

WSTĘP

Wobec narastającego wyczerpywania się konwencjonalnych źródeł energii coraz większą rolę przypisuje się energetyce odnawialnej. Niewątpliwie największą zaletą wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest efekt ekologiczny. Oprócz korzyści, jakie energetyka odnawialna niesie dla środowiska naturalnego, upatruje się w niej również czynnika stymulującego rozwój gospodarczy i społeczny na poziomie regionalnym i lokalnym. Inwestycje w zieloną energię powiązane są z wprowadzaniem nowych technologii, tworzeniem lokalnych rynków pracy, rozwojem rynku usług, przyczyniając się bezpośrednio do wzrostu innowacyjności danej jednostki terytorialnej, promocji jej wizerunku i w rezultacie do rozwoju lokalnego.

Celem niniejszego artykułu będzie przedstawienie koncepcji projektu budowy lokalnej elektrowni na biomasę, która została zaprojektowana przez polsko-niemiecki interdyscyplinarny zespół, złożony ze specjalistów z Politechniki Łódzkiej, Uniwersytetu w Kassel oraz przedstawicieli administracji publicznej. Inwestycja jako innowacyjny pilotażowy projekt zostanie zlokalizowana w centralnej Polsce Rys.1., w miejscowości Daszyna w gminie Daszyna. Paliwem będzie głównie biomasa w postaci słomy oraz zrębków drzewnych.

ZAŁOŻENIA PROJEKTU

Podstawowym celem omawianego projektu jest stworzenie modelowego rozwiązania dla niezależności energetycznej, przyczyniającego się do zmniejszenia zanieczyszczeń powietrza. Cel ogólny jest zgodny z drugim priorytetem Programu Pomocowego uruchomionego na podstawie „Porozumienia między Ministrem Środowiska Rzeczypospolitej Polskiej a Federalnym Ministrem Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa Reaktorów Republiki Federalnej Niemiec w sprawie realizacji wspólnych projektów w dziedzinie ochrony środowiska w Rzeczypospolitej Polskiej”, który brzmi następująco: prezentowanie działań gospodarczych na rzecz poprawy ochrony klimatu, w tym w szczególności zmniejszanie emisji dwutlenku węgla oraz zastępowanie kopalnych źródeł energii przez odnawialne źródła energii.

Program w ramach, którego będzie realizowany projekt to Program Pomocowy Federalnego Ministerstwa Środowiska (BMU) na rzecz zmniejszania obciążeń środowiska za granicą. Wnioski o dofinansowanie inwestycji, powinny spełniać jeden z warunków[1]:

- 1) bezpośrednio, mierzalne oddziaływanie na środowisko, w tym w szczególności zmniejszenie zanieczyszczeń powietrza i wody,
- 2) prezentowanie działań gospodarczych na rzecz poprawy ochrony klimatu, w tym w szczególności zmniejszanie emisji dwutlenku węgla oraz zastępowanie kopalnych źródeł energii przez odnawialne źródła energii.

Intensywność dofinansowania jaką można uzyskać waha się w granicach od 30 do 75 % kosztów kwalifikowalnych. Szczególnie ważną kwestią braną pod uwagę przy ocenie wniosków jest efekt multiplikatora, czyli możliwość przenoszenia działań zaprojektowanych w projekcie na obszary o sytuacji porównywalnej oraz ekonomiczna strona przedsięwzięcia.

Projekt jest zgodny z priorytetami polityki ekologicznej Polski i wymogami Unii Europejskiej. Promowanie działania gospodarczego w postaci budowy elektrowni na biomasę z pewnością przyczyni się do realizacji zasady zrównoważonego rozwoju oraz do ochrony klimatu w przestrzeni europejskiej. W ten sposób osiągnięte zostaną cele 6. Wspólnotowego programu działań w zakresie środowiska naturalnego. Projekt będzie spełniał również założenia Polityki ekologicznej

Rzeczypospolitej Polski na lata 2009-2013 z uwzględnieniem perspektywy do roku 2016, w szczególności priorytet dotyczący ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami. Zastosowanie jako paliwa biomasy w postaci słomy oraz zrębków drzewnych przyczyni się bowiem do redukcji emisji CO₂, NO_x, SO₂, zanieczyszczeń pyłowych.

