

AUTONOMIZACJA ENERGETYCZNA SOŁECTWA za pomocą mikroelektrowni biogazowej

ENERGY AUTONOMISATION OF SUB-MUNICIPALITIES with the help of micro-scale biogas power plants

Samowystarczalność energetyczna na rynkach elektroprosumeryzmu [2] – obejmująca gospodarkę obiegu zamkniętego (GOZ) – powinna być celem działania każdego samorządu w Polsce. W artykule opisano sposób realizacji samowystarczalności sołectwa do 1000 mieszkańców zasilanego z KSE – za pomocą linii nN zasilanych z pojedynczej stacji transformatorowej SN/nN – z wykorzystaniem mikroelektrowni biogazowej klasy 10 do 200 kW. Podstawą (bazą) rozwiązania technologicznego – oprócz mikroelektrowni biogazowej – są: pasywizacja budynków mieszkalnych sołectwa, elektryfikacja ciepłownictwa za pomocą pomp ciepła, dachowe źródła PV, mikroelektrownie wiatrowe oraz zoptymalizowany do potrzeb system zarządzania energią (SZE); w artykule nie uwzględnia się na razie elektryfikacji transportu. Uzupełniające (dodatkowe, ewentualne) składowe rozwiązania obejmują akumulatorowe/baterijne zasobniki energii elektrycznej lub biogazu – przejściowo także agregaty prądotwórcze – gwarantujące zindywidualizowaną elektroprosumencką odporność kryzysową poszczególnym gospodarstwom sołectwa. Prezentowany w artykule proces budowy samowystarczalności sołectwa (jego autonomizacji względem KSE) – inaczej proces budowy odporności kryzysowej sołectwa, zastępującej bezpieczeństwo energetyczne, którego już nie zapewnia KSE – realizowany jest w etapach: on grid – on/off grid – off grid. Autonomizacja sołectw względem KSE (nabycie własnej odporności kryzysowej) jest w Polsce już realnie technicznie i możliwe do szybkiej realizacji (indywidualnie sołectwo może ją zrealizować w ciągu kilku lat). W skali kraju może przyspieszyć tę autonomizację zasada współużytkowania zasobów KSE [1] wprowadzona w życie za pomocą właściwej ustawy pilotażowej do ustawy Prawo elektryczne. Podstawowe znaczenie ma jednak uruchomienie seryjnej produkcji mikroelektrowni biogazowych w sektorze MŚP. Artykuł obejmuje informację o działaniach firmy eGIE w tym zakresie.

Słowa kluczowe: transformacja energetyczna, sołectwo off grid, mikroelektrownia biogazowa

Energy self-sufficiency in electroprosumerism markets – comprising the closed-loop economy (GOZ) – should be the objective of every self-government actions in Poland. Described is here the method to realise energy self-sufficiency in a sub-municipality of up to 1000 inhabitants and supplied from the national power system (KSE) – by LV lines connected to a single MV/LV transformer substation – and a 10-200 kW biogas microplant. The basis of this technological solution – apart from the biogas micro power plant itself – is also passivation of residential buildings, heating electrification with the use of heat pumps, roof PV systems and an adequate energy management system (SZE); so far, the transport electrification has not yet been taken into account. Complementary (additional, possible) components of this solution comprise battery containers of electric energy (biogas) – temporarily also motor power generators – guaranteeing the individualised electroprosumeric emergency resilience for every household in a sub-municipality. Presented here the process of building the sub-municipality energy self-sufficiency (its autonomisation relative to KSE) – in other words building of a sub-municipality emergency resilience replacing energy security not ensured already by KSE – is realised in stages: on grid – on/off grid – off grid. Sub-municipalities autonomisation relative to the KSE (achievement of their own emergency resilience) is now in our country technically feasible and realisable in a short-time period (for an individual sub-municipality that period should be no longer than a few years). On a national scale the autonomisation can be accelerated by the use of the KSE resources collective use principle (put into effect by a proper pilot act to the Electricity Act). But a matter of fundamental significance is to launch the factory production of micro biogas power plants in the MSMEs sector. Given is also an information on eGIE activities in this field.

Keywords: energy transition, off-grid sub-municipality, micro biogas power plant

Opis transformacji sołectwa do elektroprosumeryzmu – główne założenia

Autonomiczność, czyli pełną samowystarczalność energetyczną, sołectwa do 1000 mieszkańców można osiągnąć pod warunkiem zminimalizowania potrzeb związanych z zużyciem energii elektrycznej i ciepła zamieszkałych budynków i zastosowania odpowiednich źródeł energii. Osiągnięciem się to poprzez pasywizację budynków oraz zamianę źródeł ciepła na niskotemperaturowe zasilanie w ciepło z wykorzystaniem pomp ciepła. Podstawowym rodzajem energii wykorzystywanej w sołectwie będzie energia elektryczna wytwarzana z OZE, w tym głównie z lokalnej mikroelektrowni zasilanej biogazem.

W celu dojścia do samowystarczalności energetycznej konieczne jest zbilansowanie profili zużycia i produkcji energii sołectwa na trajektorii transformacyjnej.

Do analizy przyjęto następujące założenia:

- liczba mieszkańców sołectwa: 1000 osób,
- liczba gospodarstw (domów jednorodzinnych): 250,
- powierzchnia ogrzewana budynków: 30 000 m².

Pominięte zostaną budynki użyteczności publicznej (kościół, OSP, sklep, przedszkole) z uwagi na ich niewielki wpływ na końcowy bilans.

W sołectwie znajduje się gospodarstwo hodowlane (400 krów mlecznych) wraz z uprawami pól i łąk na powierzchni ok. 700 ha.

Oszacowania związane z możliwością osiągnięcia elektroprosumeryzmu sołectwa zostały zamieszczone w tabelach 1-4. W tabelach podano zużycie energii i paliw oraz produkcję energii w kolejnych procesach.

Stan początkowy – stan wyjściowy: standardowe zużycie energii dla budynków wykonanych w latach 1980-2010. Źródła ciepła zróżnicowane z przewagą pieców/kotłów węglowych. Zasilanie w energię elektryczną on grid. Brak źródeł typu OZE.

Proces 1 – pasywizacja budynków: budynki zostaną poddane termomodernizacji i osiągną poziom budynków energooszczędnych lub pasywnych. Źródłem ciepła w budynkach (cwu + c.o.) będą pompy ciepła. Ciepło odpadowe z mikroelektrowni biogazowej zostanie wykorzystane w gospodarstwie hodowlanym. Wprowadzone zostaną indywidualne źródła energii w postaci PV, mikroelektrownie wiatrowe oraz lokalna mikrobiogazownia w gospodarstwie hodowlanym. System zaopatrzenia sołectwa w energię elektryczną jest w dalszym ciągu systemem on grid z możliwością wymiany energii z KSE. W okresie lata przewidziana jest praca systemu energetycznego w trybie off grid.

