

## EHES – Innowacyjny i ekologiczny moduł hybrydowy do zasilania urządzeń i maszyn jezdnych

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano wyniki prac badawczych hybrydowego magazynu energii – EHES, przeznaczonego do zasilania urządzeń i maszyn jezdnych, a w szczególności samojezdnych wózków elektrycznych (AGV) przeznaczonych do bezobsługowych hal magazynowych gęstego składowania. Opracowane rozwiązanie charakteryzuje się parametrami nieosiągalnymi przez konkurencyjne rozwiązania rynkowe w zakresie żywotności oraz możliwości pracy w ekstremalnych warunkach otoczenia, co zostało potwierdzone badaniami w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych.

**Abstract.** In this paper presents the results of research on a hybrid energy storage - EHES, designed to power electric vehicle, in particular automated guided vehicle (AGV) intended for maintenance-free high dense storage warehouses. The developed solution is characterized by parameters unattainable by competitive market solutions in terms of lifetime and the ability to work in extreme conditions, which has been confirmed by tests in laboratory and industrial environment. (EHES - Innovative and ecological hybrid power module for electric vehicle and machines).

**Słowa kluczowe:** hybrydowy magazyn energii, szybkie ładowanie, superkondensatory, samojezdne wózki elektryczne, EHES.

**Keywords:** hybrid energy storage, ultra-fast charging, ultracapacitors, automated guided vehicle (AGV), EHES.

### Wstęp

Czwarta rewolucja przemysłowa wiąże się z wprowadzeniem tzw. inteligentnych urządzeń i ich integracji w ramach wspólnej sieci umożliwiającej ich zarządzanie i wymianę danych. Jedną z dynamicznie rozwijających się gałęzi przemysłu, która doskonale wpisuje się w ten trend jest automatyzacja systemów magazynowych [1]-[5]. Obecnie można sklasyfikować magazyny o różnym stopniu automatyzacji, które wymagają większej lub mniejszej obecności człowieka. Istotnym czynnikiem takiej automatyzacji są dostępne systemy zasilania dla wózków i robotów jezdnych stosowanych w takich magazynach. Najczęściej spotykane są konstrukcje wózków samojezdnych (ang. AGV – automated guided vehicle)[6]. Są to bezałogowe pojazdy, które służą do obsługi magazynów i dystrybucji towarów w halach produkcyjnych. Podobną konstrukcją charakteryzują się także systemy automatycznego składowania na regałach (ang. RS - radio shuttle)[7]. Wśród znanych rozwiązań, spotykane są następujące sposoby zasilania wózków AGV/RS:

- Baterie elektrochemiczne umieszczone na pokładzie wózka. Baterie te po wyczerpaniu zgromadzonej w nich energii muszą zostać ręcznie wyjęte z wózka i podłączone do ładowania i w celu dalszej jazdy zastąpione naładowaną baterią, [8]

Zaletą – długi czas pracy; wady – konieczność posiadania dodatkowego kompletu baterii oraz ich obsługi, relatywnie mała żywotność baterii, spadek pojemności w ujemnych temperaturach,

- Baterie litowo-jonowe umieszczone na pokładzie wózka. Podobnie jak wyżej, po rozładowaniu muszą zostać ręcznie wyciągnięte z wózka i podłączone do ładowania i w celu dalszej pracy zastąpione naładowaną baterią, [8]-[10]

Zalety – długi czas pracy, mniejsze wymiary i waga, szybsze ładowanie i dłuższa żywotność; wady – konieczność posiadania dodatkowego kompletu baterii oraz ich obsługi, ładowanie tylko w zakresie dodatnich temperatur,

- Superkondensatory umieszczone na pokładzie wózka. Superkondensatory w przeciwieństwie do baterii ładowane są bez wyjmowania ich z wózka. Zasilanie to może odbywać się w sposób stykowy lub bezstykowy w stacjach bazowych wózka, [8][11][12]

Zalety – bezobsługowość, duża gęstość mocy, praca w szerokim zakresie temperatury, wady – krótki czas pracy/pokonywany dystans, efekt samorozładowania, mała gęstość energii,

- Zasilanie hybrydowe – połączenie baterii superkondensatorowych oraz kwasowo-ołowiowych /żelowych/AGM – rozwiązanie znane z produktu konkurencji, [13]

Zalety – zmniejszona konieczność obsługi, długi czas czuwania (ograniczony efekt samorozładowania), Wady – krótki czas pracy, średnia żywotność (ograniczona czasem życia akumulatorów kwasowych/żelowych), - bezpośredni konkurent do EHES.

