



KNER

STRESZCZENIA

I Konferencja Naukowa Energetyki Rozproszonej KNER'2023

Kraków, 26 września 2023

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Organizatorzy



Sesja 1A

Grzegorz Hołdyński, Zbigniew Skibko, Andrzej Firlit, Krzysztof Kołek

2:1A

Analiza wpływu farmy fotowoltaicznej na parametry jakości dostawy energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej średniego napięcia

W ciągu ostatnich kilku lat zaobserwowano bardzo dynamiczny wzrost mocy zainstalowanej rozproszonych źródeł energii, wśród których największym udziałem wyróżniają się źródła fotowoltaiczne. Pod względem przyrostu nowych mocy w tym sektorze, Polska należy do europejskich liderów (w 2022 roku drugie miejsce w Europie pod względem przyrostu mocy zainstalowanej w fotowoltaice). Należy spodziewać się, że tendencja ta w najbliższych latach zostanie utrzymana.

Sieć elektroenergetyczna to system naczyń połączonych i zmiana struktury produkcji energii elektrycznej niesie ze sobą określony wpływ na pracę tej sieci, co sprawia, że konieczne staje się badanie wpływu źródeł na system elektroenergetyczny. Obecny i prognozowany wzrost liczby przyłączanych instalacji będzie powodował, że zagadnienia oddziaływania i współpracy źródeł rozproszonych z siecią staną się niezwykle istotne.

W artykule przedstawiono analizę wpływu farmy fotowoltaicznej na wybrane parametry jakości dostawy energii elektrycznej. Analizy tej dokonano na podstawie wyników badań pomiarowych przeprowadzonych na rzeczywistym obiekcie farmy fotowoltaicznej o mocy 1,7 MW przyłączonej do sieci elektroenergetycznej średniego napięcia (SN). Przedstawione zostały zależności wpływu generowanej mocy farmy na wartości podstawowych wskaźników jakości dostawy energii elektrycznej, takich jak: odchylenia napięcia, współczynnik migotania światła oraz asymetrii i odkształcenia napięcia. Zależności te określono na podstawie analizy korelacji i regresji poszczególnych wielkości elektrycznych.

Rafał Kozieł, Daniel Duckwitz, Andreas Knobloch, Andreas Falk, Aaron Gerdemann

3:1A

System magazynów energii z wysoką bezwładnością pozwalającą na stabilizację napięcia i częstotliwości w sieci elektroenergetycznej

Łączna moc przyłączeniowa fotowoltaicznych źródeł energii w Polsce wyniosła 12,4 GW na koniec 2022 roku. Według najnowszych prognoz, w grudniu 2025 r. liczba ta wyniesie 26,8 GW, a więc ponad dwukrotnie więcej niż obecnie. Nic nie wskazuje na to, aby wzrostowy trend miał ulec zmianie. Można się raczej spodziewać kolejnego wzrostu udziału systemów fotowoltaicznych (jak również innych odnawialnych źródeł) w systemie elektroenergetycznym. Wszystkie te wskaźniki plasują Polskę na drugim miejscu w Unii Europejskiej pod względem przyrostu mocy znamionowej źródeł / instalacji fotowoltaicznych.

Deweloperzy, projektanci a w szczególności – operatorzy sieci – zadają sobie pytanie “Jak zaplanować produkcję energii dysponując źródłami oze, które z definicji nie są przewidywalne? Jak można zintegrować w systemie elektroenergetycznym tak dużą (i wciąż rosnącą) liczbę źródeł opartych na inwerterach? Jakie możliwości i funkcjonalności musi posiadać system przyszłości?”. Te i inne wyzwania zmuszają interesariuszy do zmiany sposobu postrzegania system elektroenergetycznego. Model sieci oparty na jednokierunkowym przepływie energii ze stabilnych źródeł konwencjonalnych do odbiorców nie jest już aktualny. Obecnie mamy do czynienia z rosnącym udziałem rozproszonych i nieprzewidywalnych źródeł oze, które wraz z tradycyjnymi elektrowniami tworzą system elektroenergetyczny. Temat ten jest bardzo aktualny w Polsce, ze względu na ambitne plany dekarbonizacji i transformacji miks energetyczny, aby w jak największym stopniu ograniczyć pozyskiwanie energii z paliw kopalnych. Oprócz niepożądanych zanieczyszczeń, tradycyjne elektrownie węglowe wyposażone w bloki energetyczne wysokiej mocy, zapewniają również inercję i stabilność sieci energetycznej. Pozwalają również na generację energii niezależnie od warunków pogodowych, co znacząco ułatwia bilansowanie systemu elektroenergetycznego i planowanie zapotrzebowania na moc. Pojawia się oczywiste pytanie: jaka technologia może zastąpić funkcje i usługi dotychczas świadczone przez konwencjonalne źródła energii w zakresie stabilności i systemu

elektroenergetycznego, wobec coraz mniejszego udziału tych źródeł w systemie elektroenergetycznym.

Publikacja zapowiadana niniejszym streszczeniem zawiera propozycje techniczne wykorzystania bateryjnych falowników centralnych wyposażonych w funkcje stabilizowania napięcia a nawet tworzenia od podstaw całych systemów elektroenergetycznych, podobnie jak generatory synchroniczne. W miarę postępów transformacji energetycznej, obserwujemy coraz większe nasycenie systemu źródłami odnawialnymi, w tym elektrowniami słonecznymi sprzężonymi z magazynami energii różnego rodzaju. Już dzisiaj te jednostki uczestniczą w bilansowaniu sieci, arbitrażu energii czy rezerwie mocy. Tradycyjnie jednostki te pracują jednak w trybie "podążania za siecią" (ang. Grid Following, GFL) aby dopełnić bieżących wymagań operatorów. Tym samym potrzebują do pracy innego, stabilnego źródła napięcia w sieci, z którym się synchronizują. W przypadku zaniku napięcia w sieci, tego typu urządzenia nie będą pracować. Jeżeli w istniejącym systemie elektroenergetycznym zamiast źródeł GFL zastosujemy źródła GFM (ang. Grid Forming, pol. „źródła tworzące sieć”), uzyskujemy możliwość świadczenia usług sieciowych, bezpośrednio wspierających jej działanie – np. zwiększające bezwładność systemu (dla ograniczenia gradientu częstotliwości w przypadku wystąpienia zaburzeń w sieci - RoCoF), zwiększenie mocy zwarciowej systemu czy możliwość zapewnienia tzw. blackstartu dla wydzielonych źródeł konwencjonalnych. Urządzenia typu GFM pracują również z powodzeniem w sieciach wyspowych, tzn. nie posiadających połączenia z publiczną siecią zasilającą wyposażoną w generatory synchroniczne. W takim przypadku inwertery GFM są głównym źródłem napięcia w danej sieci. Inne urządzenia wytwórcze GFL podłączone do tej samej sieci będą synchronizować się z urządzeniem GFM.

Rozwiązania inwerterów z funkcjami Grid Forming są obecnie najbardziej ekonomicznymi a zarazem technicznie dojrzałymi środkami technicznymi pozwalającymi w relatywnie krótkim czasie poprawić stabilność systemu elektroenergetycznego. Kolejną zaletą tego systemu jest możliwość płynnego skalowania jego wielkości, dostosowując go do lokalnych potrzeb systemu (np. poprzez instalację mniejszych jednostek na obszarach gdzie sieć jest wyjątkowo niestabilna).

Jak już wspomniano, implementacja w systemie coraz większej liczby źródeł opartych na inwerterach działających w trybie GFL wpływają negatywnie na jego stabilność. Inercja takiego systemu jest mniejsza co przekłada się bezpośrednio na jego odporność na zaburzenia, nagłe obniżenia napięcia czy częstotliwości, stwarzając nawet zagrożenie odłączenia bloków energetycznych i rozpadu systemu. Stąd też wspieranie tejże stabilności staje się koniecznością i wyzwaniem dla operatorów sieci przesyłowych i dystrybucyjnych.

Publikacja charakteryzuje założenia techniczne i zasadę działania inwerterów wyposażonych w funkcje GFM a także wskazuje przykłady wykorzystania ich w istniejących systemach elektroenergetycznych. Porusza również tematykę szeroko rozumianych usług z zakresu wsparcia sieci. Nazywane są one również „usługami sieciowymi” bądź „usługami elastyczności sieci” i stają się już produktem na rynku energetycznym, choć jeszcze bez zdefiniowanego modelu biznesowego. W polskiej legislacji wciąż brakuje jednoznacznych zapisów regulujących ich funkcjonowanie i pozwalających na realizację komercyjnych projektów tego typu. Artykuł kończy się przedstawieniem najważniejszych wyzwań związanych z technologią Grid Formingu w zakresie technicznym jak i legislacyjnym. Zaproponowano kierunki dalszego rozwoju celem wspierania i promowania tego rozwiązania.

Koncepcja systemu pomiarowo-sterującego w układzie zasilania odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne

W artykule zostanie przedstawiona koncepcja pracy systemu pomiarowo-sterującego w układzie zasilania odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne. Opisana zostanie metoda prognozowania generacji źródła fotowoltaicznego za pomocą dostępnych numerycznych prognoz pogody. Przedstawiona zostanie metoda opracowania bazowych grafików obciążenia mająca na celu znalezienie najbardziej efektywnego

sposobu modelowania bazowego zapotrzebowania energii u odbiorcy.

W artykule zostaną przedstawione wyniki przeprowadzonych badań. Zostanie przedstawiona analiza zużycia energii przed i po zastosowaniu koncepcji sterowania zapotrzebowaniem na energię elektryczną w budynku oraz pokazane zostanie jakie korzyści płyną z zastosowania takiej metody.

Modular PV system for applications in prosumer installations with uncontrolled, unbalanced and non-linear loads

The paper refers to 3-phase low-voltage distribution networks with distributed energy sources located in prosumer installations, mainly PV systems. In a general case the prosumer installations may include receivers of unbalanced and non-linear character, which together with non-linear and uncontrolled PV sources negatively impact the operation of the supplying network. Disturbances such as excessive voltage rise leading to PV inverters switching off, voltage unbalance and harmonics are well known problems for the network operator. It is obvious that disturbances of power quality increase energy losses in the supplying grid and contribute to reduction of network hosting capacity.

The article presents a modular system composed of a PV panels and energy storage which are integrated with the supplying network through a common 4-wire AC/DC converter. The novel idea is a control strategy for the converter in which additional functionalities are incorporated. Apart from transmitting an active power generated by the PV source, the converter provides voltage balancing and mitigates voltage distortion at the point of common coupling. The strategy is based on the compensation of load unbalance and harmonic (including sub and inter harmonic) currents in the prosumer installation. Compensation of load reactive power is also included in the control. The proposed modular system can not only enable the optimal integration of PV sources with the network but at the same time improve power quality in the presence of disturbing loads.

A control strategy involving algorithms for the PV inverter is described in the paper. Conditions are formulated for the implementation of the modular structure of the photovoltaic system. The efficiency of the control strategy was tested by means of a simulation model in the PSCAD/EMTDC program. The results of the simulations are presented.

Analiza pracy sieci dystrybucyjnej nN OSD z bateryjnym systemem magazynowania energii elektrycznej BSME

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z analizą pracy sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia z dużą liczbą fotowoltaicznych instalacji prosumenckich, w której zainstalowano bateryjny system magazynowania energii (BSME, 50 kVA, 138 kWh). Celem pracy BSME jest poprawa jakości napięcia poprzez ograniczenie zakresu jego zmienności (stabilizację), pozwalające na redukcję wyłączeń instalacji PV, oraz symetryzację napięć. Dzięki temu efektywniej wykorzystane są zainstalowane źródła odnawialne bez konieczności rozbudowy infrastruktury dystrybucyjnej. W artykule przedstawiono różne aspekty pracy BSME, które były przedmiotem badań i analiz. Zilustrowano je przebiegami zarejestrowanymi w sieci dystrybucyjnej podczas pilotażowego projektu zrealizowanego w gminie Ochotnica Dolna przez Apator S.A., AGH Akademię Górniczo-Hutniczą oraz TAURON Dystrybucja S.A. Warto podkreślić, że BSME został przyłączony do wiejskiej sieci dystrybucyjnej zlokalizowanej w trudnym górskim terenie. W sieciach tego typu często mamy do czynienia z niskim poziomem mocy

zwarciowej. Zatem są to tzw. „słabe/miękkie” sieci, w których mogą występować zaburzenia oraz problemy związane z obniżonym poziomem jakości dostawy energii elektrycznej przy dużym poziomie nasycenia mikroinstalacjami PV, należącymi do prosumentów. Tak też było w analizowanym przypadku. Zatem uzyskano dobre, bo wymagające, warunki pracy sieci elektroenergetycznej dla testów BSME. Obszerniejsze opracowanie dotyczące analizy pracy sieci dystrybucyjnej nN OSD z BSME dostępne jest na portalu www.energetyka-rozpoznana.pl.

Marcin Smółka, Roman Korab, Marcin Połomski

8:1A

Symulacja pracy sieci dystrybucyjnej nN z dużym udziałem instalacji prosumenckich - ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci

I. W artykule zostanie przedstawiony wpływ prosumenckich źródeł fotowoltaicznych (PV) na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia (lokalnego OSD), poprzez analizę wybranych parametrów charakteryzujących pracę tej sieci. Jako kluczowe parametry opisujące i wpływające na jej pracę przyjęto jak niżej:

1. Przekroczenie napięcia w sieci powyżej wartości dopuszczalnych, tj. $+10\%U_n$,
2. Obniżenie napięcia w sieci poniżej wartości dopuszczalnej, tj. $-10\%U_n$,
3. Odwrotne przepływy mocy czynnej, np. z sieci niskiego napięcia do sieci średniego napięcia,
4. Przekroczenia prądu powyżej prądu dopuszczalnego długotrwale dla danego elementu sieci,
5. Wzrost strat sieciowych w stosunku do pracy tej samej sieci bez źródeł PV,
6. Niesymetria napięć w sieci.

Parametry opisane w punktach 1, 2 oraz 6 mają ponadto wpływ na jakość dostarczanej energii elektrycznej do odbiorców. Wielkości opisane w punktach 3 oraz 4 wpływają na prawidłową pracę urządzeń i elementów sieci dystrybucyjnej. Z kolei wzrost strat sieciowych to z perspektywy całej sieci lokalnego OSD zwiększenie się wskaźnika różnicy bilansowej, a celem każdego OSD jest dążenie do jego minimalizacji.

II. Jako sieć do symulacji wybrano sieć terenową zlokalizowaną na obszarze niewielkiej miejscowości lokalnego OSD, której charakterystyka przedstawia się następująco:

1. liczba odbiorców: 144,
2. liczba prosumentów: 56,
3. moc transformatora SN/nN: 400 kVA,
4. cztery obwody nN wychodzące ze stacji,
5. linie napowietrzne z przewodami izolowanymi AsXS i AsXS_n o przekrojach i długościach odpowiednio:
 - a. 25 mm² (1557 m),
 - b. 35 mm² (773 m),
 - c. 50 mm² (574 m),
 - d. 70 mm² (2816 m),- całkowita długość linii napowietrznych (z przyłączami) wynosi 5720 m,
6. linie kablowe YAKY, YAKXS (NA2XY) o przekrojach i długościach odpowiednio
 - a. 25 mm² (203 m),
 - b. 35 mm² (1413 m),
 - c. 120 mm² (806 m),- całkowita długość linii kablowych (z przyłączami) 2422 m.

III. Symulacja pracy sieci została wykonana w specjalnym do tego celu programie OpenDSS (Distribution System Simulator), opracowanym przez Electric Power Research Institute (EPRI). Jest to kompleksowe narzędzie symulacyjne stosowane do obliczeń elektrycznych systemów dystrybucyjnych, z wykorzystaniem konfigurowalnych modeli elementów składowych obecnych i przyszłych sieci elektroenergetycznych. Jest to oprogramowanie darmowe, umożliwiające:

1. analizę wielofazowych obwodów prądu zmiennego, również przy niesymetrycznym obciążeniu,
2. analizę sieci z przyłączonymi źródłami generacji rozproszonej,
3. symulacje dla dobowego i rocznego przebiegu obciążenia i generacji,

4. symulacje instalacji fotowoltaicznych,
5. modelowanie magazynów energii.

IV. Wykorzystując modele elementów składowych sieci elektroenergetycznej opracowano w programie OpenDSS model matematyczny wskazanej wyżej sieci, a następnie wykonano symulacje pracy tej sieci w horyzoncie rocznym w rozdzielczości godzinowej. W symulacjach wykorzystano dane meteorologiczne dla typowego roku klimatycznego dla stacji meteo zlokalizowanej na południu Polski. Analiza otrzymanych wyników pozwoliła wyznaczyć dla zamodelowanej sieci ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia uwzględniając generację fotowoltaiczną. Ryzyko zdefiniowano jako iloraz liczby godzin w roku, kiedy występuje przekroczenie parametrów wskazanych w punkcie I, do całkowitej liczby godzin w roku (8760), przemnożone przez 100%. W ten sposób określono przez jaką część roku (w %) występuje ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci. Na potrzeby analiz rozpatrzono kilka wariantów pracy sieci, opisanych niżej:

1. Sieć bez źródeł PV – jako punkt odniesienia do dalszych analiz,
2. Istniejący układ sieci – wyznaczenie ryzyka dla aktualnej liczby i rozmieszczenia prosumentów,
3. Losowa lokalizacja prosumentów oraz mocy źródeł PV – sprawdzenie wpływu liczby instalacji PV oraz ich mocy na występowanie ryzyka przekroczenia normalnych warunków pracy sieci, dla istniejącego układu sieci i parametrów urządzeń ją tworzących,
4. Rozwój sieci nN – sprawdzenie wpływu działań inwestycyjnych w analizowanej sieci nN na poziom ryzyka przekroczenia dopuszczalnych warunków pracy, przy aktualnej liczbie i rozmieszczeniu prosumentów.

