika, jatrofy i halo fitów. Dla zwiększenia ilości możliwych do wykorzystania surowców biomasowych, opracowywane są także takie technologie, jak: bezsłonecznej (ciemnej) fotosyntezy oraz morskie systemy membranowe do produkcji alg i glonów, a także technologie wytwarzania biometanolu jako surowca.

### Wnioski

Spełnienie przedstawionych celów wymaga podjęcia skoordynowanych działań przez wszystkie uprzemysłowione kraje świata. Według założeń mapy drogowej MAE, przez najbliższe dziesięć lat należy zrealizować następujące zadania:

1. Stworzyć stabilne, długoterminowe ramy polityczne dla biopaliw, tak aby zwiększyć zaufanie inwestorów oraz pozwolić na zrównoważony rozwój produkcji tych paliw.
2. Zapewnić trwałość mechanizmów finansowania i wsparcia na poziomie niezbędnym do umożliwienia rozwoju zaawansowanych technologii, w celu osiągnięcia komercyjnej produkcji biopaliw w ciągu najbliższych 10 lat.
3. Uzgodnić na szczeblu międzynarodowym kryteria zrównoważonego rozwoju jako podstawę do implementacji systemów certyfikacji biopaliw i związanych z nimi polityk na szczeblu krajowym, bez tworzenia niepożądanych barier handlowych, zwłaszcza dla krajów rozwijających się.
4. Ustalić wiążące schematy systemów wsparcia finansowego dla zrównoważonej produkcji biopaliw w celu zapewnienia ponad 50% oszczędności w LCA dla wszystkich biopaliw i zachęcenia do wykorzystania odpadów i pozostałości jako surowca.
5. Zwiększyć zaangażowanie badawcze w kierunku możliwości surowcowych i określania dostępności gruntów wraz z identyfikacją najbardziej obiecujących rodzajów surowców i lokalizacji dla przyszłych instalacji.
6. Zmniejszyć i ostatecznie znieść cła i inne bariery handlowe w celu wzmocnienia rynku „zrównoważonej” biomasy i biopaliw oraz pozyskiwania nowych źródeł surowców.
7. Wzmacniać międzynarodową współpracę w zakresie budowania i możliwości transferu technologii w celu propagowania przyjęcia zrównoważonej produkcji biopaliw na całym świecie.
8. Opracować i przyjąć system zrównoważonego użytkowania gruntów rolnych i leśnych, aby uniknąć negatywnych zmian sektorowych w zakresie użytkowania gruntów.
9. Stworzyć narodowe systemy biogospodarki, spójne dla gospodarki odnawialnymi źródłami energii i technologiami ich przetwarzania w krajach uprzemysłowionych.

### Literatura

1. Biernat K.: „Forum Czystej Energii” X edycja, *Biokomponenty i biopaliwa – możliwości rozwoju i zastosowania*. 23-25 listopada 2010 r., Poznań.
2. *Technology Roadmap. Biofuels for Transport*. Wyd. OECE/IEA, Paryż 2011 r.
3. Anglart H.: *Atrakcyjna energetyka jądrowa*. Energetyka – maj 2011
4. Bartosik M.: *Ziemia w pułapce energetycznej*. Energetyka 2010, 9
5. Biernat K.: *Biopaliwa – definicje i wymagania obowiązujące w Unii Europejskiej*. Czysta Energia, 2010, 10, 110
6. Biernat K.: *Biopaliwa – definicje i wymagania obowiązujące w Unii Europejskiej*, Czysta Energia 2010, 10, 25-28