Tabela 1. Porównanie właściwości dostępnych systemów zasilania AGV/RS

Lp	Nazwa parametru	System A	System B	System C	System D	System E	EHES
1	Technologia	Kwasowo-ołowiowa	Litowo-jonowa	Superkondensator	LFP + ład. Indukcyjne	Zas. przewodowe	Hybrydowa
2	Zasilanie bezprzewodowe	tak	tak	tak	tak	nie	tak
3	Bezobsługowość	nie	nie	tak/nie	tak	tak	tak
4	Liczba cykli, głębokość rozładowania (DoD)	600, 50%	3500, 80%	1mln	7500	∞ (styki)	1mln (styki)
5	Żywotność przy pracy ciągłej z obc. 250W	6 miesięcy	2,5 roku	>10 lat	3,5 roku	>10 lat	>10 lat
6	Sprawność energetyczna ładowania	ok. 90%	100%	>90%	90%	99%	97%
7	Czas ładowania	8-12 h	6-8 h	60-100 s	0,2-0,5 h	Nd.	60s
8	Masa	37,8 kg	15 kg	35 kg	ok. 20 kg	Nd.	30kg
9	Łatwość implementacji	prosta	prosta	średnia	trudna	trudna	prosta
10	Zakres temperatur	-30 – 60 °C	0 – 60 °C	-30 – 60 °C	-10 – 65 °C	-30 – 60 °C	-30 – 60 °C
11	Koszt implementacji	b. niski	b. niski	niski	b. wysoki	wysoki	wysoki
12	Koszt eksploatacji	Wysoki	średni	niski	niski	niski	b. niski
13	Pojemność DoD	50Ah*	90Ah	8,25Ah	42Ah	Nd.	18+5,5Ah**
14	Prąd ładowania/rozładowania	0,2C/10C	1C/2C	20C/ 100C	2C/6C	Nd.	20C/ 100C
15	Szacowany 10-letni koszt inwestycji	100%	90%	38%	53%	40%	34%

\* w temperaturze poniżej -15°C, pojemność rzeczywista ograniczona do 60% (30Ah) \*\* uwzględniono magazyn główny(dynamiczny) i pomocniczy

- Zasilanie bezprzewodowe – pętle indukcyjne umieszczone na torze wózka, zapewniające bezpośrednie bezstykowe zasilanie [4,14]

Zaletą – brak baterii, bardzo duża żywotność systemu, bezobsługowość, Wady – duży koszt instalacji, duży stopień skomplikowania instalacji, konieczność adaptacji tradycyjnych pojazdów bateryjnych.

Porównanie parametrów istniejących systemów zasilania urządzeń klasy AGV/RS oraz prezentowanego w tym artykule rozwiązania EHES przedstawiono w tabeli 1. Pojemność i masę magazynów odniesiono do tej samej jednostki objętości, która odpowiada typowym rozmiarom dostępnym w wózkach AGV/RS.

### Założenia/wymagania techniczne

Biorąc pod uwagę powyższe rozwiązania, można sprecyzować ogólne właściwości, które powinien spełniać nowoczesny system zasilania, przeznaczony do urządzeń typu AGV/RS:

- bezobsługowość (brak konieczności wymiany baterii na potrzeby ładowania);
- wysoka wydajność układu impulsowego ładowania zapewniającego bezprzerwową pracę systemu;
- bardzo duża sprawność energetyczna;
- długi czas bezprzerwowej 24h/7d i bezawaryjnej pracy;
- bardzo duża żywotność magazynu energii;
- wymiary porównywalne z konwencjonalnymi akumulatorami;
- łatwość adaptacji do różnych zastosowań (bez ingerencji w aplikację);
- praca w szerokim zakresie temperatur otoczenia;
- zasilanie napięciem bezpiecznym (SELV);
- odporność IP65 i wytrzymałość mechaniczna IK10;
- możliwość komunikacji cyfrowej z systemem zarządzania wózka AGV.

Dodatkowo, ze względu na dość dużą różnorodność wózków i brak standaryzacji wśród różnych producentów ważnym elementem jest łatwość adaptacji bez konieczności ingerencji w konstrukcję wózków AGV.

Projektowany moduł zasilający musi charakteryzować się ponadstandardowymi parametrami, dzięki którym będzie mógł być zastosowany w nietypowych warunkach, ale także pozwalającymi konkurować z klasycznymi magazynami energii dostępnymi w sprzedaży.

