

Kogeneracja rozproszona oparta na lokalnych i odnawialnych źródłach energii. Mikrosiłownie kogeneracyjne małej mocy

Wprowadzenie

W obliczu ogólnopolskich problemów energetycznych, związanych ze stratami oraz awariami na liniach przesyłowych i dystrybucyjnych wraz ze wzrostem cen za energię elektryczną, jednostki badawcze poszukują pozasieciowych źródeł prądu. Jednocześnie, jeżeli weźmiemy pod uwagę fakt, że produkcja energii elektrycznej jest głównie skoncentrowana na południu kraju, zauważymy, iż szczególnie ważnym rozwiązaniem dla energetyki byłoby przeniesienie części tej produkcji do centralnej Polski. Rozwiązaniem dla tych i innych problemów jest kogeneracja rozproszona. Kogeneracja, czyli skojarzona gospodarka energetyczna (Combined Heat and Power — CHP), jest to proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowej energii cieplnej w elektrociepłowni. Zastosowanie kogeneracji daje duże oszczędności ekonomiczne i jest korzystne ze względów ekologicznych, gdyż powoduje mniejsze zużycie paliwa. Kogeneracja rozproszona polega na skojarzonym wytwarzaniu energii elektrycznej i cieplnej w układach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorców energii. Zaletą kogeneracji rozproszonej jest uniknięcie kosztów rozbudowy sieci cieplnej oraz redukcję strat ciepła związanych z jej eksploatacją. Dywersyfikacja źródeł energii zwiększa bezpieczeństwo energetyczne na obszarze jej stosowania¹.

Szczególne znaczenie dla energetyki regionu łódzkiego miałyby rozproszona produkcja energii elektrycznej i cieplnej wykorzystująca lokalne i odnawialne źródła energii (OZE). Zaliczamy do nich m. in. energię spadku wody, energię słoneczną, energię wiatru, biomasy, biogazu, tj. źródła, których używanie nie wiąże się z długotrwałym ich deficytem, a ich zasób odnawia się w krótkim czasie². Z OZE wiąże się niestety problem dostępności i niezawodności – np. małe nasłonecznienie, nieregularne wiatry. W związku z tym wysuwa się hipotezę, iż energia pozyskana w wyniku spalania biomasy lub biogazu zapewni największe bezpieczeństwo energetyczne. Jednocześnie nie dyskryminuje się innych odnawialnych źródeł energii, podkreślając konieczność dywersyfikacji. Siłownie i mikrosiłownie kogeneracyjne są rozwiązaniem technologicznym umożliwiającym konwersję energii cieplnej, wytworzonej w procesie spalania biomasy, na energię mechaniczną, która przekształcana jest w energię elektryczną. Obiegi siłowni są realizowane według procesów zachodzących w organicznym obiegu Clausiusa-Rankine'a (ORC). W projekcie przeprowadzone zostaną badania, analizy i konsultacje w zakresie siłowni małych mocy 2 — 8 kW. Proponowane rozwiązania mikrosiłowni CHP – ORC nie mają swoich odpowiedników w kraju. Za granicą znane są podobne instalacje, ale mają znacznie większe moce i również są w stanie badań prototypowych. Podobne kierunki badań są prowadzone w USA i niektórych krajach UE (np. w Wielkiej Brytanii), a według ocen wielu zagranicznych specjalistów — potencjalny rynek zbytu na tego typu urządzenia liczy się w milionach nabywców.

Cel projektu

Zasadniczym celem projektu jest opracowanie nowej technologii konwersji bioenergii cieplnej do użytecznej energii elektrycznej. Zaprojektowane rozwiązania stworzą podstawy dla budowy gniazd energetycznych, opartych na lokalnych zasobach odnawialnych źródeł energii, w tym zwłaszcza biomasy. Przyczynią się też do budowy kompleksów energetycznych i agroenergetycznych, które są najbardziej efektywną formą realizacji kogeneracji rozproszonej w małej skali [6].

Celem projektu, poza napisaniem szeregu artykułów i publikacji, jest też opracowanie rozwiązań technicznych dotyczących zasad działania urządzeń w skali przedprototypowej oraz modeli

teoretycznych i funkcjonalnych mikroturbogeneratorów i małej siłowni. Urządzenia te, wraz ze szczegółowymi procedurami nowych technologii, będą mogły być zainstalowane w gminach, powiatach i u odbiorców indywidualnych, zainteresowanych kogeneracją rozproszoną w małej skali.

Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego

Rezultaty tego projektu będą skonfrontowane z produktami rynku energii elektrycznej oraz rynku urządzeń do produkcji energii elektrycznej i paliw. Projekt dotyczy rozwiązań technicznych o stosunkowo niedużej skali, ale o dużym możliwym zasięgu zastosowań. Porównując proponowane tu przedsięwzięcia z istniejącymi, konwencjonalnymi rozwiązaniami w energetyce, uderza różnica skal. Gdy mówi się o mocy elektrycznej bloku w elektrowni lub elektrociepłowni zawodowej, to padają wielkości takie jak 50, 200, a nawet 500 MW. W proponowanym tu projekcie, mikrośiłownie mogą dawać od 2 do 8 kW elektrycznych mocy, czyli są to urządzenia o mocy mniejszej od 25 000 do 250 000 razy³. Innym, oprócz dużych mocy, wyróżnikiem tradycyjnej energetyki jest bardzo ograniczona liczba elektrowni (ok. 70 w całym kraju). Energetyka zawodowa w Polsce skoncentrowana jest głównie na południu kraju, a jej pewnym dopełnieniem są elektrociepłownie i ciepłownie ulokowane w miastach. Realizacja małych instalacji do produkcji prądu elektrycznego oraz geograficzne rozproszenie poprawią konkurencję na rynku energii, zyska więc cała gospodarka.

Identyfikacja odbiorców rezultatów proponowanego projektu

Odbiorcami rezultatów projektu będą trzy grupy podmiotów. Pierwszą będą stanowiły małe przedsiębiorstwa współpracujące przy realizacji prac badawczych. Drugą grupą będą przyszli użytkownicy mikrośiłowni, a trzecią — osoby, które znajdą zatrudnienie w wyniku powszechnego zastosowania kogeneracji rozproszonej. Według analiz ekonomicznych, odbiorców mikrośiłowni można szacować na dziesiątki tysięcy wśród małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych i ponad 100 tys. wśród średnich i dużych gospodarstw rolnych. Istnieje prawdopodobieństwo, że w przypadku masowej produkcji i niskiej ceny, układy kogeneracyjne małej mocy znajdą swoje zastosowanie w pojedynczych gospodarstwach domowych, a wtedy liczba potencjalnych odbiorców wzrośnie do kilku milionów.

W wyniku realizacji projektu ma szansę powstać duży i nowoczesny, a obecnie prawie nieistniejący, przemysł technologii dla małej energetyki. Współpraca naukowców z przedstawicielami przedsiębiorstw da tym ostatnim dostęp do nowoczesnej aparatury badawczej i wyników najnowszych badań, przez co zwiększy ich konkurencyjność na rynku. Oprócz przedsiębiorstw produkcyjnych beneficjentami projektu będą również biura projektowe. Sprawnie działające i tanie technologie mogą stać się atrakcyjnym produktem eksportowym do krajów dysponujących zasobami biomasy.

Odbiorcami rezultatów będą producenci instalacji do przetwarzania biomasy i odpadów w paliwo płynne oraz producenci tego paliwa korzystający z gotowych instalacji. W zestawieniu ze skalą energetyki tradycyjnej produkcja roślin energetycznych przez pojedyncze gospodarstwo rolne mogłaby wydawać się niezauważalna. Jednakże ilość potencjalnych producentów i przetwórców biopaliw może sięgać setek tysięcy podmiotów. Wśród nich znajdą się podmioty mające dostęp do biomasy, czyli rolnicy, „Lasy Państwowe”, właściciele lasów, tartaki, firmy meblarskie, spożywcze, ферmy kurcze, ubojnie, oczyszczalnie ścieków, wysypiska śmieci.

W bardziej ogólnym ujęciu zastosowanie lokalnych źródeł energii spowoduje dostosowanie paliw do specyfiki regionu. Odbiorcami końcowymi skomercjalizowanych produktów projektu będą małe lokalne ciepłownie oraz inwestorzy prywatni poszukujący możliwości energetycznego

zagospodarowania odpadów oraz produkcji zielonej energii elektrycznej i ciepła na potrzeby własnych procesów produkcyjnych, m. in. w kompleksach agroenergetycznych i przemyśle spożywczym.

