

## Magazynowanie energii w systemach mikroinstalacji z wykorzystaniem pomp ciepła i magazynów energii elektrycznej oraz ciepła

**Streszczenie.** Porównanie różnych rodzajów pomp ciepła oraz wpływ zastosowanych rozwiązań w zakresie ogrzewania gospodarstw domowych i innych obiektów użyteczności publicznej. Wykorzystanie dużych buforów ciepła w systemach ogrzewania obiektów z uwzględnieniem pozyskiwania energii elektrycznej ze źródeł OZE. Wykorzystywanie pomp ciepła wraz z dużymi buforami zapewnia niższe koszty użytkowania, mniejszą emisję CO<sub>2</sub> oraz dłuższe życie pompy ciepła. W zakresie elektrochemicznych magazynów energii, magazyny LTO są przyszłością szczególnie w zakresie dużych prądów, szerokiego zakresu temperatur, a także ilości cykli.

**Abstract.** Comparison of different types of heat pumps and the impact of applied solutions for heating households and other public facilities. The use of large heat buffers in facility heating systems, taking into account the extraction of electricity from RES sources. The use of heat pumps together with large buffers ensures lower operating costs, lower CO<sub>2</sub> emissions and a longer life of the heat pump. In the field of electrochemical energy storage, LTO storage is the future, especially in terms of high currents, a wide range of temperatures, and the number of cycles. (Energy storage in microgrid systems using heat pumps and storage of electricity and heat).

### Wstęp

Ochrona środowiska wymusza stosowanie czystych technologii w zakresie ogrzewania budynków mieszkalnych [1]. Wzrost ilości elektrycznych urządzeń stosowanych w gospodarstwach domowych wymuszają stosowanie technologii związanych z OZE, co jest widoczne w ilości instalowanych systemów PV i wiatraków [2]. Głównymi źródłami energii OZE w przypadku indywidualnych gospodarstw domowych to:

- Słońce – systemy solarne,
- Słońce – systemy fotowoltaiczne,
- Wiatr – wiatraki.

Słońce pozwala wprost na zamianę energii słońca na ciepło w systemach solarnych, natomiast słońce i wiatr to energia elektryczna z wykorzystaniem mikroinstalacji. Elementem łączącym ciepło i prąd elektryczny są pompy ciepła, szczególnie te pracujące na czynniku R290.

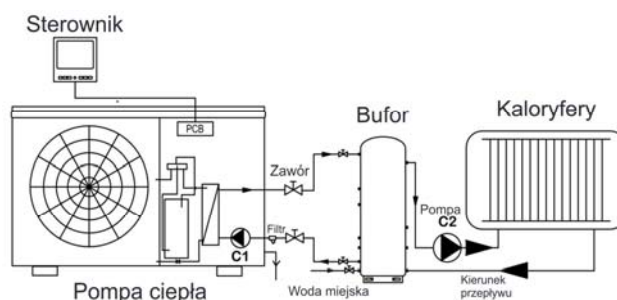
Biorąc pod uwagę fakt, że średnio 2/3 potrzebnej energii zużywamy na ogrzewanie, a 1/3 do zasilania pozostałych urządzeń stosowanych w domu, bardzo ważnym elementem takiego systemu jest magazynowanie ciepła i energii elektrycznej. Te proporcje się sprawdzają dla budynków o zużyciu energii do ogrzewania 79 kWh/m<sup>2</sup>/r i przeciętnym wyposażeniu domu w urządzenia i instalacje elektryczne, natomiast dla budynków o lepszym dociepleniu zbliżają się do siebie, osiągając wartości po ok. 3-5 MWh/r [3]. Obecnie stosowane są jeszcze pompy ciepła typu split, składające się z jednostki zewnętrznej oraz wewnętrznej połączone rurami, w których to pompach wykorzystywane są tzw. F-gazy. Do grupy tych gazów zaliczamy ich następujące rodzaje, charakteryzujące się współczynnikiem GWP – (z ang. Global Warming Potential), określającym wpływ danej substancji na efekt cieplarniany:

- R410A GWP-2088,
- R134A GWP-1300,
- R407C GWP-1600,
- R32 GWP-675.

