



Od węgla do paliw niskoemisyjnych i alternatywnych: praktyczne ścieżki konwersji jednostek energetycznych



Mariola Kobylańska-Pawlisz

Grzegorz Werner

„Energopomiar” Sp. z o.o.

Sepetna, 8 wrzesień 2026

Lp.	Zagadnienie
1.	Kontekst transformacji energetycznej ciepłownictwa i energetyki węglowej
2.	Ścieżki konwersji jednostek węglowych – przegląd technologii
3.	Kryteria techniczne, środowiskowe i ekonomiczne wyboru ścieżki
4.	Studium przypadku: konwersja na gaz ziemny
5.	Studium przypadku: konwersja na biomasę i RDF
6.	Studium przypadku: konwersja na biomasę
7.	Studium przypadku: współspalanie amoniaku
8.	Porównanie ścieżek konwersji i czynniki decydujące o wykonalności
9.	Podsumowanie i wnioski

PRESJA REGULACYJNA

- RED III: udział OZE i ciepła odpadowego w ciepłownictwie ma rosnać o 2,3 pp rocznie
- 2025: ponad 33% OZE w ciepłownictwie systemowym (cel wiążący); 2040: 40%
- EED III (status ESC): do 2027 wymaga 75% udziału kogeneracji gazowej/RDF w cieple, 2028–2034 – 80%, a od 2035 żadne paliwo kopalne nie może być źródłem ciepła w ESC
- ETS2 od 2027 r.: opłata emisyjna rzędu 45 EUR/t CO₂ obejmie także mniejsze ciepłownie

PRESJA RYNKOWA I KOSZTOWA

- Malejące wsparcie i rosnące koszty emisji CO₂ dla jednostek węglowych
- Zmienne ceny paliw wynikające z uwarunkowań geopolitycznych
- Rosnąca presja na dywersyfikację źródeł i paliw w portfelu wytwórczym

CEL: BEZPIECZNA DEKARBONIZACJA

- Skok od razu z węgla do zeroemisyjnych OZE bywa nierealny w krótkiej perspektywie dla wielu obiektów
- Racjonalna ścieżka jest to ścieżka: etapowa, technicznie i ekonomicznie uzasadniona konwersja przejściowa
- Gaz, biomasa, RDF i amoniak jako pomost do technologii niskoemisyjnych i zeroemisyjnych

Ścieżki konwersji jednostek węglowych – przegląd technologii



Czy istniejący kocioł węglowy można dostosować do spalania / współspalania gazu, biomasy, RDF lub amoniaku?

MOŻLIWOŚĆ KONWERSJI KOTŁA WĘGLOWEGO	REKOMENDACJA	KLUCZOWE UWAGI
w kierunku gazu	Tak	Najprostsza do wykonania konwersja; zakres oczyszczania spalin ogranicza się do kontroli emisji NO _x
w kierunku biomasy	Tak	Wymaga przeróbek w kotle, zazwyczaj obniżona wydajność cieplna kotła. System oczyszczania spalin zwykle prostszy i tańszy w eksploatacji; największe wyzwanie to magazynowanie i podawanie paliwa
w kierunku paliw alternatywnych z odpadów (RDF)	Tak: kotły fluidalne Nie: kotły pyłowe	Wymaga dużego zakresu przeróbek w kotle i rozbudowy systemu oczyszczania spalin oraz spełnienia wymogów $\geq 850^{\circ}\text{C}$ / ≥ 2 s
współspalanie amoniaku	Tak – technologia rozwojowa	Modernizacja palników i układu podawania powietrza; nowa infrastruktura magazynowania i rozładunku NH ₃ ; ograniczona dziś dostępność „zielonego”/„niebieskiego” amoniaku

Kryteria decydujące o wykonalności ścieżki konwersji



TECHNICZNE

- Zakres modernizacji kotła, palników i powierzchni ogrzewalnych
- Minimum techniczne i sprawność bloku po konwersji
- Czas postoju bloku niezbędny do przeprowadzenia prac