W gestii partnera niemieckiego leży poprawa jakości stanu środowiska, zwłaszcza ochrona klimatu, zatem uwzględniając efekt rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza w atmosferze, cel ten zostanie osiągnięty. Ponadto darczyńca wymaga, aby projektowane rozwiązanie miało charakter modelowy z zastosowaniem najlepszych technik. Modelowy charakter projektu będzie polegał na tym, że powstanie kompaktowy produkt w formie elektrowni na biomasę małej mocy, który będzie miał możliwości aplikacyjne we wszystkich jednostkach samorządu typu rolniczego. Należy przy tym dodać, iż w Polsce istnieje 1576 gmin wiejskich i 597 miejsko-wiejskich spośród łącznej liczby 2479 gmin.

W trakcie realizacji projektu spełnione zostanie również założenie o transferze wiedzy (philosophy transfer), gdyż projekt opiera się na współpracy nauki, gospodarki i administracji samorządowej.

Realizacja projektu budowy lokalnej elektrowni na biomasę będzie kontynuacją działań podjętych przez władze gminy, zmierzających do kompleksowego zabezpieczenia energetycznego i ciepłego gminy na bazie energii odnawialnej. Gmina Daszyna ma ambicję promować się, jako tzw. „zielona gmina”. Gmina jest liderem i wzorem do naśladowania dla innych gmin w Polsce – otrzymała tytuł Lidera Ekologii 2010 i jej śladami podążają inne samorządy lokalne. Niniejszy projekt lokalnej elektrociepłowni na biomasę jest obiektem zainteresowań innych gmin.

Gmina realizuje już Projekt „Zabezpieczenie energetyczne i ciepłe Gminy Daszyna na bazie energii odnawialnej”. Przedmiotem tegoż projektu jest budowa dwóch kotłowni w Mazewie i w Daszynie, opalanych biomasą - balotami słomy, zasilającej budynki użyteczności publicznej i budynki mieszkalne, oraz instalacja kolektorów słonecznych dla indywidualnych odbiorców i instalacja oświetlenia ulicznego z wykorzystaniem źródeł fotowoltaicznych. Całkowita kwota kosztów inwestycyjnych wynosi 9.857128,61 pln, w tym koszty kwalifikowane 8978737,19 pln, koszty niekwalifikowane 878391,42 pln, dotacja z UE wynosi 6400559,31 pln. Do użytku została oddana już kotłownia na biomasę w miejscowości Daszyna o łącznej mocy 0,6 MW, która jest opalana słomą. Projektowana elektrownia na biomasę ma powstać w sąsiedztwie istniejącej ciepłowni, którą będzie wspomagać w okresach większego zapotrzebowania na ciepło, czyli w miesiącach zimowych. Surowiec, czyli baloty słomy - pochodzić będzie od mieszkańców, rolników gminy Daszyna. Organizacją dostaw zajmować się będzie firma usługowo-handlowa ROL-Dasz z Daszyny. Firma ta skupować będzie surowiec od lokalnych producentów i dostarczać go będzie do elektrowni[2].

[1] www.mos.gov.pl, stan z dnia 15.06.2011.

[2] Zabezpieczenie energetyczne i ciepłe gminy Daszyna na bazie energii odnawialnej, Gmina Daszyna 2010.



Rys. 1. Lokalizacja projektu. Źródło: Opracowanie własne

Zakłada się, iż realizacja inwestycji przyniesie następujące korzyści dla gminy Daszyna:

- poprawa jakości powietrza atmosferycznego,
- zagospodarowanie nadwyżek słomy z lokalnego rolnictwa,
- wspomaganie pracującej ciepłowni w okresach zimowych,
- stworzenie innowacyjnego rozwiązania, możliwego do wdrożenia w innych regionach, wykorzystującego olbrzymi potencjał słomy,
- wzrost niezależności energetycznej Gminy Daszyna,
- wzrost przychodów do budżetu gminy z tytułu sprzedaży energii elektrycznej do sieci,
- rozwój lokalnej gospodarki poprzez utworzenie infrastruktury dystrybucji biomasy (słoma, zrębki)
- wypromowanie gminy, ze względu na innowacyjne rozwiązania, które zostaną zastosowane w projektowanym obiekcie.

