

Beata JAKUBIEC

UKŁADY ZASILANIA ZROBOTYZOWANYCH SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH

Rozwój technologii w zakresie magazynowania energii oraz rozwiązań ładowarek wpłynął na powstanie wielu sposobów zasilania wózków automatycznych. W artykule omówiono technologie układów zasilania stosowanych w zrobotyzowanych pojazdach transportowych.

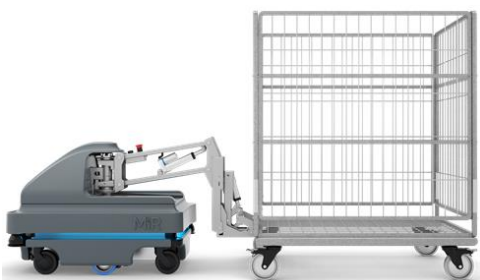
WSTĘP

W nowoczesnych zakładach produkcyjnych coraz więcej funkcji transportu, przede wszystkim wewnętrznego, realizowanych jest przez pojazdy sterowane automatycznie AGV (ang. *Automated Guided Vehicle*). Są to wózki samojezdne napędzane silnikami elektrycznymi, które za pomocą odpowiedniego systemu prowadzenia samodzielnie przemieszczają się po zaprogramowanej lub wytyczonej trasie. Realizują one przede wszystkim powtarzalne zadania transportowe, np.: przy liniach produkcyjnych, w magazynach, centrach logistycznych, czy też biurach, albo w szpitalach, przewozu materiałów masowych. Celem ich stosowania jest zapewnienie jak najkrótszego czasu przemieszczenia towaru w obrębie zakładu, albo wyłączenie pracy operatorów w zadaniach transportowych prowadzonych w warunkach środowiskowych niebezpiecznych dla ludzi. Oferowanych jest wiele konstrukcji pojazdów. Do najpopularniejszych należą [1,2,3,4,5]:

- wózki widłowe (ang. *Fork Vehicles*),
- wózki holownicze (ang. *Towing Vehicles*),
- pojazdy pojedynczego załadunku (ang. *Unit Load Vehicles*),
- pojazdy lekkiego załadunku (ang. *Cart Vehicles*),
- pojazdy ciężkiego załadunku (ang. *Heavy Load Handling Vehicles*).



Rys. 1. Wózek widłowy [4]



Rys. 2. Holownik [6]



Rys. 3. Pojazd pojedynczego załadunku [7]



Rys. 4. Pojazd lekkiego załadunku [6]



Rys. 5. Pojazd ciężkiego załadunku [8]

Choć koncepcja automatycznych pojazdów transportowych znana jest od połowy ubiegłego wieku, to ich popularność w logistyce przemysłowej była ograniczona ze względu na czasochłonność implementacji tego typu systemów oraz wysoką cenę samych urządzeń, jak i całej niezbędnej infrastruktury. Widoczny obecnie rozwój technologii w zakresie prowadzenia i nawigacji AGV, a przede wszystkim zasobników energii oraz sposobów ich ładowania, znacznie zwiększa funkcjonalność i zakres zastosowań wózków zrobotyzowanych, a tym samym możliwość powszechniejszego użytkowania [1,9,10,11]. Również koszty wdrażania zautomatyzo-

wanych procesów transportowych nie są już aż tak duże, oczywiście w zależności od złożoności systemu, jak jeszcze kilka lat temu [12].

W artykule zaprezentowano różne sposoby zasilania zrobotyzowanych pojazdów transportowych, ponieważ ta kwestia jest jedną z bardziej istotnych, dla zapewnienia pracy ciągłej wózków automatycznych. Przedstawiono rodzaje zasobników energii elektrycznej wykorzystywanych w pojazdach AGV oraz metody ich ładowania.

