

Justyna JESIONEK*, Ireneusz SOLIŃSKI**

Biomasa — ekologiczne i odnawialne paliwo XXI wieku

STRESZCZENIE. W artykule dokonano klasyfikacji biomasy według źródeł jej pochodzenia. Oszacowano potencjał biomasy w Polsce. Scharakteryzowano metody pozyskiwania poszczególnych sortymentów biomasy oraz techniki konwersji na energię elektryczną i ciepło.

SŁOWA KLUCZOWE: biomasa drewna, rośliny energetyczne, biomasa słomy, biogaz z odpadów zwierzęcych, biogaz z osadu ściekowego, biogaz z odpadów komunalnych, biopaliwa

1. Celowość wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych

Zasoby kopalnych surowców energetycznych w wyniku wieloletniej eksploatacji systematycznie się zmniejszają, zanieczyszczenie środowiska natomiast z dnia na dzień wykładniczo wzrasta. Zgodnie z raportem ONZ do spraw klimatycznych „Climate change 2001”, który stwierdza, iż mogą nastąpić nieodwracalne zmiany ekologiczne, m.in. zmiany klimatu, powódzie itd., jeżeli nie zostanie ograniczona emisja zanieczyszczeń do atmosfery o około 70% w skali roku. Państwa członkowskie Unii Europejskiej oraz inne kraje m.in. Polska starają się ograniczyć emisję zanieczyszczeń oraz ukierunkować swoją politykę ekologiczną na efektywne wdrożenie technik pozyskiwania i przetwarzania odnawialnych źródeł energii (OZE), tak aby w 2010 roku Polska mogła uzyskać 7,5% produkcji energii ze źródeł

* Mgr inż. — Studium doktoranckie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków.

** Dr hab. inż., prof. AGH — Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Roman NEY

odnawianych, a w 2020 roku 14% — zgodnie z przyjętą w 2001 roku „Strategią rozwoju energetyki odnawialnej”.

Energetyka Polska nadal oparta jest przede wszystkim na zasobach surowców kopalnych. Około 70% produkowanej energii pochodzi z węgla kamiennego i brunatnego. Szacuje się, że do 2010 roku zużycie energii elektrycznej w Polsce wzrośnie co najmniej dwukrotnie, czyli do poziomu ponad 7000 kW·h w przeliczeniu na osobę w ciągu roku. Dalszy rozwój gospodarczy Polski wymagać będzie systematycznego wzrostu produkcji energii cieplnej i elektrycznej, a co za tym idzie — zwiększenia udziału OZE w bilansie energetycznym kraju. Planowany udział OZE w bilansie energetycznym Polski przedstawia tabela 1.

TABELA 1. Planowany w Polsce wzrost wykorzystania energii odnawialnej
(na podstawie „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej”)

TABLE 1. Planned increase of the renewable energy usage in Poland
(according to the “Strategy of renewable power engineering’s development”)

Rodzaj energii	Udział w 1995 r. [GW]	Planowany udział w 2010 r. [GW]	Wzrost [%]
Energia elektryczna			
Energia wiatru	2,5	40	160
Duże elektrownie wodne	82,5	91	110
Małe elektrownie wodne	9,5	14	147
Razem elektrownie wodne	92	105	114
Energia fotowoltaniczna w szczycie	0,03	3	1 000
Energia geotermalna	0,5	1	200
Inne		1	
Energia ciepła			
Biomasa	44 Mtoc	135 Mtoc	301
Energia słoneczna	6,5 mln m ²	100 mln m ²	1 538
Energia geotermalna	1,3 GW	5 GW	385
Pasywne systemy słoneczne		30 Mtoc	

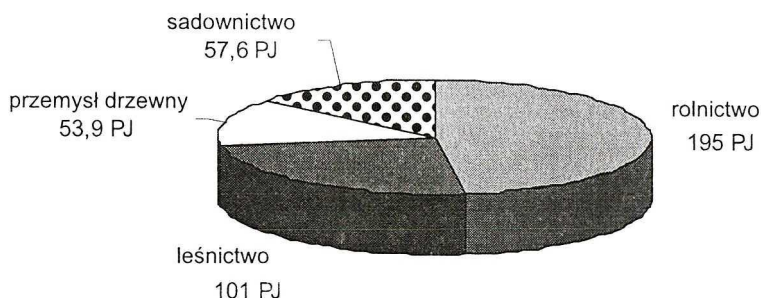
Źródło: Słownik internetowy — <http://ciepluj.pl/...>

W polskich warunkach najłatwiejsza do pozyskania i najbardziej efektywna ekonomicznie jest energia biomasy. Jej potencjał, techniki pozyskiwania oraz sposoby konwersji na energię elektryczną i ciepło będą przedmiotem niniejszego opracowania.

2. Potencjał biomasy w Polsce

Biomasa stanowi około 15% energii pierwotnej w skali światowej. Potencjał techniczny biopaliw stałych w Polsce, możliwy do wykorzystania na cele energetyczne, oszacowano

średnio na około 407,5 PJ w skali roku. Składają się na niego nadwyżki biomasy pozyskiwanej w rolnictwie około 195 PJ, w leśnictwie 101 PJ, w sadownictwie 57,6 PJ oraz odpady drzewne z przemysłu drzewnego 53,9 PJ (rys.1).



Rys. 1. Oszacowany całkowity potencjał techniczny biopaliw stałych w Polsce

Źródło: Strona internetowa — <http://www.ibmer.waw.pl/ecbrec/...>

Fig. 1. Estimated total technical potential of solid biofuels in Poland

2.1. Biomasa słomy

Polskie rolnictwo produkuje rocznie około 25–30 mln ton słomy (głównie zbożowej i rzepakowej) oraz siana. Słoma ta jest częściowo wykorzystywana jako ściółka i pasza w hodowli zwierząt oraz do nawożenia pól. Należy zaznaczyć, iż znaczna część nadwyżek wypalana jest na polach, co powoduje poważne zagrożenie dla środowiska i zdrowia mieszkańców. Od 1990 roku rosną nadwyżki słomy. Obecnie szacuje się je na około 12 mln ton rocznie, czyli na 30–50% całości słomy wyprodukowanej w skali roku. Przyjmując tę wielkość potencjał energetyczny słomy wyniesie rocznie około 100–200 PJ, co może zastąpić 5–10 mln ton węgla, a wynikająca stąd redukcja dwutlenku węgla wynosić będzie 12–25 mln ton CO₂ (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...). Potencjał energetyczny odpadów rolnych w Polsce przedstawia tabela 2.

TABELA 2. Teoretyczny i techniczny potencjał energetyczny odpadów rolnych w Polsce

TABLE 2. Technical and theoretical energetic potential of agricultural waste in Poland

Rodzaj	Całkowite ilości [mln ton]	Współczynnik wykorzystania [%]	Ilości możliwe do wykorzystania [mln ton]	Potencjał techniczny [PJ]
Słoma zbóż	21,5	50	8,9	147
Słoma rzepaku	2,4	70	1,4	23
Siano	18,1	10	1,5	25
Całkowity potencjał energetyczny odpadów w rolnictwie			11,8 mln t	195

Źródło: opracowanie EC BREC/IBMER, Strona internetowa — <http://www.ibmer.waw.pl/ecbrec/...>

2.2. Biomasa drewna

Lasy stanowią 28,8% powierzchni kraju (ok. 8,9 mln hektarów), z czego Lasy Państwowe zajmują powierzchnię 7,4 mln ha. Polityka ekologiczna państwa zakłada dalszy wzrost zalesienia (do 32% w 2020 r.). W roku 1997 w Lasach Państwowych pozyskiwane było rocznie 21,6 mln m³ drewna, w tym 2,5 mln m³ drewna opałowego. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych szacuje, że dalsze 2—2,5 mln m³ odpadów drzewnych pozostaje w lasach ze względu na ograniczony popyt. Dodatkowo znaczne ilości odpadów drzewnych powstają w sadownictwie. Całkowity potencjał techniczny drewna z leśnictwa oraz sadownictwa możliwy do bezpośredniego wykorzystania na cele energetyczne oszacowany został na 158,6 PJ.

TABELA 3. Potencjał techniczny drewna możliwy do wykorzystania na cele energetyczne

TABLE 3. Technical potential of wood, available to use for energetic purposes

Źródło	Całkowite ilości [mln ton]	Ilości możliwe do wykorzystania [tys. ton] przy założeniu gęstości 0,4 t/m ³	Ilości możliwe do wykorzystania [tys. ton] przy założeniu wilgotności na poziomic 20%	Potencjał techniczny [PJ]
Gospodarka leśna	17,55	7,02	5,61	101,0
Sadownictwo włączając wyczystki i odnowienia	10,00	4,00	3,20	57,6
Całkowity potencjał energetyczny odpadów w rolnictwie			8,81	158,6

Źródło: EC BREC/IBMER, Strona internetowa — [http://www.ibmcr.waw.pl/ecbrec/...](http://www.ibmcr.waw.pl/ecbrec/)

Znaczne potencjalne ilości odpadów drzewnych powstają w przemyśle drzewnym oraz celulozowo-papierniczym. Szacuje się, iż ze 100 m³ drewna pozyskiwanego z gospodarki leśnej otrzymuje się po przeróbce do 60% odpadów, w tym 10 m³ kory, 15 m³ drobnicy gałęziowej, 20 m³ odpadów kawałkowych (ścinki, obrzyny), 19 m³ trocin i zrębków, 36 m³ tarcicy oraz 20—25 m³ produktów finalnych z grubizny. Przy założeniu pozyskiwania 15,5 mln m³ drewna w ciągu roku na potrzeby produkcyjne, z czego około 60% będzie odpadami, można przyjąć orientacyjnie, iż w przemyśle drzewnym powstaje rocznie około 9,4 mln m³ odpadów drzewnych. Potencjał techniczny drewna odpadowego z przemysłu drzewnego szacować można zatem na 53,9 PJ. Niebagatelny wpływ na produkcję biomasy w Polsce pomału zyskuje obecnie drewno z upraw szybko rosnących roślin drzewiastych, głównie z gatunku wierzby (*Salix viminalis*). Obecnie istnieje kilka plantacji, które dają możliwość wykorzystania mało urodzajnych lub skażonych gleb pod uprawę, utylizacji osadów ściekowych, co stwarza możliwości wdrażania alternatywnej produkcji rolnej na terenach zdegradowanych i niskoprodukcyjnych. Dodatkową zaletą upraw roślin energetycznych jest możliwość szerokiego wykorzystania produktów na cele przemysłowe (Strona internetowa — [http://www.ibmcr.waw.pl/ecbrec/...](http://www.ibmcr.waw.pl/ecbrec/)).

2.3 Biogaz

2.3.1. Biogaz z odpadów zwierzęcych

Gospodarstwa hodowlane produkują duże ilości silnie zanieczyszczonych odpadów. Odchody zwierzęce można podzielić na gnojówkę, o zawartości 0,5—1% stałej masy, gnojowicę o zawartości około 2—10% stałej masy, odciek z bardzo małą zawartością stałej masy oraz obornik o zawartości stałej masy powyżej 30%. Ilość odchodów zwierzęcych powstająca w Polsce (bydło oraz trzoda chlewna) oszacowana na podstawie analizy produkcji zwierzęcej i prognozy Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi jest zaprezentowana poniżej w tabeli. Jak wykazały badania doświadczalnych biogazowni eksploatowanych w rolnictwie, z 1 m³ płynnych odchodów można uzyskać średnio 20 m³ biogazu, a z 1 m³ obornika — 30 m³ biogazu o wartości energetycznej około 23 MJ/m³. Obliczono, że rocznie z pozyskanej ilości odchodów zwierzęcych w Polsce można uzyskać 3310 mln m³ biogazu. Jest to wielkość czysto teoretyczna, ponieważ w gospodarstwach rolnych o małej obsadzie zwierząt nie ma podstaw techniczno-ekonomicznych do budowy urządzeń pozyskujących biogaz z odchodów. Pozyskiwanie biogazu z obornika będzie również ograniczone z uwagi na bardziej skomplikowaną technologię w porównaniu z technologią stosowaną przy odchodach płynnych.

TABELA 4. Ocena ilości odchodów zwierzęcych w Polsce
TABLE 4. The estimated amount of the animal waste in Poland

Rodzaje odchodów zwierzęcych	1999 [10 ⁶ t/rok]	2010 [10 ⁶ t/rok]
Gnojowica	7,0	38,0
Gnojówka	14,0	25,0
Odciek	2,0	4,0
Razem	23,0	67,0
Obornik	21,0	51,0

Źródło: Strona internetowa <http://www.ibmer.waw.pl/...>

Rocznie w Polsce szacunkowo powstaje łącznie ponad 38 mln m³ gnojowicy i 21 mln ton (85 mln m³) obornika. Największe możliwości pozyskania biogazu w Polsce mają jednak gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej o koncentracji co najmniej 100 SD (sztuk dużych o masie 500 kg). Są to często gospodarstwa powstające na bazie restrukturyzacji byłych Państwowych Gospodarstw Rolnych, zlokalizowanych głównie w północnej, północno-zachodniej i północno-wschodniej części kraju (Grzybek 2003a).

2.3.2. Biogaz z osadu ściekowego

W Polsce powstaje 0,5 mln t. s.m. osadów ściekowych, a wraz z przemysłowymi odpadami organicznymi stanowi to 2,5 mln t.s.m. rocznie (Guzenda, Swigoń 1997), z czego palnych i wyselekcjonowanych odpadów organicznych na składowiskach odpadów komunalnych około 0,4 mln t rocznie (Gutkowski 2001). Potencjał techniczny dla wykorzystania biogazu z oczyszczalni ścieków do celów energetycznych jest bardzo wysoki. Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, które mają zastosowanie we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Ponieważ oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne zarówno na energię cieplną, jak i elektryczną, energetyczne wykorzystanie biogazu z fermentacji osadów ściekowych może w istotny sposób poprawić rentowność tych usług komunalnych. Ze względów ekonomicznych pozyskanie biogazu do celów energetycznych jest uzasadnione tylko w większych oczyszczalniach ścieków, przyjmujących średnio ponad 8000—10 000 m³/dobę (Grzybek 2003a).

Łączna moc zainstalowana instalacji biogazowych w Polsce w listopadzie 1999 r. sięgała 40 MW, z czego większa część instalacji obejmowała jedynie kotły gazowe przystosowane do spalania biogazu. Energia cieplna ze spalania biogazu wykorzystywana jest w całości na potrzeby technologiczne (podgrzewanie bioreaktorów) i socjalne (ogrzewanie pomieszczeń oczyszczalni). Całkowita produkcja w instalacjach biogazowych w oczyszczalniach ścieków w Polsce w listopadzie 1999 r. wynosiła 72,5 GW·h energii elektrycznej i ponad 250 TJ energii cieplnej. Dla porównania w 1996 r. w W. Brytanii łączna moc zainstalowana instalacji biogazowych w oczyszczalniach ścieków wynosiła 92,6 MWel, a produkcja energii elektrycznej wynosiła 400 GW·h. W tym samym roku w Holandii moc zainstalowana biogazowni w oczyszczalniach ścieków wynosiła 28 MW elektrycznych, co pozwoliło wyprodukować 94 GW·h energii elektrycznej i 195 GW·h energii cieplnej (World Energy Council, 1998). Od roku 1994 w Polsce zainstalowano 20 biogazowni w miejskich oczyszczalniach ścieków, między innymi w Olsztynie (2 × 200 kWel, 2190 kWt·h), Siedlcach (200 kW z blokiem ciepła), Opolu (2 × 200 kW), Inowrocławiu (2 × 160 kW z blokiem ciepła), Elblągu (2 × 200 z blokiem ciepła), Puławach (2 × 160 kW z blokiem ciepła), Pleszewie, Krynicy, Ostróźnie, Zawierciu (3 × 310 kWt·h), Krośnie, Bielsko-Białej (240 kWel, 400 kWt·h), Zamościu (1200 kWel + + 1200 kWt·h), Świnoujściu (2 × 180 kWel, 2 × 338 kWt·h, kocioł grzewczy 1020 kW), Sitkowie k. Kielc (2 × 404 kWel, 2 × 510 kWt·h) — Strona internetowa — www.bioenergia.eco.pl/...

2.3.3. Gaz wysypiskowy

Oprócz celowego pozyskania metanu jako głównego składnika biogazu w specjalnych biogazowniach rolniczych i komunalnych, metan tworzy się w wyniku samoczynnie przebiegającej fermentacji beztlenowej na składowiskach organicznych odpadów komunalnych. W Polsce w 2002 roku zarejestrowanych było 1016 składowisk czynnych, na których depo-

nowano odpady komunalne. Jedynie 125 (12,3%) posiadało instalacje odgazowywania, w tym 94 — z gazem uchodzącym do atmosfery. W 2002 roku odnotowano 82 składowiska o zakończonej eksploatacji, których powierzchnia wyniosła 168,6 ha, w tym 15,3 ha poddano rekultywacji (GUS 2002, Strona internetowa — [www.stat.gov.pl/...](http://www.stat.gov.pl/)).

Zdecydowana większość potencjału technicznego wykorzystania gazu wysypiskowego w Polsce związana jest, jak już wcześniej wspomniano, tylko ze 125 większymi wysypiskami komunalnymi. Z powodu częstego braku odpowiednich uszczelnień masy składowanych odpadów, zasoby gazu wysypiskowego możliwe do pozyskania nie przekraczają 30—45% całkowitego potencjału powstającego na wysypisku gazu. W takich warunkach zasoby metanu realnie możliwe do pozyskania z wysypisk odpadów komunalnych są szacowane na 135—145 milionów m³ rocznie, co jest równoważnikiem 5235 TJ energii. Tym niemniej, zasoby metanu możliwe do pozyskania mogłyby zostać nawet podwojone w przypadku zastosowania odpowiednich środków wymaganych przez normy Unii Europejskiej przy prowadzeniu gospodarki odpadami na wysypiskach, jak uszczelnienia geotechniczne złoża osadów hamujące migracje gazu, kontrola uwodnienia złoża i systemy drenaży itp. (Strona internetowa — www.ibmer.waw.pl/...).

W 2002 roku w Polsce wytworzono 118 mln ton odpadów (z wyłączeniem odpadów komunalnych). Głównymi źródłami odpadów są: górnictwo węglowe, wydobywanie surowców mineralnych, przemysł energetyczny i hutnictwo. Szczególnie dużą grupę odpadów (52%) stanowią odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopalin oraz odpady z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych.

Z ogólnej ilości wytworzonych w 2002 roku odpadów poddano odzyskowi (tj. wykorzystano w całości lub w części albo odzyskano z odpadów substancje, materiały lub energię, które następnie wykorzystano) 93 mln ton (79%), wobec 54% w roku 1990. Blisko 18% odpadów unieszkodliwiono, głównie poprzez składowanie. Udział odpadów usuwanych na składowiska zmniejszył się z 46% w 1990 do 14% w 2002 roku. Unieszkodliwieniu podlegającemu na obróbkę fizycznej/chemicznej lub spalaniu uległo około 4 mln ton (3%) odpadów wytworzonych w 2002 roku. Słabe rezultaty przynoszą dotychczasowe działania zmierzające do odzysku surowców wtórnych poprzez techniki sortowania, segregację „u źródeł”, selektywną zbiórkę i recykling odpadów. W 2002 roku, wśród wywiezionych odpadów komunalnych, wyselekcjonowane stanowiły: makulatura — 0,4%, szkło — 0,5%, metale — 0,1%, tworzywa sztuczne — 0,2% (GUS 2002, Strona internetowa — [www.stat.gov.pl/.](http://www.stat.gov.pl/)).

2.4. Surowce i półprodukty oraz potencjał technologiczny do produkcji biopaliw w Polsce

W warunkach polskich praktycznie wszystkie surowce są dostępne. Bardzo duże znaczenie jako surowce do produkcji biopaliw mogą mieć natomiast:

- ✧ uprawy energetyczne w tym:
 - ✧ rośliny oleiste,

- ✧ pozostałe uprawy energetyczne (zboża, ziemniaki, buraki cukrowe, trawy itp.);
- ✧ odpady biologiczno-organiczne, wśród których można wyróżnić:
 - ✧ biologiczno-organiczne odpady miejskie,
 - ✧ biologiczno-organiczne odpady wiejskie,
 - ✧ odpady biologiczno-organiczne z przemysłu rolno-spożywczego (np. melasa).

2.4.1. Baza surowcowa do produkcji Biodiesla

Biodieselem nazywamy olej napędowy stanowiący lub zawierający biologiczny komponent w postaci metylowych estrów wyższych kwasów tłuszczowych.

Surowcem do produkcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych są tłuszcze zwierzęce i oleje roślinne (w tym rzepakowy, z którego otrzymujemy metylowe estry rzepakowe — MER) oraz odpadowe tłuszcze roślinne. Tłuszcze zwierzęce są krajowym zapleczem surowcowym do produkcji estrów metylowych, z których część stanowi surowiec odpadowy, nadający się jednak do przetwórstwa estrów. Wielkość produkcji tłuszczu w Polsce szacowana jest na poziomie 140 tys. ton rocznie. Należy przyjąć, że ta ilość może się zwiększyć w przypadku rozwoju hodowli. W produkcji oleochemikaliów, a zwłaszcza estrów metylowych z przeznaczeniem na biopaliwo, zasadnicze znaczenie mają jednak oleje roślinne. Podstawową rośliną oleistą w Polsce jest rzepak. Oleje roślinne, a w Polsce olej rzepakowy, powstają w wyniku tłoczenia nasion.

Areal potencjalnych upraw energetycznych w Polsce i ich plony

Według danych statystycznych za 1997 rok, w Polsce grunty rolne (uprawne) zajmowały 18,5 mln ha, co stanowiło około 59% całej powierzchni kraju. Łączna powierzchnia upraw wynosiła 12,5 mln ha (67,7% wszystkich gruntów rolnych, tzn. terenów do wykorzystania rolniczego). W strukturze upraw największą powierzchnię zajmowały zboża (wraz z kukurydzą) — 71,3%, ziemniaki — 10,5%, buraki cukrowe — 3,4%. W 1997 roku zbiory zbóż osiągnęły 25,4 mln ton, ziemniaków — 20,8 mln ton i buraków cukrowych — 15,9 mln ton. Generalnie, produkcja rolnicza w Polsce całkowicie pokrywała wzrastające zapotrzebowanie, a nawet pojawiały się problemy ze zbytem produktów rolniczych, zwłaszcza zbóż. Obecnie największym potencjalnym obszarem takiego wykorzystania jest rynek paliwowy.

Areal uprawy rzepaku w Polsce wynosi przeciętnie niecałe 3% powierzchni gruntów ornych, a jego udział w strukturze zasiewów poszczególnych województw jest bardzo zróżnicowany. Znaczący udział rzepaku w swojej strukturze zasiewów mają wielkoobszarowe gospodarstwa prywatne. Są one wrażliwe na zmiany koniunktury na rzepak (relacji cen rzepaku do zbóż, w szczególności pszenicy, do nawozów, środków plonotwórczych, polityki kredytowej itp.) Plony rzepaku w Polsce są niewysokie i oscylują na poziomie 2 t/ha, natomiast potencjał plonowania jest znacznie wyższy i wynosi 3,5—4,5 t/ha. Taka rozbieżność wynika z faktu, iż wysokość plonów i zbiorów rzepaku w dużej mierze zależna jest

od warunków agrometeorologicznych (Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. — KAPE S.A. 1999).

2.4.2. Etanol

Rynek dla etanolu jako paliwa i technologii produkcyjnych, rośnie w skali globalnej. Światowa produkcja etanolu (do wszystkich celów — paliwa i browary itd.) osiągała około 31,3 biliona litrów w 1993 roku zaś w 1995 około 29,9 biliona litrów. W Polsce większość produkcji alkoholu etylowego jest wykonywana w gorzelniach (KAPE S.A. 1999).

2.4.3. Metanol

Alkohol metylowy, występujący także pod nazwą alkoholu drzewnego, produkowany jest z dowolnego surowca zawierającego węgiel, a więc m.in. z drewna, węgla, gazu naturalnego, biomasy itd.

W zakładzie produkcji metanolu z 2,6 tony suchego drewna uzyskuje się tonę metanolu (tj 486 litrów), a więc sprawność przetwarzania wynosi 38.5%. Obecnie technologie wytwarzania metanolu na bazie gazu naturalnego osiągają sprawność rzędu 70%. Technologia przetwarzania biomasy na metanol, uwzględniając proces zagazowywania biomasy, charakteryzują się sprawnością 40% (Ciechanowicz 2001), lecz osiąga się także rezultaty o około 10% wyższe.

2.4.4. Estry metylowe/etylowe wyższych kwasów tłuszczowych

Metylowe estry wyższych kwasów tłuszczowych to między innymi:

- ✧ metylowe estry rzepakowe (MER, w ang. *RME — Rape-Methyl-Ester*),
- ✧ metylowe estry oleju palmowego,
- ✧ metylowe estry oleju sojowego,
- ✧ metylowe estry oleju słonecznikowego,
- ✧ metylowe estry odpadowych (zużytych) olejów roślinnych.

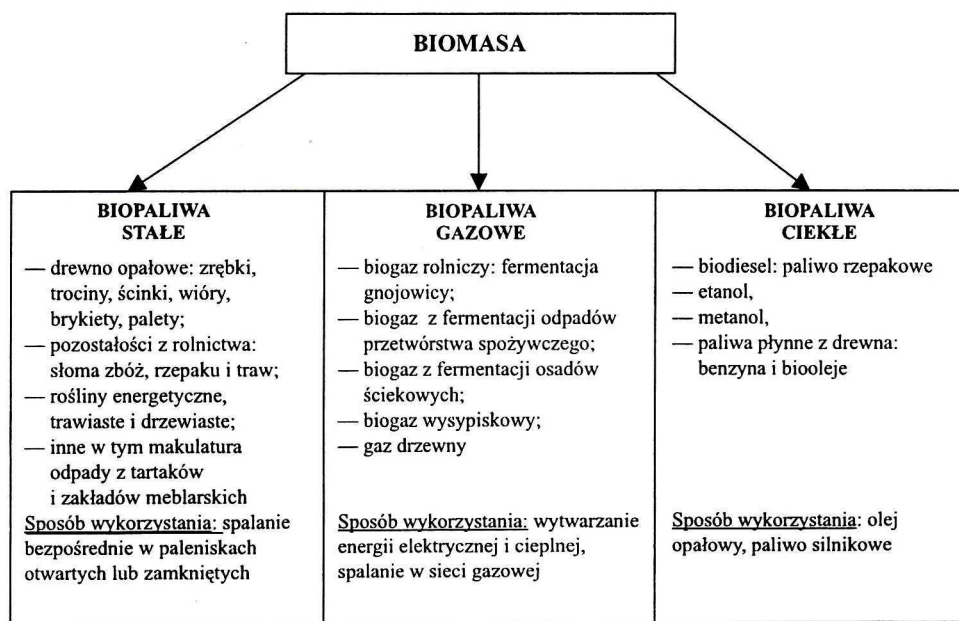
Metylowe estry rzepakowe pod względem chemicznym stanowią mieszaninę metylowych estrów wyższych kwasów tłuszczowych, których glicerydy tworzą powszechnie znany produkt zwany olejem rzepakowym. Rozwój produkcji przedmiotowych estrów rozpoczął się na naszym kontynencie z chwilą ustanowienia w 1992 roku aktu pt. „Wspólnorynkowa polityka agrarna”. W 1998 roku ich całkowita produkcja wyniosła 740 tys. ton przy zdolności produkcyjnej 1350 tys. ton rocznie.

Metylowe estry rzepakowe mogą być zarówno biopaliwem, jak i biokomponentem paliwowym. Można je stosować jako materiał napędowy do silników wysokoprężnych — mogą,

więc stanowić uzupełnienie lub substytut wobec tradycyjnego oleju napędowego (KAPE S.A., 1999).

3. Pochodzenie biomasy oraz proces jej powstawania

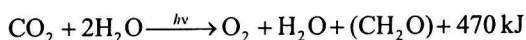
Pochodzenie biomasy może być różne, poczynając od polowej produkcji roślinnej, poprzez odpady występujące w rolnictwie, w przemyśle rolno-spożywczym, w gospodarstwach domowych i w gospodarce komunalnej. Biomasa może pochodzić również z odpadów drzewnych, celulozowo-papierniczych oraz z wieloletnich plantacji roślin energetycznych, plantacji rzepaku oraz słonecznika. Istotnym źródłem biomasy są również odpady komunalne i odpady z hodowli zwierząt (Soliński 2001). Podział biomasy ze względu na możliwości jej przetwarzania na paliwa energetyczne przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Podział biomasy ze względu na możliwości jej przetwarzania na cele energetyczne
Źródło: Grzybek 2003a

Fig. 2. Biomass division, according to the possibilities of its processing for energetic purposes

Biomasa jest to substancja organiczna powstająca w wyniku procesu fotosyntezy, który przebiega pod wpływem promieniowania słonecznego ($h\nu$). Mechanizm fotosyntezy przedstawia następująca reakcja chemiczna:



w wyniku której w węglowodanach syntetyzowanych z jednego mola dwutlenku węgla jest akumulowane 470 kJ energii chemicznej. Produktem ubocznym przetwarzania energii chemicznej zawartej w biomase na ciepło jest ponowne powstawanie dwutlenku węgla CO₂ (Lewandowski 2001—2002). Jednakże w procesie spalania biomasy emisja CO₂ jest równa ilości tego związku, jaką pobrała roślina w czasie wzrostu. Bilansując można stwierdzić, iż zgodnie z mechanizmem fotosyntezy CO₂ krąży w przyrodzie, analogicznie jak woda, w obiegu zamkniętym, co w efekcie końcowym wychodzi na zero.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. (Dz.U. z 2003 r. nr 104, poz. 971) w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła — biomasa to substancja pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, która ulega biodegradacji, pochodząca z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także z przemysłu przetwarzającego jej produkty oraz inne części odpadów, które ulegają biodegradacji, natomiast biogaz to gaz pozyskany z biomasy, w szczególności z przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków, składowisk odpadów.

Wprowadzenie tych definicji pozwala na jednoznaczne określenie, czy dane produkty i odpady kwalifikują się jako biomasa lub biogaz, a tym samym czy wytworzona w oparciu o nie energia podlega mechanizmom wsparcia przewidzianym w wymienionym rozporządzeniu. Analizując powyższe definicje do biomasy można zakwalifikować szeroką gamę odpadów, m.in. drewno, słomę, odpady zwierzęce poubojowe czy frakcję organiczną wyselekcjonowaną z odpadów komunalnych (Kamieński 2003).

Biomasa już od dawien dawna stanowi jedno z podstawowych źródeł pozyskiwania energii, była bowiem i jest nadal stosowana jako drewno opałowe oraz jako odpady organiczne w wielu gospodarstwach wiejskich. Jako źródło energii biomasa jest odnawialna, gdyż rośliny mają zdolność regeneracji, czyli ponownego odrastania — w przeciwieństwie do tradycyjnych zasobów, np. węgla. Nie ma również problemu z utylizacją popiołu, ponieważ może on zastać spożytkowany jako nawóz. A zatem jest to paliwo wydajne, bowiem 2 tony suchej biomasy (np. drewna, słomy) są równoważne energetycznie 1 tonie węgla kamiennego, a 1 m³ biogazu równoważy energetycznie 1 kg węgla. Poza tym w porównaniu z węglem, który ma na ogół parametry 25/22/08 (25 MJ/KG ciepło spalania, 22% popiołu, 0,8% siarki), biomasa roślinna (drewno lub słoma) o charakterystyce 13/3/0,3 znamionuje zasadność jej stosowania. Biomasa składająca się głównie z atomów węgla i wodoru, jest łatwa do przetworzenia na paliwa ciekłe i gazowe w wyniku procesu fermentacji, gazyfikacji, suchej destylacji i pirolizy, czyli rozkładu cieplnego. Drogę uzyskiwania energii jest zatem wiele, ale jej ilość zawarta w określonej jednostce suchej masy pozostaje stała. Określa się ją terminem **wartość opałowa**. Wartości opałowe dla wybranych paliw stałych w MJ/kg przedstawia tabela 5.

Należy podkreślić, że biomasa jest bardzo tanim źródłem energii cieplnej, gdyż koszt wyprodukowania 1 GJ energii z wierzby energetycznej wynosi 19 zł, podczas gdy z węgla około 33 zł, oleju opałowego — 50 zł, a gazu ziemnego — 34 zł.

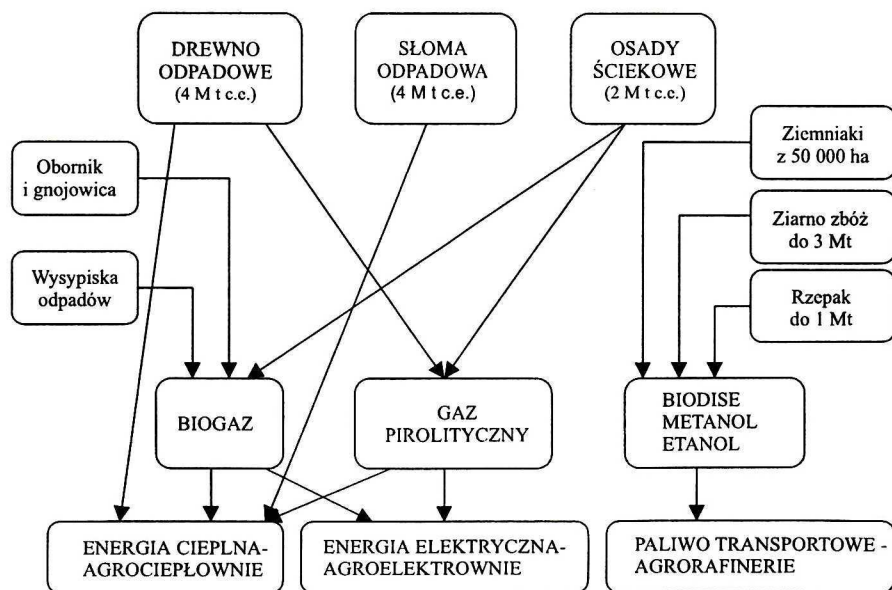
TABELA 5. Wartość opałowa

TABLE 5. Calorific value

Paliwo	Wartość kaloryczna	Koszt jednostki ciepła przy zakupie paliwa	
	GJ/t lub GJ/1000 m ³	zł/t lub zł/1000 m ³	zł/GJ
Olej opałowy	43,0	1 490, 00	34,65
Gaz ziemny GZ50	38,0	1 003,00	26,39
Węgiel kamienny	26,0	392,78	15,71
Miał węglowy	21,0	229,60	10,93
Zrębki zielonego węgla® Wierzba krzewiasta <i>Salix Viminalis</i> (sucha masa s.m.)	19,36	160,00	8,26

Źródło: Strona internetowa — <http://www.jcro.pl>

Biomasę można więc pozyskiwać z rolnictwa (słoma, biogaz z gnojowicy, estry oleju rzepakowego, alkohol), z leśnictwa i drzewiarstwa (drewno opałowe), z gospodarki komunalnej (makulatura, biogaz z wysypisk lub z oczyszczalni ścieków) albo z przemysłu (odpady przemysłu celulozowo-papierniczego, przemysłu tekstylnego, spożywczego itd.). Zastosowanie biomasy przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Surowce energetyczne oraz produkty rynkowe z biomasy

Źródło: Kowalik 2002a

Fig. 3. Energetic raw materials and market products from the biomass

4. Techniki pozyskiwania energii na drodze doboru odpowiednich sortymentów biomasy z uwzględnieniem sposobów ich pozyskiwania i przetwarzania

4.1. Biomasa słomy

4.1.1. Słoma źródłem energii cieplnej

Słoma w rolnictwie ma wielorakie zastosowanie. Może stanowić ściółkę dla zwierząt, dodatek do pasz lub zaorana może wzbogacać gleby w próchnicę. Mimo tak różnorodnego przeznaczenia, jej potencjał nie jest w pełni wykorzystywany, bowiem z roku na rok obserwuje się znaczną nadprodukcję, którą można efektywnie wykorzystać na cele energetyczne.