PROJEKTOWANE ELEMENTY ELEKTROCIEPŁOWNI

OBIEG ORC

W przypadku źródeł ciepła o niskiej entalpii (niskiej temperaturze), obieg parowy (obieg Rankine'a) wykorzystujący parę wodną okazuje się nieefektywny. Niskie parametry pary powodują, że turbina pracująca w obiegu osiąga znaczne rozmiary w stosunku do produkowanej mocy. Dodatkowo, ciśnienie skraplania pary jest bardzo niskie i może być kłopotliwe do utrzymania

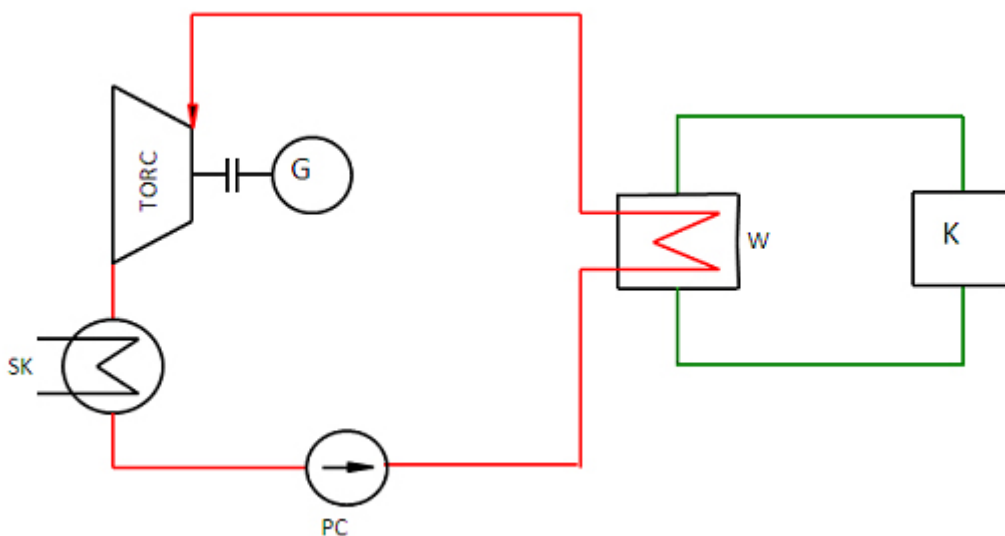
w

obiegu.

Rozwiązaniem tego problemu jest technologia obiegów typu Organic Rankine Cycle (ORC) Rys.2. Jest to rodzaj obiegów parowych, które wykorzystują pary czynników organicznych, które znacznie różnią się właściwościami od pary wodnej. Główną ich zaletą jest niska temperatura wrzenia, co znacznie podnosi ciśnienia w całym obiegu. Dodatkowo, czynniki te (z uwagi na duże rozmiary ich molekuł) charakteryzują się dużymi gęstościami, co zmniejsza wymiary turbiny. W proponowanej siłowni na słomę, ciepło do obiegu będzie dostarczane przez gorący olej ogrzewany kotłem na słomę (ze względu na brak producentów małych kotłów parowych na słomę). Wybór oleju jako cieczy pośredniej jest uzasadniony, ponieważ wykorzystanie wody wiązałoby się ze zbyt wysokimi ciśnieniami (temperatura cieczy pośredniej powinna być jak najwyższa, najlepiej

powyżej 200°C. Gorący olej będzie przekazywał ciepło do obiegu poprzez wymiennik ciepła będący jednocześnie parownikiem cieczy niskowrzącej.

