

# **KIERUNKI ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ŹRÓDEŁ WYTWÓRCZYCH W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM**

---

**Bolesław Zaporowski**

**Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki**

- 1. WPROWADZENIE**
- 2. STAN SEKTORA WYTWÓRCZEGO ENERGII ELEKTRYCZNEJ W  
POLSCE**
- 3. ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ ŹRÓDEŁ WYTWÓRCZYCH W KRAJOWYM  
SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM**
- 4. MAPA DROGOWA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ŹRÓDEŁ  
WYTWÓRCZYCH W KSE**
- 5. WNIOSKI**

# KRYTERIA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ŹRÓDEŁ WYTWÓRCZYCH W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

- Zapewnienie bezpiecznej pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego,
- Zapewnienie dostępności taniej energii elektrycznej, sprzyjającej ekonomicznemu rozwojowi Kraju,
- Zapewnienie optymalnego wykorzystania zasobów energii pierwotnej,
- Zapewnienie ochrony środowiska i przeciwdziałanie zmianom klimatycznym.
- Zapewnienie równowagi między celami ochrony środowiska, kosztami wytwarzania energii elektrycznej i bezpieczeństwem jej dostawy.

# **MOC ZAINSTALOWANA ELEKTROWNI W POLSCE WEDŁUG STANU NA 31.12.2017**

<b>Rodzaj źródła wytwórczego</b>	<b>Liczba bloków</b>	<b>Elektryczna moc zainstalowana [MW]</b>
<b>Bloki parowe na parametry nadkrytyczne opalane węglem kamiennym</b>	<b>2</b>	<b>1 571,8</b>
<b>Bloki parowe na parametry nadkrytyczne opalane węglem brunatnym</b>	<b>2</b>	<b>1 322,0</b>
<b>Bloki parowe na parametry podkrytyczne opalane węglem kamiennym</b>	<b>64</b>	<b>13 964,0</b>
<b>Bloki parowe na parametry podkrytyczne opalane węglem brunatnym</b>	<b>27</b>	<b>7 325,8</b>
<b>Bloki parowe na parametry podkrytyczne opalane gazem koksowniczym</b>	<b>3</b>	<b>165,0</b>

# **MOC ZAINSTALOWANA ELEKTROWNI W POLSCE WEDŁUG STANU NA 31.12.2017**

<b>Rodzaj źródła wytwórczego</b>	<b>Liczba bloków</b>	<b>Elektryczna moc zainstalowana [MW]</b>
<b>Bloki parowe na parametry podkrytyczne opalane biomasą</b>	<b>4</b>	<b>385,0</b>
<b>Elektrownie wodne przepływowe</b>	<b>ok. 440</b>	<b>983,0</b>
<b>Elektrownie wodne przepływowe</b>	<b>9</b>	<b>1 337,0</b>
<b>Elektrownie wiatrowe</b>	<b>ok. 2500</b>	<b>5 829,8</b>
<b>Elektrownie fotowoltaiczne</b>		<b>326,1</b>
<b>Razem</b>		<b>33 209,5</b>

# **ELEKTRYCZNA MOC ZAINSTALOWANA ELEKTRO- CIEPŁOWNI W POLSCE WEDŁUG STANU NA 31.12.2016**

<b>Rodzaj źródła wytwórczego</b>	<b>Liczba bloków</b>	<b>Elektryczna moc zainstalowana [MW]</b>
<b>Ciepłownicze bloki parowe opalane węglem kamiennym w elektrociepłowniach zawodowych</b>	<b>154</b>	<b>5 115,4</b>
<b>Ciepłownicze bloki parowe opalane węglem kamiennym w elektrociepłowniach przemysłowych</b>	<b>100</b>	<b>1 658,3</b>
<b>Ciepłownicze bloki parowe średniej mocy opalane biomasą</b>	<b>5</b>	<b>251,5</b>
<b>Ciepłownicze bloki gazowo-parowe opalane gazem ziemnym</b>	<b>10</b>	<b>1476,6</b>
<b>Ciepłownicze bloki gazowe z turbinami gazowymi w obiegu prostym opalane gazem ziemnym</b>	<b>16</b>	<b>193,7</b>
<b>Ciepłownicze bloki gazowe z silnikami gazowymi opalane gazem ziemnym</b>	<b>55</b>	<b>124,7</b>

