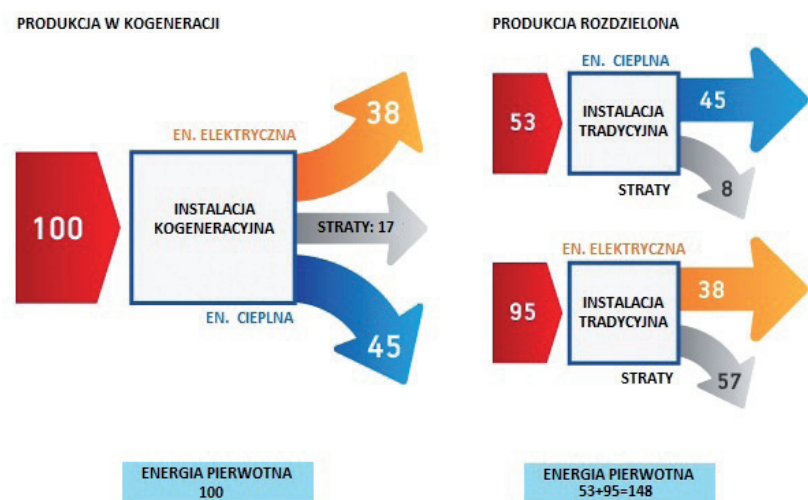


dr inż. Karol Sztekler, dr hab. inż. Jan Górski, prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak,
mgr inż. Tomasz Siwek, mgr inż. Wojciech Kalawa, inż. Łukasz Żak,
Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

Możliwości wykorzystania małych układów kogeneracyjnych w instalacjach prosumenckich

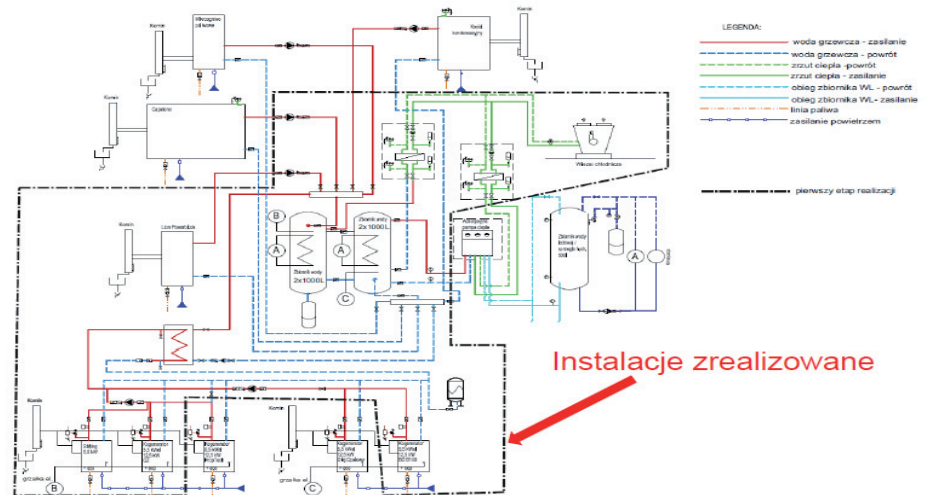
W niniejszej pracy zaprezentowano możliwości zastosowania małych układów kogeneracyjnych do produkcji energii elektrycznej i ciepła łącznie, na przykładzie Laboratorium Układów Kogeneracji (LUK) w Centrum Energetyki - AGH oraz możliwości badawcze laboratorium LUK.

Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej, nazywane również kogeneracją (rys. 1) określane jest, jako równoczesna produkcja ciepła i energii elektrycznej bądź mechanicznej w jednym procesie technologicznym. Proces ten realizowany jest w jednym urządzeniu bądź układzie połączonych urządzeń [1]. Zgodnie z dyrektywą 2004/8/EC mikrokogeneracja oznacza układy o mocy zainstalowanej poniżej 50 kW_e. Jednak coraz częściej w odniesieniu do układów najmniejszych mocy mówi się o instalacjach produkujących energię elektryczną z maksymalną mocą 15 kW_e, ponieważ jednostki takie mogą być używane w domach jednorodzinnych, budynkach użyteczności publicznej czy w małych przedsiębiorstwach [8,7].