Mohammad Abu Sarhan, Szymon Barcentewicz, Andrzej Bień

15:1A

Dynamic voltages and currents in the microgrids while unintentional islanding

In this work a phenomenon of unintentional islanding of distributed sources working in the microgrid is presented. A set of test performed in the laboratory environment is discussed. Dynamic voltages and currents in microgrid environment build with a set of power electronic equipment are presented while different microgrid configurations

Mateusz Dutka, Zbigniew Hanzelka

19:1A

Wielopunktowa prognoza mocy elektrowni fotowoltaicznej z wykorzystaniem uczenia maszynowego

Artykuł poświęcono prognozowaniu generacji energii elektrycznej z OZE przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji. Szczególną uwagę poświęcono elektrowniom fotowoltaicznym charakteryzującym się znaczną zmiennością produkcji zależną od warunków meteorologicznych. Na przykładzie rzeczywistego obiektu wykonano analizę wpływu czynników pogodowych na ilość produkowanej energii oraz wytypowano najkorzystniejsze struktury danych wejściowych do modeli. Zaproponowano oraz zweryfikowano działanie różnych struktur sieci neuronowych, w celu wyboru najkorzystniejszego wariantu. Na potrzeby artykułu wykorzystano długookresowe dane pomiarowe dla okresu ponad 1 roku, dzięki czemu możliwe było uwzględnienie zmienności warunków pogodowych charakterystycznych dla poszczególnych pór roku. Zastosowano uczenie maszynowe w celu wielokrotnego uczenia i wyboru struktury sieci. W pracy opisano oraz zaproponowano metodę wielopunktowej korekty numerycznych prognoz pogody dedykowanych dla elektrowni fotowoltaicznych.

Szczepan Moskwa, Mariusz Benesz

21:1A

Współpraca generacji rozproszonej z siecią dystrybucyjną.

Źródła generacji rozproszonej, szczególnie odnawialne źródła energii, zaczynają odgrywać coraz większą rolę w systemie elektroenergetycznym. Ich rosnąca liczba w systemie elektroenergetycznym jest podyktowana względami ekologicznymi, a także zmieniającą się strukturą odbiorców, którzy masowo stają się prosumentami. System elektroenergetyczny, który pierwotnie był projektowany i

budowany w oparciu o centralne, przemysłowe źródła energii elektrycznej, aktualnie nie jest przygotowany przejście z układu scentralizowanego do generacji rozproszonej. Gwałtownie rosnąca liczba instalacji PV powoduje, że ten jest bardzo skomplikowany i wymaga zmiany zarówno w zakresie zarządzania infrastrukturą sieciową, ale także zmian w wytycznych projektowania nowych odcinków sieciowych, czy modernizowania już istniejących układów sieciowych.

Artykuł prezentować będzie analizę problemu współpracy instalacji PV z siecią dystrybucyjną. Przedstawiona zostanie propozycja algorytmu współpracy dynamicznej tego typu źródeł generacji rozproszonej z siecią poprzez regulację parametrów nastaw transformatorów sieciowych w sposób responsywny na generację rozproszoną oraz możliwości bilansowania wewnętrznego wybranych fragmentów sieci nN uwzględniających topologię tego typu sieci.

Wpływ pracy prosumentów na wybrane parametry pracy sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia

Pojawienie się bardzo dużej liczby jednostek generacji rozproszonej w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych (w szczególności instalacji fotowoltaicznych PV) można powiązać zarówno z pozytywnymi jak i negatywnymi konsekwencjami. Do pozytywów można zaliczyć m.in. aspekt ekologiczny wytwarzania energii elektrycznej, poprawę jakości energii oraz zmniejszenie strat związanych z przesyłem energii elektrycznej. Z kolei do negatywnych konsekwencji można zaliczyć problemy techniczne pracy sieci elektroenergetycznej, objawiające się paradoksalnie m.in. pogorszeniem jakości energii. Zmiany, jakie zaobserwować można w stanach ustalonych, w wartościach takich parametrów pracy sieci jak: poziom napięcia, rozptył prądów, czy strat mocy zostały zobrazowane przykładem obliczeniowym uwzględniającym wielkość i lokalizację instalacji prosumenckiej. W artykule przedstawiono problematykę wpływu pracy instalacji prosumenckich na pracę sieci dystrybucyjnej na podstawie analizy wpływu poziomu generacji w instalacjach PV i zapotrzebowania na energię odbiorców końcowych.

Propozycja zmian sposobu rozliczeń opłat za energię bierną w krajowym systemie elektroenergetycznym

W artykule zaproponowano nowe wzory opłat za pobór i wydawanie mocy biernej. Uwzględniają one prądy wyższych częstotliwości, związane z obecnością w systemie elektroenergetycznym odbiorów nieliniowych. Jako wielkość fizyczną będącą podstawą wzorów opłat przyjęto kwadrat wartości skutecznej prądów biernych i prądów wyższych częstotliwości. Wielkość ta reprezentuje straty przesyłowe w systemie elektroenergetycznym i spadek zdolności sieci do przesyłu energii czynnej.

Sesja 1B

Tomasz Śliwa, Aneta Sapińska-Śliwa, Jakub Drosik

12:1B

Instalacja magazynowania energii potencjalnej w otworze wiertniczym na AGH w Krakowie

Równoległe z rozwojem niekonwencjonalnych źródeł energii musi podążać rozwój metod jej magazynowania. Niekonwencjonalne źródła energii i ciepła, zwłaszcza te odnawialne, charakteryzują się nie zrównoważeniem podaży i popytu. Są więc często nieprzydatne, jeśli brak jest równoczesnego odbioru energii. Magazyny energii i ciepła, nie dość, że obciążają źródła (np. PV), które nie muszą się wyłączać z braku odbioru energii i przekroczenia dopuszczalnych parametrów (jak napięcie z PV), to jeszcze mogą zmagazynowaną energię i/lub ciepła oddawać odbiorcom, których okres zapotrzebowania przypada na czas, kiedy nie pracuje źródło.

Najbardziej typowym przykładem jest energia słoneczna. Prąd może być wytwarzany w dzień, a do oświetlenia jest potrzebny w nocy. W tym wypadku potrzebne są instalacje magazynowania dobowego. Ciepło może być wytwarzane latem, a do ogrzewania potrzebne jest zimą. Wtedy konieczne są instalacje magazynowania sezonowego.

Otwory wiertnicze (w tym stare, wyeksploatowane, zlikwidowane lub nowe ale negatywne) mogą być wykorzystywane do dobowego i sezonowego magazynowania energii i ciepła. Laboratorium Geoenergetyki AGH posiada 5 otworów do magazynowania ciepła i/lub chłodu na polu A (pomiędzy pawilonami A3 i A4 w Krakowie), 14 podobnych otworów na polu B (przed pawilonem D2) oraz 23 otwory na polu C na terenie ZPP w Młoszowej. Na polu B będą dodatkowo wykonane (podpisano umowę na realizację) dwa otwory, których zadaniem będzie magazynowanie energii elektrycznej w postaci energii potencjalnej (grawitacji i ciśnienia). Na polu C wykonano konstrukcje, które równocześnie mogą służyć magazynowaniu prądu elektrycznego dobowo oraz ciepła sezonowo.

Magazynowanie energii z PV może być realizowane w głębokich otworach wg schematu pokazanego na rys. od 1 do 6. Magazyn wypełniony jest na rys. 1, czyli wszystkie obciążniki (4) są na powierzchni. Rys. 2 pokazuje magazyn przygotowany do rozładowania i zasilania odbiorcy w energię, z pomocą odpowiednio ułożonej suwnicy (3). Układ przekładni (2) i generatora (1) zamienia energię potencjalną ($E_p = mgh$) ciężaru mg , uwzględniającego wyporność cieczy wypełniającej otwór, na energię elektryczną na rys. 3. Po zapuszczeniu do otworu wiertniczego (5) wszystkich obciążników, magazyn staje się w pełni rozładowany, jak na rys. 4. Na rys. 5 przedstawiony jest proces ładowania magazynu w energię, poprzez wyciąganie poszczególnych obciążników z wnętrza otworu. Ponownie napełniony magazyn jest widoczny na rys. 6, który jest tożsamy z rys. 1.

Magazynowanie ciepła w otworowych wymiennikach ciepła (właściwie w górotworze za pośrednictwem wymienników otworowych) nie jest nowością. Można magazynować w szczególności ciepło z klimatyzacji wnętrza. Geotermalne pompy ciepła zimą pobierają ciepła z górotworu poprzez instalacje wymiany ciepła w otworach wiertniczych. Górotwór tym samym wychładza się, stając się magazynem chłodu na czas letni. W lecie te same otwory dostarczają chłód do klimatyzowanych wnętrza. Proces powoduje wzrost temperatury w górotworze, gdyż pobieranie chłodu ze skał jest jednocześnie wprowadzaniem do nich ciepła. Po okresie letnim w górotworze znajduje się więc zmagazynowane ciepło. Zimą jest ono wprowadzane do wnętrza, a proces magazynowania i rozmagazynowywania cyklicznie ciepła i chłodu się powtarza i współistnieje w technologii geotermalnych (gruntowych/solankowych) pomp ciepła.

Podobnie jak w przypadku magazynowania energii elektrycznej, także i przy magazynowaniu ciepła można wykorzystywać głębokie otwory wiertnicze (rys. 7). W otworze wiertniczym wyposażonym w rury okładzinowe (stalowe) i kolumnę wewnętrzną izolowaną cieplnie (np. z rur próżniowych VIT) cyrkuluje nośnik ciepła (woda). Przepływając przestrzenią pierścieniową w dół odbiera ciepło od skał, dzięki dobrej przewodności cieplnej rur okładzinowych (rys. 7). Na dnie nośnik ciepła zmienia kierunek przepływu i ogrzany płynie ku powierzchni terenu. W ten sposób na powierzchni uzyskuje się różnicę temperatur dla wykorzystania przez odbiorcę ciepła w sposób bezpośredni (pasywny) lub pośrednio (aktywnie) przez geotermalną pompę ciepła. Głęboki otwór może pracować latem tylko na potrzeby c.w.u. w sposób pasywny, a zimą na potrzeby c.o. oraz c.w.u. w sposób aktywny. Ciepło uzyskiwane pasywnie jest tańsze, gdyż pompy ciepła wymagają energii napędowej. Głębokie wymienniki mają

charakterystykę pracy, w której przy małym obciążeniu grzewczym uzyskuje się ciepło o wyższej temperaturze, a przy dużym obciążeniu ciepło o niższej temperaturze, stąd konieczność wspomagania pompą ciepła.

Badania zrealizowano dzięki dofinansowaniu z funduszy norweskich 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie.

Krzysztof Polański

39:1B

Wykorzystanie kawern solnych w Polsce jako magazyny energii

W referacie zaprezentowano parametry aktualnie pracujących w Polsce kawernowych magazynów przeznaczonych do magazynowania gazu ziemnego. Omówiono możliwości wykorzystania tego typu kawern do stworzenia w Polsce podziemnych bezzbiornikowych magazynów energii służących do zoptymalizowania wykorzystania energetyki pochodzącej z Odnawialnych Źródeł Energii. Zaprezentowano rozpoznanie złóż soli kamiennej w Polsce, będących perspektywicznymi lokalizacjami, które dają możliwość wykorzystania ich do budowy magazynów energii. Zestawiono je z mapami określającymi średnie prędkości wiatru występujących na terenie Polski. W ten sposób wskazano perspektywiczne lokalizacje, gdzie byłoby korzystne stworzenie takich magazynów współpracujących z OZE pozyskującymi energię elektryczną z wiatru.

W dalszej części przedstawiono ogólną koncepcję technologii CAES. Przedstawiono także propozycję połączenia takich magazynów z istniejącymi (bądź nowymi) magazynami gazu ziemnego lub stworzenie nowego kawernowego magazynu służącego do magazynowania wodoru co pozwoliłoby na stworzenie nowego rodzaju magazynu energii łączącego OZE z energetyką konwencjonalną i magazynowanie nadwyżek energii elektrycznej będącej wynikiem stochastycznej pracy OZE. Wskazano także złoża soli kamiennej w Polsce, które wykazują największy potencjał w kontekście budowy takiego magazynu.

Aneta Sapinska-Sliwa, Tomasz Śliwa

49:1B

Otworki geotermalne i otworowe wymienniki ciepła

Otworki geotermalne są to wyrobiska wiertnicze, które służą dla eksploatacji wód geotermalnych najczęściej w układach dubletowych. Dublet geotermalny składa się przynajmniej z jednego otworu produkcyjnego i jednego chłonnego. Wody geotermalne w polskich warunkach geotermalnych są wykorzystywane do celów ciepłowniczych i w rekreacji. Aktualnie realizowany jest najgłębszy otwór geotermalny na świecie, w niecce podhalańskiej. Ma on za zadanie rozpoznanie gorących wód geotermalnych na głębokości do 7 tys. m p.p.t. Gdy uda się takie wody udokumentować możliwa stanie się produkcja prądu elektrycznego w elektrowni geotermalnej.

Dublety mogą pozyskiwać również wody podziemne nie będące wodami geotermalnymi (o temperaturze na wylocie poniżej 20°C). Aby takie wody stały się źródłem ciepła dla ogrzewania wewnątrz niezbędne są geotermalne pompy ciepła. Pozyskują one ciepło niskotemperaturowe z zimnych wód i dzięki pracy napędowej energii elektrycznej podnoszą stan energetyczny ciepła do wyższej temperatury. Wody takie mogą pełnić rolę wody do klimatyzacji wewnątrz, a ciepło pozyskane w wyniku schładzania może być zmagazynowane dla ogrzewania w sezonie grzewczym.

Jeśli brak jest wód podziemnych w miejscowej budowie geologicznej otworki wiertnicze mogą być wykonane aby pozyskiwać ciepło bez pozyskiwania masy (wody). Mogą pracować jako otworowe wymienniki ciepła. Są one szeroko stosowane, dzięki możliwości pracy dwukierunkowej, tj. do wytwarzania ciepła grzewczego i chłodu na potrzeby klimatyzacji.

W Polsce działa kilka firm wiertniczych zajmujących się głębokimi otworami wiertniczymi, a powstaje coraz więcej mniejszych firm zajmujących się wykonywaniem otworowych wymienników ciepła. W kraju jest wiele starych, zlikwidowanych oraz kończących eksploatację otworów wiertniczych, które można wykorzystać w geotermii i geoenergetyce. Referat przedstawia takie możliwości.

Aktualne oraz potencjalne możliwości użycia mieszanin kwasujących w celu poprawienia przepuszczalności skał zbiornikowych ujmujących wody termalne.

Obecnie geotermia stanowi coraz poważniejszą gałąź energii odnawialnej. Związane jest to zarówno z rozwojem technologii pozyskiwania ciepła wnętrza Ziemi zawartego w wodzie termalnej lub ciepła zakumulowanego w skałach pozyskanego za pośrednictwem systemów otworowych wymienników ciepła (OWC), jak również z koniecznością coraz bardziej restrykcyjnych ograniczeń emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Zgodnie z „Wieloletnim Programem Rozwoju Wykorzystania Zasobów Geotermalnych”, opracowanym przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska, w Polsce istnieje kilka poziomów wód termalnych, zajmujących obszar od 40 % do 55 % powierzchni kraju. Temperatury wód zawierają się w przedziale 20 °C do 90 °C. Najbardziej opłacalne mają być instalacje, w których udział energii z geotermii w sumarycznej ilości wytwarzanej energii będzie największy, np. obiekty rekreacyjne, rolnicze, wytwarzające chłód.

Funkcjonowanie instalacji ciepłowniczej wymaga pobrania przez otwór eksploatacyjny wody o wysokiej temperaturze, odebraniu tego ciepła i następnie zatłoczeniu chłodnej już wody do otworu chłonnego (odwiertu służącego do zatłoczenia zużytej wody), celem utrzymania ciśnienia złożowego w warstwie wodonośnej. Jest to instalacja tak zwanego dubletu geotermalnego. Praca takiej instalacji z czasem napotyka na trudności związane ze wzrostem ciśnienia zatłaczania spowodowanego kolmatacją strefy przyodwiertowej (osadzania się w porach skalnych drobnych cząsteczek stałych różnego pochodzenia). W Polsce problem ten obserwowany jest głównie w skałach piaskowcowych, choć występuje również w skałach wapiennych. W celu usunięcia powstałych w porach osadów stosuje się często zabieg kwasowania, czyli zatłaczania mieszaniny kwasującej (składającej się z rozcieńczonego kwasu, inhibitorów korozji i osadów oraz surfaktantów) do odwiertu chłonnego. Dzięki takiemu zabiegowi polepsza się przepuszczalność skały, przez co woda naturalnie przepływa pomiędzy porami skalnymi przez system szczelin.

Najczęściej stosowanym kwasem podczas zabiegu jest kwas solny. Udowodnione jest jednak, że stosowanie cieczy kwasującej na bazie kwasu HCl nie jest efektywne w przypadku skał węglanowych o wysokiej temperaturze. W przypadku piaskowców kwas solny jest jednak efektywniejszy. Dodawane do cieczy kwasującej środki chemiczne mają za zadanie spowolnienie czasu reakcji kwasu ze skałą.

W artykule zaprezentowane zostaną aktualne metody kwasowania zarówno skał węglanowych, jak i piaskowców. W przypadku tych pierwszych przedstawione zostanie nowatorskie podejście z użyciem modyfikowanego kwasu solnego, o niskiej toksyczności i niskich właściwościach korozyjnych. Modyfikowany kwas, poprzez wolniejszą reakcję ze skałą kwasującą, dłużej rozpuszcza osady znajdujące się w porach skalnych, przez co proces jest dokładniejszy. Mieszanina taka była zastosowana do kwasowania skał węglanowych na odwiertach w Afryce. Produkt, podczas kwasowania w podwyższonej temperaturze, potrzebował około 10 minut do rozpuszczenia prawie całości osadu znajdującego się w odwiercie. Nie zaobserwowano żadnego innego osadu ani wody morskiej. Korozja rur, jak również instalacji powierzchniowej, była nieznaczna. Całość procesu została wykonana za pomocą urządzenia typu coiled-tubing.

