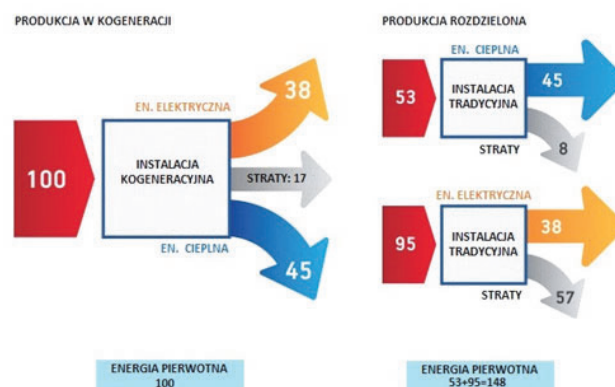


MAŁE URZĄDZENIA KOGENERACYJNE DO ZASTOSOWANIA W BUDOWNICTWIE JEDNO- I WIELORODZINNYM ORAZ OBIEKTACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Wstęp

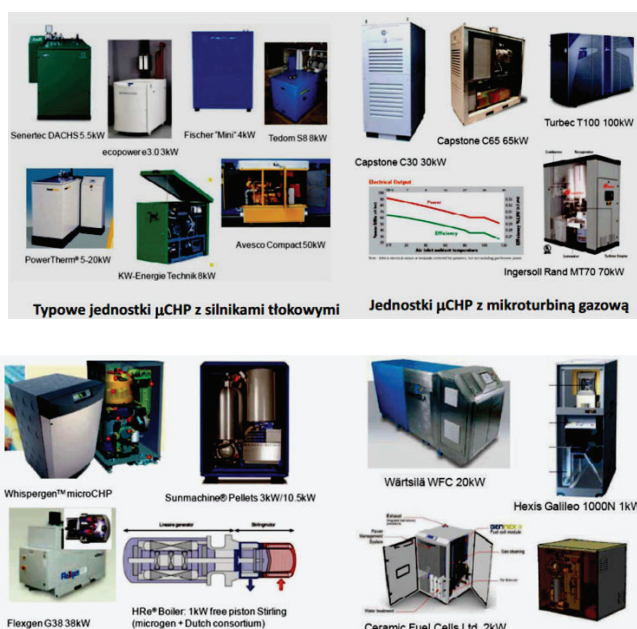
Średnia sprawność procesu produkcji energii elektrycznej w klasycznym bloku energetycznym wynosi 38–42%. Oznacza to, że dostarczając do komory spalania paliwo, z którego możemy wyprodukować 1000 MW energii elektrycznej, uzyskujemy tylko 380–420 MW. Wytwarzanie w skojarzeniu prądu i ciepła pozwala znacznie zwiększyć sprawność nawet wyższą lub równą 75%. 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. Wysokosprawna kogeneracja to wytwarzanie równocześnie energii elektrycznej oraz ciepła przy użyciu jednego paliwa. Takie wytworzenie energii musi być minimum o 10% bardziej efektywne niż przy wytwarzaniu jej osobno, np. przy osobnym produkowaniu prądu i ciepła. Produkcja w małoskalowych jednostkach kogeneracyjnych i jednostkach mikrokogeneracyjnych zapewniająca oszczędność energii pierwotnej może kwalifikować się jako wysokosprawna kogeneracja.

Proces kogeneracji realizowany jest w jednym urządzeniu bądź w układzie połączonych urządzeń [1]. Zgodnie z dyrektywą 2004/8/EC mikrokogeneracja oznacza układy o mocy zainstalowanej poniżej 50 kWe. Jednak coraz częściej w odniesieniu do układów najmniejszych mocy mówi się o instalacjach produkujących energię elektryczną z maksymalną mocą 15 kWe, 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]

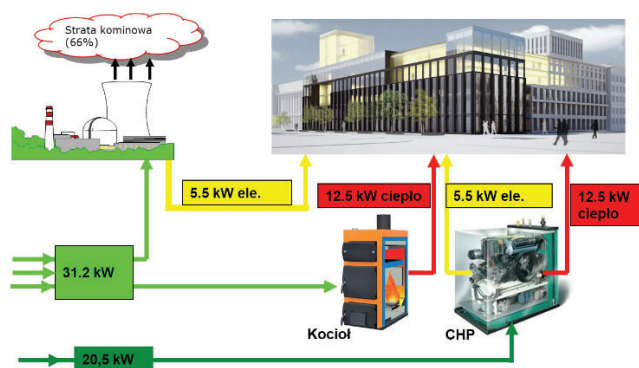
Idea zrównoważonego rozwoju oraz polityka klimatyczna prowadzi do wzrostu znaczenia źródeł rozproszonych w nowoczesnym modelu energetyki. Pod pojęciem generacji rozproszonej rozumie się obiekty wytwarzające energię na potrzeby własne użytkownika lub dostarczające energię do sieci dystrybucyjnej. Jednostki te nie podlegają zasadom 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 określających 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. Oferta rynkowa mikroinstalacji jest bardzo bogata, co pokazuje rys. 2.



Rys. 2. Oferta rynkowa na mikroinstalacje

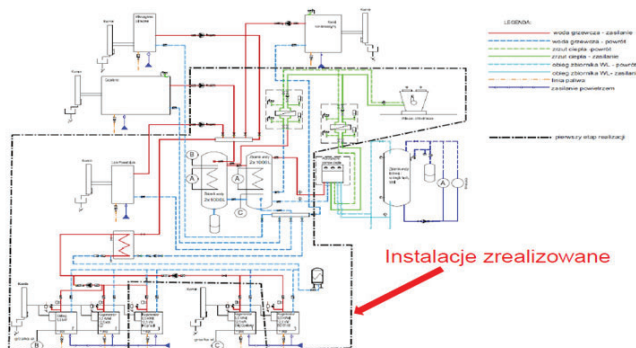
Małe układy kogeneracyjne w Centrum Energetyki AGH

W funkcjonowaniu Centrum Energetyki AGH uwidaczniają się korzyści, jakie jednostka publiczna może uzyskać z układów kogeneracyjnych (rys. 3).



Rys. 3. Kogeneracja w Centrum Energetyki AGH

Zasadniczym przedmiotem badań (rys. 4) jest określenie optymalnych konfiguracji małych lokalnych układów mikrokogeneracji, 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 badawczo-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 dotyczy nie tylko diagnozowania stanów i parametrów pracy poszczególnych urządzeń cieplnych, ale też określenia optymalnych warunków odbioru generowanej mocy elektrycznej i ciepła przez sieć wewnętrzną (w budynku) i zewnętrzną (SmartGrid, sieć energetyczna), oceny stanów dynamicznych, jakości energii, bezwładności i niezawodności małych układów CHP i ich współpracy w ramach wspólnej sieci (w warunkach laboratoryjnych).



Rys. 4. Schemat laboratorium w Centrum Energetyki AGH

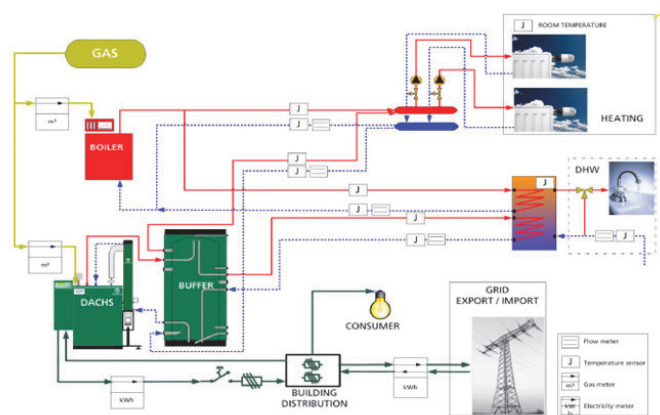
Infrastruktura laboratorium pozwala na prowadzenie badań efektywności układów kogeneracji dla różnych profili zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło, tj. energia elektryczna produkowana przez generator może być doprowadzana do odbiorców, gromadzona w akumulatorach lub przekazywana do sieci.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

W instalacji laboratoryjnej znalazły się następujące jednostki CHP wraz z układami wspomagającymi i zabezpieczającymi funkcjonowanie (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 kWe, Moc cieplna: 12,5–15,5 kWt;

- układ kogeneracyjny oparty o silnik 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 mikroturebiną gazową, z ogniowem paliwowym na gaz ziemny oraz stanowisko do badań adsorpcyjnych układów chłodniczych.

Rys. 5 przedstawia ideę pracy układu mikrośirowni z silnikiem z wewnętrzną komorą spalania CHP. Natomiast na rys. 6 pokazano układy kogeneracyjne: a) silnik z wewnętrzną komorą spalania na gaz ziemny – Senertec Dachs; b) Lion-Powerblock z silnikiem parowym; c) silnik Stirlinga – Senertec Dachs.

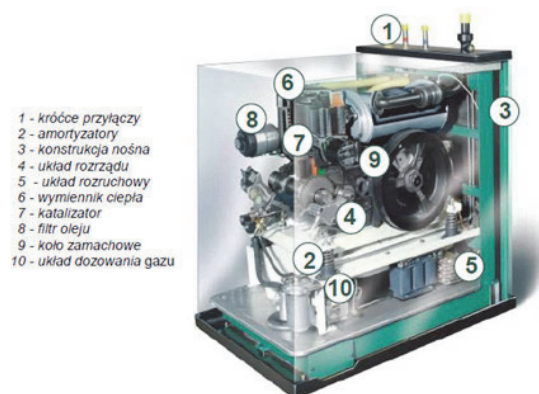


Rys. 5. Idea pracy układu mikrośirowni z silnikiem z wewnętrzną komorą spalania CHP

Laboratorium daje możliwość poszukiwania optymalnej, ze względu na efektywność, strategii obciążania poszczególnych elementów układu CHP przy różnej konfiguracji (zmiennej 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 urządzenia zostały dobrane w taki sposób, aby stanowiły istotną bazę do prowadzonych badań z zakresu układów mikrokogeneracyjnych i skupiały jednostki najbardziej powszechnie wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej i ciepła oraz nowe małe 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 i zapewniają 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 po napędy 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 są niski koszt inwestycyjny oraz łatwa konserwacja.

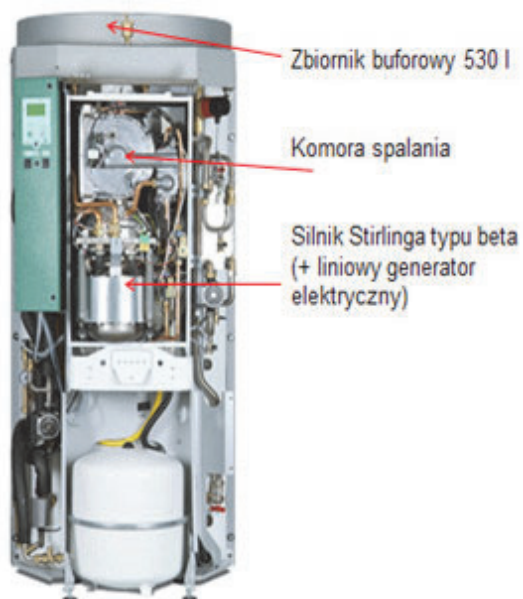
a)



b)



c)



Rys. 6. Układy kogeneracyjne: a) silnik z wewnętrzną komorą spalania na gaz ziemny – Senertec Dachs;
b) Lion-Powerblock z silnikiem parowym; c) silnik Stirlinga – Senertec Dachs

Z kolei wibracje, emisja hałasu i spalin to główne wady 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 zwiększenie trwałości urządzenia i zmniejszenie zużycia oleju smarowego. 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 jego przekazywanie z zewnętrznych źródeł ciepła do czynnika roboczego [6]. Układ kogeneracyjny jest oparty o tłokowy silnik parowy zamieniający ciepło na energię mechaniczną i dalej poprzez generator liniowy na energię elektryczną. Technologia stosująca generatory parowe, służące do kogeneracyjnego wytwarzania energii, jest wykorzystywana komercyjnie. Nie jest ona jeszcze bardzo rozpowszechniona, ale są firmy, które oferują opierając się na niej produkty. Do wiodących firm w tym obszarze należą: Spilling, Tenza, Lion Energy Group. Lion Energy jako jedyna firma oferuje rozwiązanie, w postaci Lion-Powerblock, kogeneracyjnego wytwarzania energii dla indywidualnego odbiorcy. Zarówno dzięki gabarytom urządzenia, jak i dzięki 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 ich efektywności wymagają dalszych badań.

Podsumowanie

Opłacalność zastosowania układów kogeneracyjnych zależy przede wszystkim od kosztu urządzenia, a także od jego czasu pracy 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 ono 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 interesującą perspektywą dla energetyki prosumenckiej, jednak wysokie koszty oraz niezbyt wystarczające środki wsparcia niskoemisyjnych źródeł energii utrudniają popularyzację technologii skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w wielorodzinnym budownictwie mieszkaniowym. Obserwowane tendencje wzrostowe, jeśli chodzi o liczbę nowo instalowanych modułów kogeneracyjnych, świadczą o dużym zainteresowaniu tą technologią. Centrum Energetyki AGH wyszło naprzeciw potrzebom rynku i stworzyło laboratorium małych układów kogeneracyjnych, w którym można prowadzić szereg badań mających na celu zoptymalizowanie pracy urządzeń kogeneracyjnych oraz poszukiwanie nowych rozwiązań technicznych mogących spowodować bardziej efektywną pracę kogeneratorów.

Bibliografia:

- [1] J. Skorek, J. Kalina, *Gazowe układy kogeneracyjne*, Warszawa 2005.
- [2] J. Paska, *Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła*, Warszawa 2010.
- [3] P. Matuszczyk, *Rozwój energetyki prosumenckiej na przykładzie kogeneracji CHP*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2016, nr 1 (1), s. 107–110.
- [4] Ustawa o odnawialnych źródłach energii. Dz. U. 2015 nr 478.
- [5] Przewodnik po programach priorytetowych NFOŚiGW na lata 2015–2020, Warszawa 2014.
- [6] *Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems, Advanced Design and Applications*, R. Beith (red.), Oxford 2011.
- [7] M. Pehnt, B. Praetorius, K. Schumacher et al., *Micro Cogeneration: Towards Decentralized Energy Systems*, Berlin 2006.
- [8] M.M. Maghanki, B. Ghobadian, G. Najafi, R.J. Galogah, *Micro Combined Heat and Power (MCHP) Technologies and Applications*, „Renew. Sustain. Energy Rev.” 2013, nr 28, s. 510–524.
- [9] Ustawa o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw. Dz. U. 2016 nr 925.