Proces 2 – układ off grid: wprowadzenie źródeł sterowanych, magazynów energii i regulowanych odbiorów energii wraz z SZE. Pogłębiona pasywizacja budynków. System energetyczny pracuje w reżimie pracy off grid. Sołectwo jest samowystarczalne energetycznie. Źródłami energii są źródła OZE.

Dojście od stanu wyjściowego do zakończenia Procesu 2 przewidziane jest w ciągu 10-15 lat. Nowe budynki będą budowane już tylko według standardu przewidzianego dla Procesu 2.

Budynki mieszkalne

Tabele 1-4 pokazują założenia oraz bilanse energetyczne dla każdego z trzech procesów.

Tabela 1

Zużycie ciepłej wody użytkowej i energii do jej podgrzania

Ciepła woda użytkowa	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Ilość cwu na osobę	l/os/doba	50	40	40
Ilość m ³ cwu	m ³ /rok	18 250	14 600	14 600
Wskaźnik zużycia ciepła dla 1 m ³ cwu	kWh/m ³	111	28	24
Ilość energii dla cwu (poza e.e.)	MWh/rok	1 419		
Ilość e.e. dla cwu, w tym pompy ciepła	MWh/rok	608	406	348
Suma	MWh/rok	2 028	406	348

Stan wyjściowy – w sezonie grzewczym cwu podgrzewana jest z kotła dwufunkcyjnego, a w lecie z wykorzystaniem grzałki elektrycznej. Wskaźnik zużycia energii na podgrzanie ciepłej wody wynosi średnio 111 kWh/m³.

W Procesach 1 i 2 – zużycie jednostkowe cwu jest mniejsze z uwagi na zastosowanie odpowiedniej armatury. Wprowadzono kontrolę cyrkulacji i ograniczenia czasowe (wyłączenia nocne i dzienne) oraz niższe temperatury ciepłej wody. Jako źródło ciepła zastosowano pompę ciepła o współczynniku COP = 3 dla Procesu 1 oraz COP = 3,5 dla Procesu 2.

Tabela 2

Zużycie ciepła dla ogrzewania budynków

Ogrzewanie budynków	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Wskaźnik zużycia ciepła dla c.o.	kWh/m ² /rok	100	40	20
Ilość energii dla c.o. (poza e.e.)	MWh/rok	3 000		
Ilość e.e. dla potrzeb c.o. (pompy ciepła)	MWh/rok		400	171

W przypadku ogrzewania budynków dla stanu wyjściowego założono, że ciepło do ogrzewania budynków dostarczone jest głównie z kotłów węglowych. Udział innych źródeł (olej/LPG) nie przekracza 20%. Budynki są bez termomodernizacji lub jest ona wykonana w małym zakresie.

W ramach Procesu 1 przeprowadzona zostaje kompleksowa termomodernizacja budynków, która jest pogłębiona w Procesie 2. Do ogrzewania ciepłej wody i zapewnienia komfortu środowiskowego w budynkach zainstalowane zostaną pompy ciepła o wskaźnikach COP = 3,0 w Procesie 1 oraz COP = 3,5 w Procesie 2.

Tabela 3

Zużycie energii elektrycznej przez budynki

Energia elektryczna	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Energia elektryczna (bez c.o. i cwu)	MWh/rok	750	625	500
Ilość e.e. łącznie	MWh/rok	1 358	1 430	1 019
Wskaźnik zużycia e.e.	MWh/dom/rok	5,43	5,72	4,08

Zużycie energii elektrycznej na cele inne niż c.o. i cwu przyjęto na poziomie: 3 MWh/rok na budynek dla stanu początkowego, na koniec Procesu 1: 2,5 MWh/rok, a na koniec Procesu 2: 2,0 MWh/rok.

W stanie wyjściowym dodatkowa energia elektryczna zużywana jest na podgrzanie cwu z wykorzystaniem grzałek elektrycznych, a w Procesach 1 i 2 energia elektryczna zasila także pompy ciepła. Na zakończenie Procesu 2 ilość zużywanej energii elektrycznej będzie mniejsza od stanu wyjściowego, mimo że energia elektryczna będzie jedynym nośnikiem energii (pełny elektroprosumeryzm).

Tabela 4

Łączne zużycie energii przez budynki mieszkalne

Energia razem	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Na jeden dom	MWh/rok	23	6	4
Wskaźnik zużycia energii	kWh/m ² /rok	193	48	34
Razem energia w budynkach	MWh/rok	5 778	1 431	1 019

Należy podkreślić, że budynki po zakończeniu Procesu 2 zużywają ponad 5 razy mniej energii końcowej niż budynki w stanie wyjściowym.

Gospodarstwo rolne

Ogrzewane budynki biurowo-socjalne oraz warsztatowe gospodarstwa mają powierzchnię 1500 m²; gospodarstwo zużywa 5 m³ cwu na dobę. W gospodarstwie zostanie zainstalowana biogazownia zasilająca biogazem układ CHP o mocy elektrycznej 100 kW. W celu zapewnienia ciągłości produkcji energii oraz elastyczności pracy zostaną zastosowane dwie jednostki kogeneracyjne o mocy 50 kW każda. Dodatkowo mikroelektrownia będzie wyposażona w magazyn biogazu o pojemności zapewniającej jej pracę ciągłą przez dwie doby. Pojemność magazynu wyniesie ok. 2500 m³, co pozwoli zmagazynować 12,5 MWh

energii chemicznej w biogazie. Magazyn ten powinien powstać po rozpoczęciu Procesu 2. Biogaz z tego magazynu zapewni produkcję energii przy zwiększonym obciążeniu dobowym, a także w okresach zimowych.

Ilość dostarczanego substratu, głównie gnojowicy i obornika krowiego, powinna zapewnić ciągłą pracę mikroelektrowni biogazowej. Dodatkowym substratem może być kiszonka kukurydzy i trawy lub odpadki żywieniowe. Przewidywana ilość produkowanego biogazu będzie wynosić ok. 400 000 m³/rok.

Biogaz można produkować także z innych rodzajów substratów. Technologię pracy mikroelektrowni biogazowej opisano w dalszej części artykułu.

Początkowo mikroelektrownia będzie miała nadwyżkę produkowanej energii elektrycznej.

Ciepło do ogrzewania budynków w gospodarstwie hodowlanym oraz podgrzewu cwu będzie dostarczane z agregatu kogeneracyjnego lub kotła, zasilanych biogazem. Przewidziano także wykonanie prac termomodernizacyjnych w budynkach gospodarstwa.

W tabeli 5 przedstawiono zapotrzebowanie gospodarstwa na energię.