## **ELEKTRYCZNA MOC ZAINSTALOWANA ELEKTRO- CIEPŁOWNI W POLSCE WEDŁUG STANU NA 31.12.2016**

<b>Rodzaj źródła wytwórczego</b>	<b>Liczba bloków</b>	<b>Elektryczna moc zainstalowana [MW]</b>
<b>Ciepłownicze bloki gazowe z silnikami gazowymi opalane gazem z odmetanowania kopalń</b>	<b>35</b>	<b>78,4</b>
<b>Ciepłownicze bloki gazowe z silnikami gazowymi opalane biogazem</b>	<b>305</b>	<b>238,4</b>
<b>Ciepłownicze bloki parowe małej mocy opalane biomasą</b>	<b>5</b>	<b>21,4</b>
<b>Ciepłownicze bloki ORC (Organic Rankine Cycle) opalane biomasą</b>	<b>4</b>	<b>5,5</b>
<b>Ciepłownicze bloki parowe opalane odpadami komunalnymi</b>	<b>6</b>	<b>48,7</b>
<b>Razem</b>	<b>695</b>	<b>9 212,6</b>

## WYMAGANE NOWE MOCE JWCD W LATACH 2020 - 2035

Wielkość	Lata	2020	2025	2030	2035
Prognozowane zużycie brutto energii elektrycznej [TWh]		179,1	190,7	202,4	215,2
Prognozowane obciążenie KSE w szczycie zimowym [GW]		28,0	30,3	32,7	35,2
Przewidywane obciążenie KSE w szczycie letnim [GW]		24,8	27,5	30,5	32,7
Planowane wycofania z ruchu JWCD [GW]		2,2	2,6	5,1	13,3
Planowana budowa nowych JWCD (parowych opalanych węglem i gazowo-parowych opalanych gazem ziemnym [GW]		3,8	5,8	5,8	5,8
Prognozowana moc JWCD po wycofaniach i zbudowaniu planowanych nowych JWCD [GW]		27,7	29,3	26,8	18,6
Prognozowana moc źródeł rozproszonych (nJWCD) [GW]		15,9	20,2	24,6	30,3
Wymagane nowe moce JWCD [GW]				3,0	6,0

# WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ ELEKTROWNI SYSTEMOWYCH

Lp	Technologia	Sprawność brutto [%]	Jednostkowa emisja CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> /kWh]
1	Blok parowy na parametry nadkrytyczne opalany węglem brunatnym	47	0,868
2	Blok parowy na parametry nadkrytyczne opalany węglem kamiennym	48	0,685
3	Blok gazowo-parowy opalany gazem ziemnym	61	0,324
4	Blok jądrowy z reaktorem PWR III generacji	37	



# WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ ELEKTROWCIĘPŁOWNI DUŻEJ I ŚREDNIEJ MOCY

Lp	Technologia	Sprawność wytwarzania energii elektrycznej [%]	Sprawność wytwarzania ciepła [%]	Oszczędność energii pierwotnej [%]	Jednostkowa emisja CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kWh]
1	Ciepłowniczy blok parowy na parametry nadkrytyczne opalany węglem kamiennym	38,62	40,8	25,45	0,540
2	Ciepłowniczy blok gazowo-parowy z 3-ciśnieniowym kotłem odzysknicowym i międzystopniowym przegrzewaniem pary opalany gazem ziemnym	55,61	25,98	16,69	0,274
3	Ciepłowniczy blok gazowo-parowy z 2-ciśnieniowym kotłem odzysknicowym opalany gazem ziemnym	48,56	32,52	12,41	0,288

## WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ ELEKTROWCIEPŁOWNI DUŻEJ I ŚREDNIEJ MOCY

Lp	Technologia	Sprawność wytwarzania energii elektrycznej [%]	Sprawność wytwarzania ciepła [%]	Oszczędność energii pierwotnej [%]	Jednostkowa emisja CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kWh]
4	Ciepłowniczy blok gazowo-parowy z 1-ciśnieniowym kotłem odzysknicowym	43,80	36,25	10,31	0,294
5	Ciepłowniczy blok parowy średniej mocy opalany węglem	30,52	40,36	10,49	0,613
6	Ciepłowniczy blok parowy średniej mocy opalany biomasą	29,8	41,50	27,00	