7. Biernat K.: *Rozwój technologii wytwarzania biopaliw*. Czysta Energia 2010, 11, 33-36
8. Bajdor K., Biernat K.: *Biopaliwa jako alternatywne nośniki energii w silnikach spalinowych, klasyfikacja i perspektywy rozwoju*. Archiwum Motoryzacji 2011, 1, 5-19.
9. Biernat K.: *Środowiskowe i energetyczne uwarunkowania technologii biopaliwowych*. Wydawnictwo Forum Partnerstwa Regionalnego, Warszawa 2011
10. Biernat K.: *Uwarunkowania eksploatacyjne i dystrybucyjne biopaliw w świecie*, Paliwa Płynne 2011, 7, 39-43.
11. Kruczyński S., Orliński P., Biernat K.: *Olej lniany jako paliwo dla silników o zapłonie samoczynnym*. Przemysł Chemiczny, 2012, 91/1 1000-1003.
12. Kruczyński S., Orliński P., Biernat K.: *Fizykochemiczne właściwości mieszanek alkoholi z biostrami oraz ich wpływ na emisję toksycznych składników spalin z silnika o zapłonie samoczynnym*. Przemysł Chemiczny, 2012, 91/2, 217-219.
13. Biernat K., Gis W.: *Gas to Liquid (GtL) processes*. Silniki Spalinowe, 2012, 1, (148) poz. 124.
14. Samson-Bręk I., Biernat K.: *Processing of municipal waste and plastic for liquid fuels – WtL technology*. Silniki Spalinowe, 2012, 1, (148) poz. 131.
15. Rostek E., Biernat K.: *Analysis of the Quality Parameters of Selected Motor Biofuels Taking into Account the Current Requirements of the Worldwide Fuel Charter*. Silniki Spalinowe, 2012
16. Rostek E., Biernat K.: *Analysis of Gaseous Degradation Products Occuring During Biomass-to-Liquid Processes*. SAE International”, 2013-26-XXXX.
17. Burczyk B., Burda K.: *Dlaczego warto zajmować się fotosyntezą?*, FOTON 93, Lato 2006. *Biomasa. Surowiec do syntez chemicznych i produkcji paliw*, OWPW, Wrocław, 2011
18. Chueh W. C., Falter C., Abbott M., Scipio D., Furler P., Haile S. M., Steinfield A., *High-Flux Solar-Driven Thermochemical Dissociation of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O Using Nonstoichiometric Ceria*, Science, 2010, 330, 6012, 1797-1801.
19. Dołęgowska S.: *Biopaliwa – krok ku zrównoważonemu rozwojowi, Problemy ekorozwoju – Problems of sustainable development*, 2009, 4, 1, 117-121
20. Fishman D., Majumdar R., Morello J., Pate R., Yang J., *National Algal Biofuels Technology Roadmap*, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program, U.S. DOE 2010.
21. Frąc M., i inni: *Algi – energia jutra (biomasa, biodiesel)*, Acta Agrophysica 2009, 13(3), 627-638
22. Gray B. H.: *Solar Fuel*, Engineering&Science 1997, 3
23. Grzybek A.: *Analiza możliwości wykorzystania surowców rolnych na potrzeby produkcji biopaliw*, Problemy inżynierii Rolniczej 2007, 1
24. Grzybek A.: *Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania*, Studia i raporty IUNG – PIB, 2008, Zeszyt II, Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie.
25. Li G., Kong L., Wang H., Huang J., Xu J.: *Application of hydrothermal reaction in resource recovery of organic wastes*, State Key Lab of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environmental Science and Engineering, Tongji University
26. Helsen L., Bosmans A.: *Waste-to-Energy through thermochemical processes matching waste with process*, Department of Mechanical Engineering
27. Kijewska M., Kijewski J.: *Biopaliwa czy wyczerpaliliśmy już wszystkie możliwości?*, CHEMIK, 2011, 65, 11, 1169-1176.
28. Lipski R., Orliński S., Tokarski M.: *Energetyczne wykorzystanie biomasy na przykładzie kotłowni opalanej słomą we Fromborku*, MOTROL, 2006, 8A, 202-209.
29. Lorenz U.: *Szkola Eksploatacji Podziemnej, Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczenia*, Sympozja i Konferencje, 2005 64, Wyd. Instytut GSMiE PAN w Krakowie, .
30. MacKay D.: *Sustainable Energy – Without the Hot Air*, Engineering&Science, 2010.
31. Malinowski A.: *Perspektywiczne technologie biopaliw drugiej generacji na rynku europejskim*, Warszawa, 2010.
32. Marzec A.: *Polityka energetyczna wobec perspektyw dwu zagrożeń – niedoboru ropy naftowej i ocieplenia klimatu*, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk, 2010, 78.
33. Murray J., King D.: *Climate policy: Oil’s tipping point has passed*, Nature, 2012, 481, 433-435
34. Zgłoszenie patentowe nr PL 208030 B1, Polska.
35. Nazimek D.: *Sztuczna Fotosynteza CO<sub>2</sub> -pierwszy etap produkcji biopaliw*
36. Niedziółka I., Zuchniarz A.: *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, MOTROL, 2006, 8A,