1. ŹRÓDŁA ENERGII DLA AGV

1.1. Akumulatory klasyczne

Tradycyjnymi zasobnikami energii dla układów napędowych pojazdów AGV są akumulatory ołowiowo-kwasowe. W najprostszym przypadku są to ogniwa z ciekłym elektrolitem [13]. Jest to również najtańszy sposób realizacji zasilania wózków samojezdnych. Niestety akumulatory te przy pracy cyklicznej, poddawane znacznym obciążeniom i częstym pełnym rozładowaniom, szybko ulegają degradacji.

Innymi technologiami akumulatorów ołowiowo-kwasowych, które znacznie lepiej sprawdzają się w pracy cyklicznej lub przy obciążeniach dużymi prądami są akumulatory żelowe oraz AGM (ang. *Absorbptive Glass Mat*). W akumulatorach żelowych elektrolit wokół płyt ma postać żelu składającego się z kwasu siarkowego i krzemionki, natomiast w akumulatorach AGM elektrolit jest zaabsorbowany przez matę szklaną separatora między elektrodami. Akumulatory tego typu zapewniają m. in. znacznie większą odporność na wstrząsy i uderzenia, możliwość pracy w dowolnej pozycji, bezobsługowość. Niestety akumulatory te, podobnie jak akumulatory z ciekłym elektrolitem, charakteryzują się małą gęstością energii w stosunku do masy i objętości, co znacząco wpływa na masę pojazdu, a także wiąże się z koniecznością częstego, a przy tym długotrwałego ładowania [14]. Porównanie wybranych parametrów przykładowych akumulatorów ołowiowo-kwasowych stosowanych w pojazdach AGV wykonanych w różnych technologiach zaprezentowano w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry akumulatorów ołowiowo-kwasowych [13,14]

Parametr	Akumulator z ciekłym elektrolitem	Akumulator żelowy	Akumulator AGM
Model	Nexsys 12NXS50	GF 12 050V	AS 12 045R
Napięcie	12 V	12 V	12 V
Nominalna pojemność C5	50 Ah (600Wh)	50 Ah (600 Wh)	45Ah (540 Wh)
Prąd obciążenia.	25 A	25 A	22 A
Temperatura pracy	0 ÷ 45 °C	-15 ÷ 50 °C	10 ÷ 45 °C
Liczba cykli	700	700	450
Czas ładowania	8 ÷ 10h	8 ÷ 12 h	10 ÷ 14h
Masa	18,6 kg	19 kg	18,5 kg

Nieco lepsze parametry pod względem gęstości energii i energii właściwej zapewniają akumulatory zbudowane na bazie ogniw niklowo-kadmowych oraz niklowo-metalowo-wodorkowych (tabela 2). Jednakże ze względu na większą wrażliwość na niskie temperatury (znaczące pogorszenie parametrów ogniwa), konieczność formowania, czy też efekt pamięci nie stanowią konkurencji dla akumulatorów ołowiowo-kwasowych [15,16].

Tab. 2. Parametry akumulatorów NiCd i NiMH dla AGV [15,16]

Parametr	Akumulator NiCd	Akumulator NiMH
Model	FNC-T 205 H	BK-06V10T1
Napięcie	12 V	12 V
Nominalna pojemność	58 Ah	60 Ah
Prąd obciążenia	11,2 A	60 A
Temperatura pracy	-25 ÷ 45 °C	-20 ÷ 60 °C
Liczba cykli	2000	500
Czas ładowania	8 ÷ 9 h	10 ÷ 12h
Masa	18,6 kg	19 kg