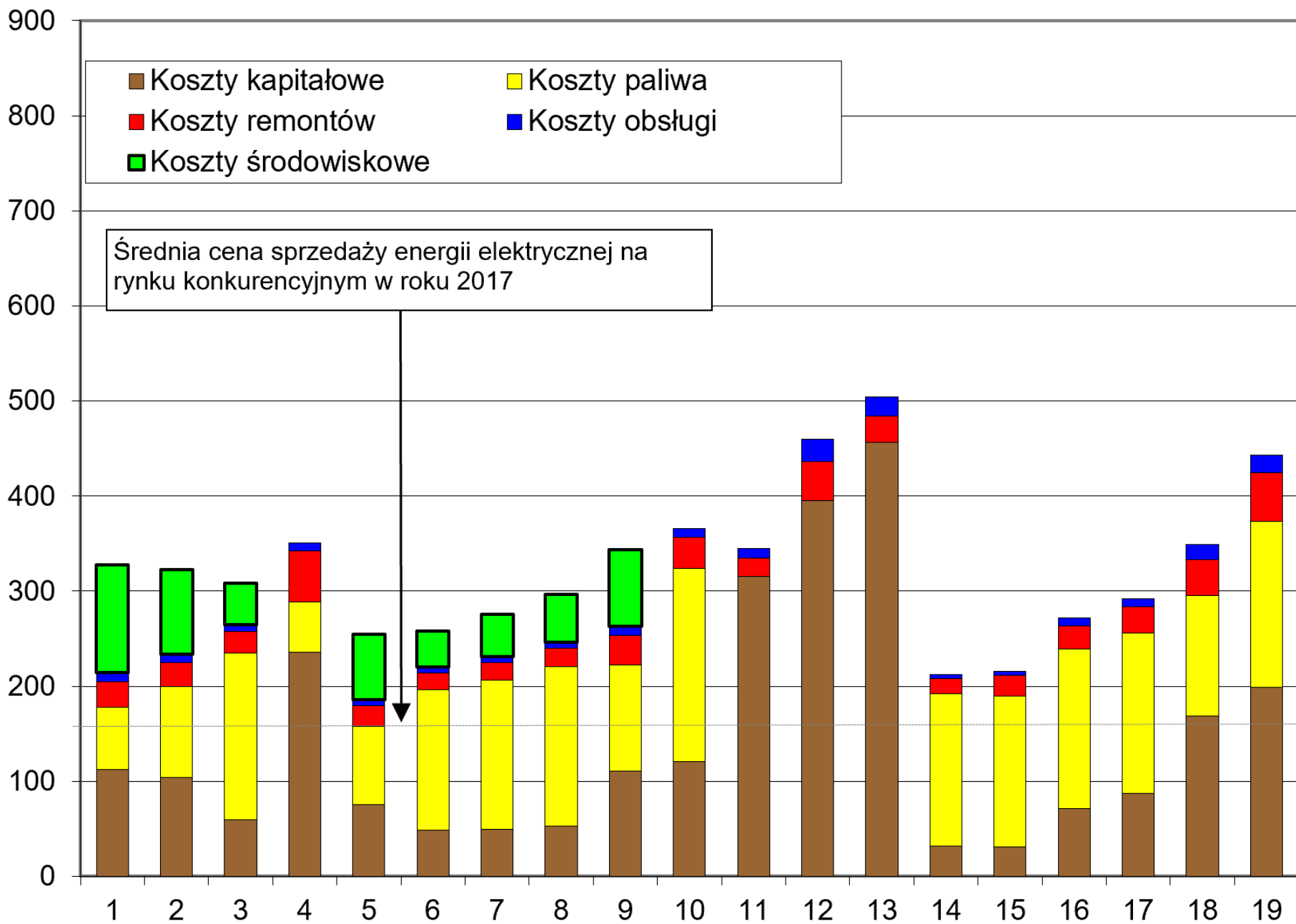
## **WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ ELEKTROWCIEPŁOWNI MAŁEJ MOCY**

<b>Lp</b>	<b>Technologia</b>	<b>Sprawność wytwarzania energii elektrycznej [%]</b>	<b>Sprawność wytwarzania ciepła [%]</b>	<b>Oszczędność energii pierwotnej [%]</b>
<b>1</b>	<b>Ciepłowniczy blok gazowy z silnikiem gazowym opalany gazem ziemnym</b>	<b>42,50</b>	<b>40,50</b>	<b>20,60</b>
<b>2</b>	<b>Ciepłowniczy blok gazowy z turbiną gazową pracującą w obiegu prostym opalany gazem ziemnym</b>	<b>32,01</b>	<b>53,80</b>	<b>17,18</b>
<b>3</b>	<b>Ciepłowniczy blok ORC opalany biomasą</b>	<b>14,14</b>	<b>68,36</b>	<b>18,25</b>