Drugim typem skał są skały piaskowcowe. Autorzy poczynili szereg prac w kierunku doboru mieszanin kwasujących do konkretnych przypadków ciśnienia i temperatury, mających jak najniższe właściwości korozyjne. Badania wpływu cieczy kwasującej na korozję wykonywane są za pomocą urządzenia RDA-100, przy użyciu określonych kuponów korozyjnych (w przypadku badań autorów wykorzystywano zazwyczaj stale CT oraz L-80). Przy czasie kontaktu 6 godzin, w temperaturach 120 – 130 °C. W teście korozji bada się ubytek masy oraz wylicza ze wzorów szybkość korozji w [g/cm²/h] oraz [mm/rok]. Przykładowe wyniki zaprezentowano w dołączonym pliku.

Ważnym elementem jest również wizualna obserwacja kuponu korozyjnego. W przypadku tak małych ubytków jednak kupon został prawie nienaruszony.

Innym punktem badania jest analiza materiału rdzeniowego, w tym badanie przepuszczalności i składu mineralnego metodą XRD. Pozwala nam to określić współczynnik przepuszczalności [mD], objętość porową rdzenia [cm³], rodzaj skały w rdzeniu (np. procentowa ilość kwarcu, dolomitu). Wyznacza się także wizualizację przestrzeni porowej rdzeni przed kwasowaniem metodą mikrotomografii rentgenowskiej. Badanie to umożliwia uzyskanie różnego rodzaju informacji dotyczących porowatości, liczby i długości kanałków porowych, ich połączeń, kierunków, struktury sieci porów oraz wpływ tych

cech na przepuszczalność skał. Ostatnią z metod badania rdzenia są testy przepływowe z zachowaniem warunków złożowych, na podstawie których analizuje się wpływ objętości cieczy kwasującej na ciśnienie różnicowe i analizuje, w którym momencie następuje przebicie, po którym ciśnienie różnicowe spada do wartości bliskich zeru.

Na podstawie wymienionych wyżej testów ocenia się, czy mieszanina kwasująca jest odpowiednia dla danych typów skał. Wszystko zależy jednak od warunków złożowych (temperatura, ciśnienie), dopływu wody, mineralizacji wody, rodzaju skał. W przypadku otworów geotermalnych dochodzą bardziej restrykcyjne kwestie środowiskowe, przez co większy potencjał użycia mają w tym przypadku kwasy modyfikowane. W artykule zaprezentowane zostaną szczegółowe wyniki przeprowadzonych testów oraz możliwości użycia danych rodzajów cieczy kwasujących w otworach geotermalnych, a także możliwości zapobiegania korozji czy powstawaniu osadów nieorganicznych.

Tomasz Śliwa, Tomasz Kowalski

33:1B

Specyficzne wymagania stawiane zaczynom uszczelniającym/wypełniającym otwory wiertnicze w geoenergetyce

Prawidłowy proces zaprojektowania oraz wykonania otworów wiertniczych dla celów geotermalnych jest zagadnieniem bardzo ważnym z punktu widzenia ich prawidłowego działania oraz optymalizacji wydajności. Jednym z najważniejszych elementów konstrukcyjnych otworów wiertniczych jest ich uszczelnienie. W geoenergetyce wyróżnia się trzy główne typy otworów wiertniczych: otworowe wymienniki ciepła, głębokie otworowe wymienniki ciepła oraz otwory geotermalne, produkcyjne i chłonne (Gonet i in. 2011, Śliwa i in. 2016, Sapińska-Śliwa i in. 2017).

Największe problemy z prawidłowym uszczelnieniem otworów w geoenergetyce występują w przypadku tzw. płytkiej geotermii czyli otworowych wymienników ciepła. Jest to spowodowane przede wszystkim brakiem uwarunkowań prawnych oraz minimalizacją kosztów wykonania przez firmy zajmujące się wierceniem. W wielu przypadkach otworowe wymienniki ciepła wypełnione zostają urobkiem lub żwirem, co jest znacznie tańsze od wypełnienia otworu zaczynem uszczelniającym, lecz prowadzi do niepożądanych zjawisk m.in. do łączenia się poziomów wodonośnych lub infiltracji wód opadowych przez kanał jakim jest nieszczelny otwór. Stąd też w celu prawidłowego uszczelnienia otworowych wymienników ciepła, jak i pozostałych typów otworów wiertniczych do zastosowań w geoenergetyce zaleca się użycie zaczynu uszczelniającego (najczęściej na bazie cementu) lub wykorzystanie gotowych mieszanin przemysłowych.

W przypadku otworowych wymienników ciepła zaleca się stosowanie zaczynu uszczelniającego o jak najwyższym przewodnictwie cieplnym w celu maksymalizacji wymiany ciepła pomiędzy nośnikiem ciepła znajdującym się w rurach wymiennika otworowego, a górotworem. Zastosowanie zaczynu o podwyższonej przewodności cieplnej obniży całkowity opór termiczny wymiennika ciepła, dzięki czemu zwiększy ilość wymianianego ciepła bądź chłodu. W przypadku głębokich otworowych wymienników ciepła zaleca się, aby w dolnej części otworu zastosować zaczyn o podwyższonym przewodnictwie cieplnym w celu jak najlepszej wymiany ciepła, natomiast w górnej części zastosować zaczyn o właściwościach izolacyjnych w celu zapobiegania stratom ciepła na drodze przesyłu, o ile temperatura nośnika wpływającego do otworu będzie wyższa od temperatury górotworu.

W otworach geotermalnych (produkcyjnych) na całej długości zalecane jest stosowanie zaczynu o obniżonym przewodnictwie cieplnym. Eksploatowana woda geotermalna posiada wysoką temperaturę (w złożu), a zaczyn o właściwościach izolacyjnych ma na celu zwiększenie oporu termicznego, a co za tym idzie minimalizację strat ciepła na drodze przesyłu wody geotermalnej ze złoża na powierzchnię. Zastosowanie tego rozwiązania jest ważne ze względu na drogę (głębokość otworu, wynosząca zazwyczaj ponad 1000 m), którą musi pokonać woda geotermalna zanim ze złoża trafi na głowicę odwiertu (Gonet i in. 2011, Śliwa i in. 2016, Sapińska-Śliwa i in. 2017).

Dostępne na rynku produkty nie rozwiązują w sposób jednoznaczny problemów występujących podczas zabiegu cementowania. Jednym z rozwiązań zaproponowanych przez autorów w celu sprawdzenia poprawności cementowania jest zabarwienie pierwszych partii zaczynu wykorzystywanego do uszczelnienia otworowych wymienników ciepła. Pierwszym krokiem niezbędnym do wykonania jest obliczenie ilości zaczynu niezbędnego do prawidłowego uszczelnienia wymiennika otworowego. Cementując otwór przez przewód iniekcyjny zapuszczony do dna

wymiennika można stwierdzić poprawność wykonanego cementowania w momencie, gdy po zatłoczeniu obliczonej ilości iniektu na powierzchni zacznie pojawiać się zakolorowany zaczyn uszczelniający. Świadczy to o prawidłowym wykonaniu zabiegu cementowania. Podczas tego typu działania mogą pojawić się jeszcze dwa przypadki. Po zatłoczeniu zbliżonej do obliczonej objętości iniektu na powierzchni pojawia się zaczyn, lecz nie jest on zabarwiony. Świadczy to o możliwości występowania pustek i spękań, które zostały wypełnione (zatłoczono nieznacznie większą objętość zaczynu) lub o stworzeniu korków cementowych w przypadku podciągania rury iniekcyjnej (zatłoczono mniejszą objętość zaczynu). Ostatni przypadek występuje, gdy na powierzchni nie pojawia się zaczyn. Nie pojawia się on również po dotłoczeniu dodatkowej objętości zaczynu. Zjawisko to świadczy o występowaniu pustek oraz wolnych przestrzeni szczelinowych, których wypełnienie mogłoby pochłonąć nieokreśloną objętość zaczynu, w przypadku takim proces cementowania należy przerwać. Kolejnym aspektem który rozważyli autorzy jest występowanie zmiennych naprężeń termicznych stwardniałego zaczynu uszczelniającego mogących powodować spękania kamienia cementowego lub jego ukruszenia. Problem ten występuje głównie w zaczynach o niskiej wytrzymałości mechanicznej. W celu eliminacji tego zjawiska można stosować w recepturach dodatki powodujące samonaprawę stwardniałego zaczynu uszczelniającego (Mulawa i in. 2023).

Ważnym elementem jest również sprawdzenie poprawności cementowania po jego wykonaniu. W tym celu w recepturach należy zastosować dodatki nie ulegające rozmagnesowywaniu, a pomiar poprawności wykonania procesu cementowania wykonać przy pomocy badań geofizycznych.

Autorzy niniejszego opracowania pracują nad stworzeniem algorytmu postępowania zabiegu cementowania otworowych wymienników ciepła, a także badają i tworzą receptury zaczynów uszczelniających do zastosowań w geoenergetyce. Prace te mają na celu ochronę środowiska poprzez ujednolicenie prawidłowego procesu uszczelniania wymienników otworowych.

Literatura:

1. Gonet A., Śliwa T., Stryczek S., Sapińska-Śliwa A., Jaszczur M., Pająk L., Złotkowski A., Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła, Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.
2. Sapińska-Śliwa A., Wiglusz T., Kruszewski M., Śliwa T., Kowalski T., Wiercenia Geotermalne: Doświadczenia Techniczne i Technologiczne, Laboratory of Geoenergetics Book Series vol. 3, Kraków, 2017.
3. Śliwa T., Sapińska-Śliwa A., Knez D., Bieda A., Kowalski T., Złotkowski A., Borehole Heat Exchangers, Production and storage of heat in the rock mass, Laboratory of Geoenergetics Book Series vol. 2, Kraków 2016.
4. Mulawa H., Sliwa T., Złotkowski A., Rejman R., Toczek P., Kowalski T., Stryczek S., Research on innovative grout for borehole heat exchangers in multiwell geothermal heat pumps systems, Proceedings World Geothermal Congress 2023, Beijing, China, 2023

Źródło finansowania:

Badania finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)” uzyskanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019” z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie

Tomasz Śliwa, Aneta Sapińska-Śliwa, Piotr Buliński

11:1B

Nowe otworowe wymienniki ciepła Laboratorium Geoenergetyki na terenie ZPP w Młoszowej

W grudniu 2022 r. w Młoszowej (gmina Trzebinia, powiat chrzanowski) zakończyły się wiercenia otworowych wymienników ciepła, które stworzyły „pole C” Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH.

Wiercenia wykonywano metodą udarowo-obrotową. Zrealizowano 23 otwory wiertnicze. Wszystkie otwory zostały zaadaptowane na otworowe wymienniki ciepła, poprzez zapuszczenie do otworów rur oraz wypełnienie otworu zaczynem uszczelniającym o podwyższonym przewodnictwie cieplnym.

W tabeli 1 pokazano przekroje poprzeczne przez wykonane otworowe wymienniki ciepła. W czasie wiercenia przeprowadzono badania pod kątem optymalizacji wiercenia płytkich otworów metodą udarowo-obrotową. Badania te polegały na pomiarze czasu wiercenia oraz zużycia energii przy

wykonywaniu otworów ze stałymi parametrami wiercenia (ciśnienie sprężonego powietrza oraz prędkość obrotowa świdra).

Badania w Młoszowej polegały na pomiarze czasu wiercenia oraz zużycia energii (paliwa) w czasie wykonywania otworów ze stałymi mechanicznymi parametrami wiercenia. Do mechanicznych parametrów wiercenia zalicza się ciśnienie sprężonego powietrza oraz prędkość obrotową. W czasie opisywanych wierceń wykonywano otwory dla różnych kombinacji wartości ciśnienia (20, 22, 24 bar) oraz prędkości obrotowej (20, 40, 60 obr/min) w dwóch interwałach od głębokości 65 – 68 m oraz 68 – 71 m.

Jeden interwał odpowiadał w tym przypadku długości jednej żerdzi. Czas przerw w wierceniu poszczególnych interwałów, spowodowanych koniecznością dołożenia kolejnej żerdzi (tzw. operacje dźwigowe) również był mierzony. Wszystkie zmierzone parametry posłużą do opracowania modelu statystycznego obniżającego koszty wiercenia otworowych wymienników ciepła metodą udarowoobrotową.

W każdym otworze wykonywane są aktualnie testy reakcji termicznej (ang. Thermal Response Test). Testy TRT mają decydujące znaczenie, z uwagi szeroki wachlarz konstrukcji otworowych wymienników ciepła. W przypadku instalacji w Młoszowej zastosowano pojedynczą u-rurkę, podwójną u-rurkę, potrójną u-rurkę, wymiennik trójrurowy oraz układ centryczny na bazie rur kompozytowych (włókna szklane), PCV i PE. Realizowane wielowariantowe testy TRT wskażą najlepszą konstrukcję. Porównywane będą wartości oporności termicznej wymienników, która wpływa bezpośrednio na ich efektywność energetyczną. Efektywność ta jest zdefiniowana jako jednostkowa moc grzewcza.

Kluczowym celem badań jest określenie oporności termicznej nowej konstrukcji otworowych wymienników ciepła. Jej istotnym elementem jest zwiększona wytrzymałość (kompozytowe rury zewnętrzne jako obudowa otworu). Umożliwi ona wykonywanie otworowych wymienników ciepła o większej głębokości. Ma to duże znaczenie w miejscach, gdzie brak powierzchni na wiercenie dużej liczby wymienników otworowych musi być zastąpiony mniejszą powierzchnią i mniejszą liczbą wymienników. Dla uzyskania podobnych parametrów grzewczych i/lub grzewczo-chłodniczych należy otwory o mniejszej liczebności wykonywać do większych głębokości.

Geotermalne pompy ciepła w systemach z otworowymi wymiennikami ciepła rozwijają się intensywnie jako alternatywa tradycyjnych źródeł ciepła. Umożliwiają one uzyskanie czystego ciepła (jeśli energia napędowa też jest czysta), są konkurencyjne cenowo oraz umożliwiają magazynowanie w górotworze ciepła (z klimatyzacji) oraz chłodu (przy pozyskiwaniu ciepła w sezonie grzewczym).

Stosunkowo wysoki koszt inwestycyjny systemów grzewczych i/lub grzewczo-chłodniczych z wymiennikami otworowymi i geotermalnymi pompami ciepła jest, dla wzrostu rozwoju instalacji, dotowany w wielu państwach. Dotacje stanowią koszty za emisję szkodliwych substancji do atmosfery. Drugim czynnikiem redukcji kosztów inwestycyjnych jest zakres prowadzonych badań, który skutkować będzie określeniu najkorzystniejszej konstrukcji oraz redukcji kosztów wiercenia. Dodatkowym elementem opisywanych badań będzie analiza parametrów eksploatacyjnych takich systemów.

Badania zrealizowano dzięki dofinansowaniu z funduszy norweskich 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie.

Układ urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku

Przedmiotem referatu jest przedstawienie układu urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku, mającego zastosowanie w podziemnym magazynowaniu ciepła, zwłaszcza w jego efektywnym wykorzystaniu. Układ urządzeń zapewnia dużą wydajność i małą bezwładność cieplną, jednocześnie likwiduje wadę znanego sposobu magazynowania ciepła w naturalnych warstwach wodoprzepuszczalnych - Aquifer Thermal Energy Storage (ATES), polegającą na braku możliwości jego zastosowania w warstwach wodoprzepuszczalnych o małym zawadzeniu lub przy znaczącej dynamice przepływu wody w obszarze wyznaczonym na magazyn ciepła.

Układ urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku stanowi napełniony wodą akumulator ciepła, który jest zamkniętym obszarem, wydzielonym z warstwy wodoprzepuszczalnej za pomocą ścian przeciwfiltracyjnych, będących również przegrodą izolującą termicznie.

Układ zawiera napowierzchniowy wymiennik ciepła oraz usytuowane w obszarze akumulatora studnie wydobywczo-zrzutowe, służące do akumulacji i odbioru ciepła, wyposażone w pompy głębinowe. W studniach wydobywczo-zrzutowych znajdują się również wielopoziomowe sondy pomiarowe temperatury oraz poziomu wody, połączone sygnałowo z aparaturą kontrolno-pomiarowo-sterującą, która steruje pracą pomp głębinowych oraz zaworów sterowalnych usytuowanych na przewodach hydraulicznych łączących układ studzien z wymiennikiem ciepła.

Przeprowadzono analizę budowy i funkcjonowania układu urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku, w aspekcie geologicznym i technicznym.

Otworowe wymienniki ciepła dla geotermalnych/gruntowych pomp ciepła do ogrzewania i/lub klimatyzacji

W Polsce powstaje coraz więcej instalacji wykorzystujących ciepło zakumulowane w gruntach, skałach czy wodzie podziemnej. Do najczęściej stosowanych metod pozyskiwania ciepła są instalacje z otworowymi wymiennikami ciepła oraz głębokie otworowe wymienniki ciepła. Ze względu na praktyczne rozwiązania techniczno-technologiczne oraz dane literaturowe przyjęto się, że do głębokości 200 m wykonuje się otworowe wymienniki ciepła, instalacje głębsze klasyfikuje się z reguły do głębokich wymienników (Sapińska-Śliwa A. et al. 2015). Najczęściej wykonuje się otworowe wymienniki do głębokości 100 m głównie ze względów uproszczonej procedury prawnej, a tym samym instalacja dolnego źródła powstaje szybciej. Otwory głębsze niż 100 m wymagają wykonania dodatkowo planu ruchu zakładu górniczego.

Instalacje gruntowych pomp ciepła składają się z przynajmniej jednego otworowego wymiennika, termodynamicznego obiegu pompy ciepła oraz instalacji grzewczo-chłodniczej obiektu budowlanego. Wykonanie otworowego wymiennika ciepła oraz głębokiego otworowego wymiennika ciepła wymaga odwiercenia otworu, zapuszczenia rur, którymi krążyć ma ciecz odbierające ciepło/chłód z gruntów i/lub skał (Ahmed et al. 2022) oraz uszczelnienia go. Efektywność energetyczna (jednostkowa moc grzewcza) instalacji wymienników otworowych jest uzależniona od kilku parametrów.