Tabela 5

Zużycie energii przez gospodarstwo

Zużycie energii przez gospodarstwo	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Ciepło dla cwu z e.e.	MWh/rok	203		
Wskaźnik zużycia ciepła dla c.o.	kWh/m ² /rok	139	83	56
Ciepło dla potrzeb c.o.	MWh/rok	208	125	83
Ciepło dla cwu biogaz	MWh/rok	(-)	152	127
Energia elektryczna inne odb.	MWh/rok	96	72	60
Energia elektryczna łącznie	MWh/rok	299	72	60
Razem gospodarstwo	MWh/rok	507	349	270

Źródła i zużycie energii przez sołectwo

Łączne zużycie energii przez sołectwo w kolejnych procesach przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Zużycie energii przez sołectwo

Energia razem domy + gospodarstwo	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Ciepło i cwu (bez e.e.)	MWh/rok	4 628	277	210
Energia elektryczna	MWh/rok	1 657	1 503	1 079
Razem energia cała wieś	MWh/rok	6 285	1 780	1 289

W Procesach 1 i 2 ciepło dla budynków mieszkalnych zapewniają pompy ciepła. Dla gospodarstwa hodowlanego ciepło dostarczane jest z agregatu kogeneracyjnego lub kotła zasilanego biogazem. Przyjęte rodzaje źródeł energii wraz z ich mocami przedstawiono w tabeli 7, a w tabeli 8 produkcję energii z każdego źródła.

Tabela 7

Źródła energii

Moc źródeł energii	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Węgiel/olej/gaz	kW	2 600		
KSE	kVA	250	250	0
PV	kW	0	100	150
Elektrownia wiatrowa	kW	0	100	150
Biogaz ciepło	kW	0	100	100
Biogaz e.e.	kW	0	100	100

W stanie początkowym energia elektryczna dostarczana jest tylko z KSE z wykorzystaniem transformatora o mocy 250 kVA.

W czasie Procesu 1 i 2 dokonywana jest sukcesywna pasywizacja budynków i montowane są mikroźródła OZE: fotowoltaika (PV) oraz mikroelektrownie wiatrowe wraz z pompami ciepła.

Elektrownia biogazowa z jednostką kogeneracyjną 100 kW powstaje już na początku transformacji, przy czym początkowo nadwyżki energii sprzedawane są do KSE. Zakłada się, że inwestorem elektrowni biogazowej będzie gospodarstwo hodowlane, ale obowiązkami związanymi z produkcją energii, jej bilansowaniem i rozliczaniem zajmować się będzie operator(WSE) [3]. Dodatkowo, w czasie trwania Procesu 1 przewiduje się uzyskanie prawa do współużytkowania sieci nN i energia z mikroelektrowni oraz powstających innych mikroźródeł OZE (PV i mikroelektrowni wiatrowych) będzie przekazywana bezpośrednio do elektroprosumentów. Zasady współużytkowania sieci nN opisano w artykule [1].

Po zakończeniu Procesu 1 sołectwo zużywać będzie rocznie ok. 530 MWh energii elektrycznej dostarczanej z KSE, ale już ok. 970 MWh wyprodukuje we własnych źródłach. Pozwoli to na pracę systemu energetycznego w trybie off grid po zakończeniu sezonu grzewczego.

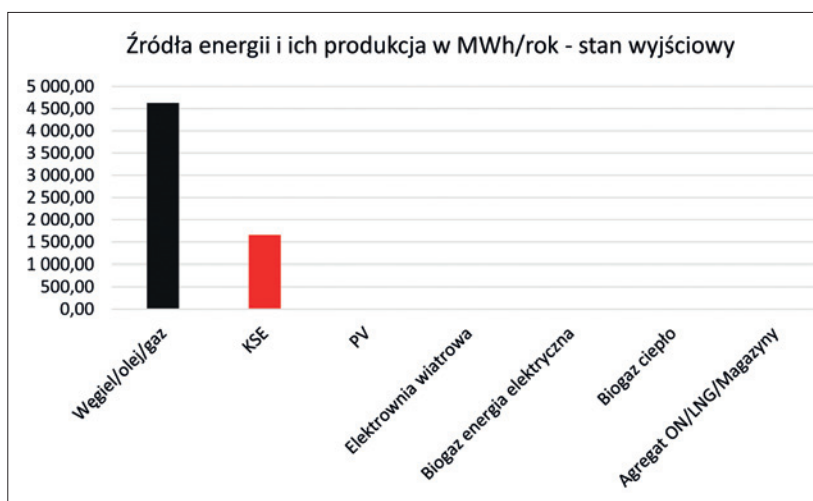
Po zakończeniu Procesu 2 sołectwo będzie autonomiczne energetycznie i może zostać odłączone od KSE.

W tabeli 8 oraz na rysunkach 1-3 pokazano roczną produkcję energii w poszczególnych źródłach.

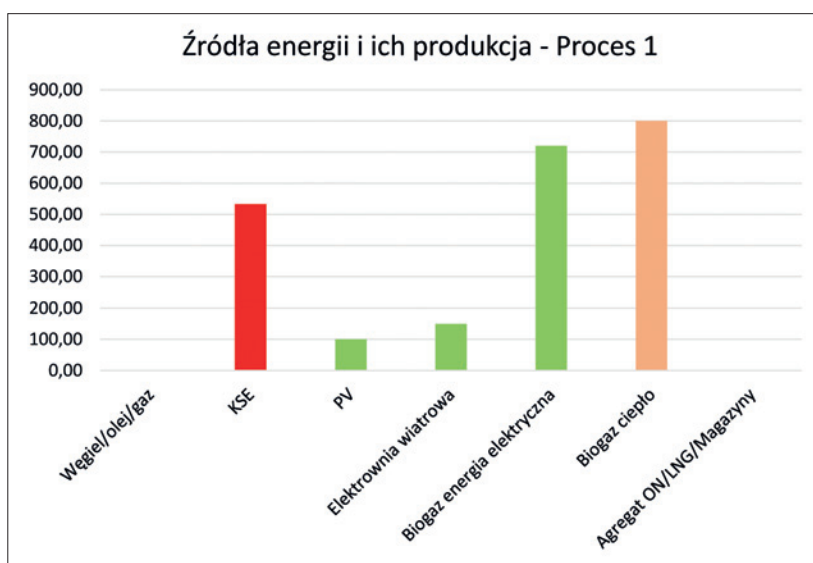
Tabela 8

Produkcja energii

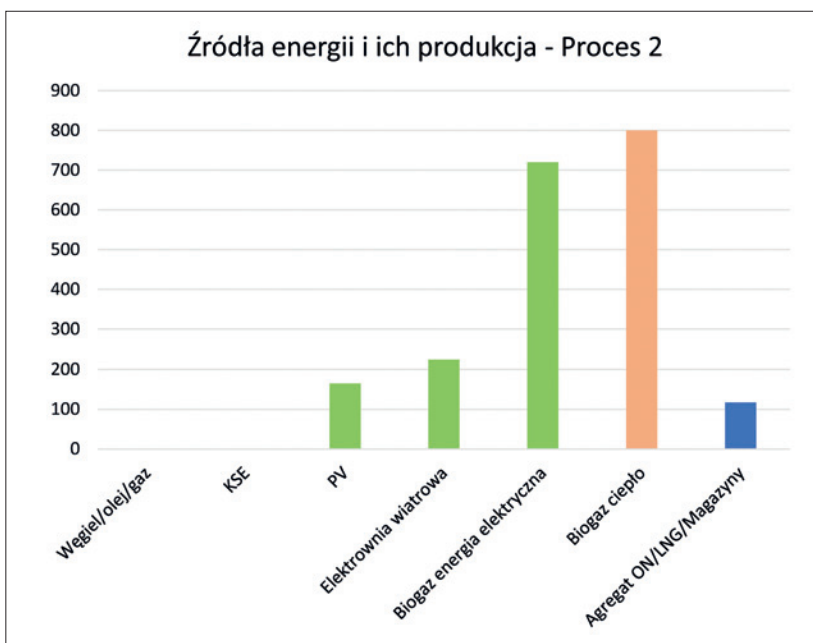
Źródła energii i ich produkcja	Jednostka	Stan wyjściowy	Proces 1	Proces 2
Węgiel/olej/gaz	MWh/rok	4 627,78		
KSE	MWh/rok	1 657,11	532,56	0,00
PV	MWh/rok		100,00	165,00
Elektrownia wiatrowa	MWh/rok		150,00	225,00
Biogaz energia elektryczna	MWh/rok		720,00	720,00
Biogaz ciepło	MWh/rok		800,00	800,00
Agregat ON/LNG/Magazyny	MWh/rok			116,95
Razem	MWh/rok	6 284,89	2 302,56	2 026,95
Nadwyżka energii elektrycznej	MWh/rok	0	-8,29	-147,90



Rys. 1. Stan wyjściowy



Rys. 2. Proces 1



Rys. 3. Proces 2

W Procesie 2 występuje już nadwyżka energii elektrycznej produkowana przez źródła odnawialne, którą można wykorzystać dla innych celów, np. transportu elektrycznego lub odsprzedać (jak będzie taka możliwość).

Po zakończeniu Procesu 2 planowana jest praca systemu tylko w trybie off grid, dlatego konieczne jest zapewnienie niedoborów energii elektrycznej w zimie z agregatu prądotwórczego. Agregat ten, o mocy ok. 100 kW, stanowić będzie także rezerwowe źródło energii dla sołectwa.

Dobrym rozwiązaniem będzie dostawienie w mikroelektrowni biogazowej jeszcze jednej jednostki kogeneracyjnej zasilanej biogazem o mocy elektrycznej ok. 50 kW, która będzie stanowiła źródło szczytowe zasilane z magazynu biogazu. Trzecia jednostka wytwórcza w mikroelektrowni zapewni także większe bezpieczeństwo dostawy energii związane z zapewnieniem ciągłości dostaw (rezerwa mocy) oraz będzie stanowiła źródło szczytowe dla zwiększonego zapotrzebowania na energię występujące w ciągu doby, np. w godzinach wieczornych. Zmagazynowana energia chemiczna w biogazie, wynosząca 12,5 MWh, zapewnia energię elektryczną dla całego sołectwa przez dwie doby.

Profile miesięczne produkcji i zużycia energii

Analizy zużycia i produkcji energii z wykorzystaniem źródeł odnawialnych niesterovalnych (PV, mikroelektrownie wiatrowe) musi opierać się także na profilach miesięcznych, a dla uzyskania pełnej informacji i kontroli, na profilach godzinowych.

W przypadku biogazu ważne jest, aby zapewnić spalanie jego nadwyżek. Nie możemy dopuścić do wypuszczenia biogazu do atmosfery z uwagi na jego duży negatywny wpływ na ocieplenie klimatu. W tabelach 9-11 pokazano miesięczne profile zużycia i produkcji energii w stanie wyjściowym i na koniec każdego z procesów.

Po zakończeniu Procesu 1 możliwa jest już praca off grid w okresie miesięcy letnich. W Procesach 1 i 2, po ich zakończeniu, występuje nadwyżka energii elektrycznej produkowanej przez źródła OZE. Energię tę można wykorzystać do innych potrzeb sołectwa (transport elektryczny) lub można jej nie produkować sterując w odpowiedni sposób mocą generowaną przez źródła energii, zwłaszcza przez zmianę mocy mikroelektrowni biogazowej. Można także w odpowiedni sposób sterować odbiornikami energii zmieniając chwilowe

Tabela 9

Profil miesięczny – stan wyjściowy

Energia w MWh													
Źródła	Rok/m-c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Węgiel/olej/gaz	4 628	791	667	580	350	134	117	121	121	126	384	525	712
KSE	1 657	183	165	156	128	110	110	110	119	110	146	156	165
Razem	6 285	974	832	736	478	244	227	230	240	236	531	681	877

Tabela 10

Profil miesięczny – Proces 1

Energia w MWh													
Źródła	Rok/m-c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Biogaz ciepło zużyte	277	39	33	31	22	13	13	13	13	13	23	28	36
Biogaz e.e.	720	61	55	61	59	61	59	61	61	59	61	59	61
PV	100	4	4	9	10	15	14	13	12	8	6	3	2
El. wiatrowa	150	17	16	16	13	10	9	9	8	10	12	14	16
Razem OZE	1 247	121	108	117	104	100	94	96	95	90	103	105	116
e.e. z OZE	970	82	75	86	82	86	81	83	82	77	80	76	80
e.e. z KSE	541	113	95	71	34				3	4	49	74	98
Biogaz ciepło produkcja	800	68	61	68	66	68	66	68	68	66	68	66	68
Biogaz ciepło nadwyżka	523	29	28	37	44	55	53	55	55	53	45	37	32
e.e. nadwyżka	-8					-4	-2	-3					