PALIWO I LOGISTYKA

- Lokalny rynek biomasy/RDF, dostęp do sieci gazowej lub kolei dla amoniaku – silnie zależne od lokalizacji obiektu, ciągłość dostaw
- Wymagana powierzchnia i sposób magazynowania

ŚRODOWISKOWE

- Możliwość adaptacji istniejącej instalacji oczyszczania spalin ogranicza CAPEX i skraca czas realizacji
- Skala redukcji emisji CO₂ oraz zanieczyszczeń powiązanych z BAT

FORMALNO-PRAWNE

- Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach (DŚU: KIP lub ROŚ)
- Zmiana pozwolenia zintegrowanego i pozwolenia wodnoprawnego
- Klasyfikacja zakładu (np. ZZR/ZDR) dla substancji niebezpiecznych

EKONOMICZNE

- Relacja CAPEX do osiągniętej redukcji CO₂ w kontekście rosnących kosztów uprawnień w systemie ETS
- Harmonogram realizacji i czas zwrotu

Studium przypadku: konwersja kotła węglowego na gaz



Przykład: kocioł OP-650, blok klasy 200 MWe – kocioł pyłowy, wiszący, walczakowy, dwuciągowy, pierwotnie opalany węglem

ZAKRES PRAC PODSTAWOWYCH

- Zabudowa niskoemisyjnych palników gazowych w miejsce palników węglowych ($\text{NO}_x \leq 100 \text{ mg/m}_{\text{USR}}^3$)
- Zabudowa instalacji gazowej dla kotła i przypalnikowych węzłów gazowych
- Adaptacja kanałów gorącego powietrza do spalania
- Zabudowa instalacji recyrkulacji spalin do komory paleniskowej
- Opcjonalnie: nowy emitor za wentylatorami ciągu spalin
- Prace uzupełniające: instalacja grzania walczaka, wzmocnienie elementów grubościennych – skracają rozruch ze stanu zimnego nawet do ok. 4 h

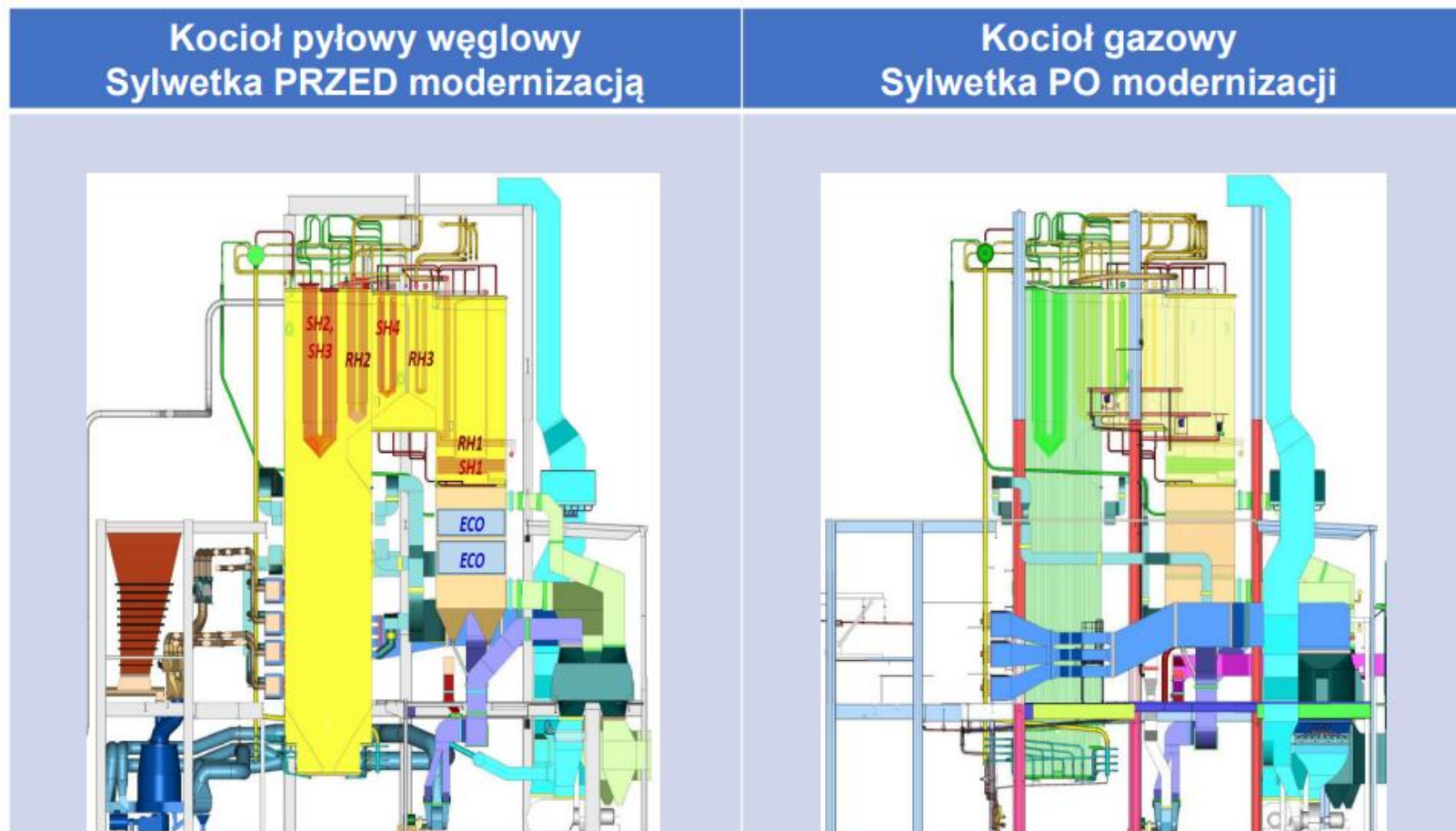
UPROSZCZENIE INSTALACJI OCZYSZCZANIA SPALIN