Para nasycona opuszczająca parownik (temperatura około 150°C) będzie skierowana na układ łopatkowy turbiny ORC, która musi uwzględniać właściwości zastosowanego czynnika. Dla takich parametrów turbina będzie musiała się składać z kilku stopni, a ich ilość będzie zależała od konkretnego rozwiązania technicznego. Do dyspozycji są turbiny typu akcyjnego, które są stosunkowo prostymi rozwiązaniami o kompaktowych konstrukcjach. Ich wadą jest jednak niska sprawność w porównaniu z turbinami typu reakcyjnego. Zastosowanie maszyny reakcyjnej z pewnością zwiększy sprawność ogólną całego obiegu, lecz może okazać się zauważalnie droższe. Turbina będzie napędzać generator elektryczny (silnik asynchroniczny), który będzie wytwarzał prąd. Kluczowym zadaniem będzie uszczelnienie zespołu turbogeneratora, aby zapobiec stratom czynnika roboczego. Po opuszczeniu turbiny, para czynnika organicznego znajdzie się w skraplaczu. Skraplacz jest wymiennikiem ciepła, który wymaga zastosowania medium chłodzącego. Ze względu na lokalizację (brak dużych zbiorników wodnych lub rzek w pobliżu), medium chłodzącym będzie powietrze zapewniające przez zespół wentyla-torów chłodni wentylatorowej. Za skraplaczem musi zostać umieszczona pompa obiegowa, która spręży skroplony czynnik do ciśnienia nieco wyższego od ciśnienia pary nasyconej opuszczającej parownik. Ze względu na zastosowanie czynnika organicznego, znacznie droższego od wody, należy dążyć do ograniczenia jego strat. Skutecznym rozwiązaniem może się okazać zastosowanie pompy hermetycznej. Po zakończeniu procesu sprężania w pompie, czynnik będzie z powrotem kierowany do parownika.



Rys. 2. Schemat klasycznego obiegu Rankinea na czynnik niskowrzący składającego się z: K – kocioł, W – wymiennik ciepła, TORC – turbina parowa (para czynnika niskowrzącego), G – generator, SK – skraplacz, PC – pompa.

SYSTEM PODAWANIA PALIWA

W projektowanej elektrociepłowni zostanie zastosowany unikalny system podawania paliwa ze słomy, która charakteryzuje się właściwościami paliwowymi nie sprzyjającymi jej sprawnemu spalaniu.

System podawania słomy jest wysoce zautomatyzowany, łatwy w obsłudze i bardzo stabilny. Dodatkowe specjalistyczne systemy zabezpieczające przed pożarem paliwa, samozapłonem i zagłuszeniem poprawiają bezpieczeństwo pracy całego zakładu. Elektrociepłownia będzie zaprojektowana do konsumpcji około 5.000 ton słomy rocznie do ogrzewania gminy, ale będzie również w stanie 10.000 ton rocznie. System obsługi paliwa został zaprojektowany na bele słomy. Zakładu składowania paliwa jest przeznaczone do przechowywania 500 bel, jest to wystarczająco dużo paliwa do uruchomienia zakładu w ciągu 3 dni. Bele słomy będą dostarczane do magazynu transportem samochodowym. Infrastruktura magazynowa jest w pełni zautomatyzowana Rys.3.; żurawie są wykorzystywane do podnoszenia bel, aby jednocześnie sprawdzić ciężar i zawartość wilgoci w słomie. Bele są następnie przechowywane lub zniesione bezpośrednio na automatyczne transportery do układu zasilania paliwem. Automatyczny nóż tnący kawałki sznurków i formuje paliwo, aby zwolnić miejsce przed nim paliwo jest podawany do kotła. Spulchniarki są przygotowane i zaprojektowane do przyszłej modernizacji paliw wtórnych, takich jak wióry, pelety lub inne paliwa granulowane.

Lepsza dostępność: Z biegiem lat, układ zasilania belami słomy okazał się bardzo skutecznym w elektrociepłowniach wielu krajów w wyniku bezawaryjnej pracy i wysokiej dostępności roślin. Zwiększenie wydajności: System jest zautomatyzowany i obejmuje spulchniarki, które zapewniają że bele są podawane do kotła na odpowiedniej wysokości i przy gęstości, który gwarantuje efektywne spalanie.

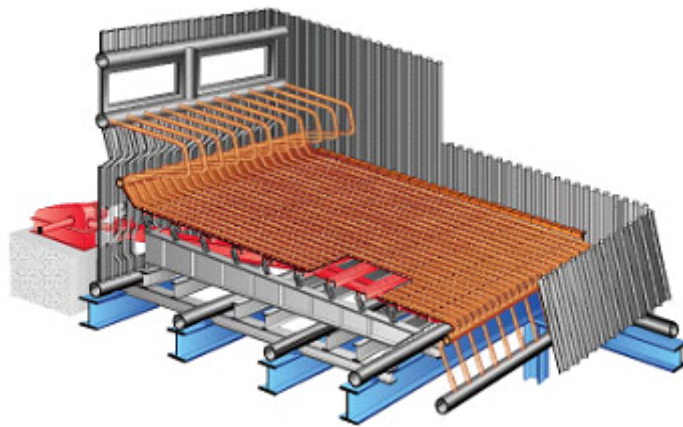


Rys. 3. Automatyczny system podawania bali ze słomy. Źródło: katalog produktów firmy DP CleanTech.