## **WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ ELEKTROWCIEPŁOWNI MAŁEJ MOCY**

<b>Lp</b>	<b>Technologia</b>	<b>Sprawność wytwarzania energii elektrycznej [%]</b>	<b>Sprawność wytwarzania ciepła [%]</b>	<b>Oszczędność energii pierwotnej [%]</b>
<b>4</b>	<b>Ciepłowniczy blok parowy opalany biomasa</b>	<b>18,45</b>	<b>64,00</b>	<b>23,27</b>
<b>5</b>	<b>Ciepłowniczy blok gazowy zintegrowany z biologiczną konwersją energii biomasy</b>	<b>26,00</b>	<b>31,00</b>	<b>12,92</b>
<b>6</b>	<b>Ciepłowniczy blok gazowy zintegrowany ze zgazowaniem biomasy</b>	<b>30,59</b>	<b>52,53</b>	<b>34,97</b>

[zł/MWh]



## **MAPA DROGOWA ZROWNOWAŻONEGO ROZWOJU ŹRÓDEŁ WYTWÓRCZYCH W KSE**

Rodzaj paliwa (energii odnawialnej)	Moc elektrowni i elektrociepłowni oraz produkcja energii elektrycznej i jej struktura paliwowa w roku								
	2020			2030			2035		
	GW	TWh	%	GW	TWh	%	GW	TWh	%
Węgiel kamienny i brunatny	30,5	139,6	78,0	28,4	132,4	65,5	22,5	118,7	55,1
Paliwo jądrowe	-	-	-	1,5	11,7	5,8	3,0	23,4	10,9
Gaz ziemny	2,8	12,6	7,0	3,8	16,3	8,0	4,5	19,8	9,2
Biomasa i biogaz	1,3	7,3	4,1	3,0	12,4	6,1	3,7	16,2	7,5
Woda	2,3	2,5	1,4	2,4	2,6	1,3	2,5	2,7	1,3
Wiatr	6,8	15,9	8,9	9,9	23,5	11,6	12,8	29,0	13,5
Słońce	1,11	1,0	0,6	3,6	3,5	1,7	5,6	5,4	2,5
<b>Razem</b>	<b>45,0</b>	<b>178,9</b>	<b>100,0</b>	<b>52,6</b>	<b>202,4</b>	<b>100,0</b>	<b>54,6</b>	<b>215,2</b>	<b>100,0</b>

## **WNIOSKI**

**1. Zobowiązania Polski w ramach Porozumienia klimatycznego (paryskiego) oraz w ramach decyzji Rady Europejskiej z października 2014 r. stanowią poważne wyzwanie dla polskiej elektroenergetyki w zakresie paliwowej i technologicznej transformacji źródeł wytwórczych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE). Transformacja ta powinna doprowadzić do takiej zmiany struktury wykorzystywanej energii pierwotnej do produkcji energii elektrycznej, aby w 2030 roku było możliwe osiągnięcie redukcji emisji CO<sub>2</sub> o 40%, w porównaniu do emisji w 1990 roku. Oznacza to, że produkcja energii elektrycznej w Polsce w 2030 roku powinna w około 35% odbywać się w źródłach bezemisyjnych, przy jednoczesnym wzroście do około 8% udziału gazu ziemnego w tej produkcji.**

Tak dużego wzrostu udziału źródeł bezemisyjnych w produkcji energii elektrycznej nie będą w stanie zapewnić jednostki wytwórcze wykorzystujące OZE, głównie ze względu na bezpieczeństwo pracy KSE. Dlatego w 2030 roku w KSE powinien znaleźć się również drugi rodzaj bezemisyjnych źródeł wytwórczych, ale charakteryzujący się ciągłością pracy, w postaci elektrowni jądrowych, które mogą pełnić w KSE funkcję Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (JWCD). Nadrzędnym kryterium technologicznej transformacji źródeł wytwórczych w KSE, obok zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>, musi być bowiem zapewnienie bezpieczeństwa jego pracy. Dlatego bardzo ważnym wyzwaniem potrzebnej transformacji technologicznej źródeł wytwórczych w KSE jest transformacja paliwowa JWCD, które w decydującym stopniu odpowiadają za bezpieczeństwo pracy KSE. Obecnie w całkowitej mocy JWCD 91,7% stanowi moc bloków parowych opalanych węglem.