Oszacowanie popytu na rezultaty projektu

Rynek energii elektrycznej jest zmonopolizowany przez wielkich producentów, którzy mają łatwość przeliczenia dodatkowych kosztów produkcji na odbiorców. Ponadto rozwój gospodarczy bez zagospodarowania zasobów biomasy i odpadów będzie powodował wzrost zanieczyszczenia środowiska, pogłębi jego degradację i zmniejszy walory przyrodniczo-turystyczne regionów rolniczych. Wejście na rynek większej liczby producentów prądu z OZE przyczyni się do redukcji odpadów i zanieczyszczeń oraz wprowadzi efekt konkurencji. Zapotrzebowanie na technologie energetyczne wykorzystujące odnawialne źródła energii niewątpliwie będzie rosło wraz ze zbliżaniem się roku 2020, w którym 15% energii produkowanej w Polsce powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych⁴.

Wybór urządzeń do komercjalizacji uzależniony będzie od uzyskiwanych osiągnięć oraz ewentualnej konkurencji w poszczególnych segmentach rynku. Konkurencyjne sposoby wytwarzania prądu elektrycznego w instalacjach bardzo małej mocy opierają się na różnych rozwiązaniach, m. in. na silniku Diesla, silniku iskrowym, turbinie gazowej, silniku Stirlinga, ogniwie paliwowym. Zauważamy jednak, że jedynie organiczne układy Rankine'a (ORC), dzięki zastosowaniu czynnika niskowrzącego napędzającego turbinę gazową, umożliwiają wytworzenie prądu elektrycznego z energii cieplnej o niskiej temperaturze. W procesie jednoczesnej produkcji prądu elektrycznego i ciepła ze źródeł niskotemperaturowych (np. z biomasy) termodynamiczne właściwości czynnika krążącego w obiegu są niezwykle istotne. Obecnie istniejące siłownie ORC są stosunkowo duże, bo mają moc powyżej 1000 kWe i są oferowane w formie gotowego produktu przez włoską firmę Turboden. Bloków mniejszych nie ma w sprzedaży. Pozostałe, wymienione powyżej sposoby produkcji prądu elektrycznego mają ograniczenia dotyczące przede wszystkim dobrej jakości paliw. Układy ORC mogą być zasilane paliwem niskiej jakości, którego nie da się zastosować w innych urządzeniach. Zaletą tej technologii powinny być też niskie koszty serwisowania i obsługi oraz wysoka bezawaryjność ze względu na małą liczbę części ruchomych. W Tabeli 1 znajduje się charakterystyka techniczno-ekonomiczna konkurencyjnych, w stosunku do ORC, układów do produkcji prądu elektrycznego [3].

Tabela 1.

Zestawienie układów do produkcji prądu elektrycznego

| Nazwa urządzenia | Paliwo | Sprawność (%) | | Minimalna moc (kWe) | Koszt inwestycji (zł/kWe) |
|------------------|--------------------------------------|---------------|-----|---------------------|---------------------------|
| | | min | max | | |
| Silnik Diesla | Ropa naftowa | 35 | 45 | 5 | 7000 |
| Silnik iskrowy | Benzyna | 25 | 43 | 3 | 8750 |
| Turbina gazowa | Gaz, biogaz | 15 | 30 | 15 | 8750 |
| Silnik Stirlinga | Różne paliwa | — | 25 | 10 | 15750 |
| ORC | Nie istnieje technologia w sprzedaży | | | | |

Paliwem w układach ORC będzie najtańsza biomasa. W tej chwili trudno przewidzieć koszty jednostkowe mikrosiłowni ORC ze względu na brak danych dotyczących ostatecznej wersji obiegu

i poszczególnych rozwiązań.

Analiza techniczna

Analiza procesów i przemian termodynamicznych jest konieczna do zrozumienia zasad funkcjonowania podzespołów mikrośiłowni⁵. Na podstawie obliczeń sprawności zostaną określone parametry oraz założenia techniczne i konstrukcyjne maszyn i urządzeń, według których będzie możliwe wykonanie: teoretycznego modelu całej instalacji, teoretycznych modeli podzespołów oraz funkcjonalnego modelu systemów wirujących. W oparciu o model zostanie przeprowadzona analiza rynku w celu wyboru urządzeń spełniających zadane parametry.