37. Płaska J., Sałek M., Surma T.: *Wykład pierwszy. Charakterystyka odnawialnych źródeł energii*, Energetyka, 2005, 3.
38. Regalado A.: *Reinventing the Leaf. The ultimate fuel may come not from corn or algae but directly from sun itself*, ScientificAmerican, 2010.
39. Roszkowski A.: *Efektywność energetyczna różnych sposobów produkcji i wykorzystania biomasy*, Studia i Raporty IUN, 2008, Zeszyt 11, Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie.
40. Scott S. A.: *Biodiesel from algae: challenges and prospects*, ScienceDirect, Current Opinion in Biotechnology 2010, 21, 277-286.
41. Sikora Z.: *Heterotroficzny wzrost glonów*, Wiadomości Botaniczne, 1969, tom XIII, Zeszyt 2.
42. Soliński J.: *Światowe rezerwy surowców energetycznych*, Energetyka, 2008, 2.
43. Strebeyko P.: *Fotosynteza*, PWN, Warszawa, 1964.
44. Studia i raporty IUNG – PIB, Zeszyt II, 2008, Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie
45. Wójcicki Z.: *Energia odnawialna, biopaliwa i ekologia*, Problemy Inżynierii Rolniczej, IBMIER w Warszawie, 2007, 2.
46. Bernstein M., Woods M., American Chemical Society, *Debut of the first practical 'artificial leaf'*.
47. *Biofuels In the European Viosion, a Vision 2030 and Beyond*, Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council.
48. *Biopaliwa – ratunek dla klimatu czy zagrożenie dla przyrody*, Warszawa, 5 Fuel from algae
49. International Energy Agency, *Key World Energy STATISTICS 2011*.
50. Nocera D. G.: *Personalized Energy for 1 (x 6 Billion): A Solution to the Global Energy Challenge*, Evening Lecture Service, IHMC.

Dr inż. Krzysztof BIERNAT jest adiunktem w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji, pełniąc funkcję Koordynatora Polskiej Platformy Technologicznej Biopaliw i Biokomponentów. Jest przedstawicielem Polski w Europejskiej Platformie Technologicznej Biopaliw jako członek „Mirror Group”, jest także członkiem Amerykańskiej Rady Energii Odnawialnej „ACORE” oraz członkiem Komitetu Sterującego Europejskiej Platformy Technologicznej Wytwarzania Ciepła i Chłodzenia ze Źródeł Odnawialnych RHC. Był członkiem Rady Naukowej Instytutu Paliw i Energii Odnawialnej ostatniej kadencji.

Jest także członkiem „Advisory Board” BIOPOL Project „Assesment of BIOrefinery Concept and the Implication for Agricultur and Forestry POLicy”, członkiem “Working Group “ BITES Project, “Biofuels Technologies European Showcase” oraz “ERA NET – BIOENERGY”. Jest Zastępcą Dyrektora Instytutu Ekologii i Bioetyki Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Specjalizuje się w termodynamice chemicznej procesów zachodzących w środowisku oraz technologii wytwarzania, oceny jakości i użytkowania płynów eksploatacyjnych, w tym biopaliw.

Posiada wiele wyróżnień, odznaczeń i orderów za działalność naukową i proinnowacyjną, zagranicznych i krajowych. Od dwudziestu lat jest członkiem Międzynarodowego Jury, Światowego Salonu Postępu Naukowego i Wynalazczości „Brussel's Eureka”, a od 2011 r. wiceprzewodniczącym Jury. Jest ekspertem w Programach Operacyjnych, 7 Programie Ramowym, NCBiR, MNiSW oraz Organizacji Państw Amerykańskich (OAS), Międzynarodowej Agencji Energii (IEA), a także UNIDO.

Jest autorem ponad 200 publikacji z zakresu właściwości i uwarunkowań eksploatacyjnych paliw, biopaliw i innych płynów eksploatacyjnych oraz ochrony środowiska oraz wypromował kilkadziesiąt prac magisterskich i inżynierskich z tego zakresu.

Posiada uprawnienia rzeczoznawcy w zakresie gospodarki paliwowo-energetycznej oraz zweryfikowanego wykładowcy Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego i Naczelnej Organizacji Technicznej.

Jest członkiem towarzystw naukowych krajowych i zagranicznych, w tym członkiem z wyboru American Chemical Society (ACS) oraz członkiem z wyboru American Association for the Advancement of Science (AAAS) a także pełni funkcję Sekretarza Generalnego Polskiego Towarzystwa Zoologicznego.

e-mail: k.biernat@pimot.org.pl; krzysztof.biernat@ieib.edu.pl

## Ogólnopolski Konkurs Chemiczny „ALCHEMIK”

Ogólnopolski Konkurs Chemiczny „ALCHEMIK” jest prowadzony od trzech lat przez Stowarzyszenie Upowszechniania Wiedzy i Kultury Regionalnej w Warszawie. Stowarzyszenie od wielu lat organizuje na terenie całej Polski konkursy edukacyjne, współpracując merytorycznie z tak renomowanymi i prestiżowymi uczelniami wyższymi jak Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, czy Uniwersytet Warszawski.

Celem Konkursu Chemicznego „ALCHEMIK” jest utrwalanie wiedzy z zakresu nauk ścisłych i ich znaczenia dla człowieka oraz aktywizacja miłośników chemii, poprzez dalsze rozwijanie ich umiejętności. Konkurs adresowany jest do uczniów szkół gimnazjalnych oraz ponadgimnazjalnych, a z racji swojej ogólnopolskiej rangi jest ceniony i poważany wśród nauczycieli i młodzieży, dając im możliwość wykazania się znajomością chemii oraz nagradzając za wybitne osiągnięcia. Konkurs przebiega jednoetapowo tego samego dnia we wszystkich uczestniczących w nim placówkach. Zgłoszona do Konkursu młodzież bierze udział w teście konkursowym składającym się z trzydziestu pytań zamkniętych jednokrotnego wyboru oraz części opisowej będącej pytaniem otwartym. Zakres tematyczny testu dotyczy podstawy programu nauczania chemii, ale znajduje się w nim także kilka pytań wymagających wiedzy ponadprogramowej. Każda szkoła uczestnicząca w Ogólnopolskim Konkursie Chemicznym „Alchemik” wyznacza Szkolnego Organizatora Konkursu, osobę, która przeprowadza i nadzoruje Konkurs w Szkole.

Ogólnopolski Konkurs Chemiczny „ALCHEMIK” w 2012 roku odbywał się 13 marca. W tegorocznej edycji Jury Konkursu przyznało następujące nagrody niżej wymienionym osobom:

W kategorii gimnazjalnej:

**I miejsce – Piotr Domachowski** – Gimnazjum nr 6 im. Prof. Wł. Szafera w Płocku

**II miejsce – Julia Gieldon** - Gimnazjum Akademickie w Toruniu

**III miejsce – Joanna Siemak** - Gimnazjum Publiczne nr 7 im. Sybiraków w Szczecinie

W kategorii ponadgimnazjalnej:

**I miejsce – Agnieszka Wiórek** - I Liceum Ogólnokształcące im. J. Smoleńca w Bytomiu

**II miejsce – Alan Żak** - I Liceum Ogólnokształcące im. Mikołaja Kopernika w Bielsko - Białej

**III miejsce – Justyna Kasprzyk** - III Liceum Ogólnokształcące im. A. Mickiewicza w Katowicach.

Laureaci nagrodzeni zostali kamerami cyfrowymi, aparatami cyfrowymi oraz odtwarzaczami MP3 wraz z zestawem głośników. Przyznane zostały również liczne wyróżnienia I i II stopnia na szczeblu krajowym nagrodzone odtwarzaczami MP3 oraz wydawnictwami albumowymi i encyklopediami. Wszyscy uczestniczący uczniowie w szkole otrzymali dyplomy, a najlepszy uczeń w szkole, która zgłosi powyżej 10 uczestników otrzymał nagrodę książkową. Szkolni Organizatorzy Konkursu – za zaangażowanie i aktywność – zostali uhonorowani dyplomami uznania i książkami, a najliczniej reprezentowane szkoły – dyplomami i urzędzeniami wielofunkcyjnymi.

W tegorocznej edycji Ogólnopolskiego Konkursu Chemicznego „ALCHEMIK” brało udział ponad 7000 osób z 500 szkół z całej Polski.

[www.alchemik.suwikr.pl](http://www.alchemik.suwikr.pl) - Ogólnopolski Konkurs Chemiczny „ALCHEMIK”

[www.suwikr.pl](http://www.suwikr.pl) - Stowarzyszenie Upowszechniania Wiedzy i Kultury Regionalnej „Pokolenie”

Paweł MAJ