RUSZT WIBRACYJNY CHŁODZONY WODĄ

Ruszt wibracyjny chłodzony wodą został zaprojektowany i opracowany specjalnie do spalania słomy Rys.4. Ten typ rozwiązania okazało się być najlepszym systemem spalania, zwłaszcza dla paliwa pochodzących z roślin zielnych i drzewiastych. Lepsza dostępność: chłodzony wodą ruszt wibracyjny jest jednym z najbardziej niezawodnych systemów spalania na świecie. Drgania na ruszcie hamują tworzenie się dużych cząstek żużla, które są niewskazane podczas spalania słomy oraz odpadów drzewnych. To sprawia, że do tego typu rusztu nadają się paliwa do spalania, które charakteryzują się wysoką skłonnością do żużlowania i spiekania. Ponadto, ruszt wibracyjny wymaga mniej konserwacji niż ruszt ruchomych, ponieważ ma mniej ruchomych części.

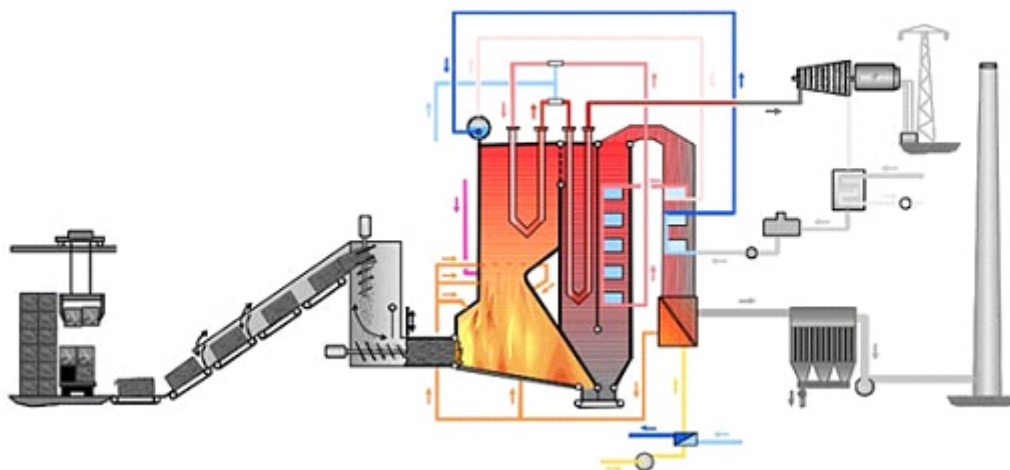
Zwiększenie wydajności: chłodzony wodą ruszt wibracyjny jest w pełni zautomatyzowany i jest jednym z czynników przyczyniających się do osiągnięcia wysokiej sprawności kotła rzędu 90-92%. Spowodowane jest to wyjątkowym ruchem wibracyjnym i systemem dystrybucji powietrza, który optymalizuje proces spalania równomiernie na ruszcie. Słoma jest spalana w chłodzonym wodą ruszcie wibracyjnym, ruchy wibracyjne regulują etapy spalania. Część powietrza do spalania podawana jest do pieca od dołu rusztu i dalej powietrze do spalania jest doprowadzane do pieca przez dysze umieszczone powyżej rusztu. Strefa zapłonu rusztu jest stabilizowana przez opatentowany system zapłonu powietrzem. Ruch wibracyjny występuje w cyklach na przemian między 1,5 - 3 minuty na okres czasu 3 - 5 sekund. Popiół i żużel są transportowane w dół rusztu do spadku żużla wraz z końcowym wypaleniem paliwa. Poprawa różnorodności paliwa: ruszt wibracyjny jest jednym z niewielu rusztów, w którym kraty są w stanie skutecznie pomieścić mieszaniny drzewiastych i innych zielonych paliw biomasy pochodzenia leśnego.



Rys.4 Wibracyjny kocioł rusztowy chłodzony wodą, na którym odbywa się proces spalania biomasy.