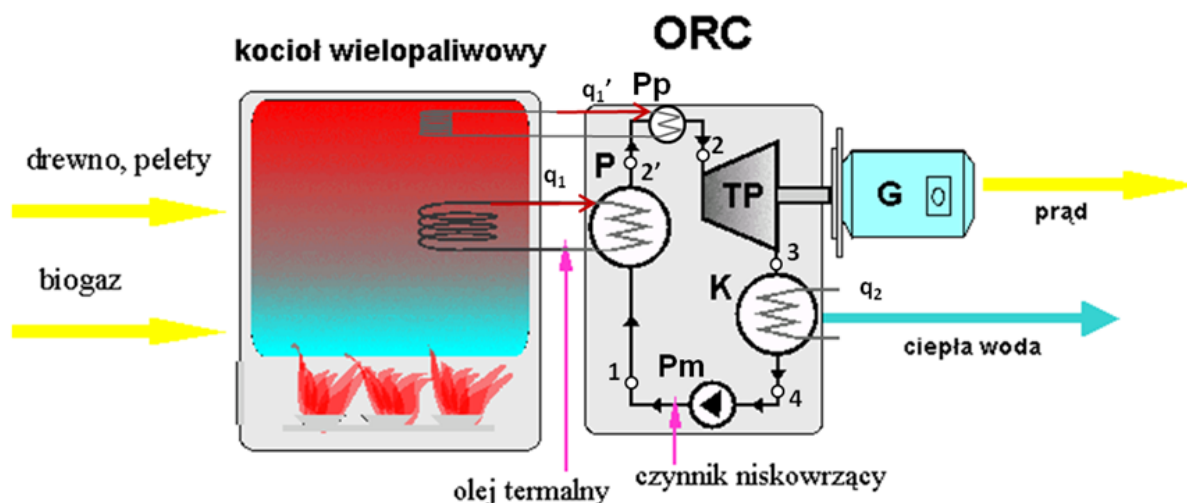
Opis procesów wytwarzania energii elektrycznej w kogeneracji

Przyjmujemy podział energetyki rozproszonej według mocy jednostek wytwórczych :

- mikroenergetyka rozproszona (do 5 kW),
- mała energetyka rozproszona (5 kW ÷ 5 MW),
- średnia energetyka rozproszona (5 ÷ 50 MW),
- duża energetyka rozproszona (50 ÷ 100 lub 150 MW).

W ramach prowadzonych prac pozostaniemy zatem w obszarze mikroenergetyki, a następnie rozważymy możliwość zastosowania analogicznych rozwiązań dla małej energetyki do 20 kW.

Schemat siłowni kogeneracyjnej został przedstawiony na Rys. 1.

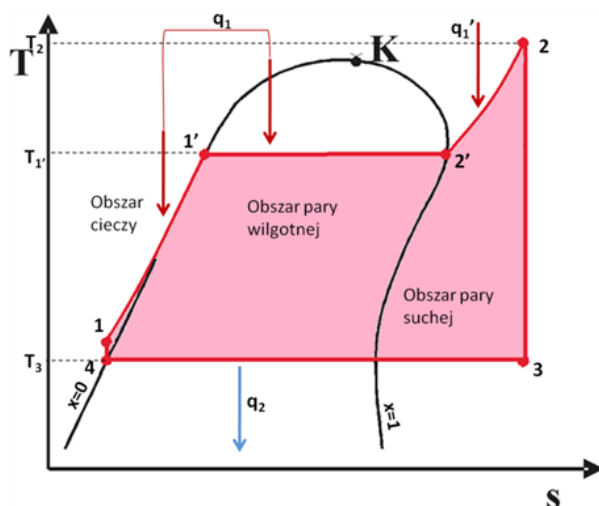


Rys. 1. Siłownia kogeneracyjna w obiegu parowym ORC z przegrzewaczem pary; P – parownik, Pp – przegrzewacz pary, TP – turbina parowa, K – kondensator, G – generator, Pm – pompa.6