Słoma przeznaczona na cele energetyczne wchodzi w skład grupy paliw odnawialnych, tzw. biopaliw. Stanowi wartościowy nośnik energii, jej wartość opałowa jest znaczna i wynosi około 18,7 MJ/kg suchej masy (węgiel kamienny — 32 MJ/kg). Przy spalaniu słomy nie wytwarza się więcej CO₂ aniżeli pobiera go zboże z atmosfery w okresie swej wegetacji. Innymi słowy, przy spalaniu słomy ilość oddanego do atmosfery CO₂ bilansuje się z jego asymilacją przez zboże w następnym roku wegetacji (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...). Słoma jako surowiec energetyczny musi spełniać określone wymagania dotyczące wilgotności oraz tzw. stopnia uwiądu. Stopień uwiądu świadczy o tym, jak długo słoma była pozostawiona na polu po żniwach oraz o wielkości opadów podczas tego okresu. W trakcie procesu wędnięcia kolor słomy zmienia się z żółtego na szary, dlatego w odrębnych kryteriach jakości słomy klasyfikuje się „słomę żółtą” i „słomę szarą”. Zestawienie parametrów słomy żółtej i szarej jako paliwa przedstawia tabela 6.

TABELA 6. Zestawienie parametrów słomy żółtej i szarej jako paliwa

TABLE 6. Juxtaposed parameters of yellow and gray straw (as fuel)

Parametr	Jednostka	Słoma żółta	Słoma szara
Zawartość wody	% wag.	15	15
Zawartość popiołu	% wag.	4	3
Zawartość węgla	% wag.	42	43
Zawartość tlenu	% wag.	37	38
Zawartość wodoru	% wag.	5,0	5,2
Zawartość chloru	% wag.	0,75	0,20
Zawartość azotu	% wag.	0,35	0,41
Zawartość siarki	% wag.	0,16	0,13
Części lotne	% wag.	70	73
Rzeczywista wartość opałowa (Ri)	MJ/kg	14,4	15
Wartość opałowa paliwa bez wody i popiołu	MJ/kg	18,2	18,7

Źródło: Strona internetowa — <http://www.kape.gov.pl/...>

Drugim istotnym parametrem jest wilgotność. Dopuszczalna wartość wilgotności musi zawierać się w przedziale od 10 do 22%, przy czym maksymalna zawartość wilgoci w słomie nie powinna przekroczyć przedziału 18—22%. Wysoka wilgotność może stwarzać problemy związane z magazynowaniem, transportem i zadawaniem do kotła. Wartość opałowa słomy przy standardowej wilgotności nieprzekraczającej 15% wynosi od 14,0 do 15,2 GJ/t. Wielkość produkcji słomy może być obliczona jako stosunek ziarna, czyli produktu podstawowego, do produktu ubocznego — czyli słomy (tab. 7).

TABELA 7. Stosunek masowy ziarna do słomy wybranych rodzajów zbóż

TABLE 7. Seed/straw mass ratio for selected grains

Rodzaj zboża	Ziarno— produkt główny	Słoma — produkt uboczny
Pszenica	1	1,3
Żyto	1	1,6
Owies	1	1,3
Jęczmień	1	1,2

Źródło: zestawienie własne na podstawie Lewandowski 2001—2002

Średnia roczna produkcja słomy zbóż w Polsce znajduje się w przedziale od 28 000 do 30 000 tys. ton. Skład i wartości opałowe słomy podano w tabeli 8.

TABELA 8. Skład i wartości opałowe słomy

TABLE 8. Composition and calorific value of straw

Rodzaj słomy	Zawartość popiołu [%]	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	S [%]	H ₂ O [%]	Wartość opałowa słomy suchej [MJ/kg]	Wartość opałowa słomy świeżej [MJ/kg]
Pszenica	6,53	48,53	5,3	39,08	0,28	0,05	12—22	17,3	12,9—14,9
Jęczmień	4,3	45,67	6,5	38,26	0,43	0,11	12—22	16,1	12,0—13,9
Kukurydza	5,77	47,09	5,4	39,79	0,81	0,12	50—70	16,8	3,3—7,2

Źródło: Lewandowski 2001—2002

Najbardziej szkodliwa przy spalaniu różnych nośników energii jest zawartość w spalinach tlenków siarki i azotu (SO₂ oraz NO, NO₂ i NO₃). Słoma zawiera tylko śladowe ilości siarki organicznej, zaledwie 0,13—0,16% wag. (węgiel kamienny — 1,5% wag.), natomiast tlenków azotu 0,35—0,41% wag., czyli 1/3 tego co zawiera węgiel kamienny (1,0% wag.) (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...). A zatem słoma jest paliwem ekologicznym.

Istotne znaczenie ma również popiół pochodzący ze spalania słomy, który zawiera znaczne ilości tlenków wapnia i potasu i dlatego może być z powodzeniem wykorzystywany jako roślinny nawóz mineralny (potasowo-wapienny).

Technologię przetwarzania słomy na cele energetyczne można podzielić na trzy główne etapy:

- 1) otrzymywanie surowca energetycznego,
- 2) przygotowanie do spalania,
- 3) spalanie.

4.1.2. Otrzymywanie surowca energetycznego oraz przygotowanie do spalania

4.1.2.1. Zbiór

Podczas żniw kombajn pozostawia słomę jako pokos, po czym jest ona zbierana i prasowana w bele lub baloty. Wyróżnia się cztery typy bel, tj. bele małe (baloty), średnie, okrągłe duże oraz tzw. bele Hesstona.

Małe bele (baloty) powstają podczas zbioru słomy powszechnie stosowaną prasą zbierającą wysokiego stopnia zgniotu. Ze względu na małą wydajność prasy oraz dużą liczbę bel na 1 ha sukcesywnie odchodzi się od tej metody. Baloty mają wymiary prostopadłościanu i masę około 10—15 kg. Są używane jako ściółka dla zwierząt w małych i średnich gospodarstwach. Mogą być stosowane jako paliwo, jednak ze względów ekonomicznych powinny być stosowane tylko do najmniejszych kotłów o mocy do 30 kW, przystosowanych do spalania słomy, ogrzewających pojedyncze budynki inwentarskie lub mieszkalne. Podstawową wadą tych bel jest mały stopień zmechanizowania zbioru, transportu i składowania oraz duża ilość sznurka potrzebnego przy prasowaniu słomy. Zaletą jest możliwość ręcznego załadunku słomy do pieca, brak konieczności zapewnienia dużych placów manewrowych przed piecem i dojazdu z poziomu terenu, łatwość formowania stert magazynowych i powszechność występowania pras zbierających.

Bele średnie o wymiarach 0,8/0,8/1,7 m i masie około 150 kg. Stosowane zwykle jako pasza i ściółka dla zwierząt. Znajdują również zastosowanie dla średnich gospodarstw i pojedynczych bloków mieszkalnych ogrzewanych kotłami o mocy od 35 do 99 KW, w których średnica wewnętrzna komory spalania wynosi 900 lub 1300 mm.

Bele okrągłe duże o szerokości 1,2 m, średnicy 1,5 m, masie w granicach 200—300 kg. Dla potrzeb grzewczych są to obecnie największe bele wykorzystywane do spalania w kotłach okresowych — pracujących cyklicznie. Zaletą takiej formy podawania paliwa są: niskie nakłady na zbiór słomy, niewielkie koszty inwestycyjne, niewielka podatność słomy na wtórne zawilgocenie podczas składowania, łatwy załadunek beli do pieca za pomocą ciągnika wyposażonego w podnośnik widłowy, stosunkowo długi okres spalania jednej porcji paliwa trwający do 4 godzin oraz powszechność występowania w Polsce pras zwijających. Do wad należy zaliczyć: duże powierzchnie placów składowych, podatność na zamakanie wierzchniej warstwy, do około 2 cm, w przypadku składowania w stertach nieprzykrywalnych.

Bele Hesstona są to bele prostokątne o wymiarach 1,2/1,3/2,4 m i masie około 450 kg. Wymagają specjalistycznych pras zbierających i w zasadzie są wykorzystywane wyłącznie

w ciepłowniach opalanych słomą, w których występują piece o stałej wydajności. Wysoki stopień zgniotu słomy i wymiary prostopadłościanu pozwalają na składowanie słomy w wysokich stertach dochodzących do kilkunastu metrów, co znacznie ogranicza powierzchnie magazynowe. W ciepłowniach stosuje się podawanie w sposób ciągły słomy do kotła. Koszty dodatkowe zakupu specjalistycznego sprzętu do zbierania i transportu beli są rekompensowane przez wysoką automatyzację procesów podawania i spalania słomy (Strona internetowa: www.kape.gov.pl/...).

Słoma postaci luźnej jest zbierana za pomocą przyczep samozbierających.

4.1.2.2. Transport słomy

Z punktu widzenia opłacalności stosowania słomy jako paliwa zasadne wydaje się pozyskiwanie lub składowanie słomy w odległości nie większej niż 60—80 km od miejsca, w którym zlokalizowana jest kotłownia. Na niewielkich odcinkach słomę można transportować przy użyciu ciągnika, wraz ze wzrostem odległości pojawiają się większe koszty związane z transportem samochodowym. Jeżeli odległość miejsca zbioru od kotłowni przekracza 100 km, wybór słomy jako paliwa może się okazać ekonomicznie nieuzasadniony.

4.1.2.3. Składowanie

Słoma jest zazwyczaj transportowana do miejsca składowania natychmiast po belowaniu. Różne metody składowania słomy mają wpływ na jakość słomy i jej wilgotność oraz na koszty składowania. Składowanie słomy może odbywać się w stodołach, stogach i stertach. Składowanie małych balotów w stogach powoduje niewielki wzrost zawilgocenia wierzchnich warstw stogu. Przykrycie od góry stogu folią lub brezentem powinno zapewnić możliwość wykorzystania całej słomy na potrzeby grzewcze. Trudniejsza sytuacja występuje w przypadku bel zwijanych. Ze względów technicznych nie można układać stert wyższych niż 3 warstwy. Przykrycie stert wymaga dużych ilości folii lub brezentu. Rozwiązaniem zabezpieczającym słomę przed wilgocią w belach zwijanych jest foliowanie beli. Podraża to niestety koszty pozyskania słomy i wprowadza konieczność zdejmowania folii przed wprowadzeniem beli do pieca (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...).

4.1.3. Spalanie słomy

Słoma, wbrew pozorom, jest paliwem trudnym do tzw. „czystego” spalania. Jest niewygodna do transportowania, ładowania do paleniska, ze względu na brak spistości, posiada zazwyczaj stosunkowo wysoką wilgotność oraz dużą objętość w porównaniu z takimi paliwami, jak węgiel czy koks (Strona internetowa — www.metalerg.pl/...). Objętość słomy jest około 10—20 razy większa niż objętość węgla. 70% palnych części słomy znajduje się w odgazach emitowanych podczas spalania. Są to tak zwane części lotne. Tak duża ilość

lotnych gazów powoduje specjalne wymagania w zakresie dystrybucji i mieszania powietrza oraz w zakresie konstrukcji palnika i komory spalania. Słoma zawiera wiele składników chlorowych, które mogą powodować korozję. Temperatury topnienia i mięknięcia popiołu ze słomy są stosunkowo niskie ze względu na dużą zawartość metali alkalicznych. W wyniku tego mogą występować kłopoty ze szlaką na powierzchniach o niskich temperaturach (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...).

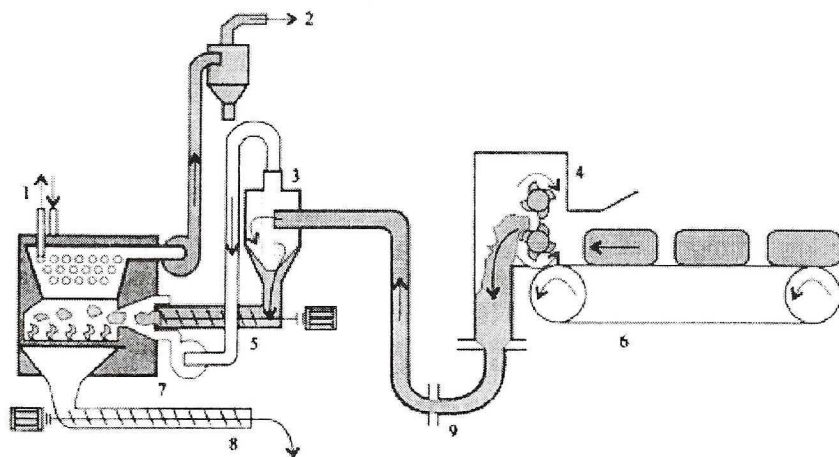
Pod względem technologii spalania słomy można wyróżnić trzy podstawowe typy kotłowni:

- ❖ kotły opalane okresowo (wsadowo),
- ❖ kotły do ciągłego zasilania całymi belami (efekt cygara),
- ❖ kotły opalane słomą rozdrobnią.

Kotły opalane okresowo (wsadowo)

Nowoczesne kotły, w zależności od mocy, przystosowane są do załadunku nawet do 1000 kg słomy jednorazowo i pozwalają uzyskać średnią moc do 500 KW. Załadunek paliwa odbywa się ręcznie dla najmniejszych kotłów, a za pomocą ciągnika rolniczego wyposażonego w chwytak lub widły dla większych kotłów. W celu zapewnienia prawidłowego spalania i zminimalizowania emisji cząstek stałych ze strumienia gazów spalinowych, prędkość nadmuchiwanego powietrza może być regulowana zarówno w zakresie ilości, jak i skierowania w najbardziej optymalne miejsce poprzez system dysz nadmuchowych. Dla uzyskania równomiernej dostawy czynnika grzewczego kotłownie tego typu wyposaża się w duże zbiorniki kumulacyjne o łącznej pojemności nawet do 100 m³. Pozwala to na zapewnienie ciągłości ogrzewania w fazie dopalania wsadu, usuwania popiołu i załadunku nowej porcji paliwa. Innym stosowanym rozwiązaniem jest instalacja dwóch kotłów pracujących naprzemiennie w taki sposób, aby łączna moc kotłowni była zbliżona do maksymalnej pojedynczego kotła (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...). Przykładem zastosowania takiego kotła jest kotłownia w gminie Zielonki w województwie elbląskim. Schemat pracy ciepłowni obrazuje rysunek 4.

Baloty słomy formowane są na polu przez zestaw specjalistycznych maszyn (prasa balotująca, traktor, ładowarka słomy). Ciepłownia używa słomy z rzepaku, żyta, pszenicy i owsa o wartości kalorycznej około 15 MJ/kg. Rozmiar balotu jest równy $2 \times 1,2 \times 0,85$ m a średnia waga balotu wynosi około 250 kg. Waga balotu zależy od rodzaju gleby, zboża, wilgotności słomy itd. Słoma może być spalana w kotle, jeżeli jej maksymalna wilgotność nie jest większa niż 18%. Baloty transportowane są z pola do magazynu ciepłowni i układane w magazynie na stole dozującym o długości 15 m, skąd są automatycznie podawane za pomocą przenośnika pneumatycznego do szarpacza słomy. Następnie rozdrobniona i jednorodna słoma transportowana jest systemem rur za pomocą podciśnienia wytworzonego w cyklonie. Z cyklonu słoma transportowana jest do kotła przez przenośnik ślimakowy. Proces spalania podzielony jest na dwie fazy. Początkowo słoma zgazowana jest w przedpalenisku, a następnie wyprodukowany gaz palny spalany jest w palenisku kotła. Wydajność obydwu kotłów wynosi 92%. Kotły produkują ciepło dla ponad 200 mieszkań. Całkowita



Rys. 4. Schemat ciepłowni opalanej słomą

1 — osiedlowa sieć ciepłownicza, 2 — spaliny do kominy, 3 — cyklon, 4 — szarpacz słomy, 5 — przenośnik słomy, 6 — transporter balotów, 7 — wentylator, 8 — przenośnik popiołu, 9 — transporter pneumatyczny
Źródło: Lewandowski 2001—2002

Fig. 4. Diagram of straw-fired heat-generating plant

moc grzewcza ciepłowni wynosi 1 MW. Temperatura podgrzewanej wody jest kontrolowana przez programowany sterownik i zależna od pogody.

Doświadczenia eksploatacyjne

Podczas sezonu grzewczego ciepłownia zużywa 2—3 tony (8—12 balotów) słomy na dzień. W 1996 roku AWRSP nabył 4400 balotów słomy z 310 ha. Na następny rok zakontraktowano słomę z 550 ha. Ciepłownia w Zielonkach ma nadwyżki ciepła i AWRSP planuje powiększenie sieci ciepłowniczej i budowę sieci ciepłej wody. Umożliwi to wzrost produkcji i dostaw ciepła (Strona internetowa — [www.mops.uci.agh.edu.pl/...](http://www.mops.uci.agh.edu.pl/)).

Kotły do ciągłego zasilania całymi belami (efekt cygara)

W przypadku występowania większego zapotrzebowania na energię cieplną, tj. 1—4 MW, można zastosować kotły do ciągłego spalania całych bel. Bele są podawane do kotła niekończącym się szeregiem i spalane są w kierunku od przodu do tyłu. Dźwignica umieszcza bele w skrzyni zasilającej, z której tłok hydrauliczny wypycha je do tunelu zasilającego. Z niego przenośniki transportują belę w stronę palnika w ścianie kotła. W palniku emitowane są gazy lotne, które są następnie spalane przy zastosowaniu dużej ilości dysz powietrza wtórnego. Beła jest popychana w sposób ciągły do przodu, a niespalona słoma i popiół spadają na chłodzony wodą ruszt. Sterowanie procesem spalania odbywa się poprzez regulację szybkości przesuwu paliwa i regulację ilości doprowadzanego powietrza. Problemem występującym w tego typu kotłowniach jest konieczność stosowania dodatkowych zabezpieczeń, które uniemożliwiają wydostanie się płomienia poza obręb komory spalania, co podnosi koszty budowy tego typu kotłowni (Strona internetowa — [www.kape.gov.pl/...](http://www.kape.gov.pl/)). W Polsce nie mają większego zastosowania.

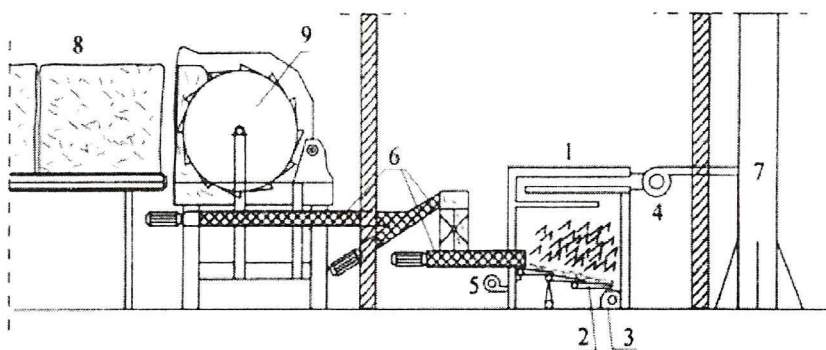
Obecnie dużą popularnością cieszą się kotły wsadowe o działaniu cyklicznym oraz kotły na słomę rozdrabnianą w ruchu ciągłym (Bednarz, Teliga 2002).

Kotły opalane słomą rozdrobnioną

Dla kotłowni o mocach powyżej 0,5 MW zostały opracowane technologie spalania słomy, która jest podawana do kotła w sposób ciągły. Obecnie jest to najbardziej rozpowszechniony typ kotłowni stosowany dla większych kotłowni i ciepłowni w Danii. Ogólna zasada działania polega na dostarczaniu do kotłowni słomy, w postaci prasowanych beli, a następnie rozcinaniu i usuwaniu sznurków wiążących i poddawaniu słomy wtórnemu rozdrobnieniu do stanu, w którym występowała przed sprasowaniem. Słoma w zależności od sposobu może być cięta lub rozdzierana. W rozdzielaczu słomy poruszające się stalowe zęby wyszarpują poszczególne źdźbła słomy, przywracając ją do stanu sprzed belowania. Ze względu na wolną prędkość obrotową tego typu urządzeń, wynoszącą do ok. 30 obr/min., nie występuje niebezpieczeństwo zaiskrzenia, a także ulega zmniejszeniu ilość zużywanej energii elektrycznej. Rozdrobniona słoma lub granulat jest podawana do zasobnika, z którego wprowadzana jest do kotła za pomocą podajnika ślimakowego lub tłoka. Wszystkie układy zasilające posiadają śluzy bezpieczeństwa, których zadaniem jest zapobieganie zapłonowi słomy oczekującej na podawanie. W kotłach tego typu słoma wprowadzana jest do dolnej części kotła, w której znajduje się silny, żeliwny ruszt. Ruszt jest zazwyczaj podzielony na kilka stref spalania z oddzielnymi dmuchawami dostarczającymi powietrze poprzez ruszt. Spalanie w każdej strefie może być indywidualnie sterowane, dzięki czemu można uzyskać zadowalający przebieg spalania słomy. Ruszt może także poruszać się do tyłu i do przodu, w wyniku czego paląca się słoma jest przesuwana poprzez kocioł w kierunku odprowadzania popiołu. Większość energii zawartej w słomie stanowią gazy lotne (ok. 70%), które są uwalniane podczas podgrzewania i spalają się w komorze spalania ponad rusztem. W celu zapewnienia powietrza opałowego dla gazów, poprzez dysze w strategicznych punktach ściany kotła wprowadzane jest powietrze wtórne. Następnie gazy spalinowe są odprowadzane do sekcji konwekcyjnej kotła, w której większość ciepła jest oddawana poprzez ściankę kotła do cyrkulującej wody kotłowej. Schemat kotłowni opalanej słomą rozdrobnioną przedstawia rysunek 5.

W celu optymalnego spalania słomy niezbędna jest temperatura w granicach 850—1100°C. Kotłownie tego typu gwarantują utrzymanie stałej wysokiej wydajności i mogą być stosowane jako kotłownie osiedlowe i ciepłownie rejonowe. Zaletą przyjętych rozwiązań jest możliwość wysokiej automatyzacji wszystkich procesów w kotłowni i ograniczenie udziału pracy ludzkiej do niezbędnego minimum, wadą — duże koszty inwestycyjne (Strona internetowa — [www.kape.gov.pl/...](http://www.kape.gov.pl/)). Sprawność kotła ulega znacznemu zmniejszeniu, podczas spalania słomy mokrej.

Obecnie podejmowane są próby brykietowania i peletyzacji słomy, jednakże nie w skali komercyjnej. Z punktu widzenia istniejących obiektów energetycznych w Polsce, najkorzystniejsza wydaje się forma biomasy przypominająca węgiel klasy „groszek” lub „orzech”, sucha, zwięzła bez zawartości frakcji pylastej, łatwa w transporcie, przechowywaniu i spa-



Rys. 5. Kotłownia opalana słomą ciętą REKA A/S

1 — kocioł, 2 — ruszt, 3 — popielnik, 4 — wentylator wyciągu, 5 — wentylator poddmuchu, 6 — przenośniki śrubowe, 7 — komin, 8 — magazyn słomy, 9 — sieczkarnia

Źródło: Soliński 2001

Fig. 5. Cut straw-fired boiler house REKA A/S

laniu, najlepiej w postaci minibrykietów zwanych peletami, składająca się z elementów o kształcie cylindrycznym o średnicy 0,5 cm i długości 2—3 cm. Produkcja w znacznym uproszczeniu polega na poddaniu dowolnej biomasy trzem kolejnym procesom, tj. suszeniu, mieleniu i prasowaniu. Suszenie powinno być dostosowane do surowca, mielenie następuje w młynie kulkowym, w efekcie powstaje biomasa w proszku. Prasowanie odbywa się w przeznaczonym do niego urządzeniu rotacyjnym. Peletyzacja słomy w Polsce na dzień dzisiejszy znajduje się w fazie wprowadzania (Kowalik 2002b).

Słoma, ze względu na duże jej rozproszenie, najlepiej nadaje się do wykorzystania w indywidualnych gospodarstwach rolniczych. Już z 2,5 ha użytków uzyskuje się około 200 ton słomy. Taką ilością można pokryć potrzeby grzewcze średniego domu przez 4 miesiące. Z tych danych wynika, że gospodarstwo o powierzchni zasiewów wynoszącej kilkanaście hektarów może z powodzeniem pokryć słomą roczne zapotrzebowanie na paliwo. Kotły na słomę przystosowane do potrzeb pojedynczych gospodarstw posiadają moc do 50 kW i zwykle spalają paliwo uformowane w bele (tzw. baloty). Cały proces jest zautomatyzowany, regulacja nawiewu powietrza i przesuwu balotów decyduje o wysokiej sprawności grzewczej instalacji. W lokalnych sieciach ciepłowniczych kotły posiadają moc rzędu kilkuset kilowatów i opalane są słomą w balotach lub w postaci rozdrobnionej. Po przeprowadzeniu odpowiednich modernizacji możliwe jest także opalanie słomą tradycyjnych kotłów węglowych pracujących w lokalnych kotłowniach, które zaopatrują np. osiedla mieszkaniowe (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...).

4.1.4. Emisja substancji i gazów oraz odpady stałe powstające po spalaniu słomy

Podczas spalania słomy, w miejsce innych paliw, uzyskujemy poważne korzyści polegające na znaczącym zmniejszeniu ilości emisji substancji uznanych za szczególnie szko-

dliwe dla środowiska. Emisja związków siarki może zostać zmniejszona z około 580 g/GJ występujących przy zastosowaniu węgla i 500 g/GJ w przypadku oleju opałowego do około 130 g/GJ, co jest porównywalne z wynikami uzyskiwanymi przy użyciu lekkich olejów napędowych (90 g/GJ).

Emisja związków azotu również ulega znacznej redukcji z wielkości około 200 g/GJ w przypadku użycia węgla do 130 g/GJ w przypadku użycia słomy. Największe ograniczenie emisji następuje w przypadku bilansowania ilości emisji dwutlenku węgla odpowiedzialnego za powstawanie efektu cieplarnianego. Emisja CO₂ podczas spalania odpowiada ilości CO₂ otrzymywanej podczas naturalnego rozkładu słomy. Z tego względu słoma jest uważana za czynnik obojętny ze względu na dwutlenek węgla. Pewne problemy występują z emisją cząstek stałych, szczególnie w małych kotłowniach, jednakże ze względu na skład chemiczny pyłów składających się w głównej mierze z soli rozpuszczalnych w wodzie, pyły nie stanowią zagrożenia dla środowiska.

Ilość popiołu powstająca ze spalania słomy wynosi wagowo około 4% masy słomy. Przy wykorzystaniu kotłów okresowych popiół jest usuwany na bieżąco, ręcznie po wygaśnięciu ognia, przed załadunkiem kolejnej porcji słomy. Pewne problemy powstają w sytuacji, gdy popiół ulegnie stopnieniu i powstanie szlaka. Twarde bryłki szlaki są bardzo trudne do kruszenia, a tym samym do usuwania z kotła. Popiół pozostający po spaleniu słomy zawiera składniki nawozowe, głównie potas, i może być używany jako nawóz. Obecnie prowadzone są w Polsce badania nad opracowaniem nawozów, w których głównym składnikiem będzie popiół powstający ze spalania słomy (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...).

4.2. Biomasa drewna

4.2.1. Skład chemiczny drewna

Drewno zalicza się do odnawialnych źródeł energii o tzw. zerowym efekcie emisji CO₂, który emitowany do atmosfery w procesie spalania drewna jest asymilowany przez następne pokolenie drzew (Soliński 2001).

Pojęcie drewno energetyczne obejmuje wszystkie paliwa bioenergetyczne uzyskiwane bezpośrednio i pośrednio z lasów w formie drewna, kory, igieł i liści, niepoddanych obróbce chemicznej, jak również np. z rozbiórki domów lub z odpadów budowlanych. Drewno energetyczne, ze względu na źródło pochodzenia, dzieli się na:

- ✧ leśne drewno energetyczne, które stanowi drewno niewykorzystane wcześniej. W tej kategorii zawiera się biomasa z odpadów po wycince oraz pni, a także odpady i produkty uboczne przemysłu leśnego, jak kora, trociny i wióry;
- ✧ drewno energetyczne z odzysku, które odnosi się do drewna wcześniej użytego np. w charakterze opakowania, szalunku formierskiego lub materiału budowlanego (drewno z rozbiórki domów).

Drewno energetyczne składa się z:

- ✧ materiału palnego zawierającego:
 - ✧ o węgiel (50—52%),
 - ✧ o wodór (6—6,5%),
 - ✧ o tlen (40—44%),
 - ✧ o azot (ok. 0,2%),
 - ✧ o siarkę (ok. 0,1%);
- ✧ wody o udziale objętościowym 20—60%, która wpływa istotnie na wartość opałową paliwa;
- ✧ popiołu (wapń, magnez i potas): około 0,5%.

Cechą charakterystyczną paliw drewnopochodnych jest wysoka zawartość składników lotnych. Około 80% suchej masy odparowuje podczas suchej destylacji (ogrzewania), a tylko 20% masy drewna zbudowane jest z nielotnych związków węgla, które ulegają spalaniu na ruszcie, podczas gdy większość składników lotnych spala się nad rusztem. Stąd efektywne spalanie tego typu paliw wymaga specjalnych technik i kotłów.

Różnica wartości opałowej drewna różnych gatunków drzew jest niewielka. Również udział różnych składników w paliwie (kora, trociny, gałęzie itd.) nie mają wyraźnego wpływu na wartość opałową.

Suche drewno ma największą wartość opałową. Przy zerowej wilgotności przyjmuje się, że wartość opałowa paliwa drzewnego wynosi 19,2 GJ na tonę suchej masy (t s.m.), czyli 5,3 MW·h/t s.m. Wartość opałowa zmniejsza się wraz ze wzrostem zawartości wody (Strona internetowa — www.kape.gov.pl.... — Programy Unii Europejskiej).

4.2.2. Otrzymywanie surowca energetycznego oraz przygotowanie do procesu spalania

Do produkcji energii może być wykorzystane drewno odpadowe z sadów i zieleni miejskiej (ok. 20 mln m³ rocznie) oraz odpady przemysłu drzewnego (ok. 2—3 mln m³ rocznie). Zasoby drewna dla celów energetycznych można też powiększyć o 3 mln m³ odpadów z recyklingu (połamane opakowania, palety itp.), jednak ich wykorzystanie dla celów energetycznych może być utrudnione ze względu na ich rozproszenie, niejednorodność, zanieczyszczenie związkami chemicznymi i metalami ciężkimi (Strona internetowa — www.emanager.pl/...). Wykaz zasobów biomasy drewna przedstawia tabela 9.

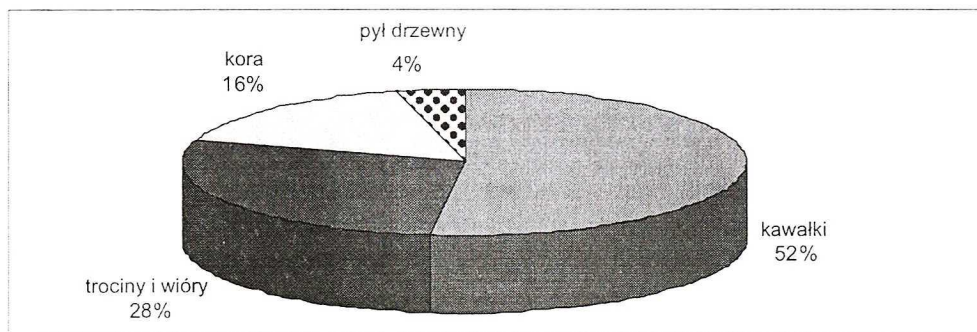
Jak widać z zestawienia, drewno i jego pochodne mają zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki, począwszy od bezpośredniego wykorzystania surowego produktu w procesach grzewczych poprzez eksploatację na materiały i wyroby gotowe w odpowiednich procesach przemysłowych w celu zaspokojenia preferencji konsumenta indywidualnego, jak i odbiorców zbiorowych. W związku z powyższym wszelkim procesom związanym z przetwarzaniem drewna towarzyszy pojawianie się odpadów, które oczywiście powinny

Tabela 9. Zasoby biomasy drewna
TABLE 9. Wood – derived biomass resources

BIOMASA DREWNA		
produkty rolnicze	produkty leśne	odpady drzewne z przemysłu
Gałęzie z przecinek sadów	drzewa i gałęzie z przecinek i cięcie sanitarnych lasów	kawałki, trociny i wióry, kora, pył drzewny
Drewno z plantacji energetycznych: wierzba krzewiasta, ślázowiec pensylwański, trawy wieloletnie,	gałęzie z cięcie produkcyjnych	odpady z drewna litego oraz z materiałów drewnopochodnych: płyt wiórowych, pilśniowych, sklejek
	odpady z przemysłu drzewnego: kora, trociny, wióry, pył	
	plantacje lasów energetycznych liściastych (grubizna do budowy domów jednorodzinnych), czuby i gałęzie pocięte na łupki do spalania w piecach grzewczych o mocy cieplnej do 200 kW,	produkty wtórne z przemysłu: opakowania, drewniane skrzynki, ścieki ligninowe, makulatura
	drewno z przecinek zieleni miejskiej	

Źródło: opracowanie własne

zostać zagospodarowane w odpowiedni sposób. Strukturę drzewnych odpadów przemysłowych przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Struktura drzewnych odpadów przemysłowych
Źródło: Szostak, Ratajczak 2003

Fig. 6. Structure of industrial wood waste

Z szacunków wynika, iż w zakładach przemysłowych przerabiających drewno powstaje około 7,5 mln m³ drzewnych odpadów przemysłowych, co stanowi 27% całego pozyskania surowca drzewnego. Jest to znacząca baza surowcowa dla celów zarówno przemysłowych, jak i energetycznych.