WYSOKO CIŚNIENIOWY, WYSOKOTEMPERATUROWY KOCIOŁ NA SŁOMĘ

Zaawansowane kotły do spalania słomy oparte są na wysokim ciśnieniu i wysokiej technologii temperatury. Zwiększone parametry pracy pozwalają przyspieszyć przepływ pary i tworzą znaczną poprawę w sprawności elektrycznej elektrociepłowni. Kocioł parowy na słomę działa na wysokie parametry pary przy wysokim przepływie produkowanej pary generuje energię elektryczną przy sprawności 20% i 70% dla ciepłownictwa. To w połączeniu z dodatkowym odzyskiem ciepła z kondensacją spalin pozwala na ogólną wydajność instalacji na poziomie 106%. Unikalna konstrukcja wraz z właściwego doboru materiałów przeciwdziała procesom gnilnym i żrącemu działaniu paliwa słomy. Kocioł Rys.5. jest przygotowany i przeznaczony do przyszłej modernizacji paliw wtórnych, takich jak wióry, granulki lub innych paliw granulowany. Zwiększenie wydajności: producenci podejmują działania w celu odzyskania ciepła tam gdzie to możliwe aby zmaksymalizować wydajność cieplną. Niskie temperatury gazów spalinowych i skuteczny wynik spalania przy wyższej sprawności kotła (92%).



Rys.5. Schemat wysokociśnieniowego, wysokotemperaturowego kotła na słomę firmy DP CleanTech [źródło katalog produktów firmy DP CleanTech]

Lepsza dostępność: Popiół oraz inne pozostałości wynikające ze spalania biomasy ma wysoką zawartość metali alkalicznych, metali które mogą prowadzić do korozji. Związki SO_x i Cl w spalinach mogą doprowadzić do korozji i procesów szlakowania popiołem. Technologia firmy CleanTech wykorzystana w kotła na biomasę typu słoma wykorzystuje specjalnie zmodyfikowaną konstrukcję Rys.6., metale i specjalne stopy metali, takie jak poniższe po-zwalają hamować takie problemy jak korozja i szlakowanie powierzchni ogrzewalnych:

- Opatentowany podgrzewacz powietrza Rys.7., które jest ogrzewany za pomocą wody zasila-jącej zamiast spalin, co powoduje ograniczenie korozji.
- Rury grzejnika nie mają płetw, które mogłyby blokować drogę przepływu gazu.
- Nagrzewnica strefy wysokiego ciśnienia wykorzystuje specjalne antykorozyjne materiały.
- Podgrzewacz powietrza jest połączony z odprowadzeniem spalin do chłodnicy spalin, która umożliwia uzyskanie niższą temperaturę spalin gazu (np. większa wydajność kotła). Zmniejsza to także możliwość wystąpienia korozji w zimnym końcu przewodu kominowego chłodnicy gazu, co jest częstym problemem w większości kotłów na biomasę.



Rys. 6. Systemy oczyszczania gazów odlotowych, kanały spalin, wentylatory podmuchowe, kanały powietrzne, wentylatory wyciągowe [źródło katalog produktów firmy DP CleanTech]



Rys. 7. Podgrzewacze powietrza, systemy odpowielania, części ciśnieniowe [źródło katalog produktów firmy DP CleanTech]

HYBRYDOWE ELEMENTY ELEKTROCIĘPŁOWNI

Do projektu elektrociepłowni można dodać rozwiązania mające na celu obniżenie ilości koniecznej do spalania biomasy, a także uniezależniające instalację od zewnętrznej sieci energetycznej i ewentualnych zmian gospodarczych.

Pierwszy pomysł zakłada wykorzystanie energii słonecznej jako źródła energii cieplnej. W projekcie planowane jest użycie kolektorów słonecznych lub zwierciadeł parabolicznych w celu wstępnego lub finalnego podgrzania czynnika roboczego. Dzięki temu wprowadza się do systemu dodatkową energię, zwiększa się entalpię, a co za tym idzie, także produkcję elektryczności. Stosując powszechnie dostępne kolektory, można wstępnie podgrzać czynnik roboczy tuż przed jego wejściem do podgrzewaczy kotła, dzięki czemu dalsze jego ogrzewanie wymaga mniejszego nakładu energii, a więc także mniejszej ilości spalanej biomasy. Przy zastosowaniu zwierciadeł parabolicznych, skupiających wiązkę promieni na odcinku rury, można by było pokusić się nawet o zamontowanie takiej instalacji za kotłem, tuż przed turbiną, co pozwoliłoby na wykorzystanie wysokiej temperatury uzyskiwanej dzięki koncentracji energii z dużej powierzchni zwierciadła na małą powierzchnię rury. Jednak takie zastosowanie sprawiałoby problemy dla turbiny, która byłaby narażona na duże wahania parametrów i bardzo często pracowałaby poza swoim nominalnym punktem pracy (a nawet znacznie poniżej niego, w przypadku całkowitego braku słońca). Zakłada się, że instalacja solarna będzie zamontowana wyłącznie jako element pomocniczy, wspomagający