Siłownia działa następująco. W wyniku spalania biomasy lub biogazu wytworzona zostaje energia cieplna, którą ogrzewamy olej termalny krążący w obiegu zamkniętym. W drugim obiegu czynnik niskowrzący zasila turbinę. Oba obiegi spotykają się w parowniku, gdzie ciepło oleju termalnego oddawane jest na zasadzie wymiany bez mieszania do obiegu czynnika niskowrzącego. Następuje całkowite odparowanie, a następnie przegrzanie czynnika roboczego. Czynnik niskowrzący w postaci gazowej przepływa przez turbinę, do której podłączony jest generator prądu elektrycznego. W turbinie odbywa się rozprężenie pary suchej, jednak właściwości czynnika nie pozwalają na jego wykraplanie. Całkowite skroplenie gazu następuje w skraplaczu, przez który przepływa woda z oddzielnego układu chłodzenia. Czynnik w stanie ciekłym zostaje przepompowany do parownika, w którym następuje jego ponowne odparowanie. Otrzymujemy energię elektryczną w postaci prądu oraz energię cieplną wody chłodzącej.

Organiczny obieg Rankine'a (ORC) jest obiegiem charakterystycznym dla siłowni kogeneracyjnej. Na Rys. 2 przedstawiono obieg ORC na parę przegrzaną suchą opracowany przy następujących założeniach upraszczających:

- nie występują straty tarcia i straty ciśnienia podczas przepływów płynu rurociągami,
- nie ma strat ciepła do otoczenia,
- turbina jest szczelna, adiabatyczna i pracuje bez tarcia, więc rozprężanie odbywa się izentropowo,
- pompa zasilająca spręża kondensat izentropowo do ciśnienia wody w kotle,
- całe ciepło spalania (bez strat jest) przekazywane olejowi w kotle.



Rys. 2. Teoretyczny organiczny obieg Clausiusa — Rankine'a na parę przegrzaną we współrzędnych ST.

Krzywa (czarna linia ciągła) przedstawia wykres pary. Krzywą graniczną dolną ($x = 0$) nazywamy linią oddzielającą obszar cieczy od obszaru pary. Krzywą graniczną górną lub krzywą nasycenia ($x = 1$) nazywamy linią oddzielającą obszar pary wilgotnej nasyconej od obszaru pary przegrzanej. Obie krzywe łączą się w punkcie K, zwanym punktem krytycznym.

Na wykresie oznaczono stany termodynamiczne czynnika zgodnie z modelem siłowni (Rys. 1) i z uwzględnieniem nadmienionych założeń upraszczających. Całkowite odparowanie i przegrzanie czynnika następuje w parowniku (1 — 2), rozprężenie czynnika w turbinie (2 — 3), a jego skroplenie w skraplaczu (3 — 4). Na uwagę zasługuje fakt, iż w obiegach ORC spalanie odbywa się zewnątrz, w odróżnieniu od obiegów silników o spalaniu wewnętrznym, zarówno tłokowych, jak i turbinowych, w których stosowanym czynnikiem roboczym są mieszaniny gazów. Zaletami spalania w zewnętrznych wytwornicach pary są:

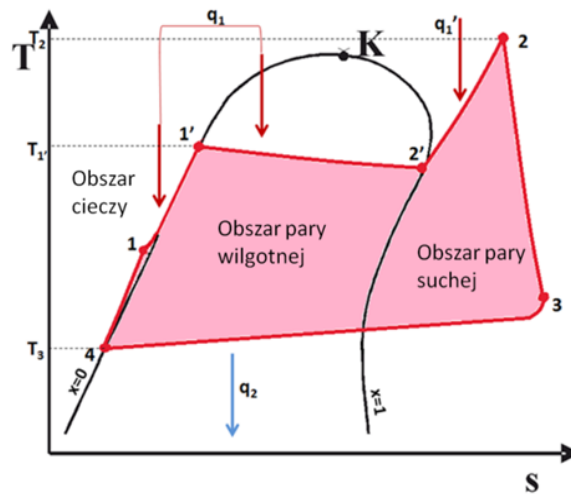
- realizacja obiegu zbliżonego do obiegu Carnota o możliwie największej sprawności cieplnej,
- niewielka wartość pracy sprężania cieczy w porównaniu z silnikami spalinowymi,
- intensywna wymiana ciepła między ściankami wymienników a wrzącą cieczą.

Jak widać, zrezygnowano ze ścisłej „karnotyżacji” obiegu, czyli doprowadzania ciepła tylko przy stałej temperaturze T_1 . Podwyższono temperaturę pary do T_2 przez jej przegrzewanie przy stałym ciśnieniu do wartości, na jaką pozwalają materiały konstrukcyjne. W naszym przypadku wzrost temperatury pary będzie dokonywał się w parowniku, a nie w dodatkowym przegrzewaczu.