Wymienniki ciepła pozyskujące ciepło zakumulowane w gruntach czy skałach mogą posiadać różne konstrukcje. W Polsce znajdują się: pojedyncze U-rurki, podwójne U-rurki, układy centryczne czy termopale (Sapińska-Śliwa 2019).

W pojedynczej oraz podwójnej U-rurce ciecz krąży w układzie rur o jednakowej średnicy wymieniając ciepło/chłód (Śliwa et al. 2021) z górotworem. W układzie centrycznym rura wewnętrzna jest umieszczona w rurze zewnętrznej. Układ cyrkulacyjny składa się z kanału pierścieniowego i wnętrza rury wewnętrznej. Normalnym kierunkiem cyrkulacji jest przepływ w dół przestrzeni pierścieniową i ku górze rurę wewnętrzną.

W tabeli 1 przedstawiono jakościową charakterystykę otworowych wymienników ciepła wg ich konstrukcji.

Konstrukcje o pojedynczej U-rurce są najtańsze do wykonania. Są to najczęściej wykonywane konstrukcje wymienników w Polsce. Jednak są one również najmniej efektywne. Najbardziej efektywne są układy centryczne, które wymagają również największych środków finansowych. Rozwiązaniem pomiędzy nimi są konstrukcje z podwójnymi U-rurkami.

Oprócz otworowych wymienników ciepła istnieją również instalacje poziome, które wymagają jednak dużej powierzchni terenu. Zakopywane są na około 1,0-1,5 m poniżej poziomu terenu i około 20 cm poniżej głębokości przemarzania gruntów (<https://inzynierbudownictwa.pl/gruntowe-wymienniki-ciepła-stosowane-w-wentylacji-i-klimatyzacji/>). W Polsce średnia głębokość zapuszczania takich wymienników wynosi 1,5 m. Poziome wymienniki pobierają głównie zakumulowane w gruncie ciepło słoneczne. Na terenie AGH w Krakowie, w sierpniu 2023 roku będzie realizowany otworowy poziomy wymiennik ciepła. Do jego wykonania wykorzystana będzie metoda HDD (ang Horizontal Directional Drilling). Stosuje się ją dla bezwykopowego prowadzenia rurociągów (pod drogami, rzekami itp.). Według raportu PORT PC (<https://portpc.pl/port-pc-2022-rok-pomp-ciepła-w-polsce/>) w latach 2010 - 2022 sprzedano w Polsce ponad 66 tys. sztuk gruntowych pomp ciepła

Literatura

Ahmed, A.A.; Assadi, M.; Kalantar, A.; Sliwa, T.; Sapińska-Śliwa, A. A Critical Review on the Use of Shallow Geothermal Energy Systems for Heating and Cooling Purposes. *Energies*, 15, 4281, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15124281>.

Śliwa T., Gonet A. Analiza efektywności wymiany ciepła w wymiennikach otworowych o różnej konstrukcji. *Wiertnictwo Nafta Gaz*, Tom 28, Zeszyt 3, 2011.

Sapińska-Śliwa A.; Efektywność pozyskiwania ciepła z górotworu w aspekcie sposobu udostępniania otworami wiertniczymi. Monograph, Wydawnictwa AGH, Kraków 2019.

Sapińska-Śliwa A.; Rosen M.A.; Gonet, A.; Śliwa T. Deep Borehole Heat Exchangers—A Conceptual Review. In *Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015*.

Śliwa T.; Sapińska-Śliwa A.; Gonet A.; Kowalski T.; Sojczyńska A. Geothermal Boreholes in Poland—Overview of the Current State of Knowledge. *Energies* 2021, 14,3251; <https://doi.org/10.3390/en14113251>.

Sesja 1C

Zbigniew Lubosik

55:1C

Metan w kopalniach węgla kamiennego

Artykuł omawia problem metanu w kopalniach węgla kamiennego. W roku 2021 globalna emisja metanu z kopalń wyniosła 815,3 mln m³, co odpowiada emisji dwutlenku węgla na poziomie 49,8 mln Mg. Niestety, efektywność odmetanowania w tych kopalniach jest stosunkowo niska i wynosi około 39%. Autorzy przedstawiają statystyki globalnej emisji metanu oraz analizują różne techniczne rozwiązania mające na celu zmniejszenie tego problemu. W kontekście wytwarzania energii z węgla, redukcja emisji metanu jest kluczowa dla ograniczenia negatywnego wpływu na klimat. Omawiane są również możliwości ujmowania metanu, aby przeciwdziałać jego uwalnianiu do atmosfery. Przyjęcie bardziej zaawansowanych i zrównoważonych rozwiązań technologicznych może przyczynić się do redukcji emisji metanu z kopalń węgla kamiennego i poprawy stanu środowiska.

Poprzedni tytuł artykułu: Polska w świetle globalnych emisji metanu

Janusz Jureczka

56:1C

Nowe regulacje UE w odniesieniu do likwidacji kopalń węgla kamiennego w Polsce

Artykuł przedstawia nowe regulacje Unii Europejskiej dotyczące likwidacji kopalń węgla kamiennego w Polsce. W odpowiedzi na coraz bardziej widoczne wyzwania związane z kryzysem klimatycznym, UE wprowadza zdecydowane środki mające na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych. W tym kontekście, kopalnie węgla kamiennego stają się przedmiotem szczególnej uwagi, ze względu na znaczący udział tego paliwa kopalnego w emisji dwutlenku węgla. Nowe regulacje wymagają od Polski zdecydowanych działań w celu ograniczenia wydobycia i produkcji węgla kamiennego. Określono konkretny harmonogram likwidacji kopalń oraz postawiono warunki finansowe wspierające proces transformacji sektora węglowego. Unijne środki przeznaczone na ten cel mają wspomóc regiony dotknięte restrukturyzacją i zapewnić wsparcie pracownikom związanych z przemysłem węglowym, aby zapewnić im zrównoważone alternatywy zatrudnienia. Wprowadzenie nowych regulacji budzi zarówno nadzieje, jak i obawy w Polsce. Z jednej strony, dążenie do dekarbonizacji przyczyni się do ochrony klimatu i zdrowszego środowiska. Jednakże, obawy związane z utratą miejsc pracy w sektorze węglowym i koniecznością znalezienia alternatywnych źródeł energii stanowią poważne wyzwania dla polskiego rządu.

Piotr Kasza

57:1C

Prezentacja Międzynarodowego Centrum Doskonałości w zakresie metanu z kopalń węgla w Polsce (ICE-CMM Poland)

Prezentacja Międzynarodowego Centrum Doskonałości w zakresie metanu z kopalń węgla w Polsce (ICE-CMM Poland) skupia się na działalności tego centrum, które działa w ramach Grupy Ekspertów ds. Metanu z Kopalń Węgla i Sprawiedliwej Transformacji pod Europejską Komisją Gospodarczą Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNECE). Misją ICE-CMM Poland jest promowanie oraz wsparcie działań mających na celu redukcję emisji metanu do atmosfery, efektywne wykorzystanie tego gazu oraz zmniejszenie zagrożeń związanych z jego wybuchami w kopalniach węgla kamiennego w Polsce. Centrum działa w taki sposób, aby w praktyce wdrażać rozwiązania wypracowane przez ekspertów z różnych krajów. Prezentacja ICE-CMM Poland ma na celu przedstawienie osiągnięć i działań podejmowanych przez centrum, które wspiera globalne wysiłki na rzecz ochrony środowiska i redukcji emisji gazów cieplarnianych. Informacje na ten temat mogą być zaprezentowane na międzynarodowych konferencjach i sympozjach, co umożliwi wymianę wiedzy i doświadczeń z innymi krajami. Działania ICE-CMM Poland stanowią ważny wkład w walkę ze zmianami klimatu i osiągnięcie zrównoważonego rozwoju w sektorze górniczym w Polsce.

Symulacja przepływu powietrza i emisji metanu w zrobach kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem oprogramowania

Artykuł prezentuje wyniki symulacji przepływu powietrza i emisji metanu w zrobach kopalni węgla kamiennego, przeprowadzonej z wykorzystaniem zaawansowanego oprogramowania. Symulacja ma na celu zrozumienie i ocenę warunków panujących w kopalni oraz potencjalnej emisji metanu do atmosfery. Autorzy wykorzystali numeryczne modele matematyczne, które uwzględniają złożoność geometrii zrobów, właściwości górotworu, dynamikę powietrza i przepływu metanu. Dzięki temu możliwe było dokładne zrekonstruowanie warunków panujących w kopalni i oszacowanie ilości emitowanego metanu. Wyniki symulacji stanowią cenne narzędzie w zarządzaniu bezpieczeństwem i ochroną środowiska w kopalniach węgla kamiennego. Pozwalają one na identyfikację obszarów o podwyższonym ryzyku emisji metanu, co umożliwia podejmowanie odpowiednich działań prewencyjnych. Dodatkowo, symulacja może służyć jako narzędzie optymalizacji procesów wydobywania w celu minimalizacji emisji metanu. Pozwala na testowanie różnych scenariuszy i strategii, co prowadzi do zwiększenia efektywności wydobywania węgla oraz redukcji wpływu na środowisko.

Energia z metanu głównym celem strategii środowiskowej JSW S.A.

Głównym celem strategii środowiskowej JSW S.A. jest wykorzystanie energii z metanu jako efektywnego narzędzia w ograniczaniu wpływu działalności górniczej na środowisko. JSW S.A., będące jednym z największych producentów węgla kamiennego w Polsce, dąży do zrównoważonego rozwoju, redukując emisję gazów cieplarnianych oraz minimalizując wpływ na zmiany klimatyczne. Wydobywanie węgla kamiennego generuje znaczne ilości metanu, który jest potężnym gazem cieplarnianym. W odpowiedzi na ten wyzwanie, JSW S.A. skupia swoje wysiłki na zastosowaniu nowoczesnych technologii do ujmowania, odzyskiwania i wykorzystania metanu. Energia z metanu staje się kluczowym aspektem strategii środowiskowej, pozwalając jednocześnie na zmniejszenie emisji gazów oraz zwiększenie efektywności energetycznej w procesach górniczych. JSW S.A. podejmuje współpracę z ekspertami w dziedzinie energii odnawialnej, innowacyjnymi firmami oraz instytucjami badawczymi, aby rozwijać nowe rozwiązania technologiczne. Celem jest stworzenie zrównoważonego modelu wydobywania węgla, który minimalizuje wpływ na środowisko, a jednocześnie utrzymuje konkurencyjność i stabilność przedsiębiorstwa. Poprzez koncentrację na energii z metanu, JSW S.A. pragnie stać się liderem w zielonej transformacji górnictwa, wnosząc pozytywny wkład w globalne działania na rzecz ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju.

Odmetanowanie kopalń w Polskiej Grupie Górniczej

Odmetanowanie kopalń w Polskiej Grupie Górniczej (PGG) jest priorytetowym działaniem w dążeniu do zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji gazów cieplarnianych. PGG, będąca jednym z największych producentów węgla w Polsce, aktywnie podejmuje środki mające na celu skuteczne odzyskiwanie i wykorzystanie metanu, który jest potężnym gazem cieplarnianym. W kontekście wydobywania węgla, kopalnie generują znaczne ilości metanu, który ma znaczący wpływ na zmiany klimatyczne. W odpowiedzi na to wyzwanie, PGG koncentruje swoje wysiłki na wdrożeniu nowoczesnych technologii odmetanowania, które pozwalają na ujęcie tego gazu i wykorzystanie go jako źródła energii. PGG podejmuje inicjatywy badawcze i inwestycje w rozwój nowych technologii, aby umożliwić optymalne wykorzystanie metanu jako źródła energii. Odmetanowanie kopalń stanowi istotny element strategii PGG w kontekście walki ze zmianami klimatycznymi oraz spełnienia wymogów zrównoważonego rozwoju. Poprzez skupienie na odmetanowaniu, Polska Grupa Górnicza stawia sobie za cel nie tylko ograniczenie wpływu na środowisko, ale także zapewnienie trwałego i zrównoważonego rozwoju branży górniczej w Polsce. Działania te wnoszą istotny wkład w globalne wysiłki na rzecz ochrony środowiska i osiągnięcia zrównoważonej przyszłości.

Sesja 2A

Jakub Szut, Paweł Piątek, Mariusz Pauluk

1:2A

Odzyskiwanie energii z fal elektromagnetycznych

Artykuł przedstawia badanie możliwości pozyskiwania energii z fal elektromagnetycznych poprzez wykorzystanie układów przetwarzających energię RF na prąd stały. W artykule podsumowano najważniejsze równania wiążące transmisję fal elektromagnetycznych z energią. Wymieniono dostępne na rynku rozwiązania pozwalające na odzyskiwanie energii z fal elektromagnetycznych. Przeprowadzono obliczenia umożliwiające oszacowanie dostępnej mocy pozyskiwanej w paśmie komunikacji radiowej dla technologii 5G.

Dominik Gryboś, Jan Markowski, Jacek Leszczyński, Yoshihide Suwa

6:2A

Air recovery system from the expansion section together with its conversion into electricity

Pneumatic machines and systems are highly popular devices used for automation and mechanisation of production lines in many industry sectors as food, automotive, electrotechnical, packaging, etc. However, the energy efficiency of the pneumatic system is very low, about 10 to 20% [1]. It is results by the oversizing of the pneumatic actuator and complexity. The exhaust air from pneumatic machines have high energy/exergy which is wasted through air expansion [2]. Here we demonstrate own developed the air recovery system (Fig. 1.) which collect exhaust air and convert it into electricity [3]. An industrial test of our device was carried out on semi-technical scale in which the operation of the machine, the impact on processes on the production line and energy savings were examined.

Krzysztof Wojciechowski

20:2A

Thermoelectric converters - a future technology for harvesting energy from the environment

Only about 40 percent of the energy from primary sources including coal and hydrocarbon combustion is used in most technological processes; the rest is lost to the environment as waste heat. Thermoelectric technologies can be successfully used to convert waste heat into electricity. They can also be used to harness "green" energy resources, such as geothermal or solar energy. The operating principle of these devices is based on the use of unique semiconductor materials in which the conversion of heat flow into electricity takes place without the involvement of any mechanical parts. Thermoelectric devices, therefore, feature a simple design, exceptional durability and reliability, and scalability, allowing the construction of various power sources ranging from microwatts to tens of kilowatts.

The presentation will give a brief overview of current thermoelectric technologies and the recent achievements of the staff of the Thermoelectric Research Laboratory of the AGH University of Krakow in the development of new thermoelectric composite materials with efficiencies of 15%, the fabrication of converters with power densities of exceeding 3 kW/m² and the construction of prototype devices for the recovery of heat from exhaust gases and for the conversion of solar energy.

Piotr Dziurdzia, Piotr Bratek

30:2A

An Efficient Electrothermal Model of a Thermoelectric Converter for Thermal Energy Harvesting Process Simulation

Proliferation of Internet of Things (IoT) devices and rapid development of wireless sensor networks (WSN) nodes, numbering now to a quantity many times higher than the total number of people worldwide, has forced recently searching for self-powering and battery-less energy sources. This necessity results mainly from the fact that the IoT and WSN elements are very often installed in harsh or remote environments, far from power main grids that deliver necessary energy. The use of batteries also does not solve the problem, because they need periodic replacement and an extra maintenance cost arises; moreover, batteries are chemically hazardous, which imposes additional risk

on the environment. That is why the energy harvesting from waste or free available environmental sources of energy have attracted recently a great research attention. Apart from light, mechanical vibrations and electromagnetic background, the heat energy and thermoelectric conversion are playing more and more important role in the field of energy harvesting or energy scavenging.

The heat energy harvesting development by means of thermoelectric modules (TEM) is today greatly enhanced by recent improvements and progress proceeding in two parallel paths. One of them is the material science providing new materials for thermoelectric couples exhibiting far higher figure of merit ZT in the room temperature range than the traditional Bi_2Te_3 . The second path are the advancements in Thermoelectric Generator (TEG) design – providing optimal thermal matching between the components of the thermo-mechanical TEG setup, as well as progress in microelectronic industry offering energy efficient integrated circuits for power conversion and management.

The motivation behind the proposed work is development of an efficient model of a thermoelectric converter for thermal energy harvesting process simulation that could take into account the thermoelectric materials parameters, the TEG mechanical construction (for example heat sink optimisation), as well as electronic circuit for power conversion. The complex thermoelectric converter model is suitable for simulation experiments carried out on a common platform, namely the electronic circuit simulator SPICE-like software. It is based on the electro-thermal analogy, where the thermal quantities, such as heat power, temperature, thermal resistance and capacitance, are replaced by equivalent electrical quantities, respectively the current source, voltage, electrical resistance and capacitance. The thermoelectric module itself is firstly described by the equations expressing the thermal and electrical power balance across the TEG, where also the nonlinear thermal dependencies of the relevant thermoelectric parameters, such as Seebeck coefficient, electrical resistance, and thermal conductivity, are taken into account. In the improved model the temperature profile across the TEG is more precisely estimated and then reflected in the more accurate thermoelectric parameters.

The proposed electrothermal model is used in estimation of small amounts of available electrical energy harvested from waste heat that would be sufficient to supply autonomous battery-less nodes of wireless sensor networks and IoT or at least support primary battery to prolong the lifetime of the nodes. The demonstrated model is not limited only to low power electronic solutions such as IoT or WSN, but it can also be applied for simulations of considerable higher thermal power conversion.

In the paper, as a case study, a combined model of the electrothermal model of TEG generator and electronic harvester circuit based on Analog Devices LTC3108 chip is presented which is suitable for complex simultaneous simulation process, both in electrical and thermal domains.

*Dorota Młynarczyk, Dominik Gryboś, Jacek S. Leszczyński, Roman Trojanowski,
Jerzy Wiciak*

41:2A

Acoustic Energy Harvesting - selected design methods

The world around us is full of sounds: most of them are desirable, but some of them are undesirable and annoying sounds. Common sources of undesirable sounds include: sports stadiums, outdoor concerts, pneumatic tools, aircraft, high-speed trains, tunnels, power plants, machines, vehicles, and expressways. With the propagation of a sound wave, there is a flow of acoustic energy. Acoustic energy is one form of energy that can be extracted from the environment and converted into electrical energy. In many cases, the sound pressure level in the environment can be higher than 90 dB, however, a major challenge for energy harvesting is the low power density in these acoustic fields. Hence, much of the work concerns appropriate structural design for acoustic energy harvesting (AEH). Many practical solutions for converting acoustic energy into electrical energy have small-scale applications. Currently, the main issue is the integration of AEH devices into engineering structures to obtain large-scale AEH. This paper discusses the main AEH mechanisms, which include the Helmholtz resonator approach, the quarter-wave resonator approach, and the acoustic metamaterial approach.