pracę elektrociepłowni, który w każdym momencie będzie można obejść, aby uniknąć strat ciepła w warunkach nie-sprzyjających. Nie ma właściwie żadnych przeciwwskazań do zastosowania tego rozwiązania, gdyż stanowi bardzo małą ingerencję w system i wiąże się z bardzo małymi kosztami inwestycyjnymi. Jedynym warunkiem koniecznym do spełnienia jest dokładny system dostarczania paliwa, który w przypadku pojawienia się nagłego zachmurzenia zadba o płynne zwiększenie dostarczanego paliwa, aby zachować stabilne parametry pary świeżej. Drugim innowacyjnym pomysłem jest zastosowanie baterii w postaci zbiorników wodno-rowych. Wodór jest gazem bardzo prostym do wytworzenia w procesie elektrolizy i potrafiącym zgromadzić ogromne ilości energii w stosunkowo małej objętości. Idea opiera się na potrzebie uniezależnienia od dostaw prądu z zewnątrz ale także na zyskach ekonomicznych wynikających z posiadania zapasów energetycznych w odpowiednich godzinach w ciągu doby. Zgodnie z projektem, wodór może być produkowany w procesie elektrolizy w trakcie niskiego poboru energii (na przykład w nocy), gromadzony w zbiornikach pod wysokim ciśnieniem, a następnie uwalniany w godzinach szczytu dzięki przepływowi przez ogniwo paliwowe. Proces ten jest całkowicie bezpieczny (odizolowany wodór nie stanowi niebezpieczeństwa), a jedynym produktem tego zamkniętego cyklu jest czysta woda. Niestety nie da się uniknąć strat w trakcie konwersji, jednak mimo to odnotowuje się zyski ze sprzedaży droższego prądu w godzinach szczytu. Rozwiązanie to ma być alternatywą dla klasycznych wodnych zbiorników szczytowych używanych w elektrowniach znacznie większej skali. Jest to prototypowy projekt, nie wdrożony jeszcze w żadnym innym obiekcie energetycznym. Na drodze do jego zrealizowania może stanąć kwestia dużej przenikalności wodoru przez ściany zbiornika, kłopoty ze sprężaniem oraz ogólna sprawność procesu, a co za tym idzie – względy ekonomiczne. Mimo prac nad optymalnymi warunkami elektrolizy, wciąż trudno jest wytworzyć wymaganą ilość gazu przy minimalnych stratach spowodowanych oporem wewnętrznym wody, nawet w obecności elektrolitu. Wydaje się jednak, że wodór, który odgrywa coraz większą rolę we współczesnej technice (szczególnie w motoryzacji) ma szansę pełnić rolę magazynu energii [4].

PODSUMOWANIE

Realizacja przedstawionego projektu z pewnością przyczyni się do rozwoju lokalnego gminy, poprawy jakości życia mieszkańców. Pozwoli to również na wzrost konkurencyjności Gminy Daszyna. Natomiast promowanie owego działania gospodarczego w postaci budowy elektrowni na biomasę wpłynie na realizację zasady zrównoważonego rozwoju oraz do ochronę klimatu w przestrzeni europejskiej, a także na rozwijanie się partnerskiej współpracy pomiędzy partnerami z Polski i Niemiec, w celu wypracowywania najlepszych rozwiązań technologicznych i logistycznych, sprzyjających ochronie środowiska i ważnych dla w obu sąsiedzkich krajów.

Literatura:

- [1] Opracowanie własne (mgr Renata Jaworska)
- [2] Katalog produktów firmy DP CleanTech
- [3] "Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems" . Retrieved 2010-09-15
- [4] Opracowanie własne (mgr inż. Piotr Popławski)