Miejszem powstawania największej ilości drzewnych odpadów przemysłowych jest przemysł tartaczny. Udział tego przemysłu w podaży odpadów drzewnych wynosi 63%. W grupie odpadów tartacznych przeważają odpady kawałkowe oraz trociny i kora. Kolejną grupę odpadów w wysokości podaży 14% stanowi przemysł meblarski (są to elementy z tworzyw drzewnych, drewna litego, pył drzewny oraz trociny i wióry). Z przemysłu płyt drewnopochodnych powstaje 13% odpadów, m.in. odpady kawałkowe lite, z tworzyw drzewnych, a także wióry, pył drzewny i kora. Odpady z przemysłu celulozowego stanowią ponad 8% całkowitej ilości odpadów (głównie kora). Ostatnią grupę stanowią odpady ze stolarki budowlanej stanowiące nie więcej niż 2% ogólnej podaży odpadów drewna z przemysłu w postaci trocin i wiórów oraz kawałkowych odpadów litych (Szostak, Ratajczak 2003).

Znaczna część, tj. około 87% powyżej wymienionych odpadów drzewnych, jest odpowiednio zagospodarowana, tj. eksportowana, wykorzystywana przez przemysł do produkcji płyt drewnopochodnych bądź w celach energetycznych. Może również stanowić bazę zasobową dla rolnictwa i ogrodnictwa lub służyć drobnym wytwórcom galanterii drewna jako materiał do przerobu.

Niezauważaną obecnie w Polsce bazą surowcową, której zasoby wzrastają w miarę rozwoju gospodarki są drzewne odpady użytkowe. Utracony zostaje surowiec drzewny pochodzący ze zużytych okien, drzwi, skrzyń, palet, mebli, drewna porozbiórkowego, szalunkowego itd. (Szostak, Ratajczak 2003), który mógłby zasilić bazę zasobową drewna z przeznaczeniem na cele energetyczne.

Rośnie natomiast zainteresowanie produkcją bioenergii na bazie drewna pozyskanego z plantacji energetycznych. Obecnie można zaobserwować rosnące zainteresowanie roślinami charakteryzującymi się szybkim tempem wzrostu oraz łatwością przyswajania składników odżywczych z gleby. Do roślin energetycznych rosnących w Europie można zaliczyć m.in. szybko rosnące drzewa, tj. wierzbę wiciową (*Salix viminalis*), Topolę (*Populus*). Własności roślin energetycznych i metody ich pozyskania zostaną omówione w podrozdziale 4.3.

4.2.3. Konwersja biomasy drewna na energię elektryczną i ciepło

W zależności od formy występowania i metody pozyskiwania drewno dzieli się na nieprzerobione i przerobione.

Nieprzerobione drewno energetyczne dzieli się na:

- ✧ drewno opałowe,
- ✧ paliwo rozgniātane, tj. kora, igły lub liście rozdrobnione w zgniataczu rolkowym lub młynie bijakowym,
- ✧ paliwo rozbijane,
- ✧ zrębki paliwowe uzyskiwane z drewna poddanego rozdrobnieniu narzędziami nożowymi (rębakami) na kawałki o rozmiarach od 5 do 50 mm. Ten rodzaj drewna jest najbardziej przydatny do spalania.

Przerobione drewno energetyczne dzieli się na:

- ✧ trociny — produkt odpadowy powstający podczas piłowania. Rozmiar cząstek zawiera się między 1 i 5 mm;
- ✧ brykiety — wytwarzane przez sprasowanie rozdrobnionego drewna energetycznego. Rozdrabnianie może odbywać się metodą mielenia, skrawania lub podobną. Po rozdrobnieniu następuje prasowanie materiału, najczęściej w prasie tłokowej. Uzyskane brykiety mają kształt cylindryczny lub prostopadłościenny i rozmiary przekraczające 25 mm;
- ✧ granulki są wytwarzane podobnie jak brykiety przez sprasowanie dokładnie rozdrobnionego materiału. Granulki, produkowane z użyciem prasy matrycowej, mają zwykle kształt cylindryczny i średnice mniejsze niż 25 mm. Często w procesie ich produkcji jednocześnie prowadzi się dosuszanie;
- ✧ pył drzewny — powstaje z wysuszonego materiału surowego poddanego mieleniu na cząstki o rozmiarach mniejszych niż 1 mm (Strona internetowa — www.kape.gov.pl/...../Programy_Unii_Europejskiej/...).

Wykorzystanie drewna jako opału ma w Polsce długą tradycję. Natomiast technologie jego spalania dopiero od niedawna zapewniają efektywne użytkowanie energii zawartej w drewnie i ograniczają emisje pyłów i gazów w procesie spalania. Liczbę takich nowoczesnych instalacji szacuje się na około 40 (kotłownie przemysłowe i osiedlowe o łącznej mocy do 7 MW). Ponadto funkcjonuje wiele małych kotłów na drewno (o mocy od 20 do 80 kW). Część odpadów drzewnych wykorzystuje w miejscu ich powstawania przemysł drzewny, głównie do produkcji ciepła lub pary użytkowanej w procesach technologicznych. Ilość odpadów przekracza jednak wewnętrzne zapotrzebowanie przemysłu drzewnego i istnieje możliwość ich wykorzystania do ogrzewania osiedli mieszkaniowych, budynków użyteczności publicznej itp. Na początku 1998 r. moc instalacji wykorzystujących drewno jako źródło energii oceniano na 600 MW (Strona internetowa www.emanager.pl/....).

4.2.4. Techniki pozyskiwania energii ze spalania drewna

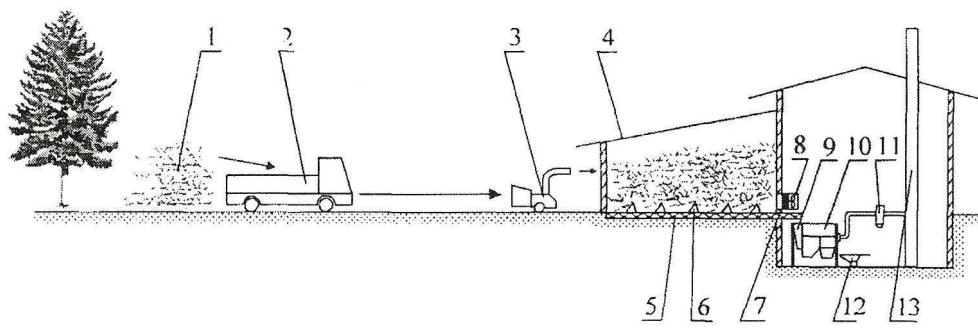
Dla poszczególnych postaci drewna wymagane są odmienne rodzaje pieców. I tak:

- ✧ drewno w długich kawałkach spalane jest w paleniskach z mechanicznym załadowywaniem,
- ✧ drewno w kawałkach oraz w postaci sprasowanych granul i brykietów jest spalane w automatycznych piecach,
- ✧ trociny spalane są w piecach z pneumatycznym zadawaniem i separacją sadzy kominowej.

Proces spalania drewna można podzielić na trzy etapy: ogrzewanie i suszenie, odgazowanie i spalanie właściwe. Podczas odgazowywania łatwopalne gazy: wodór i tlenek węgla, spalają się i powodują szybki wzrost temperatury. Jako pozostałość ze zgazowania tworzy się węgiel drzewny, który jest spalany w temperaturze około 800°C (maksymalnie 1000°C). Temperatura komory spalania zależy od wartości opałowej materiału, wielkości powierzchni

grzewczej w komorze spalania, jak też temperatury jej powierzchni i nadmiaru powietrza, przy jakim materiał spala się. W zależności od rodzaju paliwa i rusztu współczynnik nadmiaru powietrza wynosi 1,5—2,0. Wyższe wartości współczynnika podwyższają temperaturę w komorze spalania i mogą być przyczyną topnienia popiołu. Drewno w wyniku bardzo wysokiego udziału lotnych składników spala się długim płomieniem, dlatego paleniska wymagają wysokiej komory spalania. Proces spalania drewna przebiega prawie bez widocznego dymu. Przy dużej wilgotności paliwa stosuje się odpowiednie sklepienia do nawrotu części płomienia w celu podsuszenia w komorze spalania. W kotłowniach opalanych drewnem korzystne jest usytuowanie zasobnika umożliwiającego całodzienne dozowanie paliwa. W typowych rozwiązaniach można stosować dozownik z wykorzystaniem przenośników taśmowych lub ślimakowych.

Pierwszym etapem przygotowania drewna jest jego ścięcie lub gromadzenie odpadów drewnianych. Następnie w zależności od parametrów pieca — odpowiednie rozdrobnienie i transport do miejsca przeznaczenia. Drewno przeznaczone na paliwo powinno być składowane w pomieszczeniu lub pod zadaszeniem. Masa objętościowa drewna ściętego w zależności od gatunku i warunków wynosi od 1,28 do 0,38 t/m³, natomiast po podsuszeniu na powietrzu od 1,03 do 0,31 t/m³. Jako średnią wartość przyjmuje się często 0,55 t/m³, a wskaźnik energetyczny 8,25 GJ/m³ (550 kg/m³ × 15 MJ/kg). Na rysunku 7 przedstawiono technologię spalania zrębków drzewnych z płaskim magazynem w postaci wiaty dosuszającej.



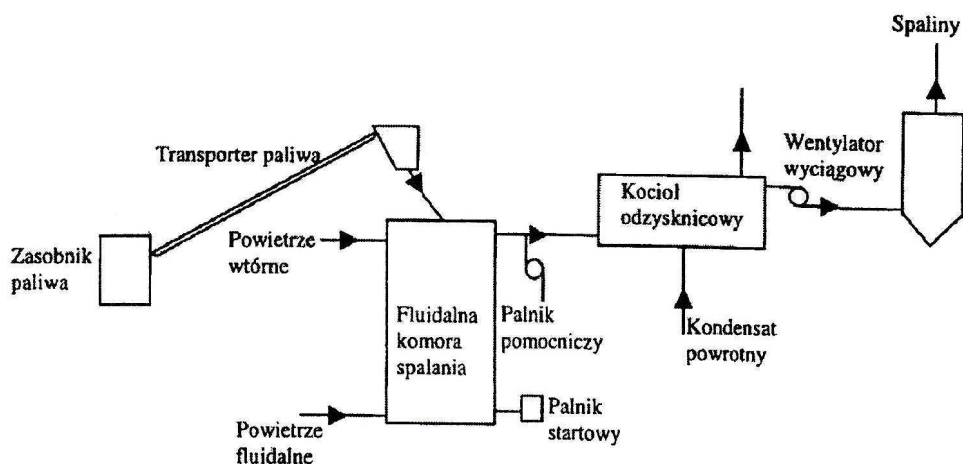
Rys. 7. Schemat technologiczny spalania zrębków drzewnych z płaskim magazynem w postaci wiaty dosuszającej
1 — odpady z pielęgnacji drzew, 2 — środek transportu, 3 — rębarka, 4 — magazyn zrębków, 5 — przenośnik ślimakowy, 6 — suszarka podłogowo-kanalowa, 7 — nagrzewnica wodna, 8 — wentylator osiowy, 9 — zasobnik przyjęciowy, 10 — kocioł, 11 — cyklon, 12 — wózek, 13 — komin

Źródło: Soliński 2001

Fig. 7. Flow chart of chip burning with usage of redrying umbrella roof as a flat store

Spalanie biomasy odbywa się również techniką fluidalną. Fluidalne spalanie biomasy polega na tworzeniu zawiesiny drobnych jej cząstek w przepływającym od dołu strumieniu powietrza. Cząstki paliwa są wówczas doskonale wymieszane z powietrzem, a duża powierzchnia ich styku z powietrzem powoduje zwiększenie intensywności spalania. Pozwala to na zmniejszenie wymiarów komory paleniskowej w której proces ten zachodzi, oraz na obniżenie temperatury spalania do 800—900°C, czego konsekwencją jest zmniejszenie się

ilości groźnych dla środowiska tlenków azotu występujących obficie przy spalaniu biomasy w paleniskach rusztowych. Intensywność reakcji chemicznych w warstwie fluidalnej jest wykorzystywana do wiązania siarki zawartej w paliwach niskogatunkowych poprzez reakcję SO_2 z tlenkiem wapnia dodawanym w postaci zmielonego kamienia wapiennego do paleniska. Dzięki idealnemu wymieszaniu cząstek biomasy z powietrzem w warstwie fluidalnej oraz faktowi, że temperatura złoża fluidalnego jest niższa niż temperatura topnienia popiołu, możliwe jest spalanie paliw niskokalorycznych z biomasy o zawartości cząstek niepalnych do 60%, wartości opałowej począwszy od 6 MJ/kg i wilgotności poniżej 70%, a sprawność spalania sięga 99%. Ponadto stosuje się paleniska, w których spalanie zachodzi przy ciśnieniu atmosferycznym oraz nadciśnieniu. Te ostatnie pozwalają na dalszą intensyfikację procesu i obniżenie emisji NO_x . Schemat i koncepcję fluidalnego systemu spalania drewna jako paliwa z biomasy przedstawia rysunek 8 (Soliński 2001).



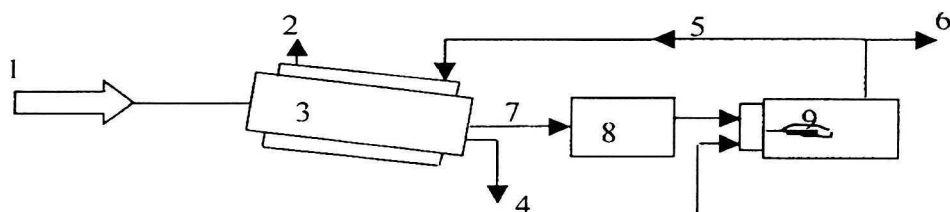
Rys. 8. Schemat fluidalnego spalania drewna
Źródło: Soliński 2001

Fig. 8. Flow chart of fluidal wood burning

4.2.5. Piroliza i gazyfikacja

Piroliza polega na termicznym rozkładzie organicznych składników odpadów bez dostępu powietrza. Rozkład i odgazowanie następuje w reaktorze ogrzewanym do 450–750°C. Przykładowy schemat pirolizy przedstawia rysunek 9. Produktami pirolizy są: gazy ciepłe, kondensaty wodne i oleiste oraz pozostałości stałe zawierające węgiel. Celem pirolizy jest zmniejszenie objętości i masy odpadów organicznych przy jednoczesnym zmagazynowaniu ich wartości kalorycznej w produktach rynkowych, takich jak gaz i koks. Gaz z pirolizy składa się z pary wodnej, dwutlenku węgla, wodoru, metanu i wyższych węglowodorów alifatycznych oraz tzw. smoły wylewnej. Ta ostatnia może zawierać dioksyny i furany. Gaz

wytłewny zawiera nieorganiczne związki szkodliwe, jak HCl, HF, H₂S, HNC itp. Tak, więc wymaga on dokładnego oczyszczenia.



Rys. 9. Schemat przykładowej instalacji doświadczalnej do pirolizy odpadów drewnianych
 1 — rozdrobnione odpady, 2 — gaz odlotowy, 3 — piec po pirolizie, 4 — produkty uboczne,
 5 — gaz grzewczy do ogrzewania pieca, 6 — gaz grzewczy do produkcji pary, 7 — surowy gaz pirolizowy,
 8 — oczyszczanie gazu, 9 — palnik gazowy, 10 — doprowadzenie powietrza do spalania
 Źródło: Soliński 2001

Fig. 9. Sample diagram of experimental system for wood waste pyrolysis

Gazyfikacją lub zgazowaniem nazywamy proces polegający na niekompletnym spalaniu biomasy przy użyciu tlenu (powietrza) i pary wodnej. Proces ten przebiega w temperaturze około 1000°C, produktem zgazowania jest mieszanina gazów palnych, zawierających CO, H₂ oraz śladowe ilości metanu. Urządzenia w których realizowany jest ten proces nazywamy gazogeneratorami. Gazogeneratory są klasyfikowane w zależności od sposobu wprowadzenia tlenu (powietrza). Wyróżniamy trzy podstawowe typy gazogeneratorów: z nawiewem dolnym, górnym i bocznym. Wybór typu generatora zależy od paliwa, jego wilgotności, rozmiaru cząstek, zawartości popiołu itp. Skład gazu generatorowego zależy nie tylko od biomasy z jakiej jest produkowany, ale również od typu generatora (Soliński 2001).

Duże ilości odpadowej biomasy wykorzystywane są w przemyśle celulozowo-papierniczym, gdzie w Polsce powstaje rocznie ponad 1 mln t s.m. odpadów, głównie w postaci ścieków ligninowych w ługach warzelnych. Wytwarza się tu m.in. duże ilości energii elektrycznej za pomocą turbin parowych, na ogół o mocy 15 MW(e) każda, zasilanych przez kotły stosujące spalanie drewna odpadowego, kory, odpadowej makulatury i ścieków ligninowych. W rezultacie uzyskujemy oszczędność około 0,1 mln t węgla rocznie, zastępując go przez odpadową biomasę (Kowalik 2002a). W trakcie rutynowej pielęgnacji zieleni miejskiej, ale także w efekcie działania sił przyrody (wiatr, mróz) oraz planowej zmiany struktury przestrzennej zieleni miejskiej i przemysłowej, powstają odpady obejmujące zdrewniałe i niezdrewniałe części roślin drzewiastych. Resztki roślinne z terenów zieleni miejskiej w postaci odpadów drzewnych stanowią duże zasoby, które mogą być wykorzystane na cele energetyczne jako ekologiczne paliwo w postaci zrębków. Mogą one być spalane w nowoczesnych kotłach przystosowanych specjalnie do tego celu. Korzyści wypływające z tego rozwiązania to m.in.: zaoszczędzenie konwencjonalnego paliwa (koks, węgiel), uniknięcie kosztów wywozu i składowania odpadów organicznych na kompostowni bądź składowisku oraz zmniejszenie opłat za korzystanie ze środowiska.

Pilotażowy projekt wykorzystujący odpady zieleni miejskiej na cele energetyczne opracowano w Społecznym Instytucie Ekologicznym. Po wstępnej analizie zaproponowano możliwość lokalizacji instalacji pilotowej w Miejskim Zakładzie Oczyszczania (MZO) w Otwocku, położonym 20 km na południowy wschód od Warszawy. Przyjęto, że proponowany w tym przypadku kocioł fluidalny na zrębki o mocy 150 kW będzie ogrzewał zespół szklarni należący do MZO, produkujący rozsadę kwiatów i krzewów na potrzeby miasta. W okresach silnych mrozów i szczytowego zapotrzebowania na ciepło może dodatkowo zostać uruchomiony stary, rezerwowy kocioł węglowy. Rozpoznanie struktury zieleni miejskiej Otwocka oraz sposobów gospodarowania odpadami z konserwacji zieleni pozwoliło na oszacowanie potencjału energetycznego biomasy na około 625 t wilgotnych odpadów gałęziowych pozyskiwanych w ciągu roku. Technologia instalacji pilotażowej opiera się na rozdrobnieniu odpadów drzewnych na rębarnie ciągnikowej, transporcie do magazynu, wstępnym podsuszeniu zrębków, mechanicznym dozowaniu oraz spalaniu w palenisku fluidalnym przystosowanym do spalania biomasy. Korzyści jakie w jednym sezonie przyniesie ta instalacja to oszczędność 50 t koksu (20 tys. zł), uniknięcie kosztów wywieżenia i składowania 126 t wilgotnych odpadów w kompostowni (30 zł/tonę) lub na wysypisku (100 zł/tonę), zmniejszenie opłat za korzystanie ze środowiska, pozbycie się problemów z usunięciem żużla, poprawa warunków pracy palacza i obsługi kotłowni w wyniku zastosowania mechanizacji i automatyzacji pracy układu. O efekcie ekologicznym decyduje zastąpienie starego kotła na koks nowoczesnym kotłem na zrębki, co pozwoli na ograniczenie emisji dwutlenku siarki o około 530 kg/rok, dwutlenku węgla o 120 t/rok, a także istotną redukcję emisji tlenku węgla, pyłów i tlenku azotu (Strona internetowa — www.gigawat.net.pl/...).

4.3. Rośliny energetyczne

Podjęcie decyzji o założeniu plantacji energetycznej wymaga uwzględnienia warunków siedliskowych, wymagań agrotechnicznych roślin, technologii zbioru i przechowywania biomasy, jakości surowca, technologii wykorzystania biomasy oraz opłacalności. Rośliny energetyczne, które nadają się do uprawy w Europie, to: słonecznik (*Helianthus annuus*), rzepak (*Brassica napus ssp. Oleifera*), lnicznik (*Camelina sativa*) oraz wilczomlecz (*Euphorbia lathyris*). Podobne, równie dobre zastosowanie mają trawy jednoroczne — zboża, sorgo, kukurydza — oraz wieloletnie trawy typu C₃ (trzcina, mozga trzcinowata) i C₄ (miskanty, spartina, palczatka Gerarda, proso różgowate, trzcina laskowa). Wśród roślin energetycznych rosnących w Europie znaleźć można również szybko rosnące drzewa (wierzba, topola, eukaliptus), jak i byliny dwuliścienne, tzn. karczoch (Cynara), topinambur, sylfia, rdesty (japoński i sachaliński) i ślazier pensylwański. Potencjał plonotwórczy tych roślin waha się od kilkunastu do 25—30 t s. m. z hektara w ciągu roku i kilkakrotnie przewyższa plon słomy pozostającej po zbiorze zbóż i rzepaku (Majtkowski 2003).

4.3.1. Charakterystyka wybranych gatunków roślin energetycznych

Wierzba (*Salix L.*), należy do rodziny wierzbowatych (*Saliceae*) i obejmuje gatunki dwupienne: drzewa, krzewy lub krzewinki. W uprawie plantacyjnej najbardziej przydatna okazała się *Salix viminalis* — wierzba wiciowa, tzw. konopiana.

Wierzba jest rośliną dwupienną, owadopylną. Dzięki obecności pączków wzrostowych na korzeniach, w strefie przyłodygowej, posiada zdolność wytwarzania nowych pędów w kolejnych okresach wegetacji. *Salix viminalis* — wyselekcjonowana odmiana szybko rosnąca, charakteryzuje się szybkim przyrostem masy organicznej, około 10-krotnie wyższym niż sosna czy świerk. Obecnie coraz większego znaczenia nabiera uprawa wierzby na plantacjach energetycznych. Eksploatacja prawidłowo założonej plantacji powinna trwać, co najmniej 15—20 lat, z możliwością 5—8-krotnego pozyskiwania drewna, w ilości 10—15 ton suchej masy w przeliczeniu na 1 ha rocznie. Wartość energetyczna jednej tony suchej masy drzewnej wynosi 4,4 MW·h, co odpowiada wartości kalorycznej jednej tony wysokiej jakości mialu węglowego lub 500 litrom oleju opałowego (Gradziuk 2002).

Plantację zakłada się wczesną wiosną, tak wcześnie jak to tylko możliwe, kiedy uwilgotnienie gleby jest bardzo dobre. Sadzonki, którymi są odcinki pędów o długości 20—25 cm, umieszcza się w glebie ręcznie lub maszynowo, w rzędach o rozstawie na przemian 0,7 m i 1,3 m. Zrzesy (sztobry) sadi się w glebę dobrze uprawioną i całkowicie odchwaszczoną. Obsada 1 ha plantacji to 18—20 tys. sztochrów. Już po 2—3 tygodniach można sprawdzić, które rośliny się przyjęły, bowiem ukorzenianie zrzesów następuje łatwo i szybko. W pierwszym roku użytkowania plantacji wierzby szczególnie ważne jest zwalczanie chwastów, rozwijający się system korzeniowy zrzesów nie może bowiem wygrać konkurencji z szybko rosnącymi chwastami. Dlatego też w rok przed posadzeniem pole musi być odchwaszczone. Sztochry, pozyskiwane w zimie poprzedzającej sadzenie, powinny być przechowywane w pomieszczeniu zimnym, w temperaturze nie niższej niż 4°C. Na kilka dni przed sadzeniem należy wyjąć je z chłodni, aby przystosować je do temperatury na polu (Strona internetowa — www.emanager.pl). Oprócz nawożenia mineralnego plantacje wierzby mogą być nawożone ściekami i osadami ściekowymi. Pozyskiwanie drewna rozpoczyna się po 3—5 latach. Zbiór przeprowadza się w okresie grudzień-marzec, po opadnięciu liści. Inny termin jest niewskazany ze względu na przebieg procesów wegetacyjnych, obniżających wartość energetyczną roślin, jak również osłabienie karpy, z której po ścięciu na wiosnę odrastają nowe łodygi. Zebraną masę można rozdrobnić specjalnymi żniwiarkami i przechowywać w postaci zrębów. Całe, niepocięte łodygi zbiera się ręcznie nożycami wikliniarskimi, piłą łańcuchową lub mechanicznie za pomocą kosiarek o skróconej i wzmocnionej listwie tnącej. Przechowuje się je przez okres wiosenno-letni celem wysuszenia. Wyschnięta wierzba może być przechowywana pod przykryciem przez kilka lat (Gradziuk 2002).

Trawy wieloletnie również posiadają duży potencjał energetyczny. Potencjalnym źródłem energii mogą być następujące gatunki traw: miskant olbrzymi (*Miscanthus sinensis giganteus*), miskant cukrowy (*Miscanthus sacchaliflorus*), spartina preriowa (*Spartina pectinata*), palczatka Gerarda (*Andropogon gerardii*).

Wszystkie wymienione gatunki są roślinami wieloletnimi o cyklu fotosyntetycznym C₄. Osiągają znaczne rozmiary przekraczające 2—3 metry wysokości, w naturalnych warunkach osiągając nawet do 5 metrów. Młode pędy wyrastają późno, zwykle nie wcześniej niż w trzeciej dekadzie kwietnia (miskant cukrowy, spartina) lub w pierwszej dekadzie maja, lecz później dość szybko rosną. W ciągu miesiąca osiągają 50 cm, a do czerwca — wysokość człowieka. Rośliny te plonują już od pierwszego roku uprawy, kiedy to ich średni plon wynosi 6 ton/ha, w drugim około 15 ton/ha, od trzeciego 25—30 ton/ha. Na dobrych glebach przy sprzyjających warunkach miskant olbrzymi, charakteryzujący się najwyższą produktywnością, może osiągnąć plon nawet do 40 ton/ha. Ze względu na długowieczność użytkowania (15—20 lat), jak i dużą biomasę, trawy wieloletnie są bardzo cenne jako alternatywne źródło energii. Trawy te nie mają dużych wymagań, co do jakości gleby. Mogą to być gleby V i VI klasy, a także nieużytki. Dobrze znoszą przesuszenia i półcienie oraz sąsiedztwo drzew. Wadą tego gatunku jest słaba odporność na mrozy, szczególnie w pierwszym roku uprawy, kiedy około 50% sadzonek wymarza. Dlatego konieczność dosadzania roślin jest jednym z czynników zwiększających koszty uprawy. Wegetacja miskanta olbrzymiego trwa od kwietnia do jesiennych przymrozków. Roślinę tę rozmnaża się łatwo przez podział rozłogów, którego dokonuje się, gdy młode pędy osiągną wysokość około 10—15 cm. Wsadzenia dokonuje się od połowy maja do końca czerwca, gdy temperatura gleby osiągnie co najmniej 10°C, ręcznie lub mechanicznie sadzarkami w odstępach 1 × 1 m. Pielęgnacja jest prosta ze względu na małe wymagania sadzonek. Najkorzystniejszym okresem zbioru jest luty i marzec, kiedy zawartość suchej masy w roślinach wynosi około 70% (Gradziuk 2002).

Ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita*) należy do rodziny ślazowatych i obejmuje kilkaset gatunków roślin jednorocznych, wieloletnich i krzewów występujących w tropikalnych i subtropikalnych strefach kuli ziemskiej. W Polsce potocznie zwany siłą lub malwą pensylwańską. Gatunek ten jest rośliną wieloletnią polikarpiczną, o corocznie zamierających pędach. Dzięki obecności pączków wzrostowych na korzeniach, w strefie przyłodygowej roślina corocznie odrasta i zwiększa liczbę łodyg od jednej w pierwszym roku, do 20—30 w czwartym i następnych latach. W roku zasiewu rośliny rosną wolno, w pięćdziesiąt dni od wschodu pojedyncza roślina osiąga wysokość 11—18 cm, a u jej podstawy widać formujące się pączki. Pod koniec okresu wegetacyjnego wysokość pędu mieści się w granicach 40—70 cm. Pędy są dobrze ulistnione, okrągłe o średnicy od 5 do 30 mm, ich wysokość w końcu wegetacji może dochodzić do 360 cm. *Sida*, jako roślina wieloletnia wykształca silny system korzeniowy. Korzeń główny już w trzecim roku wegetacji sięga w głąb ziemi 120 cm. W płaszczyźnie poziomej korzenie rozprzestrzeniają się na odległość 70—100 cm. Część korzeni bocznych rośnie poziomo tuż pod powierzchnią gleby i na nich, szczególnie w części przyłodygowej, tworzą się pączki wzrostowe. Z pączków tych wyrastają wiosną nowe pędy. Wytworzona masa organiczna może być wykorzystywana jako odtwarzalne źródło energii. Trwałość plantacji, wysoki plon łodyg z jednostki powierzchni oraz wydajność cieplna wskazują na możliwość wykorzystania ślazowca w energetyce. Wyniki prowadzonych badań pokazują, że wyższym ciepłem spalania (14,5 MJ/kg s.m.) charakteryzują się łodygi cieńsze. Dla łodyg grubych wartość ta wynosi około 11,2 MJ/kg s.m. Wymagania glebowe nie są zbyt duże.

Dobrze rośnie i plonuje na średnich, a nawet lżejszych glebach, ale niezbyt suchych. Ślazo-wiec pensylwański może być użytkowany przez okres 15—20 lat (Gradziuk 2002).

Oprócz niewątpliwych walorów energetycznych rośliny te mogą być stosowane do utylizacji osadów pościekowych, osadów poflotacyjnych, w biologicznych oczyszczalniach ścieków, do rekultywacji gruntów zdewastowanych i zdegradowanych — na przykład poli-gonów wojskowych, lotnisk itp. Korzyścią jest także czasokres uprawy, tzn., że raz założoną plantację eksploatuje się przez okres 15—30 lat (Szcukowski, Budny 2003).

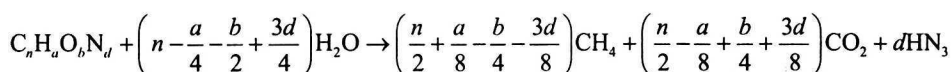
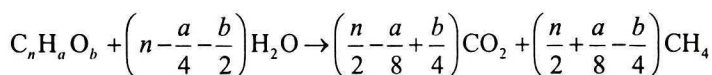
4.4. Proces powstawania biogazu

Biogaz nadający się do celów energetycznych może powstawać w procesie fermentacji beztlenowej związków pochodzenia organicznego, zawierających celulozę, białko, węgło-wodany, skrobię. Związki te są składnikiem:

- ✧ odpadów organicznych w gospodarstwach i przedsiębiorstwach rolniczych,
- ✧ odpadów zwierzęcych w biogazowniach rolniczych,
- ✧ osadu ściekowego z oczyszczalni ścieków,
- ✧ odpadów organicznych na komunalnych wysypiskach śmieci.

Fermentacja beztlenowa jest złożonym procesem biochemicznym zachodzącym w wa-runkach beztlenowych. Substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste — głównie metan i dwutlenek węgla (Strona internetowa — www.rcgw.pl/...).

W postaci ogólnej reakcję powstawania biogazu można zapisać jako (Lewandowski 2001—2002):



Bakterie powodujące fermentację są wrażliwe na odczyn, który musi być lekko zasadowy [pH ok. 7,5], nie znoszą tlenu i światła i rozwijają się w wąskim przedziale temperatur: 33—38°C; min. 25°C, maks. 45°C — bakterie mezofilne i 55—65°C; min. 40°C, maks. 75°C — bakterie termofilne (Lewandowski 2001—2002). W czasie procesu fermentacji beztlenowej do 60% substancji organicznej jest zamienione w biogaz. Biogaz składa się głównie z:

- ✧ metanu (CH₄) — 50—70%,
- ✧ dwutlenku węgla (CO₂) — 35—40%,
- ✧ azotu (N₂) — 2,8—3,5%,
- ✧ siarkowodoru (H₂S) — 0,5—0,6%,
- ✧ tlenku węgla 0,3—0,4% (Tietze i in. 1996).

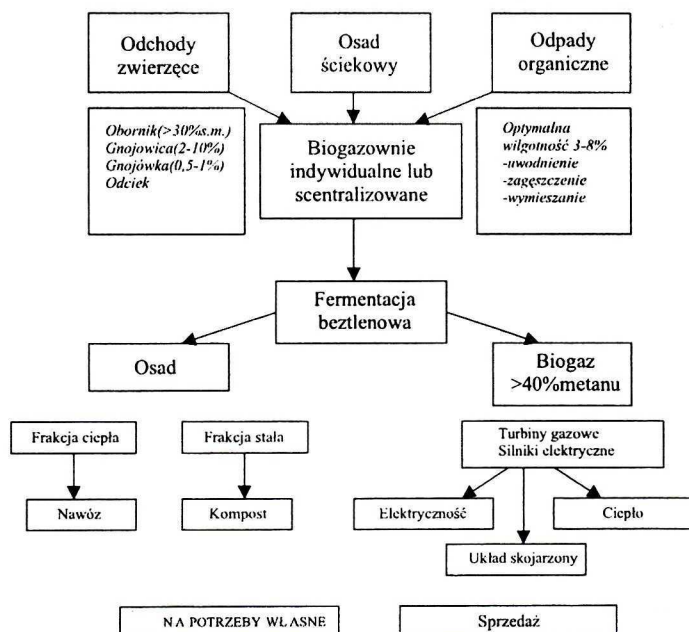
Z bilansu prawidłowo przeprowadzonej fermentacji wynika, że z 1 kg substancji organicznej otrzymuje się około 0,4 m³ biogazu, który ma wartość opałową 16,8—23 MJ/m³. W przypadku oddzielenia z biogazu CO₂ (rozpuszczenie go w płuczce zraszanej wodą lub rozdzielanie w separatorze odśrodkowym) wartość opałowa biogazu zwiększa się do 35,7 MJ/m³.

Energia zawarta w 1 m³ takiego biogazu odpowiada energii zawartej w: 0,93 m³ gazu ziemnego, 1 dm³ oleju napędowego, 1,25 kg węgla lub 9,4 kW·h energii elektrycznej. Jest to energia odnawialna, przyjazna dla środowiska naturalnego, łatwo dostępna i po opanowaniu technologii jej produkcji może być energią tanią (Lewandowski 2001—2002).

Tempo rozkładu zależy w głównej mierze od charakterystyki i masy surowca, temperatury oraz optymalnie dobranego czasu trwania procesu. Aktualne techniczne możliwości wykorzystania energii zawartej w biogazie są następujące:

- ✧ produkcja energii elektrycznej w silnikach iskrowych lub turbinach,
- ✧ produkcja energii cieplnej w przystosowanych kotłach gazowych,
- ✧ produkcja energii elektrycznej i cieplnej w jednostkach skojarzonych (kogeneracji),
- ✧ dostarczanie gazu wysypiskowego do sieci gazowej,
- ✧ wykorzystanie gazu jako paliwa do silników trakcyjnych (pojazdów),
- ✧ wykorzystanie gazu w procesach technologicznych, np. w produkcji metanolu (Strona internetowa — [www.rcgw.pl/...](http://www.rcgw.pl/)).

Sposoby pozyskiwania i przetwarzania biogazu obrazuje rysunek 10.



Rys. 10. Możliwości pozyskiwania i wykorzystywania biogazu
Źródło: Strona internetowa — [www.ibmcr.waw.pl/ecbrec/...](http://www.ibmcr.waw.pl/ecbrec/)

Fig. 10. Possibilities of acquiring and using biogases

Wykorzystanie powstałego w procesie fermentacji beztlenowej biogazu jako wysokoefektywnego paliwa do wytwarzania energii cieplnej wymaga linii technologicznej umożliwiającej:

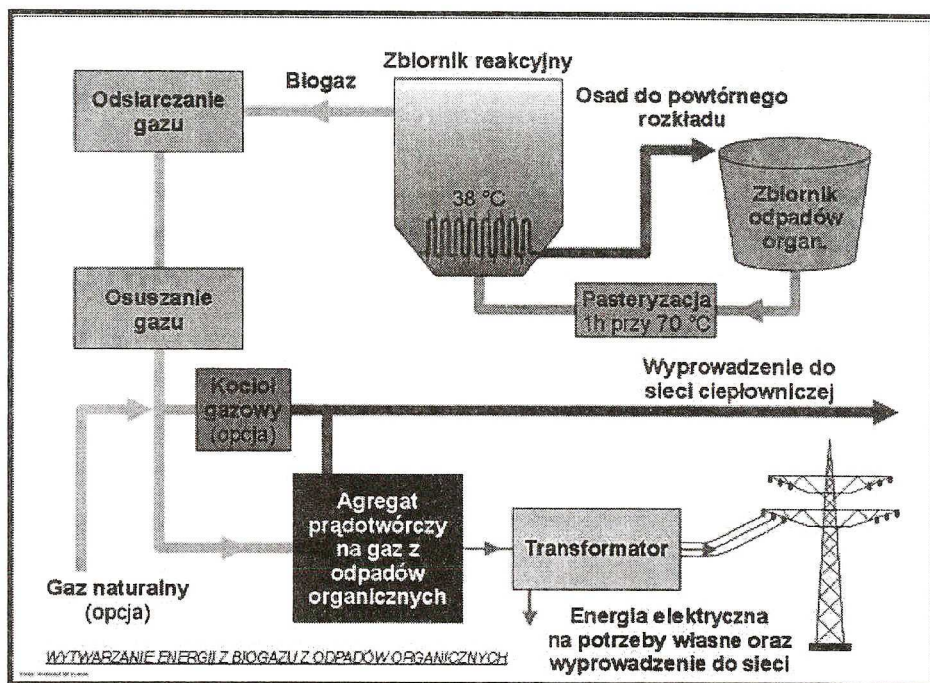
- ✧ odbiór biogazu z komór fermentacyjnych,
- ✧ oczyszczenie mechaniczne i odsiarczanie biogazu,
- ✧ magazynowanie biogazu w zbiornikach stabilizujących ciśnienie,
- ✧ osuszanie biogazu poprzez odwadnianie kondensatów pary wodnej,
- ✧ osuszanie końcowe biogazu z zanieczyszczeń mechanicznych na wysokosprawnych filtrach przepływowych,
- ✧ spalanie biogazu robocze (silnik, piec),
- ✧ spalanie biogazu awaryjne (pochodnia).

Spalanie biogazu w silnikach gazowych z zapłonem iskrowym zespołów prądotwórczych umożliwia wykorzystanie energii zawartej w biogazie do wytwarzania energii elektrycznej, a niezależnie od tego energii cieplnej uzyskiwanej wtórnie w postaci np. gorącej wody o parametrach 90/70 °C. Możliwości zagospodarowania energii są nieograniczone, od pokrycia potrzeb własnych oczyszczalni po sprzedaż do zakładu energetycznego. Praca agregatów możliwa jest ze zmiennym obciążeniem w zależności od aktualnej produkcji biogazu, utrzymując minimalną wartość ciśnienia biogazu przed silnikami (Strona internetowa — www.rcgw.pl/...).

4.4.1. Utylizacja biogazu (gaz z odpadów organicznych)

W procesach fermentacji odpadów biologicznych, czyli bioodpadów z gospodarstw domowych, odpadów roślinnych z parków, zieleńców, ogródków przydomowych, odpadów roślinnych z produkcji rolnej itd., wytwarza się gaz, który ma szerokie zastosowanie w gospodarstwach i przedsiębiorstwach rolniczych. Bioodpady organiczne (rys. 11) są dostarczane do zakładu, gdzie podlegają przeróbce ręcznej i mechanicznej. W celu unieszkodliwienia czynników chorobotwórczych, biomasa jest pasteryzowana, tzn. jest podgrzewana do temperatury 70°C. Pasteryzowana biomasa jest przekazywana do zbiornika reakcyjnego, gdzie poddana jest procesowi fermentacji. Biomasa pozostaje tam przez 20—25 dni. Proces fermentacji zachodzi w temperaturze 38°C. W tych warunkach bakterie przetwarzają około 40—50% materiału organicznego biomasy na palny biogaz, w którym zawartość czystego metanu wynosi 60—70%. Siarkowodór jest usuwany w procesie chemicznym, następnie gaz podlega sprężaniu do ciśnienia 1 bara i jest suszony. W ten sposób w ciągu 24 godzin uzyskuje się 3000—4000 m³ biogazu, co odpowiada 2000—2500 litrom oleju opałowego. Produkt końcowy w postaci biogazu zawiera średnio 60—70% metanu (CH₄). Biogaz jest przekazywany do układu kogeneracyjnego. Silnik gazowy zamienia energię skumulowaną w biogazie na energię mechaniczną i ciepłą. Energia mechaniczna wykorzystywana jest do napędu generatora synchronicznego, który wytwarza energię elektryczną na pokrycie potrzeb własnych zakładu. Nadwyżka energii może być przekazana do publicznej sieci elektroener-

getycznej. Ciepło powstające w silniku zostaje spożytkowane do podgrzewania odpadów organicznych w zbiorniku reakcyjnym. Może być również doprowadzane do instalacji grzewczej zakładu, a także użyte do procesu pasteryzacji. Jeżeli występuje nadmiar ciepła — co często zdarza się w przypadku dużych instalacji — ciepło o wysokiej temperaturze, pochodzące z chłodzenia układu wylotowego spalin, może zostać sprzedane do publicznej sieci ciepłowniczej (Strona internetowa — [http://www.ferox.com.pl/...](http://www.ferox.com.pl/)).



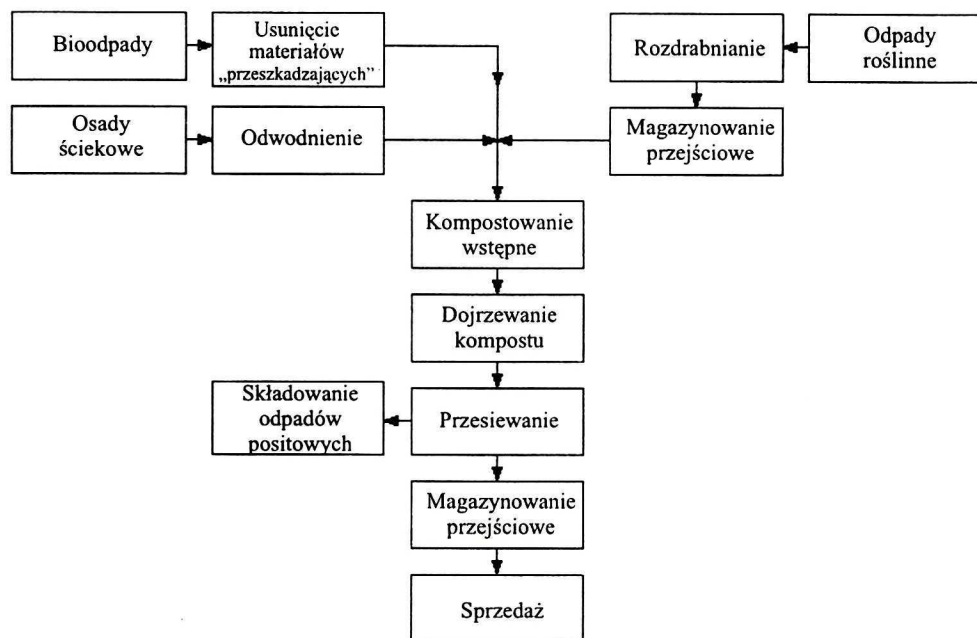
Rys. 11. Wytwarzanie energii z biogazu z odpadów organicznych

Źródło: Strona internetowa — [http://www.ferox.com.pl/...](http://www.ferox.com.pl/)

Fig. 11. Generation of energy from organic waste-derived biogases

Inną metodą przerobu odpadów organicznych jest ich kompostowanie (rys. 12). Kompostowanie stanowi kontrolowany proces, w którym substancje organiczne zostają rozłożone na względnie stabilny nieszkodliwy kompost. Wywołujące rozkład bakterie występują w odpadach, tak że proces wymaga tylko stworzenia odpowiednich warunków — napowietrzanie i nawilżanie. Głównymi elementami procesu jest mineralizacja i humifikacja. Podczas procesu kompostowania tlen z powietrza i tzw. mikroorganizmy aerobowe przetwarzają materiał organiczny w dwutlenek węgla i wodę z jednoczesnym uwolnieniem energii. Pozostałością tego procesu jest niecałkowicie rozłożona stała reszta w postaci kompostu. Prawie cała energia zostaje uwolniona w postaci ciepła, co może spowodować wzrost temperatury kompostu do 60—70°C. Na właściwy przebieg procesu kompostowania mają wpływ następujące czynniki:

- ✧ odpowiedni skład chemiczny materiału wyjściowego — optymalnie substancje organiczne — biomasa bez zanieczyszczeń toksycznych; zawartość azotu 0,8—1,7%;
- ✧ odpowiedni stosunek węgla do azotu w materiale wyjściowym $C/N = 17—30$, natomiast w gotowym kompoście $C/N = 20$.



Rys. 12. Schemat pracy nowoczesnej kompostowni
 Źródło: Przywarska R., Strona internetowa — <http://www.tnz.most.org.pl/...>

Fig. 12. Flow chart of a modern composting plant

Proces kompostowania może przebiegać w komorach zamkniętych, w warunkach naturalnych lub w układzie mieszanym. Kompostowanie w komorach zamkniętych wymaga przebywania odpadów tak długo, dopóki nie nastąpi pełen proces biochemicznego i fizycznego ich przerobu i higienizacji — zazwyczaj 7—10 dni.

Kompostowanie w warunkach naturalnych może być prowadzone w sposób dynamiczny lub statyczny. Proces dynamiczny przebiega w pryzmach na polu kompostowym w wyniku regularnego przegrucania materiału (w celu zapewnienia dopływu tlenu i wilgoci). Czas kompostowania trwa 6—12 tygodni w zależności od warunków klimatycznych. Proces statyczny polega na pozostawieniu masy kompostowej na płycie fermentacyjnej lub w boksach roboczych, a zapewnienie właściwej ilości tlenu i wilgotności dokonuje się w sposób wymuszony. Płyta na której spoczywa masa kompostowa ma kanały ssące, a powietrze jest zasysane poprzez ułożoną warstwę materiału. W procesie tym rozróżnia się fermentację intensywną, która trwa 20 dni, i fermentację wtórną — 60 dni.

Kompostowanie w układzie mieszanym polega na homogenizacji odpadów i zainicjowaniu procesu kompostowania w biostabilizatorze lub mieszalniku bębnowym w czasie 30 godz., a następnie dynamicznemu lub statycznemu kompostowaniu na polu kompostowym przez okres 6—12 miesięcy.

Proces dojrzewania trwa około 3—4 miesiące. W tej fazie zapotrzebowanie na tlen jest już niewielkie, co umożliwia składowanie kompostu w pryzmach nawet do 2—3 m wysokości. Przed sprzedażą lub paczkowaniem dojrzały kompost zostaje przesiany przez sito bębnowe o oczkach 15—25 mm. Pozostałość nadsitowa zostaje zużyta jako powtórny materiał strukturalny (Strona internetowa — [www.otzo.most.org.pl/...](http://www.otzo.most.org.pl/)).

4.4.2. Fermentacja obornika w gospodarstwach rolnych

Obecnie, w związku z rosnącym zainteresowaniem problematyką bioenergii oraz możliwością korzystania z Funduszy Strukturalnych UE, wielu producentów rolnych zajmujących się hodowlą bydła decyduje się na wykorzystanie odpadów, tj. gnojówki, gnojowicy i odcieku do produkcji biogazu, który w efekcie zasili gospodarstwo w energię elektryczną lub ciepłą. Do realizacji wymienionego projektu niezbędna jest budowa odpowiednich zbiorników na gnojówkę i gnojowicę, w celu ochrony wód gruntowych przed zanieczyszczeniem. Aby uniknąć emisji amoniaku oraz strat azotu powinno się budować kompostownie i biogazownie, które spowodują zamknięcie obiegu materii organicznej w gospodarstwie i zużytkowanie wyprodukowanej energii. Chcąc mówić o zasadności tworzenia biogazowni w gospodarstwie rolnym należy określić potencjał chowu min. 20 SD (SD — sztuki duże — 500 kg), co odpowiada 20 szt. bydła lub 100 szt. trzody chlewnej. Z takiej obsady, w zależności od gatunku zwierząt, można pozyskać 30—36 m³ biogazu na dobę. Jednak największe możliwości pozyskania biogazu mają gospodarstwa rolne, w których rocznie powstaje około 38 mln m³ gnojowicy i 51 mln ton obornika. Przyjmując jednostkową masę obornika równą 0,6 t/m³ pozyskana roczna ilość obornika wynosi 85 mln m³. Jak wykazały badania doświadczalnych biogazowni eksploatowanych w rolnictwie, z 1 m³ obornika otrzymuje się 30 m³ biogazu o wartości opałowej około 23 MJ/m³ (Soliński 2001). Według ustaleń Instytutu Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie instalacje utylizacji gnojowicy powinny być dostosowane do wielkości chowu w przeliczeniu na sztuki duże oraz ilości gnojowicy, tj.:

- ✧ biogazownie z komorą fermentacyjną (stalową) o pojemności 25 i 2 × 25 m³ przeznaczone dla gospodarstw o obsadzie 20 do 60 SD, odpowiednio do wielkości komory;
- ✧ biogazownie z komorą fermentacyjną żelbetonową o pojemności 50 m³ przeznaczone dla gospodarstw o obsadzie 40 do 60 SD;
- ✧ biogazownie z komorą fermentacyjną żelbetonową o pojemności 100 m³ i jej wielokrotności; przeznaczone dla gospodarstw o obsadzie 100 do 600 SD, odpowiednio do wielkości komory;
- ✧ biogazownie z poziomą komorą fermentacyjną stalową o pojemności 200 m³ i jej wielokrotności; przeznaczone dla gęstej gnojowicy (Eymontt 2002).

Przewidywanie produkcji gazu

Produktywność gazu zależy od ilości gazu wytwarzanej w teoretycznie nieograniczonym czasie fermentacji i relatywnie odnosi się do czasu retencji hydraulicznej (t), etapu fermentacji, współczynnika wzrostu bakterii ($\mu_{\max}$) i zredukowanego czynnika hamowania (K), zdeterminowanego przez właściwości substratu i przemiany metaboliczne:

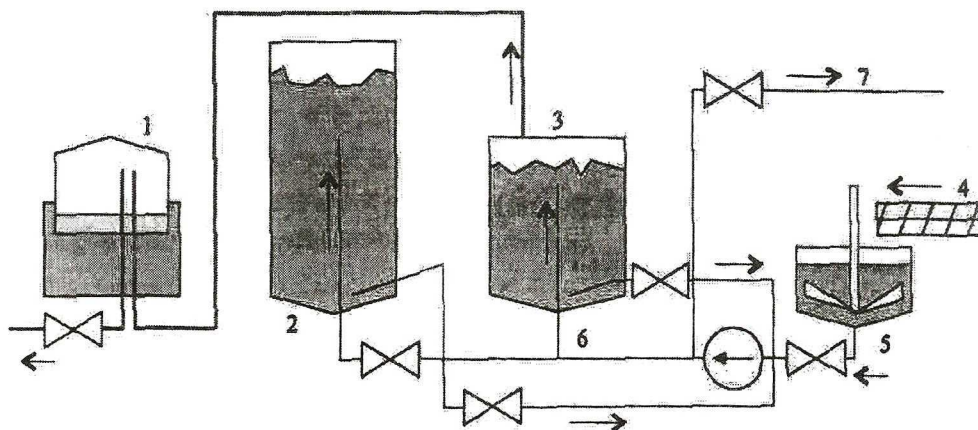
$$G_N = Y_{VSS} \cdot b_{R/VSS} \cdot \left[1 - \frac{K}{t \mu_{\max} - 1 + K} \right]$$

gdzie: G_N — produktywność biogazu (wydajność z komory biogazowej) [$\text{m}^3\text{STP}/\text{m}^3\text{d}$],
 STP — warunki normalne ciśnienia i temperatury,
 Y_{VSS} — jednostkowa produkcja (uzysk biogazu) [$\text{m}^3\text{STP}/\text{kg VSS}$],
 $b_{R/VSS}$ — ładunek organicznej przestrzeni reaktora [$\text{kg VSS}/\text{m}^3\text{d}$],
 VSS — zawiesina stałych części lotnych.

Wyznaczenie skumulowanych parametrów wymaga względnie stałego składu gnojowicy oraz wielu wartości pomiarowych, powtarzalnych w długo trwającym eksperymencie. Informacje te najczęściej odnoszą się do określonego typu zwierząt inwentarskich. Tego typu kalkulacja pozysku gazu może stać się ważnym narzędziem dla optymalizowania pracy biogazowni i sporządzenia oprogramowania kontrolnego w celu uzyskania wysokiej efektywności operacyjnej (Eymontt 2002).

Poniżej omówiono kilka metod uzyskiwania biogazu z obornika.

Technologia Schmidta-Eggerglüssa (rys. 13) — fermentacji poddaje się zawieszoną obornika, sieczki i rozdrobnionych w wodzie odpadów organicznych. Zawartość komory jest



Rys. 13. Schemat produkcji biogazu technologią Schmidta-Eggerglüssa

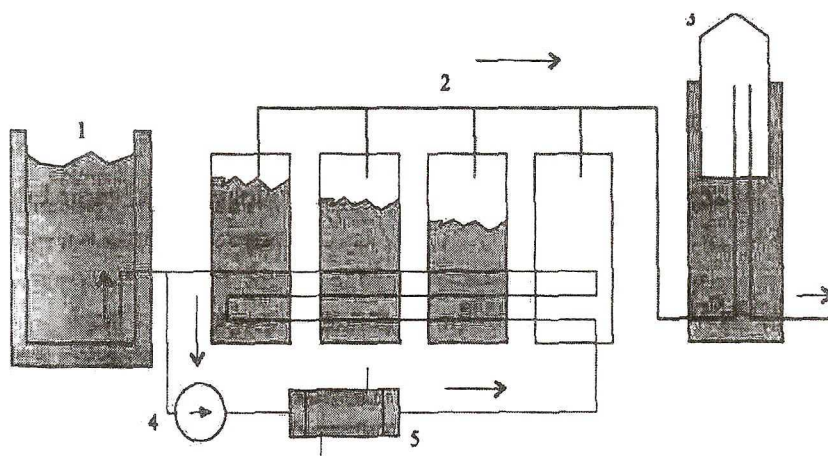
1 — zbiornik biogazu, 2 — zbiornik bioszlamu, 3 — komora fermentacyjna, 4 — transporter, 5 — mieszalnik,
 6 — zawiesina, 7 — bioszlam na pole

Źródło: Lewandowski 2001—2002

Fig. 13. Flow chart of biogas production with the implementation of the Schmidt – Eggerglüss technology

podgrzewana parą z kotła ogrzewanego biogazem. Z szacunków wynika, że ze 100 kg obornika, suchej masy lub substancji organicznej uzyskuje się odpowiednio: 5,3; 27,2 lub 78,8 m³ biogazu. Z 1 m³ komory fermentacyjnej można uzyskać 0,75 m³ biogazu na dobę. W metodzie tej kożuch tworzący się w komorze fermentacyjnej jest rozbijany wymuszoną za pomocą pompy cyrkulacją zawiesiny. Pompa przetłacza również osad do zbiornika bioszlamu, a następnie na pole. Metoda jest opłacalna w dużych gospodarstwach rolnych o dziennej produkcji biogazu od 100 do 300 m³.

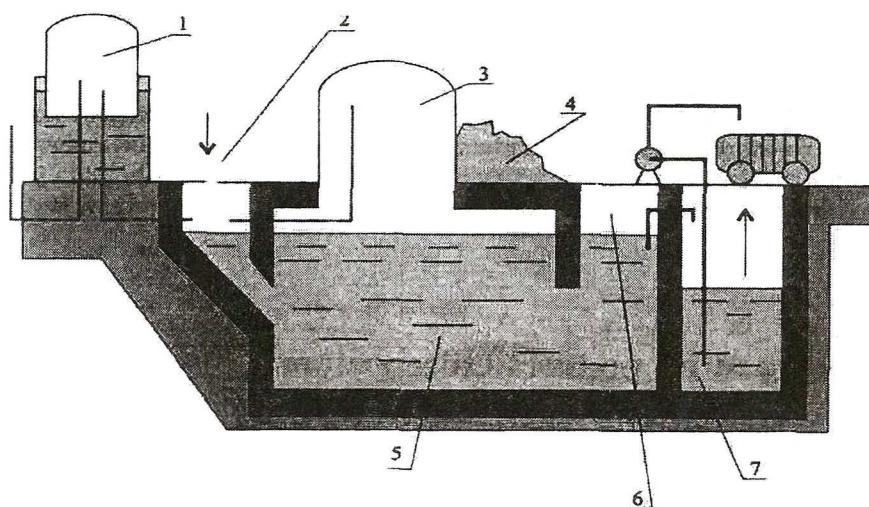
Technologia Ducelliera-Ismana — surowcem jest obornik gromadzony przez okres 14—50 dni w betonowych zbiornikach. Gdy jest odpowiednia ilość tego obornika, następuje załadowanie kolejnej jednej z czterech komór fermentacyjnych. W tym czasie w dwóch pozostałych komorach przebiega już fermentacja, a komora ostatnia jest opróżniana i dezynfekowana. Komory fermentacyjne są ogrzewane krążącą w wymienniku ciekłą frakcją fermentacyjną i pochodzącą bezpośrednio z obory gnojowicą — również ciepłą. Wymienniki są ogrzewane ciepłem spalania biogazu. W tej technologii ze 100 kg obornika uzyskuje się 2 m³ biogazu, a wykorzystanie komory wynosi 1 m³ biogazu dziennie z 1 m³ komory. Schemat instalacji składającej się ze zbiornika biogazu, czterech komór fermentacyjnych, zbiorników obornika i pompy obieguowej przedstawia rysunek 14.



Rys. 14. Schemat produkcji biogazu technologią Ducelliera-Ismana
1 — zbiornik obornika, 2 — komory fermentacyjne, 3 — zbiornik biogazu, 4 — pompa, 5 — wymiennik ciepła
Źródło: Lewandowski 2001—2002

Fig. 14. Flow chart of biogas production with the implementation of the Ducellier – Isman technology

Technologia Reinholda Darmstadta (rys. 15) — to technologia opracowana na potrzeby małych i średnich gospodarstw rolnych. W skład instalacji wchodzi betonowa komora fermentacyjna, dwa zbiorniki biogazu, zbiornik gnojowicy i układ pompowy. Komora fermentacyjna o wymiarach 7 m długości i po 2 m szerokości i wysokości, zagłębiona jest w gruncie. Dzienna produkcja biogazu dochodzi do 10 m³ przy obciążeniu komory 0,3—0,5 m³ biogazu dziennie z 1 m³ objętości komory.



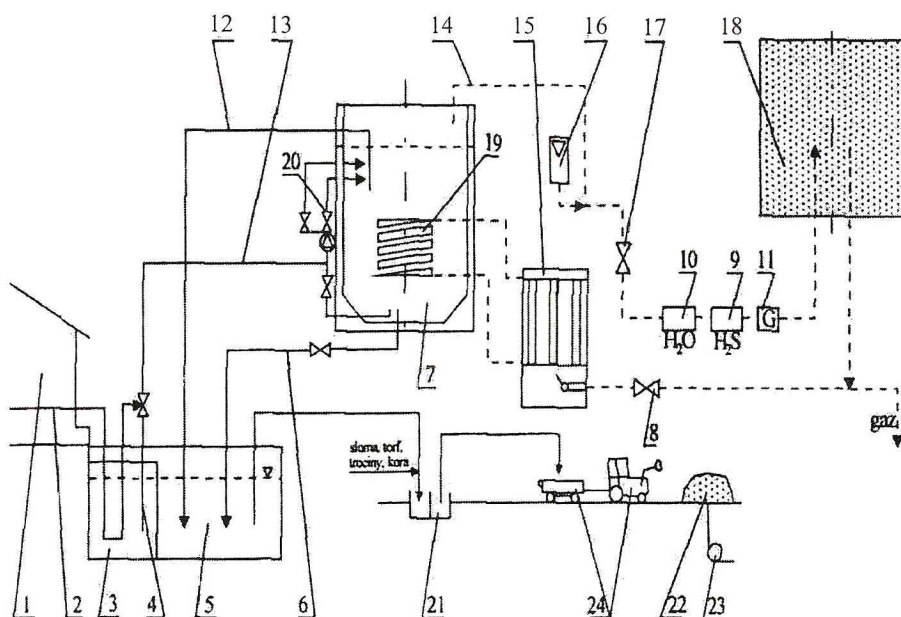
Rys. 15. Instalacja produkcji biogazu technologią Reinholda Darmstadta
 1 — zbiornik biogazu dzwonowy, 2 — doprowadzenie gnojowicy, 3 — komora biogazu, 4 — kompost,
 5 — komora fermentacyjna, 6 — odprowadzenie kompostu, 7 — zbiornik obornika
 Źródło: Lewandowski 2001—2002

Fig. 15. Flow chart of biogas production with the implementation of the Reinhold – Darmstadt technology

Fermentacja trwa kilka tygodni, po których kompost jest wywożony na pole, a komora napełniana gromadzoną w tym czasie rozcieńczoną gnojowicą.

Schemat koncepcyjny technologii **produkcji kompostu z gnojowicy** (Soliński 2001) z komorą fermentacyjną o pojemności 100 m³ przedstawiono na rysunku 16. Gnojowica z budynku inwentarskiego spływa grawitacyjnie kanałem do zbiornika wstępnego. W zbiorniku tym gnojowica jest mieszana za pomocą pompy wirowej, a następnie transportowana przewodem do komory fermentacyjnej. Pompa za pomocą trójdrożnego zaworu umożliwia załadowywanie gnojowicy na wozy asenizacyjne w celu rolniczego jej zagospodarowania.

Komora fermentacyjna zasilana jest raz dziennie dobową produkcją gnojowicy. Wypożazenie komory w rurociąg przelewowy zapewnia odprowadzenie do zbiornika magazynującego takiej samej ilości gnojowicy przefermentowanej, jaką została zasilona komora fermentacyjna. Przewiduje się 3-krotne mieszanie zawartości komory fermentacyjnej w ciągu doby układem typu mieszania hydraulicznego. Każdorazowo mieszanie będzie trwało około 10 minut. Pompa układu mieszania za pomocą rurociągu zasysa gnojowicę z dolnej części komory i tłoczy do jej górnej części. W celu niedopuszczenia do gromadzenia się osadów na dnie komory istnieje możliwość przetłaczania ich do górnej części komory, powodując w ten sposób intensywne wymieszanie. Rurociąg spustowy umożliwia opróżnianie komory fermentacyjnej przez odprowadzenie jej zawartości do zbiornika magazynującego gnojowicę przefermentowaną. Gaz z komory odprowadzony jest rurociągiem. Do zabezpieczenia instalacji gazowej przed nadmiernym wzrostem ciśnienia służy bezpiecznik cieczowy odprowadzający nadmiar gazu do atmosfery. Przed cofnięciem się płomienia instalacja wyposażona jest w przerywacze płomienia.



Rys. 16. Schemat biogazowni z kompostownią

- 1 — chlewnia, 2 — rurociąg gnojowicowy bezpośredniego zasilania z budynku, 3 — zbiornik wstępny, 4 — rurociąg zasilający, 5 — zbiornik gnojowicy przefermentowanej, 6 — rurociąg spustowy, 7 — komora fermentacyjna, 8 — przerywacz płomienia, 9 — odsiarczalnik, 10 — odwadniacz, 11 — gazomierz, 12 — przelew, 13 — rurociąg zasilający, 14 — rurociąg gazowy, 15 — piec c.o., 16 — bezpiecznik, 17 — przerywacz płomienia, 18 — zbiornik gazu, 19 — nagrzewnica, 20 — rurociągi mieszające, 21 — komory gnojowe, 22 — płyta kompostowa, 23 — wentylator; 24 — ciągnik z ładowaczem czołowym + rozrzutnik obornika

Źródło: Soliński 2001

Fig. 16. The diagram of biogas-works with a composting plant

Do oczyszczania gazu zastosowano dwa odsiarczalniki pracujące szeregowo oraz odwadniacz. Proces odsiarczania będzie polegał na przepuszczeniu gazu przez masę odsiarczającą, umieszczoną na półkach odsiarczalników. Głównym składnikiem masy odsiarczającej jest ruda darniowa. Licznik gazu umożliwia kontrolę jego produkcji. Gaz magazynowany jest w zbiorniku dzwonowym. Ciśnienie gazu wymagane do prawidłowej pracy przyborów wynosi 150—200 mm H₂O. Gaz ze zbiornika skierowany jest do kotła wodnego, którego praca jest zautomatyzowana. Kocioł przystosowany jest do wykorzystania dwóch źródeł energii: elektrycznej włączonej przy rozruchu i w wypadku awarii biogazowni oraz biogazu. Ciepła woda doprowadzana jest z kotła rurami stalowymi do nagrzewnicy komory. Ma ona za zadanie doprowadzić temperaturę gnojowicy do około 35°C i utrzymać w czasie procesu fermentacji. Stałą temperaturę gnojowicy w komorze zapewnia regulator temperatury (termostat). Pozostała część gazu będzie zużyta w przyborach gazowych gospodarstwa.

W celu maksymalnego ograniczenia oddziaływania odchodów zwierzęcych na środowisko opracowano w IBMER i wdrożono technologie produkcji kompostu z gnojowicy przefermentowanej. Technologia produkcji kompostu z gnojowicy polega na mieszaniu

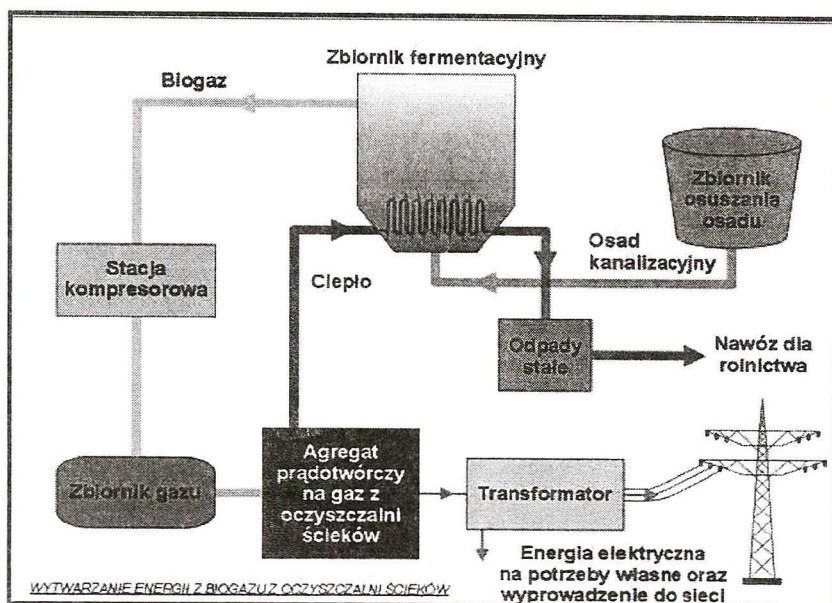
przefermentowanej gnojowicy w dwóch komorach gnojowych z dodatkami organicznymi, takimi jak pocięta słoma, torf, trociny i kora. Okres magazynowania (przechowywania) tej mieszaniny trwa około 3 miesiące. W wyniku fermentacji tej mieszaniny w komorach gnojowych powstaje masa z rozłożonymi częściami organicznymi. Po tym okresie masa ta zostaje przeładowana z jednoczesnym rozdrobnieniem na płytę kompostową. Na płycie tej następuje napowietrzanie kompostu w czasie około 1 miesiąca, w wyniku czego wywołana zostaje fermentacja tlenowa (50—60°C). Masa kompostowa jest po tym okresie przydatna do dalszej obróbki, która polega na mieszaniu z dodatkami mineralnymi, rozdrobnieniu i pakowaniu w pojemniki 5, 10 lub 50 l (Soliński 2001).

Najczęstszym wykorzystaniem biogazu pozyskiwanego z biogazowni rolniczych jest jego spalanie celem otrzymania energii cieplnej. Przy większych ilościach biogazu możliwa jest skojarzona produkcja energii elektrycznej przez generator napędzany silnikiem zasilanym biogazem i energii cieplnej jako energii odpadowej z chłodzenia silnika. Wykorzystanie biogazu do spalania eliminuje spalanie innych paliw, w tym węgla kamiennego, a tym samym zmniejsza emisję zanieczyszczeń do atmosfery (Soliński 2001).

4.4.3. Zastosowanie gazu fermentacyjnego (gaz z oczyszczalni ścieków)

Wraz ze wzrostem proekologicznej świadomości społeczeństwa polskiego oraz potrzebą modernizacji starych oczyszczalni ścieków i niewątpliwą koniecznością budowy nowych, wzrasta zainteresowanie biogazem powstałym w wyniku utylizacji osadów ściekowych. Biogazownie zlokalizowane są na terenie oczyszczalni ścieków, a utylizacja osadów dokonuje się w zamkniętym zbiorniku fermentacyjnym w sposób ciągły. Biomasa osadów pościekowych w procesie fermentacji przetwarzana jest w gazy (metan i dwutlenek węgla) i osady pofermentacyjne. Powstałe osady pofermentacyjne mają dużo mniejszą objętość od osadów świeżych. Nie podlegają też procesom gnilnym i łatwo wysychają, dlatego ich składowanie jest mniejszym problemem dla oczyszczalni ścieków. W świeżych osadach związki organiczne stanowią około 60%. Z 1 kg substancji organicznej można uzyskać 0,4 m³ biogazu. Biogaz produkowany w tych biogazowniach w większości przypadków zużywany jest do produkcji energii cieplnej wykorzystywanej do ogrzewania komory fermentacyjnej oraz na inne potrzeby oczyszczalni. W biogazowniach przetwarzających większe ilości osadów, a tym samym produkujących większe ilości biogazu, stosuje się go do napędów agregatów prądotwórczych. Wytworzona energia elektryczna wykorzystywana jest do celów własnych, a nadmiar sprzedawany jest do sieci energetycznej.

Zastosowanie zestawów kogeneracyjnych w oczyszczalniach ścieków jest jedną z najbardziej ekonomicznych metod pozyskiwania energii, gdyż gaz ze ścieków jako produkt uboczny najczęściej jest bezproduktywnie spalany. Osady kanalizacyjne są produktami odpadowymi powstającymi w procesie mechanicznego, biologicznego i chemicznego oczyszczania, na końcu którego ulegają wysuszeniu. Wysuszony osad (rys. 17) jest przekazywany do zbiornika fermentacyjnego, gdzie następuje proces beztlenowej fermentacji,



Rys. 17. Schemat wytwarzania energii z biogazu z oczyszczalni ścieków

Źródło: Strona internetowa — www.ferox.com.pl/...

Fig. 17. Production flow chart of the energy from biogases generated in waste-water treatment plant

w efekcie którego uwalnia się biogaz zawierający metan. Odgazowane osady kanalizacyjne są usuwane ze zbiornika fermentacyjnego, chwilowo składowane, wysuszone i kompostowane, a następnie przekazywane na odpowiednie cele, np. jako nawóz dla rolnictwa. Produkt końcowy w postaci biogazu składa się średnio z:

- ✧ 50—60% metanu (CH_4),
- ✧ 30—40% dwutlenku węgla (CO_2),
- ✧ małych ilości gazów śladowych.

Biogaz podlega sprężaniu — w przypadku dużej ilości substancji toksycznych również oczyszczaniu — a następnie przejściowo jest przechowywany w zbiorniku gazu. Stąd biogaz jest przekazywany pod stałym ciśnieniem do układu kogeneracyjnego. Silnik gazowy zamienia energię skumulowaną w biogazie na energię mechaniczną i ciepłą. Energia mechaniczna wykorzystywana jest do napędu generatora synchronicznego, który wytwarza energię elektryczną na pokrycie własnych potrzeb oczyszczalni. Nadwyżka energii elektrycznej może być przekazana do publicznej sieci elektroenergetycznej.

Ciepło powstające w silniku zostaje spożytkowane do podgrzewania osadu ściekowego w komorze fermentacyjnej do temperatury 32—34°C, co wspomaga produkcję biogazu, oraz jest doprowadzane do instalacji grzewczej oczyszczalni. Jeżeli występuje jego nadmiar — co często zdarza się w przypadku dużych instalacji — ciepło o wysokiej temperaturze, pochodzące z chłodzenia układu wylotowego spalin, może zostać użyte do pasteryzacji lub suszenia osadu ściekowego. Może również zostać przekazane do publicznej sieci ciepłowniczej (Strona internetowa — www.ferox.com.pl/...).

4.4.4. Zamiana gazów pochodzących ze składowisk odpadów komunalnych na energię elektryczną

Statystyczny Polak do niedawna produkował około 210 kg odpadów rocznie. Liczba ta obejmuje tylko odpady trafiające na wysypiska. W latach 1997—1998 wyrzucił już 290 kg o objętości 2,34 m³. Objętość śmieci wzrosła, ponieważ zwiększyła się ilość papieru i plastikowych opakowań (Forowicz 2002).

Właściwie zagospodarowane składowisko odpadów komunalnych może stać się źródłem taniej energii odnawialnej — gazu wysypiskowego. Rozkład substancji organicznych przez mikroorganizmy rozpoczyna się w kilka miesięcy po złożeniu odpadów na wysypisku śmieci.

Gaz wydzielający się w sposób niekontrolowany utrudnia i przeciwdziała systematycznej i szybkiej rekultywacji wysypiska.

Według opracowania dr. Stefana Opęchowskiego „Gaz z wysypisk komunalnych” wydanego przez Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w 1994 r., odpady składowane na wysypisku są mieszaniną materiałów organicznych i nieorganicznych o różnej wilgotności. Jeżeli zostaną stworzone odpowiednie warunki składowania, tj. ugniatanie i przykrywanie warstwy odpadów ziemią lub innym materiałem obojętnym, to okres w którym podlegają one działaniu tlenu i światła jest bardzo krótki, co stwarza warunki dla zachodzenia procesów rozkładu anaerobowego (beztlenowego). Rozkład ten jest następstwem szeregu spontanicznie zachodzących procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych. Rozkład fizyczny polega na wymywaniu poszczególnych składników z odpadów i zmianie właściwości fizycznych w wyniku rozkładu. Rozkład chemiczny polega na rozpuszczeniu składników w odciekach. Największy udział w procesach rozkładu ma rozkład biologiczny. Ponadto procesy biologiczne wywierają bezpośredni wpływ na przebieg procesów chemicznych i fizycznych poprzez zmianę takich czynników jak PH i potencjał redox. Zostało stwierdzone, że średnio 75% odpadów miejskich stanowią biodegradowalne materiały organiczne. Substancje organiczne zawarte w odpadach znacznie różnią się między sobą szybkością rozkładu. Szybkiej degradacji (ok. 1 rok) ulegają odpady żywnościowe. Odpady ogrodowe należą do grupy o średnim okresie półtrwania — 5 lat. Papier, tektura, drewno, odpady włókiennicze ulegają powolnemu rozkładowi przez około 15 lat. Natomiast tworzywo sztuczne, skóra, guma nie ulegają degradacji. Stwierdzono, że 91% metanu powstającego na wysypisku pochodzi z rozkładu odpadów celulozowych, 8,4% z organicznych związków azotowych i 0,5% z cukrów (Wołoszyn, Strona internetowa — [www.tnz.most.org.pl/...](http://www.tnz.most.org.pl/)).

4.4.4.1. Stabilizacja biologiczna wysypiska

Proces powstawania biogazu na wysypisku i jego skład związany jest z czterema fazami rozkładu materii organicznej:

- 1) rozkład aerobowy,
- 2) rozkład anaerobowy, lecz jeszcze nie metanogeny,

3) rozkład metanogeny niestabilny,

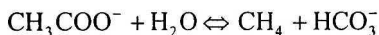
4) rozkład metanogeny stabilny.

W fazie I powstaje dwutlenek węgla w ilościach w przybliżeniu ekwimolarnych w stosunku do pochłoniętego tlenu. Po wyczerpaniu się tlenu produkcja gazu przechodzi w fazę II, w której zaczynają przeważać procesy anaerobowe. Czynnikiem utleniającym zamiast tlenu stają się jony azotowe i siarczanowe. Następuje wzrost zawartości dwutlenku węgla i powstawanie kwasów organicznych. W III fazie pojawiają się warunki sprzyjające powstawaniu metanu. Potencjał redox nadal maleje. Zanika wodór i azot. Zawartość dwutlenku węgla zmniejsza się do wielkości odpowiadającej końcowemu stanowi równowagi. Szybko wzrasta ilość powstającego metanu. Pierwsze trzy fazy mogą trwać w zależności od rodzaju wysypiska od 50 do 500 dni. W fazie IV skład gazu i jego szybkość wydzielania się pozostają w przeważającej ilości przypadków stałe. Faza trwa zazwyczaj 10–20 lat z tendencją do nieznacznego spadku szybkości powstawania biogazu (Soliński 2001).

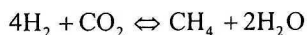
4.4.4.2. Mechanizm powstawania metanu

Powstawanie metanu rozpoczyna się w środowisku beztlenowym przy udziale mikroorganizmów powodujących ten proces. Cechuje się dynamiczną koegzystencją różnych gatunków powiązanych łańcuchem żywieniowym. Pierwsza grupa bakterii fermentacyjnych jest odpowiedzialna za hydrolizę złożonych surowców spożywczych przez egzoenzymy, czego efektem jest powstanie prostych cukrów, aminokwasów i kwasów tłuszczowych. Monomery te są następnie przetwarzane przez te same lub inne bakterie na różne związki pośrednie (z jednej strony octany i wodór, z drugiej natomiast propioniany, maślane, waleriany, mleczany, kaproniany i etanol).

Druga grupa bakterii produkuje octany i wodór z poprzednio powstałych produktów pośrednich — z substancji organicznych zawierających azot produkują jony amonowe, a z zawierających siarkę — jony wodorosiarczkowe HS^- . Trzecia grupa mikroorganizmów — bakterie metanogenne, produkują metan na drodze hydrolizy octanów:



lub poprzez redukcję dwutlenku węgla wodorem:



Stwierdzono, że metan może powstawać nie tylko z wodoru i dwutlenku węgla, lecz także z mrówczanów, metanolu i metyloamin. Bakterie metanogenne są bardziej wrażliwe na warunki środowiskowe od innych mikroorganizmów obecnych w ekosystemie. Ze względu na to, że warunki występujące na wysypisku nie zawsze są optymalne, ilość powstającego gazu może wynosić jedynie 35–75% wartości teoretycznej (Soliński 2001).

Powstawanie metanu zachodzi najefektywniej w dwóch przedziałach temperatur:

- ✧ mezofilowym — 30—37%,
- ✧ termofilowym — 50—65%.

Przy zmniejszaniu temperatury do 20°C powstawanie metanu i wzrost organizmów metanogennych zachodzi coraz wolniej. Optymalne pH dla procesów metanogenezy wynosi 6,8—8,5. Metanogeneza zachodzi tylko wówczas, gdy zawartość wilgoci w odpadach przekracza 50%. Zawartość wilgoci jest prawdopodobnie najważniejszym czynnikiem wpływającym na proces powstawania biogazu. Ważnym czynnikiem oddziałującym na szybkość degradacji jest gęstość składowanych odpadów. W przypadku niskiej gęstości ilość powietrza zawartego w masie odpadów jest znaczna i wytworzenie oraz utrzymanie warunków anaerobowych jest trudne do osiągnięcia. Gęstość śmieci może oddziaływać na powstanie gazu wysypiskowego również wskutek wpływu na wielkość ciśnienia wewnętrznego. Stwierdzono, że ciśnienie gazu wewnątrz odpadów do głębokości 25 m jest tylko nieznaczne (0,1%) wyższe od ciśnienia atmosferycznego (Strona internetowa — www.tnz.most.org.pl/...).

4.4.4.3. Skład fizykochemiczny gazu wysypiskowego

Skład gazu wysypiskowego uzależniony jest od wieku wysypiska, sposobu składowania i rodzaju odpadów. Zazwyczaj gaz wysypiskowy zawiera 40—60% obj. metanu i 60—40% obj. dwutlenku węgla. Inne gazy — jak azot, wodór, tlenek, węgla tlen, amoniak i siarkowodór — są obecne jedynie w małych ilościach. Najbardziej cenną właściwością gazu wysypiskowego jest jego wartość energetyczna związana z zawartością metanu. Przyjmuje się, że średnia wartość opałowa gazu wysypiskowego wynosi 12—20 MJ/m³.

Przeciętnie gaz wysypiskowy posiada względną gęstość w stosunku do powietrza około 1,04 i jako cięższy ma tendencję do gromadzenia się przy powierzchni. Eksplozywność gazu wysypiskowego jest związana głównie z obecnością metanu, który jest bezbarwny, bez zapachu i palny, o wartości opałowej 35 900 kJ/m³.

Zawartość metanu w powietrzu w granicach 5—15% obj. powoduje powstanie mieszaniny wybuchowej. Powyżej górnej granicy mieszaniny metanu z powietrzem pali się, jeżeli zostanie zapalona, lecz bez niebezpieczeństwa eksplozji. Rozpuszczalność metanu w wodzie wynosi 60 mg/l. Metan jest gazem nietoksycznym, lecz może wypierać tlen z otoczenia gleby stwarzając ryzyko uduszenia.

Drugim pod względem znaczenia składnikiem gazu wysypiskowego jest dwutlenek węgla; gaz bezbarwny, bezwonny, nietoksyczny, gęstszy od powietrza. Jest groźny dla życia wskutek wypierania tlenu z układu oddechowego.

Wodór powstaje we wczesnych etapach biodegradacji substancji organicznych. Jest nietoksyczny, lecz może działać jako środek duszący wskutek wypierania tlenu. Jako gaz najlżejszy, szybko uchodzi do atmosfery. Jest gazem palnym i posiada szerokie granice wybuchowości w powietrzu (4—74% obj.).

Azot i tlen znajdują się w gazie wysypiskowym tylko wówczas, gdy powietrze może penetrować poprzez odpady (Strona internetowa — www.tnz.most.org.pl/...).

Gaz wysypiskowy może powodować liczne zagrożenia należące do pięciu kategorii:

- ✧ zagrożenia dla roślin — degradacja strefy ukorzenienia,
- ✧ zagrożenia dla budowli — osiadanie, wybuchy, pożary,
- ✧ zagrożenia dla ludzi — nieprzyjemny zapach, niedotlenienie, działanie toksyczne, wybuchy lub pożary,
- ✧ zanieczyszczenie wód gruntowych,
- ✧ zagrożenie dla atmosfery, zanieczyszczenie powietrza (Soliński 2001).

Każde z tych zagrożeń może obejmować teren samego wysypiska i jego otoczenia.

Zagrożenia dla roślin — składniki gazu wypierają powietrze, wytwarzają warunki beztlenowe, powodujące w konsekwencji uduszenie lub zatrucie.

Zagrożenie dla budowli — osiadanie wysypisk i powstawanie gazu wywierają niekorzystny wpływ na różne budowle wzniesione na wysypisku lub w jego pobliżu. Rozmiary osiadania zależą od rodzaju odpadów, stosunku ilości użytego przykrycia do ich objętości oraz gęstości powstałej w wyniku ugniecenia. Im materiału przykrywającego jest więcej i im większa jest gęstość odpadów, tym osiadanie jest mniejsze. Przy gęstości 0,6 t/m³ stopień osiadania sięga 35%, natomiast przy gęstości odpadów powyżej 1 t/m³ osiadanie jest mało prawdopodobne (Strona internetowa — [www.tnz.most.org.pl/...](http://www.tnz.most.org.pl/)).

Pożary — zagrożenie samozapłonem na wysypiskach wzrasta, jeżeli nie zostaną poczynione działania mające na celu odzysk gazu wysypiskowego lub kontroli jego emisji.

Wybuchy — zagrożenie związane jest ze zdolnościami gazu wysypiskowego do tworzenia mieszanin wybuchowych z powietrzem i łatwością migracji ze składowiska do obszarów przyległych. Właściwości wybuchowe są wynikiem obecności metanu, wodoru, tlenu węgla i siarkowodoru. Krytyczne stężenie metanu z powietrzem wynosi 5—15% objętości w zamkniętej przestrzeni. Zagrożenie metanem staje się duże, gdy gaz nie może przedostać się w sposób naturalny do atmosfery lub nie jest odzyskiwany.

Zagrożenie dla ludzi

Wydzielanie się gazu wysypiskowego powoduje powstawanie narastającego zagrożenia dla ludzi:

- ✧ uciążliwy zapach — za odór odpowiedzialne są składniki śladowe wchodzące w skład gazu wysypiskowego, występujące w ilościach około 1% (substancje toksyczne). Zapachy wysypiskowe powodują raczej pogorszenie jakości środowiska niż zagrożenie toksykologiczne. Powstawanie i rozprzestrzenianie się zapachów jest najbardziej dokuczliwe we wczesnych etapach rozkładu odpadów;
- ✧ działanie toksyczne i duszące — składniki gazu wysypiskowego, jak metan, wodór, azot oraz dwutlenek węgla, stwarzają zagrożenie dla zdrowia ludzkiego działając dusząco. Związki te zajmują miejsce tlenu we wdychanym powietrzu w pomieszczeniach zamkniętych. Gdy stężenie tlenu spadnie poniżej 16%, szybkość oddychania wzrasta, a poniżej 10% — brak tlenu może spowodować trwałe uszkodzenie mózgu;

- ✧ wybuchy i pożary — zagrożenia środowiska związane z gazem wysypiskowym powodowane są jego palnością i zdolnością do tworzenia mieszanin wybuchowych z powietrzem oraz łatwością migracji z wysypiska do obszarów sąsiadujących, gdzie może spowodować wybuch daleko od miejsca powstania (Strona internetowa — [www.tnz.most.org.pl/...](http://www.tnz.most.org.pl/)).

Zanieczyszczenie wód — stopień zanieczyszczenia wód gruntowych zależy przede wszystkim od ich odległości od składowanych odpadów oraz charakteru i ilości zanieczyszczeń powstających na wysypisku. Możliwość degradacji wód przez wysypisko jest bezpośrednio związana z geologiczną i hydrologiczną charakterystyką terenu. Do czynników geologicznych należą: rodzaj gleby i podłoża skalnego oraz zdolność do zatrzymania przemieszczania się gazu i odcieków. Czynniki hydrologiczne to: położenie wód gruntowych, ich przepływ, ilość i intensywność opadów atmosferycznych oraz możliwość kontroli wód powierzchniowych i ich odprowadzania. Gazy powstające na wysypisku w różnym stopniu wpływają na jakość wód gruntowych. Dwutlenek węgla z uwagi na dobrą rozpuszczalność w wodzie może być głównym czynnikiem zanieczyszczającym. Powstający kwaśny i nasycony roztwór przyspiesza korozję żelaza i stali oraz powoduje rozpuszczanie ołowiu. Wzrost twardości wód spowodować może CO₂, gdy napotka materię nieorganiczną zawierającą węglan wapnia oraz rozpuszczone sole uwięzione w strukturze krystalicznej węglanu wapnia (Soliński 2001).

Wzmożenie efektu cieplarnianego — oddziaływanie gazu wysypiskowego na środowisko nie ogranicza się do skali mikro, lecz występuje również w skali makro w postaci zanieczyszczeń powietrza oraz wpływu na wzrost efektu cieplarnianego w wyniku wnikania wydzielonego gazu do warstwy ozonowej. Efekt cieplarniany polega na globalnym podwyższeniu się temperatury atmosfery ziemskiej wskutek wzrostu stężenia gazów takich jak dwutlenek węgla, metan, tlenek azotu i chlorofluorowęglowce. Siła promieniowania metanu jest dużo większa od dwutlenku węgla. Działanie metanu jest aż 20—25 razy silniejsze od dwutlenku węgla. (Strona internetowa — [www.tnz.most.org.pl/...](http://www.tnz.most.org.pl/)).

4.4.4.5. Gospodarka odciekami

Wody opadowe infiltrując przez złożę odpadów tworzą odcieki o silnym ładunku zanieczyszczeń. Odcieki zawierają głównie związki azotu i fosforu, stąd ich charakterystyczną cechą jest duże zapotrzebowanie biologiczne i chemiczne tlenu. Stężenie odcieków zależy od rodzaju odpadów, ich podatności na rozpuszczanie, chemiczny i biologiczny rozkład oraz ilości przepływającej przez nie wody.

Ilość odcieków określa się w uproszczeniu następującym wzorem:

$$Q = N - O_p - P \quad [\text{mm/m}^2]$$

gdzie: Q — ilość odcieków,
 N — przeciętny roczny opad na jednostkę powierzchni składowiska,
 O_p — spływ powierzchniowy na jednostkę powierzchni składowiska,
 P — wielkość ewapotranspiracji (parowania) na jednostkę powierzchni składowiska.

Przyjmuje się, że ilość odcieków stanowi 20—50% wielkości opadu średniorocznego, dolne wartości odnoszą się do składowisk wyposażonych w kompaktory, górne w spycharki gąsienicowe.

TABELA 10. Stopień koncentracji odcieków ze składowisk odpadów komunalnych w porównaniu z wartościami dopuszczalnymi

TABLE 10. Concentration level of syrup coming from municipal waste dumps in comparison to admissible values

Lp.	Wskaźnik	j.m.	Ocieki średnio	Wartości dopuszczalne w ściekach wprowadzonych	
				do kanalizacji miejskiej	do wód i do ziemi
1.	Odczyn wód	pH	3,9—9,0	6,5—9,0	6,5—9,0
2.	BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	1 500	700	30
3.	ChZT	mg O ₂ /dm ³	5 000	1 000	150
4.	Chlorki	mg Cl/dm ³	2 000	400	1 000
5.	Siarczany	mg SO ₄ /dm ³	300	300	500
6.	Azot amonowy	mg N/dm ³		6	6
7.	Zawiesiny ogólne	mg/dm ³			50

Źródło: Lemański 1993

Ocieki ze składowisk odpadów charakteryzują się w porównaniu ze ściekami komunalnymi wysoką koncentracją składników organicznych i nieorganicznych. Stopień koncentracji waha się jednak mocno w zależności od rodzaju i składu odpadów, wieku składowiska oraz od metody jego zakładania. Wody gruntowe i wody powierzchniowe należy chronić przed dostępem wód odciekowych i stale nadzorować pod kątem wystąpienia możliwych zanieczyszczeń.

Ocieki na składowisku przechwytywane są przez system drenażu. Przeważnie drenaż wykonywany jest z rur drenażowych o średnicy 30 cm wykonanych z HDPE, ułożonych w warstwie filtracyjnej z gruboziarnistego żwiru 8/32 mm — 16/32 mm. Warstwa drenażowa chroniona jest zazwyczaj geowłókniną filtracyjną zatrzymującą ziarniste zanieczyszczenia wytrącane ze złoża odpadów.

Ujmowane drenażem ocieki za pośrednictwem studzienek zbiorczych zbiornika bezodpływowego mogą być kierowane do miejskiej oczyszczalni ścieków, do lokalnej oczyszczalni lub recyrkulacją na złożo odpadów. Recyrkulacja odcieków na złożo odpadów intensyfikuje procesy rozkładu substancji organicznej odpadów w warunkach beztlenowych i przyspiesza wdrażanie stabilnej fazy metanogennej. W Finlandii i Szwecji dużą wagę przywiązuje się do oczyszczania odcieków w warunkach naturalnych (Strona internetowa — www.otzo.most.org.pl/...).

Z punktu widzenia ochrony środowiska najistotniejszym zagadnieniem jest zapewnienie bezpiecznej eksploatacji i usunięcie zagrożeń stwarzanych przez gaz wysypiskowy w trakcie działania wysypiska oraz po jego zamknięciu. Nie można też pomijać potencjalnych ekonomicznych i energetycznych aspektów odzysku gazu. Metr sześcienny gazu wysypiskowego o składzie 60% metanu i 40% dwutlenku węgla może zastąpić około 0,5 l oleju napędowego. Wartość opałowa gazów wysypiskowych wynosi około $5 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{Nm}^3$, co stanowi połowę wartości opałowej gazu ziemnego. Techniki odgazowania wysypisk są powszechnie znane i wiele firm oferuje usługi w tym zakresie. Optymalny sposób odgazowania danego wysypiska zależy od:

- ✧ wielkości wysypiska,
- ✧ grubości warstwy odpadów,
- ✧ czasu składowania,
- ✧ sposobu uszczelnienia wysypiska,
- ✧ aktualnego stanu wysypiska (użytkowane, zamknięte, rekultywowane),
- ✧ stopnia zagrożenia migracją.

Jeżeli system odgazowania został prawidłowo dobrany, zaprojektowany i wykonany, to możliwy jest odbiór do 70% gazu powstającego w wysypisku. W przypadku pełnego uszczelnienia zarówno podłoża, jak i powierzchni wysypiska można uzyskać jeszcze wyższą sprawność odgazowania (Soliński 2001). Do gospodarczego wykorzystania gazu wysypiskowego najlepiej nadają się ujęcia, które pozwalają na odgazowanie czynne wysypiska. Ujęty gaz wysypiskowy obecnie najczęściej utylizowany jest przez spalanie w pochodni lub jest emitowany do atmosfery. Nowoczesna technologia przewiduje odgazowanie wysypisk odpadów komunalnych wraz z utylizacją pozyskanego biogazu w procesie wytwarzania energii elektrycznej. Instalacja składająca się z silnika spalinowego na paliwo gazowe sprzęgniętego z generatorem stwarza warunki równoległego pozyskiwania i wykorzystania ciepła odpadowego, jakie powstaje w trakcie wytwarzania energii elektrycznej. Odpowiednia instalacja może zostać wykorzystana również do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej z gazu powstającego w procesie technologii osadów w oczyszczalniach ścieków. Wówczas uzyskane równoległe ciepło odpadowe zostaje zużyte do celów technologicznych oczyszczalni (Strona internetowa — www.tnz.most.org.pl/...).

Wytwarzanie się biogazu w złożu wysypiskowym jest spontanicznym procesem biochemicznym powodującym, że wewnątrz wysypiska podwyższa się temperatura i ciśnienie. Gazy w wyniku ruchów konwekcyjnych opuszczają wysypisko, głównie do atmosfery, a jeżeli wysypisko nie jest uszczelnione, to również do otaczającego gruntu.

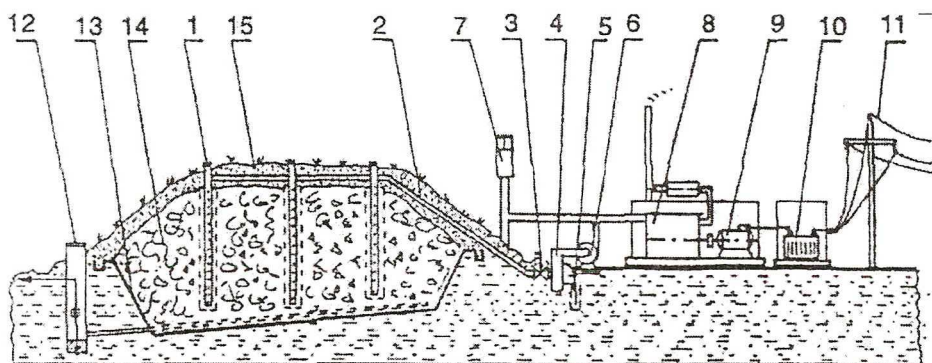
Przedstawiona sytuacja nasuwa dwa zasadnicze sposoby postępowania przy odprowadzaniu gazu z wysypiska:

- ✧ odgazowanie bierne — gaz wysypiskowy zostaje za pomocą własnego ciśnienia odprowadzony z bryły składowiska do urządzeń unieszkodliwiających;
- ✧ odgazowanie aktywne — gaz zostaje z bryły składowiska odessany za pomocą odpowiednich urządzeń wydobywczych.

Znacznie poważniejszy problem stanowi wybranie sposobu postępowania z odebrany z wysypiska gazem. Związane jest to z koniecznością poniesienia stosunkowo wysokich nakładów inwestycyjnych oraz znalezienia odbiorcy przetworzonej energii zawartej w gazie.

Możliwe są następujące kierunki ostatecznego unieszkodliwiania lub wykorzystania gazu:

1. Wentylacja (odprowadzanie do atmosfery — bez odzysku, zagrożenie wybuchem, zapachem, wpływ na wzrost efektu cieplarnianego);
2. Spalanie w pochodniach (bez odzysku, mniejsze zagrożenie wybuchem i zapachem);
3. Bezpośrednie spalanie (produkcja ciepła);
4. Paliwo silnikowe (energia mechaniczna z odzyskiem ciepła lub bez) (rys. 18);
5. Paliwo do turbin (energia elektryczna z odzyskiem ciepła lub bez);
6. Paliwo do pojazdów (odzysk energii mechanicznej);
7. Dostarczanie gazu do sieci;
8. Produkcja chemikaliów.



Rys. 18. Schemat aktywnego odgazowania wysypiska odpadów komunalnych

- 1 — studnia gazowa, 2 — rurociąg gazowy, 3 — armatura regulacyjno-odcinająca, 4 — kolektor,
 5 — odwadniacz, 6 — ssawa gazowa, 7 — pochodnia, 8 — silnik gazowy, 9 — generator, 10 — transformator,
 11 — sieć, 12 — studnia odcieków, 13 — uszczelnienie, 14 — złoża odpadów, 15 — warstwa
 rekultywacyjno-uszczelniająca

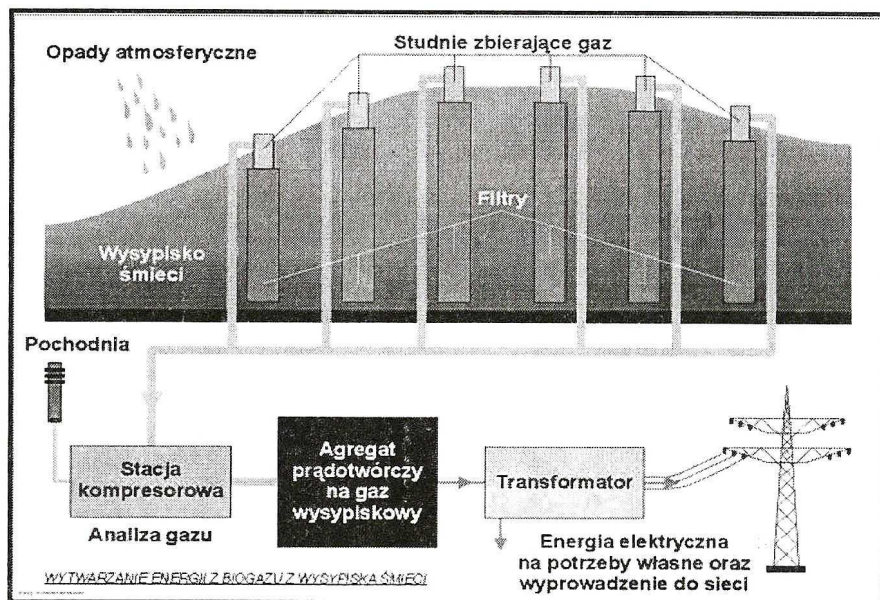
Źródło: Soliński 2001

Fig. 18. Flow sheet on the active outgassing of a municipal waste dump

Jak wynika z powyższego zestawienia, potencjalne kierunki zastosowania gazu wysypiskowego są w zasadzie takie same jak biogazu pochodzącego z innych źródeł. Możliwość zastosowania poszczególnych opcji są jednak różne w obu przypadkach. Odmienność gazu wysypiskowego przejawia się w dużych jego ilościach powstających w danym miejscu oraz obecności znaczących ilości zanieczyszczeń, a szczególnie związków organicznych zawierających chlorowce. Ilości biogazu, które mogą być uzyskane z wysypiska są znacznie większe niż powstające na fermach czy w procesach przemysłowych, których jednym z efektów jest powstawanie metanu. Wiele problemów może stwarzać obecność w gazach odlotowych po spalaniu gazu wysypiskowego, związków takich jak: dioksyny, furany, tlenki

azotu, tlenu węgla oraz niespalone węglowodory. Dla zapewnienia całkowitego spalania gazu wysypiskowego temperatura powinna być o 150—250°C wyższa od temperatury samozapłonu. Za minimalną uważa się zazwyczaj temperaturę 800°C. Podwyższenie temperatury do 1000—1100°C podnosi efektywność rozkładu węglowodorów śladowych. Czas przebywania w komorze spalania dla lotnych substancji organicznych niezbędny dla ich całkowitego rozkładu wynosi 0,25—2 s (Soliński 2001).

Przykładem zastosowania gazu wysypiskowego, jak już wcześniej wspomniano, jest m.in. przetwarzanie go na cele energetyczne własne lub lokalnej sieci energetycznej, co przedstawia poniżej umieszczony rysunek 19.



Rys. 19. Wywarzanie energii z biogazu z wysypiska śmieci

Źródło: Strona internetowa — <http://www.ferox.com.pl/>...

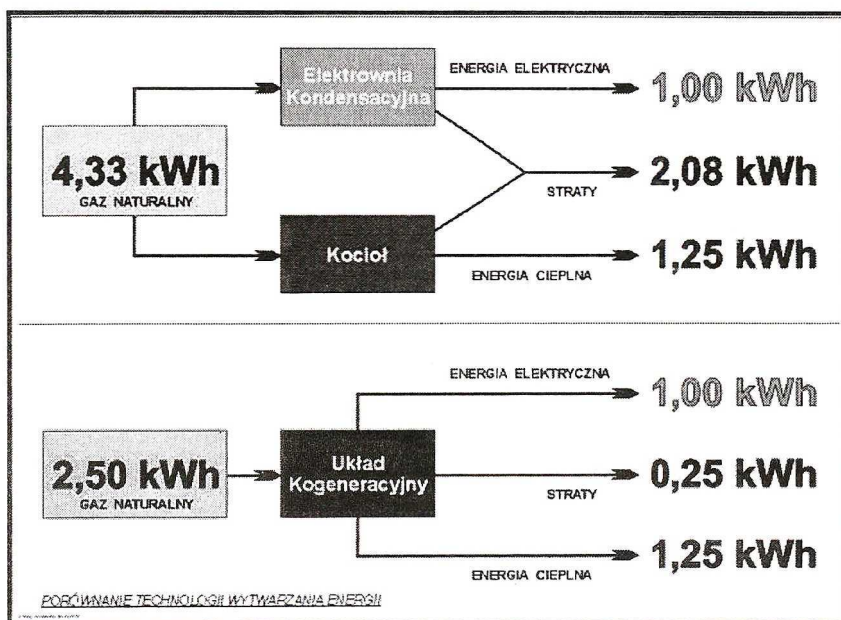
Fig. 19. Biogas – derived energy production from a waste dump

W znacznym uproszczeniu przebieg procesu wygląda następująco. Biogaz podlega sprężaniu — w przypadku dużej ilości substancji toksycznych, również oczyszczaniu — a następnie jest przekazywany pod stałym ciśnieniem do układu kogeneracyjnego. Silnik gazowy zamienia energię skumulowaną w biogazie na energię mechaniczną i ciepłą. Energia mechaniczna wykorzystywana jest do napędu generatora synchronicznego, który wytwarza energię elektryczną. Ta natomiast może zostać wykorzystana na pokrycie potrzeb własnych wysypiska. Produkowana energia elektryczna może być również sprzedawana do publicznej sieci elektroenergetycznej (Strona internetowa — <http://www.ferox.com.pl/>...).

Jeżeli na terenie wysypiska lub w okolicznych budynkach istnieje zapotrzebowanie na ciepło, można w jeszcze większym stopniu poprawić opłacalność systemu przeznaczanego do pracy na wysypisku dzięki opcji kogeneracyjnej. **Układy kogeneracyjne** pozwalają na

produkcję energii elektrycznej i ciepłej w skojarzeniu (kogeneracja) w tak zwanych systemach zdecentralizowanych — to znaczy tam, gdzie istnieje zapotrzebowanie na obie formy energii. Układy kogeneracyjne posiadają optymalną sprawność transformacji energii przy minimalnym zanieczyszczeniu środowiska. Straty powstają zwykle na skutek wydzielania się ciepła. Z tego powodu za efektywne, termodynamiczne przetworniki energii uważa się tylko te, które dostarczają moc (najczęściej stosowaną do produkcji energii elektrycznej) i ciepło. Moc ta może być również wykorzystana do bezpośredniego napędu urządzeń takich jak pompy, sprężarki (np. w chłodniach) itp. Energia potrzebna do funkcjonowania układu wytwarzającego energię elektryczną i ciepłą w skojarzeniu stanowi mniej więcej jedną trzecią wartości energii w porównaniu z technologią oddzielnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej (Strona internetowa — <http://www.ferox.com.pl/>...).

Układy wytwarzające energię elektryczną i ciepłą w skojarzeniu nie muszą być włączone do centralnej sieci ciepłej, a z powodzeniem mogą być stosowane w sieci lokalnej z możliwością wytwarzania energii elektrycznej do pokrycia zapotrzebowania w obrębie regionu i/lub do eksportowania jej do sieci. Układy te dają również możliwość zastąpienia lub uzupełnienia istniejących ciepłowni. Całkowity stopień sprawności układów kogeneracyjnych zbudowanych w oparciu o silniki gazowe wynosi około 90%. Ponieważ układy kogeneracyjne umiejscowione są zazwyczaj w sąsiedztwie użytkowników, to straty wynikające z przesyłu i dystrybucji energii są mniejsze niż w przypadku funkcjonowania zakładów scentralizowanych, produkujących prąd i ciepło w rozdzielaniu.



Rys. 20. Porównanie technologii wytwarzania energii
Źródło: Strona internetowa — <http://www.ferox.com.pl/>...

Fig. 20. Comparison of the energy production technologies

Skojarzona produkcja energii elektrycznej i ciepłej możliwa jest przy wykorzystaniu silników i turbin gazowych, przy czym wyższą sprawność elektryczną i stosunkowo niższe koszty inwestycji osiągamy stosując silniki. Turbiny mogą być wykorzystane w sposób bardziej ekonomiczny z zachowaniem stałej, wysokiej wartości ciepłej przy temperaturze ponad 110°C lub po podłączeniu do systemu o dużej mocy (Strona internetowa — <http://www.ferox.com.pl/...>).

Biogaz — twierdzą specjaliści — zaczyna się wydzielać w dużych ilościach już po 4—5 latach od rozpoczęcia wykorzystywania wysypiska. Wtedy też można rozpocząć jego eksploatację do celów energetycznych. Jeszcze w 25—30 lat po zakończeniu składowania na wysypisku śmieci biogaz może być wykorzystywany (Forowicz 2002).

A zatem składowiska komunalne są i zawsze będą nieodłącznym elementem systemów gospodarki odpadami. Rozróżnia się dwa zasadnicze rozwiązania składowisk odpadów:

- ✧ składowisko w postaci reaktora biochemicznego, który produkuje możliwe do przewidzenia pod względem ilości i jakości oraz czasu trwania zanieczyszczenia w postaci ciekłej i gazowej,
- ✧ składowisko w formie ostatecznego magazynu, który przyjmuje od początku eksploatacji odpady mające właściwości zbliżone do gruntów naturalnych. Składowane są na nich głównie pozostałości po wcześniejszych procesach przerobu i unieszkodliwiania, np. po spalaniu, zestalaniu, kompostowaniu.

Celem, do którego się zmierza, jest unikanie budowy nowych składowisk — reaktorów i zdecydowane dążenie do realizacji wyłącznie składowisk ostatecznych magazynów, a więc obiektów nieuciążliwych dla środowiska. Na takich założeniach oparte są obecne regulacje prawne wprowadzane w krajach UE (Strona internetowa — www.otzo.most.org.pl).

4.4.4.7. Efekty wykorzystania biogazu ze składowiska odpadów komunalnych na przykładzie Składowiska Odpadów Komunalnych „Barycz”

Najlepszy efekt odgazowania wysypiska można uzyskać, jeśli ujęty biogaz będzie przedmiotem gospodarczego wykorzystania. Jak wskazują obecne doświadczenia, biogaz z wysypisk może być użyty do celów grzewczych w kotłowniach centralnego ogrzewania oraz dla przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ten rodzaj użytkowania biogazu limitowany jest zawartością metanu w biogazie, która wynosi około 50%. Skład ten z uwagi na wybuchowość może się zmieniać tylko w niewielkich granicach, musi zatem być kontrolowany. Istnieje możliwość, w przypadku większych wahań zawartości metanu, wzbogacania biogazu przez dodanie gazu ziemnego. Istnieje również możliwość wykorzystania biogazu z wysypisk do wytwarzania energii elektrycznej przy zastosowaniu silników Diesla, przy współczynniku sprawności około 0,3. W tym przypadku występuje jednakże duża ilość odpadowej energii ciepłej (z chłodzenia agregatu), która winna być wykorzystana jako ciepła woda użytkowa. W ten sposób można uzyskać współczynnik sprawności około 0,8. Jest to bardzo korzystne z punktu widzenia ekonomicznego. Są również badane możliwości wykorzystania biogazu do zasilania silników transportu samochodowego.

Efekty ekologiczne wykorzystania biogazu z wysypisk są oczywiste. Jeśli wysypisko nie jest uszczelnione, biogaz przedostaje się do atmosfery, a jego podstawowy składnik metan jest jednym z gazów wpływających na powstanie dziury ozonowej. Biogaz zbiera się w nadmiernych ilościach w warstwie przypowierzchniowej, a wchodzący w jego skład metan powoduje zamieranie systemu korzeniowego roślin, stwarzając również niebezpieczeństwo wybuchu. Poza tym pozyskanie biogazu z wysypisk zmniejsza trudne do zmierzenia zanieczyszczenie środowiska substancjami zapachowymi. Efekt ekologiczny powstaje zatem na skutek zmniejszania emisji biogazu do atmosfery w wyniku odgazowania składowiska i spalania ujętego metanu. Są to korzyści w środowisku atmosferycznym, które przejawiać się będą zwiększonym komfortem i walorami rejonów położonych w pobliżu wysypisk, a także zmniejszonym wpływem na efekt cieplarniany. Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania agregatu prądotwórczego na Składowisku Odpadów Komunalnych „Barycz” w Krakowie i jego oddziaływanie na środowisko oraz efektywność ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej i energii cieplnej z biogazu.

Wpływ składowiska na atmosferę

Poniżej w tabeli 11 podano skład gazu wysypiskowego na Składowisku Odpadów Komunalnych „Barycz”, określony na podstawie kilku pomiarów wykonanych w kwietniu 1998 roku, który mógłby wydostawać się do atmosfery, gdyby nie istniało jego ujęcie i spalanie. Dysponując wskaźnikami strat ekologicznych oraz ilością wydzielanego biogazu łatwo policzyć, jak duże straty wystąpiłyby w środowisku przyrodniczym.

TABELA 11. Skład gazu doprowadzanego do agregatu
TABLE 11. Composition of gas delivered to the generator

Data pomiaru	Skład gazu wysypiskowego % [v/v]			
	CO ₂	CH ₄	O ₂	N ₂
02.04.1998	26,4	57,6	0,6	15,4
24.04.1998	25,0	52,4	0,4	22,2
16.04.1998	26,4	57,4	0,0	16,2
17.04.1998	26,5	57,1	0,0	16,4

Źródło: Dokumentacja techniczna ...

W II kwartale 1998 r. instalacja do spalania gazu wysypiskowego pracowała do 18 kwietnia. W tym okresie zawartość metanu w gazie wahała się w granicach 52,4—57,6% obj., dwutlenku węgla 25,0—26,5% obj. i tlenu 0,0—0,6% obj. Następnie dokonano adaptacji instalacji w celu przystosowania jej do współpracy z blokiem energetycznym zainstalowanym przez firmę HASSE. Obecnie instalacja spełnia rolę stacji przesyłowej biogazu uzyskanego z nieeksploatowanej części wysypiska Barycz do bloku energetycznego, który przetwarza biogaz na energię elektryczną i energię cieplną. W przypadku nadmiaru biogazu oraz w przypadku dłuższych przerw w produkcji energii elektrycznej, instalacja może być wykorzystywana do spalania biogazu.

W tabeli 12 pokazano wielkość rocznej (maksymalnej) emisji zanieczyszczeń z agregatu prądotwórczego wyliczoną zgodnie z normą ustaloną przez producenta agregatu.

TABELA 12. Emisja roczna (maksymalna) z agregatu prądotwórczego

TABLE 12. Annual emission (maximum) from the generator

Zanieczyszczenie	Emisja roczna [Mg]
Dwutlenek siarki	3,6
Tlenki azotu	3,46
Tlenek węgla	4,5
Fluorowodór	0,035
Chlorowodór	0,208
Pył zawieszony	0,347
Węglowodory	1,04

Źródło: Dokumentacja techniczna ...

Wykonane obliczenia rozprzestrzeniania zanieczyszczeń wykazały, że dla wszystkich emitowanych przez instalację składników spalin, emitor został zakwalifikowany do pierwszej (najniższej) klasy oddziaływania na środowisko (Dokumentacja techniczna...).

Przyjmując zatem wielkość wytworzonej w roku energii elektrycznej w zainstalowanym agregacie w wysokości 1976 MWh, jednostkowa wielkość emisji wyniesie np. dla:

- ✧ dwutlenku siarki — 1,75 kg/MW·h,
- ✧ tlenku azotu — 1,75 kg/MW·h,
- ✧ tlenku węgla — 2,28 kg/MW·h.

Dokonując porównania tych wielkości zanieczyszczeń ze średnimi wielkościami dla polskiej energetyki odniesionymi do 1 MW·h energii elektrycznej, zestawionymi poniżej (GPiE1992):

- ✧ dwutlenku siarki — 10 kg/MW·h,
- ✧ tlenku azotu — 4 kg/MW·h,
- ✧ tlenku węgla — 11 kg/MW·h,

należy stwierdzić, że zastosowanie agregatu prądotwórczego do konwersji gazu wysypiskowego na energię elektryczną powoduje wielokrotne zmniejszenie zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery, przy produkcji 1 MW·h energii elektrycznej w stosunku do zanieczyszczeń jakie generuje energetyka bazująca na węglu.

Ocena wpływu składowiska na klimat akustyczny

✧ Źródła hałasu na terenie składowiska to:

- ✧ maszyny robocze (kompaktory — 2 sztuki oraz lekki spychacz marki Holveste),
- ✧ hałas drogowy (samochody wywózkowe, samochody dostarczające ziemię na składowisko, beczkowsy do wywozu fekalii),
- ✧ spalarnia gazu,

- ✧ blok energetyczny,
- ✧ myjnia samochodów.

Na podstawie regulaminu pracy na składowisku określono czas pracy urządzeń. Samochody dowożące odpady pracują w godzinach od 7⁰⁰ do 14⁰⁰. W tym czasie wykonują one około 600 przejazdów. Równocześnie pracuje myjnia samochodów (mycie kół i podwozi). Spychacze i kompaktory pracują w godzinach od 6³⁰ do 18⁰⁰. Spalarnia gazów jest czynna całą dobę.

- ✧ Dopuszczalny poziom dźwięku — emisja hałasu do środowiska związana z eksploatacją składowiska, zgodnie z decyzją Wojewody Krakowskiego z 30 grudnia 1996 r. nie może przekraczać wartości dopuszczalnych równoważnego poziomu dźwięku, przy zabudowie mieszkalnej jednorodzinnej:

- ✧ w godzinach 6⁰⁰ do 22⁰⁰ — 45 dB,
- ✧ w godzinach 22⁰⁰ do 6⁰⁰ — 35 dB.

Maksymalny krótkotrwały poziom dźwięku 70 dB.

- ✧ Oddziaływanie akustyczne obiektu — na przełomie czerwca i lipca 1997 roku Katedra Wibroakustyki AGH wykonała pomiary hałasu w sześciu wybranych punktach w otoczeniu składowiska (brak agregatu prądotwórczego). Wyniki pomiarów zostały przytoczone w tabeli 13.

TABELA 13. Wyniki pomiarów hałasu w otoczeniu składowiska

TABLE 13. The results of noise measurement in the storage yard surroundings

Nr punktu	Rodzaj hałasu	L_{Aeq} [dB]
1	dzienny	51,0
	nocny	42,0
2	dzienny	48,5
	nocny	39,5
3	dzienny	61,0
	nocny	41,0
4	dzienny	43,0
	nocny	39,0
5	dzienny	55,2
	nocny	45,0
61	w odległości 30 m	65,2
	w odległości 60 m	61,3
	w odległości 120 m	54,1

¹ Hałas drogowy w odległości 30, 60, 120 m od skraju drogi prowadzącej na składowisko.

Źródło: Dokumentacja techniczna ...

W ocenie wyników pomiarów nie brano pod uwagę hałasu w porze nocnej ze względu na to, że składowisko w tym czasie nie pracuje. Na podstawie wyników pomiarów w punkcie numer 5 stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu w porze dziennej o 10 dB.

Hałas ten jest wynikiem dość dużego ruchu samochodowego oraz gospodarki osiedla. Obrazem oddziaływania hałasu składowiska na klimat akustyczny osiedla Soboniowice jest wynik pomiaru w punkcie 4 (43 dB). Wskazuje to na brak wpływu składowiska na klimat akustyczny osiedla Soboniowice. Wynika z tego, że hałas na osiedlu ma pochodzenie miejscowe. Wyniki pomiarów w punkcie 1 i 2 obrazują hałas od transportu odpadów na składowisko. W punktach tych stwierdzono nieznaczne przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu. W punkcie pomiarowym 3, który był umieszczony pomiędzy dwoma budynkami mieszkalnymi, odnotowano znaczne przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu — 16 dB. Przyczyną tego hałasu jest głównie transport i praca maszyn w miejscu składowania odpadów. Wyniki pomiarów w punkcie 6 obrazujące wpływ hałasu od transportu w przestrzeni otwartej, lekko zadrzewionej, na wysokości 1,5 m od gruntu, wskazują na przekroczenie wartości dopuszczalnych. Według gwarancji dostawcy urządzeń do wykorzystania energetycznego gazu wysypiskowego, natężenie dźwięku w odległości 10 m od kontenera z instalacją nie powinno przekraczać 60 dB. W odległości 150—200 m poziom dźwięku powinien wynosić 35 dB. Poziom dźwięku wewnątrz kontenera wynosi 99 dB.

Oszacowanie wpływu składowiska na klimat akustyczny otoczenia wysypiska odpadów jest trudne, bowiem oprócz omawianej instalacji do utylizacji gazu wysypiskowego na emisję hałasu mają także wpływ technologiczne urządzenia mechaniczne. Urządzenia te przemieszczają się po składowisku, stąd różny ich wpływ w różnym czasie.

Z porównania przytoczonych wyników pomiarów hałasu oraz gwarancji dostawcy, jak również z doświadczenia z pracy podobnych urządzeń wynika, że taka instalacja do utylizacji w minimalnym stopniu będzie wpływała na klimat akustyczny środowiska, który zdominowany jest przez hałas komunikacyjny.

Efekt energetyczny — powstaje na składowisku „Barycz” na skutek wykorzystania gospodarczego biogazu w ilości około 300 m³/h, do wytworzenia energii cieplnej i energii elektrycznej, eliminując tym samym odpowiednią ilość węgla. Wykorzystanie agregatów prądotwórczych do utylizacji biogazu daje wymierne efekty energetyczne. W przypadku zainstalowania agregatów o mocy 2 × 250 kW możliwe jest wytworzenie około 3900 MW·h energii elektrycznej w ciągu roku i 5800 MW·h energii cieplnej. Taka ilość energii elektrycznej dostarczana jest do Zakładu Energetycznego w Krakowie, a część energii cieplnej zużywana na potrzeby składowiska. Przyjmując zatem, że na wytworzenie 1 MW·h energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni potrzeba około 500 kg węgla kamiennego, wykorzystanie energii biogazu pozwoli na wyeliminowanie (zastąpienie w użytkowaniu) około 1950 ton węgla kamiennego rocznie.

Efekt ekonomiczny — jest konsekwencją efektu ekologicznego i energetycznego, występuje po zainwestowaniu w odgazowanie oraz ujęcie biogazu, a także w dostawę i użytkowanie u odbiorcy. Winien być określany indywidualnie dla każdego wysypiska, bowiem zależy od wielu czynników, a mianowicie:

- ✧ wielkości wysypiska (objętości odpadów),
- ✧ wielkości instalacji odgazowującej,
- ✧ wielkości pozyskania biogazu (wydajności w m³/h),

- ✧ odległości od potencjalnego odbiorcy,
- ✧ czasu użytkowania, liczby godzin w roku,
- ✧ rodzaju użytkowania: c.o.; c.w.u.; c.o + c.w.u.; c.o + c.w.u. + en.elektryczna,
- ✧ wielkości zapotrzebowania odbiorcy na biogaz.

Effekt ekonomiczny jest zatem sumą efektu ekologicznego na wysypisku w wyniku zmniejszenia emisji szkodliwych gazów, tj. metanu i dwutlenku węgla, tlenków azotu, które powodują występowanie efektu cieplarnianego, oraz w wyniku zmniejszenia emisji u użytkownika spalającego w kotłowni biogaz lub wykorzystującego generator prądu, zamiast zużycia węgla kamiennego. Kolejnym składnikiem efektów ekonomicznych jest zysk netto, jaki osiągnie dostawca i użytkownik biogazu. Zyski osiągnięte ze sprzedaży biogazu winny być wykorzystane do rozbudowy, rekultywacji lub zabezpieczenia istniejących wysypisk odpadów komunalnych.

Obecnie na składowisku w Baryczy pracują dwa agregaty prądotwórcze. Istotne jest również to, że zasięg ich oddziaływania nie wykracza poza teren składowiska, w związku z tym nie zagraża pobliskim mieszkańcom i przyrodzie.

4.4.4.8. Zalety i wady produkcji energii z biogazu

Najważniejsze zalety produkcji energii z biogazu to:

- ✧ energia odnawialna i czysta, która nie powoduje skażenia środowiska;
- ✧ mniejszy wpływ na efekt cieplarniany dwutlenku węgla uzyskanego ze spalania biogazu (ok. 32 razy) niż biogazu (CH_4);
- ✧ zdecentralizowana produkcja tej energii nie wymaga budowy linii transmisyjnych i nie występują straty spowodowane jej przesyłaniem;
- ✧ koszty produkcji są porównywalne z kosztami produkcji energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej, a przy wyższej stopie oprocentowania mogą być nawet niższe;
- ✧ poprawa stanu higieniczno-sanitarnego dzięki zaprzestaniu wylewania fekalii bezpośrednio na pola, gdzie były przyczyną roznoszenia się epidemii;
- ✧ eliminowanie nawozów sztucznych z uprawach rolnych (Lewandowski 2001—2002).

Najważniejsze z wad produkcji energii z biogazu to:

- ✧ nasycenie biogazu parą wodną i domieszką H_2S (gaz ten rozpuszcza się w wodzie i powoduje korozję metali);
- ✧ zawartość cząsteczek zawiesin, które powodują zalepianie się zaworów i tworzenie nagarów;
- ✧ wahania zawartości CH_4 , które wpływają na sprawność jego spalania;
- ✧ wahania ciśnień gazu (Soliński 2001);
- ✧ konieczność ścisłego przestrzegania reżimów procesu fermentacji (temperatury, pH, hermetyczności);
- ✧ wysokie nakłady inwestycyjne na budowę zbiorników, fermentatorów, kupno silnika, prądnicy i aparatury kontrolno-pomiarowej (Lewandowski 2001—2002).

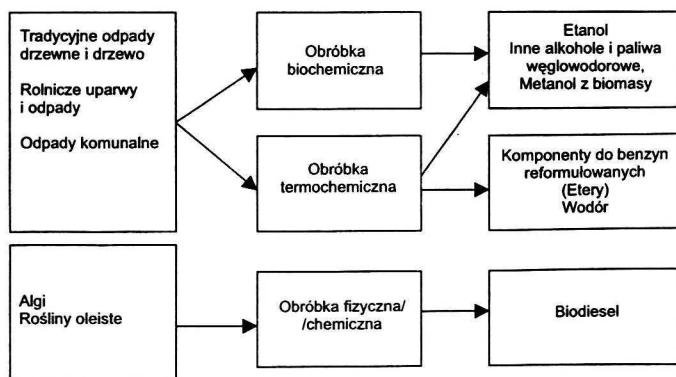
4.5. Biopaliwa

Zgodnie z postanowieniami Dyrektywy 2003/30/EC w sprawie promocji biopaliw do celów transportowych oraz w ramach strategii zrównoważonego rozwoju uważa się, iż wzrost produkcji biopaliw jest jednym z podstawowych celów polityki energetycznej państwa. Wskazuje się w Dyrektywie, że każdy kraj unijny ma prawo wprowadzić własne cele dotyczące udziału biopaliw na rynku paliw samochodowych. Jako wskaźnik porównawczy proponuje się zawartość 2% biopaliw na krajowym rynku, aby udział benzyny ze spirytusem i biodiesla w ogólnym bilansie paliw osiągnął ten wskaźnik do 31 grudnia 2005 r. Wskaźnik ten powinien osiągnąć wartość 5,75% na rynku paliw transportowych do 31 grudnia 2010 r. Na 2020 r. planuje się wprowadzenie, co najmniej 20% biopaliw na rynek paliw transportowych w UE.

Biopaliwa mogą trafiać na rynek w różnej postaci. Może to być czyste biopaliwo, jak np. estry kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, gdzie udział ich w paliwie może osiągnąć 100%. Może też biodiesel być znaczną domieszką do oleju napędowego w silnikach samochodowych, zgodnie z normami europejskimi dotyczącymi jakości paliwa, m.in. zgodnie z normami EN 228 i EN 590. W przypadku wprowadzenia obowiązku stosowania ponad 5% spirytusu w benzynie, powinno się wprowadzić w danym kraju obowiązek monitorowania stanu silników samochodowych i emisji gazów spalinowych z tych silników. Ponadto na stacjach benzynowych należy oznaczyć miejsca sprzedaży paliw, w których występuje więcej niż 5% biokomponentów (Kowalik 2003).

Biopaliwa otrzymujemy przy wykorzystaniu różnorodnych technologii, dostosowanych do odpowiedniego sortymentu biomasy, który mogą stanowić substancje organiczne pozyskane zarówno z przemysłu rolno-spożywczego, jak i z przetwórstwa drzewnego, tj. rośliny oleiste, buraki cukrowe, zboża, ziemniaki, drewno i inne odpady z lasów, sadów, zieleni miejskiej. Ścieżkę transformacji od zasobów do biopaliw przedstawia rysunek 21.

Biopaliwa płynne można otrzymać poprzez konwersję w procesach hydrolizy, fermentacji, estryfikacji i pirolizy i są to m.in. alkohole, tj. etanol, metanol oraz biooleje.



Rys. 21. Transformacja od zasobów do biopaliw

Źródło: Strona internetowa — <http://biocnergy.ornl.gov/docofd/stratpla/stand.html> [35]

Fig. 21. Transformation process from the resource stage to biofuel stage

Paliwa alkoholowe oznaczane są przez litery E (od etanolu) lub M (od metanolu) oraz następującą po nich liczbą określającą objętościowy udział alkoholu w paliwie alkoholowym.

4.5.1. Etanol

Etanol (C_2H_5OH) jest alkoholem alifatycznym. Bezbarwna ciecz o temp. topnienia $-117,3^{\circ}C$ i temp. wrzenia $78,3^{\circ}C$, rozpuszczalny w wodzie, eterze, posiada charakterystyczny zapach i piekący smak (KAPE S.A. 1999), o gęstości $789,4 \text{ kg/m}^3$ (Grzybek 2003b). Alkohol etylowy powstaje w wyniku fermentacji alkoholowej cukrów (zboża, ziemniaków, kukurydzy), a następnie procesów destylacji i rektyfikacji. Można go również otrzymać syntetycznie np. z etylenu.

Etanol techniczny wytwarzany jest w wyniku fermentacji cukrów z hydrolizy drewna lub ługów posulfitowych. Surowce wykorzystywane do otrzymywania etanolu w wyniku fermentacji można podzielić na dwie grupy:

- ✧ zawierające cukry proste: melasa, serwatka, syrop z trzciny cukrowej, ług posiarzynowy surowce z tej grupy nadają się do bezpośredniego wykorzystania w fermentacji etanolowej,
- ✧ zawierające wielocukry — skrobię bądź celulozę — surowce te wymagają obróbki wstępnej, np. hydrolizy, prowadzącej do scukrzenia surowca, tj. jego przekształcenia w cukry proste (Grzybek 2003a).

Bioetanol — stanowi mieszaninę 5% zdenaturyzowanego alkoholu i 95% paliwa węglowodorowego (Strona internetowa — www.biodiesel.pl/...).

TABELA 14. Porównanie ilości różnych produktów potrzebnych do otrzymania 1 litra spirytusu

TABLE 14. The amounts of products necessary to obtain 1 liter of alcohol

Produkt	Ilość produktu potrzebna do wytworzenia 1 dm ³ spirytusu
Ziemniaki	12,5 kg
Zboże	3,0—3,3 kg
Buraki cukrowe	12,5 kg
Melasa	3,3 kg

Źródło: KAPE S.A., 1999

Z powyższego wynika, iż najlepszym surowcem do produkcji etanolu jest melasa.

WPolsce z dniem 01.01.2004 r. na mocy ustawy z dn. 2.10.2003 r. o biokomponentach stosowanych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych (Dz.U. nr 199, poz. 1934 ze zm.) wprowadzono obowiązek dodawania do benzyn komponentów tlenowych. Niniejsza ustawa wyrokiem Trybunału Konstytucyjnego uległa zmianie w kwestii dotyczącej obowiązku stosowania domieszek biokomponentów do paliw ciekłych i ustawą z dn. 23.01.2004 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych (Dz.U. nr 34, poz. 292, 293) sprecyzowano normatywy dotyczące dystrybucji paliw. Większość utleniaczy stosowanych w benzynach to alkohole (alkohol etylowy) albo i etery (głównie eter

metylo-tert-butyłowy). Zastosowanie bioetanolu w paliwach jest równoznaczne z użyciem dodatków tlenowych, co powoduje obniżkę emisji w spalinach węglowodorów (HC) i tlenu węgla (CO) (Grzybek 2003b).

Dodatkowy tlen występujący w alkoholu dodawanym do benzyn powoduje wzrost liczby oktanowej paliw oraz to, że podczas ich spalania:

- ✧ w gazach spalinowych obniża się stężenie tlenu węgla o 20—30%;
- ✧ zmniejsza się stężenie nie spalonych węglowodorów do 10% w stosunku do składu spalin z benzyn nie zawierających etanolu.

Należy jednak pamiętać, że obecnie eksploatowane silniki samochodowe bez wprowadzenia zmian konstrukcyjnych pozwalają na udział etanolu w benzynie tylko w ograniczonej ilości. W związku z tym wprowadza się tzw. *Fuel Flexible Vehicles* (FFV) dostosowane do zasilania danym paliwem np. EFV (*Ethanol Fueled Vehicle*) — pojazd z silnikiem przystosowanym do paliwa etanolowego (np. E85).

W krajach Unii Europejskiej — wzorem USA obowiązuje norma EN 228 dopuszczająca udział etanolu w benzynie nie większy niż 5%. Podobnie i w naszym kraju przyjęto dla wszystkich rodzajów benzyn ten sam 5-procentowy maksymalny poziom etanolu (PN-92/C-96025) (Strona internetowa — [www.biodiesel.pl/...](http://www.biodiesel.pl/)).

4.5.2. Metanol

Metanol jest alkoholem metylowym (CH_3OH), znanym jako alkohol drzewny, produkowanym w procesie suchej destylacji drewna w temperaturze 500°C . Ma postać jasnej, niemal bezwonnej cieczy, o gęstości $0,8 \text{ g/cm}^3$ (Grzybek 2003a). Metanol to najprostszy alkohol alifatyczny. Jest bezbarwną cieczą krzepnącą w temp. $-97,5^\circ\text{C}$, wrze w temp. $64,7^\circ\text{C}$, rozpuszcza się w wodzie, etanolu i eterze. Posiada silne własności trujące — picie lub wchłanianie par grozi ślepotą lub śmiercią (KAPE S.A. 1999).

Proces wytwarzania biometanolu z biomasy roślinnej składa się z następujących operacji:

- ✧ wysuszenia surowca,
- ✧ rozdrobnienia surowca.
- ✧ zgazowania w reaktorze w obecności tlenu do mieszaniny tlenu węgla, wodoru, dwutlenku węgla i pary wodnej,
- ✧ usunięcia pary wodnej, dwutlenku węgla i gazów siarkawych.

Suszenie odbywa się w temp. około 200°C . Piroliza jest realizowana w obszarze temperaturowym $200\text{—}600^\circ\text{C}$. Makrocząsteczki biomasy drewna ulegają termicznej degradacji do gazu wytłelnego, smoły, węglowodorów, dwutlenku węgla, metanolu, kwasów organicznych, a nawet węgla. Strefa utleniania obejmuje obszar temperaturowy $700\text{—}2000^\circ\text{C}$.

W tych warunkach część węgla i wodoru z surowca utlenia się do CO_2 i H_2O , dostarczając ciepła m.in. dla reakcji pirolizy biomasy (Grzybek 2003a).

Metanol był używany jako paliwo silnikowe w czystej postaci bądź jako komponent tlenowy do benzyn w postaci MTBE (eter metylo-tert-butyłowy). Stosowany do niedawna

dodatek metanolu uważany był za czynnik kancerogeny i jego stosowanie jako dodatku do benzyn ograniczano. Obecnie uważany jest za przyszłościowe paliwo wykorzystywane w nowych typach ogniw paliwowych, wewnątrz których jest przekształcany do postaci wodoru (Grzybek 2003b).

Metanol jest doskonałym paliwem wysokooktanowym dla silników Otta i równocześnie wyjątkowo złym paliwem dieslowskim o liczbie cetanowej 3. Metanol jest jedynie w niewielkim stopniu rozpuszczalny w paliwie dieslowskim. Jego roztwory wykazują czułość na wodę (rozwarstwianie się wodnego roztworu metanolu oraz węglowodorów). Dziś istnieją już emulgatory zapewniające trwałe emulsje, zawierające zazwyczaj 10–20% obj. metanolu.

Wprowadzenie systemu emulsyfikacyjnego przy minimalnym użyciu stabilizatora — będzie to w niedalekiej przyszłości ekonomicznie motywowana celowość dodawania 10–15% obj. metanolu do oleju napędowego. Tego typu stała emulsja pozwala na zapłon paliwa bez modyfikowania silnika, obniżając o około 9% emisję NO_x i aż o około 23% cząstek sadzy, bez obniżania wydolności silnika. W dodatku, jako że większą część tej emulsji stanowi olej napędowy, wytworzona mieszanka posiada większość cech paliwa dieslowskiego. Jest to szczególnie ważne, gdyż otwiera przed pojazdami dieslowskimi używanie klasycznego paliwa, jak i trwałej emulsji z metanolem przy użyciu tego samego baku. Ten czynnik rozwiązuje problem, będący powodem antagonizmu przemysłu motoryzacyjnego z wytwórcami paliw alternatywnych. Ta technologia jest prosta w zastosowaniu oraz potencjalnie kompatybilna z istniejącymi już silnikami, jak i najnowszymi ich modelami (Strona internetowa: [www.biodiesel.pl/...](http://www.biodiesel.pl/)).

4.5.3. Techniki produkcji alkoholu jako dodatku do paliw

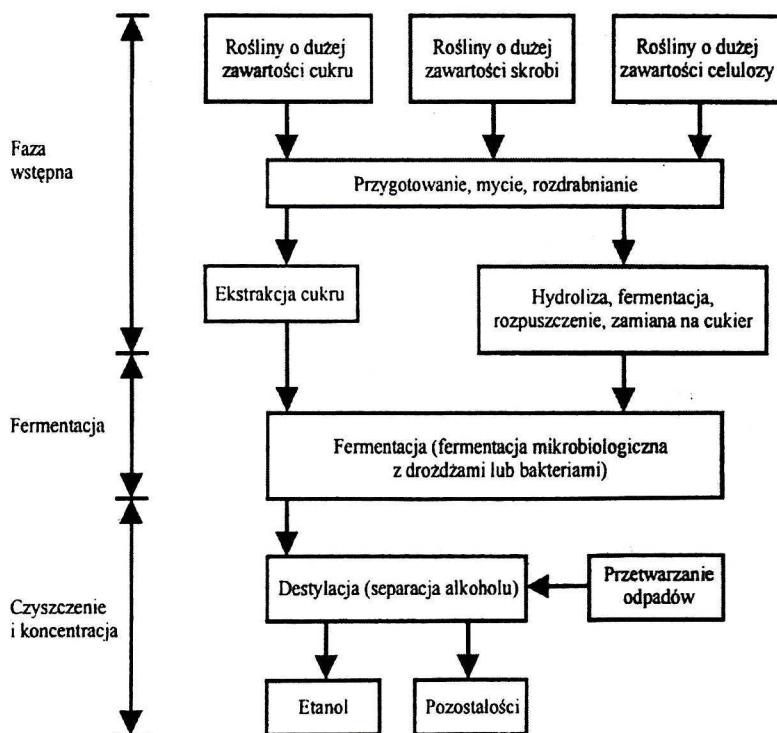
Technologia otrzymywania odwodnionego alkoholu składa się z dwóch etapów: produkcji alkoholu gorzelnianego o zawartości 97,2% objętości etanolu i odwodnienia etanolu. Produkcja alkoholu gorzelnianego zachodzi w kilku fazach, co przedstawiono na rysunku 22.

W fazie wstępnej rośliny są przygotowywane w procesie mycia i rozdrabniania. Następnie w zależności od rodzaju rośliny następują procesy ekstrakcji, hydrolizy lub fermentacji mikrobiologicznej z drożdżami lub bakteriami. Kolejnym etapem jest rozdzielenie alkoholu i pozostałości metodą destylacji. Otrzymany tą metodą alkohol tworzy z wodą mieszaninę izotropową o składzie 97,2% objętości metanolu i 2,8% objętości wody. Metodą zwykłej rektyfikacji nie można otrzymać 100% alkoholu etylowego, a tylko taki przewidziany jest jako dodatek do benzyn, ponieważ nie powoduje mętnienia i rozwarstwienia benzyn. Teoretycznie można pod zmniejszonym ciśnieniem otrzymać spirytus odwodniony, jednakże budowa aparatów pracujących pod próżnią oraz wytworzenie próżni jest bardzo kosztowne.

Do odwadniania spirytusu można stosować wapno palone, gips i inne związki przylączające wodę, jednakże duże straty etanolu w trakcie regeneracji środków odwadniających nie nadają tym metodom znaczenia praktycznego. W ostatnich latach pojawiły się metody otrzymywania spirytusu odwodnionego za pomocą sit molekularnych i błon półprzepu-

szczalnych, ale wysoki koszt sit i kłopoty z ich regeneracją powodują, że dotychczas są to metody doświadczalne. Najbardziej rozpowszechnione i najtańsze są metody izotropowe, polegające na dodaniu do układu składnika rozdzielczego tworzącego ze składnikami cieczy jeden lub kilka azeotropów. W praktyce do odwadniania spirytusu stosuje się benzen, benzynę wąskofrakcyjną zawierającą głównie n-heptan, cykloheksan. Instalacja do odwadniania spirytusu składa się z kolumny wzmacniającej i odwadniającej, rozdzielacza azeotropu oraz zespołu deflegmatorów, skraplaczy i chłodnic (Soliński 2001).

Zakłady wytwarzające spirytus odwodniony stosowany do benzyn silnikowych mogą odwadniać spirytusy surowe otrzymywane w gorzelniach rolniczych z różnych surowców: melasy, niekonsumpcyjnych zbóż, ziemniaków oraz innych niepełnowartościowych surowców. Dużym zapleczem surowcowym dla tych gorzelni mogą być uprawy na ziemiach ekologicznie skażonych. Ponadto do odwadniania można wykorzystać spirytus porektyfikacyjny (produkt uboczny przy produkcji rektyfikatu), spirytusy odpadowe oraz zlewki z konfiskat. Aktualnie około 80% spirytusu surowego otrzymywane jest z ziemniaków. Gorzelnictwo rolnicze charakteryzuje duża elastyczność produkcji, dzięki czemu jej zwielokrotnienie dokonywane może być bez zmian strukturalnych i większych inwestycji, np. przez wprowadzenie zmian organizacyjnych (praca trózmianowa) (Soliński 2001).



Rys. 22. Schemat produkcji alkoholu
Źródło: Soliński 2001

Fig. 22. Alcohol production flow chart

4.5.4. Oleje roślinne

Oleje roślinne stanowią grupę potencjalnych surowców roślinnych do wytwarzania paliw płynnych. Bioolej powstaje w procesie estryfikacji roślin oleistych takich jak rzepak, słonecznik, soja lub w wyniku procesu pirolizy drewna. Ogólnie proces otrzymywania olejów roślinnych poddanych przetwarzaniu na paliwo może składać się z następujących operacji technologicznych:

- ✧ rozdrobnienie nasion,
- ✧ tłoczenie oleju,
- ✧ filtracja.

Jedną z najczęściej stosowanych do produkcji biooleju roślin jest rzepak, ze względu na stosunkowo największy areał upraw. Określenie potencjalnej powierzchni uprawy rzepaku w Polsce jest trudne, ponieważ występuje kilka czynników ograniczających. Są nimi:

- ✧ jakość gleb. Rzepak jest rośliną o dużych wymaganiach glebowych i tylko na glebach bardzo dobrych i dobrych można uzyskać duże i stabilne jego plony. Szacuje się, że na glebach bardzo dobrych potencjalne jego plony mogą mieścić się w przedziale 3,0—3,5 t/h, zaś na glebach zaliczonych do średnich, potencjalnie możliwe do uzyskania plony rzepaku mieszczą się w przedziale 2,0—3,0 t/ha;
- ✧ wymarzanie rzepaku. Rzepak jest rośliną wrażliwą na przebieg pogody w okresie zimy, a zwłaszcza na niskie temperatury. Duże straty zimowe występują przy gwałtownych spadkach temperatury jesienią lub w warunkach przemiennej przebiegu pogody w zimie, kiedy po okresach ocieplenia prowadzących do rozhartowania się roślin następują gwałtowne spadki temperatury. Również przykrycie śniegiem nie zamrożonej gleby może powodować „wyprzenie” rzepaku;
- ✧ struktura obszarowa gospodarstw. Na małych plantacjach wydajność pracy nowoczesnego sprzętu jest niska, a ponadto szkodniki wyrządzają większe szkody, w związku z tym powierzchnia pojedynczej plantacji rzepaku powinna wynosić przynajmniej 1,5—2 ha;
- ✧ udział rzepaku w strukturze zasiewów gospodarstwa. Rzepak można zaliczyć do roślin o przeciętnych wymaganiach płodozmianowych, czyli nie powinien on być wysiewany na tym samym polu częściej niż co 3—4 lata. Jednak z uwagi na organizację pracy, konieczność wczesnego terminu wysiewu oraz niebezpieczeństwo wymarzania, należy przyjąć, że udział rzepaku w strukturze zasiewów pojedynczego gospodarstwa nie powinien przekraczać 20—25% (Kuś, Strona internetowa — www.pan.ol.lublin.pl/...).

W procesie wytwarzania paliwa z oleju rzepakowego można wyodrębnić następujące operacje technologiczne:

- ✧ oczyszczanie, suszenie i magazynowanie nasion rzepaku,
- ✧ tłoczenie i filtrowanie (odśluzowywanie oleju),
- ✧ przemiany estrowe oraz oczyszczanie biopaliwa,
- ✧ zagospodarowanie odpadów (Grzybek 2002).

Biopaliwo rzepakowe otrzymuje się na drodze syntezy oleju rzepakowego i metanolu lub etanolu. Z chemicznego punktu widzenia biopaliwa są mieszaniną estrów metylowych

wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. Aby biopaliwo rzepakowe spełniało określone wymagania, podane w projekcie normy europejskiej czy innych, powinny być spełnione określone warunki na etapie przygotowania surowców do tego procesu (Grzybek 2003a). Poszczególne surowce do produkcji biopaliwa winny spełniać określone wymagania.

Rzepak:

- ✧ zawartość oleju 40—44%,
- ✧ wilgotność 6—7%,
- ✧ zawartość wolnych kwasów tłuszczowych <3%,
- ✧ zawartość zanieczyszczeń stałych <2%,
- ✧ wolny od metali i innych ciał obcych, dojrzały, niesfermentowany.

Olej:

- ✧ zawartość wody <0,05%,
- ✧ zawartość wolnych kwasów tłuszczowych <3%.

Metanol:

- ✧ jakość techniczna, stężenie min. 99,8%.

Wodorotlenek potasu (KOH)

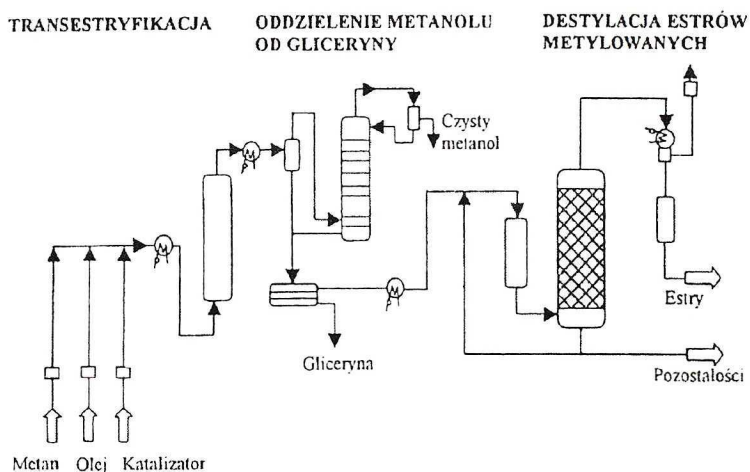
- ✧ jakość techniczna, skrzystalizowany w płatkach, stężenie min. 88% (Grzybek 2002).

Z szacunków i badań dotyczących produkcji i zastosowania estrów metylowych z oleju rzepakowego wynika, iż zasadne jest stosowanie biopaliw w miejsce uprzednio używanego oleju napędowego.

Proces wytworzenia estrów metylowych z olejów roślinnych (OR) oparty jest na reakcji przeestryfikowania OR metanolem (etanolem) w obecności katalizatora, w wyniku czego powstaje ester metylowy (etylowy) i gliceryna. Podstawowe dwa warianty technologii to realizacja procesu w warunkach bezciśnieniowych z katalizatorem alkalicznym oraz proces wysokociśnieniowy (rys. 23 i 24) (Soliński 2001).

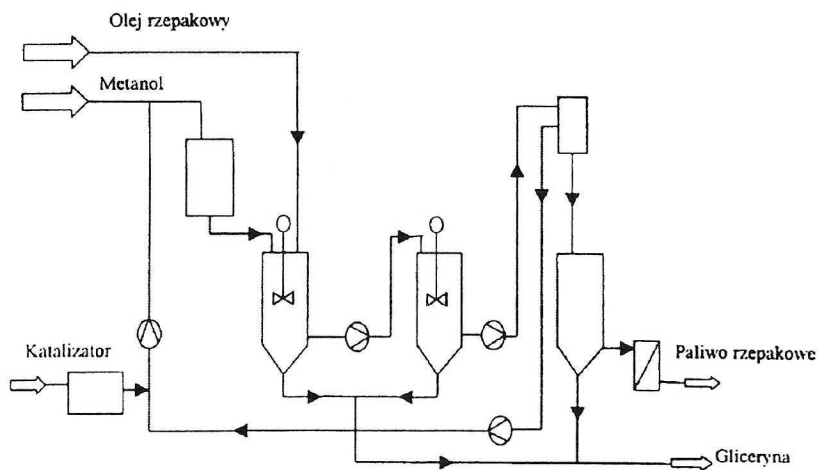
Metoda ciśnieniowa

Metoda ciśnieniowa otrzymywania estrów kwasów tłuszczowych jest prowadzona systemem ciągłym w temperaturze 240°C i pod ciśnieniem 9 MPa. W metodzie tej surowy olej, metanol i katalizator podaje się pompami do kolektora, a następnie poprzez podgrzewacz do reaktora. Metoda powyższa wykorzystuje dogodność prowadzenia procesu zmydlenia tłuszczu w obecności specjalnych katalizatorów z wyeliminowaniem agresywnych alkaliów. W metodzie tej niedogodnością jest wymagany znaczny nadmiar metanolu w stosunku do oleju. Mieszanina surowców i katalizatora przechodzi przez reaktor, a później produkty kierowane są do rozdzielacza metanolowego, w którym następuje ich rozprężanie i oddzielenie metanolu od estrów i gliceryny. Opary metanolu z góry rozdzielacza przechodzą do kolumny destylacyjnej, skąd czysty metanol jest zwracany ponownie do procesu przygotowania surowców, tworząc tzw. obieg recyklingu. Estrы i gliceryna przechodzą do rozdzielacza glicerynowego, gdzie następuje ich rozdzielenie na dwie warstwy. Górną stanowią estrы, a dolną gliceryna. Estrы są podawane przez podgrzewacz do kolumny destylacyjnej,



Rys. 23. Schemat wytwarzania estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą ciśnieniową
Źródło: Soliński 2001

Fig. 23. Flow sheet on production of methyl esters of the fatty acids with the implementation of the pressure method



Rys. 24. Instalacja wytwarzania oleju napędowego z oleju rzepakowego metodą bezciśnieniową
Źródło: Soliński 2001

Fig. 24. The system of diesel oil production from the rape – seed oil with the implementation of the pressureless method

w której usuwane są zanieczyszczenia. Oczyszczone estry poprzez schładzacz kierowane są do składu paliw. Gliceryna w swoim dalszym cyklu może być na miejscu lub w odrębnej jednostce produkcyjnej poddawana oczyszczeniu i destylacji na czystą chemicznie zgodnie z wymogami norm zastosowania, np. w przemyśle obronnym. Metoda powyższa posiada zaletę dużej wydajności procesu i czystości produktów. Istotną wadą, obok wspomnianego wyżej nadmiaru metanolu, są bardzo wysokie koszty budowy instalacji technologicznej oraz

konieczność posiadania mediów utrzymujących wysokie temperatury w procesach technologicznych (Strona internetowa — www.ekoenergia.pl/...).

Metoda bezciśnieniowa

Proces otrzymywania estryfikowanych metanolem olejów roślinnych zachodzi również w warunkach bezciśnieniowych i w niskich temperaturach ogólnie określanych jako atmosferyczne. Otrzymywanie estrów metylowych z oleju przeprowadza się w obecności katalizatora alkalicznego w przedziale temperatur od 20 do 70°C pod ciśnieniem atmosferycznym. Zaletą jest przeprowadzanie reakcji estryfikacji przy niewielkim nadmiarze metanolu w odniesieniu do metody ciśnieniowej wysokotemperaturowej. Po przeprowadzeniu reakcji następuje sedymentacyjne rozdzielenie produktów na dwie warstwy — estrową i glicerynową. Każda z warstw odbierana jest do procesu dalszej obróbki technologicznej. Z warstwy estrowej oddestylowuje się metanol i oddziela katalizator z rozpuszczalnikiem, zawracane łącznie w cyklu recyklingu do procesu produkcji. Surowy ester w zależności od wymaganych właściwości jest oczyszczany lub destylowany.

Z powyższej technologii bezciśnieniowej wyodrębnia się dwa procesy produkcji zależne od temperatury przebiegu reakcji.

1. Prowadzenie procesu produkcji w niskich temperaturach 20°C; praktycznie temperatura wynikowa procesu w warunkach otoczenia wymaga stosowania kilkakrotnie większych ilości katalizatora niż w reakcji realizowanej w wyższych temperaturach 60—70°C. Zwiększenie ilości katalizatora ma negatywne skutki między innymi w następnych etapach procesu, powodując trudniejszy rozdział produktów oraz większą ilość ścieków i odpadów. Proces powyższy wymaga bardziej dokładnego przygotowania surowca o niskiej zawartości wolnych kwasów tłuszczowych w przeciwieństwie do metody ciśnieniowej. Zaletą tej metody są bardzo niskie koszty inwestycyjne.

2. Prowadzenie procesu produkcji w temp. 60—70°C zużywa mniejsze ilości katalizatora alkalicznego. Wydajność reakcji jest większa, choć nie dorównuje metodzie ciśnieniowej. Stan przygotowania oleju surowego ma identycznie wysokie wymagania jak w procesie 1. Jest to proces droższy zarówno w nakładach inwestycyjnych, jak również eksploatacyjnych od procesu 1 (Strona internetowa — www.ekoenergia.pl/...).

Istnieją dwie opcje wykorzystania estryfikowanego oleju rzepakowego jako paliwa. Jedna zakłada stosowanie czystego estru jako substytutu oleju napędowego, druga przewiduje mieszanie go z olejem napędowym w różnych stosunkach. Stosowanie czystego paliwa spowoduje osiągnięcie największego efektu ekologicznego.

Biodiesel

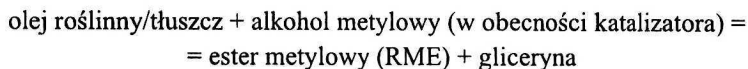
Biodieselem nazywamy olej napędowy stanowiący lub zawierający biologiczny komponent w postaci metylowych estrów rzepakowych.

Biodieslem są więc następujące rodzaje paliw:

- ✧ 100%, czysty Biodiesel, nazywany po prostu Biodieslem,
- ✧ mieszanki paliwowe, w których komponentem są metylowe/etylowe estry wyższych kwasów tłuszczowych, takie jak:

- ✧ tzw. B20 (20% Biodiesla (estrów) i 80% oleju napędowego),
- ✧ tzw. B80 (80% Biodiesla i 20% oleju napędowego),
- ✧ inne mieszanki estrów i ON.

Powstaje on w wyniku prostej reakcji chemicznej:



Podstawowe właściwości i zalety Biodiesla:

- ✧ emisje związków powstających przy spalaniu Biodiesla nie wpływają negatywnie na zdrowie ludzi i zwierząt.
- ✧ biodiesel jest paliwem czystszy pod względem produktów spalania prawie o 75% w porównaniu z tradycyjnym olejem napędowym,
- ✧ stosowanie Biodiesla znacząco zmniejsza w emitowanych spalinach ilość niespalonych węglowodorów, tlenku węgla i cząstek stałych,
- ✧ stosując biodiesel eliminuje się emisję związków siarki do atmosfery (biodiesel nie zawiera siarki),
- ✧ biodiesel jest paliwem pochodzenia roślinnego i dlatego stosując go nie wprowadzamy dwutlenku węgla (CO₂) do atmosfery,
- ✧ wpływ produktów spalania Biodiesla na tworzenie się dziury ozonowej jest blisko o 50% mniejszy niż dla tradycyjnego oleju napędowego,
- ✧ emisja tlenków azotu (NO_x) jako produktów spalania Biodiesla może wzrastać lub obniżać się, ale można je zredukować do poziomu dużo niższego niż dla tradycyjnego oleju napędowego m.in. poprzez zmianę momentu wtrysku paliwa,
- ✧ spaliny Biodiesla nie powodują podrażnienia spojówek oczu, nie mają odpychającego zapachu,
- ✧ biodiesel jest paliwem odnawialnym, tzn. pochodzącym z surowców odnawialnych (roślinnych),
- ✧ biodiesel można stosować w każdym silniku Diesla,
- ✧ biodiesel można mieszać z tradycyjnym olejem napędowym w dowolnej proporcji — nawet niewielki dodatek Biodiesla sprawi, że spalanie będzie czystsze, a silnik lepiej smarowany: 1-procentowy dodatek biodiesla do oleju napędowego podnosi jego własności smarne o 65%,
- ✧ w strefach o cieplejszym klimacie do produkcji biodiesla używa się oleju palmowego (Strona internetowa — www.biodiesel.pl).

Produkcja biopaliw w Polsce dotychczas nie miała zbyt wielu zwolenników. Obecnie w związku z nowymi normatywnymi dotyczącymi stosowania biokomponentów w paliwach i biopaliwach ciekłych zainteresowanie wzrosło. Za wzmocnieniem rynku biopaliw oraz wzrostem świadomości społeczeństwa niewątpliwie przemawia wiele argumentów, m.in.:

- ✧ możliwość zagospodarowania odłogów i ziem skażonych na poziomie 2 mln ha,
- ✧ pozytywny wpływ na poprawę bezpieczeństwa energetycznego kraju, ochronę środowiska i zdrowia,

- ✧ nowe miejsca pracy,
 - ✧ pozyskanie dodatkowego źródła energii elektrycznej i ciepłej,
 - ✧ nietoksyczność i biodegradowalność paliwa.
- Natomiast istotą dylematów związanych z produkcją biopaliw w Polsce jest:
- ✧ brak mechanizmów podatkowych jako skutecznego narzędzia wsparcia rozwoju produkcji biopaliw,
 - ✧ nieobiektywne oceny wpływu biopaliw na silniki, niska świadomość ekologiczna społeczeństwa podatnego na kłamliwy szum medialny,
 - ✧ brak wsparcia władz dla zwiększenia areалу upraw energetycznych poprzez zachęty w postaci subwencji bezpośrednich,
 - ✧ obawa o brak surowca ze względu na brak stabilnej polityki rolnej,
 - ✧ brak dialogu pomiędzy producentami a przetwórcami prowadzący do sytuacji konfliktowych (Nowak 2003).

5. Podsumowanie

Wymierne efekty ekologiczno-społeczno-ekonomiczne może przynieść Polsce racjonalne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych. Z roku na rok obserwuje się wzrost zainteresowanie tzw. „czystą energią”, ze względu na fakt, iż jej zastosowanie przynosi korzyści w zakresie redukcji zanieczyszczeń do atmosfery, gleby i wód. Istotne znaczenie może mieć również fakt, iż OZE może przyczynić się do poprawy efektywności wykorzystania i oszczędzania tradycyjnych surowców kopalnych, których zasoby są ograniczone. Na arenie międzynarodowej zasadniczymi dokumentami normującymi wykorzystanie OZE są:

- ✧ Biała Księga Unii Europejskiej (*White Paper*) z listopada 1997 r. — „Energia dla Przyszłości — Odnawialne Źródła Energii”;
- ✧ Porozumienie z Kioto z kwietnia 1998 r. o redukcji gazów cieplarnianych o 8% w okresie od 2008 do 2012 r. w porównaniu z rokiem 1990,
- ✧ Zielona Księga Unii Europejskiej (*Green Paper*) z listopada 2000 r. „Ku Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa energetycznego”.

Polska w związku z wejściem do Unii Europejskiej również musi spełnić określone kryteria wynegocjowane w Traktacie Akcesyjnym. Zatem poziom udziału OZE w bilansie zużycia energii elektrycznej brutto ma wynosić w 2010 r. — 7,5%, natomiast w 2020 r. — 14% (zużycie rozumiane jako krajowa produkcja energii elektrycznej, łącznie z produkcją na własne potrzeby, powiększoną o import i pomniejszoną o eksport energii elektrycznej) (Oniszk-Popławska 2002). Strukturę dokumentów obowiązujących w Polsce w zakresie wykorzystania OZE przedstawia rysunek 25.

Najważniejszym dokumentem dla rozwoju OZE w Polsce jest „Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej” przyjęta 5 września 2000 r. przez Radę Ministrów, a następnie zatwierdzona przez Sejm 23 sierpnia 2001 r. Wymieniony dokument reguluje cele i warunki

rozwoju OZE do 2020 r i zgodnie z nim wzrost wykorzystania OZE w bilansie energetycznym kraju będzie wymagał osiągnięcia poziomu rocznej produkcji w wysokości 340 PJ zielonej energii w 2010 r., tj. wzrostu o 235 PJ w porównaniu z rokiem 1999, zakładając, że potrzeby energetyczne w Polsce w 2010 r. będą wynosić 4570 PJ (Oniszk-Popławska 2002).

Z powyższego wynika, że najwięcej korzyści możemy się spodziewać z technologii (rys. 26):

- ✧ wykorzystania biomasy: biopaliwa stałe (słoma, drewno, zrębki, odpady rolnicze itd.) do spalania w kotłach, biopaliwa ciekłe, tj. bioetanol i olej rzepakowy w transporcie i w produkcji energii elektrycznej oraz ciepła,
- ✧ fermentacji odpadów komunalnych i przemysłowych, rolnych przez wykorzystanie biogazu do produkcji energii elektrycznej i ciepła, nawet w transporcie,
- ✧ wykorzystania energii wiatru, słońca i geotermii — wzrost, ale w niewielkim zakresie.

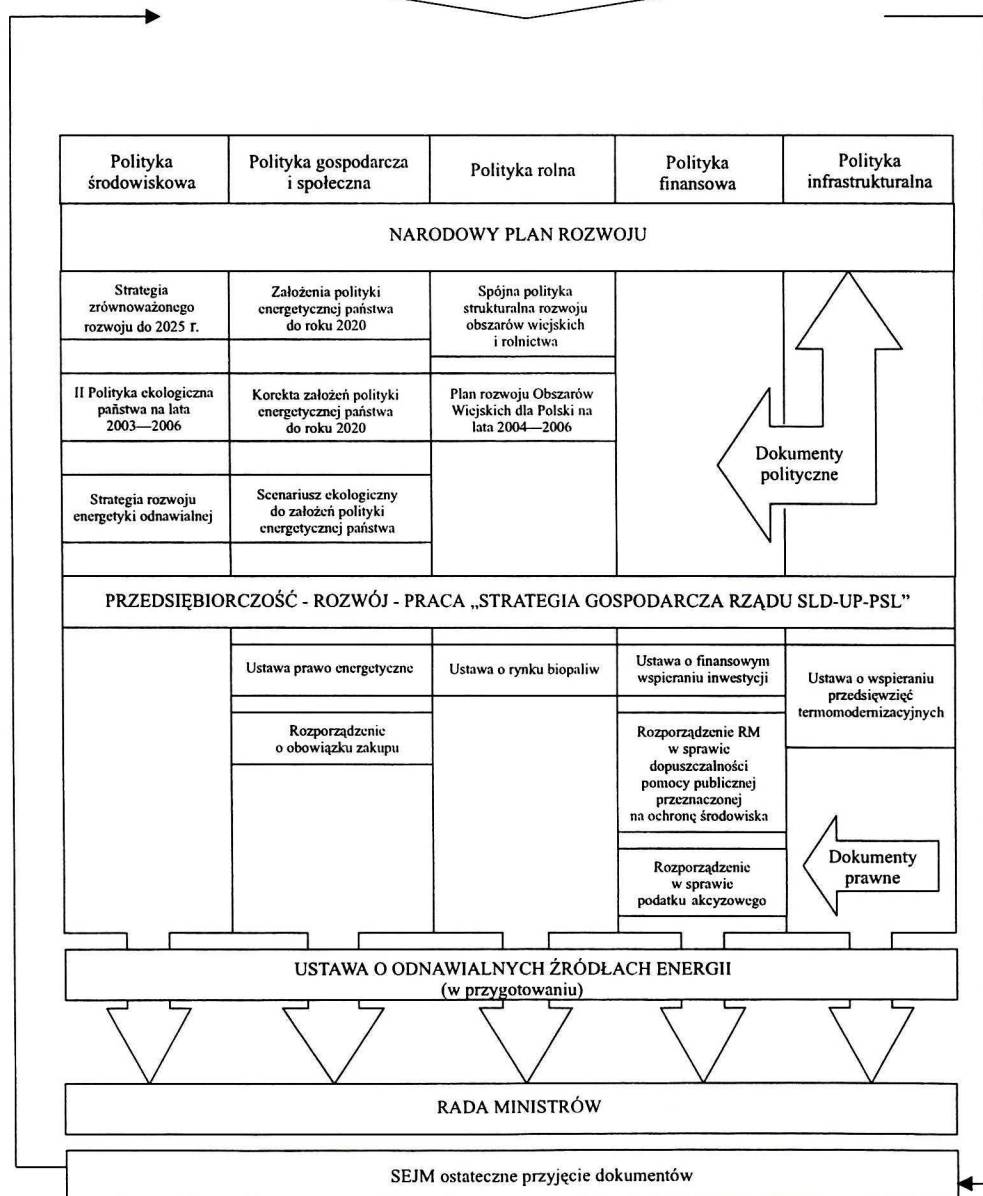
Szacuje się, że osiągnięcie celów określonych w Strategii doprowadzi do redukcji emisji gazów cieplarnianych o około 18 mln t i stworzenia dodatkowych 30—40 tysięcy miejsc pracy (bezpośredniego zatrudnienia rocznie) (Oniszk-Popławska 2002).

Obecnie podstawowym źródłem energii odnawialnej wykorzystywanym w kraju jest **biomasa**. Procentowy udział poszczególnych rodzajów OZE w Polsce w 1999 roku w produkcji energii ze źródeł odnawialnych przedstawia tabela 15.

Udział biomasy w bilansie paliwowym energetyki odnawialnej w Polsce rośnie z roku na rok. Może być ona używana na cele energetyczne w procesach bezpośredniego spalania biopaliw stałych (drewna, słomy), gazowych w postaci biogazu lub przetwarzana na paliwa ciekłe (olej, alkohol).

W warunkach polskich, w najbliższej perspektywie można spodziewać się znacznego wzrostu zainteresowania wykorzystaniem biopaliw stałych — drewna i słomy. Technologia przetwarzania tych zasobów już się przyjęła na naszym rynku, a oferta rynkowa kotłów na drewno i słomę jest stosunkowo bogata. Coraz szerszym zbytem cieszą się również kotły małych mocy wykorzystywane na potrzeby gospodarstw indywidualnych. Nadwyżki słomy mogą być również wykorzystane dla celów energetycznych pojedynczych gospodarstw, przynosząc dodatkowe dochody lub oszczędności gospodarstwom rolnym. Coraz większego znaczenia nabiera wzbogacanie węgla w procesie współspalania z biomasą stałą, tj. z drewnem. Z dniem 01.07.2004 r. wejdzie w życie przepis umożliwiający zaliczenie części energii powstałej w wyniku współspalania, jako wytworzonej z OZE, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z 30 maja 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła (Dz.U. nr 104, poz. 971). Umożliwienie współspalania spowoduje szybkie zwiększenie wykorzystania biopaliw, bez ponoszenia wysokich nakładów inwestycyjnych. Energetyczne wykorzystanie biopaliw stałych jest najszybciej rozwijającym się sektorem energetyki odnawialnej w Polsce. Rozwój ten następuje zazwyczaj na warunkach rynkowych, bez istotnego wsparcia ze strony państwa i w oparciu o dostępne w kraju technologie. Inną znaną cechą dotychczasowego wykorzystania biomasy stałej jest stosowanie niestandardizowanych i niekomercyjnych biopaliw

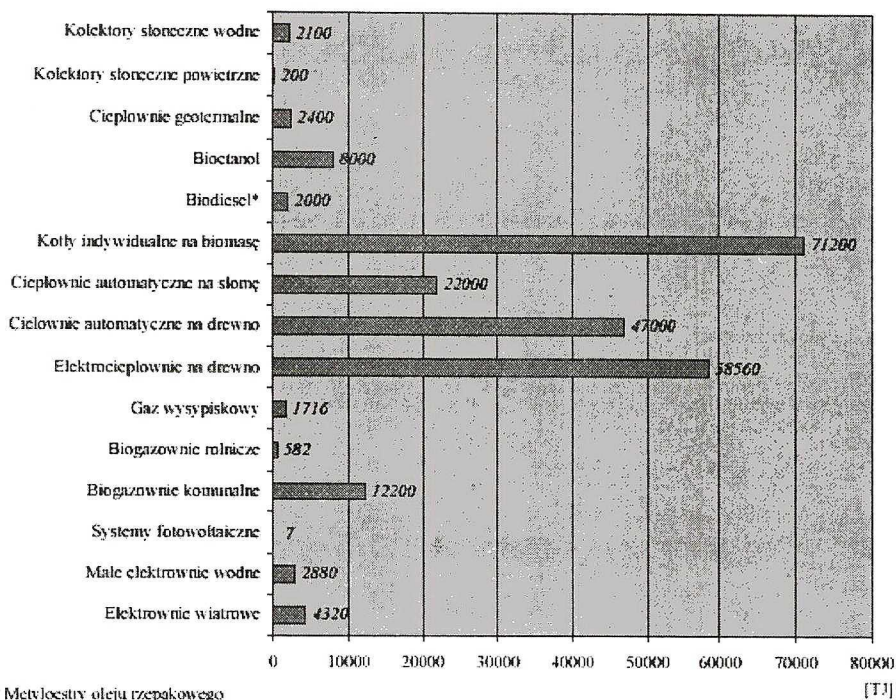
Rezolucja RP w sprawie wzrostu wykorzystania energii z OZE



Rys. 25. Dokumenty polityczne i prawne dotyczące OZE

Źródło: Oniszk-Popławska 2002

Fig. 25. Political and legal documents regarding RES (Renewable Energy Sources)



Rys. 26. Produkcja energii dla poszczególnych technologii OZE [TJ] według celów wyznaczonych w „Strategii energetyki odnawialnej”
Źródło: Pasierb 2002

Fig. 26. Energy production for particular RES technologies, according to targets set in “Renewable Energy Strategy”

TABELA 15. Wykorzystanie energii odnawialnej w Polsce w 1999 roku

TABLE 15. Renewable energy usage in Poland, in 1999

	Produkcja energii ze źródeł odnawialnych w 1999 roku	
	PJ	%
Biomasa	101,8	98,05
Energia wodna	1,9	1,83
Energia geotermalna	0,1	0,1
Energia wiatru	0,01	0,01
Energia promieniowania słonecznego	0,01	0,01
Ogółem	103,82	100

Źródło: Europejskie Centrum Energii Odnawialnej, 1999

odpadowych, o najniższej cenie rynkowej. Podejście to jest w pełni uzasadnione w krótkim okresie, gdy większość dostępnej na cele energetyczne biomasy pozostaje niewykorzystana (Strona internetowa — www.mos.gov.pl/...). W celu zwiększenia potencjału zasobów biopaliw stałych rozważać należy uprawę roślin energetycznych, które również coraz częściej od-

najdują się w naszych realiach. Plantacje dają możliwość wykorzystania mało urodzajnych lub skażonych gleb pod uprawę, co stwarza możliwości wdrażania alternatywnej produkcji rolnej. W dalszej perspektywie poza bezpośrednim spalaniem w kotłach energetycznych, dodatkowo nabierać będzie znaczenia termiczna konwersja poprzez gazyfikację lub pyrolizę (procesy termicznego zgazowywania paliw w warunkach niedoboru tlenu) z wytworzeniem gazów, spalanych następnie w silnikach spalinowych lub turbinach gazowych do produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu. Obecne technologie gazyfikacji pozwalają na uzyskanie sprawności konwersji na poziomie 25—40%, przy czym uzależniona jest ona od rozmiaru instalacji. Na świecie technologie gazyfikacji drewna z produkcją energii elektrycznej nie są jeszcze w pełni skomercjalizowane, są jednak postrzegane jako bardzo obiecująca opcja energetycznego wykorzystania drewna.

Kolejnym zyskującym coraz większe zainteresowanie sortymentem biomasy jest biogaz, zarówno ten powstający na wysypiskach śmieci, jak i ten z gospodarstw rolnych i odpadów komunalnych. Główny potencjał techniczny gazu wysypiskowego w Polsce związany jest z około 1000 wysypiskami komunalnymi, przy czym należy zaznaczyć, iż zaledwie 1/10 posiada odpowiednie instalacje do odzysku biogazu. Z powodu częstego braku odpowiednich uszczelnień masy składowanych odpadów, zasoby gazu wysypiskowego możliwe do pozyskania nie przekraczają 30—45% ich całkowitego potencjału technicznego powstającego na wysypisku. Najlepszym sposobem ograniczenia zagrożeń dla środowiska spowodowanych emisjami gazu wysypiskowego jest zbudowanie instalacji do jego odzysku i ewentualnego energetycznego wykorzystania. Wypuszczanie gazu wysypiskowego bezpośrednio do atmosfery, bez spalania w pochodni lub innego sposobu utylizacji, jest dziś — w świetle obowiązujących umów międzynarodowych i przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej — niedopuszczalne. Typowe przykłady energetycznego wykorzystania obejmują produkcję energii elektrycznej głównie w silnikach iskrowych, produkcję energii cieplnej w przystosowanych kotłach gazowych oraz produkcję energii elektrycznej i cieplnej w jednostkach skojarzonych. Inne technicznie dopracowane możliwości (nie stosowane w Polsce) obejmują dostarczanie gazu wysypiskowego do sieci gazowej, wykorzystanie gazu jako paliwa do silników oraz wykorzystanie gazu w procesach technologicznych, np. w produkcji metanolu. Obecnie technologie energetycznego wykorzystania gazu wysypiskowego (głównie do produkcji energii elektrycznej lub w skojarzeniu z produkcją energii cieplnej) należą do najszybciej rozwijających się gałęzi energetyki odnawialnej na świecie. Energia cieplna jest najczęściej zużywana na potrzeby własne operatora wysypiska lub jest sprzedawana do miejskiej sieci ciepłowniczej bądź innych odbiorców (np. duże kompleksy szklarni). Potencjał techniczny wykorzystania biogazu z oczyszczalni ścieków do celów energetycznych jest bardzo wysoki. Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, stosowane we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne zarówno na energię cieplną i elektryczną, dlatego wykorzystanie biogazu z fermentacji osadów ściekowych może w istotny sposób poprawić ich rentowność (Strona internetowa — www.mos.gov.pl/....).

