

### 3. Szwedzki model rozwoju innowacyjnych technologii biogazowych oparty na zarządzaniu odpadami

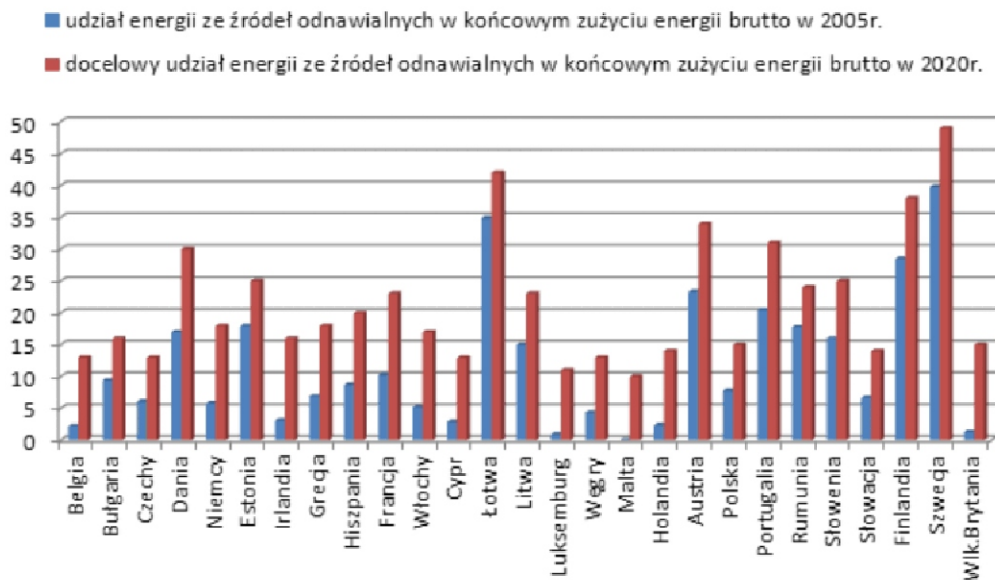
#### STRESZCZENIE

*Niniejszy artykuł opisuje Szwedzki Model innowacyjnego systemu produkcji biogazu, jako pozytywnego przykładu efektywnego i zrównoważonego systemu zarządzania odpadami połączonego z wytwarzaniem biogazu oraz promocją czystej energii. Na bazie szwedzkich rozwiązań zaproponowano profil polskiego systemu biogazowego. Obejmuje on mikro-biogazownie zlokalizowane na terenach inwestycyjnych istniejących przedsiębiorstw rolno-spożywczych, z jednoczesnym uwzględnieniem lokalnego potencjału i potrzeb w zakresie efektywnej produkcji biogazu. Niniejsze opracowanie nie wyczerpuje tematu; stanowi ono jedynie krótki zarys problemu oraz prezentację rozwiązań możliwych do zastosowania w Polsce. Z założenia przeznaczony jest dla doradców rządowych, inwestorów, naukowców, przedstawicieli społeczności oraz dla tych wszystkich, dla których tematyka energii odnawialnej nie jest obojętna.*

#### 3.1. WPROWADZENIE

Problem wyczerpywania się naturalnych źródeł energii był główną pobudką dla zmian w globalnym podejściu do rynku energii. Inicjator tych zmian – Parlament Europejski – przyjął Uchwałę 2009/28/WE, która odnosi się do promocji odnawialnych źródeł energii. Zgodnie z propozycjami komisji UE dot. energii i klimatu, udział energii generowanej z odnawialnych źródeł energii w całym wolumenie wytwarzanej energii powinien wzrosnąć o 20% w 2020r. w porównaniu do 1999r. (Rys. 1).

Dodatkowo, dyrektywa paliwowa UE określa, że w 2020r. udział zużycia biopaliw w całkowitej konsumpcji paliw samochodowych w całej UE powinien wynosić co najmniej 10%. To założenie dotyczy każdego państwa członkowskiego Unii Europejskiej. W konsekwencji, Polski rząd przyjął trzy dokumenty związane z rozwojem energii odnawialnej: „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” (23.08.2001), „Polityka energetyczna Polski do roku 2030” (10.11.2009) i „Program dla elektroenergetyki” (28.05.2006). Od tego momentu celem strategicznym polskiej polityki stało się zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii o 14% w 2020 r. [1]. Korzyści płynące z przyjęcia tej polityki przedstawiono w Tabeli 1.



Rys. 1 Krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020r.

Źródło: Publikacja [2].

Tabela 1. Ekologiczne korzyści ograniczenia emisji jako konsekwencja wdrożenia „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej”.

Łączne ograniczenie emisji różnych substancji gazowych	2005-2010	2011-2020
Dwutlenek węgla (miliony ton)	115	311
Dwutlenek siarki (tysiące ton)	641	1697
Pył (tysiące ton)	124	289
Tlenki azotu (tysiące ton)	165	451

Źródło: Publikacja [3].

Aby osiągnąć powyższe cele Polska musi istotnie zwiększyć liczbę istniejących elektrowni, które wykorzystują materię organiczną jako substrat do produkcji energii. Doskonałym przykładem takich rozwiązań są biogazownie, które - niestety - w dalszym ciągu są niezbyt popularne w naszym kraju.

Tabela 2. Charakterystyka potencjalnych surowców do produkcji biogazu wraz z ich potencjałem.

Surowiec	Procentowa zawartość s.m. w 1t surowca	Procentowa zawartość s.m.o. w zawartości s.m.	Produkcja metanu na 1t s.m.o.	
	% wsadu	% s.m.o.	m <sup>3</sup> /t s.m.o.	
Przetwórstwo spożywcze	odpady i pozostałości owoców	45,0	61,5	400,0
	odpady i pozostałości	13,6	80,2	370,0
	melasa	81,7	92,5	301,6
	wysłodziny browarnicze	20,5	81,2	545,1
	wywar pogorzelniany ziemniaczany	13,6	89,5	387,7
	gliceryna	84,0	91,5	1196,0
	odpady z produkcji oleju	78,8	97,0	600,0
	serwatka	5,4	86,0	383,3
Rośliny energetyczne i odpady rolnicze	słoma	87,5	87,0	387,5
	trawa - kiszonka	40,3	83,4	396,6
	trawa	11,7	88,0	587,5
	siano	87,8	89,6	417,9
	liście ziemniaków	25,0	79,0	587,5
	kiszonka z kukurydzy	32,6	90,8	317,6
	kiszonka z bobu	24,1	88,6	291,0
	kiszonka z rzepaku	50,8	87,6	376,5
	burak pastewny	13,5	85,0	546,6
burak cukrowy	23,0	92,5	444,0	
cebula	12,9	94,8	360,3	
Odpady poubojowe	osady poflotacyjne z rzeźni	14,6	90,6	680,0
	zawartość żołądka (bydło)	15,0	84,0	264,0
	odseparowana tkanka tłuszczowa	34,3	49,1	700,0
Odpady z hodowli zwierzęcej	gnojowica bydłęca	9,5	77,4	222,5
	gnojowica świńska	6,6	76,1	301,0
	gnojowica kurza	15,1	75,6	320,0
	gnojowica krów mlecznych	8,5	85,5	154,0

Źródło: Publikacja [4].

Najbardziej popularnym źródłem energii odnawialnej jest obecnie biogaz. Składa się on z dwóch głównych komponentów: metanu (40-70%) i dwutlenku węgla (30-70%). Pierwszy z wymienionych jest bardzo bogaty w energię; jego wartość opałowa wynosi 22,1 MJ/m<sup>3</sup>. Dzięki temu biogaz może być wykorzystany zarówno do produkcji ciepła i elektryczności oraz jako paliwo transportowe. Biogaz jest także cennym towarem w przemyśle, zarówno jako czyste paliwo, jak i surowiec w innych procesach.

Produkcja biogazu następuje w wyniku procesów biologicznych zwanych rozkładem beztlenowym lub fermentacją. Olbrymie konsorcja mikroorganizmów w specjalnych warunkach prowadzą do rozkładu wielkocząsteczkowych związków organicznych w prostsze składniki, a w konsekwencji w biogaz zawierający znaczne ilości metanu. Istnieją różne źródła materii organicznej, mogące być wykorzystane w procesie fermentacji beztlenowej. W Tabeli 2(str. 41), zostało wymienionych kilka z nich. Ogólnie ujmując, surowcem dla instalacji biogazowych są:

- rośliny energetyczne pochodzące z upraw (zboże, rzepak, szybko rosnące trawy),
- odpady z obróbki warzyw, jak pozostałości roślinne, serwatka, wywar gorzelniczny, wyśładki buraczane, wyłoki, odpady z olejów i serów,
- odpady z obróbki roślin: odpady zbożowe, odpady z pasz,
- odpady z obróbki zwierzęcej: obornik i gnojowica, suche odchody,
- odpady z ubojni: krew, kości i tkanki miękkie.

Spśród powyższych największą wydajność produkcji biogazu przypisuje się odpadom z obróbki warzyw i ubojni, a najmniejszą roślinom energetycznym.

Europejskim potentatem w dziedzinie produkcji biogazu jest Szwecja. Do 2008r. w Szwecji zlokalizowanych było 227 instalacji biogazowych (patrz Tabela 3). Istotną część biogazu jest produkowana w oczyszczalniach ścieków (60%), 30% pochodzi ze składowisk odpadów, a 10% z instalacji ko-fermentacyjnych. Co więcej, istnieje ponad 30 instalacji, w których biogaz jest uszlachetniany, co czyni go zdatnym do wykorzystania jako paliwo transportowe.

Tabela 3. Elektrownie biogazowe w Szwecji.

Rodzaj elektrowni biogazowej	Liczba instalacji
Oczyszczalnie ścieków	138
Zakłady przemysłowe	3
Instalacje ko-fermentacyjne	18
Składowiska	60

Źródło: Publikacja [5].

Całkowita produkcja energii z biogazu w Szwecji wynosi prawie 1,3 TWh<sub>el</sub>, ale potencjalna wielkość produkcji jest dziesięciokrotnie większa (14 TWh<sub>el</sub>). Fakt ten wpływa na rozwój nowych technologii dla produkcji biogazu, a liczba nowych instalacji biogazowych stale wzrasta.

W Polsce sytuacja jest całkowicie odmienna. Pomimo dużego potencjału produkcji biogazu (60 TWh<sub>el</sub>) i wysokiego całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną (156 TWh<sub>el</sub>), widoczny jest jedynie

niewielki postęp związany z rozwojem instalacji biogazowych. Istnieje kilka przyczyn tej sytuacji: powszechnie obowiązujące prawo energetyczne, wysokie koszty inwestycyjne oraz znaczący opór społeczeństwa wobec budowy takich instalacji. Dziś te problemy wydają się nierozwiązywalne, lecz może przykład szwedzkiego sukcesu na tym polu oraz możliwość wdrożenia szwedzkich rozwiązań w naszym kraju, przyczynią się do tego, że Polska stanie się nieco bardziej przyjazna dla tego rodzaju inwestycji energetycznych.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono krótki opis Szwedzkiego Modelu innowacyjnych technologii biogazowych. Niniejszy raport przedstawia pewne rozwiązania dla rozwoju rynku energii, przykłady istniejących instalacji biogazowych oraz pomysły na połączenie zrównoważonego zarządzania odpadami z polityką energetyczną w Szwecji. Ostatnia część opracowania odnosi się do sytuacji Polski i przedstawia pewne rozwiązania dla naszego kraju, bazujące na Modelu Szwedzkim.

### **3.2. SZWEDZKI MODEL ROZWOJU INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII BIOGAZOWYCH**

Szwecja jest liderem w technologiach biogazowych. Od roku 1970 kraj ten poczynił istotny postęp w dziedzinie eksploatacji i projektowania instalacji biogazowych. Po dzień dzisiejszy nowe elektrownie oraz nowe technologie stale są rozwijane, co jest konsekwencją Szwedzkiego Modelu produkcji biogazu oraz łańcuchów relacji między dostawcami i odbiorcami energii.

Bazując na szwedzkiej historii produkcji biogazu można zauważyć, że ta miała swój początek w oczyszczalniach ścieków. Do dziś jest to bardzo popularna metoda produkcji biogazu w Szwecji. Nieco później, w latach 1970-tych, nadszedł kryzys energetyczny. Zmienił on sposób myślenia o produkcji energii. Zainteresowanie produkcją metanu z różnych źródeł organicznych uległo istotnemu zwiększeniu i stało się stymulantem dla rynku energii oraz polityki energetycznej.

W latach 1980-tych biogaz był pozyskiwany głównie ze składowisk odpadów. Około dziesięć lat później wyznaczony został nowy trend. Budowano instalacje biogazowe, dla których podstawą funkcjonowania był przemysł spożywczy oraz odpadki żywnościowe. W ten sposób połączono produkcję energii z zarządzaniem odpadami. Obecnie, w zasadzie całość odpadów organicznych jest wykorzystywana jako substrat energetyczny w procesie beztlenowego rozkładu. Potencjał produkcji biogazu z różnych źródeł organicznych zaprezentowano w Tabeli 4.

Tabela 4. Potencjał produkcji biogazu z różnych źródeł w Szwecji.

Składnik	Potencjał [GWh/rok]
Część organiczna odpadów komunalnych i odpady spożywcze z restauracji	1346
Odpady zielone z ogrodów i parków	404
Odpady przemysłowe wraz z odpadami z produkcji żywności	1962
Osady z oczyszczalni ścieków	727
Odpady poubojowe i produkty rolnicze	10780
Razem	15215

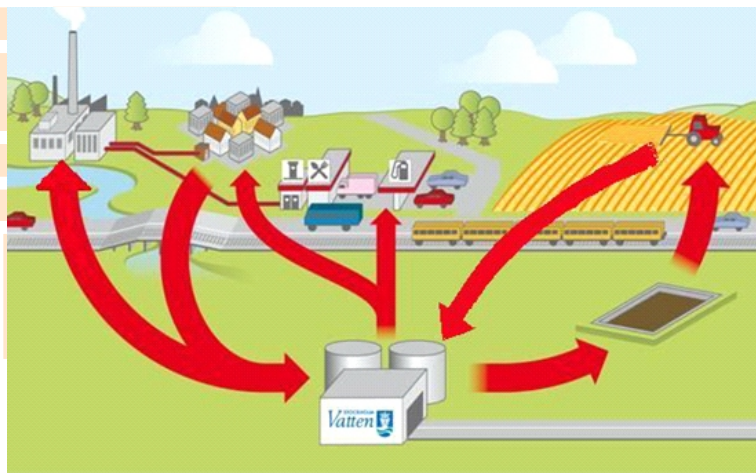
Źródło: Publikacja [6].

Największym zainteresowaniem cieszy się ostatnio wykorzystywanie biometanu jako paliwa transportowego. Jest to kolejny komponent Szwedzkiego Modelu produkcji biogazu. Ten rodzaj paliwa jest produkowany głównie przez lokalnych producentów wykorzystujących płynne i stałe odpady. Z powodu braku podatku akcyzowego uszlachetniony biogaz jest wykorzystywany jako ekologiczne i tanie paliwo w sektorze transport publicznego [7]. Do roku 2009 istniały 34 zakłady uszlachetniania biogazu. Obecnie liczba stacji biogazowych cały czas wzrasta.

Jaka jest najważniejsza cecha Szwedzkiego Modelu produkcji biogazu? W odróżnieniu do innych krajów, Szwecja była w stanie wykorzystać różne substraty z odmiennych sektorów (przemysł, rolnictwo, odpady komunalne) w procesie beztlenowego rozkładu. Szwecja była prekursorem wykorzystania procesów ko-fermentacji na dużą skalę. W ten prosty sposób Szwedzi są w stanie wykorzystywać wszystkie swoje odpady. Co więcej, wynaleźli metodę motywowania obywateli, aby segregowali odpady „u źródła”; jeśli tego nie zrobią, będą musieli płacić specjalne podatki [7].

Szwedzki Model innowacyjnej produkcji biogazu udowadnia, że recykling odpadów spożywczych w obszarach rolniczych i miejskich jest możliwy, a połączenie konsumpcji i produkcji jest bardzo istotne z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia. Produkcja biogazu pozwala połączyć produkcję i konsumpcję żywności oraz energii ze wszystkich sektorów w jeden zrównoważony system recyrkulacji [5]. W tym systemie każdy uczestnik osiąga pewne korzyści.

Rysunek 2 jest graficzną definicją Modelu Szwedzkiego innowacyjnej produkcji biogazu. Przedstawia zrównoważone zarządzanie mediami i zasobami.



Rys. 2. Szwedzki Model innowacyjnej produkcji biogazu.

*Źródło: Publikacja [6].*

Jak można zobaczyć na tej rycinie, każda część życia społecznego jest ściśle połączona z cyklem produkcji biogazu. Odpady organiczne są zbierane od obywateli i przemysłu; korzyścią dla lokalnej społeczności i firm

produkcyjnych jest czysta energia (ogrzewanie, energia elektryczna oraz biopaliwo). Elektrociepłownia uzyskuje energię ciepłą wyprodukowaną w biogazowni i vice versa. Rolnicy przekazują swoje własne odpady i pozostałości upraw do instalacji biogazowej, otrzymując w zamian naturalny nawóz. W tym specyficznym obiegu istnieją jeszcze inne podmioty, jak oczyszczalnie ścieków i składowiska odpadów, które łącząc się wzajemnie czynią Szwecję niezależną w zakresie paliw kopalnych oraz gwarantują regionalny rozwój.

Kolejne cztery rozdziały opisują pewne elementy Szwedzkiego Modelu, takie jak zarządzanie odpadami, trendy w projektowaniu instalacji biogazowych, metody uszlachetniania metanu oraz możliwość produkcji biogazu w oczyszczalniach ścieków.

### **3.2.1. OD ODPADÓW DO CZYSTEJ ENERGII: ZARZĄDZANIE ODPADAMI JAKO ELEMENT WSPIERAJĄCY PRODUKCJĘ BIOGAZU**

Kiedy w 2005 roku Komisja Europejska ogłosiła projekt Ramowej Dyrektywy Odpadowej, szwedzki rząd zareagował bardzo szybko. Składowanie odpadów organicznych na składowiskach odpadów zostało natychmiast zakazane, a nowe prawo stanowiło, że od 2010 roku co najmniej 35% odpadów żywnościowych z restauracji, gospodarstw domowych oraz sklepów musi podlegać biologicznemu recydingowi. Te dwie proste wytyczne wyznaczyły nowy kierunek dla systemu zarządzania odpadami w Szwecji. Od tego momentu każdy zwykły obywatel, jako pracownik etatowy, jako przedsiębiorca lub jako mieszkaniec stał się częścią systemu zarządzania odpadami, co więcej stał się odpowiedzialny za odpady wytwarzane na jego ziemi lub w jego otoczeniu.

Szwedzi bardzo szybko zrozumieli, że recyding odpadów żywnościowych jest dochodowy, szczególnie kiedy odpady są wykorzystywane jako wsad do procesu rozkładu beztlenowego. Płacili mniej za odpady, które produkowali, otrzymując dodatkowo od samorządu lokalnego tańszą energię. Jeden tylko problem pozostał nie rozwiązany: w jaki sposób odpady należy zbierać? Co można zrobić, aby poprawić efektywność segregacji? Rozwiązanie nie było trudne i w krótkim okresie czasu opracowano model szwedzki selektywnej zbiórki odpadów.

Po pierwsze, cała odpowiedzialność za odpady została podzielona na trzy główne grupy. Dla odpadów komunalnych odpowiedzialność ponosi społeczność lokalna. Odpowiedzialność producentów obejmuje pięć rodzajów odpadów: opakowania, makulaturę, samochody, opony oraz odpady elektryczne i elektroniczne. Producenci wytwarzający inne rodzaje odpadów są odpowiedzialni za ich bezpieczną utylizację [8]. Ten łatwy podział obowiązków zmusił Szwedów do segregacji własnych odpadów „u źródła”.

Każdy Szwed wytwarza około 0,5 t odpadów rocznie. Jedynie 3% tej wielkości jest składowane na składowiskach, a 1% jest bezpiecznie unieszkodliwiane. Pozostała część utylizowana jest na różne sposoby: puszki, papier i szkło podlegają recydingowi, 50% odpadów jest spalana w spalarniach, a 10% wykorzystywana jest jako wsad do produkcji biogazu [9]. Jaki jest sekret segregacji? Osoby prywatne jak i zwykli mieszkańcy sortują i przekazują swoje własne odpady do wyznaczonych miejsc [10].

Pierwszy krok prawidłowej segregacji ma miejsce w szwedzkich mieszkaniach. W kuchniach znajdują się specjalne pojemniki, podzielone na sześć części, różniące się kolorem plastikowej torby używanej do zbiórki odpadów. Torby te nazywają się OptiBag®. Jeden konkretny kolor dotyczy jednego rodzaju domowych odpadów: zielony jest dla resztek jedzenia, żółty dla opakowań papierowych, niebieski dla papieru,

pomarańczowy dla plastyku, szary dla metali, a biały dla pozostałości. Przykład takiego pojemnika przedstawiono na Rys. 3. Wszystkie torby są składowane w tym samym pojemniku, który jest następnie przekazywany do sortowni przez pojazd do zbierania odpadów. Przy wykorzystaniu specjalnej techniki torby są łatwo oddzielane od siebie. Kamera rozpoznaje kolor plastikowej torby wykorzystanej w trakcie domowej segregacji odpadów, która następnie jest kierowana na taśmach to właściwego systemu wstępnego przetwarzania odpadów lub ich recyklingu [11].



Rys. 3. Przykład pojemnika kuchennego, wykorzystywanego w domowej segregacji odpadów.  
*Źródło: Publikacja [12].*

W prywatnych domach odpady są zbierane na zewnątrz. Przy ulicach ustawione są dwa rodzaje pojemników. One również podzielone są na specjalne części (Rys. 4). Odpady biologiczne są zbierane do papierowych torebek zrobionych z kukurydzy. Taki rodzaj torby jest odporny na wilgoć. Odpady zebrane w ten właśnie sposób są wykorzystywane do produkcji biogazu.



Rys. 4. Zbiorniki wykorzystywane do segregacji odpadów w szwedzkim domu.  
*Źródło: Publikacja [13].*

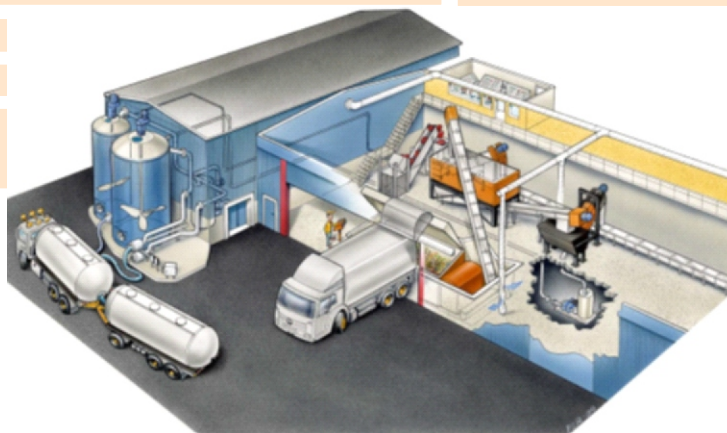


Zbierane odpady są wywożone przez specjalne śmieciarki, które posiadają wewnątrz podzielone dokładnie w ten sam sposób jak pojemniki stosowane do segregacji. Dzięki temu odpady nie mieszają się podczas procesu ich zbierania. To upraszcza segregację, której dalszy etap następuje w centralnej stacji segregacyjnej.

Oprócz domowego sposobu segregacji odpadów Szwedzi mają możliwość pozostawiania niektórych rodzajów odpadów w sklepach i supermarketach. Ta metoda dotyczy produktów, które są związane z kaucją (plastyczne butelki, puszki, szklane butelki). Podczas zakupów Szwedzi mogą umieszczać swoje odpady w specjalnym urządzeniu, które w zamian wydaje im kupon, mogący zostać wykorzystany jako wirtualne pieniądze. Te specjalne urządzenia są finansowane przez producentów żywności w ramach odpowiedzialności producentów.

Oprócz metod wspomnianych powyżej, Szwedzi mają dodatkowe możliwości pozbywania się zbędnych produktów. Małe, niebezpieczne odpady, takie jak baterie, żarówki, telefony komórkowe, kleje lub farby mogą być pozostawione w pojemnikach umieszczonych w domach lub supermarketach. Niebezpieczne, wielkogabarytowe odpady elektryczne są pozostawiane w specjalnych centrach recyklingu (ok. 650 w Szwecji). Dodatkowo w Szwecji istnieje ponad 5800 samoobsługowych stacji recyklingu dla opakowań i papieru. Są zlokalizowane na osiedlach i w pobliżu sklepów. Każdy Szwed może się tam udać i za darmo zostawić swoje odpady. Stacje te organizowane są przez producentów i nie są skoordynowane ze zbiórką odpadów prowadzoną przez gospodarstwa domowe.

W Szwecji istnieje 290 gmin. Więcej niż połowa z nich wybrała własne władze administracyjne do zarządzania odpadami, podczas gdy reszta przekazała takie kompetencje firmom komunalnym zarządzającym odpadami. W 75% gmin odpady są zbierane przez prywatnych lub publicznych wykonawców, a pozostałe 23% zbiera odpady wykorzystując własne systemy zbiórki. Zbieranie odpadów w obu przypadkach jest wykonywane przez publicznych lub prywatnych wykonawców lub władze lokalne.



Rys. 5. Schemat instalacji wstępnej obróbki SYSAB, Malmö.

*Źródło: Publikacja [14].*

Wyselekcjonowane odpady przechodzą do specjalnej instalacji, w której są poddawane obróbce i zamieniane w produkty łatwo podlegające procesowi biodegradacji. Największa z takich instalacji, SYSAV, zlokalizowana jest w Malmö. W tego rodzaju stacji wstępnej obróbki odpady żywności są zamieniane w szlam. Graficzne przedstawienie etapu wstępnej obróbki w SYSAV jest widoczne na Rys. 5 [14].

Następnie produkt ten (szlam) transportowany jest do instalacji biogazowej gdzie podczas procesu fermentacji zamieniany jest w czyste biopaliwo gazowe. W regionie Skåne, gdzie zlokalizowany jest SYSAV, jedna z większych instalacji biogazowych jest umiejscowiona w Karpalund. Szlam wraz z innymi odpadami, takimi jak: obornik, wyselekcjonowana frakcja organiczna odpadów z gospodarstw domowych, przemysłowe i handlowe odpady żywnościowe są poddawane ko-fermentacji. Ta jedna instalacja biogazowa jest w stanie przetworzyć od 80 000 t do 100 000 t surowca rocznie. Wydajność produkcji biogazu w elektrowni w Karpalund przedstawiono w Tabeli 5.

Tabela 5. Substraty i produkty w systemie biogazowym w Kristianstad w 2008 roku.

<b>Wsad</b>	
Źródło - posortowane odpady żywnościowe	- 5 500 t
Odpady poubojowe	- 35 000 t
Gnojowica	- 22 000 t
Inne	- 11 000 t
<b>Razem</b>	<b>- 73 500 t</b>
<b>Wytworzony biogaz</b>	
Z elektrowni na biogaz w Karpalund	- 40 000 MWh

Źródło: Publikacja [15].

Osad przefermentowany wyprodukowany w instalacji jest następnie przetwarzany i sprzedawany rolnikom jako certyfikowany bio-nawóz. Biogaz, ciepło i energia elektryczna przekazywane są do przemysłu i społeczności. W ten sposób wszyscy „aktorzy”: rolnicy, obywatele i przemysł pozyskują pewne ekologiczne produkty: nawóz lub energię. Jak mawiają w Szwecji: **“Nic nie jest odpadem, wszystko jest zasobem”**.

Przykład regionu Skåne pokazuje jak wiele osób jest zaangażowanych w system zarządzania odpadami i - w konsekwencji - w produkcję biogazu oraz jak wiele korzyści może to przynieść. Zaprojektowanie tak efektywnego systemu produkcji biogazu wymaga zaangażowania wielu „aktorów”. Aby zapewnić stabilność dostaw należy podpisywać długoterminowe kontrakty z rolnikami i przemysłem spożywczym. Samorząd lokalny powinien zapewnić rynek dla paliwa transportowego i zająć się dystrybucją biogazu, a regionalne prywatne firmy energetyczne muszą gwarantować możliwość wykorzystania biopaliwa przez lokalny samorząd [15]. Jednak najważniejszym elementem jest segregowanie odpadów. Bez pracy i zaangażowania obywateli taki sukces nie byłby możliwy. Jak pokazuje przykład szwedzkiego doświadczenia - wszystko zaczyna się na poziomie lokalnej społeczności, nawet efektywny system biogazowy.

Koszt systemu zarządzania odpadami uzależniony jest od konkretnego rodzaju odpadów. W przypadku odpadów komunalnych koszty są pokrywane przez opłaty za odpady komunalne, które nie są typowymi podatkami. Koszty te są ustanawiane przez władze samorządowe. Są stymulantem dla sortowania odpadów. W przypadku odpadów obarczonych odpowiedzialnością producentów, ich koszt wliczany jest

w cenę produktu. Jest to specjalna opłata, a jej wysokość jest określona przez producenta. W obu przypadkach całkowity koszt opłaty za odpady składa się z kosztów administracyjnych (40 %), kosztów zbiórki (30 %) i kosztów usuwania (30 %) [15].

Dzięki takiemu systemowi zarządzania odpadami i efektywnej segregacji odpadów każdy Szwed, produkujący rocznie około 512 kg odpadów komunalnych, przekazuje na składowiska jedynie 20 kg własnych odpadów. Choć brzmi to niewiarygodnie, jest to prawda. W tym kraju odpady to energia, a biogaz jest wytwarzany właśnie z odpadów. Więc, jak to mawiają w Szwecji, NIE MARNUJMY ODPADÓW!

### **3.3. SZWEDZKIE ELEKTROWNIE BIOGAZOWE: PRZEGLĄD TECHNOLOGII**

#### **3.3.1. HISTORIA**

Biogaz był produkowany od drugiej połowy 19-tego wieku. Pionierem były Indie, gdzie z gnojowicy i odpadów kuchennych produkowano biogaz, który był wykorzystywany jako paliwo do kuchenek i lamp.

Szwecja posiada długą tradycję rozwoju produktów, usług, a także know-how w zakresie biogazu. W Szwecji za początek produkcji biogazu uznaje się lata 1960-te, kiedy zbudowano pierwsze instalacje oczyszczające ścieki. Ich zadaniem było zmniejszenie ilości osadów. Jednakże dopiero kryzys energetyczny na rynku szwedzkim w latach 70-tych przyczynił się do powstania w tym kraju wielu nowych przepisów i regulacji w zakresie energii odnawialnej. Stymulowało to do poszukiwania nowych technologicznych rozwiązań, a także ich wdrażania i w konsekwencji budowę nowych biogazowni w celu ograniczenia problemów środowiskowych i obniżenia deficytu paliwowego.

Początkowo najbardziej zainteresowanymi pozyskiwaniem biogazu w procesie beztlenowym były zakłady papiernicze i cukrownie. W latach 1970-tych i 1980-tych powstała znaczna ilość takich systemów oczyszczających wodę procesową. W tym samym czasie wybudowano również kilka biogazowni rolniczych, wykorzystujących gnojowicę jako podstawowy substrat. W kolejnych latach odnotowano gwałtowny rozwój technologii biogazowych.

W celu zmniejszenia emisji metanu ze składowisk odpadów w latach 1980-tych wprowadzono odzysk metanu ze składowisk, a liczba podobnych instalacji stopniowo wzrastała w kolejnych latach. Od połowy lat 1990-tych Szwedzi zaczęli wykorzystywać odpady organiczne z gospodarstw domowych, ubojni i restauracji.

Technologie oczyszczania biogazu, optymalizacja substratów i całego procesu są teraz kluczowymi obszarami zainteresowania w Szwecji.

W Szwecji istnieje obecnie 227 biogazowni (138 oczyszczalni ścieków, 3 przemysłowe, 18 instalacji ko-fermentacji odpadów i 60 składowisk odpadów). Większość biogazu (około 60 procent) jest wytwarzana w oczyszczalniach ścieków, podczas gdy 30 procent pochodzi ze składowisk odpadów, a 10 procent z instalacji ko-fermentacji odpadów (2008). Istnieją jeszcze biogazownie rolnicze, które są głównie ukierunkowane na produkcję energii elektrycznej oraz ciepłej [16].

#### **3.3.2. KO-FERMENTACJA**

W Szwecji istnieje obecnie 18 biogazowni opartych na procesie ko-fermentacji. Mieszanie różnych rodzajów odpadów zwykle przyczynia się do zwiększenia zawartości metanu w biogazie w porównaniu do technologii,

w których wykorzystuje się poszczególne substraty oddzielnie. Surowcami w tych procesach mogą być: gnojowica, posortowane odpady żywnościowe z gospodarstw domowych, sklepów i restauracji, zboża i odpady z przemysłu spożywczego (np.: odpady z uboju i wody procesowe różnego pochodzenia). Właściwe funkcjonowanie biogazowni opartych na procesie ko-fermentacji zależy od wielu czynników, które są trudne do kontroli. Najistotniejszym czynnikiem jest dostępność surowców. Z tego powodu wymagana jest bliska współpraca między różnymi organizacjami i pojedynczymi jednostkami [16]. Szwedzkie rozwiązania skupiają na sobie uwagę na arenie międzynarodowej, a biogazownie są każdego roku licznie odwiedzane.

### 3.3.2.1. Boden

Biogazownia w Boden została uruchomiona w 2003 roku jako wynik presji władz na zagadnienia środowiskowe (rysunek 6). Pierwotnie, biogaz produkowany w oczyszczalni ścieków w Svedjan był wykorzystywany wyłącznie do ogrzewania. Potem ścieki były mieszane z odpadami żywnościowymi, co skutkowało zwiększoną produkcją biogazu. Ko-fermentacja miała na celu podniesienie efektywności wykorzystania energii z biogazu.

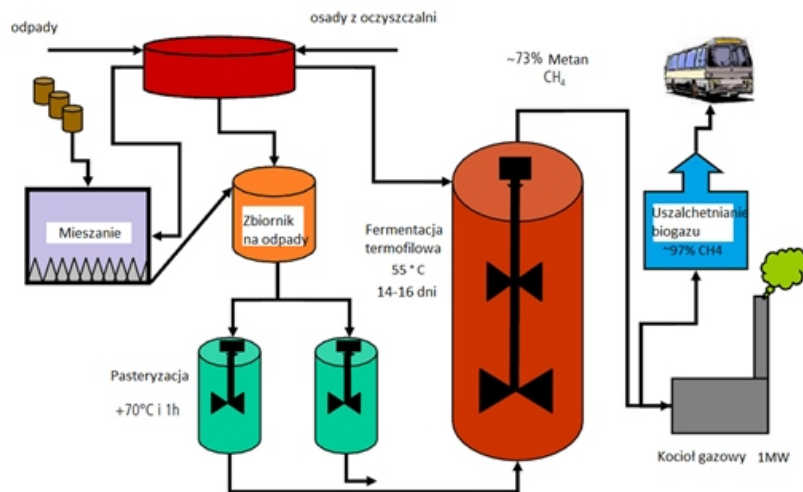


Rys. 6. Biogazownia w Boden.

*Źródło: Publikacja [16].*

W biogazowni osady z jedenastu komunalnych oczyszczalni ścieków są poddawane procesowi ko-fermentacji wraz z posortowanymi odpadami z gospodarstw domowych, restauracji i sklepów (z około 1,200 pojedynczych pojemników). Odpady żywnościowe są rozdrabniane i mieszane ze ściekami w rozwałkniaczu. Tak przygotowane substraty poddawane są pasteryzacji w temperaturze 70 °C przez okres jednej godziny, a następnie pompowane są do reaktora o pojemności 1300 m<sup>3</sup>. Proces jest prowadzony w warunkach termofilnych w temperaturze 55 °C, a czas retencji wynosi między 14 a 16 dni (rysunek 7).

Początkowo biogaz był spalany w kotle i wykorzystywany do ogrzewania budynków biogazowni, a nadmiar ciepła (około 3,000 MWh) był wtłaczany do sieci ciepłowniczej w Boden. Po uruchomieniu instalacji do uszlachetniania, biogaz zaczęto wykorzystywać jako paliwo samochodowe, a nadmiar energii do ogrzewania budynków. Osady pofermentacyjne (ok. 1600 ton rocznie) używane są do wytwarzania materiałów wypełniających oraz nawozów (tabela 6.).



Rys. 7. Schemat biogazowni w Bodon.  
Źródło: Publikacja [16].

Tabela 6. Roczne wsady i produkty.

Wsady i produkty	
Posortowane odpady żywnościowe	- 1 200 ton
Osady ściekowe	- 24 000 ton (960 ton suchej masy)
Surowy biogaz z osadów ściekowych	- 2 500 MWh
Surowy biogaz z odpadów żywnościowych	- 3 000 MWh
Ulepszony biogaz	- 400 MWh
Osad pofermentacyjny	- 1 600 ton

Źródło: Publikacja [16].

### 3.3.2.2. KRISTIANSTAD

Kristianstad jest stolicą Regionu Skåne, który obejmuje wiele małych miejscowości i wsi położonych poza centrum miasta. W strefie miejskiej mieszka około 79.000 ludzi. Region Kristianstad charakteryzują: dobre warunki dla rozwoju rolnictwa, wysoki poziom mechanizacji, dobre warunki środowiskowe oraz ukierunkowane inwestycje w badania i rozwój. Wszystkie te czynniki przyczyniły się do tego, że Kristianstad stał się jednym z głównych centrów spożywczych w Szwecji. Intensywna produkcja rolna skutkuje dużymi ilościami odpadów pochodzenia organicznego, które razem z dużymi ilościami gnojowicy stanowią idealne surowce do produkcji biogazu [17].

Chociaż Kristianstad w 1999 roku zdecydował się zostać Gminą Wolną od Paliw Kopalnych, to lokalne zakłady przetwórstwa żywności produkujące liczne odpady żywnościowe były najważniejszym czynnikiem motywującym gminę, aby wybudować biogazownię w Karpalund w Kristianstad [16].



Rys. 8. Biogazownia w Karpalund, Kristianstad.  
Źródło: Publikacja [18].

Biogazownia w Karpalund (rysunek 8) rozpoczęła działanie w grudniu 1996 roku i była pierwszą w Szwecji, która ko-fermentowała stałe odpady komunalne z gospodarstw domowych (posortowane w papierowe torby), odpady z przemysłu spożywczego razem z gnojowicą do produkcji użytecznej energii i nawozów. Projekt ten jest wynikiem współpracy między gminą, rolnikami, przemysłem i konsumentami.



Rys. 9. Stacja  
uszlachetniania biogazu  
w Kristianstad (a b).  
Źródło: Publikacja [19].

W połowie lat 1990-tych połowa biogazu z oczyszczalni ścieków w Kristianstad była spalana, co skupiło uwagę osób publicznych oraz polityków. Doprowadziło to do dyskusji na temat efektywnego wykorzystania biogazu produkowanego w Karpalund. Wszystko to ostatecznie doprowadziło do wybudowania stacji uszlachetniania i dystrybucji biogazu.

Największą zaletą dotyczącą Kristianstad jest współpraca partnerów: gospodarstw domowych oraz przemysłów: rolnego i żywnościowego dostarczających surowce do biogazowni.

Kristianstad posiada obecnie kompletny system produkcji biogazu, na który składają się dwa zakłady produkcyjne, dwie instalacje uszlachetniające, własny system dystrybucji biogazu rurociągami oraz kilka stacji napętniania. Ponadto gaz ze składowiska odpadów w Härlövs jest wykorzystywany do celów

grzewczych. Głównym celem Kristianstad jest dążenie do całkowitego ograniczenia zużycia paliw kopalnych

Tabela 7. Roczny wsad i produkcja.

Wsad i produkcja	
Posortowane odpady żywnościowe	- 5 500 ton
Odpady z ubojni	- 24 000 ton (960 ton suchej masy)
Biogaz z osadów ściekowych	- 35 000 ton
Płynny nawóz -	- 22 000 ton
Inne	- 10 000 ton
Płynny bio-nawóz	- 63 000 ton

Źródło: Publikacja [16].



Rys. 10. System produkcji biogazu w Kristianstad.

Źródło: Publikacja [20].

### 3.3.2.3. Linköping

Linköping jest zlokalizowane w pobliżu rzeki Stångån, na południowy wschód od Sztokholmu. Miasto Linköping zamieszkuje około 82 000 ludzi. Jako stolica regionu Östergötland, miasto jest głównym centrum usługowym, z wieloma szkołami wyższymi i instytucjami badawczymi, posiada także zdywersyfikowaną działalność przemysłową (przetwórstwo mechaniczne, przemysł lotniczy, sprzęt obronny, elektronikę, przemysł przetwórstwa spożywczego). Powody, dla których zbudowano biogazownię były więc oczywiste. Gnojowica i obornik z chowu świń i krów w rejonie mogły zostać poddane procesowi kofermentacji wraz z odpadami z rzeźni i innymi odpadami organicznymi z przemysłu spożywczego. Innym znaczącym powodem

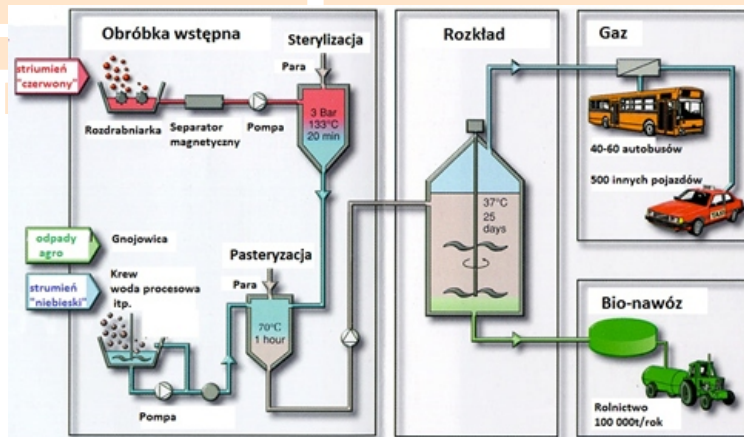
była produkcja biogazu na potrzeby miejskich autobusów w celu redukcji lokalnych, regionalnych oraz globalnych emisji pochodzących z systemu transportu miejskiego [21].

Linköping Biogas AB (rysunek 11) zostało utworzone w 1995 roku jako wynik współpracy między miastem Linköping, lokalną rzeźnią (Swedish Meats AB) i stowarzyszeniem rolników Lantbrukets Ekonomi AB. Pomysłem tego przedsięwzięcia było wykorzystanie odpadów do produkcji biogazu, który byłby wykorzystywany jako paliwo dla wszystkich autobusów w Linköping.



Rys. 11. Biogazownia w Linköping.  
Źródło: Publikacja [22].

Dwa główne strumienie odpadów nazwano: "czerwony" i "niebieski". Pierwszym z nich są odpady pozyskiwane z rzeźni. Są one najpierw mielone przed ich transportem do biogazowni. Około 70% biogazu jest produkowane z rozkładu tych odpadów. "Niebieskie" odpady (krew, żołądki i jelita, woda procesowa) są pompowane przez podziemny rurociąg o długości 1.7 km do biogazowni. Oba rodzaje odpadów są niebezpieczne i wymagają wstępnej obróbki w wysokiej temperaturze. To dlatego są mieszane razem z gnojowicą, a następnie sterylizowane i pasteryzowane, rysunek 12.

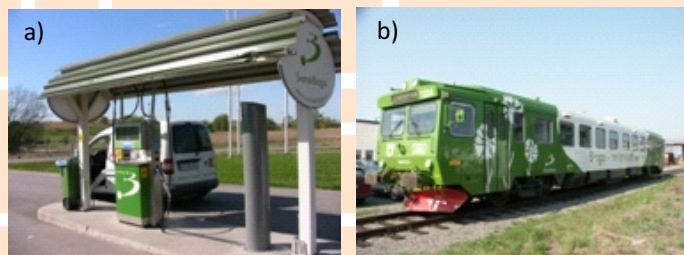


Rys. 12. Schemat produkcji biogazu w biogazowni w Linköping.  
Źródło: Publikacja [23].



W kolejnym kroku, mieszanina odpadów jest wtłaczana do głównego bioreaktora (3,700 m<sup>3</sup>), gdzie w mezofilnych warunkach (37°C) bakterie beztlenowe rozkładają substancje organiczne i produkują biogaz. Osad pofermentacyjny jest usuwany z fermentora, schładzany do 20°C i przechowywany przez kilka dni w zbiorniku zanim zostanie dostarczony jako nawóz do rolników. Biogaz produkowany w bioreaktorze zawiera jedynie około 65% metanu. Aby mógł być wykorzystany jako paliwo samochodowe udział metanu musi wynosić co najmniej 97%. Dlatego też, taki biogaz musi zostać poddany procesowi uszlachetnienia czyli oczyszczania poprzez usunięcie dwutlenku węgla, pary i śladowych ilości siarkowodoru. W tym celu wykorzystuje się technikę absorpcyjną. Oczyszczony biogaz jest pompowany do stacji tankowania autobusów oraz do dwóch stacji szybkiego napełniania przy pomocy niskociśnieniowego rurociągu PE, rysunek 13 [21].

W zajezdni autobusowej gaz jest sprężany do 250 barów, a tankowanie autobusów odbywa się bardzo powoli w nocy.



Rys. 13. Stacja tankowania w Linköping(a) i pociąg na biogaz "Amanda"(b).

Źródło: Publikacje [24,25].

Pociąg napędzany biogazem jest kolejnym przykładem korzyści środowiskowych płynących z wykorzystania biogazu. Pociąg, który był wcześniej zasilany olejem napędowym, został zmodyfikowany poprzez zmianę silnika i rozbudowę wyposażenia pociągu o butle do przechowywania sprężonego biogazu. To pozwoliło zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych do prawie zera. Pierwszy biogazowy pociąg pojechał między Linköping a Västervik w czerwcu 2005 roku, rysunek 18. Wykorzystanie biogazu było znacznie tańsze niż inna alternatywa, którą była elektryfikacja linii między Linköping, a Västervik. Pociąg na biogaz może pokonać dystans 600 km zanim będzie potrzebował kolejnego tankowania i może osiągnąć prędkość 130km/h.

Tabela 8. Biogazownia w Linköping - wsad i produkty (2005).

Wsad	
Odpady z ubojni	- 30,000 t/rocznie
Organiczne odpady przemysłowe	- 6,000 t/rocznie
Nawozy dla świń i bydła	- 2,000 t/rocznie
Odpady z gospodarstw rolnych	- 250 t/rocznie
Inne	- 7,000 t/rocznie
Razem	- 45,000 t/rocznie

Źródło: Publikacja[16].

Tabla 9. Elektorowania na biogaz w Linköping - statystyki energii (2004).

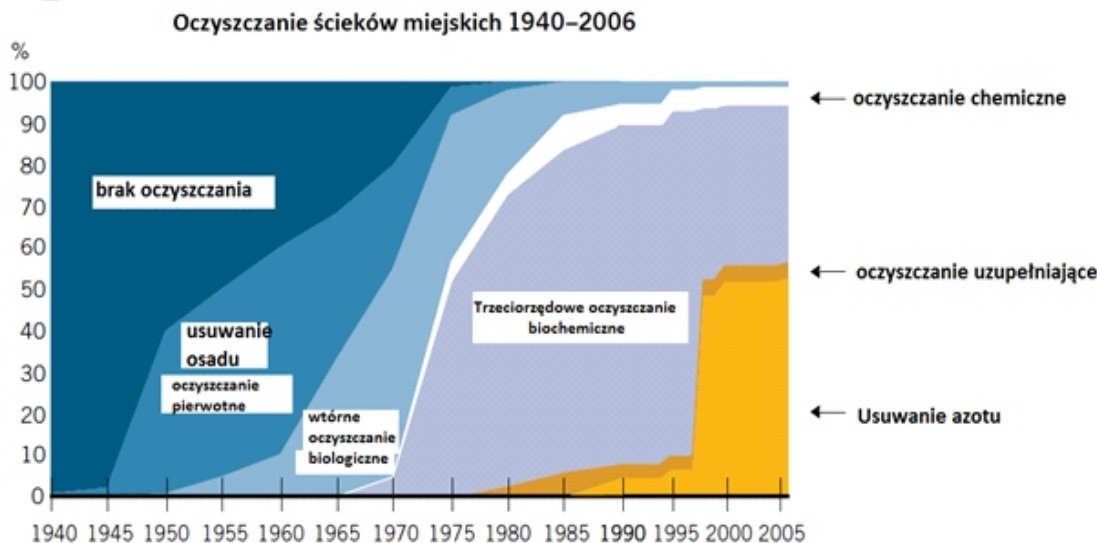
Produkty	
Certyfikowany bio-nawóz dla rolnictwa	- 52,000 t/rocznie
Całkowita produkcja energii	- 48,000 MWh/rocznie
Biogaz dostarczany do samochodów	- 45,000 MWh/rocznie

Źródło: Publikacja [16].

Biogazownia w Linköping jest systematycznie rozbudowywana i ulepszana. Miastu Linköping udało się zmniejszyć emisję CO<sub>2</sub> pochodzącą z transportu miejskiego o 9,000 ton/rocznie, emisję tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) o 1.2 ton/rocznie, a także ograniczyć lokalną emisję pyłu i siarki. Ponadto sztuczne nawozy zostały zastąpione naturalnymi (osad pofermentacyjny) oraz zapewniły w całym regionie przyjazny dla środowiska proces zagospodarowania odpadów organicznych, tabele 8 i 9.

### 3.3.3. Oczyszczalnie ścieków

Biogaz w Szwecji był produkowany w oczyszczalniach ścieków od lat 1940-tych. Początkowo chęć zmniejszenia ilości osadów powstających w wyniku oczyszczania wody, a następnie kryzys energetyczny w latach 1970-tych stymulował badania i rozwój w celu wykorzystania energii zawartej w osadach. Doprowadziło to do rozwoju produkcji biogazu w oczyszczalniach ścieków. Obecnie w Szwecji jest około 2 000 komunalnych oczyszczalni ścieków [26].



Rys. 14. Oczyszczanie ścieków miejskich, 1940 - 2006.

Źródło: Publikacja [27].

Dziś praktycznie wszystkie gospodarstwa domowe w obszarach miejskich są podłączone do miejskiej sieci kanalizacji i około 95% miejskich ścieków poddawanych jest oczyszczaniu. Główne instalacje przemysłowe, kopalnie, lotniska, etc. posiadają swoje własne oczyszczalnie ścieków [27]. Rysunek 19 przedstawia rozwój technologiczny w szwedzkich oczyszczalniach ścieków od lat 1940-tych do dziś.

Większość oczyszczalni ścieków w Szwecji, zarówno dużych jak i małych, łączy różne metody oczyszczania:

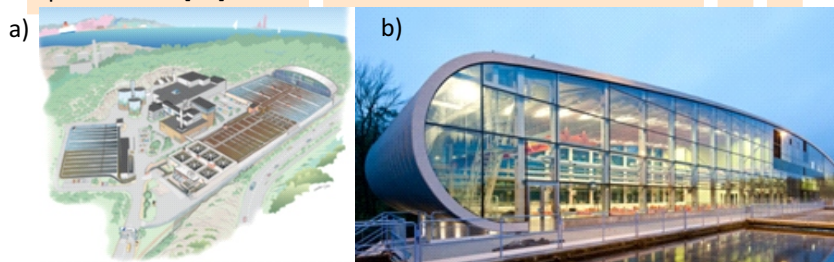
- oczyszczanie mechaniczne,
- oczyszczanie biologiczne,
- oczyszczanie fosforem (chemiczne i/lub biologiczne),
- redukcja azotu,
- filtracja [26].

Aby spełnić oczekiwania środowiskowe szwedzkich władz, większość oczyszczalni ścieków stosuje pewną unikalną metodę oczyszczania fosforem, która pozwala Szwecji dostosować się do wymogów środowiskowych i nie przekraczać dozwolonych norm w przypadku fosforu. Najbardziej popularną metodą jest wytrącanie chemiczne, gdzie fosforany są ekstrahowane przez np.: siarczan glinu lub siarczan żelaza.

Szwedzkie oczyszczalnie ścieków stosują inne ( w porównaniu z innymi międzynarodowymi metodami) procesy usuwania azotu. Tutaj wykorzystuje się tak zwaną czterostopniową filtrację z zawieszonym filtrem piaskowym (fluidalne podłoże do denitryfikacji) oraz inne wyspecjalizowane procesy usuwania azotu stosowane w ciągu ostatnich 10-15 lat [26].

### 3.3.3.1. Oczyszczalnia ścieków Gryaab w Göteborgu

Gryaab, zlokalizowana w Göteborgu, obsługuje największą oczyszczalnię ścieków w Skandynawii. Zakład został zbudowany w pobliżu ujścia rzeki Göta Älv, do której doprowadzana jest oczyszczona woda, rysunek 15. Instalację w Ryaverket uruchomiono w 1972 roku i od tego momentu nieustannie zwiększana jest moc z uwagi na to, że coraz więcej gmin zostaje podłączanych do sieci kanalizacyjnej, a wymagania środowiskowe są coraz bardziej restrykcyjne. Z uwagi na to, że Gryaab nie ma możliwości rozbudowy i zajęcia przylegających terenów, postawiono na innowacyjność systemu. Jednym z przykładów może być proces nitryfikacji, który zamiast w konwencjonalnych basenach, odbywa się na bio-podłożu, co pozwala zaoszczędzić na powierzchni [28].



Rys. 15 .Oczyszczalnia ścieków Rya (a) i budynek z filtrami tarczowymi w Rya WWTP (b).

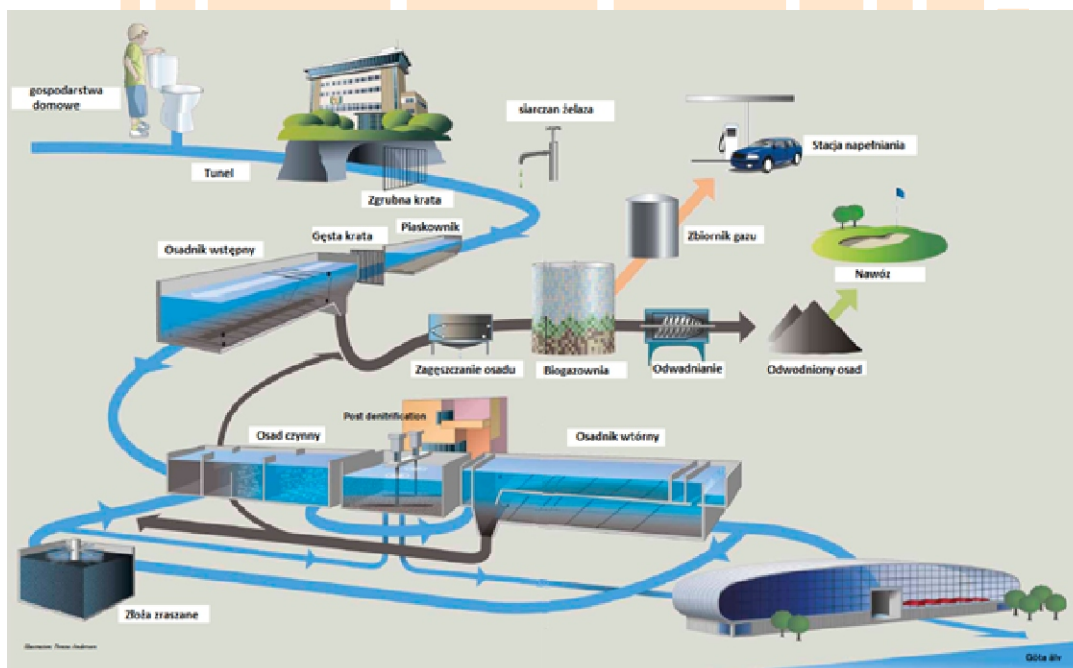
Źródła: Publikacje [28,29].

Dziś do Gryaab spływają ścieki z sześciu sąsiadujących gmin. System tunelowy o długości blisko 130 kilometrów został poprowadzony pod ulicami i drogami w i wokół Goeteborga. Zakład oczyszcza ok. 430,000 m<sup>3</sup> rocznie zagęszczonego surowego osadu pochodzącego z oczyszczalni ścieków w Rya, odpowiadającego 21,000 tonom suchej masy.

Ścieki spływają do Gryaab ze średnią prędkością 4,000 litrów na sekundę, a po dwunastu godzinach oczyszczona woda jest doprowadzana z powrotem do rzeki Göta Älv [28].

Instalacja składa się z dwóch mezofilnych (37°C) jednostopniowych (stałe mieszanych) beztlenowych fermentorów, każdy o objętości 11,400 m<sup>3</sup>. Czas retencji w każdym z nich wynosi ok. 20 dni [16].

Od 1996 roku jako substraty zaczęto również wykorzystywać osad z separatorów tłuszczu i inne odpady organiczne pochodzące z np. restauracji i szkół z regionu Gothenburg, co przyczyniło się do zwiększenia produkcji biogazu. Tłuste odpady są pozyskiwane w oddzielnym, szczelnym systemie, z którego są pompowane bezpośrednio do reaktora, bez mieszania z innymi substratami [16]. Osad pozostały po procesie fermentacji jest najpierw odwirowany, a dopiero później przekazywany do kompostowania, gdzie jest mieszany z trocinami lub korą. Po kompostowaniu dodawany jest miął piaskowy i piasek, a końcowy produkt jest sprzedawany jako ziemia do budowy, rysunek 16.



Rys. 16. Oczyszczanie ścieków w Rya.

Źródła: Publikacje [30]

Materiał organiczny jest rozkładany przez bakterie w tak zwanych basenach osadowych. Zbiorniki te są podzielone na strefy napowietrzane i nienapowietrzane. Strefy nienapowietrzane są to miejsca gdzie zachodzi drugi etap usuwania azotu - denitryfikacja. Azotany są przekształcane w azot, który wydostaje się do powietrza. Do stref napowietrzanych wtłaczane jest powietrze, które zapewnia bakteriom tlen do oddychania podczas usuwania materiału organicznego. W pierwszym etapie usuwania azotu, bakterie nitryfikacyjne rosną na bloku falistych arkuszy. Ten materiał z tworzywa sztucznego jest tak zaprojektowany, aby uformował jak największy obszar do wzrostu bakterii. Kiedy woda omywa bakterie te przekształcają amoniak w azotany [30].

Fosfor natomiast jest usuwany z wody w procesie chemicznym. W 2010 roku uruchomiono w Gryaab największą na świecie instalację z filtrami tarczowymi. Kiedy instalacja działa poprawnie, maksymalnie 0.3 mg fosforu na litr jest uwalnianych do środowiska razem z oczyszczoną wodą.

Zanim oczyszczona woda zostanie odprowadzona do rzeki Göta Älv, przechodzi przez pompy grzewcze, które pobierają ciepło z przepływającej wody. 7% ogrzewania w całym okręgu Goeteborgu pochodzi z oczyszczalni ścieków w Gryaab's [28].

#### **3.3.4. BIOGAZOWNIE ROLNICZE**

Większość biogazowni w Europie wykorzystuje gnojownicę i inne substraty do produkcji biogazu [31]. Biogazownie oparte na gnojownicy są dobrze rozwinięte w krajach europejskich, w których udziela się dotacji inwestycyjnych na budowę biogazowni oraz gdzie ceny energii elektrycznej są niskie. Takie korzystne warunki panują głównie w Niemczech. Jednakże, również szwedzcy rolnicy zaczęli interesować się produkcją biogazu od momentu wprowadzenia systemu wspierania inwestycji przez Szwedzki Urząd ds. Rolnictwa.

Istniejące elektrownie są zazwyczaj niewielkie, z bioreaktorami o objętości między 100 a 500 m<sup>3</sup>, ale bywają też większe (np.: elektrownia w Alvik i Bjuv). Większość biogazowni pracuje w warunkach mezofilnych (temperatura procesu pomiędzy 35 a 37°C). Komory fermentacyjne w Alvik i Ökna są natomiast oparte na fermentacji termofilnej (50-53°C). Wszystkie biogazownie pracują w oparciu o gnojownicę, jednak wykorzystują również inne surowce, np. zboża, odpady żywnościowe, warzywa, część naziemną buraków cukrowych i odpady z ubojni. Wytworzony biogaz jest zazwyczaj wykorzystywany do ogrzewania zabudowań rolniczych. Jednakże, podczas ciepłych okresów w roku potrzeba ogrzewania jest niewielka, podczas gdy produkcja gazu jest raczej na stałym poziomie. Dlatego też, niektóre biogazownie produkują energię elektryczną z biogazu, która jest wykorzystywana w gospodarstwie rolnym lub sprzedawana do sieci energetycznej [16].

Obserwuje się również rosnące zainteresowanie produkcją paliwa samochodowego z biogazu produkowanego w biogazowniach rolniczych.

##### **3.3.4.1. Biogazownia w Alviksgården**

Alviksgården, gospodarstwo hodowlane z 16,000 świń jest umiejscowione w północnej Szwecji, niedaleko Luleå. W przeszłości gospodarstwo zlecało zewnętrznej firmie utylizację odpadów z rzeźni, ale ponieważ koszty były wysokie, właściciel Alviksgården w późnych latach 1990-tych zdecydował, że zbuduje biogazownię, aby wykorzystywać zarówno gnojownicę, jak i odpady z ubojni. Biogazownia rozpoczęła działalność w roku 2000.

Alviksgården jest zakładem samowystarczalnym. Na 200 ha otaczających zakład rośnie pasza dla świń. Świnie są ubijane na miejscu, więc odpady z rzeźni są wykorzystywane w biogazowni rolniczej razem z gnojowicą. Biogaz produkowany w formie ciepła oraz energii elektrycznej jest dostarczany do zabudowań hodowlanych. Nadmiar energii elektrycznej jest sprzedawany, co daje właścicielowi dodatkowy przychód. Taka inwestycja zwróci się po okresie 10 lat. Alviksgården jest dobrym przykładem biogazowni, która jest rentowna i ma pozytywny wpływ na środowisko.

50 ton świńskiej gnojowicy wraz z taką samą ilością odpadów z ubojni jest każdego dnia poddawana procesowi fermentacji w dwóch reaktorach o łącznej pojemności 2300 m<sup>3</sup>. Gnojowica z obór jest pompowana bezpośrednio do reaktorów, podczas gdy odpady rzeźne muszą zostać zmielone w młynie przed ich wymieszaniem z gnojowicą [16]. Jest to jednostopniowy, termofilny proces z ciągłym wymieszaniem. Każdego roku produkuje się tu 9600 MWh biogazu. Gaz jest oczyszczany. Ciepła woda jest w 60 m<sup>3</sup> zbiorniku, który zasila całe gospodarstwo rolne w ciepłą wodę. Energia elektryczna jest generowana z biogazu przy wykorzystaniu silników, które wytwarzają 4,300 MWh rocznie, rysunek 17.



Rys. 17. Silnik do wytwarzania energii elektrycznej w Alvik.  
Źródło: Publikacja [16].

Ponadto, ok. 18,000 ton bio-nawozu jest wytwarzane każdego roku, tabela 10. Jest on przechowywany w kilku zbiornikach przed jego rozrzuceniem na pobliskich polach przy wykorzystaniu wozu asenizacyjnego [16].

Tabela 10. Roczne wsady i produkty.

Wsady i produkty	
Świńska gnojowica	- 16 000 ton
Odpady z ubojni	- 1 800 ton
Biogaz z biogazowni	- 9600 MWh
Na energię elektryczną	- 4300 MWh
Do ogrzewania	- 5300 MWh
Bio-nawóz	- 18 000 ton

Źródło: Publikacja [16].

### 3.3.5. ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE

Ścieki z zakładów przemysłowych były oczyszczane w procesach fermentacji beztlenowej oraz produkcji biogazu. W latach 1970-tych i 1980-tych wybudowano znaczną liczbę cukrowni, celulozowni i papierni. Trzy główne biogazownie przemysłowe to: zakład mleczarski w Umeå, fabryka Domsjö w Örnsköldsvik i cukrownia w Örtofta. One nie tylko oczyszczają ścieki oraz wody procesowe, ale także produkują energię w formie biogazu. Z uwagi na to, że zakłady przemysłowe są często energochłonne, dlatego biogaz jest przyjazną dla środowiska i efektywną kosztowo alternatywą dla ropy, zarówno dla celów ogrzewania oraz generowania energii elektrycznej. Samowystarczalność energetyczna także poprawia konkurencyjność przemysłu, szczególnie uwzględniając rosnące ceny na rynku ropy.

#### 3.3.5.1. BIOGAZOWNIA W UMEÅ

Norrmejerier w Umeå jest pierwszą mleczarnią w Szwecji, która połączyła swój obieg produkcyjny z własną instalacją biogazową, rysunek 18. W biogazowni ścieki z Mleczarni Umeå są oczyszczane razem z serwatką pochodzącą z Mleczarni Umel i Burträsk. Przetwarzanie tak dużych ilości serwatki może być problematyczne. Zwyczajowo, jest to odpad, którym żywi się zwierzęta. Jednakże, po przestudiowaniu nowych technologii w mleczarniach w Niemczech, Szwajcarii i Belgii, kadra zarządzająca w Norrmejerier zdecydowała o wykorzystaniu ultra-filtracji serwatki [16].



Rys. 18. Mleczarnia Norrmejerier w Umeå.

Źródło: Publikacja [32].

Przy zastosowaniu tej metody, większość białka z serwatki jest usuwana w wyniku filtracji [16]. Białka te są wartościowym surowcem w procesie wytwarzania nowych produktów żywnościowych. Z pozostałej części serwatki, ścieków i innych odpadów w procesie beztlenowym produkuje się biogaz. Skutkuje to niższym zużyciem ropy, emisją gazów cieplarnianych i kosztami transportu.

Surowce z dwóch mleczarni (Umeå i Burträsk) przechodzą przez komorę hydrolizy (800 m<sup>3</sup>), zanim są pompowane do bioreaktora. Następnie usuwane są tłuszcze w procesie separacji flotacyjnej, które później rozkładane są w dwóch oddzielnych mezofilnych reaktorach (35°C), każdy po 100 m<sup>3</sup> objętości. Pozostały materiał jest rozkładany w „procesie bezpośrednim” w dwóch reaktorach o łącznej objętości 5000 m<sup>3</sup>. Odcieki z osadu pofermentacyjnego są zwracane do bioreaktora (sedymentacja w tak zwanym „odstojniku”). Takie rozwiązanie pomaga utrzymać odpowiednie zagęszczenie bakterii w reaktorze i skrócić czas retencji (3.6 dnia) bez ryzyka strat w kulturach bakterii. Temperatura procesu w tych reaktorach wynosi także 35°C [32].

łącznie w procesie fermentacji wytwarzane jest 35,000 kWh energii dziennie i 10,000 MWh biogazu w skali roku, z dodatkowymi 7,000 MWh generowanymi przez pompy ciepła. Osad, który idzie do odstojnika po procesie fermentacji, jest następnie ochładzany w pompie ciepła do temperatury 15°C, a następnie składowany. Jest on później wykorzystywany do produkcji palet mułowych, materiału wypełniającego przy budowie dróg.

Biogazownia zmniejszyła roczną konsumpcję ropy przez Norrmejerier's o 2.500 mł oraz zredukowała roczną emisję CO<sub>2</sub> o 9.500 ton i tlenu azotu oraz dwutlenku siarki odpowiednio o 9.3 i 3.9 ton [33].

### 3.3.6. TECHNIKI USZLACHTNIANIA BIOGAZU W SZWECJI

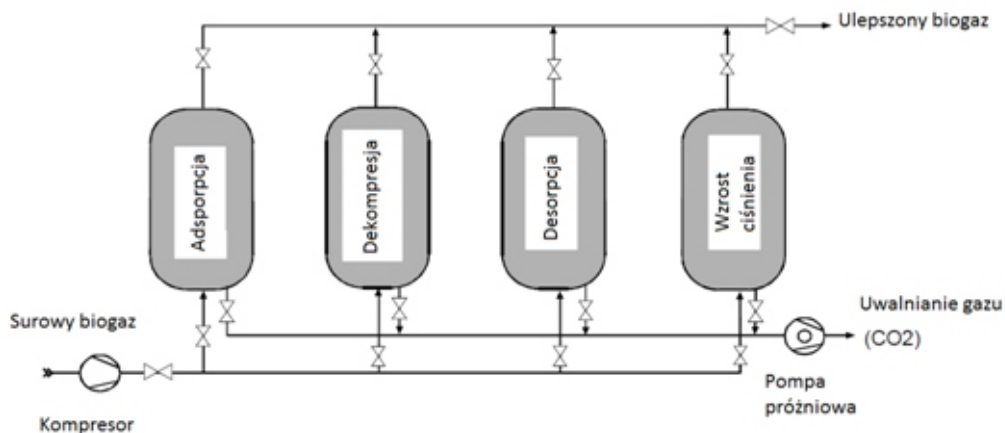
Rosnące ceny ropy i gazu ziemnego, a także coraz większe wymagania dotyczące wykorzystywania odnawialnych źródeł energii spowodowały wzrost zainteresowania metodami oczyszczania biogazu [34]. Nowe biogazownie są nieustannie budowane. W zależności od docelowego sposobu wykorzystania, konieczne są różne etapy obróbki biogazu.

Wszystkie biogazownie w Szwecji, które są obecnie na etapie planowania lub budowy zostaną wyposażone w instalacje ulepszania biogazu w celu uzyskania jakości gazu ziemnego, jak również w celu bezpośredniego jego wykorzystania jako paliwa samochodowego lub do włączenia go do sieci zasilania gazem ziemnym.

Nadwyżki produkcji biogazu (początkowo w oczyszczalniach ścieków) oraz niskie ceny energii elektrycznej w Szwecji powodują coraz częstsze wykorzystywanie biogazu np. jako paliwa samochodowego, rzadziej do produkcji energii elektrycznej [35]. Cztery przykłady technologii uszlachtniania zostaną zaprezentowane w następujących rozdziałach.

#### 3.3.6.1. Adsorbpcja zmienna-ciśnieniowa (PSA) SYSTEM USZLACHTNIANIA BIOGAZU

Adsorbpcja zmienna-ciśnieniowa (PSA), zwana także jako węglowe sita molekularne, jest drugą najbardziej popularną technologią ulepszania biogazu w Europie [36].



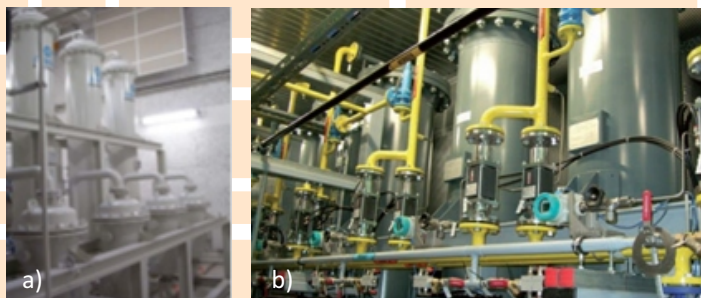
Rys. 19. Ulepszanie biogazu przy pomocy procesu PSA.

Źródło: Publikacja [37].



PSA jest metodą separacji dwutlenku węgla od metanu przez adsorbcję/desorpcję dwutlenku węgla na zeolitach lub aktywnym węglu przy różnych poziomach ciśnienia [35]. System składa się z czterech kolumn adsorpcyjnych, z których każda pracuje w czterech różnych etapach: adsorpcji, dekompresji, desorpcji i wzrostu ciśnienia, rysunek 19 [38]. Kiedy materiał adsorbcyjny w jednej kolumnie staje się nasycony, przepływ gazu jest kierowany do kolejnej kolumny, w której materiał adsorbcyjny podlega regeneracji. Podczas regeneracji ciśnienie jest obniżane etapowo. Gaz, który podlega desorpcji podczas pierwszego, ewentualnie drugiego etapu obniżenia ciśnienia może zostać zawrócony do wlotu surowego gazu, ponieważ będzie zawierał pewne ilości metanu, który został adsorbowany wraz z dwutlenkiem węgla. Gaz podlegający desorbpcji w kolejnym etapie redukcji ciśnienia jest prowadzony do następnej kolumny, albo jeśli jest prawie całkowicie pozbawiony zawartości metanu - jest uwalniany do atmosfery [34].

W Szwecji zbudowano jednostki PSA między 15 i 350 m<sup>3</sup>/h, i doświadczenia związane z ich funkcjonowaniem i oczyszczaniem biogazu są bardzo dobre. Jeden przykład takiej instalacji został zaprezentowany na rysunku 20.



Rys. 20. Instalacja uszlachetniająca biogaz (350 m<sup>3</sup>/h) z technologią PSA w Helsingborg - Szwecja (a) Stacja uszlachetniająca wykorzystująca technologię PSA w Malmö - Szwecja, (b) .

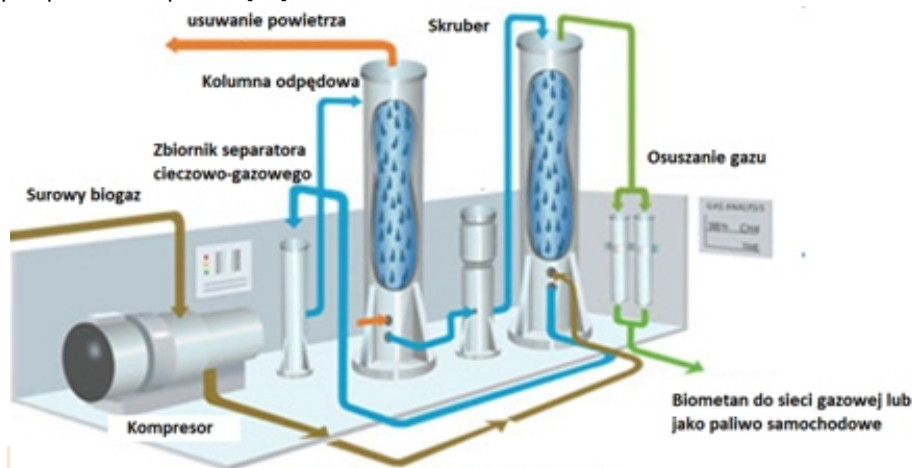
*Źródło: Publikacje [39, 40].*

### 3.3.6.2. Skrubler wodny

W instalacji do uszlachetniania biogazu, która wykorzystuje technikę absorpcji, surowy biogaz napotyka strumień płynu płynący w odwrotnym kierunku w kolumnie z upakowaniem z tworzywa sztucznego (w celu zwiększenia powierzchni kontaktu między gazem a płynnym czynnikiem). Zasada absorpcji opiera się na różnicy w rozpuszczalności dwutlenku węgla i metanu (dwutlenek węgla jest bardziej rozpuszczalny niż metan) [34]. Dwutlenek węgla zostanie więc rozpuszczony w większym stopniu niż metan, szczególnie w niskich temperaturach.

Biogaz jest wtłaczany do kolumny, gdzie jest „omyty” przez bieżącą wodę płynącą w przeciwnym kierunku, która przepływa z góry kolumny, rysunek 21. Kolumna jest wypełniona pewnym materiałem, który zwiększa powierzchnię kontaktu, co wspomaga absorpcję CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> jest rozpuszczany w wodzie, która jest potem pompowana do „kolumny regeneracyjnej”, w której następuje uwalnianie CO<sub>2</sub>. Regeneracja procesu oczyszczania wodą może być wykonywana w wyższej temperaturze lub przy niższym ciśnieniu. W tej

technologii CO<sub>2</sub> jest usuwany wraz z H<sub>2</sub>S. Oczyszczony strumień CH<sub>4</sub> (o czystości do 98%) powinien zostać osuszony po opuszczeniu płuczki [42].



Rys. 21. Schemat oczyszczania wodą.

Źródło: Publikacje [41].

Płuczki wodne o przepustowości 75 - 800 m<sup>3</sup>/h zostały zainstalowane w różnych miejscach w Szwecji, rysunek 22. Pomimo, że niektóre biogazownie borykały się z zakłóceniami operacyjnymi z powodu zanieczyszczenia substancjami organicznymi upakowania w kolumnach, technologia ta potwierdza swoją skuteczność [35].

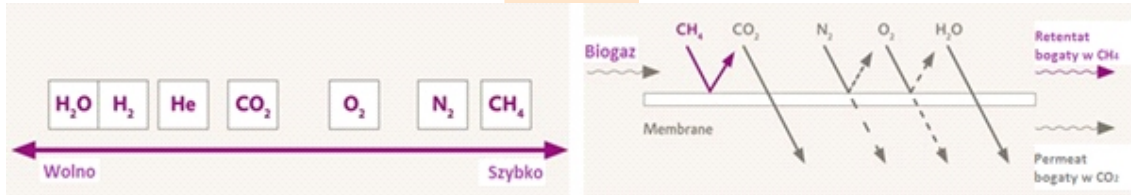


Rys. 22. Instalacja uszlachetniająca (600 m<sup>3</sup>/h) z technologią płuczki wodnej w oczyszczalni ścieków w Henriksdal - Sztokholm (a), Płuczka uszlachetniająca biogaz w biogazowni w Västerås - Szwecja (b).

Źródło: Publikacje [43, 44].

### 3.3.6.3. SEPARACJA MEMBRANOWA

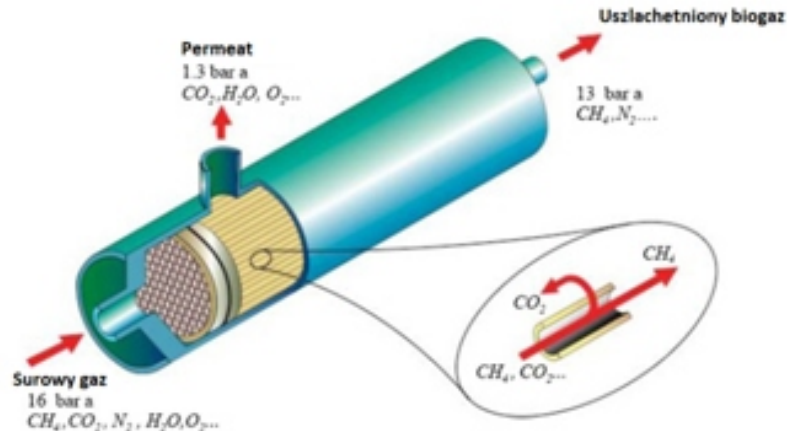
Wykorzystywanie membran do oczyszczania gazu jest dobrze sprawdzoną technologią w przemyśle chemicznym. Membrana jest porowatym materiałem, który przepuszcza niektóre gazy przenikające przez jej strukturę.



Rys. 23. Separacja gazu przez membranę.

Źródło: Publikacja [45].

Suche membrany do oczyszczania biogazu są wykonane w materiałach, które są przepuszczalne dla dwutlenku węgla, wody i amoniaku. Zazwyczaj membrany są w formie połączonych ze sobą włókien kanalikowych wykonanych z różnych polimerów, rysunek 30 [34].



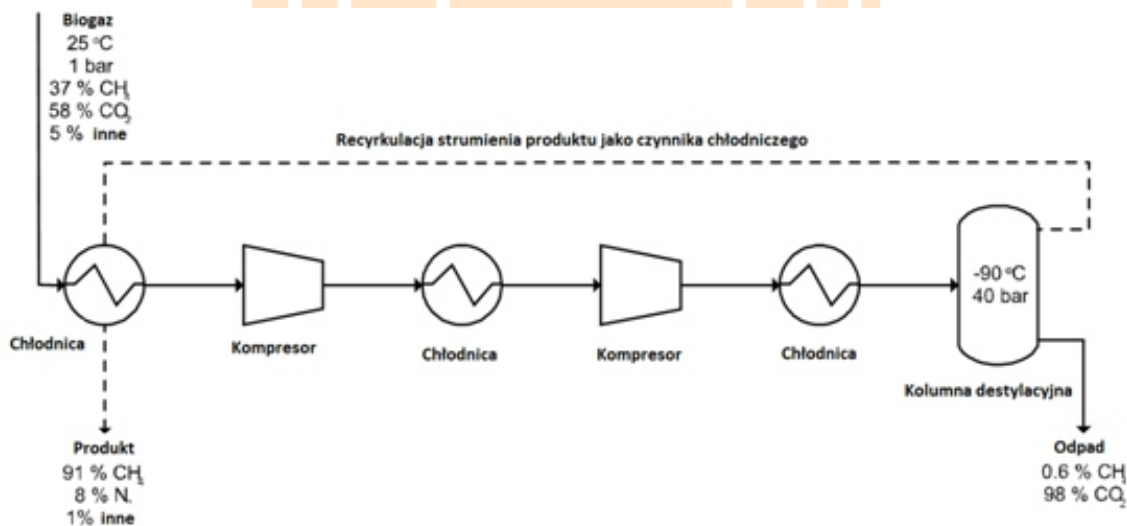
Rys. 24. System membran.

Źródło: Publikacja [46].

Proces odbywa się często w dwóch etapach. Przed tym jak gaz dociera do włókien, przechodzi on przez filtr, który zatrzymuje wodę, kropelki oleju i aerozole, które wpłynęłyby negatywnie na pracę membrany. Ponadto zanim gaz trafi na membranę, usuwany jest siarkowodor w procesie oczyszczania na węglu aktywnym. Ostatecznie uzyskuje się dwa różne strumienie: permeat (głównie CO<sub>2</sub>, woda i amoniak) oraz retentat (skoncentrowany CH<sub>4</sub>).

### 3.3.6.4. ULEPSZANIE KRIOGENICZNE

Określenie „kriogeniczny” odnosi się do nauki o bardzo niskich temperaturach. Metoda kriogeniczna polega na sprężaniu i schładzaniu gazu do odpowiedniej temperatury, a następnie wydzieleniu separowanego składnika w postaci ciekłej. Surowy biogaz jest schładzany do temperatury, w której dwutlenek węgla w gazie kondensuje się lub sublimuje i może zostać odseparowany jako płynna lub stała frakcja, podczas gdy metan akumuluje się w formie gazowej. Woda i siloksany są także usuwane podczas schładzania gazu. Schładzanie zazwyczaj odbywa się w kilku etapach w celu usunięcia różnych rodzajów gazów z biogazu oraz w celu optymalizacji odzysku energii, rysunek 25[34].



Rys. 25. Kriogeniczny proces separacji.

Źródło: Publikacje [47].

Wszystkie zaprezentowane techniki ulepszania biogazu są stosowane obecnie i są nieustannie doskonalone. Równocześnie, nowe techniki są przedmiotem badań. Te nowe usprawnienia, zarówno dotyczące nowych jak i bardziej tradycyjnych technik, mogą obniżyć koszty inwestycyjne oraz koszty operacyjne. Usprawnienia mogą także doprowadzić do innych korzyści takich jak niższa emisja metanu, która jest istotna zarówno z perspektywy ekonomicznej jak i środowiskowej.

## 3.4. TECHNOLOGIE BIOGAZOWE W POLSCE - PERSPEKTYWY ROZWOJU

Tak jak to było wspomniane powyżej, potencjał produkcji energii z biogazu w Polsce wynosi 60 TWh<sub>el</sub>, co w 40% powinno zaspokoić lokalne potrzeby. Jednak nadal nie posiadamy w Polsce wystarczającej ilości

biogazu, głównie z powodu wysokich kosztów inwestycyjnych oraz lokalnych sprzeciwów wobec takich bioenergetycznych projektów. Całkowita wielkość produkcji energii wytworzonej przez instalacje biogazowe w Polsce wynosiła w 2009 roku 188 TJ. Nie ma żadnych wątpliwości, że sektor ten nie jest wykorzystywany w wystarczającym stopniu i że powinny zostać wprowadzone pewne zmiany, aby móc uczynić go bardziej produktywnym i wydajnym.

Jak do tej pory w Polsce funkcjonuje 160 biogazowni. Większość z nich generuje zarówno energię elektryczną jak i ciepłą, pozostała część jedynie ciepło. Struktura polskich instalacji biogazowych pokazuje wyraźną przewagę dużych zakładów kogeneracyjnych zlokalizowanych głównie w pobliżu składowisk odpadów i oczyszczalni ścieków. Istnieje kilka instalacji rolniczych, ale cały czas nie mamy instalacji dedykowanych przemysłowym odpadom organicznym, które są najbardziej popularne w pozostałych krajach Unii Europejskiej. Z ekonomicznego punktu widzenia to ogromne zaniedbanie, ponieważ Polska posiada olbrzymi potencjał do produkcji biogazu z odpadów organicznych, a poza tym ten rodzaj odpadów jest najlepszym substratem dla procesu fermentacji. Przykład Modelu Szwedzkiego produkcji biogazu powinien stanowić zachętę do zmian oraz powinien - w niektórych aspektach - być łatwo adaptowalny do naszego krajowego systemu biogazowego.

Zgodnie z polską legislacją i legislacją UE, składowanie odpadów organicznych, które mogą być wykorzystane jako źródło energii, będzie wkrótce ściśle zabronione. Staje się to nadzwyczajnym pretekstem dla lokalnej administracji, aby przeforsować wśród producentów odpadów pomysł, by wykorzystywali własne odpady jako źródło energii, tak jak ma to miejsce w Szwecji. Proste wyliczenia pokazują, że są to bardzo zyskowne przedsięwzięcia. Produkuje się ponad 12 milionów ton odpadów komunalnych rocznie. Jeśli dodamy tę liczbę do ilości produkowanych odpadów przemysłowych, potencjalna wielkość produkcji biogazu powinna być bardzo duża! Producenci odpadów mogą za darmo lub za niewielką opłatą oddawać własne odpady do instalacji biogazowej, a właściciel biogazowni otrzymywać surowce do produkcji energii. W ten właśnie sposób rozwiązany staje się problem zarządzania odpadami oraz problem zapotrzebowania na surowce. Dwaj partnerzy współpracują pomyślnie i obaj odnoszą pewne korzyści. W podobny sposób mogłaby wyglądać współpraca między lokalną społecznością a właścicielem biogazowni. Domowe odpady mogłyby stać się surowcem do produkcji biogazu z tańszą energią jako korzyścią. To jest rozwiązanie dla Polski. Mamy szeroko rozwiniętą sieć ciepłowniczą, więc tą drogą moglibyśmy efektywnie dystrybuować ciepło z instalacji biogazowych. Dzięki wykorzystaniu dotacji z Unii Europejskiej możemy osiągnąć szwedzkie standardy produkcji biogazu bardzo szybko [48]. Wszystko czego nam potrzeba to wsparcie ze strony lokalnej administracji i dobre prawo.

Aby uniknąć oporu lokalnej społeczności w Polsce, instalacje biogazowe powinny być budowane blisko źródeł odpadów, np.: na gruntach producentów odpadów. W ten sposób można uniknąć problemu dodatkowych odorów. Projektowane instalacje biogazowe powinny być budowane w małej skali, przynajmniej na początku; wielkoskalowe biogazownie na chwilę obecną - nie mają w naszym kraju dobrych perspektyw. Jest to związane z oporem społeczności i gwarancjami dostawy surowców [35]. Mikroinstalacje biogazowe nie powinny mieć problemu z wykorzystaniem wyprodukowanego ciepła i energii elektrycznej.

Dla efektywnej produkcji biogazu w Polsce należy wprowadzić szereg istotnych zmian w zakresie systemu zarządzania odpadami. Każdy Polak powinien sortować własne domowe odpady, a każda firma odbierająca odpady powinna zostać włączona i zaadaptowana do nowego systemu zbiórki. Odpady organiczne powinny

być dostarczane bezpośrednio do instalacji biogazowej. Należy zaprojektować system odbierania odpadów żywnościowych z restauracji, szpitali i hoteli. Rolnicy również powinni mieć możliwość przekazywania swoich odpadów rolnych do instalacji biogazowej. Także organiczne odpady przemysłowe powinny zostać włączone do system zarządzania odpadami.

W Polsce jest bardzo wiele do zrobienia w kwestii perspektyw systemu biogazowego. Jesteśmy jednak w stanie implifikować pewne elementy Szwedzkiego Modelu produkcji biogazu. Pierwszą rzeczą, którą musimy zrobić, jest zmiana naszego sposobu myślenia o odpadach; musimy traktować je zarówno jako źródło czystej energii i źródło pieniędzy. I musimy edukować społeczeństwo; uczyć je dlaczego segregacja odpadów jest potrzebna i użyteczna. Bez podstawowej wiedzy nie będzie efektywnego systemu produkcji biogazu. Bez świadomości ekologicznej w Polsce nie da się zastosować Modelu Szwedzkiego.

### **3.5. PODSUMOWANIE**

Do dziś problem systemu produkcji biogazu w Polsce nie został rozwiązany. Tego rodzaju systemy z powodzeniem funkcjonują w wielu krajach w Europie i mogą być w łatwy sposób zastosowane w Polsce. Przykład Szwecji, gdzie zarządzanie biogazem jest bardzo dobrze zorganizowane, powinien być pomocny dla naszego rządu oraz potencjalnych inwestorów, pomimo, że niemożliwe jest przeniesienie do Polski tego systemu w całości.

Polska jest bardzo specyficznym krajem. Nasze społeczeństwo nie jest jeszcze przygotowane na tego rodzaju zmiany, jak również na tak duże inwestycje. Z tego powodu Autorzy sugerują stworzenie dla Polski indywidualnego systemu biogazowego, opartego głównie na szwedzkich rozwiązaniach. W systemie tym olbrzymie instalacje zastępowane są mikrobiogazowniami, zlokalizowanymi na przemysłowych obszarach producentów odpadów organicznych. To rozwiązanie pozwala uniknąć problemów związanych z odorami i lokalnymi sprzeciwami, co obecnie wydaje się być jedyną drogą dla wykorzystania potencjału Polski w tym zakresie.

Polski System proponowany w tym artykule nie został jeszcze dobrze opracowany. Systemy zbiórki odpadów powinny być dokładnie zaplanowane, podobnie jak ścieżka edukacyjna dla społeczeństwa. Jest to zaledwie początkowy i bardzo okrojony profil systemu, który w ciągu kilku najbliższych lat powinien stać się priorytetem w zakresie produkcji biogazu w Polsce. Jego sukces jest uzależniony od całego społeczeństwa i skutecznej polityki. Czas pokaże czy Polska stanie się drugą Szwecją.

### **3.6. BIBLIOGRAFIA**

1. [http://www.elektroenergetyka.pl/601/elektroenergetyka\\_nr\\_04\\_07\\_e1.pdf](http://www.elektroenergetyka.pl/601/elektroenergetyka_nr_04_07_e1.pdf).
2. [http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL\\_se\\_energia\\_zrodla\\_odnawialne\\_2008.pdf](http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL_se_energia_zrodla_odnawialne_2008.pdf).
3. <http://www.funduszeStrukturalne.gov.pl/informator/npr2/prognozy/zaopatrzenie.pdf>.
4. A. Cukrowski, A. Oniszk-Popławska. „Surowce do produkcji biogazu - uproszczona metoda obliczania wydajności biogazowi rolniczej”. *Czysta Energia*, 1/2010.

5. Raport „Biogaz z obornika i odpadów - szwedzkie stadium przypadku”. 2008.
6. J. Neterowicz, 2009.”Biogaz 2009”.
7. Polska konferencja szkoleniowa „Elektrownia biogazowa - źródło lokalnej odnawialnej energii”, Poznań, 28-29.05.2009.
8. [http://www.forum-dyktorow.pl/zipy/utyliczacja\\_odpadow\\_w\\_szwecji\\_zakopane2007.pdf](http://www.forum-dyktorow.pl/zipy/utyliczacja_odpadow_w_szwecji_zakopane2007.pdf).
9. K. Netka „Północnoeuropejski cud energetyczny”, Odpady i środowisko, 2011, 4(70).
10. [http://egos.pl/images/konferencje/hpwm\\_02\\_2012/Jenny\\_Astrom.pdf](http://egos.pl/images/konferencje/hpwm_02_2012/Jenny_Astrom.pdf).
11. [http://www.envacconcept.com/the\\_magazine/1-11-theme-old-and-new-pioneers/oslo-optibag-pioneer](http://www.envacconcept.com/the_magazine/1-11-theme-old-and-new-pioneers/oslo-optibag-pioneer).
12. [http://egos.pl/images/konferencje/hpwm\\_02\\_2012/Gunnar\\_Haglund.pdf](http://egos.pl/images/konferencje/hpwm_02_2012/Gunnar_Haglund.pdf).
13. Dag Lewis Jonsson: “Z wysypiska śmieci do recyklingu”. Materiały z konferencji “Polsko-Szwedzka Platforma Inżynierii Zrównoważonej Energii”.
14. [http://www.sysav.se/upload/broschyler/Broschyr\\_mat\\_EN\\_091117.pdf](http://www.sysav.se/upload/broschyler/Broschyr_mat_EN_091117.pdf).
15. T. Emtairah, S. Di Pointe, P. Peck “Oddolne socjalne i instytucjonalne innowacje w systemach energii odnawialnej: Analiza system biogazowego w Szwecji”; GCREEDER 2011, Amman-Jordan.
16. J. Held, A. Mathiasson, A. Nylander, Raport: “Biogaz z nawozu i odpadów szwedzkie stadium przypadku”, 2008 Sztokholm).
17. <http://www.kristianstad.se/upload/Sprak/dokument/2%20Biogas%20Kristianstad%20brochure%202009.pdf>.
18. [http://swentec.webhotel.tripnet.se/en/find\\_cleantech/Plantscontainer/Karpalund-biogas-plant-in-Kristianstad/](http://swentec.webhotel.tripnet.se/en/find_cleantech/Plantscontainer/Karpalund-biogas-plant-in-Kristianstad/).
19. [www.kristianstad.se](http://www.kristianstad.se).
20. [www.avfallsverige.se](http://www.avfallsverige.se).
21. [http://www.iea-biogas.net/\\_download/linkoping\\_final.pdf](http://www.iea-biogas.net/_download/linkoping_final.pdf).
22. <http://baltic-ecoregion.eu/download/BFW.pdf>.
23. [http://www.comune.verona.it/politichecomunitarie/Energie%20Cites/EN/LINKO\\_EN.PDF](http://www.comune.verona.it/politichecomunitarie/Energie%20Cites/EN/LINKO_EN.PDF).
24. <http://asulightworks.com/blog/swedish-transportation-system-running-biofuel>.
25. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Biogas-train-amanda-in-linkoping-2006.JPG>.
26. Tajska-Szwedzka Współpraca w zakresie Zrównoważonego Rozwoju Oczyszczania Ścieków „Oczyszczanie ścieków w Szwecji komunalne i niewielkie oczyszczalnie ścieków”, 2003.
27. Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska (EPA).
28. [http://www.businessregiongoteborg.com/download/18.3bdd679b12937165e4e80009630/Gryyab\\_wastewater+treatment\\_Biogasproduction-eng.pdf](http://www.businessregiongoteborg.com/download/18.3bdd679b12937165e4e80009630/Gryyab_wastewater+treatment_Biogasproduction-eng.pdf).

29. <http://sustainability.formas.se/en/Issues/Issue-4-November-2011/Content/Focus-articles/Architectural-research-lets-in-fresh-air/>.
30. [www.gryaab.se](http://www.gryaab.se).
31. A. Granstedt „On Farm Biogas production with solid manure in organic farming”, Final report December 2011, Sweden.
32. <http://www.envirochemie.com>.
33. <http://www.symbiocity.se/en/Cases/norrmejerier/>.
34. Petersson, A. Wellinger „Technologie ulepszania biogazu rozwój i innowacje”, IEA BIOENERGY, 2009.
35. O. Jönsson „Ulepszanie biogazu i jego wykorzystanie jako paliwo transportowe”, Szwedzkie Centrum Gazu.
36. <http://www.bioenergyconsult.com/category/biogas/>.
37. <http://www.sgc.se/dokument/Evaluation.pdf>.
38. M. Persson „Ocena technik ulepszania w Szwecji”, 2003, Szwecja.
39. [http://biogasmax.info/media/biogas\\_upgrading\\_and\\_use\\_2004\\_\\_062944200\\_1011\\_24042007.pdf](http://biogasmax.info/media/biogas_upgrading_and_use_2004__062944200_1011_24042007.pdf).
40. [http://www.iea-biogas.net/\\_download/publi-task37/upgrading\\_rz\\_low\\_final.pdf](http://www.iea-biogas.net/_download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf).
41. <http://www.flotech.com/biogas.htm>.
42. Carlos A. Grande „Ulepszanie Biogazu przez PSA”, 2011, Biopaliwowa Technologia Inżynierii Procesu.
43. [http://biogasmax.info/media/biogas\\_upgrading\\_and\\_use\\_2004\\_\\_062944200\\_1011\\_24042007.pdf](http://biogasmax.info/media/biogas_upgrading_and_use_2004__062944200_1011_24042007.pdf)
44. [http://www.walesadcentre.org.uk/Controls/Document/Docs/Vasteras\\_comp\\_\\_F.pdf](http://www.walesadcentre.org.uk/Controls/Document/Docs/Vasteras_comp__F.pdf).
45. <http://www.sepuran.de/product/sepuran/en/Pages/function.aspx>.
46. Źródło: MedalTM system membran dla biogazu z wysypiska, Air Liquide.
47. Źródło: <http://www.docstoc.com/docs/116200410/Biogas-upgrading>.
48. J. Neterowicz „Rozwój systemów gospodarki odpadami i spalarni odpadów w Szwecji”. VI International Conference :„Thermal processing of waste from the plans to the realization”. Szczecin Kopenhaga, 19-22.10.2009.
49. <http://gramzielone.pl/bioenergia/2598/pgnig-prognozuje-rozwoj-mikrobiogazowni>.

## **Podziękowania**

*Niniejsza publikacja została opracowana jako część Projektu "Bioenergia dla Regionu Zintegrowany Program dla Doktorantów", współfinansowanego przy Europejski Fundusz Socjalny.*