Tabela 11

Profil miesięczny – Proces 2

Energia w MWh													
Źródła	Rok/m-c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Biogaz ciepło zużyte	210	28	24	23	16	11	10	11	11	11	18	21	26
Biogaz e.e.	720	61	55	61	59	61	59	61	61	59	61	59	61
PV	165	7	7	14	16	24	22	22	20	13	10	5	3
El. wiatrowa	225	25	23	24	20	16	13	13	12	15	18	21	24
Razem OZE	1 320	121	110	122	112	112	105	107	105	98	108	106	115
e.e. z OZE	1 110	93	85	100	95	101	94	96	94	87	90	85	89
e.e. z innego źródła	117	34	27	7							3	18	28
Biogaz ciepło produkcja	800	68	61	68	66	68	66	68	68	66	68	66	68
Biogaz ciepło nadwyżka	590	40	37	45	49	57	55	57	57	55	50	45	42
e.e. nadwyżka	-148				-11	-34	-29	-30	-24	-21			

profile zużycia energii lub magazynować tę energię w magazynach. Energia produkowana przez mikroelektrownię biogazową jest dominującą energią, zwłaszcza po zakończeniu Procesu 2, gdzie stanowi ok. 65% łącznej produkcji.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną jest znacznie większe w zimie niż w lecie, dlatego źródła PV i mikroelektrownie wiatrowe wzajemnie się uzupełniają. Jednak źródłem w pełni sterowalnym oraz stabilizującym pracę systemu jest mikroelektrownia biogazowa z magazynem biogazu.

Funkcja i rola mikroelektrowni biogazowej w systemie off grid

Mikroelektrownia biogazowa z układem kogeneracyjnym (CHP), w której biogaz jest produkowany z substratów GOZ, jest podstawowym źródłem sterowalnym w systemie energetycznym sołectwa. Zakłada się, że substrat pochodzić będzie głównie

z hodowli (odchody zwierząt) lub z odpadów organicznych roślinnych. Nie przewiduje się wykorzystywania substratów pochodzących z celowych upraw energetycznych, z uwagi na ich negatywny wpływ ekologiczny.

Większość odpadów organicznych, takich jak: odchody zwierząt i drobiu hodowlanego, odpady bio z gospodarstw domowych, trawa i ścińki zielone, osady pościekowe z oczyszczalni ścieków, odpady organiczne w zakładach przetwórczych, można wykorzystać do produkcji biogazu w mikroelektrowniach biogazowych.

Odpady organiczne są dużym problemem ekologicznym, gdyż wydzielający się w czasie ich naturalnego rozkładu biometan trafia do atmosfery. Biometan jest gazem, którego emisja ma 23 razy większy negatywny wpływ na efekt cieplarniany od emisji CO₂. Szacuje się, że emisja tego naturalnego gazu stanowi ok. 30% emisji wszystkich gazów cieplarnianych. Znacząca część tej emisji powiązana jest z działalnością człowieka, głównie z hodowlą zwierząt.

W 2012 roku Firma eGIE zbudowała prototypową mikroelektrownię biogazową na terenie fermy krów w Urbanowicach. W mikroelektrowni tej prowadzone są badania i testy związane z procesami fermentacji i wytwarzania biogazu oraz produkcji energii w agregacie o mocy elektrycznej 10 kW. Mikroelektrownia biogazowa jest obsługiwana przez system SyNiS (pełny podgląd i sterowanie procesami z wykorzystaniem Internetu).

Firma eGIE w 2019 roku otrzymała dotację w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Opolskiego na wykonanie układu przekształtnikowego typu on-off grid, który pozwala na samodzielną pracę agregatu kogeneracyjnego z prądnicą indukcyjną (praca wyspowa) przy zmiennym obciążeniu elektrycznym odbiorców. Obecnie większość jednostek kogeneracyjnych o mocy do 50 kW (ale również większych) nie ma takiej możliwości i pracują tylko wtedy, gdy są włączone do sieci energetycznej. Jest to typowe rozwiązanie z tanią prądnicą indukcyjną, stosowane również w mikroelektrowniach wodnych. Maszyna indukcyjna, aby przejść do pracy generatorowej, wymaga dostarczenia mocy biernej pojemnościowej. Możliwe jest oczywiście zastosowanie baterii kondensatorów w trybie off grid, ale charakterystyka napięcia takiej prądnicy będzie silnie zależała od mocy obciążenia. Dlatego tego typu agregaty są na stałe przyłączone do sieci i pracują najczęściej z mocą maksymalną, aby uzyskać najlepszy efekt ekonomiczny, a sieć elektroenergetyczna jest dla prądnicy indukcyjnej źródłem mocy biernej i stabilizatorem prędkości obrotowej. Jest to duży mankament tego rozwiązania, ponieważ nie ma możliwości korzystania z takich źródeł w sytuacji zaniku napięcia w sieci lub jako źródła awaryjne. Bez układu przekształtnikowego (UP) niemożliwa jest więc także praca ciągła w systemie off grid ze zmiennym obciążeniem.

Badania zostały zakończone sukcesem i UP możemy zastosować w mikroelektrowniach biogazowych.

UP zapewnia:

- 1) ciągłą regulację mocy czynnej i biernej, a szybką dynamikę regulacji zapewnia stosunkowo niewielki zasobnik akumulatorowy (który może być wyeliminowany, jeśli dynamika zmian mocy obciążenia będzie mniejsza lub podobna do dynamiki regulacji mocy silnika spalinowego);
- 2) sterowanie punktem pracy agregatu wytwórczego w celu zmniejszenia zużycia biogazu.

Przede wszystkim UP reguluje parametry generowanego napięcia w celu utrzymania parametrów jakościowych energii elektrycznej w trybie off grid, pozwalających na bezpieczne użytkowanie odbiorców, jak i innych źródeł OZE, oraz zapewnienia wzbudzenia prądnicy. Z drugiej strony prądnica (i napędzający ją silnik spalinowy) może pracować ze zmienną prędkością obrotową (prędkość obrotowa prądnicy indukcyjna podłączona bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej zmienia się w bardzo małym zakresie, zależnym od charakterystyki momentu obrotowego). Zmiana prędkości obrotowej prądnicy nie wpływa na wartość częstotliwości i napięcia generowanego przez UP. Natomiast każda gwałtowna zmiana mocy elektrycznej obciążenia, zanim silnik spalinowy nie osiągnie nowego punktu pracy, jest bilansowana z akumulatorem. Zużycie biogazu przez agregat wytwórczy zależy, jak w każdym silniku spalinowym, od prędkości obrotowej i momentu obrotowego, jaki generuje.

Dlatego możliwe jest zaprogramowanie najlepszej charakterystyki punktów pracy agregatu wytwórczego (na charakterystyce moment obrotowy – prędkość obrotowa), dla której uzyskuje się najmniejsze zużycie biogazu.

Każde wykorzystanie akumulatora bilansującego moc czynną powoduje jego degradację. Dlatego należy minimalizować pobór energii z akumulatora do sytuacji nagłych zmian mocy obciążenia. Utrzymując niezmienną moc elektryczną obciążenia ograniczane jest wykorzystanie akumulatora bilansującego. Najprostszym rozwiązaniem sterowania mocą obciążenia jest regulacja mocy grzałek elektrycznych włączonych do bufora wody grzewczej wykorzystywanej do podgrzewania substratów w komorze fermentacyjnej. Moc grzałek jest regulowana w zależności od chwilowego zapotrzebowania odbiorców na energię i w ten sposób zapewnia stabilność pracy silnika spalinowego i prądnicy.

Podstawowe cechy systemu(WSE) z mikroelektrownią w trybie pracy on-off grid [3]

Mikroelektrownia zasilana biogazem z biogazowni użytkowych lub rolniczych jest jedną z krytycznych technologii wytwórczych na trajektorii transformacji TETIP na obszarach wiejskich. Decydują o tym głównie własności regulacyjne jednostki napędowej (silnika spalinowego), które są porównywalne z własnościami ciągników i maszyn rolniczych (są niewiele gorsze od własności samochodów); zatem nadaje się, jako źródło regulacyjno-bilansujące do współpracy ze źródłami OZE z generacją wymuszoną (przede wszystkim z mikroinstalacjami PV).

W pełni funkcjonalny system(WSE) z mikroelektrownią, w warstwie infrastruktury technicznej, powinien mieć zdolności regulacyjne mocy czynnej. Zdolności te muszą być kontrolowane przez operatora(WSE) na etapie inwestycyjnym w celu dopasowania inwestycji w źródła OZE z generacją wymuszoną do rzeczywistych potrzeb energetycznych, a w procesie eksploatacyjnym w celu maksymalnego wykorzystania potencjału infrastruktury sieciowej oraz źródeł i zasobników energii.

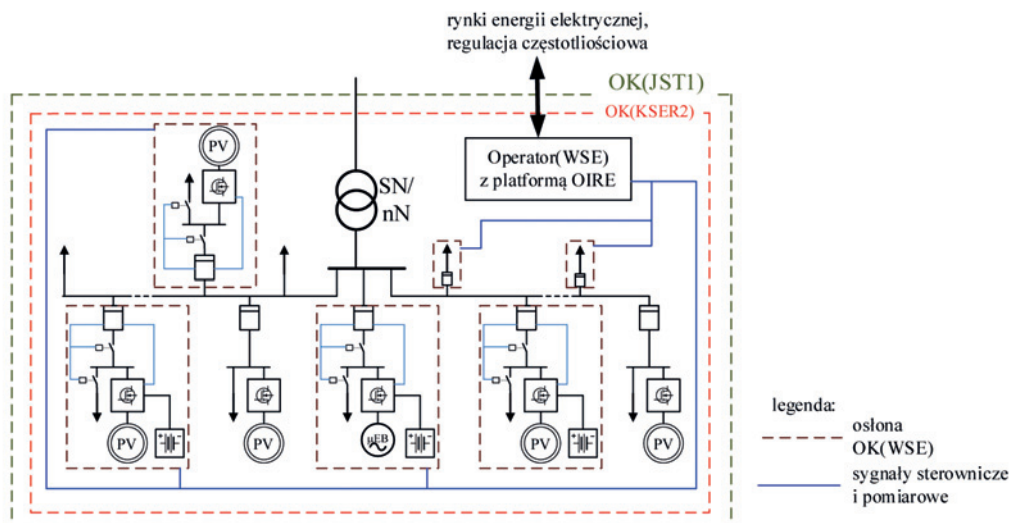
Na rysunku 4 pokazano przykładową sieć nN z oznaczeniem obiektów włączonych do osłony kontrolnej systemu(WSE).

Operator(WSE), podmiot zarządzający, jest skomunikowany z terminalami STD oraz reprezentuje system(WSE) na zewnętrznych rynkach energii do czasu pełnej autonomizacji energetycznej sołectwa.

Należy podkreślić, że wymagania jakościowe produkowanej energii w przypadku pracy wyspowej są znacznie łagodniejsze od wymagań w trybie pracy on grid.

Tabela 12 przedstawia wymagania jakościowe źródeł dla pracy wyspowej [4].

Z punktu widzenia odbiorcy końcowego jakość energii postrzegana jest przez pryzmat funkcjonowania odbiorców. Powyższe dane pokazują, że dla odbiorców energii dopuszczalne są znaczne odchylenia parametrów jakościowych. Ma to zasadnicze znaczenie dla wymagań jakościowych stawianych źródłom energii w przypadku autonomizacji energetycznej sołectwa i pracy wyspowej, gdyż wymagania te są znacznie łagodniejsze niż w przypadku pracy źródeł w trybie on grid.



Rys. 4. Przykład osłony OK(WSE) z mikroelektrownią i siecią terminali STD wraz z siecią sygnałów sterowniczych i pomiarowych

Tabela 12

Wymagania jakościowe źródeł i odbiorów energii w trybie pracy wyspowej

Wymagana jakościowe w zakresie częstotliwości i napięcia	
Przez 99,5% tygodnia	$\pm 2\%$ 49 – 51 Hz
Przez 100% tygodnia	$\pm 15\%$ 42,5 – 57,5 Hz
Odchylenia napięcia	+10 / -15% Un

Budowa linii produkcyjnej mikroelektrowni biogazowych

W marcu 2021 Firma eGIE otrzymała dotację z PARP w ramach programu „Rozwój Przedsiębiorczości i Innowacje” Norweski Mechanizm Finansowy na wdrożenie do seryjnej produkcji mikroelektrowni biogazowych. Umowa z Funduszem została podpisana w grudniu 2021 roku.

Przedmiotem projektu jest wdrożenie do seryjnej produkcji innowacyjnej mikroelektrowni biogazowej z układem kogeneracyjnym o mocy elektrycznej do 50 kW zasilanej biogazem. Projekt realizowany będzie w okresie 1 stycznia 2022 r. do 31 grudnia 2022 r. Docelowa planowana roczna wielkość produkcji to 100 układów kogeneracyjnych.

Mikroelektrownie biogazowe większej mocy (do 200 kW) będą realizowane poprzez tworzenie kaskady z mniejszych układów kogeneracyjnych. Można bowiem połączyć w kaskadę np. 3 jednostki kogeneracyjne o mocy 50 kW każda i uzyskać moc wynoszącą 150 kW. Łączenie w kaskady mniejszych jednostek ma także dodatkowe korzyści związane z elastycznością sterowania mocy wyjściowej oraz skutkami ewentualnej awarii jednostek napędowych.

Realizacja projektu pozwoli na pełne wdrożenie wyników prac badawczo-rozwojowych realizowanych w Firmie eGIE, a związanych z mikroelektrowniami biogazowymi i układami kogeneracyjnymi zasilanymi biogazem.

Projekt zostanie zrealizowany poprzez zakup sprzętu niezbędnego do stworzenia linii produkcyjnej i wyposażenia stanowiska do badań i testów.

W ramach tego projektu planowany jest także zakup dwóch technologii „know-how” od Firmy *Ekoamret Sp. z o.o.* w Opolu:

- „Technologia produkcji i eksploatacji układów kogeneracyjnych małej mocy działających w oparciu o silnik spalinowy zasilany biogazem”,
- „Technologia uzdatniania biogazu z modułem odsiarczania przy użyciu złoża stałego”.

Wykorzystanie biogazu do produkcji energii jest procesem przynoszącym wiele korzyści użytkownikom, jak: tania produkcja energii elektrycznej i ciepła, odgazowanie odchodów zwierzęcych, eliminacja fetoru, produkcja naturalnego nawozu, ale także naszemu środowisku naturalnemu.

Stosując mikroelektrownie biogazowe można rozwiązać problem z odpadami organicznymi (odchody zwierząt, odpady bio z gospodarstw domowych, trawa i ściłki zielone, osady pościekowe z oczyszczalni ścieków, odpady organiczne w zakładach przetwórczych itp.). Odpady organiczne są dużym problemem ekologicznym, gdyż wydzielający się w czasie ich rozkładu naturalny biometan trafia do atmosfery, a biometan jest gazem, którego emisja ma 23 razy większy negatywny wpływ na efekt cieplarniany od emisji CO₂ w procesie jego spalania.

Spalając naturalny biogaz w silniku 100 kW (średnia moc silnika samochodu osobowego) w ciągu roku zredukujemy ok. 4000 ton równoważnego CO₂¹⁾, produkując w tym czasie ok. 250 MWh energii elektrycznej i ok. 300 MWh ciepła. Dodatkową, bardzo ważną zaletą jest otrzymany po odgazowaniu odpadów organicznych poferment, czyli pełnowartościowy i naturalny nawóz, który można używać do nawożenia pól uprawnych w miejsce nawozów sztucznych.

¹⁾ Dla potrzeb określenia ekwiwalentu CO₂ związanego z emisją metanu (CH₄) należy stosować współczynnik ocieplenia – Global Warming Potential (GWP) według metody IPCC, wynoszący 23,0 (1 kmol CH₄ jest równoważny 23 kmolom CO₂).

Założenia, które zostały przyjęte na etapie planowania produkcji mikroelektrowni biogazowej były następujące:

- dostosowanie konstrukcji biogazowni do potrzeb małego rolnictwa i niewielkich hodowli (mała ilość naturalnego substratu);
- zastosowanie procesu, który wykorzystywać będzie istniejące w danym gospodarstwie substraty, bez konieczności pozyskiwania ich z zewnątrz;
- stworzenie technologii i konstrukcji umożliwiających wykorzystanie jak najszerszej grupy substratów, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości utylizacji odpadów z produkcji rolnej (zarówno z hodowli jak i z upraw);
- prosta i modułowa konstrukcja mikroelektrowni biogazowej;
- zastosowanie agregatu wytwórczego małej mocy (od 10 do 50 kW) własnej produkcji;
- stabilizacja ciśnienia gazu i jego wstępne podczyszczenie;
- obniżenie kosztów serwisu agregatu wytwórczego;
- możliwość wykorzystania uzyskanego biogazu do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej lub tylko ciepła (kocioł na biogaz);
- automatyczne przygotowywanie i podawanie substratu do komory fermentacyjnej;
- zdalna kontrola i prowadzenie procesu produkcji z wykorzystaniem Internetu;
- produkcja pofermentu jako pełnowartościowego naturalnego nawozu;
- możliwość pracy wyspowej gospodarstw, bez podłączenia do sieci energetycznej.

Instalacji, która ma tak szerokie możliwości i pozwala na pracę także bez dostępu do sieci energetycznej, w trybie pracy off grid, nie ma obecnie na rynku polskim i jest także niespotykana na rynkach zagranicznych.

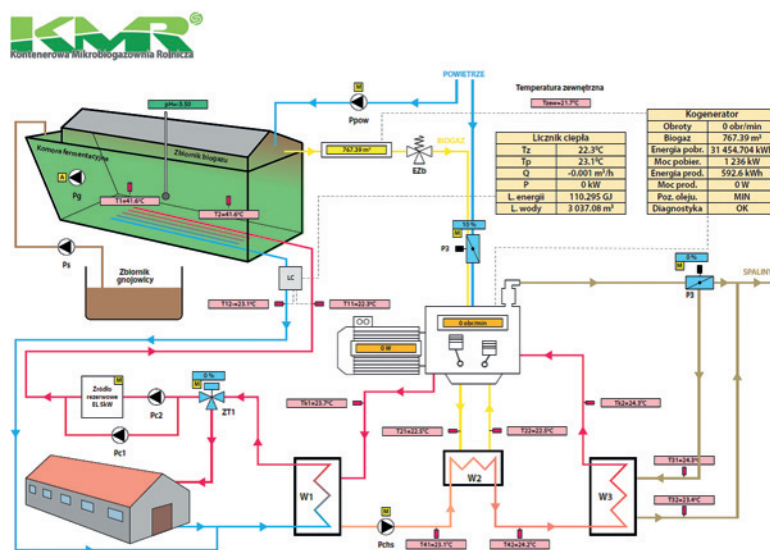
Mikroelektrownia biogazowa składa się z następujących elementów:

- komora fermentacyjna dostosowana wielkością do rodzaju i ilości naturalnego substratu,

- zbiornik biogazu o pojemności zapewniającej pracę agregatu wytwórczego przez co najmniej 12 godzin,
- agregat wytwórczy wykonany na bazie silnika Perkinsa lub MTZ (silniki stosowane w polskich ciągnikach) z prądnicą asynchroniczną wraz z dwoma wymiennikami ciepła (chłodzenia silnika i odzysku ciepła ze spalin) oraz chłodnicą awaryjną,
- wstępny zbiornik substratu z mieszałem do przygotowania substratu jako „pokarmu” dla bakterii metanowych,
- pompa wielofunkcyjna pozwalająca na podawanie substratu, zaciąganie nowej porcji substratów surowych ze zbiornika zewnętrznego, opróżnianie komory fermentacyjnej i podmieszanie substratu w komorze,
- ścieżka gazowa z dmuchawą gazu (stabilizacja ciśnienia i wydajności),
- układ redukcji siarki w biogazie,
- układ redukcji CO₂ w biogazie (opcja),
- mieszało hydrauliczne w komorze fermentacyjnej,
- system ogrzewania komory fermentacyjnej,
- szafa sterująca współpracująca z systemem SyNiS zapewniającym sterowanie i kontrolę pracy mikroelektrowni biogazowej przez Internet,
- układ przyłączeniowy elektryczny do sieci energetycznej,
- układ przekształtnikowy do pracy wyspowej.

Biorąc pod uwagę korzyści, jakie dają mikroelektrownie biogazowe użytkownikowi i dla środowiska, ich zastosowanie powinno być znacznie większe niż obecnie. Biogazownie mogą pracować cały rok, dlatego mają dużą przewagę nad pracą instalacji fotowoltaicznych czy elektrowni wiatrowych. Mogą być źródłami w pełni sterowanymi i stanowić podstawowe źródła energii w wydzielonych systemach energetycznych.

Dotychczas czynnikiem generującym wysokie koszty eksploatacyjne mikroelektrowni biogazowych był koszt serwisu agregatów kogeneracyjnych. Wykorzystując silniki Perkinsa, które stosuje polskie rolnictwo np. w ciągnikach typu URSUS, serwis może być prowadzony bezpośrednio przez użytkownika (rolnika). Koszty typowego serwisu agregatów kogeneracyjnych innych producentów są bardzo wysokie



Rys. 5. Przykładowy schemat techniczny mikroelektrowni biogazowej

i wynoszą od 15 do 25 zł/motogodzinę pracy agregatu. W skali roku daje to kwoty od 120 tys. do 200 tys. zł. Tak wysokie koszty powodowały, że mikroelektrownie biogazowe z małymi układami kogeneracyjnymi były nieopłacalne. Koszty samodzielnego serwisu silników wykonywane przez użytkownika nie przekroczą 15-20 tys. zł na rok (wymiana oleju, świec, filtrów, łożysk).

Na rysunku 6 pokazano wykonany układ kogeneracyjny z silnikiem Perkinsa.



Rys. 6. Układ kogeneracyjny o mocy 10 kW (silnik Perkinsa i prądnica Celma Cieszyn)

Produkcja elementów mikroelektrowni biogazowych będzie realizowana głównie w wynajętej hali produkcyjnej. W hali tej montowany będzie kontener techniczny wraz z wyposażeniem, w którym umieszczone zostaną: agregat wytwórczy z prądnicą i wymiennikami ciepła, szafa sterująca, układ przekształtnikowy do pracy wyspowej, akumulator, węzeł cieplny do ogrzewania komory fermentacyjnej oraz odbiorów zewnętrznych, kocioł awaryjny, system awaryjnego chłodzenia jednostki kogeneracyjnej, system odprowadzenia spalin, ścieżka gazowa oraz zestawy przyłączeniowe elektryczne, gazu i ciepła. Kontener taki będzie przewożony transportem samochodowym do miejsca lokalizacji mikroelektrowni.

Pozostałe elementy mikroelektrowni biogazowej, takie jak: zbiornik wstępny z układem pompowym, komora fermentacyjna, zbiornik biogazu będą budowane już w miejscu lokalizacji. Cały proces inwestycyjny wraz z projektem i pozwoleniem budowlanym będzie trwał 6-9 miesięcy.

Docelowo użytkownikami mikroelektrowni biogazowej mogą być:

- gospodarstwa rolne i ogrodnicze,
- gospodarstwa hodowlane (bydło, trzoda, fermy drobiu),
- zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego (mleczarnie, wytwórnie owoców, przetwórstwo warzyw),
- inne małe i średnie zakłady usługowe i produkcyjne przy średnim zapotrzebowaniu na energię z dostępem do biomasy,
- małe oczyszczalnie ścieków (w tym wewnętrzne oczyszczalnie w zakładach produkcyjnych),
- Spółdzielnie i Wspólnoty Mieszkaniowe na terenach wiejskich w pobliżu dużych gospodarstw rolnych lub hodowlanych (konieczny dostęp do bezpłatnego substratu), które korzystają z kotłowni lokalnej do ogrzewania budynków,
- zakłady komunalne zajmujące się zbiórką i utylizacją odpadów organicznych.

Podsumowanie

Dążenie do samowystarczalności energetycznej jednostek samorządu terytorialnego staje się koniecznością. Wynika to z faktu, że obecny system energetyczny i polityka naszego państwa nie zapewniają odpowiedniej stabilności, w tym zwłaszcza ekonomicznej. Zadaniem samorządu jest zapewnienie bezpieczeństwa swoim mieszkańcom, a tego nie gwarantuje nam obecny system energetyczny i to zarówno od strony technicznej, prawnej jak i ekonomicznej.

Mikroelektrownie biogazowe mogą zapewnić stabilność i pewność zasilania w małych miejscowościach. Dodatkowo źródła te, jako źródła w pełni regulowane, mogą pełnić funkcje związane z regulacją mocy i częstotliwości w sieciach, w których zastosowano inne źródła OZE typu PV lub μ EW. Dla pracy autonomicznej sołectwa (wyspa energetyczna) wymagania jakościowe dla produkowanej energii są znacznie łagodniejsze niż w przypadku pracy on grid.

Warunkiem wprowadzenia tego typu źródeł do zasilania w istniejących sieci energetycznych jest wprowadzenie zasady współużytkowania sieci nN.

Elektroprosumeryzm jest drogą, którą powinny pójść wszystkie samorządy oraz większość firm. Wprowadzenie GOZ, oszczędność energii oraz możliwość korzystania z własnych źródeł energii jest po prostu koniecznością. Istotny jest efekt ekologiczny związany z ograniczeniem emisji zanieczyszczeń: spalanie naturalnego biogazu powoduje silne (ponad 20-krotne) ograniczenie emisji niespalonego biogazu do atmosfery.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Jurkiewicz A., *Zasady współużytkowania sieci niskiego napięcia*. „Energetyka” 2021, nr 10, Biuletyn Rynki Elektroprosumeryzmu 2(3)/2021.
- [2] Popczyk J., *ODDOLNA BUDOWA ENERGETYCZNEJ ODPORNOŚCI ELEKTROPROSUMENCKIEJ JST – w miejsce bezpieczeństwa energetycznego w schodzącej rządowej polityce energetycznej*. „Energetyka” 2022, nr 1, Biuletyn PPT2050 1(5)/2022.
- [3] Jurkiewicz A. Wereszczyński D. Fice M., *Mikroelektrownia biogazowa (μ EB) on-off grid z siecią terminali STD w systemie(W-SE) przeznaczonym do testowania w sandboxie – studium przypadku*. „Energetyka” 2020, nr 7, Biuletyn PPT2050 2/2020.
- [4] Fice M., *TECHNICZNO-EKONOMICZNE EKWIWALENTOWANIE OSŁON KONTROLNYCH NA MONORYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ OZE I RYNKACH ENERGII UŻYTECZNEJ – modele dla potrzeb inwestycyjnych i rozproszonego operatorstwa*. <https://ppte2050.pl> – Powszechna Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej, PPT2050, grudzień 2017.