Sprawność ogólna siłowni

Zjawiska zachodzące w siłowni przebiegają nieodwracalnie i dlatego nie osiąga się takiej

sprawności jak w obiegu porównawczym ORC. Obniżenie tej sprawności jest spowodowane stratami wszystkich zespołów, głównie kotła i turbiny [5]. Obieg porównawczy dla rzeczywistego obiegu ORC przedstawiony jest na Rys. 3.



Rys. 3. Rzeczywisty obieg ORC na parę przegrzaną we współrzędnych ST.

Widzimy, że w obiegu rzeczywistym nie występują przemiany izentropowe i izotermiczne, charakterystyczne dla obiegu teoretycznego (Rys. 2). Sprawność teoretycznego obiegu Rankine'a definiujemy za pomocą wzoru

$$\eta_{CR} = 1 - \frac{q_2}{q_1},$$

gdzie: q_1 jest ciepłem dostarczanym do obiegu, q_2 — ciepłem oddanym do obiegu chłodzącego (odpowiednio stan 1 — 2 i 3 — 4 na Rys. 2).

Sprawność energetyczna kotła (η_k) jest ilorazem ciepła niezbędnego do podgrzania i odparowania wody (q_1) zgodnie z obiegiem porównawczym do stanu 2 (Rys. 3) oraz ciepła doprowadzonego do kotła w postaci energii zawartej w paliwie (q_{ch}). Zależność tą przedstawia wzór

$$\eta_k = \frac{q_1}{q_{ch}}$$

Sprawność rurociągów (η_r) wynika ze strat przepływu pary do turbiny oraz strat ciepła do otoczenia i jest ilorazem pracy l_r związanej ze spadkiem ciśnienia i temperatury pary na dolocie do turbiny oraz pracy obiegu zastępczego Rankine'a.

$$\eta_r = \frac{l_r}{l_{CR}}$$

Najbardziej interesuje nas sprawność izentropową turbiny (η_s). Na Rys. 2 zmiana stanu 2 — 3, to

proces idealnego (beztarciowego) rozprężania adiabatycznego (izentropowego). Na Rys. 3 przedstawiono rzeczywiste (uwzględniające tarcie wewnętrzne) rozprężanie od pkt. 2 do 3. Różnica tych dwóch przemian jest uzależniona od sprawności wewnętrznej turbiny. Oznacza to, iż różnica entalpii na drodze przemiany 2 — 3 obiegu teoretycznego ($h_2 - 3s$), to otrzymana praca ekspansji izentropowej (adiabaty odwracalnej), a różnica entalpii obiegu rzeczywistego ($h_2 - 3$), to praca ekspansji rzeczywistej (adiabaty nieodwracalnej). Sprawność izentropową turbiny wyrażamy zatem wzorem

$$\eta_s = \frac{h_{2-3}}{h_{2-3s}}$$

Wartość sprawności izentropowej przedprototypowej mikroturbiny o mocy 2,5 kW, testowanej w warunkach laboratoryjnych, szacuje się na 60%. Sprawność ogólna turbiny (η_m), to stosunek pracy efektywnej (l_e) na sprzęgle z generatorem prądu do pracy wewnętrznej turbiny (l_i), otrzymanej z różnicy entalpii $h_2 - 3$ obiegu rzeczywistego.

$$\eta_m = \frac{l_e}{l_i}$$

Sprawność generatora elektrycznego (η_g) jest stosunkiem wytworzonej mocy elektrycznej siłowni do mocy dostarczanej przez turbinę napędzającą generator prądu:

$$\eta_g = \frac{N_{el}}{N_e} \quad \text{lub} \quad \eta_g = \frac{l_{el}}{l_e}$$

Sprawność energetyczna obiegu siłowni (η_{eo}) jest zdefiniowana stosunkiem pracy wewnętrznej turbiny (l_i) do ilości ciepła doprowadzonego w jednostce czasu (q_1):

$$\eta_{eo} = \frac{l_i}{q_1} = \eta_{CR} \eta_r \eta_s$$

Po odpowiednim przekształceniu otrzymujemy sprawność, jako iloczyn sprawności obiegu ORC (η_{CR}), sprawności rurociągu (η_r) oraz sprawności izentropowej turbiny (η_s).