**Planowane wycofania z ruchu JWCD, w postaci kondensacyjnych bloków parowych opalanych węglem oraz prognozowany wzrost obciążenia KSE, mimo budowanych nowych JWCD, w postaci bloków parowych na parametry nadkrytyczne opalanych węglem (Opole 5 i 6, Jaworzno, Turów i Ostrołęka) oraz kogeneracyjnych bloków gazowo-parowych dużej mocy (Płock, Stalowa Wola i Żerań) spowodują, przed 2030 rokiem, deficyt mocy JWCD i potrzebę włączenia do KSE nowych jednostek wytwórczych tego typu. Skromne krajowe zasoby gazu ziemnego, ograniczone jego zasoby światowe, brak w pełni liberalnego rynku międzynarodowego tego paliwa oraz wysoka cena jednostki jego energii (około 30 zł/GJ) nie pozwalają przyjąć gazu ziemnego, w perspektywie długoterminowej, jako paliwa strategicznego dla niskoemisyjnych, kondensacyjnych bloków gazowo-parowych, jako JWCD, mających zapewnić bezpieczną pracę KSE.**

**Jak stwierdzono już wyżej powinny to być bezemisyjne bloki jądrowe, uzupełnione niskoemisyjnymi, kogeneracyjnymi blokami gazowo-parowymi opalanymi gazem ziemnym. Ze względów czasowych do 2030 roku może być zbudowany tylko jeden blok jądrowy o mocy około 1,5 GW, a do 2035 roku bloki jądrowe o łącznej mocy około 3 GW. Ważnym problemem warunkującym rozwój energetyki jądrowej w Polsce, obok akceptacji społecznej, jest ich efektywność ekonomiczna. Należy jednak podkreślić, że jednostkowe, zdyskontowane na 2018 rok, koszty wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych są porównywalne z kosztami wytwarzania energii elektrycznej w źródłach wykorzystujących OZE, a w elektrowniach parowych opalanych węglem, koszty te, z kosztami uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>, zbliżają się do kosztów w elektrowniach jądrowych.**

**Jednak skala finansowa przedsięwzięcia inwestycyjnego związanego z budową elektrowni jądrowej wymaga zaangażowania Państwa, w postaci rządowych gwarancji cen zakupu energii elektrycznej (kontraktu różnicowego), w wysokości około 350 zł/MWh, szczególnie w pierwszym okresie eksploatacji elektrowni jądrowej, gdy koszty wytwarzania energii elektrycznej mogą być jeszcze wyższe od jej ceny na rynku konkurencyjnym.**

**2. W Polsce w szerokim zakresie powinny być rozwijane technologie skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, gdyż jest to skuteczny sposób na uzyskanie oszczędności energii pierwotnej i obniżenie emisji CO<sub>2</sub> oraz obniżenie kosztów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Obecnie przeważającą część jednostek kogeneracyjnych, o łącznej mocy 6773,7 MW (73,8%), stanowią ciepłownicze bloki parowe opalane węglem, o stosunkowo niskiej efektywności energetycznej i wysokiej emisyjności CO<sub>2</sub>. Dlatego w tej grupie jednostek wytwórczych, podobnie jak w przypadku JWCD, potrzebna jest transformacja paliwowa i technologiczna. W miejskich i przemysłowych systemach ciepłowniczych obecnie tylko 52,56 % ciepła systemowego jest wytwarzane w kogeneracji. W referacie**

założono, że w 2035 roku wielkość ta powinna uzyskać wartość 65%, a w 2050 roku 75%, aby systemy ciepłownicze w Polsce mogły uzyskać status systemów efektywnych energetycznie. Dla jednostek kogeneracyjnych, punktu widzenia możliwości budowy, różnej mocy elastycznych układów technologicznych o wysokiej efektywności energetycznej i ekonomicznej oraz niskiej emisyjności CO<sub>2</sub>, w chwili obecnej i przez najbliższe trzydzieści lat najlepszym paliwem jest gaz ziemny. Dla systemów ciepłowniczych dużej mocy perspektywicznymi jednostkami kogeneracyjnymi, charakteryzującymi się wysoką efektywnością energetyczną i ekonomiczną oraz niską emisyjnością CO<sub>2</sub>, są ciepłownicze bloki gazowo-parowe, z 3-ciśnieniowym kotłem odzysknicowym i międzystopniowym przegrzewaniem pary, a dla systemów ciepłowniczych średniej mocy ciepłownicze bloki gazowo-parowe, z 2-ciśnieniowym i 1-ciśnieniowym kotłem odzysknicowym.

Wśród technologii możliwych do zastosowania w skojarzonych źródłach małej mocy (kogeneracyjnych źródłach rozproszonych) najniższymi kosztami wytwarzania energii elektrycznej, zdyskontowanymi na 2018 rok, charakteryzują się kogeneracyjne źródła małej mocy opalane gazem ziemnym, z silnikami gazowymi i z turbinami gazowymi małej mocy pracującymi w obiegu prostym, o nominalnej mocy w paliwie nie przekraczającej 20 MW, które nie są zobowiązane do zakupu uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>.

**3. Koszty wytwarzania energii elektrycznej w źródłach rozproszonych, wykorzystujących odnawialne źródła energii, są wysokie. Tylko system aukcji, z gwarantowanymi cenami zakupu energii elektrycznej przez okres 15 lat może zapewnić im opłacalność i kontrolowany rozwój. Dojrzałość technologiczną uzyskały dotychczas technologie wykorzystujące energię wiatru, wody i słońca. Pełną dojrzałość komercyjną uzyskały lądowe elektrownie wiatrowe, dla których jednostkowe koszty wytwarzania energii elektrycznej wynoszą obecnie ok. 340 zł/MWh.**

**4.** W dziedzinie wykorzystania biomasy w źródłach rozproszonych sytuacja jest złożona. Dojrzałość komercyjną uzyskały wyłącznie technologie wykorzystujące spalanie biomasy w elektrociepłowniach parowych małej mocy i ORC (*Organic Rankine Cycle*) oraz częściowo technologia wykorzystująca biologiczną konwersję energii chemicznej biomasy. Charakteryzują się one jednak niską efektywnością energetyczną i w związku z tym dość wysokimi kosztami wytwarzania. Dla uzyskania przez nie względnie wysokiej efektywności ekonomicznej jest konieczne zapewnienie im pracy w trybie pełnej kogeneracji, przy długim czasie wykorzystania zainstalowanej mocy elektrycznej i cieplnej w skojarzeniu.



**5. Wśród technologii wykorzystujących odnawialne źródła najwyższymi kosztami wytwarzania energii elektrycznej charakteryzują się obecnie elektrownie fotowoltaiczne małej mocy (ok. 510 zł/MWh). Opłacalność przedsięwzięć inwestycyjnych związanych z budową tego typu źródeł wytwórczych, o mocy do 50 kW, obecnie można uzasadnić, stosując rachunek kosztów unikniętych, w przypadku gdy wytwarzana w nich energia elektryczna będzie zużywana przez producenta (prosumenta). Założono, że po przewidywanym w najbliższej przyszłości spadku wysokości nakładów inwestycyjnych na budowę elektrowni fotowoltaicznych ich moc zainstalowana w Polsce do roku 2035, w źródłach małej i średniej mocy, może osiągnąć poziom powyżej 5 GW.**

**6. Zrealizowanie, z pewnym przybliżeniem, w okresie najbliższych siedemnastu lat, przedstawionej mapy drogowej rozwoju źródeł wytwórczych w KSE (tab.), pozwoliłoby na istotną poprawę dywersyfikacji struktury źródeł energii pierwotnej, wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej w Polsce oraz znaczne zwiększenie udziału źródeł rozproszonych w tej produkcji, przy zapewnieniu bezpieczeństwa pracy KSE. Taki program inwestycyjny pozwoliłby na zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> oraz zwiększenie udziału OZE w produkcji energii elektrycznej przez polską elektroenergetykę. Byłoby to w przybliżeniu zgodne z decyzjami Rady Europejskiej z października 2014 roku, w zakresie redukcji emisji CO<sub>2</sub> i zwiększenia udziału OZE w produkcji energii elektrycznej w państwach członkowskich UE.**

**7. Należy podkreślić, że transformacja paliwowa i technologiczna źródeł wytwórczych w KSE jest procesem kapitało i czasochłonnym. Dlatego musi być rozłożona w czasie. Podstawowym warunkiem jej powodzenia jest stopniowy wzrost ceny energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym. Dlatego taka transformacja musi być dokładnie zaprogramowana, z uwzględnieniem czynników technologicznych, ekonomicznych, ekologicznych i społecznych.**

**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ.**

[boleslaw.zaporowski@put.poznan.pl](mailto:boleslaw.zaporowski@put.poznan.pl)