

Maciej CHOROWSKI

# Transformacja polskiego systemu elektroenergetycznego i szczególna rola ciepłownictwa i kogeneracji w tym procesie

**Abstrakt:** Polski system elektroenergetyczny jest obecnie w okresie transformacji wynikającej zarówno ze stanu technicznego jednostek wytwórczych energii elektrycznej, jak i z założeń polityki klimatycznej wyrażonych w Zielonym Ładzie. Proces transformacji jest odzwierciedlony w Polityce Energetycznej Polski do 2040 r. (PEP 2040) i zakłada duży wzrost niestabilnych źródeł OZE w miksie energetycznym. Stabilizacja tych źródeł będzie możliwa poprzez modernizację ciepłownictwa polegającą na zamianie źródeł ciepła na systemy kogeneracyjne. Kogeneracja stanie się technologią regulacyjną w systemie elektroenergetycznym i zacznie wykorzystywać na dużą skalę magazyny ciepła i chłodu również w okresie letnim. W pracy omówiono procesy transformacji polskiej energetyki oraz uwypuklono rolę ciepłownictwa w tym procesie, w szczególności kogeneracji i trigeneracji.

**Słowa kluczowe:** transformacja energetyki, kogeneracja, trigeneracja, miks energetyczny

## Aktualny stan polskiego systemu elektroenergetycznego

Polski system elektroenergetyczny jest skazany na modernizację i transformację. Wynika to zarówno ze stanu technicznego jednostek wytwórczych i sieci przesyłowych zbudowanych kilkadziesiąt lat temu, jak i z uwarunkowań zewnętrznych, w tym założeń tzw. Zielonego Ładu ogłoszonego przez Unię Europejską. Istotą Zielonego Ładu jest dekarbonizacja gospodarki polegająca na eliminacji paliw kopalnych z energetyki, transportu, przemysłu i budownictwa, przy założeniu możliwości wzrostu gospodarczego bez degradacji zasobów naturalnych. Osiągnięcie pełnej dekarbonizacji jest planowane do roku 2050, a więc cel ten ma horyzont czasowy jednego pokolenia. U podstaw koncepcji Zielonego Ładu leży założenie antropogenicznego wpływu na obserwowane

obecnie zjawiska klimatyczne, często przybierające charakter katastroficznego. O ile nie jest możliwe udowodnienie dominujących przyczyn zmian klimatycznych, które mogą mieć charakter geologiczny lub astronomiczny, o tyle warto przemyśleć, czy założenia Zielonego Ładu mogą być skutecznie zrealizowane w polskich warunkach z korzyścią dla gospodarki oraz bez pogorszenia warunków egzystencji mieszkańców. Zasadne jest więc przeanalizowanie, czy w paśmie dopuszczalnych w ramach Zielonego Ładu rozwiązań jest możliwe takie zaplanowanie i przeprowadzenie transformacji polskiego systemu elektroenergetycznego, aby dokonać jego dekarbonizacji, a równocześnie osiągnąć podstawowy cel polityki energetycznej państwa, jakim jest bezpieczeństwo energetyczne przy zapewnieniu konkurencyjności gospodarki. Czyli – nie przeprowadzając dowodu prawdy lub fałszu podstaw ideologicznych Zielonego Ładu – należy dążyć do tego, aby nawet przy ewentualnym zaniegowaniu w przyszłości jego założeń podjęte obecnie działania doprowadziły do korzystnych dla Polski skutków technicznych i środowiskowych. Zgodnie z logiczną implikacją, nawet jeśli podstawy Zielonego Ładu są fałszywe, nie musi to oznaczać konieczności dojścia do błędnych rozwiązań w procesie transformacji polskiej energetyki.

Strategicznym dokumentem opisującym Politykę Energetyczną Polski do roku 2040 jest przyjęte 2 marca 2021 r. obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska zwane dalej PEP 2040. Z dokumentu tego można wywieść sekwencję procesów prowadzącą do osiągnięcia neutralności klimatycznej przy założeniu,

że transformacja energetyczna będzie sprawiedliwa, docelowy system energetyczny zeroemisyjny, a jakość powietrza wysoka.

## Etapy transformacji polskiej energetyki

Wynikającą z PEP 2040 transformację energetyczną można podzielić na wymienione poniżej etapy.

### 1. Wzrost ilości odnawialnych źródeł energii OZE w systemie. Pojawienie się niestabilności i niewydolności sieci przesyłowych.

Do roku 2020 w systemie elektroenergetycznym zostało zainstalowanych ok. 3 GWe mocy w fotowoltaice, przy założonych w PEP 2040 5–7 GWe w roku 2030 oraz 10–16 GWe w roku 2040. Obecnie obserwuje się początki niewydolności wirtualnego magazynu energii, jakim jest sieć elektroenergetyczna. Nowe instalacje prosumenckie powinny zostać wyposażone w systemy zarządzania energią powodujące wzrost konsumpcji energii w miejscu wytworzenia, w magazyny ciepła i chłodu oraz magazyny energii elektrycznej stabilizujące parametry sieci. Planowane są zbiorcze magazyny energii, również te skojarzone z elektrolizerami. Prawdopodobnie konieczna okaże się zmiana systemu opustów, gdyż obecny umożliwia w zasadzie nieograniczone przenoszenie zużycia energii z miesięcy letnich na okres zimowy, co w konsekwencji może powodować sumaryczny wzrost konsumpcji energii z elektrowni ciepłych.

### 2. Po dynamicznych wzrostach instalacji OZE w systemie elektroenergetycznym musi pojawić się ekwiwalentna ilość źródeł sterowalnych, umożliwiających kompensację OZE w przypadku braku następcznie i/lub wiatru.

Rolę taką odegra w szczególności kogeneracja gazowa. Ponadto zostaną utworzone samobilansujące się obszary energetyczne. Alternatywą dla rozbudowy sieci elektroenergetycznych jest lokalne magazynowanie energii na poziomie niskich lub średnich napięć

w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji PV. Magazyny lub konwertery energii mogą być urządzeniami zbiorczymi, obsługującymi zespół instalacji OZE poprzez lokalne wykorzystanie nadwyżki energii, np. na elektrolizę wody i wytworzenie wodoru w ilościach pozwalających na, chociażby, „wodoryzację” lokalnego transportu. Pozwoli to utrzymać wzrost liczby prosumentów bez pogorszenia warunków ekonomicznych. PEP 2040 zakłada 1 milion prosumentów do roku 2030.

### 3. Z powodu pojawienia się stabilnych elektroenergetycznie hybryd – jak np. niestabilnych z natury OZE połączonych z regulacyjną kogeneracją gazową – nastąpi wypchnięcie elektrowni węglowych z podstawy systemu do obszaru wymagającego ograniczonej sterowalności – źródła szczytowe, podszczytowe. Proces ten będzie połączony z wyłączeniem dużej części elektrowni. Nastąpi systematyczny spadek udziału węgla w miksie energetycznym – PEP 2040 zakłada 56% w 2030 oraz 11–28% w roku 2040.

Aktywa węglowe zostaną najprawdopodobniej wydzielone z aktywów przedsiębiorstw energetycznych, co wzmocni zdolności inwestycyjne spółek. Aktywa węglowe staną się elementem systemu zarządzanego wprost przez państwo. Wybrane bloki węglowe będą „uelastyczniane”, np. w ramach programu Bloki 200+.

### 4. W podstawie systemu pojawią się stabilne źródła bezemisyjne – elektrownie jądrowe i quasi-stabilne morskie farmy wiatrowe. PEP 2040 zakłada docelowo 6–9,6 GWe w elektrowniach jądrowych oraz 8–11 GWe w morskich farmach wiatrowych (ok. 6 GWe do roku 2030).

Planowane stabilne źródła bezemisyjne to elektrownie jądrowe, 6 bloków o łącznej mocy 6–9,6 GWe, uruchomienie pierwszego bloku elektrowni jądrowej o mocy 1–1,6 GWe ma nastąpić w roku 2033. Kolejne bloki będą uruchamiane co 2–3 lata. Program budowy polskiej energetyki jądrowej zakłada udział partnera technologicznego. Budowa elektrowni jądrowych stanowi szansę na skokowe podniesienie kultury przemysłowej w Polsce.

PEP 2040 zakłada zainstalowanie 8–11 GWe w morskich farmach wiatrowych (ok. 6 GWe do 2030 r.). Jest to duża szansa na rozwój polskich kompetencji – połączenie przemysłu stoczniowego z energetycznym. Całkowita moc polskich projektów morskich farm wiatrowych z warunkami przyłączenia do sieci lub umowami przyłączeniowymi wynosiła 30 października 2020 ok. 8,4 GW.

## Znaczenie ciepłownictwa dla transformacji energetycznej

Ciepło i energia elektryczna posiadają cechy przeciwstawne względem siebie. Energia elektryczna jest wolna od entropii i podlega nieograniczonej konwersji do innych form energii, np. ciepła lub energii mechanicznej. Ciepło jest nośnikiem entropii i jego konwersja na energię mechaniczną lub elektryczną podlega ograniczeniu Carnota oraz wymaga realizacji obiegów termodynamicznych. Energia elektryczna jest łatwa w przesyłaniu na duże odległości i trudna w magazynowaniu. Ciepło daje się stosunkowo łatwo magazynować, natomiast przesył ciepła na duże odległości, np. z południa na północ Polski, nie jest uzasadniony ani technicznie, ani ekonomicznie.

Sektorem, który będzie podlegał w Polsce szybkiej transformacji, jest ciepłownictwo. Wynika to z objęcia około 300 lokalnych ciepłowni systemem ETS, który obecnie praktycznie eliminuje te instalacje z rynku ze względu na bardzo wysokie koszty produkcji uniemożliwiające sprzedaż ciepła z jakiegokolwiek rentownością. Każda z tych jednostek będzie musiała przejść indywidualną analizę pozwalającą na znalezienie optymalnego modelu jej modernizacji. Z niektórych ciepłowni zostaną wyodrębnione mniejsze źródła zasilane paliwami kopalnymi (poniżej 20 MWt) i niepodlegające systemowi ETS. Zostaną one następnie uzupełnione na przykład źródłami geotermalnymi, ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem lub pompami ciepła zasilanymi z powietrza, płytką geotermią lub ciepłem odpadowym.

Transformacja ciepłownictwa stwarza realną możliwość szybkiego pojawienia się regulacyjnych mocy w systemie elektroenergetycznym. Wymaga to zastąpienia ciepłowni elektrociepłowniami, czyli jednostkami kogeneracyjnymi. Kogeneracja w dotychczasowym ujęciu nie pełniła roli regulacyjnej w systemach elektroenergetycznych. Wynika to przede wszystkim z niskiej sprawności termodynamicznej wytwarzania energii elektrycznej bez wykorzystania ciepła. Sprawność ta jest co najmniej o 10% niższa od sprawności elektrowni zawodowych. Istotne są też problemy ze zrzutem ciepła przy braku popytu na ciepło sieciowe. Dotychczasowe jednostki kogeneracyjne projektowane były tak, aby zapewnić wymaganą moc cieplną, a energia elektryczna stanowiła produkt uboczny, co do zasady zawsze sprzedawalny.

Projektując duże systemy kogeneracyjne zakładano, że ewentualne niedobory energii elektrycznej będą występowały w okresie zimowym i będą skorelowane z popytem na ciepło. Ze względu na brak zapotrzebowania na ciepło w okresie letnim wielkomiejskie elektrociepłownie nie są w stanie wytwarzać energii elektrycznej po konkurencyjnych cenach i pracują z minimalną mocą, produkując jedynie ciepło na potrzeby dystrybuowanej przez sieć ciepłej wody użytkowej. Obecnie największe zagrożenie brakiem energii elektrycznej występuje w okresie letnim, kiedy duże elektrownie kogeneracyjne są praktycznie wyłączone. Na przykład 26 czerwca 2019 r. Polskie Sieci Elektroenergetyczne poinformowały, że właśnie padł nowy rekord zapotrzebowania na moc, który wyniósł ok. 24 200 MW. Także tego dnia Polska sprowadziła najwięcej mocy elektrycznej w historii – 2,7 GW. Import energii był konieczny, aby rezerwa mocy nie spadła poniżej bezpiecznego minimum.

Dynamika kogeneracji gazowej jest zbliżona do dynamiki elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych. Kogeneracja gazowa powinna więc stać się technologią regulacyjną w systemie elektroenergetycznym, równocześnie zachowując rentowność wytwarzania energii elektrycznej.

Zastąpienie ciepłowni elektrociepłowniami spowoduje, że kogeneracja będzie charakteryzować się coraz większym rozproszeniem oraz coraz mniejszymi mocami generatorów elektrycznych podłączanych do sieci na coraz niższych napięciach. Skróci się też dystans pomiędzy miejscem wytwarzania energii cieplnej a jej odbiorcą. Pozwoli to na magazynowanie energii cieplnej w bezpośrednim sąsiedztwie jednostki kogeneracyjnej oraz na jej późniejsze wykorzystanie. Rozproszenie kogeneracji i zbliżenie jednostek wytwórczych do odbiorców ciepła pozwoli na zmianę paradygmatu działania kogeneracji. Elektrociepłownia zmieni się mianowicie z dostawcy energii cieplnej z ubocznym produktem, jakim jest energia elektryczna, w równoczesnego gwaranta dostaw energii elektrycznej oraz cieplnej. Jest to możliwe poprzez zamianę problemu nierozwiązanego, jakim jest magazynowanie energii elektrycznej, na problem rozwiązany, jakim jest magazynowanie energii cieplnej.

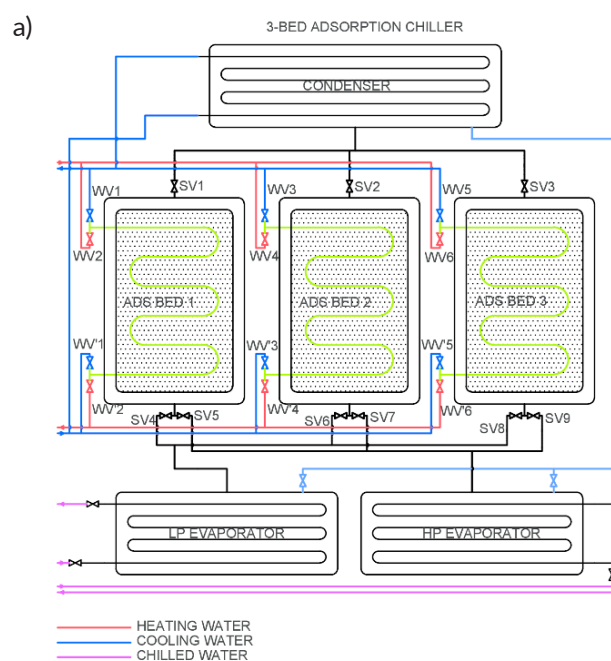
## Trigeneracja szansą na poprawę rentowności kogeneracji

O ile w okresie zimowym energia cieplna może zostać wykorzystana bezpośrednio, o tyle w okresie letnim nie jest możliwe, aby została ona zużyta w stopniu umożliwiającym jednostkom kogeneracyjnym pracę z pełną mocą elektryczną. Istnieje więc zapotrzebowanie na technologię, która umożliwi wykorzystanie ciepła sieciowego o temperaturze wynoszącej około 65°C. Technologią taką jest trigeneracja oznaczająca równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Uściślając, ciepło wytworzone w kogeneracji jest w części lub całości konwertowane na chłód w lewobieżnym obiegu termodynamicznym wykorzystującym tzw. sprężarki termiczne.

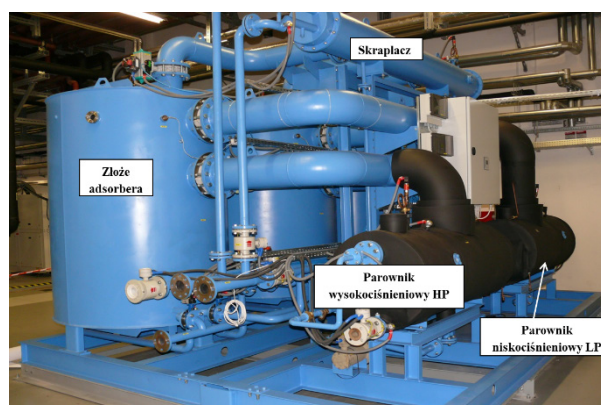
Bezpośrednia konwersja ciepła na chłód jest możliwa przy użyciu technologii sorpcyjnych, przy czym chłodziarki adsorpcyjne, wykorzystujące parę roboczą woda-bromek litu, wymagają zasilania ciepłem o temperaturze w zasadzie nie niższej od 80°C,

natomiast chłodziarki adsorpcyjne, z parą roboczą woda-silikażel, mogą być zasilane ciepłem o temperaturze 60–65°C.

Na Rys. 1 pokazano trójzłożową chłodziarkę adsorpcyjną. Chłodziarka ta pracująca w układzie dwuparownikowym, wytwarza wodę lodową o temperaturze wynoszącej około 8°C i spełnia wymagania systemów klimatyzacyjnych. Moc chłodnicza chłodziarki wynosi 100 kW i może być zasilana ciepłem o parametrach ciepła sieciowego. Chłodziarka może być również wykorzystywana w układach odsalania wody morskiej lub wód kopalnianych.



b)



Rys. 1. Trójzłożowa, dwuparownikowa chłodziarka adsorpcyjna przystosowana do pracy w układach odsalania, a) schemat, b) chłodziarka we Wrocławskim Parku Technologicznym

Chłodziarka pokazana na Rys. 1 była badana na stanowisku badawczym zlokalizowanym we Wrocławskim Parku Technologicznym. Przy temperaturze wody zasilającej wynoszącej 62°C chłodziarka osiągnęła COP wynoszące około 0,7. Maksymalna sprawność COP chłodziarki adsorpcyjnej wykorzystującej parę roboczą woda-silikażel wynosi 0,9. Można więc stwierdzić, że technologie pozwalające na konwersję ciepła sieciowego na chłód o parametrach odpowiednich dla systemów klimatyzacyjnych są zwalidowane i mogą podlegać komercjalizacji. Technologie te umożliwiają realizację poligeneracji, czyli równoczesnego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła, chłodu i innych użytecznych produktów, na przykład odsolonej słodkiej wody, gazów technicznych wydzielonych z powietrza czy sprężonych gazów. Stwarza to dodatkowe możliwości magazynowania energii cieplnej już po jej konwersji na chłód lub inne użyteczne produkty. Dla przykładu, w krajach Bliskiego Wschodu produktem zawsze zbywalnym i pozwalającym na wykorzystanie chwilowych nadwyżek ciepła, w tym pochodzących z kolektorów słonecznych, jest słodka woda.

Pomimo dojrzałości technologii adsorpcyjnych umożliwiających realizację lewobieżnych obiegów termodynamicznych o parametrach pozwalających na wykorzystanie ciepła sieciowego w klimatyzacji, chłodziarki adsorpcyjne nie są rozpowszechnione. W Polsce zbudowano kilka chłodziarek adsorpcyjnych zasilanych ciepłem o parametrach ciepła sieciowego (np. w Częstochowie, Wrocławiu, Zielonej Górze), są to jednak instalacje badawcze i pilotażowe. Brakuje zastosowań komercyjnych. Jedną z przyczyn jest jednolita taryfa dla ciepła, nieuwzględniająca specyfiki konwersji ciepła na chłód. Mając na uwadze, że COP chłodziarek adsorpcyjnych jest o rząd mniejsze od COP elektrycznych chłodziarek sprężarkowych, a instalacje adsorpcyjne charakteryzują duże gabaryty i koszty inwestycyjne, brakuje ekonomicznego uzasadnienia dla szybkiego rozwoju trigeneracji. Sytuacja ta może ulec zmianie w przypadku uznania instalacji kogeneracyjnych za regulacyjne jednostki wytwórcze energii elektrycznej, zdolne do wykorzystania

powstałego ciepła w sposób bezpośredni lub pośredni z wykorzystaniem magazynów ciepła oraz technologii tri- i poligeneracyjnych.

Podsumowując, można stwierdzić, że kogeneracja, a w zasadzie poligeneracja, odegra istotną rolę w transformacji polskiej energetyki pod warunkiem zmiany paradygmatu jej działania. Systemy ko-, tri- i poligeneracyjne powinny stać się elastycznymi wytwórcami energii elektrycznej i zacząć pełnić funkcję regulacyjną w systemie elektroenergetycznym, wykorzystując zdolność magazynowania ciepła, chłodu i innych produktów wytworzonych w procesach wykorzystujących ciepło pochodzące z kogeneracji. Dzięki dojrzałym technologiom konwersji ciepła (w tym sieciowego) na chłód oraz technologiom magazynowania ciepła i chłodu kogeneracja będzie mogła nadążać za potrzebami operatora systemu elektrycznego bez utraty zdolności gwarantowania potrzebnej ilości ciepła i chłodu. W nowej strukturze elektroenergetyki, charakteryzującej się dużym udziałem OZE, kogeneracja umożliwi zamianę problemu nierozwiązanego, jakim jest efektywne magazynowanie energii elektrycznej, na problemy rozwiązane – magazynowanie ciepła, chłodu czy odsolonej wody.

## Ryzyka transformacji polskiego systemu elektroenergetycznego

Jak już wspomniano, polska transformacja energetyczna jest oparta na założeniach Zielonego Ładu, który podporządkowuje ten proces dekarbonizacji. Pełne przeprowadzenie wszystkich przedstawionych etapów transformacji doprowadzi do zbudowania zeroemisyjnego systemu elektroenergetycznego gwarantującego bezpieczeństwo energetyczne Polski. Pominięcie lub deformacja któregoś z etapów następujących po zbudowaniu OZE może realnie zagrozić stabilności systemu i bezpieczeństwu energetycznemu. Istotnym ryzykiem jest niewykorzystanie szansy, jaką daje przeprowadzenie transformacji ciepłownictwa. Modernizacja źródeł ciepła bez przejścia na

kogenerację potencjalnie spowoduje w systemie elektroenergetycznym utratę 2 GWe istotnych dla stabilizacji źródeł OZE.

Absolutnie kluczowe dla polskiej energetyki jest zbudowanie stabilnej podstawy w postaci bloków jądrowych. Istotne opóźnienia lub wręcz zaniechanie realizacji planu budowy elektrowni jądrowych doprowadzi do powstania w Polsce kadłubowego systemu elektroenergetycznego, skazanego na pokaźny import energii. Może się tak zdarzyć, jeśli zawodowe elektrownie ciepłe (w szczególności Bełchatów i Turów) zostaną wyłączone, a bloki jądrowe nie zostaną zbudowane.

#### Bibliografia:

- Business Insider Polska (2019), *Polska musiała ratować się rekordowym importem mocy od sąsiadów*, <https://businessinsider.com.pl/finanse/rekord-importu-mocy-do-polski-2019-r/cgrh93j> [dostęp: 28.05.2021].
- Chorowski M., Pyrka P. (2015), *Modelling and experimental investigation of an adsorption chiller using low-temperature heat from cogeneration*, "Energy" 92/1: 221–229.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska (2021), *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.*, <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski> [dostęp: 28.05.2021].

## Transformation of the Polish power system and the special role of heating and cogeneration in this process

**Abstract:** The Polish power system is currently undergoing transformation resulting both from the technical condition of electricity generating units and from the assumptions of the climate policy expressed in the Green Deal. The transformation process is reflected in the Polish Energy Policy until 2040 (PEP 2040) and assumes a large increase in unstable renewable energy sources in the energy mix. The stabilization of these sources will be possible through the modernization of the heating sector by replacing old heat sources with cogeneration systems. Cogeneration will become a regulatory technology in the power system and will start to use large-scale heat and cold storage in the summer. The paper discusses the transformation processes of the Polish energy sector and emphasizes the role of heating in this process, in particular cogeneration and trigeneration.

**Keywords:** energy transformation, cogeneration, trigeneration, energy mix

#### Prof. Maciej Chorowski

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Mechaniczno-Energetyczny



## Energetyka Rozproszona

Czasopismo redagowane przez zespół projektu Rozwój energetyki rozproszonej w klastrach energii (KlastER) ([www.er.agh.edu.pl](http://www.er.agh.edu.pl)) w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG.



**KlastER**

Redaktor naczelny:  
Sławomir Kopec

Sekretarz redakcji:  
Katarzyna Faryj

Członkowie redakcji:  
Zbigniew Hanzelka  
Andrzej Kaźmierski  
Marek Kisiel-Dorohinicki  
Ryszard Sroka  
Wojciech Suwała  
Tomasz Szmuc  
Karol Wawrzyniak

Redakcja i korekta językowa:  
Malwina Mus-Frosik

Skład:  
MUNDA Maciej Torz

Projekt okładki i layoutu:  
Tomasz Budzyń

Strona internetowa:  
Sebastian Medoń  
Jakub Mirek

Wydawca:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kontakt:

Energetyka Rozproszona  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
Paw. H-A2, III piętro  
tel. 12 888 55 29  
e-mail: [klaster\\_er@agh.edu.pl](mailto:klaster_er@agh.edu.pl)  
[www.er.agh.edu.pl](http://www.er.agh.edu.pl)  
[www.energetyka-rozproszona.pl](http://www.energetyka-rozproszona.pl)  
<https://doi.org/10.7494/er>

© Autor

Creative Commons CC-BY 4.0

ISSN 2720-0973



Ministerstwo Rozwoju,  
Pracy i Technologii