Power from Steam Sterilization for Intelligent Medical IoT Sensors – Optimizations and Perspectives

This paper presents an energy harvesting based approach of powering medical internet of things sensor nodes working in the environment of steam sterilization. Authors created a concept of the module with thermally insulated heat storage unit connected to the thermoelectric generator attached to the metal casing. A physical model have been constructed as well as it's digital twin which has been parametrized. On the other side the appropriate sensor node design has been proposed and it's power requirements have been established. Next a FEM simulations of steam sterilization have been performed on the virtual model of the concept to validate it. Finally an optimization procedure has been presented. The optimized model was able to provide sufficient power for sensor node during the 95.48% of the steam sterilization plateau phase.

Osadzanie się brudu na powierzchni modułów fotowoltaicznych.

Fotowoltaika jest w ostatnich latach najdynamiczniej rozwijającą się gałęzią polskiej energetyki. W segmencie prosumenckim pracuje obecnie ponad 1,2 mln mikroinstalacji fotowoltaicznych o łącznej mocy ok 9GW. Generacja energii w tych instalacjach PV wymuszona jest dostępnością energii promieniowania słonecznego wynikającą ze zmiennych warunków pogodowych oraz ograniczana takimi zjawiskami jak zacienianie aktywnej powierzchni modułów PV, wzrostem ich temperatury oraz brudem osadzającym się na modułach PV. W artykule przedstawione zostaną wyniki eksperymentu pomiarowego, w którym badano to ostatnie zjawisko. Eksperyment przeprowadzono w okresie marzec-czerwiec 2022 na instalacji fotowoltaicznej zlokalizowanej na dachu budynku C3 (kampus AGH). Brud zgromadzony na powierzchni modułu miał charakter naturalnie osadzającego się wielkowiejskiego pyłu. W ramach eksperymentu stwierdzono, że po umyciu modułu wzrosły zarówno prąd jak i napięcie przez niego generowane. Na czystym module moc maksymalna wzrosła o 5,1% względem mocy maksymalnej uzyskiwanej z zabrudzonego modułu. Po uwzględnieniu ochłodzenia modułu o 3°C spowodowanego procesem mycia realny wzrost mocy dzięki usunięciu brudu wyniósł ok 3,8%. Jest to wartość na tyle duża, że odpowiednio ustalony harmonogram czyszczenia modułów fotowoltaicznych może znacząco zwiększyć ilość energii elektrycznej generowanej w instalacji PV. W ramach eksperymentu brud usuwano z poszczególnych modułów fotowoltaicznych poprzez zwilżanie ich wodą demineralizowaną a następnie zbierano tak otrzymaną zawiesinę za pomocą myjki podciśnieniowej do ważonych wcześniej sterylnych pojemników. Następnie usuwano wodę (poprzez odparowanie lub liofilizację) i ponownie ważono pojemnik na wadze laboratoryjnej z rozdzielczością 0,1mg uzyskując masę samego brudu. Łącznie zebrano 125 indywidualnych próbek brudu z 12 różnych modułów wykonanych w technologii krzemu polikrystalicznego i monokrystalicznego pochylonych pod kątami 15°, 35° i 45°. Podstawowym okresem zbierania próbek brudu był jeden tydzień, jednak niektóre z modułów były czyszczone rzadziej aby sprawdzić wpływ czasu ekspozycji modułu na warunki atmosferyczne na ilość osiadającego na nim brudu. Waga poszczególnych próbek zbieranych z pojedynczych modułów (ok 1,7m²) zawierała się w przedziale od 30mg do 425mg. Eksperyment wykazał duże różnice w osadzaniu się brudu na modułach fotowoltaicznych zainstalowanych pod różnymi kątami pochylenia. W obrębie tego samego kąta pochylenia zarejestrowano również różnice w osadzaniu się brudu na modułach z krzemu polikrystalicznego i monokrystalicznego. Dzięki odpowiednio ustalonemu harmonogramowi czyszczenia poszczególnych modułów PV, udało się zarejestrować związek między masą zgromadzonego brudu a okresem czasu pomiędzy kolejnymi czyszczeniami danego modułu. Zarejestrowano również zjawisko samooczyszczania się modułów pod wpływem opadów atmosferycznych. Badania opisane w artykule pozwolą właścicielom/operatorom instalacji fotowoltaicznych na optymalne planowanie prac obsługowych zwiększających produkcję energii elektrycznej bez ponoszenia nadmiernych wydatków finansowych.

Sesja 2B

Anna Sowizdzał

34:2B

Badania nad rozwojem technologii w celu efektywnego wykorzystania zasobów geotermalnych

Tematyka geotermalna od wielu lat jest jednym z podstawowych kierunków działalności naukowo-badawczej i dydaktycznej Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej. Realizowane są krajowe i międzynarodowe projekty badawcze dotyczące oceny potencjału geotermalnego Polski, innowacyjnych technologii pozyskiwania energii geotermalnej, a także efektywnego gospodarowania zasobami wód i energią geotermalną. Niniejsza praca przedstawia kluczowe efekty realizowanych w ostatnich latach projektów geotermalnych, w tym projektu EnerGizerS (Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO₂-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu), który otrzymał dofinansowanie w ramach polsko-norweskich projektów badawczych POLNOR 2019 finansowanych przez Fundusze Norweskie za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Wojciech Luboń, Grzegorz Pełka

36:2B

Prace badawczo-rozwojowe w Miękinii na rzecz zwiększania efektywności pomp ciepła - projekt innowacyjnej pompy ciepła typu solanka-woda

W pracy zaprezentowano Laboratorium Edukacyjno-Badawczego Odnawialnych Źródeł i Poszanowania Energii WGGiOŚ w Miękinii. Przedstawiono możliwości badań, w tym głównie badań związanych ze zwiększaniem efektywności pomp ciepła. Skupiono się przede wszystkim na stanowiskach badawczych do testowania pomp ciepła zgodnie z normą PN-EN 14511, a także nad pracami optymalizacyjnymi jakie można wykonać na stanowiskach badawczych w celu zwiększenia efektywności pomp ciepła. Ponadto w pracy przedstawiono prototypowe rozwiązanie innowacyjnej pompy ciepła typu solanka woda o mocy 70 kW.

Grzegorz Pełka, Wojciech Luboń, Wojciech Sorociak

38:2B

Wykorzystanie płytkich systemów geotermalnych na potrzeby ogrzewania i chłodzenia

W artykule omówiono koncepcję pracy instalacji grzewczo-chłodzącej w budynku biurowo-laboratoryjnym, wyposażonym w instalację odladzania parkingu. W omawianym układzie ogrzewanie i chłodzenie budynku będzie realizowane za pomocą płytkich systemów geotermalnych, z wykorzystaniem pomp ciepła. Chłód może być dostarczany w sposób aktywny, jak i pasywny. Pasywne chłodzenie polega na wykorzystaniu stosunkowo niskiej temperatury gruntowego źródła ciepła po sezonie zimowym do chłodzenia budynku. Aktywne chłodzenie wykorzystuje pompy ciepła do zwiększenia wydajności chłodniczej układu. Chłodzenie, zarówno pasywne, jak i aktywne, przyspiesza regenerację cieplną górotworu. Instalacja odladzania parkingu również może pracować w trybie pasywny oraz aktywnym. W sezonie letnim instalacja odladzania parkingu będzie wykorzystywana jako kolektor słoneczny, z którego ciepło będzie przekazywane do górotworu.

Barbara Tomaszewska, Leszek Pajk, Bogusław Bielec, Beata Kępińska, Wiesław Bujakowski

51:2B

Modelowa prognoza scalingu instalacji geotermalnej poparta wynikami rzeczywistych badań systemu geotermalnego

Wytrącanie osadów wtórnych z wód geotermalnych w wyniku zmian stanu termodynamicznego wody w instalacjach geotermalnych należy do kluczowych zagrożeń wpływających na bezpieczeństwo eksploatacji systemu geotermalnego. W pracy przedstawiono wyniki 1) badań z zakresu modelowania geochemicznego i matematycznego ukierunkowane na prognozę możliwości wystąpienia scalingu w instalacji o wysokim zasoleniu wód geotermalnych, 2) badań mineralogiczno-petrograficznych osadów wtórnych oraz 3) testów hydrodynamicznych wykonanych celem weryfikacji prognoz modelowych. Efektem zrealizowanych prac badawczych są wytyczne możliwe do implementacji w projektowanych instalacjach oraz przedsięwzięciach już zrealizowanych.

Maciej Szymanek, Anna Sowizdzał

61:2B

Analiza porównawcza płynów roboczych we wspomaganych systemach geotermalnych (Enhanced Geothermal Systems). Doświadczenia ze współpracy polsko-norweskiej w ramach projektu EnerGizerS

Wspomagane systemy geotermalne EGS w głównej mierze wykorzystują wodę jako czynnik roboczy do wydobycia energii cieplnej z wnętrza Ziemi. Energia ta może być eksploatowana również przy pomocy innych czynników, takich jak dwutlenek węgla, który zyskuje wysokie zainteresowanie w związku z możliwością jego geologicznego sekwestrowania. Badania nad innowacyjnym wykorzystaniem CO₂ jako płynu roboczego są prowadzone w polsko-norweskim projekcie EnerGizerS.

Sesja 2C

Wojciech Marchewka, Konrad Miernikowski, Honorata Osip, Katarzyna Lejda, Jerzy F. Janik, Cezary Czosnek

16:2C

Porowate materiały węglowe o zróżnicowanej morfologii otrzymywane drogą pirolizy biomasy roślinnej

Rozwój gospodarczy niesie ze sobą wzrost zapotrzebowania na materiały dla nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Na polu ochrony środowiska, w różnego rodzaju procesach katalitycznych czy też w dziedzinie magazynowania energii ciągłym zainteresowaniem cieszą się porowate materiały węglowe. Z kolei kurczące się zasoby surowcowe powodują, że przedmiotem zainteresowania stają się różnego rodzaju węglonośne materiały odpadowe, w tym także rolnicze. Jeszcze innym motywem rozkwitu badań tego rodzaju surowców jest potrzeba otrzymania materiałów węglowych o pożądanych cechach fizykochemicznych oraz teksturalnych.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących otrzymywania porowatych materiałów węglowych na drodze pirolizy różnych części kukurydzy. Jako surowiec do badań wykorzystano łodygi oraz kolby kukurydzy. Zgromadzony wyjściowy materiał badawczy rozdrobiono na kawałki o rozmiarach około 1x1x1 cm oraz poddano płukaniu w wodzie dla usunięcia zanieczyszczeń mineralnych pochodzących z gleby. Następnie tak przygotowane próbki wysuszono w temperaturze 105 °C w ciągu 24 godzin, w atmosferze powietrza. Po ochłodzeniu próbki poddano rozdrabnianiu na cząstki o rozmiarach poniżej 1 mm. Następnie próbki poddano pirolizie w elektrycznym piecu rurowym w atmosferze przepływającego argonu – oddzielnie prowadzono pirolizę łodyg i kolb. Ogrzewanie prowadzono z szybkością 5 °C/min. Po osiągnięciu temperatury końcowej wynoszącej 800 °C próbki były przetrzymywane w tej temperaturze przez 60 minut, a następnie chłodzone razem z piecem do temperatury otoczenia. Dla uzyskanych w ten sposób karbonizatów wykonano pomiary zawartości pierwiastków C i H, popiołu oraz zawartości części lotnych. Scharakteryzowano je także przy użyciu spektrometrii w podczerwieni FTIR, skaningowej mikroskopii elektronowej SEM, rentgenowskiej dyfrakcji proszkowej XRD oraz zbadano ich właściwości teksturalne na podstawie niskotemperaturowej sorpcji azotu. Badane próbki cechowały się zróżnicowaną morfologią w zależności od rodzaju próbki wyjściowej i – co warto podkreślić – posiadały względnie wysoką powierzchnię właściwą.

Praca finansowana w ramach Subwencji Badawczej AGH nr 16.16.210.476

Mieszko Tokarski, Rafał Buczyński

18:2C

Heat transfer analysis in low-gradient combustion for a small-scale industrial energy systems

Since the dawn of time, mankind has used chemical energy stored in biomass or fossil fuels for heating, lighting or defence, e.g. against wild predators. What all these areas have in common is the method of recovering this energy- combustion, which remains the main method of energy conversion to this day. The use of fossil fuels increased rapidly during the industrial revolution, which sought a convenient and efficient way to use the enthalpy of exhaust gases. In that time the first fire-tube boilers were created. Today, it is a mature, well-known, and widespread technology, successfully used in many industries to generate heat and steam for technological processes.

Fire-tube boilers are supplied with different fuels, from coal powder through biomass to natural gas. Their characteristic features are high efficiency (> 90 %) combined with a simple and compact structure consisting of several basic elements, such as: burner; flame tube (combustion chamber); one, two, three or even four passes of fire tubes, inside which the flue gases heat the water surrounding the tubes. Construction and power output (most often between several to even 30 MW) of such boilers depends on the energy demand and required steam parameters (mostly around 20 bar, saturated or slightly superheated).

Pro-environmental legislation of EU encourages modernization of industry via switching to more efficient and environmentally-friendly solutions allowing for reducing or even for complete elimination of pollutant emissions. This trend also touches industrial boilers, in which traditional

combustion accompanied by low-NO burners are used. This allow to meet the emission standards and conveniently operate with common fuels like coal powder or natural gas. However, in recent years a big interest is laid on so-called Low-Gradient Combustion (LGC) also known as MILD (Moderate or Intense Low-oxygen Dilution), HiTAC (High-Temperature Air Combustion), Highly Preheated Air Combustion (HPAC), Colourless Distributed Combustion (CDC), FLOX (Flameless Oxidation), or FC (Flameless Combustion). This concept comes down to expanding the reaction zone to all the available volume of the combustion chamber (more uniformly distributed and diluted reactants), which results in a uniform temperature profile with lowered peak temperature by about 200 – 300 K. As a result, the flame is no longer visible – thus the name flameless or colourless. This enables a wider range of stable combustion, lower pollutant emissions, ability to combust lean and alternative fuels (e.g., syngas, hydrogen). Low-gradient technology fits in environmental objectives promoted by EU and constitutes a clean, convenient, and promising way for use a wide range of fuels along with a waste disposal. What is more, low-gradient combustion is seen as a very promising technology for efficient pure hydrogen (or hydrogen blends) combustion.

So far, low-gradient combustion has been successfully implemented in many industrial applications, but industrial small-scale boilers (up to approx. 30 MW) using LGC are still absent. The reason for this lie in specific conditions that need to be met to sustain low-gradient mode: fuel and oxidizer need to be heated above self-ignition temperature (approx. > 1200 K) and intensive recirculation of flue gas required (or properly distributed inlets of reactants). Both conditions can be fulfilled when the boiler dedicated for LGC is properly designed. This, however, is not a simple task, as heat and mass transfer in low-gradient combustion are significantly different than in well-known conventional combustion. Additionally, structure of classic fire-tube boilers is not favourable for implementation of low-gradient combustion due to high heat extraction from the combustion chamber (which is immersed in water) and lack of combustion substrates pre-heating. Hence, a thorough research in this topic needs to be conducted.

For this reason, the author preliminarily investigates in this work the potential application (along with its implications) of low-gradient combustion in a small-scale industrial boiler. The analysis is focused on numerical investigation of radiative, convective, conductive, and total heat fluxes in both traditional and low-gradient combustion regimes. Next, a necessary heat transfer surface of radiative (combustion chamber) and convective (tubes, heat exchanger) part of the boiler will be estimated. This will allow to assess and compare thermal effectiveness of MILD and traditional combustion. Moreover, unfavourable for MILD high heat extraction and lack of combustion substrates pre-heating will also be addressed. Main outcome of this work will be a basic qualitative information, whether the low-gradient combustion is more effective in this application than traditional combustion, or not.

Małgorzata Gierek, Katarzyna Szramowiat-Sala, Janusz Gołaś, Andrzej Gardela

23:2C

Wykorzystanie podziemnych kawernowych magazynów gazu (KPMG) w Polsce do składowania alternatywnej formy paliwa – wodoru. Ocena wybranych możliwości technologicznych, ekonomicznych i środowiskowych.

Podziemne kawernowe magazyny gazu (KPMG) powstałe w wyniku działalności człowieka w procesie ługowania, to formy umożliwiające podziemne składowanie paliw. Wykorzystywane są zarówno w Polsce jak i na całym świecie m.in. w Niemczech, Holandii, Wielkiej Brytanii oraz USA i Kanadzie. Stanowią sposób na przechowywanie paliw, głównie gazu, który zostaje wykorzystany w momencie wahań popytu lub awarii w dostawie surowca energetycznego. W Polsce funkcjonują KPMG o łącznej pojemności czynnej określanej na ponad 3 mld m³, co istotne są one stale powiększane celem zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju. Obecnie w KPMG magazynowany jest gaz wysokometanowy, a każdy z magazynów podłączony jest poprzez szereg pośrednich etapów technologicznych pod infrastrukturę przesyłową. Ze względu na wysoki poziom bezpieczeństwa oraz istotny brak ingerencji w równowagę środowiska, kawernowe podziemne magazyny gazu stanowią istotny punkt badań w kierunku wdrożenia koncepcji wykorzystania ich do składowania alternatywnej formy paliw, w tym wodoru. Wodór określany jest mianem jednego z paliw przyszłości, ponieważ jego spalanie nie powoduje emisji dwutlenku węgla, który uznawany jest za jeden z głównych gazów cieplarnianych.

Niepodważalną zaletą wykorzystania wodoru jako paliwa jest fakt, że jest on gazem powszechnie występującym w środowisku naturalnym. Wodór można odnaleźć w różnym stanie skupienia na Ziemi, zarówno w wodzie jak i gazie ziemnym. Niska wartość gęstości energetycznej wodoru, z kolei, przekłada się na olbrzymie ilości niezbędne do zmagazynowania, celem zapewnienia wystarczającej ilości energii w stosunku do zapotrzebowania.

Istotnym jest zapewnienie bezpieczeństwa i ochrona środowiska, zarówno podczas transportu oraz magazynowania wodoru w KPMG. Rozwiązanie to wymaga opracowania i wdrożenia zarówno nowych rozwiązań technologicznych, takich jak odpowiednio zaprojektowane systemy magazynowania, odzyskiwania i recyklingu wodoru, jak i monitoringu zagrożeń środowiskowych. Celem kontroli migracji wodoru z magazynu do atmosfery opracowywana jest przez Autorkę metoda pułapkowa (obecnie w fazie zgłoszenia patentowego), mająca na celu umożliwienie pobrania reprezentatywnej próby gazu z warstw przypowierzchniowych, a następnie określenie jej składu pod kątem zawartości wodoru oraz pozostałych gazów pochodzących z rozkładu biomasy. Wykonywane wspomnianą metodą okresowe badania pozwolą na ocenę szczelności KPMG.

Ekonomia wykorzystania KPMG do składowania wodoru jest istotnym aspektem powstałej koncepcji. Pozyskanie, magazynowanie oraz wprowadzenie wodoru do sieci gazowej będzie wymagało wdrożenia dedykowanych elementów instalacji. Wykorzystanie KPMG do składowania wodoru stawia szereg nowych wyzwań w branży energetycznej, niemniej jednak stanowi jedno z rozwiązań dla stawianych wymogów dotyczących korzystania w przyszłości z większej ilości alternatywnych źródeł energii.

Same koszty pozyskiwania wodoru z zielonych źródeł energii w procesie elektrolizy są zależne od wielu czynników. Jednym z nich jest cena energii elektrycznej, gdyż sam proces elektrolizy wymaga dużego nakładu energii. Stąd cena jej pozyskania ma duży wpływ na końcowe koszty produkcji wodoru. Wykorzystany w produkcji wodoru proces elektrolizy może być prowadzony w kilku różnych technologiach. Użyte materiały katodowe czy membrany, mają wpływ na koszty produkcji wodoru oraz wydajność samego procesu. Uwarunkowania geologiczne kraju mają także wpływ na wybór i dostępność alternatywnych źródeł energii. Zarówno energia słoneczna, wiatrowa, geotermalna, biomasa będą miały swój wkład w kosztach końcowych pozyskiwania gazu. W związku z wieloma możliwościami oraz ograniczeniami uwarunkowanymi indywidualnie od rejonu bądź polityki krajowej koszty produkcji wodoru są trudne do oszacowania i zmienne w czasie. Niemniej jednak produkcja wodoru z alternatywnych źródeł energii jest coraz bardziej ekonomicznie opłacalna i może być konkurencyjna względem produkcji wodoru z obecnych źródeł i bieżących technologii.

Skupiając się na korzyściach składowania w KPMG wodoru lub innych mieszanek paliw alternatywnych należy podkreślić bezpieczeństwo, jakie dają podziemne magazyny. Są one zdecydowanie bezpieczniejsze niż możliwość składowania paliwa w zbiornikach na powierzchni, z powodu zwiększonej ochrony przed warunkami atmosferycznymi i czynnikami zewnętrznymi. KPMG uwalniają lub pobierają w sposób zdecydowanie najszybszy paliwo w przypadku dostaw lub uwalniają je w sytuacji wzmożonego zapotrzebowania produkując dodatkową energię zasilającą sieci elektryczne. W sterowni KPMG w ciągu kilku godzin wdrażane są wspomniane procesy bez potrzeby wcześniejszego lub długotrwałego kondycjonowania układu. Cały transport odbywa się pod ziemią, sieciami przesyłowymi dedykowanymi konkretnym czynnikom energetycznym. Jednym z ważniejszych problemów występujących w procesie podziemnego magazynowania gazu ziemnego jest zapewnienie bezpiecznej eksploatacji tych obiektów. Stosowane aktualnie technologie budowy podziemnych magazynów na gaz ziemny i węglowodory ciekłe gwarantują ich długotrwałą szczelność. Nie można jednak z całkowitą pewnością wykluczyć okoliczności, które mogą prowadzić do powstania chociażby nieznacznych nieszczelności podziemnego magazynu w czasie jego eksploatacji i związanej z tym migracji magazynowanych paliw do geosfery. Okresowe badania geochemiczne mają na celu odpowiednio wczesne zasygnalizowanie anomalii wskazujących na możliwość wystąpienia wycieków oraz podjęcie działań w celu wyjaśnienia przyczyn jej powstania oraz likwidacji zagrożenia.

Rozpatrując wodór jako paliwo przyszłości należy pamiętać, że posiada on zarówno wiele zalet jak i wad. Istnieją ogromne wyzwania technologiczne związane z jego magazynowaniem, transportem a także samą produkcją, jak i późniejszym odzyskiem energii. Produkcja wodoru jest nadal kosztowna i zużywa dużo nakładów dodatkowej energii. Warto jednak podkreślić, iż wodór może być produkowany z różnych źródeł w tym z gazu ziemnego, wody i biomasy, a jego wykorzystanie jako alternatywnego

źródła energii ma ogromny potencjał w przyszłym oparciu produkcji energetycznej na źródłach odnawialnych. W tym kontekście, wykorzystanie podziemnych KPMG do składowania wodoru stanowi ważne narzędzie wspierające rozwój nowych rozwiązań energetycznych, przekładające się na korzyści dla środowiska. Przeprowadzono wiele badań mających na celu rozpoznanie i ocenę aspektów ekonomicznych i środowiskowych celem wykorzystania podziemnych KPMG do składowania wodoru. Podkreślono, że wykorzystanie podziemnych KPMG do składowania wodoru może wpłynąć na przyszłe koszty energii. Jest to także ważne narzędzie w walce ze zmianami klimatu. Jednocześnie, wykorzystanie podziemnych KPMG do składowania wodoru wymaga odpowiedniego rozwoju infrastruktury energetycznej, a także długofalowych inwestycji.

Karolina Zazakowny, Adrianna Lis, Szymon Gogoc, Oleksandr Cherniushok, Taras Parashchuk, Krzysztof T. Wojciechowski

24:2C

Polymer-based Thermoelectric Devices: Flexible and Efficient Energy Conversion

The global energy crisis, fueled by rapid industrialization and population growth, has spurred the search for alternative energy sources and the development of efficient energy conversion technologies. Thermoelectric generators, capable of directly converting waste thermal energy into usable electrical energy, offer promising solutions to tackle this urgent challenge.

Organic thermoelectric (OTE) materials, particularly conductive polymers, have garnered considerable attention due to their inherent advantages such as lightweight characteristics, exceptional mechanical flexibility, ease of processability, and suitability for flexible and wearable applications. Our research team focuses on investigating the thermoelectric properties of specific conductive polymers, including poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS), polyaniline (PANI), and poly(3-hexylthiophene) (P3HT), to explore their potential for efficient energy conversion.

These conductive polymers are characterized by their extended electron delocalization, enabling them to exhibit metallic conductivity or behave as semiconductors based on the presence of a conjugated electron backbone. By employing methods of organic synthesis and controllable doping techniques, their physical, chemical, and electronic properties can be finely tuned. Moreover, the solution-processability of conductive polymers allows for their extensive utilization in various electronic devices, including thin-film transistors, organic light-emitting diodes, photovoltaic cells, and thermoelectric generators.

In the pursuit of high-performance thermoelectric applications, conductive polymers possess characteristics such as low thermal conductivity and high Seebeck coefficients. A dimensionless figure of merit, $ZT = S^2\sigma/\kappa T$, determines the maximum efficiency of a thermoelectric material used for power generation and cooling. To enhance this figure of merit, researchers have directed their efforts towards optimizing the Seebeck coefficient (S) and electrical conductivity (σ), while simultaneously minimizing thermal conductivity (κ) through meticulous materials design and fabrication techniques. In-depth understanding of the transport mechanisms in OTE materials is crucial for further progress. Organic solids, including our investigated conductive polymers, exhibit unique properties due to molecular stacking defects, dopant impurities, and grain boundaries. Charge and heat transport in organic solids are influenced by various couplings and scatterings, necessitating the integration of classical solid physics theory with considerations specific to organic materials. Hopping transport theory and Boltzmann theory provide valuable insights into carrier transport, while scattering mechanisms govern phonon behavior. Theoretical predictions, computational models, and nanostructural engineering techniques have played pivotal roles in optimizing transport coefficients and enhancing thermoelectric efficiency in OTE materials.

By harnessing the advantages offered by conductive polymers, such as PEDOT:PSS, PANI, and P3HT, and comprehending the underlying transport mechanisms, our research aims to contribute to the development of sustainable and efficient thermoelectric technologies. These advancements have the potential to significantly mitigate the energy crisis and foster a greener future by enabling effective energy conversion from waste thermal energy.

The research was financially supported by the TECHMATSTRATEG2/408569/5/NCBR/2019.

Badania właściwości generacyjnych cienkowarstwowych systemów fotowoltaicznych w warunkach klimatycznych Krakowa i okolic

Na całym świecie rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną, a jednocześnie wzrasta presja na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, co skłania do większego wykorzystania źródeł energii odnawialnej. Energia pozyskiwana z promieniowania słonecznego jest jednym z najbardziej obiecujących odnawialnych źródeł energii, co sprawia, że branża fotowoltaiczna rozwija się dynamicznie, stanowiąc jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu. W literaturze istnieje znaczna liczba badań dotyczących wydajności paneli słonecznych pracujących w warunkach rzeczywistych, ale temat ten nie został jeszcze w pełni wyczerpany. Jednym z powodów jest ciągły rozwój technologii ogniw fotowoltaicznych.

W pracy przedstawiono badania wydajności paneli fotowoltaicznych wykonanych w technologii cienkowarstwowej z tellurku kadmu (CdTe), mieszaniny miedzi, indu, galu, selenu (CIGS) i krzemu amorficznego (a-Si). Analiza została oparta na długoterminowych pomiarach zewnętrznych przeprowadzonych w Terenowym Laboratorium Fotowoltaicznym AGH w Miękinii koło Krakowa. Instalacja fotowoltaiczna została podłączona do sieci. Podczas pomiarów monitorowano temperaturę paneli fotowoltaicznych. Do określenia wpływu promieniowania słonecznego na sprawność konwersji energii paneli fotowoltaicznych wykorzystano pyranometr zainstalowany w płaszczyźnie paneli. Na podstawie monitorowania warunków atmosferycznych i pomiaru mocy chwilowej określono sprawność modułów.

Efficiency And Power Losses Distribution In Seven-Level Single-Phase Diode-Clamped Inverter

The paper presents the results of efficiency and power losses balance in single-Phase Seven-Level Inverter Bridge (7LDCB) composed of Four-Level Diode-Clamped branches. Such inverters are used in distributed energy systems based on PV panels and wind turbines. The tested inverter can be controlled using various modulation concepts that affect its parameters, but also energy losses. The article demonstrates the influence of the modulation method, switching frequency on the efficiency of the inverter and the distribution of losses in semiconductor devices. The inverter is tested in the configuration of semiconductor devices designed for low-voltage low-power systems, and the results of the loss distribution allow modification of the inverter design concept.

An analysis of a hybrid photovoltaic and wind turbine power system

Hybrid Renewable Energy Systems (HRES) are an interesting technological solution in the field of power engineering. It is a combination of two or more renewable energy sources which produce electricity in cogeneration. Such a system can enhance the reliability of power supply due to its differentiation of energy sources which is a very important aspect of energy safety. In this paper, the authors performed a numerical analysis of an HRES which consists of photovoltaic panels, wind turbines and energy storage configuration implemented to supply a household with the electrical load. The main objective of this research is to analyse the system in terms of maximum power production in order to obtain high efficiency and ecological profit. In this work the optimisation process is applied to reduce the cost of energy (COE), maximising the system's efficiency and maximising CO2 emission avoidance.

Analysis of impact of the thermal effect on the energy production of PV system

Paper presents a computational model and analysis of the impact of thermal effects on the operation of an on-grid photovoltaic system. Five types of photovoltaic modules on the market, characterized by different temperature power coefficients and different operating temperature parameter of the NOCT cell, were studied. A computational model for photovoltaic systems taking into account thermal effects during calculations was presented. The computational model developed took into account: the heat transfer coefficient to the environment, the energy conversion efficiency for photovoltaic panels, the absorption of solar radiation by the photovoltaic panel, the cell temperature, the solar radiation incident on the photovoltaic panel and the ambient temperature. The paper presents a computational model of the power of a photovoltaic system taking into account the modeled temperature of the cell and the rated power of the photovoltaic module under STC conditions. The analysis of the operation of the photovoltaic system taking into account thermal effects, based on the developed model, indicated significant differences between the results obtained in relation to models that do not take into account thermal effects. The observed electricity production from photovoltaic panels in both summer and winter months showed a significant influence of the model on the results. Differences in results due to different ways of modeling photovoltaic systems indicate that thermal effects are important enough that they should be taken into account when analyzing the yield of a photovoltaic system.

Potrójne organiczne ogniwa słoneczne – alternatywa dla krzemowych i cienkowarstwowych ogniw fotowoltaicznych

Technologie fotowoltaiczne, takie jak ogniwa organiczne i ogniwa perowskitowe, odnotowują dynamiczny wzrost wydajności w ostatnich latach. W pracy zostaną opisane badania dotyczące właściwości cienkich warstw trójskładnikowych, do zastosowania jako warstwy aktywne ogniw organicznych. W ramach badań analizowano absorpcję światła oraz zależności dyspersyjne współczynników załamania i ekstynkcji warstw trójskładnikowych. Ponadto, określono wpływ domieszkowania na oporność powierzchniową tych warstw.

Evaluation of various water based nanofluids ability to enhance solar system heat transfer: a comparative numerical study

The long-term aim of presented research is an improvement of a heat transfer in the case of solar systems (solar collectors, PV panels) with utilization of nanofluids and further application of the magnetic field. Studies will consider an increase in the thermal efficiency of the mentioned systems and also the possibility of heat recovery (especially in the case of PV panels). This paper discusses the usage of the Euler granular model in an analysis of various nanofluids flow oriented on the determination of the heat rate and comparison between their performances.

Porównanie parametrów pracy modułów CIGS oraz krzemowych monokrystalicznych dla warunków Krakowa

Praca zawiera zestawienie najważniejszych parametrów komercyjnych modułów fotowoltaicznych cienkowarstwowych CIGS (miedź-ind-gal-selen) oraz krzemowych monokrystalicznych. Autorzy skoncentrowali się na porównaniu obu rodzajów modułów, w szczególności ich sprawności i uzysków energii, w odniesieniu do warunków pracy. Instalacja znajduje się we wschodniej części kampusu AGH, w centrum miasta Kraków. Do analiz wybrano: miesiąc kwiecień, charakteryzujący się wysoką wartością natężenia światła, a jednocześnie dość niską temperaturę oraz wrzesień, w którym intensywność światła jest już niższa i zauważalnie skraca się dzień. Otrzymane wyniki umożliwiają bezpośrednie porównanie sprawności modułów CIGS z krzemowymi, z uwzględnieniem zmieniającej się temperatury otoczenia oraz różnej zawartości promieniowania rozproszonego Edif w całkowitym Etot. Korzystniejsze warunki zewnętrzne w kwietniu mają swoje odzwierciedlenie w istotnie większych uzyskach mocy dla wszystkich modułów.

Sesja 3A

Martyna Wiącek, Andrzej Kałuża, Paweł Przybyłowicz, Paweł Morkisz, Bartłomiej Mulewicz, Marcin Baranek, Michał Sobieraj, Grzegorz Mika

4:3A

Prognoza cen energii elektrycznej modelami opartymi na stochastycznych równaniach różniczkowych i ekonometrycznymi

Celem wystąpienia jest przedstawienie rezultatów projektu "Wykonanie prac badawczych polegających na wykorzystaniu modeli równań różniczkowych stochastycznych w prognozowaniu zapotrzebowania, produkcji oraz cen energii elektrycznej" zrealizowanego przez naukowców z Wydziału Matematyki Stosowanej AGH w latach 2021-2022 w ramach programu "Bon na innowacje" finansowanego przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP). Celem prac było zbadanie i opracowanie modeli matematycznych dla problemu prognozy w sektorze energetyki.

Zidentyfikowano najważniejsze składowe, które wpływają na ceny energii elektrycznej i powinny być uwzględniane przez model. Są to: sezonowość (ang. seasonality), powrót do średniej (ang. mean-reversion), występowanie istotnych skoków (ang. jumps/spikes) oraz heteroskedastyczność, czyli wariancja zmienna w czasie (ang. non-constant volatility).

Zbadano zestaw modeli w postaci stochastycznych równań różniczkowych dla procesów zużycia, produkcji oraz cen energii elektrycznej. Wskazano najskuteczniejsze metody, a także założenia istotne do poprawnego modelowania wskazanych mechanizmów i użycia

danych modeli. Dodatkowo przeanalizowano różne sposoby estymacji parametrów (kalibracji), kluczowe aby prognozować wartości na podstawie danych rzeczywistych. Najskuteczniejsze okazały się modele oparte o proces z własnością powrotu do średniej (MRJD- mean reversion jump diffusion) lub o proces Ornsteina-Uhlenbecka (OU).

Edmund Ciesielka, Paweł Dybowski

7:3A

Zmiany struktury rynku energii i ich wpływ na kształtowanie taryf sprzedaży energii elektrycznej i usług dystrybucyjnych. Optymalizacja kosztów zakupu

W artykule przedstawione zostaną wyniki analizy zmian w strukturze produkcji energii elektrycznej w Polsce. Omówiona zostanie prognoza zmian produkcji energii uwzględniająca wpływ zmian w prawie energetycznym wprowadzonych w wyniku transformacji energetycznej. Zaprezentowana zostanie analiza taryf za usługi dystrybucji energii elektrycznej dla czterech spółek dystrybucyjnych oraz analiza i prognoza cen energii elektrycznej, uwzględniająca zmiany struktury produkcji, jak i zero-emisyjność. Omówione zostaną możliwości optymalizacji kosztów zakupu energii poprzez dobór taryf, sposobu zakupu energii elektrycznej, redukcję kosztów zakupu energii biernej oraz wykorzystanie form organizacyjnych klastrów energii i spółdzielni energetycznych.

Paweł Murzyn, Maciej Kostrzewski

42:3A

Informacje o różnych częstotliwościach publikacji w prognozowaniu dziennych cen energii elektrycznej

Do modelowania dziennych cen energii elektrycznej wykorzystuje się zmienne objaśniające tej samej częstotliwości publikacji. Zapotrzebowanie na coraz dokładniejsze metody prognozowania sprawia, że zasadne staje się poszukiwanie i zastosowanie metod ekonometrycznych pozwalających na wykorzystanie informacji o różnych częstotliwościach publikacji.

Celem pracy jest przedstawienie i zastosowanie modelu, który pozwoli wykorzystać dane o niższej częstotliwości do modelowania i prognozowania dziennych wartości indeksu TGE24, a także średnich dziennych cen energii elektrycznej PUN wyznaczonych na włoskiej giełdzie energii. Zastosowane podejście pozwoli na zbadanie wpływu publikacji wskaźników makroekonomicznych na prognozowanie cen energii elektrycznej. Uzyskane prognozy punktowe zostaną porównane z wynikami otrzymanymi w ramach typowych modeli zbudowanych w oparciu o zmienne tej samej częstotliwości.

*Edyta Kucharska, Kazimierz Kawa, Katarzyna Grobler-Dębska, Rafał Mularczyk,
Waldemar Bauer*

44:3A

Prediction of energy consumption on the example of heterogenic commercial buildings

The article describes the prediction of electricity consumption in public utility buildings. As part of the study, historical data on energy demand for selected office buildings of Tauron company from 2018 to 2021 were analyzed. Based on the conducted considerations, energy consumption prediction was performed using time series methods (naive seasonal method, Facebook Prophet) and artificial neural networks (deep neural networks, recurrent neural networks, and long short-term memory). The results of the conducted predictions were compared and critically analyzed.

Jerzy Dzieża

32:3A

Wycena opcji swing na rynku gazu

Odbiorcy gazu ziemnego mają w umowach z firmą dystrybucyjną (firmą handlującą) możliwość zwiększenia/zmniejszenia zakontraktowanego wolumenu paliwa przy ustalonej cenie. Obecnie praktycznie każdy kontrakt daje kupującemu możliwość elastyczności wolumenu dostawy czyli kupujący ma długą pozycję w tzw. opcji swing lub take-or-pay.

Aby wycenić taką opcję musi zostać określona dynamika krzywej forward cen gazu. W literaturze przedmiotu są proponowane modele jedno i wieloczynnikowe gdzie niepewność cen jest modelowana procesem Wienera, przy uwzględnieniu własności powracania cen do średnich oraz skoków.

W pracy zostaną przedstawione własności cen gazu z rynku hurtowego TTF oraz TGE które muszą być uwzględnione przy modelowaniu krzywej forward. Zostanie zastosowana metoda składowych głównych aby zmniejszyć wymiar problemu. W końcu zostanie przedstawiona wycena opcji swing metodą Monte Carlo.

Bartosz Paweła, Marek Jaszczur

67:3A

Gazowy agregat tri-generacyjny

W dobie kryzysu energetycznego i potrzeb związanych z pozyskiwaniem nowych alternatywnych rozwiązań niskoenergetycznych technologie związane z pompami ciepła stanowią praktyczne rozwiązanie. Gazowe pompy ciepła lub inaczej pompy ciepła napędzane endotermicznymi silnikami spalinowymi (GEHP – gas engine-driven heat pumps) znajdują szerokie zastosowanie do ogrzewania i chłodzenia budynków mieszkalnych czy komercyjnych. W przeciwieństwie do elektrycznych sprężarkowych pomp ciepła, sprężarka układu chłodniczego jest w nich napędzana energią mechaniczną pochodzącą z silnika spalinowego.

Gazowy agregat tri-generacyjny to urządzenie bazujące na technologii sprężarkowych gazowych pomp ciepła który może jednocześnie w sposób skojarzony produkować energię grzewczą, chłodniczą oraz elektryczną. Urządzenie charakteryzuje się bardzo wysoką efektywnością energetyczną oraz szerokim zakresem zastosowań. Jednak aby w pełni wykorzystać potencjał agregatu należy mu zapewnić optymalne warunki pracy oraz odpowiedni jej zakres.

Sesja 3B

Katarzyna Lejda, Katarzyna Szybel, Honorata Osip, Cezary Czosnek, Jerzy F. Janik

13:3B

Piroliza wysłodzin w kierunku karbonizatów do zastosowań energetycznych

Wysłodziny stanowią 85% odpadów z procesu warzelniczego. Są to głównie nierozpuszczalne składniki zacieru: łuski, kielki i drobiny słoju oraz dodatków niesłodzonych, które wraz z pozostałością brzezki usuwa się po procesie filtracji. Z uwagi na to, iż ponad 80% masowych wysłodzin stanowi woda, ich przydatność do zagospodarowania jest mocno ograniczona. Dodatkowym utrudnieniem są procesy gnilne zachodzące w tego typu odpadach, a rozpoczynające się już po około 48 godzinach ich składowania. Obecnie głównym odbiorcą tego rodzaju odpadów (ok. 70%) są hodowcy zwierząt, którzy wykorzystują wysłodziny jako dodatek do pasz zwierzęcych, a także od niedawna przemysł spożywczy, gdzie wysłodziny stanowią zamiennik lub dodatek do mąki podczas produkcji wyrobów piekarniczych. [1]

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania odpadami jako potencjalnym surowcem energetycznym. Przemysł browarniczy chcąc się wpisać w ten trend proponuje przekształcenie browarów w kompleksowe biorafinerie, które mogłyby prowadzić konwersję biomasy nie tylko do artykułów spożywczych, ale również do związków chemicznych, paliw i energii. Głównym surowcem przerabianym w takim przedsiębiorstwie miałyby być właśnie wysłodziny, stąd też poszukuje się optymalnej drogi ich energetycznego wykorzystania. [2]

W pracy przedstawiono wyniki badań nad uzyskaniem karbonizatu na drodze pirolizy wysłodzin. Wysuszone i zmielone wysłodziny pirolizowano w temperaturze 800 °C przy zastosowaniu różnych szybkości nagrzewania oraz przy różnym czasie wygrzewania w temperaturze końcowej. Oznaczono zawartość pierwiastków C, H, S, zawartość wilgoci, części lotnych i popiołu oraz kaloryczność otrzymanych materiałów i próbki wyjściowej. Na podstawie uzyskanych wyników określono przydatność do zastosowań energetycznych każdego z otrzymanych karbonizatów.

Praca finansowana w ramach Subwencji Badawczej AGH nr 16.16.210.476.

[1] Mussatto S.I., Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94, 1264 – 1275;

[2] Sganzerla W.G. et al., A bibliometric analysis on potential uses of brewer's spent grains in a biorefinery for the circular economy transition of the beer industry, *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 2021, 15, 1965- 1988

Ilona Uryga-Bugajska, Rafał Buczyński

25:3B

Theoretical assessment of ammonia blends combustion and application as an alternative energy carrier

This study presents a comprehensive theoretical analysis of the utilization of ammonia blends as an alternative energy source in combustion systems. Ammonia has attracted considerable attention as a carbon-free fuel; however, it faces challenges related to its combustion, such as high NO_x emissions and lower reactivity. To overcome these challenges, it has been proposed the concept of blending ammonia with more reactive fuels.

The primary objective of this analysis is to investigate the feasibility and performance of ammonia blends by examining crucial parameters such as combustion and flame characteristics, emissions, and energy efficiency. To achieve this, the study employs advanced theoretical models and simulations, specifically Computational Fluid Dynamics (CFD), to assess the potential benefits and challenges associated with the use of ammonia blends in practical scenarios.

Numerical analysis incorporates various chemical reaction schemes that accurately represent the combustion of ammonia, as well as other fuels like hydrogen and methane. The research utilizes fundamental chemical kinetics analysis, employing detailed reaction mechanisms to capture the complexities of the combustion process. Furthermore, the analysis incorporates 0D and 1D codes

with chemical reactor models, as well as more sophisticated 2D/3D fluid dynamics simulations conducted within the combustion chamber.

The performance of both pure ammonia and ammonia blends is rigorously evaluated, allowing for a comprehensive understanding of their behaviour under different conditions. This assessment is crucial to address the significant challenge associated with ammonia combustion, namely its high ignition temperature and low burning rate. Theoretical evaluations are performed to explore key parameters such as ignition characteristics, burning rates, flame structure, and associated emissions. By gaining insights into these factors, researchers can effectively harness ammonia as a fuel source.

In addition to addressing the combustion characteristics, the study also focuses on the formation of nitrogen oxides (NO_x) during ammonia combustion. The NO_x emissions can have a detrimental impact on the environment. Therefore, the analysis includes an assessment of the formation and pathways of nitrogen oxides using different ammonia blends and reaction schemes. The aim is to identify potential mixtures and blends that can minimize NO_x emissions during the ammonia combustion process, thus enhancing its environmental sustainability.

The findings of this analysis provide valuable insights into the potential application of ammonia and its blends as an alternative energy carrier. By understanding and mitigating the challenges associated with ammonia combustion, this research contributes to the advancement of clean energy technologies and promotes the adoption of carbon-free fuels in combustion systems.

Mateusz Smiechowicz

26:3B

Niskotemperaturowy system ORC

Instalacje ORC wykorzystują tradycyjny cykl Rankine'a, lecz z użyciem innego medium roboczego niż woda. Dzięki temu, możliwe jest budowanie systemów generacji energii elektrycznej z ciepła, którego temperatura jest znacznie niższa niż w elektrowni cieplnej. W wielu przypadkach, źródłem ciepła dla systemów ORC może być ciepło odpadowe z procesów technologicznych, ciepło pochodzące ze spalania biomasy i biogazu czy też ze złóż geotermalnych co sprawia, że urządzenia te idealnie wpisują się w politykę rozproszonej energii. W systemach ORC zazwyczaj stosowano typowe czynniki chłodnicze. Jednak ze względu na kolejne wersje regulacji dotyczących gazów fluorowanych, ich użycie jest coraz bardziej ograniczone.

W tym badaniu zdecydowano się sprawdzić, jak czyste węglowodory sprawdzą się jako medium robocze w systemach ORC. Wcześniejsze analizy wykazały, że dla skończonego źródła ciepła, najwyższa temperatura w parowniku nie jest synonimem najwyższej mocy uzyskanej na generatorze. Dlatego zdecydowano się sprawdzić metodą obliczeniową i eksperymentalną, jaka powinna być optymalna temperatura zmiany fazy w parowniku.

W tym celu zbudowano model matematyczny, symulujący działanie typowego systemu ORC z regeneratorem. Następnie, aby zweryfikować model, zbudowano stanowisko eksperymentalne o mocy górnego źródła ciepła do 10 kW.

Wyniki analiz, zarówno matematycznych, jak i eksperymentalnych, potwierdziły, że dla określonej temperatury górnego źródła ciepła i określonej masy przepływu tego źródła, można uzyskać ciśnienie/temperaturę parowania, przy której uzyskuje się maksymalną moc generowaną na turbinie.

Julia Lisowska, Beata Strzemiecka, Monika Langner

27:3B

Biosurfaktanty na bazie produktów pochodzenia naturalnego jako ekologiczna alternatywa dla tradycyjnych środków powierzchniowo-czynnych stosowanych w przemyśle naftowym.

Tematem mojego przemówienia jest zastosowanie biomasy w celu ponownego jej wykorzystania w przemyśle naftowym poprzez modyfikację chemiczną i zmianę jej właściwości. Obecny rynek przemysłu chemicznego ukierunkowany jest na ekologiczne i innowacyjne produkty przyjazne dla planety. Głównym celem badawczym jest modyfikacja chemiczna naturalnych surowców i produktów odpadowych, np. ligniny krafta oraz surowej ligniny z przemysłu papierniczego w celu uzyskania innowacyjnych, ekologicznych i skutecznych środków powierzchniowo czynnych, które mogą zastąpić te obecnie stosowane w przemyśle naftowym, np. do wydobycia gazu ziemnego.

Biomasa jest ogromnym źródłem biopolimerów, których właściwości nie są wystarczająco efektywnie wykorzystywane w przemyśle. Są one wykorzystywane głównie jako źródło energii, a ich złożona i interesująca struktura chemiczna może być wykorzystana w bardziej użyteczny sposób. Struktura chemiczna ligniny zawiera wiele grup funkcyjnych, takich jak grupy karbonylowe, benzytowe, hydroksylowe i metoksyłowe połączonymi z różnymi rodzajami wiązań. Lignina przez posiadanie wielu hydroksylowych grup funkcyjnych ma dobrą rozpuszczalność w wodzie i w surowej formie wykazuje niewielki spadek napięcia powierzchniowego w porównaniu do wody. Poprzez chemiczną modyfikację różnych rodzajów ligniny zakłada się uzyskanie lepszych właściwości powierzchniowo czynnych tych materiałów.

Plan badawczy zakłada przegląd literatury i analizę potencjalnych naturalnych surowców odpadowych biomasy. Następnie wybrane surowce naturalne przeanalizowano pod kątem struktury chemicznej oraz możliwych właściwości aplikacyjnych w przemyśle naftowym. Wybrano metody modyfikacji chemicznej w celu zwiększenia właściwości powierzchniowo czynnych. Wybrane surowce, w tym lignina krafta oraz surowa lignina poddane zostały podstawowym analizom, obejmującym badanie struktury chemicznej, FTIR, NMR, sprawdzenie właściwości polarnych / niepolarnych w zależności od posiadanej struktury chemicznej oraz obecnych grup funkcyjnych. Sprawdzone także rozpuszczalność w zależności od pH roztworów oraz rozdzielono związki metodą ciekofazowej chromatografii ciekowej TLC. Zweryfikowano także właściwości powierzchniowo-czynne poprzez pomiar napięcia powierzchniowego oraz CMC wodnych roztworów tych substancji za pomocą tensjometru Krussa. Następnie przeprowadzono pierwsze modyfikacje chemiczne tych substancji i ponownie testowano otrzymane substancje w celu sprawdzenia zmiany struktur chemicznych i poprawy zdolności powierzchniowo-czynnych. Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie testów biodegradowalności otrzymanych substancji, a następnie przeprowadzenie testów aplikacyjnych zdolności pienienia, emulgowania i innych zastosowań w przemyśle naftowym. Ze względu na zbliżoną chemicznie strukturę ligniny do obecnie stosowanych antyoksydantów w biopaliwach zostanie zbadana początkowa stabilność oksydacyjna biopaliw (m.in. estry metylowe kwasów tłuszczowych pochodzenia rzepakowego, sojowego, zużytego oleju kuchennego UCOME, tłuszczu palmowego, kukurydzianego czy HVO) oraz porównanie, czy dana stabilność może zostać zwiększona za pomocą dodania zmodyfikowanych lignin w różnych stężeniach, a więc czy uzyskana lignina może pełnić rolę antyoksydantu do biopaliw.

Możliwość zastosowania aplikacyjnego odpadów pochodzenia biomasy pozytywnie wpłynie na efektywne wykorzystanie ogromnych ilości biomasy, a także na środowisko naturalne, uzyskując nowoczesne "zielone" surowce chemicznie pochodzenia naturalnego mające wiele aplikacji.

Rzeczywiste możliwości ujęcia metanu z pokładów węgla kamiennego zalegających na dużych głębokościach

Metan występujący w pokładach węgla kamiennego stanowi poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa w podziemnych zakładach górniczych. W związku z tym, że jest on gazem palnym i wybuchowym konieczne jest ograniczenie jego wypływu do przestrzeni wyrobisk górniczych. Przed rozpoczęciem eksploatacji pokładu ujęcie metanu jest praktycznie niemożliwe z uwagi na przepuszczalność pokładu węgla związana z dużą głębokością zalegania. Po rozpoczęciu eksploatacji i naruszeniu struktury zalegania pokładu następuje wydzielanie metanu do wyrobisk. Aby ograniczyć wydzielanie metanu do powietrza wentylacyjnego stosowane są różne środki profilaktyczne. Najczęściej dla ograniczenia wydzielania metanu do powietrza wentylacyjnego stosuje się odmetanowanie górotworu.

Ujęcie metanu z górotworu jest najskuteczniejszym środkiem zwalczania zagrożenia metanowego, zapewniającym zmniejszenie wypływów metanu do przestrzeni roboczych. Metoda odmetanowania polega na drenowaniu górotworu i otamowanych zrobów i odprowadzanie ujętego metanu osobnymi rurociągami na powierzchnię, wykorzystując depresję wytwarzaną w stacji odmetanowania. Metoda ta stawia jednak określone wymagania co do sposobów rozcinania metanonośnych pokładów węgla. Celem artykułu jest przedstawienie związku metanu z pokładami węgla i wskazanie na warunki jakie muszą być spełnione aby ujęcie metanu było skuteczne i efektywne. Dla zwiększenia efektywności odmetanowania stosowane są różne techniki takie jak np. szczelinowanie górotworu. Należy zwrócić

uwagę na fakt, że wydzielający się metan do powietrza wentylacyjnego wpływa na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego. Odzyskanie metanu z powietrza wentylacyjnego jest zagadnieniem trudnym i mało efektywnym.

Podobnie odmetanowanie pokładów węgla w oparciu o techniki szczelinowania z powierzchni, w porównaniu z ujęciem metanu podczas prowadzenia robót górniczych, jest mało efektywne. Wynika to z faktu konieczności istotnego naruszenia stanu górotworu z powodu jego bardzo małej przepuszczalności.

Aktualnie w Polsce większość kopalń węgla kamiennego posiada systemy odmetanowania. Odmetanowanie prowadzone jest dla zapewnienia bezpieczeństwa, bądź z przyczyn technologicznych (ujęcie części metanu do systemu odmetanowania skutkuje mniejszymi emisjami gazu do wyrobisk górniczych). Metan ujęty tymi systemami może stanowić pełnowartościowe paliwo wykorzystywane w różnych rozwiązaniach technologicznych.

Kierunki wykorzystania gazu z odmetanowania mogą być różne. Do trzech podstawowych grup można zaliczyć (Szlązak i inni, 2015):

- wykorzystanie energetyczne:

- produkcja ciepła (potrzeby grzewcze i technologiczne),
- produkcja energii elektrycznej,
- układy skojarzone (wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła, chłodu),

- przesyłanie gazu do odbiorców zewnętrznych,

- produkcja gazu sieciowego,

- skraplanie gazu.

W warunkach polskich kopalń metan często pozyskiwany jest w miejscach, w których aktualnie prowadzone są roboty górnicze. Zmieniające się warunki powodują częstą zmianę ilości i składu pozyskiwanego gazu. Gaz kopalniany nie posiadający stabilnych parametrów ilościowych i jakościowych nie może więc być wykorzystywany w sieciach komunalnych. Wymagałoby to jego kosztownego oczyszczenia i wzbogacenia.

Układy energetyczne pozwalające na gospodarcze wykorzystanie metanu zlokalizowane więc muszą być na terenie kopalni, bądź w bliskim jej sąsiedztwie. Wytwarzanie energii w tym przypadku może wiązać się z wytwarzaniem ciepła użytkowego, lub wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła odpadowego w tzw. układach skojarzonych kogeneracyjnych. Układy trójgeneracyjne pozwalają na dodatkowo wytworzyć chłód.

Metan z systemów odmetanowania może być również wykorzystany do produkcji gazu sieciowego. Wymaga to jednak zastosowania technologii, która pozwoli zwiększyć parametry metanu, w celach wymagań dla gazu sieciowego.

Alternatywnym sposobem zagospodarowania gazu z odmetanowania kopalń węgla kamiennego jest proces jego oczyszczenia i skroplenia do postaci LNG. Tak uzyskany ciekły produkt zawiera 97% CH₄ i 3% N₂ i stanowi, po jego regazyfikacji, paliwo o właściwościach praktycznie tożsamy z sieciowym gazem ziemnym. Zasadnicze różnice polegają na tym, że LNG z gazu z odmetanowania nie zawiera węglowodorów wyższego rzędu i nie zawiera wody, która jest całkowicie usunięta przed rozpoczęciem procesów kriogenicznych.

Metan który wydzielili się do wyrobisk, wraz z powietrzem wentylacyjnym kierowany jest do szybów wentylacyjnych kopalni. Istnieją technologie pozwalające na wykorzystanie metanu z powietrza wentylacyjnego (VAM), a wśród ważniejszych z nich można wymienić:

- Termiczny rewersyjny reaktor przepływowy (FTRR),
- Katalityczny przepływowy reaktor rewersyjny (CFRR),
- Koncentrator metanu,
- Turbiny gazowe (CGT i CCGT),
- Mikroturbiny,
- Turbiny hybrydowe,
- Inne.

Większość z tych technologii pozwala na wykorzystanie metanu znajdującego się w powietrzu w ilości 0,3–0,6% obj., niektóre wymagają wyższych stężeń, a inne pracują nawet w przypadku stężenia od 0,1% obj. Na świecie prowadzone są prace badawcze nad możliwościami wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego.

Instalacja służąca do utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń węgla kamiennego składa się z następujących elementów:

- urządzenia do pobierania mieszanki metanowo-powietrznej z szybu wentylacyjnego,
- urządzenia do transportu mieszanki,
- reaktorów spalających metan (wytwarzają spaliny i energię cieplną),
- wymienników ciepła woda-gaz (możliwość wykorzystania energii cieplnej),
- kominów odprowadzających spaliny.

Sesja 3C

Michał Kaczmarczyk

35:3C

Wpływ odnawialnych źródeł energii na charakterystykę energetyczną budynków

Niniejszy artykuł analizuje wpływ odnawialnych źródeł energii na charakterystykę energetyczną budynków. W obliczu rosnącego światowego popytu na energię i obaw związanych z zmianami klimatycznymi, rośnie potrzeba zrównoważonych i odnawialnych rozwiązań energetycznych. Odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna, wiatrowa i geotermalna, stanowią obiecującą alternatywę dla tradycyjnych systemów opartych na paliwach kopalnych. W ramach badania analizowane są efekty integracji technologii odnawialnych źródeł energii w budynkach, obejmujące generację, przechowywanie i dystrybucję energii odnawialnej. Analizowane są różne aspekty wydajności energetycznej, w tym efektywność energetyczna, redukcja emisji dwutlenku węgla i niezależność energetyczna. Wyniki badania wskazują, że integracja odnawialnych źródeł energii w budynkach może znacząco poprawić ich charakterystykę energetyczną, prowadząc do zmniejszenia zależności od konwencjonalnych sieci energetycznych i obniżenia wpływu na środowisko. Artykuł omawia również wyzwania i możliwości związane z wprowadzaniem technologii odnawialnych źródeł energii w środowisko budowlane oraz podkreśla znaczenie wsparcia politycznego i postępów technologicznych w przyspieszeniu przejścia do zrównoważonych systemów energetycznych w budynkach. Wyniki tego badania przyczyniają się do lepszego zrozumienia potencjalnych korzyści i implikacji związanych z integracją odnawialnych źródeł energii w kontekście wydajności energetycznej budynków, dostarczając cennych informacji dla decydentów politycznych, architektów, inżynierów i właścicieli budynków zainteresowanych promowaniem energooszczędnych i przyjaznych dla środowiska budynków.

Mikołaj Zarzycki, Andrzej Raźniak, Magdalena Dudek, Rafał Czupryniak

45:3C

Zastosowanie odnawialnych i elektrochemicznych źródeł energii w aplikacjach robotyki mobilnej

Obecnie produkowane bezzałogowe platformy lądowe o masie do 1 tony, wyposażone są bardzo często w elektryczne zespoły napędowe. Rozwiązania w zakresie konstrukcji napędów elektrycznych, charakteryzują się wysoką sprawnością, cichą pracą oraz nie emitują substancji szkodliwych do środowiska naturalnego. Szeroki wybór typu/rodzaju elektrycznych silników trakcyjnych wraz z odpowiednimi przekładniami oraz pokładowymi urządzeniami energoelektronicznymi umożliwia budowę robotów o pożądanych właściwościach użytkowych pozwalających na nowe zastosowania cywilne i specjalne, w tym charakteryzujących się wydłużonym zasięgiem i czasem pracy.

Jednym z głównych czynników warunkujących niezawodność wykonywanych misji przez mobilne roboty jest zastosowanie odpowiednich zasobników energii elektrycznej. Zadaniem zasobnika energii jest dostarczenie energii elektrycznej zgodnie z wymaganym profilem obciążenia elektrycznego do układu napędowego, ale także dystrybucja energii elektrycznej niezbędnej do zasilania urządzeń: kontrolno-pomiarowych, monitorujących czy też diagnostycznych sensorów używanych w trakcie misji, lub do zaimplementowanych komputerów czy jednostek obliczeniowych.

W pracy przedstawiono charakterystykę możliwości zastosowania elektrochemicznych źródeł energii takich jak baterie elektrochemiczne, ogniwa paliwowe czy superkondensatory do zasilania jednostki napędowej i urządzeń pokładowych stosowanych w mobilnych robotach. Przedstawiono wyniki badań dotyczące możliwości wykorzystania wodorowo-tlenowych ogniwi paliwowych o mocy od 200W do 5000W jako komponentów do budowy hybrydowych źródeł energii (ogniwa paliwowe plus baterie elektrochemiczne) lub (ogniwa paliwowe plus superkondensatory). Kolejnym problemem badawczym był wybór rodzaju magazynu wodoru do zasilania ogniwi paliwowych. W pracy przedstawiono wyniki badań ujmujące zależności pomiędzy mocą elektryczną ogniwa paliwowego, a objętością zużywanego wodoru w trakcie pracy pod zmiennym obciążeniem elektrycznym. Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych dotyczących implementacji niskociśnieniowych i wysokociśnieniowych magazynów wodoru do zasilania ogniwi paliwowych.

Ważnym zagadnieniem jest analiza możliwości wykorzystania rozproszonych źródeł energii elektrycznej OZE do produkcji wodoru na potrzeby zasilania ogniw paliwowych. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i doświadczalnych dotyczących możliwości produkcji energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych niezbędnej do zasilania elektrolizerów modułowych o sumarycznej wydajności produkcji wodoru $j = 2\text{Nm}^3/\text{h}$. Na podstawie analiz możliwości produkcyjnych wodoru, przedstawiono jego wariantowe wykorzystanie w różnych okresach czasu jako nośnika wodoru do zasilania ogniw paliwowych. Przedstawiono także analizę i wyniki badań dotyczące wykorzystania punktów ładowania baterii elektrochemicznych zasilanych z instalacji fotowoltaicznej, lub ich doładowania elektrycznego za pomocą mocy elektrycznej produkowanej przez generator z ogniwami paliwowymi. Porównano masę i objętość a także osiągnięty czas pracy dla klasycznych zasobników energii na bazie baterii elektrochemicznych oraz hybrydowych jednostek wykorzystujących wodorowo-powietrzne ogniwa paliwowe. Przeprowadzono analizę i dyskusję wyników w kontekście zastosowania źródeł elektrochemicznych dla wybranych grup robotów mobilnych.

Katarzyna Ungeheuer, Konstanty Marszałek

47:3C

Badania właściwości fizycznych elementów cienkowarstwowego ogniwa fotowoltaicznego do zastosowań kosmicznych

Zastosowanie cienkowarstwowych układów pozwala na zmniejszenie zużycia surowców oraz redukcję masy ogniw fotowoltaicznych, co jest korzystne przy wytwarzaniu ogniw fotowoltaicznych do zastosowania w kosmosie. Proponowany układ składa się z tlenku cynku i tlenku miedzi tworzących złącze półprzewodnikowe oraz tlenku cynku domieszkowanego aluminium jako elektroda transparentna. Materiały te są nietoksyczne i stabilne. Stabilność materiałów tworzących ogniwo jest konieczna do zastosowania w przestrzeni kosmicznej, zwłaszcza w zakresie temperatur od -150 st. C do 150 st. C. Ponadto na elementy w przestrzeni kosmicznej wpływ ma promieniowanie kosmiczne, którego część korpuskularną można zasymulować stosując promieniowanie protonowe.

Warstwy tworzące złącze zostały osadzone metodą reaktywnego rozpylania magnetronowego, natomiast elektroda transparentna została wykonana z wykorzystaniem metody osadzania warstw atomowych. Każdy z materiałów został zbadany pod względem właściwości strukturalnych, optycznych i elektrycznych. Ich właściwości zostały zbadane przed i po wygrzaniu w 400 C. Próbkę zostały też napromieniowane wiązką protonów o energii 220 MeV i fluencji $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, co pozwala zasymulować wpływ promieniowania kosmicznego na materiał.

Grzegorz Wiśniewski

???:3C

Wykorzystanie metodologii "digital twin" i modelowania TRNSYS do projektowania ciepłowni i elektrociepłni z OZE i magazynami energii

Konieczność transformacji energetycznej i rosnące wymagania dekarbonizacyjne wymagają szerokiej listy zielonych rozwiązań technologicznych dla ciepłowni. W referacie przedstawiono koncepcję modernizacji ciepłowni opartej na kilku źródłach wytwórczych, w tym OZE, współpracujących z sezonowym magazynem ciepła, który jest kluczowym elementem nowoczesnego systemu ciepłowniczego. Model cyfrowy ciepłowni (w programie TRNSYS) jest dostosowany do nowych technologii oraz pomaga w optymalizacji technicznej i ekonomicznej systemu. Symulacje uwzględniają szeroką listę technologii wspomaganych procesami magazynowania energii, stosownie do rosnących wymogów prawnych, regulacji i dostępu do źródeł finansowania. Wykorzystanie sezonowych magazynów ciepła wprowadzonych do modelu cyfrowego przyszłościowej ciepłowni z kilkoma OZE, w tym w szczególności pogodozależnymi i zeroemisyjnymi, daje duże możliwości prowadzenia optymalizacji zarówno projektów modernizacji ciepłowni, jak i procesów zarządzania jej pracą oraz elastycznego reagowania inwestorów na zmiany cen dostaw energii elektrycznej i paliw.

Grawitacyjne magazyny energii w podziemnych zakładach górniczych – możliwości wykorzystania istniejących oraz nowobudowanych maszyn wyciągowych

Magazynowanie energii to jedno z największych wyzwań stojących obecnie przed nami. Od kilku lat w Polsce realizowana jest likwidacja przemysłu węglowego. Likwidacja ta, prowadzona w sposób jednoznaczny i definitywny powoduje utratę zasobów, które mogłyby być wykorzystane przy budowie układów magazynowania energii. Jednym z najdroższych i najbardziej wymagających wyrobisk w podziemnym zakładzie górniczym jest szyb kopalniany. Pełni on wiele funkcji, m.in.: wentylacyjną, transportową, ewakuacyjną. Dlatego też ważne jest utrzymywanie go w bardzo dobrym stanie technicznym. Podczas likwidacji jest to również wyrobisko likwidowane w ostatnim etapie zamykania kopalni. Jeżeli jednak jakaś część kopalni musi pełnić po likwidacji dodatkową rolę, np. z powodu utrzymywania poziomu wód, aby nie powstało zagrożenie dla sąsiednich kopalń, szyb musi być zostać zachowany.

Znaczy to, że możliwe byłoby wykorzystanie szybu jako elementu grawitacyjnego magazynu energii. Jeżeli przeanalizować pracę maszyny wyciągowej zainstalowanej w szybie, okaże się, że w pewnych okresach jej pracy mamy do czynienia z tzw. pracą generatorową, czyli oddawana jest energia do sieci zakładowej. Należy zatem wyliczyć, czy opłacalnym jest wykorzystanie maszyn wyciągowych obecnie pracujących lub budowanych, jako magazyny energii. W artykule zostaną przedstawione wyniki wstępnych badań nad możliwością wykorzystania tej infrastruktury, z uwzględnieniem przepisów obowiązujących w naszym kraju, zarówno w odniesieniu do podziemnych zakładów górniczych jak również przepisów dotyczących energetyki.

Wykorzystanie wodoru jako sezonowego magazynu energii w systemach off-grid

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost zainteresowania wykorzystaniem technologii energetyki odnawialnej do budowy autonomicznych niezależnych systemów zasilania w tym możliwych do wykorzystania dla gospodarstw domowych, mobilnych domów, szpitali polowych czy też dla specjalnych i interwencyjnych zastosowań w sytuacjach zagrożenia terytorium czy innych sytuacji kryzysowych. Jedną z możliwości jest wykorzystanie skalowalnych instalacji fotowoltaicznych, czy też hybrydowych źródeł OZE zbudowanych z instalacji fotowoltaicznych oraz turbin wiatrowych oraz elektrochemicznych źródeł energii do budowy autonomicznych systemów zasilania.

Wykorzystanie systemów PV do produkcji energii elektrycznej charakteryzuje się dużą zmiennością dobową, a także sezonową jeżeli chodzi o ilość produkowanej energii. Aby w pełni wykorzystać energię z OZE potrzebne są systemy magazynowania energii szczególnie sezonowej. Wykorzystanie wodoru jako nośnika i magazynu energii, który pozyskiwany jest w procesie elektrolizy wody wraz z jego późniejszym wykorzystaniem do zasilania wysokosprawnych wodorowych ogniw paliwowych umożliwia sezonowe magazynowanie energii elektrycznej pozyskiwanej z instalacji PV lub hybrydowych PV plus turbiny wiatrowe. Ogniwa paliwowe to urządzenia bezpośrednio przetwarzające energię chemiczną paliwa na energię elektryczną a ich produktem jest też ciepło odpadowe, które może być zagospodarowane na potrzeby obiektu ogrzanie powierzchni pomieszczenia, ciepłej wody użytkowej, itp.. Warto podkreślić, że technologie wodorowe dają duże możliwości w rozwoju zagadnień odzysku i wykorzystania ciepła odpadowego. Ważnym zagadnieniem jest analiza możliwości wykorzystania rozproszonych źródeł energii elektrycznej OZE do produkcji wodoru w celu sezonowego magazynowania energii w ciągu roku.

Przedstawiono wyniki symulacji dotyczących pracy instalacji PV o mocy do 10 kW czy też hybrydowych źródeł energii (instalacje PV plus turbina wiatrowa) i spodziewanej produkcji energii elektrycznej w różnych okresach czasu. Wyniki prac dotyczące opracowanego modelu energetycznego systemu wyspowego i przeprowadzonych symulacji, zweryfikowano na podstawie danych doświadczalnych pozyskanych z rzeczywistej instalacji. Kolejny etap prac dotyczył analizy i możliwości magazynowania krótkoterminowego energii elektrycznej z OZE w elektrochemicznych magazynach energii lub długoterminowym magazynowaniu w postaci wodoru. Na podstawie prognoz symulacyjnych jak i badań doświadczalnych produkcji wodoru z OZE, przedstawiono jego wariantowe wykorzystanie w różnych okresach czasu jako nośnika wodoru do zasilania ogniw paliwowych. Zaprezentowane zostaną

wyniki badań własnych dotyczących funkcjonowania autonomicznych systemów zasilania w energię elektryczną i ciepło na tle aktualnych wyników i rozwiązań w świecie. Porównano masę klasycznych magazynów energii na bazie baterii elektrochemicznych oraz magazynów wodoru wraz z wodorowo-powietrznymi ogniwami paliwowymi. Przeprowadzono analizę i dyskusję wyników w kontekście zastosowania źródeł elektrochemicznych w postaci układu CHP z ogniwem paliwowym dla zasilania specjalnych obiektów. Opracowano narzędzia do elastycznego zarządzania dystrybucją energii elektrycznej jak i predykcją czasu autonomicznych źródeł zasilania.