Rys.1. Porównanie produkcji energii w kogeneracji i produkcji rozdzielonej [3]

Idea zrównoważonego rozwoju oraz polityka klimatyczna prowadzi do wzrostu znaczenia źródeł rozproszonych w nowoczesnym modelu energetyki. Pod pojęciem generacji rozproszonej rozumie się obiekty wytwarzające energię na potrzeby własne użytkownika lub dostarczające energię do sieci dystrybucyjnej. Jednostki te nie podlegają zasadą centralnego dysponowania i mogą być podłączone bezpośrednio do sieci niskiego lub średniego napięcia. Instalacje rozproszone mogą posiadać moc od kilku kilowatów do kilkunastu megawatów [1,2,5,6]. Energetyka prosumencka jest częścią generacji rozproszonej obejmującej źródła wytwórcze o najmniejszych mocach. Prosumentem jest podmiot, będący jednocześnie producentem i konsumentem energii. Wytworzona energia jest wykorzystywana na własne potrzeby prosumenta, a ewentualne nadwyżki produkcyjne są odsprzedawane do sieci. Jednym z ważniejszych aktów prawnych określającym wsparcie energetyki rozproszonej jest ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 r. Definiuje ona mikroinstalacje, jako źródła energii o maksymalnej mocy elektrycznej wynoszącej 40 kW_e, lub o mocy cieplnej nieprzekraczającej 120 kW_t, które mogą być przyłączone do sieci elektroenergetycznej o maksymalnym napięciu znamionowym równym 110 kV. Ustawa ta określa również, że mikroinstalacja wykorzystuje wyłącznie odnawialne źródła energii. Ogranicza to zatem liczbę potencjalnych inwestorów, gdyż ustawa ta nie przewiduje wsparcia dla źródeł wykorzystujących paliwa niskoemisyjne takie jak gaz ziemny czy LPG [4,9]. Obowiązujące akty mogą się jednak przyczynić do rozwoju mocy zainstalowanej pochodzącej z małych układów kogeneracyjnych instalowanych w domach jednorodzinnych i budynkach użyteczności publicznej.



Rys. 2. Schemat laboratorium LUK w Centrum Energetyki

Małe układy kogeneracyjne w laboratorium LUK Centrum Energetyki AGH

Zasadniczym przedmiotem badań laboratorium LUK (rys.2) jest określenie optymalnych konfiguracji małych lokalnych układów mikro-kogeneracji, które mogą być wykorzystywane dla potrzeb indywidualnego zaopatrzenia budynków w energię elektryczną, ciepło, a także inne niezbędne media (chłód, cwu, powietrze dla celów wentylacji). Koncepcja tego typu laboratorium badawczego dydaktycznego stanowi istotny element spełnienia przyszłościowych kryteriów bezpieczeństwa energetycznego i wymogów środowiskowych związanych z ograniczaniem emisji CO₂ i innych szkodliwych substancji. Laboratorium zajmuje się kompleksowo problematyką małej kogeneracji opartej na różnego typu źródłach energii i technologiach jej przetwarzania. Zakres prowadzonych badań w LUK dotyczą nie tylko diagnozowania stanów i parametrów pracy poszczególnych urządzeń cieplnych, ale też określenia optymalnych warunków odbioru generowanej mocy elektrycznej i cieplnej przez sieć wewnętrzną (w bu-

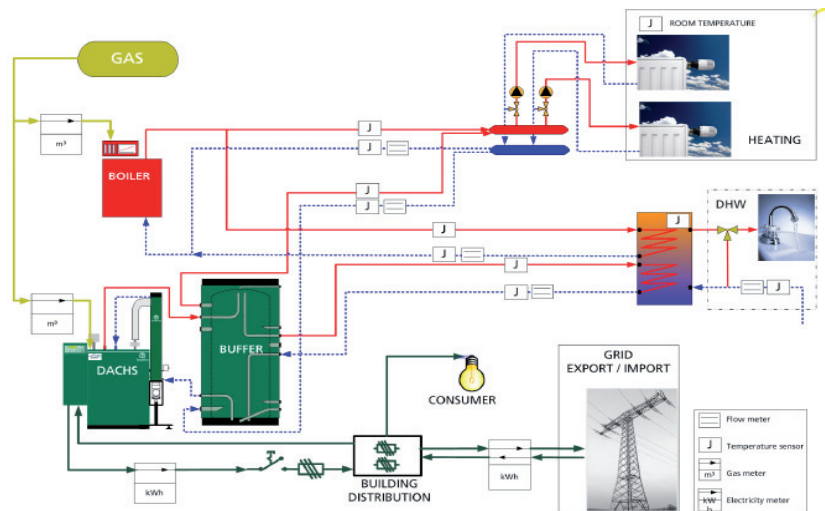
dynku) i zewnętrzną (SmartGrid, sieć energetyczną), oceną stanów dynamicznych, jakości energii, bezwładności i niezawodności małych układów CHP i ich współpracy w ramach wspólnej sieci (w warunkach laboratoryjnych).

Infrastruktura laboratorium pozwala na prowadzenie badań efektywności układów kogeneracji dla różnych profili zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło, tj. energia elektryczna produkowana przez generator może być doprowadzana do odbiorców, gromadzona w akumulatorach lub przekazywana do sieci. Podobnie, ciepło odbierane od spalin lub w wyniku chłodzenia silnika, może być gromadzone w buforze, dostarczane do odbiorców (wymienników ciepła), konwertowane na inne parametry lub inną formę energii.

W instalacji laboratoryjnej LUK znalazły się następujące jednostki CHP wraz z układami wspomagającymi i zabezpieczającymi funkcjonowanie LUK (np. symulujące stany obciążeń oraz zabezpieczające przed przeciążeniem elektrycznym i cieplnym):

- Układ kogeneracyjny oparty o silnik z wewnętrzną komorą spalania na gaz ziemny- Senertec Dachs, Moc elektryczna: 5,5 kW_e, Moc cieplna: 12,5÷15,5 kW_t
- Układ kogeneracyjny oparty o silnik





Rys. 3. Idea pracy układ mikrosiłowni z silnikiem z wewnętrzną komorą spalania CHP

z wewnętrzną komorą spalania na biodiesel - Senertec Dachs,

- Układ kogeneracyjny oparty o silnik Stirlinga - Senertec Dachs z silnikiem Stirlinga Moc elektryczna: 1 kWe, Moc cieplna: 3÷5.8 kWt
- Układ kogeneracyjny oparty o tłokowy silnik parowy - Lion Powerblock z silnikiem parowym Moc elektryczna: 0,3÷2 kWe, Moc cieplna: 3,5÷16 kWt,
- planowana rozbudowa laboratorium o stanowisko do badań układów kogeneracji z mikroturbiną gazową, z ogniwem paliwowym na gaz ziemny, oraz stanowisko do badań adsorpcyjnych układów chłodniczych.

Laboratorium daje możliwość poszukiwania optymalnej, ze względu na efektywność, strategię obciążania poszczególnych elementów układu CHP (przy różnej konfiguracji (zmienną w zależności od aktualnego stanu aktywności odbiorców). W okresach mniejszego zapotrzebowania na energię elektryczną analizowana będzie charakterystyka sprawności całkowitej układu CHP w warunkach jego dociążania przez urządzenia rozpraszające energię elektryczną i cieplną. Do laboratorium układów kogeneracyjnych zostały dobrane urządzenia w taki sposób aby stanowiły istotną bazę do prowadzonych badań z zakresu ukła-

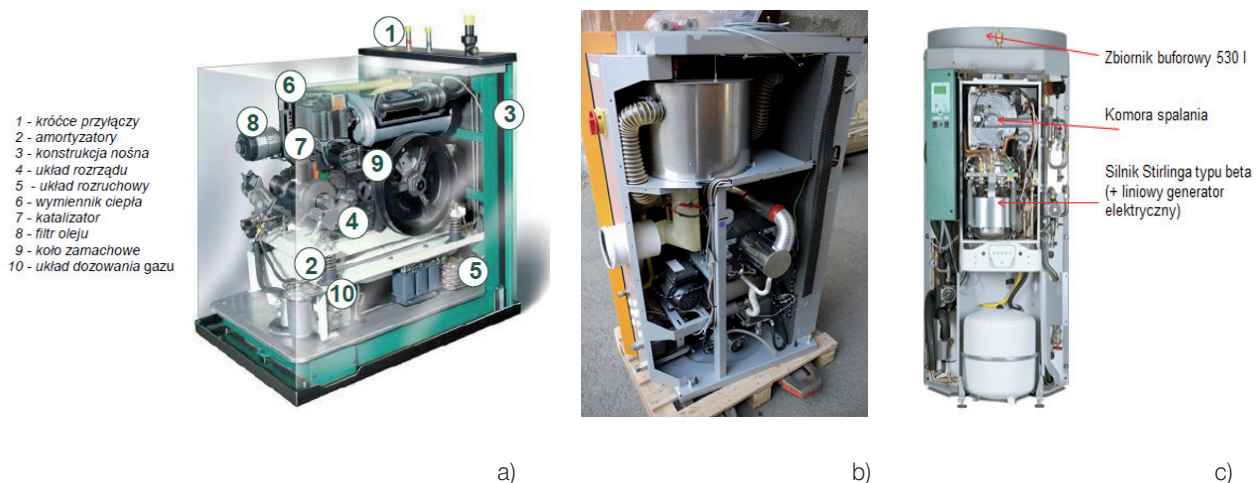
dów mikrokogeneracyjnych, i skupiały jednostki najbardziej powszechnie wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej i ciepła oraz nowe małe nowe układy wytwórcze, które są wprowadzane na rynek i mogą w przyszłości być rozpowszechnione w instalacjach prosumenckich. I tak na przykład ponad stuletni rozwój technologii silników spalania wewnętrznego sprawia, że układy te są dobrze rozwinięte zapewniając wysoką efektywność konwersji energii paliwa. Prowadzi to do ich bardzo powszechnego wykorzystania w wielu urządzeniach takich jak środki transportu, generatory prądotwórcze czy układy skojarzone. Silniki te zapewniają również znakomite właściwości dynamiczne przy zmiennym obciążeniu i w przeciwieństwie do innych technologii są dostępne w dużym zakresie mocy. Dzięki temu są one szeroko stosowane od urządzeń w skali mikro aż do napędu okrętów [7,8].

Dla jednostek mikrokogeneracyjnych wysoka sprawność jest jedną z głównych zalet silników spalania wewnętrznego, dlatego technologie z ich wykorzystaniem są wiodącymi układami na rynku dla mocy elektrycznej w zakresie 1-5 kWe. Silniki te są w stanie pracować wykorzystując, jako paliwo gaz ziemny, dzięki czemu mogą korzystać z dobrze rozwiniętej infrastruktury dostaw gazu w wielu krajach. Innymi zaletami silników

spalinowych wykorzystywanych w kogeneracji to niski koszt inwestycyjny, łatwa konserwacja. Z kolei wibracje, emisja hałasu i spalin to główne wady dla wykorzystania silników w instalacjach jednorodzinnych [6]. W porównaniu z silnikami tłokowymi, silniki Stirlinga mogą być zasilane różnymi paliwami. Najczęściej stosowany jest gaz ziemny, jednak silnik Stirlinga może być również zasilany ciepłem ze źródła odnawialnego, geotermalnego, bądź odpadowego. Zewnętrzne spalanie umożliwia większą kontrolę procesu spalania, jak również skutkuje bardzo niskimi wskaźnikami emisji zanieczyszczeń, niskim poziomem hałasu oraz wysoką efektywnością. Co więcej, brak kontaktu produktów procesu spalania z częściami ruchomymi silnika powoduje zwiększeniem trwałości urządzenia i zmniejszeniem użycia oleju smarnego. Silnik zewnętrznego spalania cechuje się niską ceną na jednostkę wyprodukowanej energii i wysoką niezawodnością. Jednak użycie drogich materiałów i złożoność konstrukcji sprawia, że stosunek ceny do mocy zainstalowanej jest prawie dwukrotnie wyższy niż w przypadku silników tłokowych. Są one również cięższe od jednostek z silnikami spalinowymi o tych samych mocach. Jest to spowodowane koniecznością zastosowania dobrych wymienników ciepła pozwalających na przekazywanie ciepła z zewnętrznych źródeł ciepła do czynnika roboczego [6].

Układ kogeneracyjny oparty o tłokowy silnik parowy zamieniający energię cieplną na energię mechaniczną i dalej poprzez generator liniowy na energię elektryczną. Technologia wykorzystująca generatory parowe, służące do kogeneracyjnego wytwarzania energii, jest wykorzystywana komercyjnie. Nie jest jeszcze bardzo rozpowszechnioną technologią, ale są firmy, które oferują takie produkty. Do wiodących firm w tym obszarze należą: Spilling, Tenza, Lion energy. Lion-energy jako jedyna firma oferuje takie rozwiązanie, w postaci Lion-Powerblock, kogeneracyjnego wytwarzania energii dla indywidualnego odbiorcy. Zarówno dzięki gabarytom urzą-





Rys. 4. Układy kogeneracyjne: a) silnik z wewnętrzną komorą spalania na gaz ziemny- Senertec Dach; b) Lion Powerblock z silnikiem parowym; c) silnik Stirlinga- Senertec Dach

dzenia jak i mocy elektrycznej urządzenie jest przystosowane do pracy w układzie prosumenckim. To urządzenie pozwala zaspokoić całkowicie zapotrzebowanie na ciepło odbiorcy indywidualnego, oraz jednocześnie zapewnić 80% zapotrzebowania na energię elektryczną. Jednakże ze względu na duże koszty jednostkowe tego typu urządzenia nie stanowią konkurencji dla małych kogeneratorów spalinowych a prace nad zwiększeniem efektywności tego typu urządzeń wymagają dalszych badań.

Wnioski

Oplacalność zastosowania układów kogeneracyjnych zależy przede wszystkim od kosztu urządzenia a także od czasu pracy urządzenia w podstawie. Urządzenia tego typu wymagają przy eksploatacji aby zapewnić im stały odbiór ciepła dzięki temu sprawność modułu w tym trybie jest wyższa a tym samym zwrot poniesionych nakładów szybszy. Zaleca się aby małe kogeneratory pracowały w okresie zimowym w podstawie ciepłowniczej natomiast w okresie letnim były skonfigurowane z chłodziarkami adsorpcyjnymi i produkowały chłód na cele klimatyzacyjne dzięki takiemu rozwiązaniu instalacje te mogą pracować bardziej efektywnie. Jak na razie tylko układy z silnikiem tłokowym posiadają cenę pozwalającą na jej

zwrot w czasie krótszym niż zakładana żywotność urządzenia pod warunkiem że pracuje w sposób ciągły. Zbyt słaby system wsparcia instalacji zasilanych gazem ziemnym w postaci dofinansowania na zakup i montaż urządzenia powoduje, że układy o wysokich kosztach początkowych takie jak silnik parowy czy silniki Stirlinga są nierentowne przy wykorzystaniu ich w obiektach wielorodzinnych. Układy kogeneracyjne zasilane gazem ziemnym i bazujące na silnikach tłokowych są jak na razie jedyną technologią skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej, która jest opłacalna przy zastosowaniu w budynkach wielorodzinnych. Inne technologie wydają się być interesującą perspektywą dla energetyki prosumenckiej, jednak wysokie koszty oraz niezbyt wystarczające środki wsparcia niskoemisyjnych źródła energii utrudniają popularyzację technologii skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w wielorodzinnym budownictwie mieszkaniowym. Jednakże obserwowane tendencje wzrostowe jeśli chodzi o liczbę nowo instalowanych modułów kogeneracyjnych świadczy o dużym zainteresowaniem tej technologii stąd też AGH Centrum Energetyki wychodząc naprzeciw potrzebom rynku stworzyło Laboratorium małych układów kogeneracyjnych w, którym to można prowadzić szereg badań mających na celu zoptymalizowanie pracy urządzeń kogene-

racyjnych oraz poszukiwaniu nowych rozwiązań technicznych mogących wpłynąć na bardziej efektywną pracę kogeneratorów.

□

Literatura

- [1] Skorek J., Kalina J., *Gazowe układy kogeneracyjne*. Warszawa, WNT, 2005.
- [2] Paska J., *Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła*. Warszawa, OWPW, 2010.
- [3] Matuszczyk P., *Rozwój energetyki prosumenckiej na przykładzie kogeneracji CHP*, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 1, no. 1, pp. 107-110, 2016.
- [4] *Ustawa o odnawialnych źródłach energii*. Dz. U. 2015 nr. 478.
- [5] *Przewodnik po programach priorytetowych NFOŚiGW na lata 2015-2020*. Warszawa, 2014.
- [6] Beith R., Ed., *Small and micro combined heat and power (CHP) systems, Advanced design and applications*. Oxford, Woodhead Publishing, 2011.
- [7] Pehnt M. et al., *Micro cogeneration: Towards decentralized energy systems*. Berlin, Springer, 2006.
- [8] Maghanki M.M., Ghobadian B., Najafi G., Galogah R.J., *Micro combined heat and power (MCHP) technologies and applications*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 510-524,
- [9] *Ustawa o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw*. Dz. U. 2016 nr. 925.