Sprawność energetyczna siłowni parowej (η_{es}) uwzględnia sprawność kotła (η_k) oraz sprawność ogólną turbiny (η_m):

$$\eta_{es} = \eta_k \eta_{CR} \eta_r \eta_s \eta_m$$

W efekcie sprawność elektrowni (η_{el}) jest stosunkiem energii dostarczonej do sieci elektrycznej (N_{el}) do energii zawartej w spalonym paliwie (q_{ch}). Uwzględniając straty poszczególnych zespołów, sprawność elektrowni możemy wyrazić, jako iloczyn omówionych powyżej sprawności oraz sprawności wynikającej z potrzeb własnych siłowni (zasilanie pompy) (η_w):

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{q_{ch}} = \eta_k \eta_{CR} \eta_r \eta_s \eta_m \eta_w$$

Wykaz i krótki opis głównych maszyn i urządzeń mikrośilowni

W tym podpunkcie artykułu zostaną krótko opisane problemy techniczne, które muszą zostać wzięte pod uwagę przy wykonaniu obliczeń i wyborze głównych maszyn i urządzeń mikrośilowni. Należy podkreślić, iż nie jest możliwe, aby autor samodzielnie skonstruował i przetestował wszystkie elementy siłowni. Dlatego dobór urządzeń będzie w dużej mierze opierał się na opinii ekspertów oraz informacjach zaczerpniętych z literatury i publikacji. Autorska praca skupi się na opracowaniu modelu teoretycznego, a następnie funkcjonalnego systemu wirującego turbiny oraz przeprowadzeniu wielu testów w celu skonfrontowania wyników dla modelu teoretycznego z wynikami dla obiektu rzeczywistego.

Turbina parowa

Funkcjonowanie turbiny jest możliwe dzięki wykorzystaniu czynnika organicznego. Projekt wysokoobrotowego turbogenerators parowego wymaga zastosowania technologii hermetycznych maszyn i łożysk wysokoobrotowych, smarowanych organicznym czynnikiem roboczym turbiny. Do budowy takiej maszyny przepływowej konieczne będzie opracowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych łożysk, uszczelnień, wirników oraz korpusów. Dostępne na rynku podzespoły nie spełniają bowiem specyficznych wymagań. Badania eksperymentalne wysokoobrotowych, małogabarytowych wirników, łożysk oraz uszczelnień wymagają specjalnego podejścia. Podstawowa różnica dotyczy tu przede wszystkim prędkości obrotowych, które dochodzą do kilkudziesięciu, a nawet kilkaset tysięcy obrotów na minutę. Drugim, poważnym problemem są w tym przypadku bardzo małe wymiary gabarytowe badanych elementów. W celu wykonania dokładnego pomiaru parametrów ruchu oraz innych żądanych wielkości konieczne jest zastosowanie specjalnych czujników pomiarowych⁷. Przede wszystkim muszą się one charakteryzować wysoką częstotliwością próbkowania oraz małymi wymiarami, co umożliwi ich odpowiedni montaż na stanowisku badawczym.

Kocioł wielopaliwowy

Zastosowany w mikrośilowni kocioł musi charakteryzować się niskim poziomem emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz być przystosowany do współpracy z mikroturbiną ORC. Zintegrowana i szczelna konstrukcja kotła oraz mikroturbiny pracująca wiele lat powinna spełniać warunek wysokiej niezawodności. Ponadto kocioł powinien być łatwy w eksploatacji i utrzymaniu. Z olejem termalnym, jako medium przenoszącym ciepło, użytkownicy nie zetkną się z dobrze znanymi wcześniej problemami z ciśnieniem, tworzeniem się kamienia kotłowego czy korozją i zamrażaniem.

Parownik

Konieczne jest wykorzystanie optymalnych konstrukcji pod względem wymiany ciepła.

Interesującym rozwiązaniem może być płytowy, przeciwprądowy wymiennik ciepła⁸. Wymienniki te składają się z wielu wyprofilowanych płyt, które się za sobą łączą. Przekładamy je odpowiednimi uszczelkami, w wyniku czego pomiędzy płytami tworzą się przestrzenie, którymi przepływają w przeciwprądzie czynniki wymieniając między sobą ciepło. Ponadto wymienniki te charakteryzują się niewielkimi wymiarami przy dużej powierzchni wymiany ciepła. Odejmowanie i dodawanie kolejnych płyt daje możliwość regulacji. W proponowanym rozwiązaniu dodatkowe podgrzewanie pary odbywać się będzie w parowniku.