Stosowanie tego rodzaju czynników obecnie jest niezalecane, a w najbliższych latach zostanie całkowicie zakazane zgodnie z różnymi wytycznymi unijnymi i polskim. W tych aplikacjach gdzie zostaną zastosowane pompy ciepła typu split jak również monoblok z wykorzystaniem tego rodzaju gazów fluorowych, montażu mogą dokonywać instalatorzy z uprawnieniami do F-gazów oraz muszą być te instalacje zgłoszone do centralnego rejestru operatorów CRO (Centralny Rejestr Operatorów).

Obecnie jedynymi pompami ciepła, które nie podlegają tym ograniczeniom są pompy ciepła typu monoblok na bazie czynnika R290 (propan) o współczynniku GWP=3. Tego typu pompy są zgodne z najnowszymi wytycznymi.

### Pompa ciepła typu monoblok na R290



Rys. 1. Przykładowe zastosowanie pompy ciepła do ogrzewania domu lub innego obiektu [opracowanie własne]

Pompy ciepła typu monoblok oparte na czynniku R290, dodatkowo mają wyższy współczynnik COP (Coefficient of Performance) czyli współczynnik wydajności, wyrażający stosunek ilości dostarczonego ciepła do ilości energii elektrycznej zużytej przez pompę, dla tych samych temperatur i zakres pracy do temperatury -25 °C,

a temperatura wody wyjściowej osiąga poziom 70 °C, a dla niektórych typów 75 °C (rys. 2), bez wspomaganie grzałkami elektrycznymi. W związku z tym, pompy tego typu (R290) pozwalają zasilać bezpośrednio systemy ogrzewania oparte na kaloryferach lecz zalecane jest stosowanie ogrzewania podłogowego, jako niskotemperaturowego, co zwiększa efektywność energetyczną ze względu na wyższy współczynnik COP dla temperatury wody wyjściowej na poziomie 35 °C.

### System mikroinstalacji

Przykład prostej wersji pompy ciepła z buforem do ogrzewania pomieszczeń przedstawia rysunek 1. W wersjach bardziej rozbudowanych mamy systemy dodatkowo wyposażone w instalacje solarne i fotowoltaikę, które wspierają efektywność ekonomiczną systemu ogrzewania pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej. Systemy pomp ciepła z czynnikiem R290 (propan) zapewniają funkcjonowanie systemów domowych wyposażonych

w ogrzewanie podłogowe i kaloryfery oraz systemy mieszane, ze względu na wysoką temperaturę wody wyjściowej dochodzącą do 75 stopni Celsjusza. Ze względu na działanie pomp ciepła, producenci pomp, w większości przypadków zalecają stosowanie buforów o wielkości 9-10 l/kW mocy pompy ciepła. W takim przypadku pompa o mocy 16 kW będzie miała bufor o pojemności 160 l, który zapewni prawidłową pracę pompy ciepła, ale nie może być traktowany jako podstawowy magazyn ciepła.



Rys. 2. Pompa ciepła typu monoblok R290 firmy AIRCAL [4].

Producenci pomp na czynniku R290: AIRCAL, Panasonic, Kaisai, Cooper&Hunter, HTI20, VIQTIS, Defro, Keller, Fox. Przykładową pompę ciepła typu monoblok firmy AIRCAL przedstawia rysunek 2, z informacją o maksymalnej temperaturze wody wyjściowej 75 °C, natomiast w tabeli 1 zostały zaprezentowane wybrane parametry dla pomp 12 i 16 kW, jedno i trójfazowych w trybie grzania i chłodzenia.

Tabela 1. Parametry pomp ciepła 12 i 16 kW firmy AIRCAL [4].

Parametr		Master Head AMH12DC	Master Head AMH16DC	Master Head AMH16DCT
Zakres grzania [kW]		4-13	5-17	5-17
Grzanie (A7/6°C, W30/35°C)	Pojemność grzania [kW]	12,20	16,00	16,00
	Moc [kW]	2,72	3,41	3,41
	Prąd [A]	11,83	14,83	5,18
	COP [W/W]	4,48	4,69	4,69
Grzanie (A7/6°C, W47/55°C)	Pojemność grzania [kW]	10,65	13,60	13,60
	Moc [kW]	3,51	4,41	4,41
	COP [W/W]	3,03	3,08	3,08
Grzanie (A-25°C, W30/35°C)	Pojemność grzania [kW]	6,28	8,16	8,16
	Moc [W]	3,56	4,34	4,34
	COP [W/W]	1,76	1,88	1,88
Chłodzenie (A35/24°C, W23/18°C)	Pojemność chłodzenia [kW]	10,80	14,85	14,85
	Moc [kW]	2,88	3,97	3,97
	Prąd [A]	12,52	21,39	6,03
	EER [W/W]	3,75	3,74	3,74
Chłodzenie (A35/24°C, W12/7°C)	Pojemność chłodzenia [kW]	9,40	13,20	13,20
	Moc [kW]	3,16	4,22	4,22
	EER [W/W]	2,97	3,13	3,13

W tabeli nr 1 zostały przedstawione parametry przykładowych dwóch pomp ciepła jednofazowych 12 kW AMH12DC i 16 kW AMH16DC oraz pompy trójfazowej 16 kW AMH16DCT wyprodukowanych przez firmę AIRCAL, dla typowych wartości temperatur. Pompy z czynnikiem

R290 pracują do -25 °C, osiągając współczynnik COP 2,26 dla trybu pracy (A-25°C, W30/35°C).

### Bufor ciepła

Zalecenia producentów pomp ciepła w zakresie wielkości buforów mówią o 9-10 l/kW. Część producentów proponuje większe bufony, do 20 l/kW mocy pompy ciepła. Zastosowanie większych buforów ciepła pozwala na magazynowanie zwiększonych ilości ciepła i wykorzystanie ich w okresach kiedy następuje zachmurzenie i przestaje pracować fotowoltaika, po zachodzie słońca, w strefach czasowych „drogiego prądu” (godz. 6-13, 15-22). Zapewnia także dłuższą żywotność pompy ciepła, w wyniku mniejszej ilości załączeń pompy.



Rys. 3. Przykładowy magazyn ciepła firmy EcoJura [5].

Podstawowym założeniem do określenia wielkości bufora jest dwukrotne załączenie pompy ciepła w okresie doby.

### Wielkość bufora ciepła

Założenia:

- Ogrzewany dom o powierzchni 150 m<sup>2</sup>,
- Zapotrzebowanie na energię nie większe niż 79 kWh/m<sup>2</sup>/r. (norma od 2014r.),
- Licznik energii elektrycznej dwutaryfowy,
- Strefa dzienna (droższa) w godzinach 6-13 i 15-22, Taryfa G12W,
- Strefa nocna (tańsza) w godzinach 13-15, 22-6 oraz w weekendy i święta.

Zapotrzebowanie domu na ciepło 150 m<sup>2</sup> x 79 kWh/m<sup>2</sup>/r = 11 850 kWh

Przyjmując długość okresu grzewczego 200 dni otrzymujemy średnie zapotrzebowanie 59,25 kWh/d.

Czas dostępności energii tańszej wynosi 10 h/d.

Wzór na ilość magazynowanego ciepła [6] w wodzie [J]:

$$(1) \quad Q = m \cdot C_w \cdot [T_2 - T_1]$$

gdzie :

$m$  – ilość wody w buforze w kg (l),

$C_w$  – stała dla wody 4198 J/kg x K,

$T_2$  – maksymalna temperatura wody w buforze,

$T_1$  – minimalna temperatura wody w buforze.

Po przekształceniu  $m = 1129$  kg (213 300 000 / 188 910) dla dwóch załączeń pompy w czasie doby i po uwzględnieniu zwiększonego zapotrzebowania w okresie zimowym o 30% powinien zostać zastosowany bufor o pojemności ok. 734 kg (l) lub większy.

### Instalacja fotowoltaiczna

Uwzględniając zapotrzebowanie domu na ciepło w wielkości:

$$Q = 11 850 \text{ kWh/r}$$

i sprawność pompy na czynniku R290, COP wynoszącym 4,5, ilość energii którą należy pobrać z sieci energetycznej wynosi 2 633 kWh.

Dla ceny energii pozaszczytowej (tryb nocny) w firmie Tauron w roku 2023 i powyżej 2000 kWh zagwarantowanej ustawowo w niższej cenie, będzie wynosić 0,751 zł/kWh

i przy zapotrzebowaniu 2 633 kWh, koszt zakupu energii wyniesie 1977,40 zł/r. Warunkiem uzyskania takiego efektu finansowego jest zastosowanie bufora o minimalnej wielkości 750 kg (750 l).

Dodatkowym argumentem dla rozwiązania z pompą ciepła jest posiadanie mikroinstalacji fotowoltaicznej o mocy 4 kW, która zapewni w warunkach Polski centralnej i południowej produkcję roczną na poziomie 4 MWh [7], co pokrywa zapotrzebowanie pompy ciepła z pewnym nadwyżką. Nadmiar produkowanej energii w danym okresie zmagazynujemy we własnym zakresie w postaci energii elektrycznej lub w postaci ciepła, natomiast ilość której nie wykorzystamy i nie zmagazynujemy we własnym zakresie zostanie przekazana do sieci elektroenergetycznej, a po rozliczeniu rocznym otrzymamy zwrot 0,8 kWh dla instalacji mniejszych od 10 kW lub 0,7 kWh dla instalacji powyżej 10 kW. Opłacalność zastosowania fotowoltaiki (PV), jako wsparcie w zakresie redukcji kosztów ogrzewania z wykorzystaniem pomp ciepła, zależy w dużym stopniu od systemu rozliczania z zakładem energetycznym, czy jest to „net metering” czy „net billing”. Nowe instalacje obecnie rejestrowane są tylko w systemie „net billing”, sprzedajemy energię wtedy kiedy mamy jej nadmiar (głównie latem) po cenach giełdowych, a kupujemy głównie zimą, po cenach jakich oferuje energetyka. Obecny system jest zdecydowanie mniej korzystny dla prosumentów lecz warto go stosować, szczególnie z dużymi buforami ciepła.



Rys. 4. Przykładowa instalacja fotowoltaiczna [opracowanie własne]

Tabela 2. Podstawowe parametry wybranych typów akumulatorów [8,9].

Parametr	NCA	NMC	LFP	LTO
Gęstość energii [Wh/kg]	200-240	150-190	100-135	90-120
Gęstość energii [Wh/l]	670	300	247	200
Liczba cykli (DOD 100%) w tys.	0,5	3	3,6	15-25
Rezystancja wewnętrzna [mΩ]	20	0,3	<15	0,5
Samorozładowanie [%/miesiąc]	5	5	4	3
Napięcie komórki	3,6/3,7	3,6/3,7	3,2/3,3	2,2/2,3
Odcięcie napięcia podczas ładowania [V/cell]	4,2	4,2	4,2	2,8
Odcięcie napięcia podczas rozładowania [V/cell, 1C]	2,5	2,5-3,0	2,5	1,5
Prąd ładowania	0,5C	1C	1C	5-10C
Prąd rozładowania	2C	2-3C	3C	5-10C
Temp. ładowania w [°C]	0-45	0-55	-20-55	-20-55
Temp. rozładowania w [°C]	-20-60	-30-55	-30-55	-30-55
Procent ceny w stosunku do LTO [%]	30	50	55	100

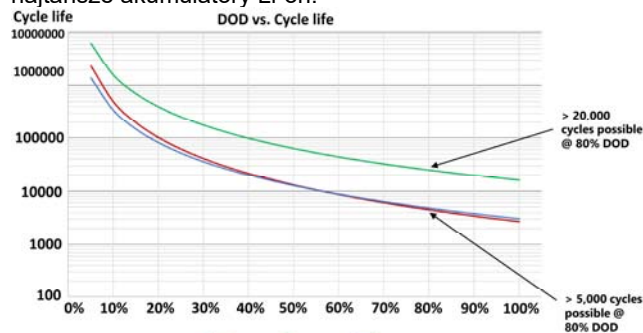
### Magazynowanie energii elektrycznej

Z wielu opracowanych akumulatorów istnieje kilka rodzajów, które możemy uznać jako najbardziej rozpowszechnione lub jako najbardziej perspektywiczne.

Najstarszymi, a jednocześnie nadal używanymi są akumulatory kwasowo-ołowiowe i ich nowsze odmiany AGM czy żelowe. Szczególnie akumulatory AGM i żelowe w niektórych rodzajach magazynów energii, nadal będą wykorzystywane głównie ze względu na ich niską cenę. Magazyny energii na bazie litu dla zastosowań domowych można podzielić na :

- Akumulatory Li-on,
- LiNiCoAlO<sub>2</sub> (NCA), LiNiMnCoO<sub>2</sub> (NMC),
- Akumulatory żelazowo-fosforanowe LiFePO<sub>4</sub>, (LFP),
- Akumulatory tytanowe Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (LTO).

Ostatnie analizy przeprowadzone na podstawie dostępnych danych pozyskanych z materiałów prezentowanych przez producentów akumulatorów jednoznacznie wskazują, że do zastosowań dwu-trzyletnich będą dalej wykorzystywane najtańsze akumulatory Li-on.

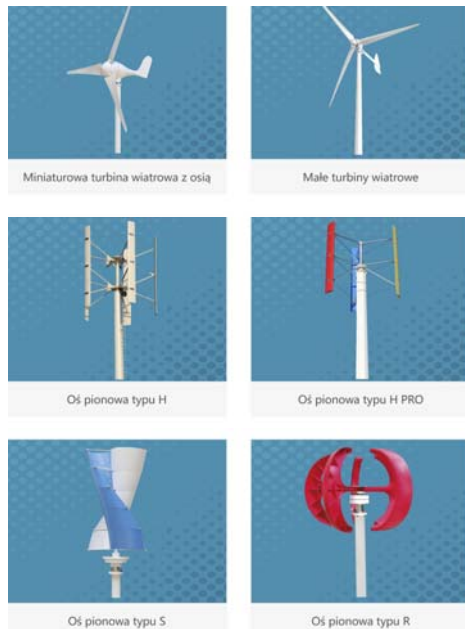


Rys. 5. Ilość cykli dla akumulatorów LTO, NMC i LFP w zależności od głębokości rozładowania [10].

Ilość cykli dla tego typu akumulatorów zależy głównie od głębokości rozładowania (DOD) i dla tego typu akumulatorów wynosi ok. 300-500 cykli [11, 12] lub nieznacznie więcej. Dla zastosowań średniookresowych przy dwóch cyklach w ciągu dnia, głównie będą wykorzystywane akumulator typu LFP [13] (żelazowo-fosforanowe), których cena jest ok. dwa razy wyższa od Li-on natomiast ilość cykli 4500, która została przedstawiona na rysunku 5 przy poziomie DOD 80% z nawiązką rekompensuje cenę. Żywotność akumulatorów LFP wynosi ok. 6-12 lat w zależności od ilości cykli w ciągu jednego dnia i głębokości rozładowania, która w przypadku płytszego rozładowania znacznie zwiększa ilość cykli.

Z obecnie produkowanych wersji, akumulatory LTO [14] są najbardziej perspektywicznym typem ze względu na ilość cykli na poziomie 30 000 i pomimo ich najwyższej ceny [15], są najbardziej opłacalne, po uwzględnieniu ilości cykli głębokości rozładowania DOD 100 % i prądów ładowania i rozładowania na poziomie 10 C. Ważnymi cechami akumulatorów NMC, LFP i LTO są wysokie prądy ładowania i rozładowania, dochodzące do 10 C w przypadku akumulatorów LTO. Równie ważnym parametrem dla wymienionych typów jest temperatura pracy szczególnie w trybie rozładowania od -30 °C do +55 °C. W przypadku akumulatorów LTO, ze względu na duże prądy, przykładowe ogniwo 45 Ah, można ładować i rozładowywać prądami (10C) 450 A, będzie wymagało specjalnego podejścia do systemu balanserów i układów zasilających system ładowania i rozładowania. Pomimo wysokich prądów i szerokiego zakresu temperatur akumulatory LFP i LTO pozostają bardzo bezpieczne [16]. Bardzo ważnym aspektem w zakresie pozyskiwania energii do magazynów będzie rozbudowa systemów fotowoltaicznych o wiatraki szczególnie typu pionowego [17] przedstawione na rysunku 8 z bezrdzeniowymi silnikami wiatrowymi. Takie rozwiązanie pozwoli na zachowanie

większej ciągłości zasilania magazynów energii elektrycznej i ciepła szczególnie w okresach braku energii z systemów PV. Wydajność z 1kW wiatraka średnio wynosi ok. 2 MWh/r [7, 18], takie praktyczne połączenie w układ hybrydowy fotowoltaiki i wiatraków powoduje znacznie stabilniejszy dostęp do energii odnawialnej w okresie całego roku, a szczególnie w okresie grzewczym do zasilania pomp ciepła i wykorzystywania tej energii do bezpośredniego ogrzewania obiektów oraz magazynowania w magazynach elektrochemicznych (akumulatory), a także w postaci ciepła.



Rys. 6. Przykłady rozwiązań wiatraków do zastosowań do 10 kW firmy Jianguo [19]

## Wnioski

Pompa ciepła 16 kW, pobiera z sieci energetycznej 3,41 kW, pozostała część ciepła pobierana jest z otoczenia. Zastosowanie pomp ciepła do ogrzewania budynków oznacza w każdym przypadku, że potrzebna energia do działania pompy ciepła, będzie mniejsza o współczynnik COP, w tym przypadku o 4,69, do wytworzenia 16 kWh w ciągu jednej godziny. W każdym innym przypadku do wytworzenia tej ilości ciepła użyjemy (z węgla, gazu, pelletu czy biomasy) odpowiednią ilość nośnika energetycznego, zwiększoną o sprawność konwersji. Spalanie nośników energetycznych w elektrowniach konwencjonalnych, a do ogrzewania domów wykorzystywanie pomp ciepła jest korzystniejszym rozwiązaniem, ze względu na bilans energetyczny i ochronę środowiska [20] - mniejsza emisja CO<sub>2</sub>. Wykorzystywanie pomp ciepła z czynnikiem R290 dodatkowo poprawia współczynniki sprawności energetycznej, poprzez pracę do temperatury -25 °C i wyższy COP dla porównywalnych temperatur w stosunku do innych rodzajów pomp, a także niski indeks GWP=3, powoduje, że takie rozwiązanie staje się praktycznie nieemisyjnym w zakresie generacji (emisji) gazów cieplarnianych [20]. Duże bufor ciepła natomiast, zapewniają niższe koszty użytkowania i dłuższy jednorazowy czas pracy pompy ciepła, a to powoduje zwiększony czas pracy (mniejsza ilość cykli). Rozwiązanie z dużymi magazynami ciepła, powoduje „zatrzymanie” w miejscu wytworzenia energii, bez wykorzystywania sieci energetycznej. Zastosowanie fotowoltaiki, wiatraków i magazynów energii elektrycznej wydłuża czas wykorzystania energii pozyskanej z OZE oraz pozwala na magazynowanie pewnej części energii w miejscu jej

wytworzenia w postaci energii elektrycznej w magazynach typu elektrycznego oraz w postaci ciepła. Większe bufor ciepła to, więcej gromadzonej energii w miejscu wytworzenia i dłuższy czas jej przechowywania, jak również dłuższy czas ogrzewania ze zmagazynowanego ciepła w buforze. W zakresie elektrochemicznych magazynów energii, wykorzystanie akumulatorów LTO, pozwala na bardzo elastyczne wykorzystanie ich, szczególnie w zakresie dużych prądów i szerokiego zakresu temperatur, ale co najważniejsze to ten typ akumulatorów ma ilość cykli ok. 30 000 przy DOD 80 %. Przewidywany czas użytkowania tych akumulatorów to 25-30 lat.

**Autor:** mgr inż. Patryk Gałuszkiewicz, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: [patryk.galuszkiewicz@pcz.pl](mailto:patryk.galuszkiewicz@pcz.pl).

## LITERATURA

- [1] Fundacja WWF Polska (2020). Zeroemisyjna Polska 2050, <https://www.wwf.pl/zeroemisyjnapolska>,
- [2] Sayed E.T., Wilberforce T., Elsaid K., Rabaia M.K.H., Abdelkareem M.A., Chae K.-J., Olabi A. - A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal, *Sci. Total Environ.*, 766 (2021), Article 144505,
- [3] Klugmann-Radziemska E., *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2016,
- [4] Katalog firmy AIRCAL - <https://www.aircalheatpump.com/product/detail/r290-dc-inverter-air-source-heat-pump.html>,
- [5] Katalog firmy ECOJURA, JuraHeat B,
- [6] Chwieduk D., Jaworski M., *Energetyka odnawialna w budownictwie, Magazynowanie energii*, PWN, Warszawa 2021,
- [7] Tytko R., *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*, Wydanie IX, Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków 2017,
- [8] Koniak M., Czerepicki A., Selection of the battery pack parameters for an electric vehicle based on performance requirements, 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 211 012005,
- [9] Göhlich, D., Fay, T.-A., Park, S. (2019) 'Conceptual Design of Urban E-Bus Systems with Special Focus on Battery Technology', in Proceedings of the 22nd International
- [10] Mabrey M., *Advantages & Marine Applications of Various Lithium Ion Battery Chemistries*, Spear Power Systems Marad Meta Battery Propulsion Conference, 15 December 2016.
- [11] Shenzhen PKCELL Battery CO., LTD, Polymer Li-ion Battery Technology Specification - <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1266160/PKCELL/ICR18650/1>,
- [12] Karta katalogowa TENERGY 18650 2200mAh Li-Ion Cell - <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1408721/TENERGY/18650/1>,
- [13] Karta katalogowa firmy Kon-Tec - [https://kon-tec.eu/storage/files/product\\_variant\\_custom\\_file/48/main\\_rQMbqEdu.pdf?t=1670334993](https://kon-tec.eu/storage/files/product_variant_custom_file/48/main_rQMbqEdu.pdf?t=1670334993),
- [14] Karta katalogowa GWL Lithium Titanate Oxid Battery Cell - LTO 2.3V 40AH (Cylindrical) - [https://files.gwl.eu/inc/\\_doc/attach/Stoltem/6991/LTO-40AH-CY\\_datasheet.pdf](https://files.gwl.eu/inc/_doc/attach/Stoltem/6991/LTO-40AH-CY_datasheet.pdf),
- [15] Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehicles - [https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-06/Appendix E Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehicles.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-06/Appendix_E_Battery_Cost_for_Heavy-Duty_Electric_Vehicles.pdf),
- [16] Rafał K., Grabowski P., *Magazynowanie energii*, ACADEMIA - magazyn Polskiej Akademii Nauk; 2021; Nr 1 (65) *Energetyka*; 34-40,
- [17] Wolańczyk F., *Elektrownie wiatrowe*, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2009,
- [18] Gdańska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjna Sp. z o.o. - [https://www.giwk.pl/files/220/148/199/1\\_rozdzial.pdf](https://www.giwk.pl/files/220/148/199/1_rozdzial.pdf),
- [19] Jianguo Transwarp New Energy Co Ltd ([starringne.com](http://starringne.com)),
- [20] Mirowski A., *Podręcznik dobrych praktyk w zakresie doboru i wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz likwidacji niskiej emisji*, Wydanie I, Delta Kraków, Kraków 2015, Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, The Netherlands, 5-8 August 2019. DOI:10.1017/dsi.2019.289,