1.2. Akumulatory litowe

Dłuższy czas pracy pojazdu AGV na jednym ładowaniu, większą ilość cykli pracy, wysoką gęstość zgromadzonej energii przy niższej masie w stosunku do akumulatora typu Pb (co tym samym obniża masę całkowitą wózka) oraz całkowitą bezobsługowość zapewniają akumulatory litowe. Choć w zakupie droższe od akumulatorów tradycyjnych, to ze względu na wiele zalet (tabela 3), w końcowym rozrachunku mogą być inwestycją, która wpłynie na zmniejszenie całkowitych kosztów użytkowania zrobotyzowanych pojazdów transportowych wyposażonych w tego typu zasobniki energii. Nie są one jednak idealnym źródłem energii elektrycznej, gdyż wymagają układu zapobiegającego ich nadmiernemu rozładowaniu oraz przeladowaniu, ponieważ stany te mogłyby spowodować trwałe uszkodzenie akumulatorów. Natomiast ich niewątpliwą zaletą jest krótszy czas ładowania niż baterii kwasowo-ołowiowych oraz fakt, że można je doładowywać przy dowolnym stanie rozładowania bez negatywnego wpływu na pojemność ogniwa [17,18].

Tab. 3. Parametry akumulatorów litowych dla AGV [17,18]

Parametr	Akumulator Li-ion	Akumulator LiFeMgPo4
Model	SIP24-23	U1-24RT
Napięcie	24 V	25,6 V
Nominalna pojemność	22 Ah (556 Wh)	20Ah (512 Wh)
Prąd ciągły/max.	60 A/125A (200s)	30A/ 60A (30s)
Temperatura pracy	-30 ÷ 45 °C	-10 ÷ 50 °C
Liczba cykli	15000	2500
Czas ładowania	60 min	150 min
Masa	8 kg	6,4 kg

1.3. Superkondensatory

Ciekawą propozycją zapewnienia zasilania dla pojazdów sterowanych automatycznie są superkondensatory (ultrakondensatory). Choć w stosunku do magazynów energii wymienionych w podrozdziałach 1.1 i 1.2 charakteryzują się mniejszą energią właściwą, to zasadniczą ich zaletą jest duża gęstość mocy, co pozwala na ich ładowanie i rozładowywanie bardzo dużymi prądami, i może to odbywać się w bardzo krótkim czasie, nawet kilku sekund. Ze względu na swoje właściwości dobrze sprawdzają się więc w stacjach dynamicznych. Poza tym są bardzo trwałe i mniej wrażliwe na zmiany temperatury (szeroki zakres pracy) [19,20]. Wybrane parametry przykładowych superkondensatorów dedykowanych dla pojazdów AGV zaprezentowano w tabeli 4.

Tab. 4. Parametry superkondensatora dla AGV [19,20]

Parametr	Superkondensator	Superkondensator
Model	SkelMod 51V 177F	XLR-48R6167-R
Napięcie	51 V	48,6 V
Nominalna pojemność	177F (63,9 Wh)	166 (54Wh)
Moc	216 kW	118 kW
Prąd ciągły/maksymalny 1s	105 A (15°C)/2881A	86 A (15°C)/2200 A
Temperatura pracy	-40 ÷ 65 °C	-40 ÷ 65 °C
Liczba cykli	1 mln	1 mln
Masa	15,8 kg	14,7 kg

1.4. Ogniwa paliwowe

Na rynku dostawców pojazdów AGV pojawiają się także oferty wózków automatycznych zasilanych ogniwami paliwowymi. Ogniwa paliwowe nie są typowymi magazynami energii, ponieważ w wyniku reakcji chemicznej wytwarzają, a nie gromadzą energię elektryczną. Ogniwa wodorowe cechują się stałą wartością napięcia w szerokim zakresie poziomu naładowania, w przeciwieństwie do akumulatorów, w których napięcie na zaciskach obniża się wraz ze spadkiem poziomu ich naładowania. Niestety są one drogie i wymagają kosztownej infrastruktury dla zasilającego je paliwa [1,21].

1.5. Rozwiązania hybrydowe

W celu zwiększenia funkcjonalności pojazdów AGV, lub ze względu na warunki pracy i zadania, jakie realizują automatyczne pojazdy transportowe wyposażane są również w hybrydowe układy zasilania.