Inne

- Kondensator (skraplacz) — wymogiem będzie odbiór ciepła ze skraplacza, a temperatura czynnika chłodzącego będzie miała duży wpływ na sprawność całego obiegu,
- Generator – generator małej mocy (do 8 kW),
- Pompa – pompa napędzana elektrycznie (600 W).

Ponadto konieczny jest wybór odpowiedniego czynnika niskowrzącego, który zapewni poprawność działania obiegu również w sytuacji pracy kotła w temperaturze niższej od nominalnej.

Przykładowa temperatura spalania biomasy w piecu HDG o mocy 25 kW wynosi 65 — 90°C. Dla porównania, piec o mocy nominalnej 50 lub nawet 65 kW ma nominalną temperaturę spalania wynoszącą odpowiednio 150°C i 180°C. Chcemy zapewnić dostarczanie energii elektrycznej przy mniejszych temperaturach w przypadku częściowego wychłodzenia kotła. Zostanie przeprowadzona weryfikacja rynku pod względem parametrów termodynamicznych oraz wpływu czynnika na środowisko. Ponadto bardzo ważnym elementem projektu, mającym duży wpływ na niezawodność działania systemu, będą poprawnie opracowane procedury automatyzacji, ponieważ system musi działać automatycznie, a jego regulacja powinna być łatwa w obsłudze.

Podsumowanie

Przedstawiono kontekst i genezę powstania projektu kogeneracyjnej siłowni małych mocy. Omówiono zalety energetyki rozproszonej oraz wybrano i opisano układ kogeneracyjny ORC. Mini- i mikrokogeneracja rozproszona oparta na lokalnych zasobach biomasy jest najbardziej atrakcyjną i perspektywiczną formą wdrażania technologii OZE w Polsce. W pierwszej fazie projektu zostają określone pożądane parametry mikrośiłowni. Jednocześnie autor zdaje sobie sprawę, iż aktualne zapotrzebowanie rynku na kogeneracyjne wytwarzanie energii elektrycznej dotyczy mocy rzędu 50 kW. Okazuje się bowiem, iż budowa turbozespołu o większej mocy niż kilkukilowatowy, jest bardziej opłacalna. Ponadto jednoczesne zasilanie sieci zabudowań jest bardziej atrakcyjne dla inwestorów niż zasilanie pojedynczych budynków. Testowanie innowacyjnej technologii w warunkach laboratoryjnych jest jednak łatwiejsze do zrealizowania dla mikrośiłowni o mocy 2,5 kW i dlatego prace badawcze opierać się będą na mikrośiłowni. W końcowych wnioskach dotyczących projektu znajdzie się porównanie mikrośiłowni na biomasę z innymi źródłami energii elektrycznej z OZE np., takimi jak wiatraki i kolektory słoneczne. Zestawione zostaną osiągi mocy i dane dotyczące ich niezawodności, ograniczeń oraz wpływu na środowisko naturalne i środowisko życia i pracy człowieka⁹.

[1] Wikipedia. Wolna encyklopedia, <http://pl.wikipedia.org>.

[1] W. M. Lewandowski *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.

[1] *Modelowe kompleksy agroenergetyczne, jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii. Studium wykonalności*, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, 2007 — 2013, projekt.

[1] *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Ministerstwo Gospodarki, dokument przyjęty przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r.

[1] J. Walentynowicz, *Termodynamika techniczna i jej zastosowania*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2009.

[1] J. Kiciński, P. Lampart, *Siłownie kogeneracyjne energetyki rozproszonej skojarzone z układami produkcji paliw z biomasy*, <http://www.imp.gda.pl/bioenergy/>.

[1] Z. Kozanecki, *Systemy wirujące maszyn przepływowych małej i średniej mocy*, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Łódź — Radom 2008.

[1] www.geotermia.pl

[1] N. Pierpont, *Syndrom turbin wiatrowych: halas, migotanie cienia a zdrowie*, <http://www.farma-wiatrowa.info/>, 2006.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



*Publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów",
współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego*