

Alternatywne formy generacji rozproszonej, z uwzględnieniem OZE, w tym małej energetyki jądrowej

dr inż. B. Sedler , Fundacja Naukowo - Techniczna „Gdańsk”ⁱ

Streszczenie: Celem publikacji jest zebranie materiałów i dokonanie przeglądu różnych alternatywnych form generacji rozproszonej ze szczególnym uwzględnieniem OZE, w tym małej generacji jądrowej. Zawarte następujące ważniejsze elementy: uzasadnienie potrzeby generacji rozproszonej, definicje generacji rozproszonej i jej rodzaje, kierunki rozwoju generacji rozproszonej w świecie, w Unii Europejskiej i w Polsce, przegląd podstawowych alternatywnych technologii stosowanych w tych generacjach, ich aspekty ekonomiczne, porównanie alternatywnych technologii generacji rozproszonych oraz problemy ich współpracy z sieciami elektroenergetycznymi, w aspekcie jakości i niezawodności, docelowo w formie tzw. wirtualnej elektrowni. Poruszono również problematykę barier i sugestie rozwiązań we wdrażaniu badań do praktyki.

Geneza generacji rozproszonej

Od końca lat 90 –tych XX w. obserwuje się wzrost zainteresowania małymi, autonomicznymi źródłami energii, a więc generacją rozproszoną. Poprzednio źródła te służyły często, jako zasilanie awaryjne w energię elektryczną, na wypadek przerw w zasilaniu, oraz do zasilania w energię niewielkich, autonomicznych odbiorców, nie mających dostępu do tej sieci. Od tej pory zaczynają się pojawiać źródła – generacje rozproszone powiązane z siecią dystrybucyjną i zasilające tę sieć np. w warunkach deficytu mocy.

Rozwój generacji rozproszonych, tj. źródeł o średniej i małej mocy, spowodowany został w wyniku oddziaływania szeregu czynników, z których do najważniejszych należały:

- 1) pojawienie się nowych generacji technologii wytwarzania energii, o wysokiej sprawności, mniejszych nakładach inwestycyjnych, krótkich cyklach budowy i niskich kosztach eksploatacji, zwłaszcza w dziedzinie odnawialnych źródeł energii (OZE), które stanowią istotny składnik generacji rozproszonej,
- 2) demonopolizacja i prywatyzacja sektora energetyki, umożliwiająca budowę lokalnych źródeł, zlokalizowanych blisko odbiorców, co pozwala uniknąć części kosztów przesyłu i dystrybucji (dotyczy także ciepła) i bazujących na miejscowych źródłach energii pierwotnej zasilających OZE, np. wiatru, biomasy, słońca, energii wodnej.

- 3) wspomaganiu inwestorów przez rządy, w formie dotacji i ulg podatkowych dla inwestycji w OZE oraz wymuszania zakupów przez przedsiębiorstwa energetyczne energii elektrycznej pochodzącej z kogeneracji oraz z OZE – w ramach zintegrowanej polityki energetycznej i ochrony środowiska,
- 4) konieczność poprawy bezpieczeństwa energetycznego, dzięki zwiększeniu pewności zasilania, zmniejszeniu strat sieciowych, zmniejszeniu obciążenia szczytowego oraz, co jest szczególnie ważne, uniknięcie zbędnych nakładów na rozbudowę sieci, a także zmniejszeniu uzależnienia od zewnętrznych dostaw nośników energii takich, jak ropa i gaz.

Powrót idei generacji rozproszonej jest przejawem ewolucji systemów elektroenergetycznych, od niewielkich jednostek wytwórczych, tworzących wyspowe, odizolowane struktury zasilania, przez dominujące dziś scentralizowane systemy wielkiej skali, po przyszłościowe zintegrowane systemy zaopatrzenia w energię, łączące zalety centralizacji i elastycznych, wydajnych energetycznie i przyjaznych środowisku technologii średniej i małej mocy.

Generacja rozproszona (GR) (*ang.: distributed generation dispersed generation, embedded generation*) jest stosunkowo nową dziedziną wiedzy i praktyki, nie ma zatem jeszcze powszechnie przyjętej jednolitej terminologii. Próby zdefiniowania GR podejmowano z końcem ubiegłego stulecia. Przegląd różnych definicji GR można znaleźć np. w artykułach J. Malko ⁱⁱ oraz P. Biczela.ⁱⁱⁱ Poniżej przedstawiono ważniejsze przykłady tych definicji.

Według Grupy Roboczej 37.23 CIGRE^{iv} (*Conseil International des Grands Reseaux Electriques*), GR są to źródła o mocach nie przekraczających 50 - 100 MW, których rozwój nie jest planowany centralnie, które nie podlegają centralnemu dysponowaniu mocą i przyłączane są najczęściej do sieci rozdzielczej. Dodatkowym warunkiem jest ryzyko, które w pełni ponosi niezależny inwestor. Krótka definicja GR wg CIGRE brzmi: są to źródła, współpracujące z siecią dystrybucyjną lub bezpośrednio zasilające odbiorcę.

Komisja Europejska określa GR jako zintegrowane lub autonomiczne wykorzystywanie małych modularnych źródeł energii elektrycznej przez przedsiębiorstwa energetyczne, ich klientów, prywatnych użytkowników

oraz inne strony, w zastosowaniach przynoszących korzyść systemowi elektroenergetycznemu, specyficznym podmiotom użytkowania końcowego lub też obydwu tym stronom. Graniczna wielkość mocy jednostkowej źródeł jest mniejsza niż 50 - 100 MW.^v

Źródła GR instalowane są blisko końcowego odbiorcy energii i połączone, w zależności od kraju, z siecią o napięciu od 240/400 V do 110 kV,

Graniczna wartość mocy źródeł GR jest bardzo zróżnicowana w zależności od kraju, np. w USA jest to 50 MW, w Wielkiej Brytanii - 100 MW; w Szwecji - 1,5 MW (ale farmę wiatrową ze 100 jednostkami po 1,5 MW nadal uważa się za GR), w Polsce – 150 - 200 MW, co wynika z pracy na sieć dystrybucyjną o napięciu nie przekraczającym 110 kV.

Systemy wykorzystujące energię ze źródeł odnawialnych są w większości systemami GR; wyjątkiem są duże elektrownie wodne, szelfowe elektrownie wiatrowe i współspalanie biomasy w konwencjonalnych elektrowniach na paliwa kopalne. Zasadniczy warunek, którym jest współpraca z siecią dystrybucyjną, eliminuje z klasy GR zarówno duże obiekty hydroenergetyczne, jak i wielkie farmy wiatrowe, dołączone do sieci przesyłowej.

Rodzaje generacji rozproszonej

Jednostki GR różnią się głównie mocą (w przyjętych granicach 50 – 150 MW) oraz stosowaną technologią. Stąd można sklasyfikować wg dwóch kryteriów: 1) wg mocy zainstalowanej, oraz 2) wg rodzaju stosowanej technologii. Taką klasyfikację proponuje cytowany już wcześniej w swojej książce J. Paska^{vi}. Przedstawia się ona jak niżej:

Podział GR wg kryterium mocy zainstalowanej:

- Mikro generacja rozproszona 1 W - 10 kW.
- Mała generacja rozproszona 10 kW - 5 MW.
- Średnia generacja rozproszona 5 - 50 MW.
- Duża generacja rozproszona 50 - 150 MW.

GR opiera się na dwóch zasadniczo odmiennych klasach technologii:

- 1) technologiach wykorzystujących paliwa nieodnawialne, na ogół węglowodorowe (z dominacją gazu ziemnego) w silnikach tłokowych, turbinach gazowych, mikroturbinach i ogniach paliwowych; coraz powszechniejszą praktyką jest stosowanie procesów skojarzonych wielocalowych (kogeneracja, trigeneracja, poligeneracja);
- 2) technologiach wykorzystujących zasoby odnawialne dla pozyskiwania ciepła (geotermia, kolektory słoneczne) i /lub energii elektrycznej (małe elektrownie wodne, elektrownie wiatrowe, elektrownie zasilane biomasą, instalacje fotowoltaiczne, układy geotermii wysokotemperaturowej).

Podział GR wg kryterium rodzaju zastosowanej technologii:

- Odnawialna generacja rozproszona.
- Modułowa generacja rozproszona.
- Skojarzona generacja rozproszona.

W źródłach rozproszonych są stosowane różne technologie wytwarzania energii elektrycznej - od tradycyjnych, przez technologie wytwarzania skojarzonego energii elektrycznej i ciepła oraz technologie wykorzystujące odnawialne źródła energii, aż do ogniw paliwowych i zasobników energii. Często jednostki energetyki rozproszonej mają budowę modułową - kompaktową.

Technologie stosowane w źródłach rozproszonych:

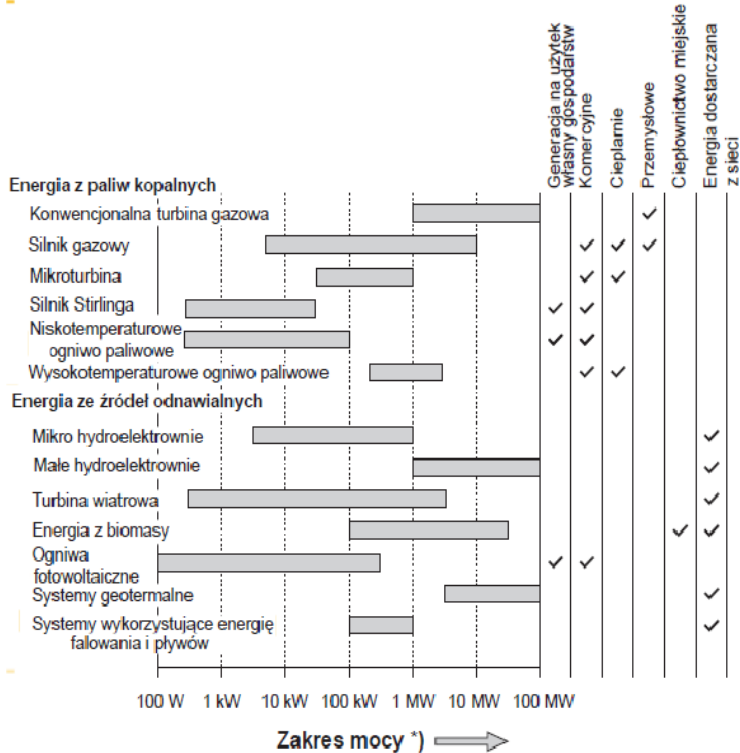
- silniki tłokowe, turbiny i mikroturbiny gazowe, silniki Stirlinga;
- ogniwa paliwowe;
- układy skojarzone oparte na turbinach gazowych, silnikach tłokowych, silnikach Stirlinga i ogniach paliwowych;
- małe elektrownie wodne;
- elektrownie wiatrowe;
- elektrownie geotermiczne,
- systemy fotowoltaiczne;
- układy heliologiczne (z centralnym odbiornikiem i zdecentralizowane);
- technologie wykorzystujące biomasę i odpady;
- technologie wykorzystujące: pływy, prądy i falowanie mórz oraz ciepło oceaniczne;
- zasobniki energii.

Warto zauważyć występowanie w tej klasyfikacji również zasobników energii. Są to instalacje małej skali, wykorzystujące szeroki zakres technologii magazynowania, od baterii chemicznych, po systemy bezwładnościowe, superkondensatory, aż do układów nadprzewodzących. Nowym obiecującym medium stanowiącym magazyn energii jest również wodór, uzyskiwany na drodze elektrolizy, zasilanej energią elektryczną ze źródeł o znacznej zmienności w czasie i trudnej do przewidzenia dyspozycyjności (np. generacje wiatrowe).

Typowe zastosowania generacji rozproszonej

GR stosowana jest w różnych dziedzinach techniki i gospodarki. Typowymi przykładowymi zastosowań GR są:

- generacja na użytek własny gospodarstw - mikrogeneracja: energia elektryczna i ciepło,
- zastosowania komercyjne w budynkach - energia elektryczna i ciepło,
- ciepłarnie, zastosowania związane z procesem - energia elektryczna, ciepło,
- zastosowania przemysłowe, związane z procesem - energia elektryczna i para,
- ciepłownictwo, zastosowania w budynkach - energia elektryczna i ciepło dostarczane przez sieć ciepłowniczą,
- energia elektryczna dostarczana do sieci.^{vii}



Stan obecny i kierunki rozwoju generacji rozproszonej

Problematyka GR (w skład której wchodzi również mniejsze instalacje OZE) występuje w dyrektywach Parlamentu Europejskiego i Rady Europy, które muszą być przenoszone przez państwa członkowskie do ich ustawodawstwa narodowego.

Cele do osiągnięcia w Unii Europejskiej do roku 2020 to: 1) redukcja emisji gazów cieplarnianych (CO₂) o 20 %, 2) zwiększenie efektywności energetycznej o 20 %, oraz 3) zwiększenie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych o 20 %

Warunkiem koniecznym realizacji ww. celów jest: wejście na ścieżkę energetyki innowacyjnej poprzez paliwa drugiej generacji, uniwersalizację technologii energetycznych na wszystkich trzech rynkach końcowych: energii elektrycznej, ciepła i paliw transportowych.

Najważniejsze propozycje UE zawarte m.in. w Siódmym Programie Ramowym:

- 1) Czyste technologie węglowe oraz technologie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla; budowa 12 prawie zeroemisyjnych, wielkoskalowych elektrowni węglowych
- 2) Produkcja paliw i energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych
- 3) Energia atomowa - budowa elektrowni jądrowych oraz budowa eksperymentalnego wielkiego międzynarodowego reaktora termojądrowego ITER uzyskującego całkowicie bezpieczną energię z fuzji jądrowej
- 4) Wodór i ogniwa paliwowe - Wspólna Inicjatywa Technologiczna
- 5) Inteligentne sieci energetyczne (Smart Grids) zapobiegające awariom systemu i oszczędzające energię
- 6) Wszechstronna oszczędność energii

Warunkiem rozwoju GR jest rozpowszechnienie wielu tzw. czystych technologii, spośród których najważniejszymi są:

- odnawialne źródła energii (OZE),
- kogeneracja i poligeneracja,
- skojarzone ogniwa paliwowe i systemy wodorowe,
- technologie efektywnego wykorzystania energii oparte na zarządzaniu stroną popytową (DSM).

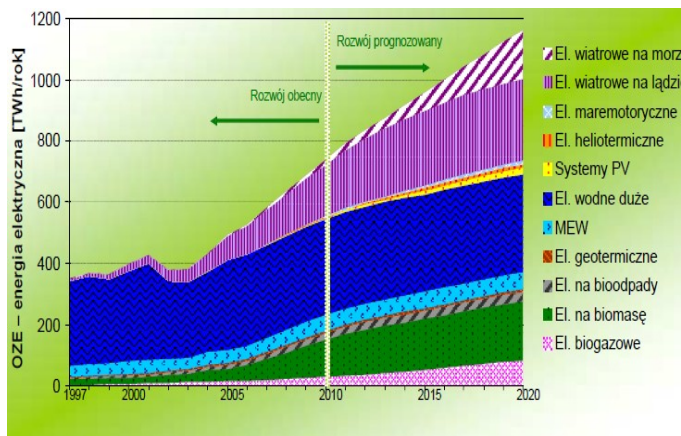
J. Malko wskazuje, że rozwój GR jest funkcją wielu czynników, wśród których wymienić można:

- 1) otoczenie legislacyjne i regulacje sektora energii elektrycznej jako odzwierciedlenie założeń polityki energetycznej na poziomie państw i struktur ponadnarodowych;
- 2) tendencje wzrostu zapotrzebowania na energię ze szczególnym uwzględnieniem energii elektrycznej
- 3) głębokość penetracji nowych źródeł, mierzona udziałem OZE + GR w całkowitej produkcji energii elektrycznej;
- 4) strukturę technologii RES + DG i perspektywy rozwoju;
- 5) rozwój infrastruktury sieciowej na wszystkich poziomach napięciowych.^{viii}

Każdy z tych czynników w bliższym horyzoncie - do roku 2020 oraz dalszej perspektywie czasowej obarczony jest znacznym stopniem niepewności. Niemniej jednak należy się spodziewać, że polityka UE w dziedzinie GR w perspektywie roku 2020 będzie zmierzała w kierunku dynamicznego rozwoju. W scenariuszu optymistycznym ww. autor zakłada, że:

- 1) Nastąpi pełna implementacja dyrektyw promujących rozwój OZE i GR o skutkach znacząco zróżnicowanych dla poszczególnych krajów.
- 2) Zapotrzebowania na energię elektryczną będzie rosło w tempie 2% rocznie, co oznacza w odniesieniu do roku 2020 przyrost zużycia o ok. 20% w odniesieniu do roku 2010.
- 3) Udział OZE w produkcji energii będzie wynosił 21 %, ale rzeczywisty udział OZE w GR nie przekroczy w 2010 roku 10% produkcji energii elektrycznej, ponieważ znaczny udział w OZE mają duże elektrownie wodne i farmy wiatrowe nie traktowane jako GR.
- 4) Wzrost udziału kogeneracji w produkcji energii elektrycznej ma być zasadniczo osiągnięty w małych źródłach gazowych. Można założyć, iż głębokość penetracji OZE + GR w produkcji energii elektrycznej do roku 2020 osiągnie poziom ok. 20%.
- 5) Struktura i dynamika OZE i GR jest obecnie zdominowana przez obiekty hydroenergetyczne. Najbardziej rozwija się energetyka wiatrowa, ale tempo to będzie słabło. Można natomiast oczekiwać dynamicznego rozwoju segmentu ogniw paliwowych o mocach 0,3 - 2,0 MW.^{ix}

Rozwój infrastruktury sieciowej, wymuszony znaczącym udziałem RES + DG, nie będzie istotnie znaczący do poziomu penetracji tych źródeł poniżej 30%.



Stan obecny i przewidywany rozwój OZE

Prognozy, przeprowadzone pod patronatem Komisji Europejskiej, oceniają, iż do 2020 r. poziom penetracji GR osiągnie w krajach unijnych 20%. Obecna faza rozwojowa GR + OZE przesunęła wagę zagadnienia od dojrzałości i konkurencyjności oferowanych technologii do problemów integracji GR w istniejących systemach zaopatrzenia w energię.^x

Polityka UE w dziedzinie rozwoju GR i OZE ma oczywiście przełożenie na Polskę, jako jej członka.

Polska

Podstawowym aktem prawnym dot. energetyki jest w Polsce Ustawa – Prawo energetyczne.^{xi} Nie mówi się tam o GR, natomiast poczesne miejsce zajmuje OZE i kogeneracja oraz mechanizmy ich wspierania. Istotą tych mechanizmów jest obowiązek zakupu przez przedsiębiorstwa energetyczne ustalonych procentowo udziałów energii z tych źródeł, dokumentowanych przedstawianymi do umorzenia świadectwami pochodzenia energii, lub koniecznością wnoszenia zamiast tego opłat zastępczych.

Stan istniejący OZE w Polsce (i szerzej – na świecie) można m.in. znaleźć w opracowaniu W. Golka^{xii} Wg niego aktualnie większość energii pochodzi z dużych elektrowni systemowych i elektrociepłowniach stosujących współpalanie biomasy z węglem, co stanowi 4,2 TWh. Z elektrowni wodnych pochodzi 2,4 TWh, a z wiatru – 1 TWh energii elektrycznej. Zestawienie mocy zainstalowanej instalacji OZE w latach 2005-2010 w Polsce przedstawia Tabela 1.

Tabela 1: Moc zainstalowana OZE w latach 2005-2010 w Polsce^{xiii}

Lp.	Rodzaje OZE	Moc zainstalowana [MW]			
		2005	2006	2007	2010
1.	Biomasa	189,8	252,8	255,0	252,4
2.	Biogaz	31,9	36,8	46,0	69,2 ¹
3.	Wiatr	83,3	176,0	269,0	1005,5
4.	Woda	921,7	929,4	934,0	946,7
5.	Suma	1226,7	1395,0	1504,0	2273,8

Kierunki rozwoju GR w Polsce określone są pośrednio w dokumencie rządowym pt.: „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”.^{xiv} Wskazuje się tam GR jako element poprawy bezpieczeństwa energetycznego, poprzez wykorzystanie lokalnych źródeł energii, takich jak metan i OZE i zakłada wsparcie dla rozwoju OZE oraz kogeneracji. Celem indykatywnym jest osiągnięcie do 2020 r. 15 % udziału energii z OZE. Cele pośrednie to: 9,1% w 2010 r., 9,6% w 2011 r. oraz 10,2% w 2012 r. Ma temu służyć wsparcie dla budowy: biogazowni, farm wiatrowych, w tym na morzu oraz technologii pozyskiwania energii z odpadów biodegradowalnych.

Prognozę rozwoju mocy wytwórczych polskiej energetyki, z uwzględnieniem OZE, w podziale na poszczególne rodzaje, wg „Polityki energetycznej ...” przedstawia Tabela 2.

Tabela 2. Moce wytwórcze energii elektrycznej brutto (MW)^{xv}

Paliwo / technologia	2006	2010	2015	2020	2025	2030
W. Brunatny - PC/Fluidalne	8819	9 177	9024	8 184	1034 4	1088 4
W. Kamienny-PC/Fluidalne	1587 8	1579 6	1567 3	1501 2	1136 0	1070 3
W. Kamienny - CHP	4845	4950	5394	5658	5835	5807
Gaz ziemny - CHP	704	710	810	873	964	1 090
Gaz ziemny - GTCC	0	0	400	600	1010	2240
Duże wodne	853	853	853	853	853	853
Wodne pompowe	1406	1406	1406	1406	1406	1406
Jądrowe	0	0	0	1600	3200	4800
Przemysłowe Węgiel - CHP	1516	1411	1416	1447	1514	1555
Przemysłowe Gaz - CHP	51	50	63	79	85	92
Przemysłowe Inne - CHP	671	730	834	882	896	910
Lokalne Gaz	0	0	22	72	167	278
Małe wodne	69	107	192	282	298	298
Wiatrowe	173	976	3396	6089	7564	7867
Biomasa stała - CHP*	25	40	196	623	958	1218
Fotowoltaika	0	0	0	2	16	32
RAZEM	350 43	3628 0	400 07	444 64	477 63	51 412

Poniżej przedstawiono również proponowane przez prof. J. Popczyka strategiczne kierunki działań w sferze

rozwoju energetyki, z uwzględnieniem OZE i tzw. „rolnictwa energetycznego”.^{xvi}

- 1) Budowa elektrowni wiatrowych o mocy 2000 MW (roczna produkcja energii elektrycznej 5 TWh), horyzont – 2013 rok. Opcja kontynuacji budowy elektrowni wiatrowych po 2013 r. aż do mocy 6000 MW (do poziomu łącznej rocznej produkcji energii elektrycznej wynoszącej około 12 TWh), horyzont – 2020 r.
- 2) Wykorzystanie potencjału kogeneracji (rozproszonej) tkwiącego w ciepłownictwie i przemyśle (3000 MWeł), wymagającego około 5,5 mld m³ gazu rocznie, horyzont – 2013 r.
- 3) Zwiększenie krajowego wydobycia gazu ziemnego (roczny efekt 1,5 do 2 mld m³), horyzont – 2011 r. Budowa infrastruktury opartej na technologiach LNG i CNG, z opcją wykorzystania tej infrastruktury w przyszłości w energetyce rozproszonej opartej na gazach syntezowych z przeróbki węgla (kamiennego i brunatnego), horyzont – 2020 r.
- 4) Wykorzystanie 1 mln ha gruntów pod uprawy energetyczne przeznaczone do produkcji biometanu (np. 50 mln ton kukurydzy, 5 mld m³ biometanu w roku), horyzont – 2013 r. Zastąpienie klasycznej (sieciowej) reelektryfikacji wsi nowoczesną reelektryfikacją mającą podstawę w innowacyjnej energetyce rozproszonej wytwórczej i w rolnictwie energetycznym. Opcja wykorzystania 4 mln ha gruntów pod uprawy energetyczne, horyzont – 2020 r.

Warto zauważyć, że wraz z postępującą liberalizacją sektora elektroenergetycznego w Polsce wzrastać będzie zainteresowanie inwestorów inwestycjami w GR. Mniejsze nakłady inwestycyjne i mniejsze ryzyko spowoduje rozwój lokalnej gospodarki energetycznej, z uwzględnieniem najnowszych trendów w postaci tworzenia przedsiębiorstw multienergetycznych, przy czynnym współdziałaniu władz gmin. Szczegółowy opis dotychczasowych przekształceń elektroenergetyki w Polsce, na tle strategii energetycznych przedsiębiorstw europejskich oraz kierunki rozwoju przedsiębiorstw multienergetycznych w Polsce, przedstawia np. w swoim referacie J. Popczyk.^{xvii}

Przegląd technologii generacji rozproszonej

Technologie tradycyjne

Tłokowe silniki spalinowe są dotychczas najczęściej spotykaną technologią GR. Charakterystykę tych źródeł (oraz innych) zawiera m.in. praca pt.: „Opracowanie charakterystyk techniczno – ekonomicznych wybranych źródeł generacji rozproszonej ...^{xviii} (obszerne fragmenty – w załączeniu). Poniżej przedstawiono najważniejsze jej elementy.

Współczesne silniki tłokowe napędzane są olejem napędowym, etyliną, gazem ziemnym, gazem LPG oraz biogazem. Najczęściej spotykane moce to od kilku kW do 5 MW, a nawet rzędu 10 MW. Do głównych komponentów zespołu prądotwórczego należą:

- silnik spalinowy, dwu - lub czterosurowy gaźnikowy lub wysokoprężny, jedno - lub wielocylindrowy, w układzie pionowym rzędownym lub w układzie "V",
- prądnica - w postaci samowzbudnego generatora synchronicznego z dwoma, czterema, sześcioma lub ośmioma parami biegunów.

Turbiny gazowe

Drugą, coraz częściej spotykaną technologią GR, są turbiny gazowe, a wśród nich mikroturbiny. Charakterystykę tych jednostek można znaleźć m.in. w cytowanej już pracy Politechniki Warszawskiej^{xix} oraz w pracy B. Sedlera nt. turbin gazowych w zastosowaniach w elektrociepłowni małej mocy.^{xx} Poniżej przedstawiono podstawowe informacje nt. tych jednostek.

Orientacyjnie można podzielić turbiny gazowe na: 1) duże: o mocy pow. 20 MW, 2) średnie: 1 - 20 MW, 3) małe: poniżej 1 MW, oraz 4) mikro: 0,01 - 0,1 MW.

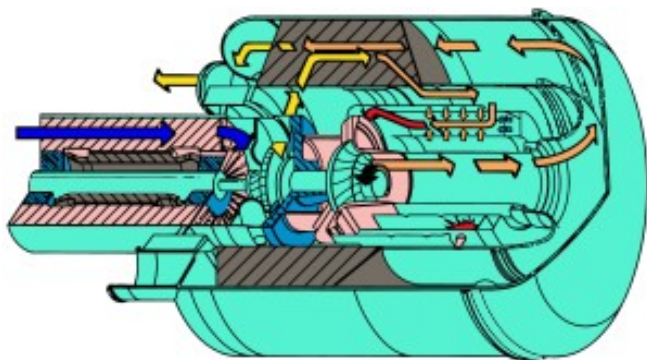
Działanie turbiny gazowej oparte jest na obiegu Braytona – Joluje’a. Głównymi elementami układu są: osiowa sprężarka powietrza, zespół komory spalania oraz zespół turbina - generator synchroniczny.

Sprawność turbin gazowych jest rzędu 35 – 40 %, jednak w zastosowaniach kogeneracyjnych (najczęściej) całkowita sprawność układu rośnie do 65 - 75%. Do zalet turbin gazowych należą: możliwość zastosowania w układach skojarzonych, umiarkowane nakłady i niezbyt długi cykl inwestycyjny, możliwość stosowania różnych paliw (gaz ziemny, biogaz, olej napędowy, nafta, LPG), szybki rozruch, niezawodność oraz niewielka emisja zanieczyszczeń do atmosfery. Wadami TG są: duże jednostkowe zużycie ciepła przy niepełnym obciążeniu, głośna praca oraz stosunkowo długi czas remontów.

Szczególnym rodzajem turbin gazowych, który pojawił się ostatnio są mikroturbiny. Charakteryzują je następujące parametry:

- wielkość mocy - do 100 kW, rzadziej do 200 kW,
- obieg prosty - większość z nich (do 100 kW) pracuje w obiegu Braytona - Joule'a z jednostopniową sprężarką oraz jednostopniową turbiną (sprawność ogólna rzędu 17%),
- niższy stopień sprężania - 3:1 - 4:1 zamiast 13:1 - 15:1,
- konstrukcja wirnika - zintegrowany układ sprężarka - turbina - generator.

Przykład mikroturbiny amerykańskiej firmy Capstone o mocy 30 kW, z jednostopniową sprężarką promieniową, jednostopniową turbiną promieniową, rekuperatorem i bezolejowymi łożyskami powietrznymi na folii przedstawia Rys. 3.



Rys. 3. Mikroturbina amerykańskiej firmy Capstone o mocy 30 kW^{xxi}

Generatory w mikroturbinach pracują z nominalną prędkością obrotową ponad 100 tys. obr / min, wytwarzając prąd o częstotliwości 1000 - 3000 Hz. Obniżenie częstotliwości wymaga stosowania konwerterów energoelektronicznych.

Mikroturbiny znajdują obecnie zastosowanie w różnych obiektach komunalnych oraz przemysłowych, w których wymagana jest wysoka niezawodność zasilania energią elektryczną. Odnaczają się one dość niskim poziomem emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Mikroturbiny uważane są za niezawodne i przyjazne środowisku rozwiązania dla pokrywania mocy szczytowej, jako źródła rezerwowe i dla innych zastosowań.

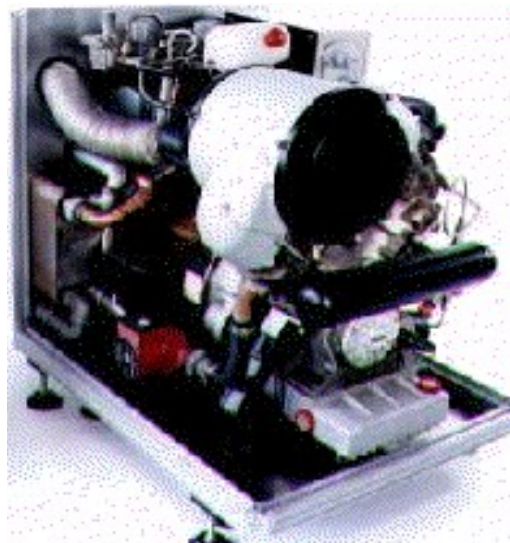
Silniki Stirlinga

Szczególnym rozwiązaniem w grupie silników tłokowych jest tzw. silnik Stirlinga, którego dominującą cechą jest spalanie zewnętrzne, umożliwiające wykorzystanie obszernego zakresu paliw. Syntetyczny opis tej technologii zaczerpnięto również z cytowanej pracy Politechniki Warszawskiej.^{xxii}

Silnik Stirlinga jest maszyną ciepło – napędową. Działanie silnika polega na doprowadzaniu, w sposób ciągły, ciepła z zewnątrz do ogrzewanego czynnika roboczego. Jest nim dowolny, sprężony gaz - najczęściej

powietrze. Czynnik roboczy przepływa między dwoma cylindrami z tłokami i dzięki wytworzonej różnicy temperatur obu tłoków - zapewnia ich ruch. Cykl Stirlinga jest zbliżony do [cyklu Carnota](#), co zapewnia mu dużą [sprawność](#), rzędu 35 – 40%.

Silniki Stirlinga produkowane są na moce w przedziale od kilku watów do około 10 kW. Zespoły prądotwórcze oparte na silnikach Stirlinga pracują głównie w kogeneracji energii elektrycznej i ciepła, ale także w zespołach elektrowni solarnych oraz znajdują zastosowanie w domach i biurach. Przykładowy silnik Stirlinga firmy Solo Kleimotoren, o mocy 10 kW, zasilany gazem przedstawia Rys. 4.



Rys. 4. Przykładowy silnik Stirlinga firmy Solo Kleimotoren o mocy 10 kW zasilany gazem^{xxiii}

Zaletą silnika Stirlinga jest możliwość wykorzystania różnego rodzaju paliw stałych, ciekłych i gazowych, małe gabaryty, wysoka niezawodność oraz długi czas pracy bez konieczności remontu. Jako wadę można wymienić potrzebę intensywnego schładzania czynnika roboczego, co ma wpływ na sprawność całego układu.

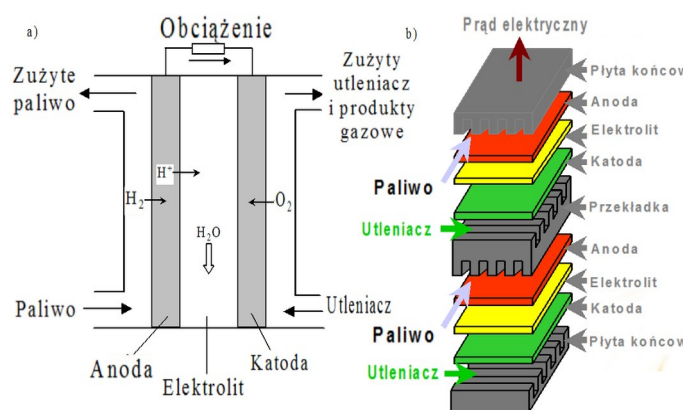
Wadą silnika Stirlinga jest konieczność używania dużych powierzchni wymiany ciepła. Problem łagodzi zastosowanie wysokich ciśnień gazu roboczego, co z kolei sprawia trudności z uszczelnieniem. Ogólnie wadą silnika Stirlinga są stosunkowo wysokie nakłady inwestycyjne. Jednakże już dziś silnik Stirlinga konkuruje z powodzeniem z innymi technologiami w zakresie dolnych wartości mocy GR.

Ogniwa paliwowe

Ogniwa paliwowe traktowane są jako jedna z przyszłościowych technologii w systemach GR. Poniżej przedstawiono syntetyczne informacje na temat ogniw

paliwowych zaczerpnięte z pracy J. Paska^{xxiv} oraz pracy Politechniki Warszawskiej nt. wytwarzania rozproszonego energii elektrycznej i ciepła.^{xxv}

Ogniwa paliwowe przetwarzają energię chemiczną bezpośrednio w procesie elektrochemicznym w energię elektryczną i ciepłą. Zawierają dwie elektrody oraz elektrolit. Do anody podawane jest paliwo, którym może być wodór, gaz ziemny lub metanol, do katody zaś - utleniacz, tj. tlen lub powietrze. Dzięki obecności katalizatora, wodór podlega procesowi jonizacji. Jony dodatnie przedostają się przez elektrolit do katody, zaś elektrony przepływają przez elektrody oraz zamknięty obwód zewnętrzny. Tlen wiąże się z jonami wodoru i elektronami tworząc cząsteczki wody (Rys. 5).



Rys. 5. a) Zasada działania b) budowa ogniwa paliwowego^{xxvi}

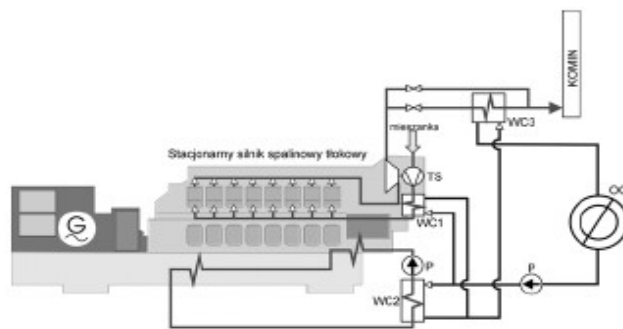
Jako zalety ogniw paliwowych można wymienić: wysoką sprawność w szerokim zakresie obciążenia (40 - 60%), niską emisję zanieczyszczeń, cichą pracę, możliwość szybkich zmian obciążenia, możliwość stosowania różnych paliw oraz uzyskiwanie ciepła. Do głównych wad można zaliczyć: ciągle jeszcze wysokie koszty inwestycyjne, niską trwałość, długi czas rozruchu oraz zmianę własności energetycznych ogniwa w miarę jego eksploatacji.

Kogeneracja

Najbardziej popularnymi układami skojarzonymi na paliwa gazowe są układy CHP: 1) z gazowymi silnikami spalinowymi, 2) z turbinami i mikroturbinami gazowymi. Moce elektryczne tych układów zawierają się od kilkudziesięciu kWel do kilkunastu MWel. Układy te cieszą się ogromną popularnością, a liczba pracujących instalacji jest już bardzo duża. Wcześniej urządzenia te były instalowane prawie wyłącznie jako siłownie szczytowe lub układy zasilania awaryjnego, obecnie pracują bezpośrednio na potrzeby własne lub jako elektrociepłownie zawodowe.

Tłokowe silniki spalinowe to najczęściej stosowane urządzenia w układach skojarzonych małej mocy. Dostępne są w zakresie mocy od 5 kW do 50 MW. Stosowane są: 1) silniki gazowe z zapłonem iskrowym (zakres małych mocy), 2) silniki dwupaliwowe, tzn.

zasilane paliwem gazowym oraz niewielką dawką paliwa ciekłego do inicjowania zapłonu mieszanki (zakres średnich mocy), 3) silniki wysokoprężne (największe moce).



Rys. 6. Układ CHP z tłokowym silnikiem spalinowym^{xxvii} (G - generator, P - pompa, TS - turbosprężarka, OC - odbiornik ciepła, WC1 - wymiennik ciepła chłodzenia powietrza doładowania, WC2 - wymiennik ciepła chłodzenia płaszcza wodnego i miski olejowej, WC3 - spalinowy podgrzewacz wody)

Nawet silniki o stosunkowo niewielkiej mocy (160 kW) charakteryzują się wysoką sprawnością elektryczną wynoszącą ponad 36 %. Silniki dużej mocy (np. Wartsila W50DF) o mocy elektrycznej $N_{ei} = 15,7$ MW osiąga już sprawność 45,5 %.

Układy CHP z silnikami spalinowymi zasilane mogą być również gazami: 1) fermentacyjnym, 2) wysypiskowym, 3) ze zgazowania biomasy, 3) z odmetanowania kopalń, 4) koksowniczym, 5) z procesu rafinacji ropy naftowej, 6) odpadowym z procesów chemicznych.

Najszerszy zakres zastosowań układów kogeneracyjnych zasilanych gazami specjalnymi wiąże się z wykorzystaniem biomasy. Duża liczba instalacji powstaje w oczyszczalniach ścieków wykorzystując biogaz powstały z fermentacji osadów ściekowych

Kolejną, dynamicznie rozwijaną technologią wykorzystania biomasy są układy CHP zintegrowane ze zgazowaniem biomasy.

Coraz częściej można spotkać układy kogeneracyjne z mikroturbinami gazowymi o mocy elektrycznej 25 - 500 kW. W układach tych występuje sprężarka, turbina promieniowa i regeneracyjny podgrzewacz powietrza zintegrowanego z całym układem.

Mikroturbiny znajdują obecnie zastosowanie głównie w kogeneracji, gdzie wytwarzana jest gorąca woda. Z uwagi na szereg zalet (niewielkie rozmiary, mały ciężar, niska emisja hałasu) mikroturbiny gazowe znajdują zastosowanie w małych obiektach, takich jak: biura, mieszkania, domki jednorodzinne, stając się podstawą budowy małych systemów elektryczno - chłodniczo - grzewczych, tzw. BCHP (Building Cooling Heat and Power).

Zaletami układów kogeneracyjnych są: możliwość indywidualnego dopasowania układu do potrzeb danego

odbiorcy, wysokie sprawności, niskie wskaźniki emisji, możliwość spalania gazów niskometanowych, praktycznie bezobsługowa eksploatacja, krótkie okresy zwrotu nakładów (nawet poniżej 3 lat) i krótkie cykle budowy. Wady: nie zawsze możliwe jest wykorzystanie ciepła.

Technologie OZE

Małe elektrownie wodne

Jedną z ważnych technologii OZE są małe elektrownie wodne. Charakterystyka tych źródeł zawarta jest również w cytowanym opracowaniu Politechniki Warszawskiej^{xxviii}. Poniżej przedstawiono krótkie informacje na temat małych elektrowni wodnych zaczerpnięte z tego źródła.

W Polsce za małe elektrownie wodne uważa się źródła o mocy poniżej 5 MW. Elektrownie te przetwarzają energię potencjalną i kinetyczną wody na energię elektryczną z wykorzystaniem urządzeń piętrzących i doprowadzających wodę do turbiny wodnej oraz sprzęgniętego z nią poprzez wał - generatora. Na małą elektrownię wodną składa się:

- próg piętrzący rzekę: stały lub ruchomy,
- budynek elektrowni z siłownią (urządzenia elektryczne, turbiny),
- kanał doprowadzający i odprowadzający wodę z turbin, oraz
- opcjonalnie - przepławka.

Ponieważ małe elektrownie wodne są z reguły niskospadowe, najczęściej stosowane są turbiny wodne: Kapłana (z wałem poziomym), oraz Banki - Michella. Ze względu na niewielką prędkość obrotową turbin, instalowane są niekiedy przekładnie w celu uzyskania większej prędkości generatora.

Przykładem małej elektrowni wodnej jest instalacja w Piekarach koło Krakowa o łącznej mocy zainstalowanej 3,0 MW z trzema hydrozespołami z turbiną rurową Kapłana. Elektrownia ta charakteryzuje się następującymi parametrami: spad średni: 3,70 m, spad maksymalny: 4,44 m, przełyk instalowanych turbin: 100 m/s, produkowana energia w roku przeciętnym: 16731 MWh/rok. Typowy hydrozespół z turbiną Kapłana przedstawia Rys. 7.



Rys. 7. Typowy hydrozespół z turbiną Kapłana przedstawia^{xxix}

Małe elektrownie wodne, w zależności od swojej budowy, mogą pracować jako podstawowe, podszczytowe lub szczytowe.

Jako główne zalety małych elektrowni wodnych można wymienić: bardzo wysoka sprawność rzędu 80 - 90%, brak emisji zanieczyszczeń do atmosfery, zdolność do szybkiego rozruchu i pełnego obciążenia. Ponadto nie wymagają one liczego personelu i mogą być sterowane zdalnie. Wpływają też korzystnie na poziom wód gruntowych i retencję wód, uspokajają nurt rzeki i zatrzymują zjawiska erozji dennej i bocznej. Wyposażone w odpowiednie urządzenia ochrony ryb nie powodują szkód dla środowiska.

Największą wadą tej technologii jest bardzo wysoki jednostkowy koszt inwestycyjny związany z koniecznością budowy obiektu hydrotechnicznego.

Elektrownie wiatrowe

Energetyka wiatrowa jest obecnie najbardziej dynamicznie rozwijającym się w Polsce segmentem OZE, podobnie zresztą jak w innych krajach.

Obecnie, rozwijane są konstrukcje turbin wiatrowych, zarówno o dużych mocach, które są przeznaczone do przekazywania energii do systemu elektroenergetycznego, jak również o małych i średnich mocach, stosowanych do zasilania potrzeb własnych.

Stabilna charakterystyka pracy występuje dla prędkości wiatru 15 - 25 m/s. Wiatr jest elementem bardzo dynamicznym, zależnym od charakteru cyrkulacji ogólnej, modyfikowanym przez warunki lokalne. Na jego cechy mają wpływ: wysokość n.p.m., rzeźba terenu, szorstkość podłoża oraz przeszkody terenowe. Stąd w elektrowniach wiatrowych stosuje się coraz wyższe wieże sięgające 100 m. Najkorzystniejsze warunki rozwoju występują w pasie nadmorskim, w części centralnej Polski oraz na obszarach górskich (Rys. 8).

Rys. 8. Potencjał energetyczny wiatru w Polsce^{xxx}

Elektrownie geotermiczne

Polska ma znaczne zasoby energii geotermalnej (Rys. 9), jednak z powodu konieczności często głębokich wierceń jest ona zwykle trudno dostępna.

Rys. 9. Potencjał geotermalny Polski^{xxxi}

Istotny wzrost wykorzystania tego typu formy pozyskiwania energii przewiduje się po 2020 r., lecz jedynie do celów grzewczych. Drugim zastosowaniem energii geotermicznej jest produkcja energii elektrycznej. Jest to opłacalne jedynie w przypadkach źródeł bardzo gorących.

Obserwuje się również rozwój prac nad elektrowniami zasilanymi energią geotermalną z wykorzystaniem specjalnych czynników roboczych niskich temperaturach nasycenia. Z uwagi jednak na bardzo małe sprawności konwersji energii w elektrowniach tego typu, wskaźniki opłacalności (a tym samym koszt wytwarzania energii elektrycznej) jest bardzo wysoki.

Ogniwa fotowoltaiczne działają na zasadzie zjawiska fotoelektrycznego wewnętrznego. Podczas działania promieniowania świetlnego na sieć krystaliczną półprzewodnika typu n , zachodzi efekt uwalniania elektronów. W ten sposób, na złączu $p - n$ powstaje siła fotoelektromotoryczna. Do budowy ogniw fotowoltaicznych stosowane są materiały półprzewodnikowe takie jak: krzem, selen, tellurek kadmu oraz arsenek galu.

- a) Off - grid domestic - ogniwo fotowoltaiczne stanowi jedyne źródło zasilania dla gospodarstw domowych, małych osiedli i domków. Powszechnie stosowane są ogniwa o mocy około 1 kW, stanowią one alternatywę dla potrzeb rozbudowy sieci dystrybucyjnej.
- b) Off - grid non-domestic - ogniwo stanowi jedyne źródło zasilania dla szerokiego zakresu komercyjnych zastosowań: telekomunikacja, pompy wodne, systemy nawigacyjne.
- c) Grid - connected distributed - ogniwa dostarczają energię do budynków i obiektów zasilanych z sieci dystrybucyjnej. Jest to rozwiązanie najczęściej spotykane. Pełnią funkcję rezerwowego źródła zasilania, pozwalają generować moc rzędu 1 - 100 kW.
- d) Grid - connected centralized - stosowane jako alternatywne źródło energii, mające poprawić niezawodność pracy systemu dystrybucyjnego.

Największą moc szczytową 3,3 MW posiada instalacja fotowoltaiczna w Serre (Włochy).

Ogniwa fotowoltaiczne charakteryzuje: brak emisji zanieczyszczeń do atmosfery, niskie koszty utrzymania, brak kosztów paliwa. Z drugiej strony ogniwa te odznaczają się wysokimi kosztami instalacji, silną zależnością od warunków atmosferycznych oraz niską sprawnością (13 - 20%). W fazie doświadczeń znajdują się ogniwa o sprawności przewyższającej 40 %.

Pomimo, że systemy fotowoltaiczne w warunkach polskich są wciąż wysoce nieopłacalne warto kontynuować badania w tej dziedzinie. Przemawia za tym dynamiczny rozwój technologii produkcji fotoogniw oraz urządzeń przeznaczonych do ich obsługi.

Układy heliologiczne

Układy heliologiczne wykorzystują ciepłą energię z promieniowania słońca. Technologia ta polega na przetworzeniu energii słonecznej na energię ciepłą czynnika roboczego (np. oleju termicznego). Wytworzona następnie w wymienniku ciepła para napędza turbinę oraz sprzężony z nią generator. Ogólna sprawność tego typu technologii sięga 20%. Są to jednak z reguły duże instalacje o mocach wykraczających poza zakres GR.

Wysokotemperaturowe źródła słoneczne mają zastosowanie w instalacjach o mocy od 5 do setek MW. Technologia taka jest dostępna, lecz kosztowna oraz charakteryzuje się nieciągłością generacji.

Powszechnie stosowane są natomiast kolektory słoneczne - urządzenie do konwersji energii promieniowania słonecznego na ciepło. Energia docierająca do kolektora zamieniana jest na energię ciepłą nośnika ciepła, którym może być ciecz (glikol, woda) lub gaz (np. powietrze).

Kolektory można podzielić na: płaskie (gazowe, cieczowe, dwufazowe), płaskie próżniowe, próżniowo - rurowe (nazywane też próżniowymi, w których rolę izolacji spełniają próżniowe rury), skupiające (prawie zawsze cieczowe), specjalne (np. okno termiczne, izolacja transparentna).

Kolektory słoneczne najpowszechniej wykorzystywane są do: podgrzewania wody użytkowej, basenowej, wspomagania centralnego ogrzewania, chłodzenia budynków, ciepła technologicznego.

Sprawność kolektora płaskiego znacznie spada wraz ze wzrostem różnicy temperatur pomiędzy czynnikiem roboczym a otoczeniem. Z tego powodu w naszej strefie klimatycznej powinno się stosować kolektory próżniowe w wypadku których wpływ temperatury otoczenia na sprawność jest minimalny. Kolektory słoneczne są względnie tanie, nie wymagają obsługi i są przyjazne dla środowiska, stąd ich wykorzystanie dynamicznie rośnie.

Technologie oparte na biomasie i odpadach biodegradowalnych

Biogazownia rolnicza przetwarza biomasę występującą w rolnictwie (gnojowica, gnojówka, kiszonki, pomiot kurzy, zboża itp.). Biogazownie tego typu są w tej chwili budowane w Niemczech w ilości kilkuset rocznie, a ogólna liczba niemieckich instalacji przekracza już 5000.

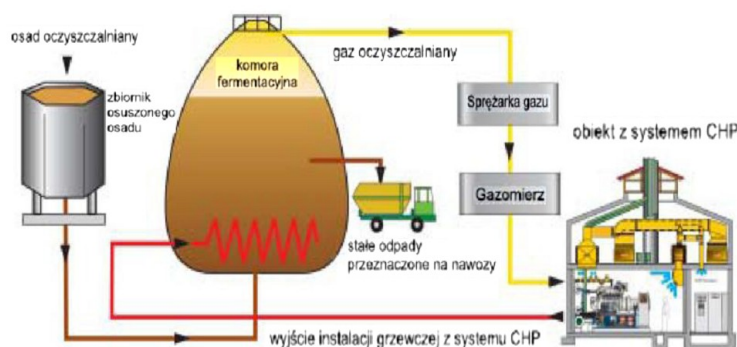
Typowa biogazownia rolnicza składa się z następujących urządzeń:

- zbiorników wstępnych na biomasę, niekiedy również hali przyjęć,
- zbiorników fermentacyjnych, przykrytych szczelną membraną,
- zbiorników pofermentacyjnych lub laguny,
- układu kogeneracyjnego (silnik gazowy + generator elektryczny) produkujący energię elektryczną i ciepłą, zainstalowanego w budynku technicznym lub w kontenerze,
- instalacje sanitarne, zabezpieczające, elektryczne i sterujące.

Biogaz jest następnie oczyszczany i dostarczany do spalania w układzie kogeneracyjnym.

Wyprodukowana energia elektryczna zasila sieć elektroenergetyczną (sprzedaż), 20-30%

wyprodukowanego ciepła wykorzystane jest do ogrzewania zbiorników fermentacyjnych, a pozostała część może być wykorzystywana np. do ogrzewania lub również sprzedana.



Rys. 10. Typowa biogazownia w oczyszczalni ścieków pracująca na osadach pościekowych

Biogazownie są przyjętym w Polsce przyszłościowym rozwiązaniem GR na wsi wspomaganym przez rządowy program.

Technologie wykorzystujące pływy, prądy i falowanie morza

Energia pływów, prądów morskich i falowania morza należy do OZE, ma jednak jak dotąd niewielkie znaczenie w świecie, a w Polsce właściwie żadne. Niemniej jednak dla kompletności wyводу warto podać kilka podstawowych informacji.

Pierwszą elektrownię pływową zbudowali w roku 1967 [Francuzi](#) w [Saint-Malo](#). Elektrownia ta ma [moc](#) 550 MW i pracuje od 4 do 8 godzin dziennie, wytwarzając średnio 600 GWh [energii elektrycznej](#) rocznie. Obecnie takie elektrownie są również w [Rosji](#) i [Wielkiej Brytanii](#), jednak żadna z nich obecnie (styczeń 2007 r.) nie pracuje na skalę przemysłową z powodu problemów technicznych oraz niebezpieczeństwa sztormów i huraganów.

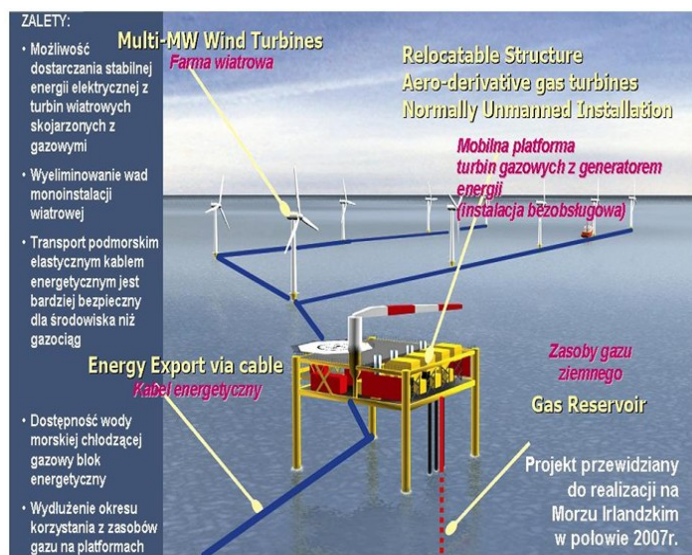
Energia prądów morskich i oceanicznych jest duża, ale brak jest instalacji wykorzystujących te źródła. M.in. istnieją obawy co do bezpieczeństwa ingerowania w prądy, ponieważ może to mieć wpływ na zmiany klimatu.

Najbardziej zaawansowane są prace nad wykorzystaniem falowania morza. Moc [fal](#) ocenia się na 3 TW, jednak wykorzystanie tej energii sprawia pewne trudności, pomimo iż opracowano wiele teoretycznych metod konwersji energii falowania na energię elektryczną. Największym problemem jest zmienność wysokości fal i wytrzymałość elektrowni.

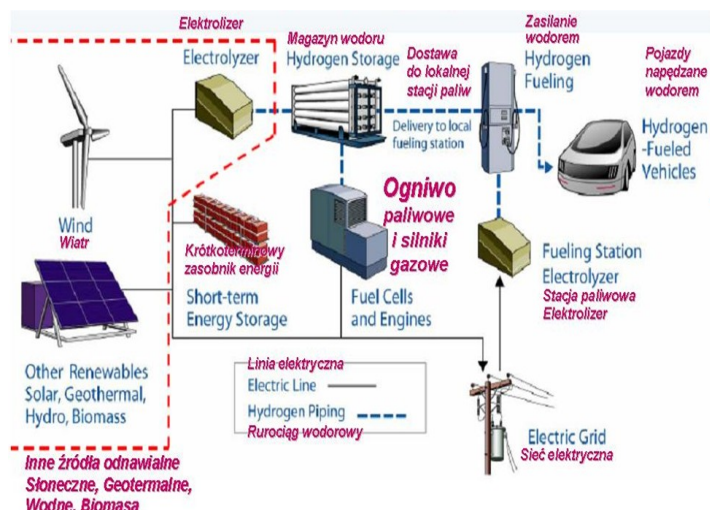
Najważniejsze sposoby konwersji energii fal na elektryczną to: 1) elektrownie pneumatyczne – fale wymuszają w nich ruch powietrza, które napędza [turbine](#), 2) elektrownie mechaniczne – wykorzystują [siłę wyporu](#) do poruszania się prostopadle do dna, co powoduje obracanie się [wirnika](#) połączonego z prądnicą, 3) elektrownie indukcyjne – wykorzystują ruch pływaków do wytwarzania energii elektrycznej poprzez zastosowanie poruszających się wraz z pływakami [cewek](#) w [polu magnetycznym](#), oraz 4) elektrownie hydrauliczne – w których przez ścianki nieruchomego zbiornika przelewają się jedynie szczyty fal, a woda wypływająca ze zbiornika napędza turbinę.

Przyszłościowe wykorzystanie nawodnych turbin wiatrowych

Przyszłościowe rozwiązanie to połączenie morskich turbin wiatrowych z wydobywaniem gazu i produkcją wodoru.^{xxxii} Rys.11 oraz układy hybrydowe złożone, Rys.12



Rys. 11. Połączenie morskich turbin wiatrowych z wydobywaniem gazu.



Rys. 12. Układ hybrydowy wykorzystania energii odnawialnej do wytwarzania paliwa wodorowego i energii elektrycznej z ogniw paliwowych.

W Polsce nie przewiduje się szerszych zastosowań tych źródeł w dającej się przewidzieć przyszłości.

Małe reaktory nuklearne

Małe reaktory jądrowe opracowywane od kilku lat w kilku wiodących w technice nuklearnej krajach na świecie mogą stać się alternatywą dla niektórych tradycyjnych źródeł energii w ramach GR. Wskazuje na to m.in. raport organizacji międzynarodowej World – Nuclear pt. „Small Nuclear Power Reactors z 12 października 2010 r.”^{xxxiii}

Małe reaktory atomowe zaczęto budować już ponad pół wieku temu. W latach 50 tych XX w. USA zaczęły badać możliwość tworzenia reaktorów, które można byłoby w modułach transportować na lawecie kolejowej,

na pokładzie statków, barek lub samolotów transportowych. Chodziło o szybkie dostarczenie źródła energii w miejsca bez infrastruktury (albo ze zniszczoną infrastrukturą), np. w pobliże budowanych naprędcie baz wojskowych czy też w miejsca katastrof naturalnych. Opracowano osiem, a wybudowano sześć różnych reaktorów atomowych. Jednym z nich był stworzony w 1961 r. reaktor PM-2A. Miał moc 2 MWe i był reaktorem przenośnym, choć jego montaż zajmował prawie trzy miesiące.

Od tego czasu technologie reaktorowe zanotowały znaczący postęp w zakresie technicznym i ekonomicznym, zapewniając nowe, wyższe standardy bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Według IEEE Spectrum, od 1999 r. poparcie społeczeństwa dla opcji jądrowej wzrosło od 46 do 52%. Niewątpliwym argumentem ze strony przemysłu nuklearnego jest oferta reaktorów „następnej generacji”. Dominujący obecnie typ reaktora wodnego ciśnieniowego (PWR, WWER) znajduje kontynuację w rozwiązaniach, których cechą szczególną jest zasada tzw. wewnętrznego bezpieczeństwa, redukującego wpływ błędów operatora. Nowa generacja rozwiązań technicznych obejmuje m.in.:

- pasywne reaktory chłodzone wodę (Advanced Passive) AP 600, AP 1000 (Westinghouse),
- modułarne reaktory chłodzone gazem (Modular High Temperature Gas - Cooled Reactor) MHTGC General Atomics,
- reaktory chłodzone ciekłym metalem (Power Reactor Innovative Smali Module) PRISM i Super PRISM General Electric,
- reaktory z paliwem granulowanym (Pebble - Bed Modular Reactor) PBMR Exelon,
- uproszczony reaktor na wrzącą wodę (European Simplified Boiling - Water Reactor) ESBWR Siemens General Electric.

Cechą charakterystyczną tych rozwiązań jest na ogół **odejście od wysokich wartości mocy na rzecz struktur modułarnych**. Propozycje ofertowe zostały w wyniku szczegółowych badań testowych zaaprobowane przez amerykańską komisję regulacyjną (US Nuclear Regulatory Commission - NRC).

Program budowy małych reaktorów jądrowych istniał również w Związku Radzieckim. Np. w 1961 r. uruchomiono na dalekiej północy reaktor TES-3 (o mocy 1,5 MWe), który mógł być transportowany w czterech kontenerach na ławecie samochodowej.

Obecnie jest już kilkanaście projektów małych elektrowni jądrowych. Najwięcej z nich powstało w USA, ale swoje konstrukcje mają także Francuzi, Chińczycy, Rosjanie, Koreańczycy i Japończycy. Coraz częściej mówi się jednak, żeby projekty w końcu wcielić w życie.

Przy rosnącym całym czasie zapotrzebowaniu na energię niemożliwe będzie bez reaktorów atomowych ograniczenie emisji do atmosfery szkodliwych produktów spalania węgla, ropy bądź gazu.

Aktualne zestawienie projektów małych reaktorów realizowanych przez poszczególne kraje przedstawia Tabela 3.

Tabela 3. Lista małych reaktorów jądrowych^{xxxiv}

Nazwa	Technologia	Producent
CAREM	27 MWe PWR	CNEA & INVAP, Argentyna
FUJI	100 MWe MSR	ITHMSO, Japonia, Rosja, USA
Hyperion Power Module	SMR – 25 MWe	Hyperion Power Generation Inc.
KLT - 40	35 MWe PWR	OKBM Rosja
MRX	30 – 100 MWe PWR JAERI	Japonia
IRIS - 100	100 MWe PWR	Westinghouse – led, International
SMART	100 MWe PWR	KAERI, S. Korea
NP - 300	100 – 300 MWe PWR	Technicatome (Areva) Francja
VK – 300	300 MWe BWR	Atomenenergo projekt, Rosja
PBMR	165 MWe HTGR	Eskom, Południowa Afryka,
GT - MHR	285 MWe HTGR	General Atomics (USA) , Minatom (Rosja)
BREST	300 MWe LMR	RDIPE, Rosja

Przykładowo koszt budowy pierwszej elektrowni firmy Toshiba typu 4S (Super Safe, Small&Simple) o mocy 10MW ocenia się na mniej więcej 20 mln USD. Mógłby on być niższy, gdyby firma produkowała takie reaktory seryjnie. Pierwsza elektrownia ma być wybudowana na koszt producenta jako przedsięwzięcie promocyjne, może być eksploatowana 3 dekady bez napełniania paliwa.

Toshiba ma nadzieję sprzedać swoich konstrukcji więcej, nie tylko zresztą w miejsca trudno dostępne. Jedna kWh energii wyprodukowana w tej elektrowni ma kosztować zaledwie 5-7 centów. To cena ponad dwukrotnie niższa niż np. w Polsce. Rewolucyjny reaktor ma zacząć pracować w 2012 roku. Tymczasem do 2010 roku Amerykanie chcą ostatecznie zakończyć fazę projektowania aż dziewięciu różnych elektrowni jądrowych. Wśród nich są także małe elektrownie modułowe. Podobne rozwiązania przewiduje w swoim małym reaktorze jądrowym firma Hyperion.



Rys 13. Mały reaktor jądrowy firmy Hyperion^{xxxv}

Z przeglądu ww. materiałów wynika więc, że w ciągu najbliższych kilku lat należy spodziewać się pojawienia w świecie pierwszych komercyjnych instalacji małych reaktorów jądrowych. Co do Polski, to można zaryzykować twierdzenie, że technologia ta mogłaby być rozpatrywana realnie z początkiem lat 2015 – 2020. Tak więc na razie nie zagraża ona rozwojowi dotychczasowych technologii stosowanych w GR w Polsce.

Porównanie technologii generacji rozproszonej

Poszczególne technologie GR można porównywać stosując cały szereg parado najważniejszych można zaliczyć: zakres mocy jednostek, sprawność, jednostkowe nakłady inwestycyjne, emisja CO₂ oraz czas budowy. Poniżej przedstawiono porównanie omawianych technologii GR zaczerpnięte z pracy J. Paska.

Tabela 4. Charakterystyka wybranych technologii rozproszonych^{xxxvi}

Technologia	Moc jednostek, kW	Sprawność %	Jednostkowe nakłady inwestycyjne ¹ , Euro/kW	Emisja ¹ CO ₂ , kg/(MW·h)	Czas budowy, lat
Silniki Diesla	5+10000	25+45	550+1350	670+690	1
Silniki gazowe	50+5000	28+42	250+600	500+620	1
Turbiny gazowe	1000	30+40	200+400	520+600	1
Mikroturbiny	25+400	30+35	500+750	520+600	1
Ogniwa paliwowe	1+1000	35+54	2000+8000	430+490	1
Małe elektrownie wodne	< 5 (10) MW	80+90	2500+6600	3,5+32	3
Systemy fotowoltaiczne	1+100 ²	10+20	4100+6900	40+110	0
Systemy heliologiczne	~10 MW	40+45	4000+6000	135	2
Elektrownie wiatrowe na lądzie	3+100 MW	40+45	1000+1370	7+30	1
Elektrownie wiatrowe na morzu	100+300 MW	45+50	1750+2750	9+22	2
Elektrownie na biomasę	~5 MW	22+26	2900+5080	42	2

Tabela 5. Charakterystyka typowych technologii generacji rozproszonej^{xxxvii}

Technologia	Moc zainstalowana	Koszt inwestycyjny [Euro/kW]	Koszt energii [Euro/kWh]
Turbiny wiatrowe, lokalizacja lądowa	15 MW	900 - 1300	0,04 – 0,09
Turbiny wiatrowe, lokalizacja offshore	100 MW	1500 - 2000	0,05 – 0,12
Małe turbiny wodne, niskospadowe	5 MW	900 - 1000	0,02 – 0,03
Małe turbiny gazowe	5 MW	800 – 850	0,053 – 0,057
Silniki tłokowe gazowe	5 MW	500 - 750	0,03 – 0,0453
Ogniwa fotowoltaiczne	5 MW	6000 - 10000	0,7 - 1
Ogniwa paliwowe	5 MW	1100 - 1600	0,08 – 0,1
Małe silniki tłokowe	50 kW	600 - 1500	0,07 – 0,15
Mikroturbiny	50 kW	ok. 300	0,03 0,05
Małe ogniwa paliwowe	50 kW	ok. 9001	0,09 – 0,15

Technologie GR różnią się poziomem kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych i, mimo iż wiele z nich uzyskuje już poziom konkurencyjności rynkowej, to cena energii wytwarzanej w rozproszeniu jest na ogół wyższa niż wytwarzanej w wielkich, scentralizowanych

źródłach. Jednakże oczekiwać można znaczącego postępu w redukcji kosztów.

I na koniec warto przytoczyć porównanie korzyści płynące z GR zróżnicowanych dla różnych technologii.

Tabela 6. Porównanie korzyści z generacji rozproszonej^{xxxviii}

A finansowa Technologia	Możliwość pracy, jako rezerwowe źródło zasilania „na żądanie”	Możliwość pracy w szczycie zapotrzebowania	Alternatywa dla rozbudowy sieci	Wspieranie inwestycji sieciowych	Możliwość wykorzystania taniego źródła energii (tanie paliwo)
Silniki tłokowe	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie Tak - dla biogazu i biodiesla
Turbiny gazowe	Tak	Tak	Tak	Tak	J.w.
Mikroturbiny	Tak	Tak	Tak	Tak	J.w.
Ogniwa paliwowe	Tak	Nie	Tak	Tak	Nie
Ogniwa fotowoltaiczne	Nie	Nie	Wymaga dodatkowych rozwiązań	Wymaga dodatkowych rozwiązań	Tak
Elektrownie wiatrowe	Nie	Nie	J.w.	J.w.	Tak

Jak widać z powyższych ocen nie można wskazać jednej najlepszej technologii GR. Wybór najwłaściwszej musi zawsze uwzględniać konkretne wymagania wynikające z danej sytuacji i zawsze musi być poprzedzony wariantowym studium wykonalności, w tym analizą finansową opłacalności inwestycji.

Możliwy do uzyskania efekt ekonomiczny (wyrażony np. wartością bieżącą projektu NPV) zależy od wielu czynników, spośród których najważniejsze to: przebieg zmienności zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną, ceny paliwa, ciepła i energii elektrycznej, charakterystyka techniczna instalowanych urządzeń (moc, sprawność, wskaźnik skojarzenia oraz ich możliwe zmiany w trakcie pracy), tryb pracy systemu, możliwość współpracy z siecią energetyczną i inne. Najkorzystniejsze efekty zostaną uzyskane wtedy, gdy dany układ będzie dobrany optymalnie dla danych warunków technicznych i ekonomicznych.

W powyższych porównaniach nie występują małe reaktory jądrowe. Technologia ta jak na razie jest jeszcze zbyt młoda i w ciągu najbliższych lat z pewnością jeszcze nie zagrazi dotychczas stosowanym technologiom GR.

Elektrownie Zespole – Sieci Inteligentne („Smart Grids”)

Przewidywany rozwój GR (łącznie z OZE) oraz rosnące wymogi dotyczące jakości dostarczanej energii i niezawodności dostaw na czołowe miejsce wysuwają problem współpracy tych źródeł z siecią elektroenergetyczną.

Znaczna liczba jednostek wytwórczych o małych i bardzo małych wartościach mocy zainstalowanej oraz wybitnie zróżnicowane charakterystyki eksploatacyjne tych jednostek stwarzają podstawowe problemy sterowania tej złożonej struktury technicznej.

Struktura taka, obejmująca rozproszone źródła o zróżnicowanym charakterze - od elektrowni systemowych po „energetykę domową” i zasobniki

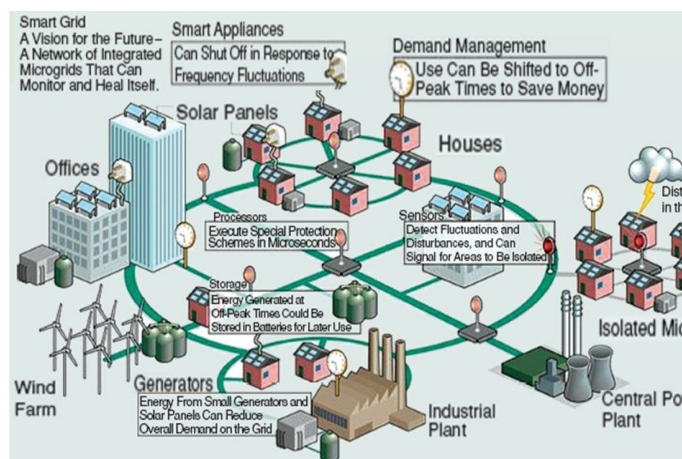
energii, jest nadzorowana i koordynowana przez operatora technicznego i operatora handlowego.

Złożoność takiego układu wymaga rozszerzonej kontroli wszystkich elementów i rozprywu mocy w sieci. Wraz z decentralizacją wytwarzania nakłada to specyficzne wymagania na proces zarządzania przepływami mocy/energii i wynikającymi stąd przepływami finansowymi. Możliwości stworzone przez Internet sprawiają, że ta struktura sieciowa staje się środkiem nie tylko administrowania transakcjami, ale też wspomaga procesy obsługi, a nawet bezpośredniego sterowania obiektami.

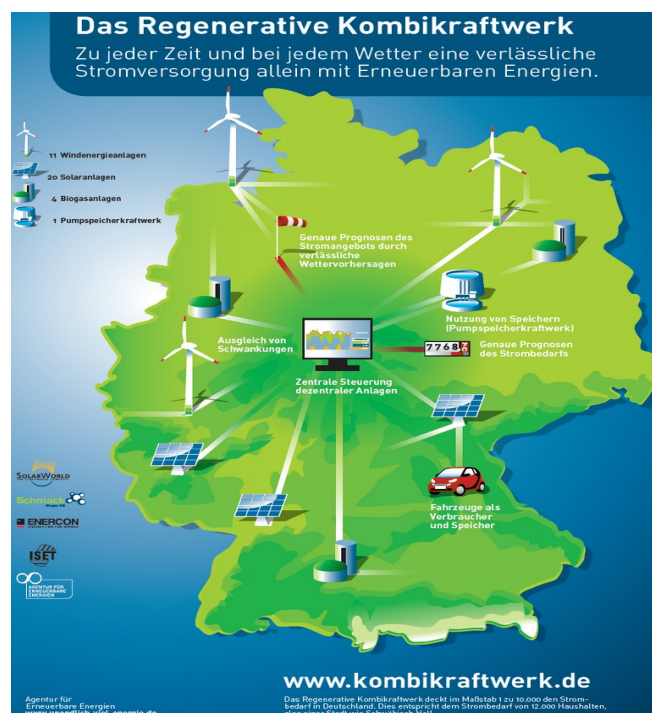
Technologie, będące podstawą rozwoju interaktywnej infrastruktury zaopatrzenia w energię, muszą również zapewniać wymaganą (indywidualizowaną lokalnie) jakość i bezpieczeństwo dostaw.

Wśród tych technologii istotną rolę odgrywać będą układy magazynowania energii, w tym z wykorzystaniem tzw. superkondensatorów. Magazynowanie stanowi antidotum na zmienność i nieprzewidywalność wielu źródeł, wykorzystujących zasoby odnawialne i redukuje wymagania inwestycyjne, zwłaszcza w zakresie generacji. Istniejące technologie magazynowania energii elektrycznej obejmują szeroki zakres rozwiązań - od tradycyjnych ogniw chemicznych po nadprzewodzące systemy magnetyczne (SMES) i układy bezwładnościowe. Obiecującym medium magazynowania energii jest wodór w zastosowaniu do wyrównywania obciążeń nawet w zakresie zmienności sezonowej.

Koncepcję Smart Grid wiążącego wszystkich uczestników produkcji, dystrybucji, magazynowania i użytkowania energii elektrycznej i ciepłej przedstawia Rys. 14, a wdrożony taki system w postaci tzw. zespolej pod nazwą Kombikraftwerk (Combined Power Plant) wdrożone w Niemczech Rys. 15.



Rys 14. Koncepcja SmartGrid^{xxxix}



Rys 15. Elektrownia Zespolej – Kombikraftwerk w Niemczech^{xl}

Istotą tzw. Smart Gridu jest Centrum Sterowania siecią, które zapewnia równomierną podaż energii elektrycznej dostosowaną do zapotrzebowania. Pozwala to na uniknięcie jednej z największych wad energetyki opartej na źródłach odnawialnych, jaką jest, zwłaszcza w przypadku farm wiatrowych, nierównomierność podaży.

Bariery we wdrażaniu do praktyki wyników badań w dziedzinie OZE i energetyki rozproszonej istnieją na wielu szczeblach; począwszy od skomplikowanej i długiej procedury aplikacyjnej do funduszy pomocowych, co wymaga dużego nakładu sił i środków na przygotowanie wniosków z niezbędną dokumentacją, często niezrozumienie ważności tematyki dla oceniającego aplikację, brak kadry menadżerskiej do kierowania projektami, b. często robią to pracownicy naukowci nie mający odpowiedniego przygotowania ekonomiczno- organizacyjnego, poprzez opóźnienia zaplecza B+R w wyposażeniu w nowoczesną aparaturę i oprzyrządowanie oraz zaplecza technicznego do przygotowania modeli i projektów.

Niedostateczna jest też świadomość kierownictw firm, zwłaszcza dużych z obsadą wg. klucza partyjnego co do potrzeby tworzenia własnego zaplecza B+R (autor w latach 2003-2006 pracując jako Doradca Prezesa Zarządu jednej z największych firm energetycznych utworzył Centrum Badawczo- Rozwojowe owego Koncernu, które po zmianach w Zarządzie firmy zlikwidowano!).

Sugeruje się położenie większego nacisku na tworzenie silnych Centrów Badawczo – Rozwojowych i Wdrożeniowych z udziałem 1-go lub więcej partnerów, uruchamianie produkcji w tzw. Parkach Przemysłowych High –Tech /Zaawansowanych technologii, szukanie możliwości rozwoju polskich produktów.

Firmy inwestujące w Polsce nie są zainteresowane w przekazywanie technologii. Po upadku lub wręcz likwidacji szeregu przemysłów (vide: budownictwo okrętowe, przemysł produkcji turbin energetycznych) istnieje jednak szansa na wykreowanie tzw. „Polskiej Nokii”.

Dla przypomnienia: kryzys początku lat 90-tych w Finlandii doprowadził do spadku PNB o 10% i wzrostu bezrobocia do 18,2%. W okresie 6-ciu lat doprowadzono do wzrostu NNB do ca. 6%, spadku bezrobocia do 10,2% (w rejonie Helsinek do 7,2%). Możliwe to było dzięki wybraniu trafnej ścieżki rozwoju. Postawiono na NOKIĘ jako lidera branży teleinformatycznej („Telecommunication Cluster”) – owego klastra technologicznego, który pociągnął całą gospodarkę kraju.

W Polsce taką branżą może być **energo – elektronika**, która zaczyna przeżywać na świecie gwałtowny wzrost. Istnieje odpowiednie zaplecze kadrowe, zaś nakłady B+R są stosunkowo niewysokie.

Unia Europejska przewiduje bardzo poważne nakłady na rozwój sektora energetycznego w tym sieci. Sektor ten będzie potrzebował w najbliższej przyszłości szerokiego asortymentu produktów do sterowania i zarządzania siecią.

Nie wolno przegapić tej szansy!

Wnioski:

Rozwój generacji rozproszonej GR jest warunkiem koniecznym poprawy bezpieczeństwa energetycznego kraju. GR pozwala również przesunąć w czasie potrzebę rozbudowy sieci dystrybucyjnej, a w efekcie umożliwia bardziej efektywne inwestowanie w poprawę bezpieczeństwa energetycznego i poprawę jakości zasilania w energię.

Przegląd i porównanie technologii GR w powiązaniu z OZE wykazuje, że dobór najwłaściwszych rozwiązań musi być dokonywany dla konkretnych warunków poprzez wykonanie studiów wykonalności i analiz finansowych opłacalności danej inwestycji.

Ocena perspektyw rozwoju małych reaktorów jądrowych wskazuje, że realnie powinny one być rozważane jako alternatywne źródła energii za ok. 5 lat. Do tego czasu dotychczasowe technologie GR pozostaną niezagrożone.

Warunkiem koniecznym rozwoju GR jest rozwój inteligentnych sieci SmartGrid tworzących tzw. elektrownie zespolone, łączące wszystkich uczestników produkcji, dystrybucji, magazynowania i użytkowania energii elektrycznej i ciepłej.

- ⁱ „Przegląd materiałów dotyczących alternatywnych form generacji rozproszonej, w tym małej generacji jądrowej, z uwzględnieniem bezpieczeństwa i diagnostyki tych form generacji” – dr inż. B. Sedler, mgr E. Sulżycki, Praca na zamówienie Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk listopad 2011.
- ⁱⁱ J. Malko: Generacja rozproszona w Europejskiej polityce energetycznej. Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze – SIECI 2004. V Konferencja Naukowo – Techniczna.
- ⁱⁱⁱ [?] P. Bioczel, J. Paska: Hybrydowa elektrownia słoneczna z ogniwem paliwowym jako przykład wykorzystania w energetyce rozproszonej wielu źródeł energii pierwotnej. Elektroenergetyka Nr 4 / 2003.
- ^{iv} International Energy Agency: Experience curves for energy Policy. OECD / IEA, Paris 2003.
- ^v European Commission: New ERA for electricity In Europe – Distributed Generation. EUR 20901, Brussels 2003.
- ^{vi} J. Paska: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Politechnika Warszawska, 2010.
- ^{vii} Jakość zasilania – poradnik. Generacja rozproszona i odnawialne źródła energii. Polskie Centrum Promocji Miedzi Sp. z o.o. Wrocław. European Copper Institute. Brussels, Belgium.
- ^{viii} Ibidem
- ^{ix} Ibidem
- ^x Ibidem
- ^{xi} Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (tekst jednolity Dz. U. z 2006 r., Nr 89, poz. 625).
- ^{xii} W. Golka: Energetyka a odnawialne źródła energii. Warszawa, 2010.
- ^{xiii} W. Golka: Energetyka a odnawialne źródła energii. Warszawa, 2010.
- ^{xiv} [?] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r.
- ^{xv} Polityka energetyczna Polski do 2030 roku
- ^{xvi} J. Popczyk: Prezentacja nt. strategii rozwoju energetyki i rolnictwa energetycznego.
- ^{xvii} J. Popczyk: Generacja rozproszona w świetle reform elektroenergetyki w Polsce i strategii wielkich przedsiębiorstw energetycznych w Europie. Perspektywy rozwoju energetyki rozproszonej. SEP – Gliwice. 11 czerwca 2002.
- ^{xviii} Praca zbiorowa: Opracowanie charakterystyk techniczno – ekonomicznych wybranych źródeł generacji rozproszonej i odbiorników energii przyłączonych do sieci elektroenergetycznej średniego napięcia oraz opracowanie koncepcji programu komputerowego symulującego pracę takiej sieci. Politechnika Warszawska, Wydział elektryczny. Instytut Elektrotechniki. Warszawa, 2007.
- ^{xix} [?] Praca zbiorowa: Opracowanie charakterystyk tech. – ekonomicznych wybranych źródeł generacji rozproszonej Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny. Instytut Elektrotechniki. Warszawa, 2007.
- ^{xx} B. Sedler: Rozwiązania elektrociepłowni małej mocy z uwzględnieniem turbiny gazowej i generatora prądu o mocy około 2 MW. Gdańsk, maj 2007.
- ^{xxi} www.capstoneturbine.com.

^{xxii} Praca zbiorowa: Opracowanie charakterystyk techn. – ekonomicznych wybranych źródeł generacji rozproszonej
.... Politechnika Warszawska, op. cit.

^{xxiii} www.stirlingengines.org.uk

^{xxiv} J. Paska: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Politechnika Warszawska, 2010.

^{xxv} Praca zbiorowa: Opracowanie charakterystyk techniczno – ekonomicznych wybranych źródeł generacji rozproszonej

.... Politechnika Warszawska, op. cit.

^{xxvi} Dr hab. inż. Józef Paska, Politechnika Warszawska Instytut Elektroenergetyki Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej

^{xxvii} J. Skorek, op. cit.

^{xxviii} Praca zbiorowa: Opracowanie charakterystyk techniczno – ekonomicznych wybranych źródeł generacji rozproszonej

.... Politechnika Warszawska, op. cit.

^{xxix} Internet

^{xxx} www.elektrownia-wiatrowa.pl

^{xxxi} R. Ney, J. Sokołowski: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 1992.

^{xxxii} Dr inż. Bogdan Sedler , Fundacja Naukowo – Techniczna Gdańsk, „Koncepcja hybrydowej instalacji wiatrowo-

gazowej do wytwarzania energii elektrycznej na platformie morskiej.” , Gdańsk, sierpień 2007 r

^{xxxiii} Small Nuclear Reactors, 12 october 2010

^{xxxiv} www.world-nuclear.org

^{xxxv} www.Hyperion.com

^{xxxvi} J. Paska: Wprowadzenie do wytwarzania rozproszonego energii elektrycznej i ciepła.

^{xxxvii} J. Malko. Op. cit.

^{xxxviii} J. Malko. Op. cit.

^{xxxix} Raport SmartGrid

^{xl} www.kombikraftwerk.com