

## Potencjał rozwoju mikrokogeneracji w Polsce

**Streszczenie.** Przedstawiony niżej tekst opisuje, możliwości wykorzystania mikrokogeneracji w warunkach polskich. Mikrokogeneracja jest technologią łączącą zalety kogeneracji z rozproszonymi źródłami energii. W artykule ukazane zostały potencjalne ścieżki rozwoju branży, bazujące zarówno na doświadczeniach krajów, gdzie mikrokogeneracji jest znacznie bardziej popularna, jak i na czynnikach krajowych. Przedstawiono wyniki badań mających na celu sprawdzenie poszczególnych parametrów urządzeń mikrokogeneracyjnych i możliwość jego wykorzystania jako urządzenia szczytowego.

**Abstract.** The following text describes the possibilities of using mCHP systems in Poland. Microcogeneration is a technology that combines advantages of CHP and distributed generation. The article present potential development of mCHP based on national factors and experiences of other countries. The aim of studies concerns on designating the relation between the performance characteristics of mCHP and possibilities of use this systems during peak load (**Possibilities of using mCHP systems in Poland**).

**Słowa kluczowe:** mikrokogeneracji, inteligentne sieci, rozproszone źródła energii, kogeneracja gazowa

**Keywords:** mCHP, gas CHP, smart grid, distributed generation.

### Wstęp

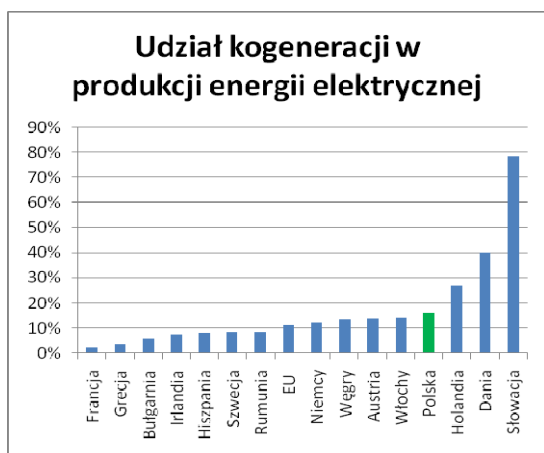
Kogeneracja CHP (Combined Heat and Power) to proces technologiczny umożliwiający uzyskanie dwóch użytecznych form energii w ramach jednego zintegrowanego układu. Najczęściej termin ten dotyczy wytwarzania energii elektrycznej i ciepła użytkowego. Rozproszone źródła energii to segment urządzeń o mocy dopasowanej do miejscowego zapotrzebowania. Mikrokogeneratory natomiast jest to grupa urządzeń łączących obie opisane technologie oraz ich zalety i wady.

Kogeneracja znalazła swoje zastosowanie w Polsce i jej udział w mikście energetycznym wynosi ponad 16 % co jest wynikiem większym niż średnia unijna (11%). [eurostat]Warto jednak zaznaczyć że, dominującą rolę odgrywają duże elektrociepłownie systemowe (powyżej 50 MWe) zasilane węglem. Dzieje się tak z powodu dobrze rozwiniętej sieci ciepłowniczej oraz dominacji energetyki węglowej. Pozostałą część praktycznie w całości stanowią małe i średnie (50 kWe – 50 MWe) elektrociepłownie zasilane najczęściej gazem lub biogazem. Udział mikrokogeneracji (poniżej 50 kWe)[prawo unijne] jest praktycznie niezauważalny.

których uzyskuje się ciepło użytkowe sprawność odniesiona do wartości opałowej jest bliska 100% o tyle w przypadku generacji energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni poziom strat wynosi w zależności od zastosowanej technologii 60-70% [2]. Dzięki połączeniu wytwarzania tych dwóch czynników w jednym procesie możliwe jest odzyskanie większości ciepła odpadowego i ponowne jego użycie do celów grzewczych. Wzrost sprawności przekłada się nie tylko na efekt ekonomiczny ale również na redukcję emitowanych gazów cieplarnianych przyczyniających się do wzrostu globalnego ocieplenia.



Rys.2. Schemat ideowy obrazujący działanie kogeneracji. [3]



Rys.1. Udział kogeneracji w produkcji energii elektrycznej w wybranych krajach Unii Europejskiej [1]

### Zalety mikrokogeneracji

Za podstawową zaletę tego rodzaju urządzeń należy uznać relatywnie wysoką sprawność całkowitą pozwalającą na lepsze wykorzystanie energii zawartej w paliwie. Bierze się to z faktu, że o ile w nowoczesnych urządzeniach, w

Generacja czynnika to nie jedyny proces, w którym mogą powstawać straty. W przypadku konwencjonalnej elektrociepłowni i ciepłowni wytworzony czynnik należy jeszcze przelać w miejsce jego wykorzystania. Wiąże się to zarówno z powstaniem strat przesyłowych jak i koniecznością wytworzenia czynnika o wyższych parametrach takich jak napięcie czy temperatura w celu zapewnienia odpowiedniej jakości czynnika u odbiorcy końcowego. Powoduje to zarówno zmniejszenie sprawności procesu wytwarzania (w przypadku ciepła) jak i strat spowodowane późniejszą konwersją parametrów.

W przypadku mikroźródeł z założenia czynnik konsumowany jest w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca wytworzenia. Powoduje to ograniczenie strat przesyłowych do niezbędnego minimum. Dodatkowo możliwe jest znaczne zmniejszenie wielkości przyłączy i kosztów ich utrzymania. Redukcji ulegają także niezbędne układy pomocnicze. Generacja rozproszona pozwala na wytwarzanie czynnika o niższym parametrze często tożsamym z tym jaki jest konsumowany u końcowego odbiorcy. Układy te dzięki rosnącej automatyzacji w pełnym

zakresie mogą współpracować zarówno ze sobą jak i z systemami centralnymi stanowiąc dla nich uzupełnienie. Co ważne mała moc wiąże się także z małymi rozmiarami, które nie tylko pozwalają na instalacje urządzeń wewnątrz budynków ale także wpływają na zmniejszenie ich bezwładności cieplnej. Pozwala to na łatwiejsze sterowanie urządzeniami i wyższą elastyczność pracy, co przekłada się na wysoką sprawność także poza sezonem grzewczym, której spadek często jest problemem dla centralnych układów [3].

Urządzenia mikrokogeneracyjne mogą stanowić równowagę dla coraz popularniejszych rozwiązań związanych ze stosowaniem odnawialnych źródeł energii, które pomimo niewątpliwych zalet ekologicznych posiadają także znaczącą wadę – duże uzależnienie od warunków pogodowych, co w przypadku dużej ilości instalacji może powodować destabilizację sieci elektroenergetycznej. Wprowadzenie technologii magazynujące w coraz większym stopniu zmniejszają ten problem jednak sterowalne mikroźródła takie jak mikrokogeneracje, w przypadku zastosowania inteligentnych sieci mogą stanowić doskonałą alternatywę dla magazynów energii.

### Rodzaje urządzeń mikrokogeneracyjnych

Mikrokogeneratory nie są jednolitą grupą urządzeń, pomimo podobnych funkcji, różne rodzaje systemów mogą bazować na zupełnie innych układach zasilanych zróżnicowanym paliwem.

#### Podział ze względu na zastosowany system:

- Silniki Spalinowe
- Mikroturbiny gazowe
- Ogniwa Paliwowe
- Silniki Stirlinga
- Kogeneratory Solarne
- Turbiny parowe i ORC

#### Podział ze względu na stosowane paliwo:

- Biomasa
- Węgiel
- Gaz palny
- Wodór
- Produkty ropopochodne
- Energia słoneczna

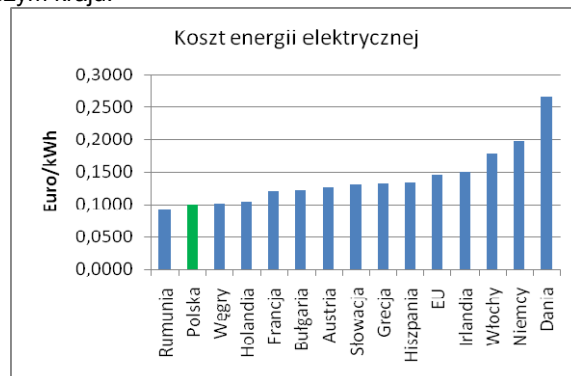
Część z przedstawionych technologii nie jest produktem rynkowym i wykorzystywana jest tylko w instalacjach pilotażowych, jednak przedstawiona różnorodność rozwiązań ukazuje potencjał tej gałęzi energetyki. Niewątpliwie najbardziej popularnym typem mikrokogeneratorów stosowanych na rynku są urządzenia bazujące na silnikach spalinowych zasilanych gazem palnym. Zaletą tego typu urządzeń jest prosta i długo znana konstrukcja, wysoka sprawność, relatywnie niskie koszty zakupu oraz eksploatacji. Z tego względu do dalszej analizy został użyty, jako przykład, najczęściej instalowany model urządzeń serii DACHS firmy SenerTec o mocy nominalnej 5,5 kWe. [4]

### Mikrokogeneracja w Europie i Polsce

Popularność mikrokogeneracji znacznie różni się w poszczególnych krajach Europy. O ile w Niemczech czy Wielkiej Brytanii ilość zainstalowanych urządzeń można liczyć w dziesiątkach tysięcy tak w Polsce urządzenia te dopiero wkraczają na rynek. Zróżnicowanie to wynika z kilku czynników. Najważniejszą determinantą jest opłacalność ekonomiczna, która wzrasta wraz z ceną detaliczną energii elektrycznej zakupionej przez końcowego odbiorcę.

Koszty energii elektrycznej ukazane na wykresie nr 3 ukazują w prosty sposób że, odbiorca końcowy w Polsce

placi za prąd, wliczając wszelkie opłaty, prawie o połowę mniej niż przeciętny obywatel Unii Europejskiej oraz prawie dwa razy mniej niż przeciętny obywatel Niemiec. Odpowiada to wprost na pytanie dlaczego ta technologia jest tak popularna w zachodniej Europie i mało popularna w naszym kraju.



Rys.3. Cena energii elektrycznej w walucie EUR w wybranych krajach Unii Europejskiej. [1]

Innym czynnikiem wpływającym na popularność stosowanych technologii są rozwiązania prawne. W Europie zachodniej istnieje wiele rozwiązań wspierających mikrokogenerację zarówno w sposób bezpośredni w postaci dopłat, jak i w pośrednio przez możliwość wspólnego rozliczenia energii poprzez możliwość jej odsprzedaży w ramach wewnętrznej sieci. Niestety w Polsce mikrokogeneracji prawdopodobnie ze względu na swoją małą popularność nie ma wypracowanych rozbudowanych systemów wsparcia [5]. Nie jest ona dostatecznie umocowana w prawie przez co przyłączenie małych jednostek prądotwórczych do sieci niesie za sobą szereg problemów. Procedura ta została znacznie uproszczona poprzez ustawę o OZE [6] jednak nie dotyczy ona większości źródeł stosowanych w mikrokogeneracji rozumianej według dyrektywy UE [7]. W Polskiej rzeczywistości prawnej, układy mikrokogeneracyjne oparte na paliwach konwencjonalnych nie wchodzą w definicję mikrokogeneracji [6]. Znajduje się one za to w grupie „wysokosprawnej kogeneracji”, dla której mechanizmy wspierające w postaci certyfikatów są zbyt problematyczne w przypadku rozwiązań o tak małej mocy.

### Możliwe rozwiązania

Przy aktualnych cenach energii elektrycznej w Polsce urządzenia mikrokogeneracyjne należy wykorzystywać jak najefektywniej. Należy również zwrócić uwagę na różnice pomiędzy zużyciem energii elektrycznej na potrzeby własne a wyprowadzaniem jej na zewnątrz do sieci. W pierwszym przypadku oszczędności wynikające z faktu generacji energii są znacznie wyższe. Wynoszą one ekwiwalent zarówno energii czynnej jak i kosztów dystrybucji jakie przekazywane są na rzecz operatora sieci elektroenergetycznej. W drugim przypadku wartość prądu może być nawet kilkukrotnie niższa, ponieważ do wartości energii wyprowadzonej do sieci nie możemy doliczyć dodatkowych kosztów. W wizji lokalnej przeprowadzonej wśród jednostek samorządu terytorialnego wykazano, że stosunek oszczędności może być nawet pięciokrotnie większy na rzecz konsumowania czynnika w miejscu wytworzenia.

Ze względu na specyfikę urządzenia i to, że im dłuższy jego czas pracy tym większe oszczędności ono przynosi, optymalnym rozwiązaniem jest praca ciągła. Taki tryb pracy niestety nie jest możliwy do osiągnięcia w przypadku zabudowy jednorodzinnej. Obiekty, które są potencjalnymi

odbiorcami omawianej technologii muszą mieć na tyle duże zapotrzebowanie na media aby minimalny poziom konsumpcji korelował z mocą urządzenia a jednocześnie był na tyle mały aby nie było możliwości instalacji urządzenia o znacznie większej mocy. W przypadku przykładowego urządzenia po zebraniu jego parametrów pracy przy różnej temperaturze odbioru wyszczególniono poszczególne typy potencjalnych miejsc wdrożenia.

Pierwszym i najprostszym do implementacji urządzeń typem obiektów, są obiekty będące własnością jednostek samorządu terytorialnego takie jak szpitale, baseny lub domy pomocy społecznej. Są to miejsca, gdzie zapotrzebowanie na media występuje przez całą dobę i jednocześnie ze względu na gospodarza nie występują problemy z rozliczeniem energii. Drugą grupą potencjalnych odbiorców są hotele i zabudowa wielorodzinna, gdzie odpowiednio dobrany układ może zapewnić zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową. Duży potencjał drzemie również w implementacji urządzeń na końcówkach węzłów ciepłowniczych co w znaczny sposób zwiększa sprawność całego systemu przesyłowego. Ze względu na wysoką sprawność mikrokogeneracje można stosować również tam gdzie wymian źródła ciepła jest jedynym sposobem zwiększenia efektywności energetycznej budynku. Sprawdza się to głównie w przypadku budynków zabytkowych i sakralnych.

Bazując na pracy naukowej dotyczącej przykładowego kogeneratora [źródło praca magisterska], oraz badań rynku przeprowadzonych wśród obiektów wymienionych w poprzednim akapicie przedział czasowy zwrotu nakładów na inwestycje w przypadku ciągłego użytkowania urządzenia mieścił się w przedziale od czterech do siedmiu lat co stawia tą technologię jako bardzo efektywną w porównaniu do innych mikroźródeł, których okres zwrotu bez odpowiednich dotacji jest znacznie dłuższy.

### Potencjał Rozwojowy

Opisane powyżej rozwiązania są możliwe do stosowania w korelacji do aktualnych cen energii elektrycznej i gazu. Biorąc pod uwagę jednak tendencje wzrostowe kosztów mediów prawdopodobne, że w najbliższych latach możliwe będzie wykorzystanie opisywanych technologii w inny sposób niż dotychczas. Wraz ze wzrostem popularności odnawialnych źródeł energii coraz większym problemem jest kompensacja mocy w momencie gdy te urządzenia nie działają. Problem ten można rozwiązać dzięki tworzeniu centralnie sterowanych „wirtualnych elektrowni”, które mogłyby stanowić znaczący procent w krajowym systemie elektroenergetycznym, mimo małej mocy poszczególnych modułów. Opłacalność takiej inwestycji byłaby znacząco mniejsza ze względu na niższą ilość godzin jakie układ pracowałby w roku. Jednak w przypadku dużych wytwórców energii, po uwzględnieniu kosztów działalności przedsiębiorstwa i kosztów utrzymania rezerwy mocy, mogłoby się okazać, że uruchamianie tych układów tylko do pracy w szczycie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz do bilansowania sieci byłoby znacznie bardziej opłacalne niż rezerwa w tak zwanym „gorącym kotle”. Dodatkowo przy układach kogeneracyjnych, które przekazują przynajmniej częściowo moc bezpośrednio do końcowego odbiorcy możliwe jest, przy odpowiednim zaprojektowaniu instalacji, znaczące zmniejszenie mocy przyłączeniowych, co przekłada się bezpośrednio na koszty inwestycyjne i utrzymania.

Realizacja tego rozwiązania byłaby możliwa poprzez bezpośrednie dotacje dla inwestorów indywidualnych pokrywane przez spółki energetyczne, dzięki czemu spółki te mogłyby centralnie sterować danym urządzeniem. W innym przypadku urządzenia te mogłyby być własnością

zakładów energetycznych, i być tylko dzierżawione klientom indywidualnym.

Omawiana sytuacja oczywiście może ulec zmianie wraz ze zmianą cen energii elektrycznej, której poziom ciężko przewidzieć. Można jednak bezpiecznie założyć, że polska energetyka wymagać będzie modernizacji niezależnie od wybranej drogi rozwoju. Duża część aktualnych źródeł energii elektrycznej w najbliższym czasie osiągnie swój nominalny czas pracy, co wiąże się z dużymi nakładami finansowymi jakie konieczne będą do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego. Dodatkowo należy zauważyć, że średnia sprawność netto obecnej energetyki węglowej wynosi 33-34% co w przypadku wzrostu cen uprawnień limitów CO<sub>2</sub> może być kwestią wysoce problematyczną [8] Wiaże się to bezpośrednio z dużym prawdopodobieństwem stałego wzrostu cen energii elektrycznej w najbliższych latach. Może to spowodować sytuacje gdzie opłacalnym stanie się nawet, tak jak w Niemczech, montowanie urządzeń mikrokogeneracyjnych odpowiadających za całe zapotrzebowanie na ciepło użytkowe domów jednorodzinnych. Prawdopodobny wzrost popularności tego segmentu urządzeń może również zostać dostrzeżony przez prawodawców i odpowiednio umocowany w prawie polskim co automatycznie wpłynie pozytywnie na konkurencyjność tego rodzaju rozwiązań.

### Mikrokogenerator jako urządzenie szczytowe

O ile praca w trybie ciągłym nie powoduje większych trudności, o tyle w przypadku pracy jako urządzenie szczytowe dużą rolę ogrywa kwestia jaki jest przedział czasowy stabilizacji parametrów. Kluczową rolę odgrywają parametry elektryczne, ponieważ w przeciwieństwie do ciepłych wpływają one bezpośrednio na inne urządzenia. Aby sprawdzić potencjał urządzenia do bilansowania sieci przeprowadzono badania rozruchowe oraz badania podczas stabilnej pracy. Szczegółowy opis prac badawczych przeprowadzonych w Laboratorium Urządzeń Kogeneracyjnych, będącego częścią Centrum Energetyki AGH, znaleźć można w pracy dyplomowej poświęconej w pełni charakterystyką użytkowym. [9].



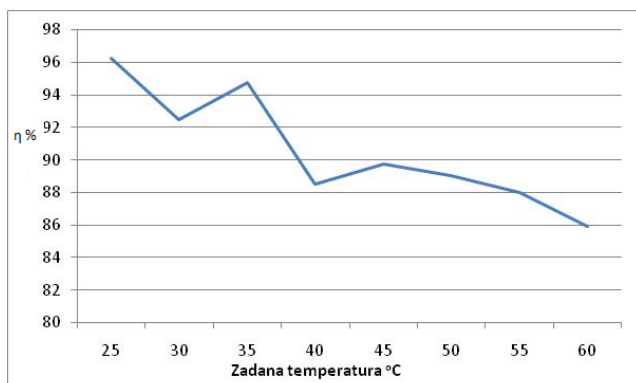
Rys.4. Stanowisko badawcze w LUK AGH

W przeprowadzonych badaniach średni czas rozruchu dla parametrów elektrycznych wynoszący poniżej 7 minut daje podstawy do kwalifikacji mikrokogeneratora do grupy maszyn mogących działać jako urządzenie szczytowe. Czas stabilizacji mocy cieplnej był znacznie dłuższy ale nie miał on wpływu na stabilność parametrów elektrycznych. Należy zauważyć, że parametry bliskie stabilnej pracy układ uzyskiwał znacznie wcześniej niż samą stabilizację, zwłaszcza w przypadku parametrów elektrycznych.

W trakcie badań zauważono, że podczas rozruchu niektóre parametry podlegają dużym wahaniom, dotyczy to w szczególności natężenia prądu elektrycznej oraz mocy biernej. Należy to brać pod uwagę podczas projektowania układów, zwłaszcza jeżeli współpracuje ze sobą kilka tego rodzaju urządzeń. Wprawdzie wartości te są na tyle małe,

że nie wpływają bezpośrednio na parametry sieci elektroenergetycznej, jednak gdyby zaistniała sytuacja włączenia kilku lub kilkunastu urządzeń w tym samym czasie, skutki tego procesu należy każdorazowo wziąć pod uwagę.

Warto zwrócić uwagę, że w przypadku gdy rośnie temperatura powrotu czynnika do urządzenia spada jego moc cieplna ale nie zmienia się moc elektryczna a co za tym idzie wzrasta współczynnik skojarzenia, co częściowo kompensuje spadek całkowitej sprawności. Wynika to głównie ze spadku sprawności kondensowania wody zawartej w spalinach. Ważną determinantą jest jednak sprawność całkowita, która nawet przy wysokiej temperaturze symulowanej instalacji była na poziomie niemożliwym do osiągnięcia dla systemów rozdzielonych.



Rys.5. Sprawność całkowita urządzenia DACHS HKA 5.5 w zależności od temperatury odbioru

#### Podsumowanie

Ceny energii elektrycznej w Polsce są na poziomie pozwalającym w sposób ekonomicznie uzasadniony wykorzystywać mikrokogenerację tylko w specyficznej grupie obiektów, których potencjał wynosi maksymalnie kilka tysięcy. Biorąc jednak pod uwagę zmiany jakie zachodzą na rynku wytwarzania energii elektrycznej zarówno, powodowane względami ekologicznymi jak i bezpieczeństwem energetycznym możliwe jest znaczne poszerzenie grupy odbiorców. Wszystkie zmienne wskazują na brak potencjalnych zagrożeń dla rozwoju tej gałęzi energetyki w Polsce. Potencjalna zmiana prawa, wprowadzenie dodatkowych udogodnień oraz ewentualnych dopłat może tylko przyspieszyć rozwój branży mikrokogeneracyjnej. Aktualnie na przeszkodzie w rozwoju stoi niska świadomość społeczna, która jest

systematycznie podnoszona poprzez wiodące ośrodki naukowe prężenie współpracujące z prywatnym biznesem. Założyć można, że dynamika wzrostu popularności branży mikrokogeneracyjnej będzie korelowała z rozwojem innych rozproszonych źródeł energii, zwłaszcza OZE, ponieważ stanowi dla nich idealne uzupełnienie w ramach krajowego systemu elektroenergetycznego.

#### Podziękowania

Artykuł został sfinansowany z grantu nr 11.11.210.376 Wydziału Energetyki i Paliw.

Praca współrealizowana przy użyciu infrastruktury Centrum Energetyki Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie 30-054, ul. Czarnowiejska 36.

**Autorzy:** mgr inż. Łukasz Lis Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: l.lis@samorząd@agh.edu.pl; dr inż. Tomasz Siwek, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: siwek@agh.edu.pl; dr inż. Karol Sztékler Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: sztékler@agh.edu.pl; mgr inż. Wojciech Kalawa, Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków e-mail: kalawa@agh.edu.pl;

#### LITERATURA

- [1] <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, dostępne dnia 18.11.2017
- [2] Kalina J, Skorek J, *Gazowe układy kogeneracyjne* Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa
- [3] senertec.com, dostępne dnia 18.11.2017
- [4] Bańkowski T, Żmijewski K, *Analiza możliwości i zasadności wprowadzenia mechanizmów wsparcia gazowych mikroinstalacji kogeneracyjnych – WSPARCIE ENERGETYKI ROZPROSZONEJ – ENERGETYKA SPOŁECZNA* Warszawa 2012
- [5] Paska J, *Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2010
- [6] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii Dz.U. 2015 poz. 478
- [7] DYREKTYWA 2004/8/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 11 lutego 2004 r.
- [8] Wawrzyńczyk J, Problemy i kierunki innowacyjnych rozwiązań w polskiej energetyce, *Przegląd Elektrotechniczny* doi:10.15199/48.2017.11.33
- [9] Lis Ł, *Układ mCHP bazujący na silniku spalinowym – charakterystyki użytkowe*, Praca dyplomowa 2016