- Odpylanie (elektrofiltr) i odsiarczanie (IOS) – ten zakres nie występuje przy spalaniu gazu
- Odazotowanie (SCR/SNCR) – do indywidualnej analizy w zależności od wymagań emisyjnych
- Prace demontażowe: pyłoprzewody, palniki pyłowe, kanały powietrza wtórnego, elektrofiltr i jego instalacja elektryczna oraz odprowadzenia popiołu
- Uwolnienie powierzchni dotychczasowego składowiska węgla
- Zmniejszenie poboru mocy na potrzeby własne bloku o ok. 40–50%

Studium przypadku: konwersja kotła węglowego na gaz



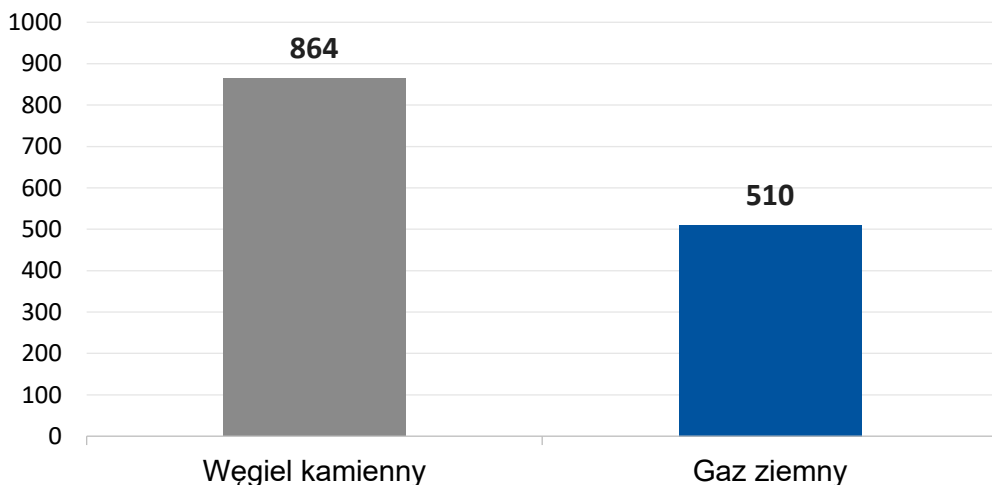
Przykład: kocioł OP-650, blok klasy 200 MWe – kocioł pyłowy, wiszący, walczakowy, dwuciągowy, pierwotnie opalany węglem



Konwersja na gaz – efekty i porównanie z nowymi jednostkami



Emisja CO₂ dla bloku 200 MWe – węgiel vs. gaz



do 200 mln PLN

szacowany CAPEX konwersji kotła klasy 650 t/h (200 MWe)

18 mies.

orientacyjny czas realizacji całości inwestycji

6–8 mies.

postój bloku na czas modernizacji kotła

Źródło: obliczenia cieplne kotła dla bloku 200 MWe (864 g/kWh dla węgla; 505–522 g/kWh netto dla gazu, w zależności od obciążenia)

Parametr	Blok węglowy po konwersji na gaz	Nowy blok gazowo-parowy CCGT	Nowy blok gazowy OCGT/TG
Czas realizacji [mies.]	18	36–57	36–57
Sprawność [%]	min. 37	60–62	40
Emisja CO ₂ [gCO ₂ /kWh]	505–550	320–330	<550
Nakłady [mln PLN/MWe]	0,45–0,90	2,71–6,44	2,15
Czas użytkowania [lata]	>10	30	30

CEL I PRZEDMIOT ANALIZY

- 2 kotły fluidalne OFz-425 (336,3 MWt każdy, sprawność 91%)
- Cel: redukcja emisji CO₂ poniżej 450 kgCO₂/MWh, zgodnie z celami Planu Neutralności Klimatycznej do 2050 r. (rozporządzenie UE 2021/1119)

Wariant I

- Współspalanie: 40% węgla / 60% biomasy energetycznie
- Maksymalna wydajność kotła po modernizacji ograniczona do 85%
- Najmniejszy zakres modernizacji spośród trzech wariantów

Wariant II

- Spalanie 100% biomasy w warstwie fluidalnej
- Maksymalna wydajność kotła po modernizacji ograniczona do 80%
- Całkowita zmiana układu podawania paliwa, wymiana dysz fluidyzacyjnych i obmurza

Wariant III

- Współspalanie: 60% biomasy / 40% RDF energetycznie
- Najbardziej zaawansowany technologicznie – wydajność ograniczona do 80%
- Wymaga najszerszego zakresu modernizacji instalacji kotłowej i oczyszczania spalin

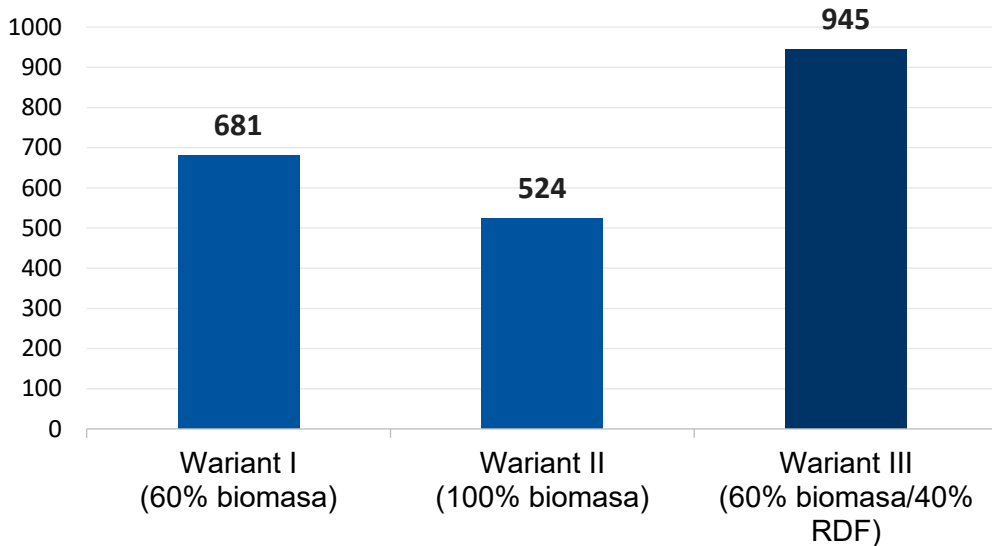
ZAKRES MODERNIZACJI KOTŁÓW

- Nowy układ rozładunku, magazynowania i podawania biomasy / RDF (place składowe, przesiewanie, separacja zanieczyszczeń, zabezpieczenia ppoż. i ATEX)
- Wymiana dysz fluidyzacyjnych i obmurza komory paleniskowej
- Kanały obejściowe (by-pass) dla podgrzewacza wody i podgrzewacza powietrza
- Wariant III dodatkowo: demontaż wewnętrznych przegrzewaczy SH-2/RH-2 i zastąpienie zewnętrznymi wymiennikami (ograniczenie ryzyka korozji chlorowej)

OCZYSZCZANIE SPALIN, PALIWO I LOGISTYKA

- Instalacja oczyszczania spalin metodą półsuchą (IOS) – redukcja SO_x, HCl, HF i pyłu
- Wariant III dodatkowo: instalacja niekatalitycznej redukcji NO_x (SNCR)
- Zbadano lokalny rynek dostaw RDF: normy jakościowe, potencjał dostaw i analiza cenowa
- Bufor magazynowy paliwa i harmonogram dostaw transportem kolejowym i drogowym dopasowany do wariantu konwersji

Szacowany CAPEX modernizacji wg wariantu



Rekomendacja: Wariant III

- Jedyne wariant osiągnący dodatnie NPV₂₀₅₀ w scenariuszu bazowym (221,5 mln PLN) i optymistycznym, przy założeniu sprzedaży ubocznych produktów spalania jako produktu handlowego
- Realizuje cel redukcji CO₂ poniżej 450 kgCO₂/MWh i dywersyfikuje portfel paliwowy (biomasa + RDF)
- Kluczowe ryzyka: klasyfikacja odpadów paleniskowych (niebezpieczne / nie), zmienność cen energii elektrycznej, biomasy i uprawnień do emisji CO₂

Studium przypadku – konwersja kotła OP-140 na technologię BFB



CEL I PRZEDMIOT ANALIZY

- Konwersja kotła OP-140 na technologię złoża fluidalnego pęcherzykowego (BFB) opalanego biomasą

Stan istniejący

- Kocioł OP-140, opalany węglem kamiennym, 102 MWt / 140 t/h pary
- Instalacje pomocnicze (elektrofiltr, układ podawania paliwa) zaprojektowane pierwotnie wyłącznie pod spalanie węgla
- Rosnące koszty uprawnień do emisji CO₂ i ograniczona dostępność węgla wymuszają zmianę struktury paliwowej zakładu

Stan po konwersji

- Konwersja kotła pyłowego na technologię BFB okazała się technicznie wykonalna
- Wykorzystano istniejącą infrastrukturę oczyszczania spalin
- Wykorzystano biomasę odpadową (kora, zrębki, osady)
- Rozbudowano plac do magazynowania biomasy
- W celu transportu biomasy do kotła wykorzystano w dużej mierze istniejące podajniki węglowe.

CEL I PRZEDMIOT ANALIZY

- Odpowiedź na unijną politykę klimatyczną (Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2021/1119)
- Redukcja CO₂ poziomu ≤ 550 g CO₂/kWh
- Utrzymanie dyspozycyjności i zdolności produkcyjnych

ZAKRES ANALIZY

- Ocena technologii współspalania amoniaku na blokach energetycznych
- Analiza logistyki i rynku dostaw
- Rozwiązania techniczne dla bloków klasy 200 MW, 500 MW oraz 1000MW
- Wykorzystanie i rozbudowa istniejącej infrastruktury
- Bariery formalno-prawne i środowiskowe
- Koszty CAPEX
- Harmonogram działań i rekomendacje

RODZAJE AMONIAKU I CENY RYNKOWE

- Amoniak szary (ze steam-reformingu gazu, bez wychwytu CO₂): ok. 95% rynku, ok. 1647,1 PLN/t
- Amoniak niebieski (produkcja z wychwytem i składowaniem CO₂): ok. 4,5% rynku, ok. 1841,7 PLN/t
- Amoniak zielony (elektroliza z OZE): ok. 0,5% rynku, ok. 3172,97 PLN/t
- Dominujący dziś udział amoniaku szarego ogranicza realny efekt dekarbonizacyjny współspalania bez rozwoju produkcji niskoemisyjnej

LOGISTYKA DOSTAW

- Transport wyłącznie koleją – operator PKP Cargo, brak realnej alternatywy dla skali wymaganych dostaw
- Dostawy morskie możliwe przez wybrane porty UE z terminalami przeładunkowymi amoniaku – dalszy transport kolejowy do elektrowni

MODERNIZACJA BLOKU

- Palniki dostosowane do współspalania amoniaku
- Modyfikacja układu wymiany ciepła i podawania powietrza do spalania
- Rozbudowa SCR (odazotowanie) pod podwyższony ładunek NO_x
- Dostosowanie elektrofiltru i IOS do zmienionego składu spalin
- Modernizacja układu wentylatorów i kanałów spalinowych

NOWA INFRASTRUKTURA NH_3

- zbiorniki dwupłaszczowe do magazynowania amoniaku
- Łączna pojemność magazynowa zapewniająca ok. 5-dniowy bufor przy pełnym obciążeniu
- Rozładunek kolejowy, rurociągi transportowe i stacja pomp dedykowane amoniakowi

BEZPIECZEŃSTWO

- Zagrożenia: pożarowe, wybuchowe (strefy ATEX), chemiczne (toksyczność NH_3) i środowiskowe
- Próg ZZR (zakład zwiększonego ryzyka): 50 Mg amoniaku
- Próg ZDR (zakład dużego ryzyka): 200 Mg amoniaku
- Skala magazynowania kwalifikuje instalację jako ZDR – wymóg pełnej dokumentacji bezpieczeństwa i systemu zarządzania ryzykiem

Porównanie ścieżek konwersji



KRYTERIUM	GAZ	BIOMASA / RDF	AMONIAK
Złożoność techniczna	Niska	Średnia / wysoka	Średnia
Zakres modernizacji IOS	Ograniczony	Znaczący	Ograniczony
Wyzwanie logistyczne	Niskie (gazociąg)	Wysokie (magazyn., transport)	Bardzo wysokie (kolej, ZDR)
Redukcja CO ₂	Częściowa (~40–45%)	Wysoka (biogeniczna)	Zależna od źródła NH ₃
Jednostkowy CAPEX	Najniższy	Średni / Wysoki	Średni
Czas realizacji	Najkrótszy (~18 mies.)	Średni	Średni
Dojrzałość technologii	Wysoka	Wysoka	Rozwojowa

WNIOSKI KOŃCOWE

- Nie istnieje jedna uniwersalna ścieżka konwersji – wybór technologii zależy od lokalizacji, stanu technicznego obiektu i dostępnej infrastruktury
- Gaz to najszybsza i najtańsza droga redukcji emisji, ale nie prowadzi do zeroemisyjności
- Biomasa i RDF pozwalają wykorzystać istniejące kotły fluidalne i instalacje oczyszczania spalin, wymagają jednak rozbudowanej logistyki paliwowej
- Amoniak to technologia rozwojowa dla dużych jednostek, dziś ograniczona dostępnością i ceną amoniaku niskoemisyjnego (zielonego/niebieskiego)
- Każda inwestycja wymaga odrębnego studium wykonalności obejmującego analizę techniczną, środowiskową, formalno-prawną i ekonomiczną



Dziękuję za uwagę

„Energopomiar” Sp. z o.o.
44-121 Gliwice, ul. Józefa Sowińskiego 3
sekretariat@energopomiar.com.pl
<https://energopomiar.com/>