Jednym z przykładów zasilania hybrydowego jest superkondensator, który współpracuje z akumulatorem np. litowo-jonowym lub kwasowo-ołowiowym. Akumulator stanowi dalej główne źródło zasilania, zaś superkondensator, zapewnia energię w stanach zwiększonego zapotrzebowania (przyspieszanie) oraz magazynuje energię powstającą w wyniku hamowania (hamowanie odzyskowe). Jest to szczególnie korzystne rozwiązanie poprawiające wydajność pracy automatycznych wózków widłowych [10].

W pojazdach samojezdnych przeznaczonych do pracy zwłaszcza na zewnątrz i przewozu ciężkich ładunków (np. kontenerów w terminalach portowych), spotyka się rozwiązania, gdzie silniki elektryczne zasilane są przez generator napędzany przez silnik wysokoprężny. Dodatkowo, w chwilach zwiększonego zapotrzebowania na moc, energia może być dostarczana także przez superkondensator [8,22].

2. UKŁADY ŁADOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

2.1. Wymiana baterii

Jednym ze sposobów uzupełnienia energii w pojeździe AGV wyposażonym w akumulatory jest wymiana baterii. Czas pracy na jednej baterii wynosi ok. 8-10 godzin, więc po jej rozładowaniu wymiana na naładowany egzemplarz jest realizowana przez obsługę w sposób ręczny w ciągu kilku minut. Rozładowany akumulator zostaje następnie poddany kilkugodzinnemu procesowi ładowania. W zrobotyzowanym systemie transportowym wymiana akumulatorów może odbywać się też w sposób automatyczny. Do tego celu służy dodatkowe urządzenie - automatyczny zmieniacz baterii. Zgodnie z zaprogramowanym harmonogramem lub w przypadku zdiagnozowania przez system zarządzający niskiego poziomu naładowania baterii pojazd AGV podjeżdża do strefy wymiany baterii, gdzie dzięki specjalnie opracowanej konstrukcji wózka automatycznego, jak i zmieniacza, następuje bez udziału człowieka wymiana na zasobnika na nowy. Zadaniem automatycznego zmieniacza jest również przeprowadzenie i nadzorowanie procesu ładowania wymontowanego akumulatora [1].

Do zapewnienia płynności i ciągłości pracy zrobotyzowanego systemu transportowego, zarówno przy ręcznym, jak i automatycznym sposobie wymiany zasobników energii elektrycznej należy wziąć pod uwagę konieczność posiadania odpowiedniej liczby zapasowych akumulatorów. Ważnym aspektem jest również zaplanowanie czasu potrzebnego na wykonanie czynności wymiany baterii, a w którym pojazdy AGV nie wykonują swoich podstawowych zadań transportowych. Dlatego przy zbyt małej liczbie pojazdów w systemie, które przejmą zadania w chwili, gdy w części wózków przeprowadzana jest wymiana akumulatorów lub braku naładowanych baterii mogą wystąpić zakłócenia, a nawet przerwy w transporcie materiałów.

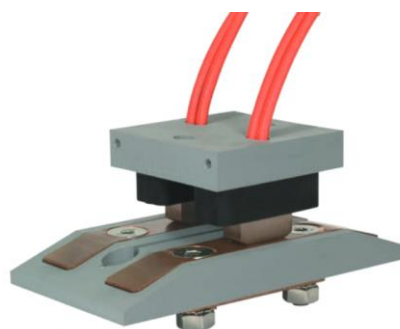
2.2. Ładowanie przewodowe

Poprawę ciągłości pracy automatycznego systemu transportowego uzyskuje się poprzez wprowadzenie automatycznego ładowania zasobników energii, bez konieczności ich wymontowywania z wózka. Pojazdy AGV systematycznie (np. co 1 godzinę), czy też w przerwach między realizacją zadania transportowego podjeżdżają do stacji ładowania, podłączają się do zasilania i przez kilka minut doładowują akumulator (rys. 5). Żeby zoptymalizować wykorzysta-

nie czasu pracy pojazdu ładowanie akumulatorów, dzięki odpowiedniemu systemowi styków (rys. 6), może się odbywać nawet w trakcie realizacji zadania transportowego, np. w chwilach załadunku/rozładunku wózka [5,6,7,23].



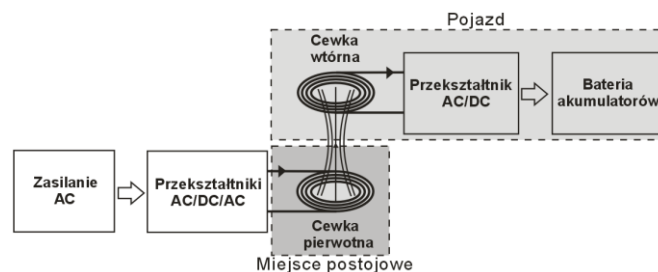
Rys. 5. Punkt automatycznego ładowania mobilnego robota do transportu firmy MIR [6]



Rys. 6. System styków do przewodowego ładowania akumulatorów pojazdów AGV firmy Conductix-Wampfler [7]

2.3. Ładowanie bezprzewodowe

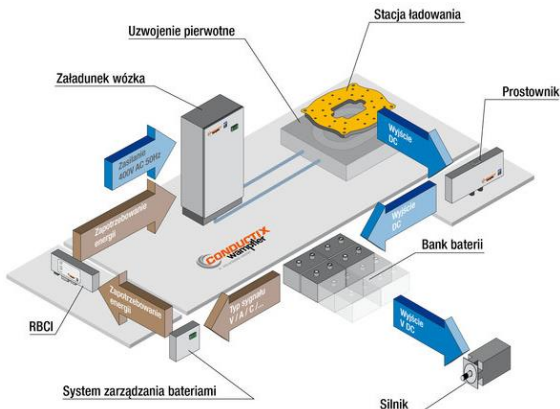
Najnowszym rozwiązaniem automatycznego ładowania zasobników energii jest ładowanie bezprzewodowe IPT (ang. *Induction Transfer Power*). Metoda ta wdrażana jest również do ładowania akumulatorów samochodów osobowych z napędem elektrycznym [24]. W bezstykowym przekazywaniu energii elektrycznej za pomocą indukcji magnetycznej zastosowanie znajdują transformatory bezrdzeniowe. Zasilana napięciem przemiennym cewka pierwotna wytwarza zmienne pole magnetyczne, które w umieszczonej w pewnej odległości cewce wtórnej indukuje siłę elektromotoryczną. Powstała SEM powoduje w odbiorniku przepływ prądu i dzięki temu poprzez układy prostownicowe ładuje akumulator (rys. 7).



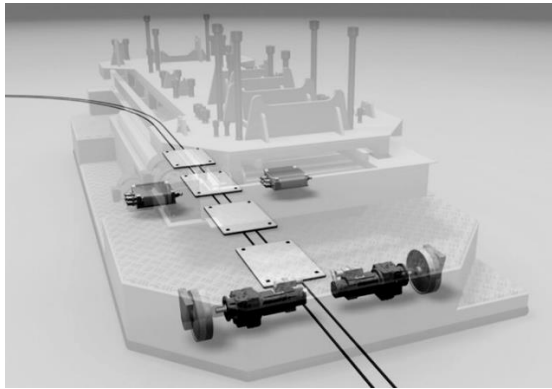
Rys. 7. Schemat blokowy ładowania indukcyjnego [opr. wł.]

Pojazdy AGV bezprzewodowo ładowane są w specjalnie wyznaczonych punktach ładowania (na stacjach docelowych lub rozmieszczonych na trasie przejazdu). Proces ten może być również realizowany samoczynnie w sposób ciągły podczas wykonywania zadania transportowego przez pojazd AGV, dzięki odpowiednio

przystosowanej infrastrukturze. Zasilanie wózków automatycznych na całej trasie poruszania się pozwala praktycznie na wyeliminowanie z ich pokładu akumulatorów. Są w nich np. montowane tylko niewielkie zasobniki energii na wypadek braku podstawowego zasilania [7,10].



Rys. 8. Stacja ładowania IPT firmy Conductix-Wampfler [7]



Rys. 9. Movitrans - Bezprzewodowe zasilanie podłogowe na trasie przejazdu AGV [10]

PODSUMOWANIE

Firmy coraz częściej chcąc podnieść swoją wydajność i konkurencyjność decydują się na transport materiałów, w zakresie procesu produkcyjnego czy magazynowego, realizowany przez zrobotyzowane systemy transportowe. Na wzrost zastosowań w przemyśle i funkcjonalność pojazdów sterowanych automatycznie w znacznym stopniu wpływa pojawienie się nowych technologii przekazywania i gromadzenia energii. Dzięki odpowiedniemu doborowi układu zasilania możliwe jest uzyskanie elastycznego i niezawodnego systemu transportu wewnątrzzakładowego działającego 24 godziny na dobę przez 7 dni w tygodniu.

BIBLIOGRAFIA

1. egeminusa.com/automated-guided-vehicles/agv-types/
2. www.mecalux.pl/podrecznik-magazynowania/wozki-widlowe/pojazdy-sterowane-automatycznie-agv-i-laserowo-lgv
3. www.similantechology.com/agv-lgv-rgv.html

4. www.transbotics.com
5. <http://encon-koester.com/kategoria-produktu/mobilne-roboty-przemyslowe/>
6. www.mobile-industrial-robots.com/en/products/
7. www.conductix.pl/pl
8. www.konecranes.com/equipment/container-handling-equipment/automated-guided-vehicles
9. <http://www.jbtc.com/automated-systems>
10. www.sew-eurodrive.pl
11. www.quirepace.co.uk/products/automated-guided-vehicles/
12. Gotowała K., Musiał W., *Analiza kosztów transportu wewnątrz-zakładowego dla wybranych procesów produkcyjnych realizowanych w technologii grupowej z automatyzowanym systemie produkcyjnym w przemyśle samochodowym i maszynowym*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” nr 10, 2013, 126-134.
13. www.enersys.com/
14. <http://www2.exide.com/pl/pl/product-solutions/motive-power/applications-motive/automated-guided-vehicles-motive.aspx>
15. <http://www.hoppecke-us.com/>
16. <https://industrial.panasonic.com>
17. <http://www.scib.jp/en/product/sip/index.htm>
18. <https://lithiumwerks.com/solutions/robotics-autonomous-vehicles/>
19. www.skeletontech.com/
20. <http://www.cooperindustries.com>
21. <http://www.plugpower.com/2018/03/fuel-cell-powered-agvs-hydrogen-robots-increasing-efficiency-in-manufacturing>
22. www.vdlgroep.com/en/vdl-groep/innovation-projects/automated-guided-vehicle-agv
23. <https://www.vahleinc.com/charging-contact-bls-blk-sls.html>
24. Pietruszewski, R., Kopka, J., *Wykorzystanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej do zasilania samochodu osobowego z napędem elektrycznym*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, nr 6, 2016, 1394-1398.

Power supply systems of Automated Guided Vehicle I

The development of technologies in the field of energy storage and loader solutions has influenced the creation of many ways to power the automatic trucks. The article discusses the technologies of power systems used in Automated Guided Vehicle.

Autor:

dr inż. **Beata Jakubiec** – Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, e-mail: beja@el.pcz.czest.pl

JEL: L64 DOI: 10.24136/atest.2018.118

Data zgłoszenia: 2018.05.23 Data akceptacji: 2018.06.15