Wykorzystanie biogazu z gnojowicy. Gospodarstwa hodowlane produkują duże ilości odchodów zwierzęcych. Tradycyjnie są one używane jako nawóz lub niekiedy składowane na wysypiskach. Obydwie metody mogą powodować problemy ekologiczne związane z zanieczyszczeniem rzek i wód podziemnych, emisje odorów oraz inne zagrożenia dla zdrowia. Jedną z ekologicznie dopuszczalnych form utylizacji tych odpadów jest fermentacja beztlenowa. Potencjalnych inwestorów zniechęcają wysokie nakłady inwestycyjne oraz brak dostatecznie sprawdzonych rozwiązań technologicznych.

Potencjał techniczny biopaliw ciekłych otrzymywanych z konwersji biomasy, takich jak benzyna z dodatkiem etanolu oraz paliwo otrzymywane z tłuszczów roślinnych lub zwierzęcych, szacuje się na 12—17 PJ/rok. Obecnie zgodnie z polskimi normami, etanol może stanowić jedynie 5% dodatku do paliwa tradycyjnego.

Ocenę ilości wdrożonych i funkcjonujących w 1999 r. instalacji OZE w układzie technologicznym i obecną produkcję energii ze źródeł odnawialnych w Polsce według danych Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej przedstawiono w tabeli 16.

Zróżnicowanie danych o aktualnym stanie wykorzystania OZE wynika ze specyfiki sektora energetyki odnawialnej, charakteryzującego się rozproszoną generacją w instalacjach małej mocy. Szereg z tych instalacji produkuje energię na potrzeby własne użytkownika, jak to ma miejsce w przypadku wykorzystania w gospodarstwach domowych energii biomasy (drewno, słoma), słońca i wiatru oraz w biogazowniach rolniczych i komunalnych produkujących energię dla gospodarstw rolnych i oczyszczalni ścieków.

Zdaniem referentów z EC BREC, w Polsce energetyka odnawialna uzyska wkrótce nowe bodźce rozwoju. W latach 2003—2006 zaistnieje możliwość wykorzystania nawet 200 mln EURO rocznie na rozwój OZE z takich środków, jak: program pomocowy PHARE, program przedakcesyjny SAPARD, program energetyczny UE „Intelligent Energy for Europe”, VI Program Ramowy Badań i Rozwoju UE, fundusze strukturalne i spójności UE, Fundusz Globalny Środowiska GEF, mechanizmy elastyczności Protokołu z Kioto, środki ekokonwersji polskiego długu i fundusze bilateralne.

Wnioski

1. Wyprodukowanie jednostki energii z biomasy wymaga kilkakrotnie mniejszych nakładów inwestycyjnych niż na inne rodzaje energii odnawialnej.

2. Biomasa, w zależności od jej składu chemicznego, może być przeznaczana do bezpośredniego spalania, wykorzystywana do produkcji biogazu lub przetwarzana na płynne paliwa silnikowe (biodiesel lub bioetanol).

3. W krajach rozwiniętych gospodarczo występuje nadprodukcja artykułów żywnościowych i uzasadnione jest wykorzystanie części użytków rolnych do produkcji biomasy na cele nieżywnościowe. Utworzenie nowego kierunku produkcji rolniczej tworzy nowe miejsca

TABELA 16. Ilość funkcjonujących w Polsce instalacji OZE

TABLE 16. The amount of active RES (Renewable Energy Sources) systems in Poland

Instalacje	Liczba instalacji	Łączna moc [MW]*	Produkcja energii*	
			GW·h	TJ
Elektrociepłownie na odpady z przemysłu celulozowo-papierniczego i meblarskiego	50*	1 000	90	12 500
Ciepłownie automatyczne na drewno	70	350	—	4 200
Kotły małej i średniej mocy na drewno kawałkowe, trociny i wióry	100 000*	5 000	—	80 000
Ciepłownie na słomę	10	13	—	130
Kotły małej i średniej mocy na słomę	75*	7	—	490
Ciepłownie geotermalne	3	26,8	—	147
Kolektory słoneczne wodne	1 500*	5	—	15
Kolektory słoneczne powietrzne	50*	1,5	—	3
Systemy fotowoltaiczne	2+156**	—	—	—
Biogazownie rolnicze (gnojowica)	1**	0,15	—	—
Biogazownie komunalne (osady ściekowe)	29	38,9	72,5	250
Biogazownie na gaz wysypiskowy	16	9	30	72
Elektrownie wiatrowe sieciowe	13	4	4	—
Elektrownie wiatrowe autonomiczne	50*	0,5	0,2	—
Małe elektrownie wodne	430	156	480	—
Bioetanol jako domieszka do benzyny	3***			3 800
RAZEM	102 455	6 611,7	766,7	101 607
OGÓŁEM				104 367

* Dane szacunkowe.

** 2 systemy zasilające lampy uliczne i 156 zasilających morskie znaki nawigacyjne; biogazowni rolniczych zbudowano 10, jednak obecnie funkcjonuje tylko jedna.

*** Produkcja spirytusu bezwodnego.

Źródło: Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej przy Instytucji Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa

pracy w rolnictwie i jego otoczeniu, stabilizuje rynek artykułów rolnych, powiększa dochody rolnicze, co stymuluje rozwój przemysłu lokalnego i obszarów wiejskich.

4. Ochrona środowiska przyrodniczego poprzez ograniczenie emisji tlenków azotu i zamknięty obieg CO₂. W przypadku spalania biopaliw uwalnia się maksymalnie taka ilość CO₂, jaką rośliny pobrały z atmosfery w procesie fotosyntezy.

5. Poprawa bezpieczeństwa energetycznego kraju, co w naszych warunkach ma szczególnie duże znaczenie w odniesieniu do paliw płynnych, gdyż krajowe wydobycie ropy naftowej w Polsce wynosi tylko około 0,65 mln ton (Kuś, Strona internetowa — [www.pan.ol.lublin.pl/...](http://www.pan.ol.lublin.pl/)).

ZAŁĄCZNIK 1. Przykłady inwestycji związanych z wykorzystaniem biomasy

ANNEX 1. The examples of the biomass — related investments

Lp.	Miejscowość	Opis inwestycji
1	2	3
1.	Budowa opalanej drewnem ciepłowni wraz z plantacją wierzby energetycznej w Nowej Dębic	Nieefektywną i przewymiarowaną kotłownię (o mocy 40 MW) zamieniono na kotłownię opalaną biomasą (o mocy 8 MW). Drewno na potrzeby kotłowni pozyskiwane jest z terenów nadleśnictw oraz z zakładów przetwórstwa drzewnego i gospodarki komunalnej. Plantacja szybkorosnącej wierzby zasilana jest nawozem wapniowo-organicznym, powstałym z osadów z miejskiej oczyszczalni ścieków. Wierzba energetyczna ma w przyszłości zastąpić drewno z produkcji leśnej. Docelowo, przy areale 200 ha wierzby, planuje się zbiór około 4 tys. ton surowca na rok. Zrealizowane działania pozwolą na optymalizację miejskiego systemu ciepłowniczego. Dotacja z EkoFunduszu 4,6 mln zł
2.	Budowa kotłowni opalanej rozdrobnionym drewnem poprodukcyjnym w „Sklejka – Pisz” w Pisz	Przestarzałe i nieefektywne kotły zamieniono na nowoczesny, wielociągowy kocioł o mocy 8 MW. Są w nim spalane rozdrobnione odpady poprodukcyjne w postaci kory, zrębków, trocin, drewna poprodukcyjnego – w sumie około 8,4 tys. ton/rok. Jest to rozwiązanie wzorcowe w regionie Wielkich Jezior Mazurskich. Dotacja wynosi 2,3 mln, zł
3.	Budowa kotłowni opalanej słomą w Skwierzynie	Wyeksploatowaną kotłownią węglową (o mocy 3,32 MW) zastąpiono kotłownią na słomę, w której nastąpi zastosowanie nowoczesnej i w pełni zautomatyzowanej technologii wytwarzania energii cieplnej. Rezultatem modernizacji jest wyeliminowanie ze spalania około 1279 ton węgla rocznie. Dotacja wynosi 930 tys. zł
4.	Budowa kotłowni opalanej słomą w Zespole Szkół nr 1 w Krzyżowicach	Małe kotłownie lokalne opalane węglem stanowiące źródło ciepła dla kompleksu budynków szkolnych, zastąpiono centralną kotłownią opalaną słomą. Zastosowanie słomy jako paliwa przyniesie spadek kosztów eksploatacyjnych — słoma będzie pozyskiwana z areałów szkoły i kupowana od okolicznych gospodarstw. Dotacja wynosi 1,2 mln zł
5.	Redukcja emisji metanu z wysypisk odpadów komunalnych w gminach Wołomin i Krośnice	Na dwóch składowiskach odpadów komunalnych — w Lipinach Starych i we Frankach — powstaje elektrownia wykorzystująca biogaz, która będzie pełniła funkcję demonstracyjną w centralnej części Polski. Przyznana dotacja o łącznej kwocie 558,25 tys. zł została przekazana na zakup i montaż trzech zespołów prądotwórczych o mocy 3 × 180 kW wraz z wyposażeniem. Planowana inwestycja pozwoli ograniczyć o około 70% emisję metanu. Pozyskany metan pozwoli częściowo wyeliminować ze spalania węgiel
6.	Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w gminie Wińsko	Modernizacja wyeksploatowanej kotłowni węglowej w zespole budynków szkolnych, remont i modernizacja instalacji c.o., termomodernizacja to działania, które doprowadzą do powstania znaczących oszczędności energetycznych. Dotacja w wysokości 805 tys. zł została przeznaczona na zakup 2 kotłów na słomę (400 kW każdy) i realizację działań termomodernizacyjnych
7.	Kompleksowa modernizacja systemu grzewczego w ośrodku Caritas w Myczkowcach	W istniejącej kotłowni zdemontowano 4 kotły węglowe o mocy sumarycznej 1,6 MW. Zainstalowano kocioł na biomasę, o mocy 522 kW, na zrębki oraz kocioł parowy olejowy o mocy 170 kW, którego zastosowanie uzasadnione jest potrzebami pary technologicznej oraz dodatkowo pokryciem szczytowych potrzeb ciepłych w okresach przejściowych. Dodatkowo przewiduje się montaż 210 m kolektorów słonecznych oraz pompy ciepła o mocy 57 kW do wspomagania układu wytwarzania ciepłej wody. Jednocześnie zrealizowana zostanie modernizacja sieci cieplnej oraz termomodernizacja budynków. Dotacja wynosi 723,2 tys. zł

ZALĄCZNIK I cd.

1	2	3
8.	Biogazownia rolnicza wraz z komponentem kompostowni farm — była inwestycja w Duchnowie	Instalacja pracowała nieprzerwanie od roku 1993 do 1995, przy czym w sensie energetycznym produkowała jedynie gaz używany do celów socjalnych (ogrzewanie budynków). W tym czasie farma posiadała 1500 sztuk dużych, jednak z powodów finansowych hodowla zwierzęca została zawieszona. Aktualnie na farmie nie ma zwierząt hodowlanych, chociaż produkcja kompostu jest kontynuowana. Instalacja obejmowała chlewnię, zbiorniki gnojowicy, komorę fermentacyjną, stację kompostowania oraz suszarnię, kocioł gazowy.
9.	Oczyszczalnia Tychy - Urbanowice	W zmodernizowanej technologii oczyszczalni w Tychach-Urbanowicach przewidywane jest wykorzystanie biogazu do skojarzonego wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej. Biogaz kierowany jest pod ciśnieniem wytwarzanym w zbiorniku gazu do silników sprężonych generatorami energii elektrycznej. Gaz przed zasilaniem silników oczyszczany jest w filtrze ceramicznym. Ciepło odbierane z układu chłodzenia silnika oraz spalin przekazywane jest strumieniem wody obiegowej układu grzewczego do komór fermentacyjnych i c.o. oczyszczalni. Łączna sprawność energetyczna wykorzystania biogazu wynosi 82—90%, z czego na produkcję energii elektrycznej przypada około 35%. Przy docelowej produkcji biogazu na poziomie 5500 m ³ /d możliwe jest uzyskanie około 500 kW energii elektrycznej i około 800 kW energii cieplnej
10	Ciepłownia opalana słomą w Zielonkach	Technologia pracy ciepłowni w Zielonkach została omówiona w niniejszym opracowaniu jako jedno z zagadnień rozdziału biomasa słomy.
11	Oczyszczalnia ścieków komunalnych w Słupsku	W roku 1988 w oczyszczalni wykonano i uruchomiono instalację biogazu z urządzeniami podstawowymi: – dwie komory fermentacji zamkniętej o pojemności po 1620 m³, – odsiarczalnia biogazu oparta na rudzie darniowej, – kotły ECA IV sztuk 3 z palnikami adaptowanymi do spalania biogazu. Instalacja nie jest wyposażona w zbiornik biogazu gromadzący jego nadwyżki lub zespół prądotwórczy umożliwiający produkcję energii elektrycznej. Tym samym sprawność energetyczna instalacji jest obniżona, gdyż nadwyżka gazu, szczególnie w okresie lata, spalana jest w pochodni. Parametry charakteryzujące pracę instalacji: – dopływ ścieków 40 000 m³/dobę, tj. 14 600 000 m³/rok, – ilość uzyskiwanego biogazu 2700 m³/dobę, tj. 985 500 m³/rok, – zawartość CH₄ — 70% o kaloryczność rzędu 21,7 MJ/m³, – ilość rocznie uzyskiwanej energii 21 435 GJ, – zużycie biogazu na potrzeby własne instalacji, tj. podgrzewanie zbiorników fermentacji: zima — 2200 m³/dobę, tj. 82%, latem — 1100 m³/dobę, tj. 41%. Uzyskiwane ciepło wykorzystywane jest na potrzeby c.o. i c.w.u. oczyszczalni (Soliński 2001)
12	Grupowa Oczyszczalnia Ścieków „DĘBOGÓRZE” powstała w latach 1961—1965 we wsi Dębogórze z przeznaczeniem przyjmowania i oczyszczania ścieków z terenów Gdyni, Rumi, Redy, Wejherowa i Kosakowa	Głównym celem modernizacji była eliminacja związków biogenych poprzez przyjęcie w biologicznym stopniu oczyszczalni systemu BARDENPHO z modyfikacją Barnarda oraz reagentową osłoną defosfatacji biologicznej. W 1997 roku uruchomiono wielofazowy reaktor biologiczny o pojemności 46 000 m ³ składający się z czterech ciągów technologicznych z wyodrębnionymi strefami beztlenowymi, niedotlenionymi i tlenowymi zapewniający uzyskiwanie wymaganego po roku 2000 stopnia oczyszczania ścieków. Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Gdyni prowadzi eksploatację obiektów oczyszczalni biologicznej z wielofazowym osadem czynnym, oczyszczając każdego dnia zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi jakości ścieków odprowadzanych do wód morskich około 60 000 m ³ ścieków komunalnych

ZALĄCZNIK 1 cd.

1	2	3
13	Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o. w Gdańsku – Szadółkach, o powierzchni ok. 60 ha jest położony poza miastem, w okolicy Trójmiejskiej Obwodnicy w odległości 7–8 km od centrum Gdańska	Instalacja składa się z systemu pozyskiwania biogazu i urządzeń do produkcji i przesyłu energii elektrycznej. W skład obu systemów wchodzi: 39 pionowych, perforowanych studni gazowych o średniej głębokości 8 m, sieć gazowa o łącznej długości 5200 m, 3 stacje kontrolne, 5 studni odwadniających, pochodnia biogazowa, budynek wyposażenia technicznego z zamontowanymi wewnątrz: sprężarką (ssawa wentylatorowa), generatorami prądowórczymi 2×200 kW i instalacjami automatyki, sterowania i kontroli, stacja transformatorowa z napowietrzną linią energetyczną (15 kV). Ujęcie, pozyskiwanie i utylizacja biogazu polega na jego zasysaniu ze złoża i transporcie do dwóch gazowych zespołów prądowórczych, które wytwarzają energię elektryczną o mocy 200 kW każdy. Biogaz z każdej studni transportowany jest przewodami gazowymi o średnicy 63 mm do stacji kontrolnej, w której można regulować przepływ gazu i badać jego skład. Od stacji kontrolnych gaz jest przesyłany kolektorem głównym o średnicy 160 mm do budynku wyposażenia technicznego. Tam w pomieszczeniach sprężarkowni, strowni i zespołów prądowórczych znajdują się główne urządzenia instalacji. Dodatkowym wyposażeniem jest pochodnia, mogąca spalać biogaz w przypadku postoju zespołów prądowórczych. Praca całego systemu odgazowania sterowana jest automatycznie, a procedury kontroli i zabezpieczeń pozwalają na bezobsługowe działanie instalacji gazowej. Eksploatowana od września 1998 r. elektrownia biogazowa w Gdańsku–Szadółkach przyczyniła się do utylizacji 2 470 000 m³ biogazu wysypiskowego oraz wyprodukowała 4 100 000 kW·h energii elektrycznej, z czego sprzedano 3 500 000 kW·h za kwotę 650 650 zł. Wykorzystanie ZPG w 1999 r. utrzymało się na poziomie 85%. Elektrownia w Gdańsku–Szadółkach wykorzystuje jako źródło energii gaz wysypiskowy powstający przy rozkładzie odpadów komunalnych. Praca elektrowni powoduje roczne ograniczenie emisji biogazu do atmosfery w ilości 1 500 000 m³. Ujęcie biogazu pozwala uniknąć emisji dwutlenku węgla w ilości 39 500 ton rocznie. Wartość ta stanowi około 1% emisji rocznej CO₂ z terenu gminy Gdańsk (Strona internetowa — www.zut.com.pl)
14	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Jeleniej Górze	Opracowano projekt, który polega na zastąpieniu istniejących, dwóch zużytych kotłów na węgiel o mocy cieplnej 256 kW każdy i sprawności ok. 50%, technologią pozyskiwania, suszenia, przechowywania i spalania zrębków drzewnych w nowoczesnym automatycznym kotle o mocy cieplnej 350 kW i sprawności ponad 80%, firmy KARA Energy Systems B.V. z Holandii. Realizację projektu rozpoczęto w 1998 r. w ramach środków finansowych Rządu Holandii. Realizatorami tego projektu są: Biomass Technology Group B.V. (BTG) jako koordynator, firma KARA (producent kotła) z Holandii, Europejskie Centrum Energii Odnawialnej (EC BREC/IBMER) z Polski jako koordynator lokalny oraz Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Jeleniej Górze jako partner projektu i lokalny inwestor. Projekt został sfinansowany przez holenderskie Ministerstwo Gospodarki poprzez Agencję Rządową SENTER na mocy umowy podpisanej przez rządy Polski i Holandii, jako pilotowe przedsięwzięcie w ramach mechanizmu Joint Implementation. Ideą mechanizmu JI jest finansowanie przez państwo „dawcę” (Holandia) działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych w kraju „biorcy” (Polska) o niskich kosztach redukcji. Końcowym krokiem jest „zapisanie” efektów redukcji ekw. CO₂ jako wkładu kraju „dawcy” w realizację po-

ZAŁĄCZNIK 1 cd.

1	2	3
14	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Jeleniej Górze — cd.	stanowień protokołu z Kioto, określającego limity zobowiązań do redukcji emisji gazów w poszczególnych krajach. Wspomniany projekt jest jednym z pierwszych projektów JI w Europie w sektorze energetyki odnawialnej. Efektem ekologicznym projektu jest ograniczenie emisji CO₂ z tytułu zastąpienia węgla kamiennego biopaliwem (zrębki drzewne) oraz uniknięcie emisji metanu z miejskiego wysypiska, na którym uprzednio były składowane odpady z pielęgnacji drzew. Kotłownia służy do ogrzewania zespołu 5 szklarni o łącznej powierzchni 1200 m² produkujących kwiaty cięte, doniczkowe i rośliny dla zieleni miejskiej. Zapotrzebowanie energii cieplnej w sezonie zimowym wynosi ok. 2200 GJ/rok. Korzyści wynikające z wdrożenia projektu: zaoszczędzenie 220 t węgla rocznie przez zastąpienie go biomasą, ograniczenie składowania 385 t odpadów drzewnych na wysypisku i tym samym ograniczenie emisji wskutek rozkładu materiałów organicznych, zmniejszenie opłat za korzystanie ze środowiska. Dla okresu 15 lat trwania projektu wyliczono łączną redukcję 21 tys. ton ekwiwalentu CO₂.
15	Biogaz z wysypiska śmieci w Gliwicach	Jednym z nowatorskich rozwiązań jest projekt realizowany na wysypisku śmieci w Gliwicach. Zakłada on ujęcie biogazu z istniejącego, zamkniętego wysypiska o powierzchni ok. 15 ha i miąższości 12—15 m, a także budowę elektrowni biogazowej o mocy 640 kW, a docelowo podłączenie również instalacji ujęcia biogazu z nowego wysypiska. W rezultacie inwestycja ma prowadzić do zmniejszenia emisji metanu będącego jednym z aktywnych gazów szklarniowych, a jednocześnie produkowana będzie energia cieplna i elektryczna, przez co zmniejszy się zapotrzebowanie na energię pochodzącą z paliw kopalnych
16	Wykorzystanie słomy do celów ciepłowniczych jest inwestycją Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej z Lubania	Od 15 grudnia 1998 r. pracuje tam kotłownia opalana słomą, o mocy 1 MW. 20 grudnia 2000 r. dobudowano do niej kotłownię na słomę typu WCO 160/S o mocy 3,5 MW. Moc kotłów na słomę w tym przedsiębiorstwie to 8,0 MW. Oba przedsięwzięcia składają się na realizowany w Lubaniu program konwersji węgla na paliwa odnawialne i racjonalizacji zużycia energii. Lubąńskie przedsiębiorstwo jest pierwszą na Dolnym Śląsku i jedną z pierwszych w Polsce firm energetycznych wykorzystujących słomę do produkcji energii cieplnej na potrzeby miejskiego systemu grzewczego. Dostępne zasoby słomy w promieniu 30 km od Lubania oszacowano na ok. 10—12 tys. t rocznie. Według założeń, docelowo z odnawialnych źródeł energii będzie pochodzić do 40 proc. ciepła zużywanego przez miasto Lubąń (do 100 tys. GJ/rok). Jego końcowym efektem ma być także znacząca redukcja niskiej emisji w mieście. Nakłady na realizację całego projektu wyniosły 6,350 mln zł, w tym 3,440 mln kotłowni 1 × 1,0 MW i 2 × 3,5 MW. Około 590 tys. zł przeznaczono na budowę magazynów na słomę, 1,48 mln zł na sprzęt do zbioru i transportu słomy oraz 840 tys. zł na likwidację niskiej emisji i racjonalizację zużycia energii cieplnej. Całe przedsięwzięcie sfinansowano w 37 proc. ze środków własnych, 43 proc. stanowi dotacja Fundacji EkoFundusz; 20 proc. pożyczka z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Uruchomienie kotłowni na słomę ma zdecydowanie szersze znaczenie niż tylko produkcja ciepła. Istnienie takiego obiektu stwarza możliwość rozwiązania problemów odpadów z produkcji rolnej poprzez uniknięcie utylizacji słomy. Przyczynia się do rozwoju tego rynku (zysk z produkcji biopaliwa) oraz wpływa na wzrost bezpieczeństwa energetycznego (Strona internetowa — www.circ.pl)

ZAŁĄCZNIK 1 cd.

1	2	3
17	Czarna Białostocka w województwie podlaskim — kotłownia opalana drewnem	W 2001 r. wybudowano kotłownię o mocy 14 MW opalaną zrębkami drewna. To największy w Polsce projekt wykorzystujący ten rodzaj paliwa. Całkowity koszt inwestycji (9,6 mln zł) w połowie pokryły dotacje z EkoFunduszu. Działania towarzyszące projektowi obejmują likwidację starych, zużytych sieci ciepłych centralnego ogrzewania i zastąpienie ich nowoczesnymi ciepłociągami. Tym samym wyeliminowano ok. 6600 t/rok paliwa węglowego i zmniejszono emisję dwutlenku węgla o 14,5 tys. t rocznie. Realizowany przez podlaską gminę projekt jest znakomitym przykładem wykorzystania odpadów drzewnych na wielką skalę, który pozwala zaopatrzyć znaczną część miasta w czystą ekologicznie energię ciepłą za niską cenę (Strona internetowa — www.circ.pl).

Źródło: Opracowanie własne

Literatura

- BEDNARZ L., TELIGA K., 2002 — Lokalne kotłownie na biomase — techniki i technologie spalania słomy. *Czysta Energia* 11.
- CIECHANOWICZ W., 2001 — Program Konsorcjum „Bioenergia na rzecz rozwoju wsi” zaprezentowany w Warszawie w Instytucie Badań Systemowych PAN, Warszawa.
- Dokumentacja techniczna zabudowy agregatu prądotwórczego na składowisku Odpadów Komunalnych „Barycz” w Krakowie.
- Europejskie Centrum Energii Odnawialnej przy Instytucie Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa „Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł w Polsce”, 1999.
- EYMONTT A., 2002 — Możliwość pozyskania biogazu z fermentacji odpadów zwierzęcych w biogazowniach rolniczych. *Czysta Energia* 10.
- FOROWICZ K., 2002 — Bioelektrownie na śmieciach. *Rzeczpospolita* z dn. 26.08.2002 r.
- GRADZIUK P., 2002 — Alternatywne wykorzystanie gruntów rolniczych — przegląd roślin energetycznych. *Czysta Energia* 10.
- GRZYBEK A., 2002 — Wytwarzanie paliwa rzepakowego w Polsce. *Czysta Energia* 2.
- GRZYBEK A., 2003a — Kierunki rozwoju i możliwości przetwarzania biomasy na cele energetyczne. *Czysta Energia* 10.
- GRZYBEK A., 2003b — Produkcja i uwarunkowania wykorzystania biopaliw płynnych. *Czysta Energia* 11.
- GUTKOWSKI J., 2001 — Energia odnawialna stan obecny na tle optymistycznych prognoz jej możliwego wykorzystania w Polsce. *Odnawialne Źródła Energii u Progu XXI Wieku*. IBMER, Warszawa.
- GUZENDA R., ŚWIGOŃ J., 1997 — Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 1.
- KAMIENSKI Z., 2003 — Polskie prawodawstwo, a możliwości produkcji biopaliw. *Czysta Energia* 10.
- KOWALIK P., 2002a — Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego. *Czysta Energia* 10.
- KOWALIK P., 2002b — Perspektywy peletyzacji biomasy w Polsce. *Czysta Energia* 10.
- KOWALIK P., 2003 — Uwarunkowania i wymagania UE zakresie energetycznego wykorzystania biomasy. *Czysta Energia* 10.

- Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. Analiza możliwości stosowania nośników energii produkowanych w oparciu o surowce ze źródeł odnawialnych Na podstawie Umowy nr 549/99/Wn50/NE-PO-TX/D zawartej w dniu 2.11.1999 r. pomiędzy: Ministerstwem Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Krajową Agencją Poszanowania Energii S.A. i Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Koordynator projektu: Dr inż. Dorota Chwieduk.
- LEMAŃSKI J., 1993 — Gospodarka odpadami na wysypiskach. Arka Konsorcjum.
- LEWANDOWSKI W., 2001, 2002 — Proekologiczne źródła energii odnawialnej. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- ŁUPKOWSKI P., 2003 — Potencjał biomasy mamy większy niż możliwości jej spożycia. Energia Gigawat, kwiecień 2003.
- MAJTKOWSKI W., 2003 — Rośliny energetyczne — przegląd. Czysta Energia 10.
- NOWAK K., 2003 — Wzrost kapitału regionalnej społeczności w wyniku redukcji „importu bezrobocia” w postaci zmonopolizowanych nośników energii: paliw oraz energii elektrycznej, możliwych do zastąpienia regionalnymi, odnawialnymi źródłami energii. Fundacja Wspierania Inicjatyw Ekologicznych, Towarzystwo na rzecz Ziemi, „Korzyści i szanse rozwoju wynikające z wykorzystania odnawialnych źródeł energii”, Kraków-Oświęcim.
- NOWAKOWSKI S., 1997 — Pozyskiwanie biogazu wysypiskowego do celów energetycznych. Ochrona Powietrza i Problem Odpadów nr 1.
- ONISZK-POPLAWSKA A., — Dostosowanie energii odnawialnej do prawa UE w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. EC BREC/IBMER.
- PASIERB S., 2002 — Jak rozwijać odnawialne źródła energii w regionie i aktywizować gospodarkę i społeczeństwa nieprzemysłowych obszarów województwa śląskiego. Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice, 6—7 marzec.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. (Dz.U. z 2003 r. nr 104, poz. 971) w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła.
- SOLIŃSKI I., 2001 — Biomasa — energia odnawialna. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków.
- SOLIŃSKI I. i in., 1994 — Prognozy kosztów oraz konkurencyjność odnawialnych i nieodnawialnych nośników energii w Polsce. Studia i Rozprawy nr 34. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- SOLIŃSKI I., ZAŁUCKI J., 1997 — Studium wykonalności dla zabudowy bloku energetycznego firmy Hasse Energietechnik GmbH (Niemcy) do produkcji energii elektrycznej i ciepłej z biogazu na Składowisku Odpadów Komunalnych „Barycz” w Krakowie. Kraków (niepubl.).
- SOLIŃSKA M., SOLIŃSKI I., 2001 — Ekologicznie uzasadniona wielkość dotacji do odgazowania składowisk odpadów komunalnych. Mat. Międzynarodowego Seminarium nt. „Recykling odpadów”, Ostrawa.
- SZAŁEK J. i in., 1996 — Zagospodarowanie biogazu z Wysypiska Odpadów Komunalnych w Baryczy. Styczeń (koncepcja).
- SZOSTAK A., RATAJCZAK E., 2003 — Zasoby odpadów drzewnych w Polsce. Miesięcznik Czysta Energia VI.
- SZCZUKOWSKI S., BUDNY J., 2003 — Wierzba krzewiasta — roślina energetyczna. Wyd. Biblioteka praktycznego ekologa, Olsztyn.

TIETZE B. i i., 1996 — Wytwarzanie biogazu z odpadów gospodarstw rolnych oraz odpadów komunalnych. Gospodarka Paliwami i Energią 1.

Strony internetowe:

- Strona internetowa — <http://www.biodiesel.pl/pl/mainindex.html>
- Strona internetowa — <http://www.bioenergia.eco.pl/biogaz.html>
- Strona internetowa — <http://bioenergy.ornl.gov/docofd/stratpla/stand.html> - Ridge National Laboratory, 1994
- Strona internetowa — http://cieplej.pl/Ekologia_OZE/1051547464.shtml
- Strona internetowa — <http://cire.pl/pliki/2/rrr.pdf> Roman Szrama „Rozwój i regulacja rynku energii odnawialnej w Polsce” Biuletyn URE 5/2003
- Strona internetowa — http://cire.pl/pliki/2/ciepl_biom.pdf
- Strona internetowa <http://www.ekoenergia.pl/praca/marzec/biopaliwa.htm>;
- Strona internetowa — <http://www.emanager.pl>
- Strona internetowa — <http://www.emanager.pl/odnaw/biomasa/drewno/>
- Strona internetowa — http://www.ferox.com.pl/silniki/paliwa/gazy_odn_wysypiska_pl.htm
- Strona internetowa — <http://www.gigawat.net.pl/article/articleview/277/1/33/>
- Strona internetowa — <http://www.ibmer.waw.pl>
- Strona internetowa — <http://www.jero.pl>
- Strona internetowa — http://www.kape.gov.pl/EN/Achievements/Programmes/ProgrammesInternational/1996_2000_a/pliki/sloma/sloma_2.htm
- Strona internetowa — http://www.kape.gov.pl/PL/Programy/Programy_UniiEuropejskiej/5_PROGRAM_RAMOWY/aP_OPET/poradnik/r3.html
- Strona internetowa — www.metalerg.pl/katalog.htm
- Strona internetowa — <http://mops.uci.agh.edu.pl/~skibmen/przyklady.htm>
- Strona internetowa — http://www.mos.gov.pl/1/materialy_informacyjne/raporty_opracowania/energetyka/index.html
- Strona internetowa — <http://www.otzo.most.org.pl/publikacje/fw/systemy/9rozd.htm>
- Strona internetowa — <http://www.otzo.most.org.pl/publikacje/fw/systemy/8rozd.htm>
- Strona internetowa — http://www.pan.ol.lublin.pl/biul_7/art._710.htm — Jan Kuś „Produkcja biomasy na cele energetyczne (możliwości i ograniczenia)”
- Strona internetowa — http://www.rcgw.pl/artukul/tom_biogaz.php
- Strona internetowa — http://www.stat.gov.pl/serwis/nieregularne/srodowisko_2002.html GUS Ochrona środowiska 2002
- Strona internetowa — <http://www.tnz.most.org.pl/metody/odgaz.htm> Tadeusz Wołoszyn „Odgazowanie wysypisk i gospodarcze wykorzystanie pozyskanego biogazu”
- Strona internetowa — <http://www.tnz.most.org.pl/metody/pke-p.htm> Renata Przywarska „Nowe technologie biologicznego unieszkodliwiania odpadów”
- Strona internetowa — <http://www.zut.com.pl/skladowisko.html>

Justyna JESIONEK, Ireneusz SOLIŃSKI

The biomass — ecological and renewable fuel of the 21st century

Abstract

The article presents the classification of the biomass according to the sources of its origin. The biomass' potential in Poland has been estimated. Methods of harvesting of particular biomass' assortments have been presented. The article also characterizes the biomass' conversion to heat and the electricity.

KEY WORDS: wood — derived biomass, energetic plants, straw — derived biomass, biogas from the animal waste, biogas from sewage sludge, biogas from the municipal waste, biofuels