Tabela 2. Parametry projektowe modułu EHES

Lp.	Nazwa parametru	Wartość
1	Napięcie zasilania	48V
2	Napięcie wyjściowe	21-28V
3	Maks. natężenie prądu wyjściowego	50A
4	Minimalny czas pracy bez ładowania ( $P_{o,av}=250W$ )	100 min
5	Stosunek czasu ładowania/czasu pracy	1/20*
6	Zakres temperatur pracy	-30°C do 45°C
7	Sprawność energetyczna ładowania	Do 97%
8	Oczekiwana żywotność modułu	10 lat
9	Maksymalna wysokość obudowy	130 mm

\* proporcje czasu ładowania do czasu pracy ze średnim obciąż.  $P_{o,av}=250W$

### Prezentacja modułu EHES

Wychodząc naprzeciw tym wymaganiom, firma Wibar Technology Sp. z o.o. opracowała w ramach projektu badawczego, współfinansowanego przez NCBiR, zaawansowany technicznie, hybrydowy moduł bateryjny EHES (ang. EHES - Enhanced Hybrid Energy Storage) o unikalnych właściwościach. Moduł ten łączy w sobie najlepsze cechy istniejących na rynku rozwiązań z zakresu zasilania wózków AGV/RS, niwelując jednocześnie ich słabe punkty. EHES (rys.1) posiada kompaktowe wymiary i

jest przy tym łatwy do wdrożenia, dlatego może skutecznie zastępować klasyczne moduły bateryjne. Najważniejsze parametry opracowanego modułu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Główne parametry modułu EHES

Lp.	Nazwa parametru	Wartość
1	Napięcie zasilania	48V
2	Napięcie wyjściowe	25V
3	Maks. natężenie prądu wyjściowego	50A
4	Nominalne natężenie prądu ładowania	300A
5	Znamionowa pojemność modułu	4Ah/22Ah*
6	Czas ładowania 50%/80%	30s/45s**
7	Średni czas pracy (przy $P_{o,av}=250W$ )	20min/100min*
9	Sprawność energetyczna ładowania	Do 97%
10	Oczekiwana żywotność modułu	>10 lat
11	Zakres temperatur pracy	-30°C do 50°C
12	Wymiary zewnętrzne SxDxW	400x500x130 mm
13	Interfejsy komunikacyjne	CAN, RS485

\* pojemność podstawowa (dynamiczna)/pojemność całkowita

\*\* czas ładowania magazynu podstawowego

Moduł EHES łączy w sobie zalety technologii superkondensatorowej i litowo-jonowej. Dzięki możliwości ładowania bardzo dużym prądem, EHES umożliwia bezprzerwową pracę wózka AGV/RS, bez kłopotliwej ingerencji w jego konstrukcję, stając się całkowicie bezobsługowym systemem zasilania. Szybkie, kilkusekundowe ładowanie prądem o natężeniu 300A jest możliwe podczas technologicznych przestojów zasilanej maszyny np. przy rozładunku towarów. Ponadto posiada wbudowany system mikroprocesorowego sterowania, który służy do inteligentnego zarządzania hybrydowym magazynem energii, dopasowując jego parametry do warunków zewnętrznych oraz zapewniając niezawodną pracę i długą żywotność magazynu nawet w ujemnych temperaturach otoczenia.



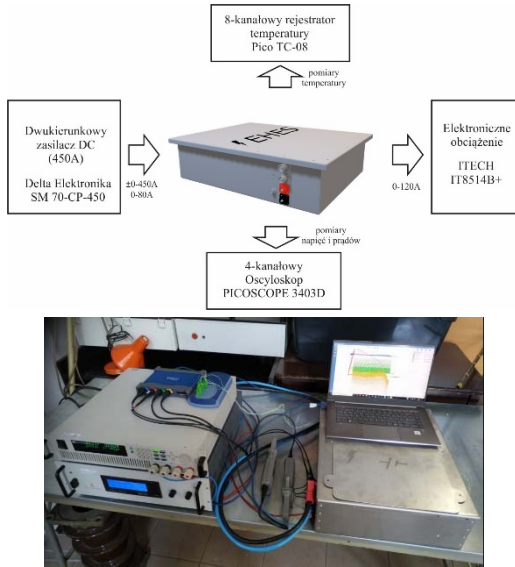
Rys.1. Wizualizacja 3D modułu EHES

Obudowa modułu EHES jest wodoodporna (IP65) oraz wytrzymała mechanicznie (IK10). Zastosowano w niej specjalne, hermetyczne szybkozłącza do ładowania (250A) i do odbiornika (100A) oraz złącze komunikacyjne. Do ładowania modułu z pełną mocą, wymagany jest standardowy zasilacz AC/DC o napięciu 48V i mocy co najmniej 10-12kW. Zakładając typowe średnie obciążenie modułu w wózku AGV na poziomie 250 W, EHES może pracować w trybie dynamicznym, bez doładowywania nawet do 20 minut, natomiast ładowanie modułu pełną mocą trwa zaledwie kilkadziesiąt sekund. W sytuacji awaryjnej, czas podtrzymania zasilania może być nawet 5-krotnie dłuższy. EHES może pracować w temperaturze od -30° do 60°C.

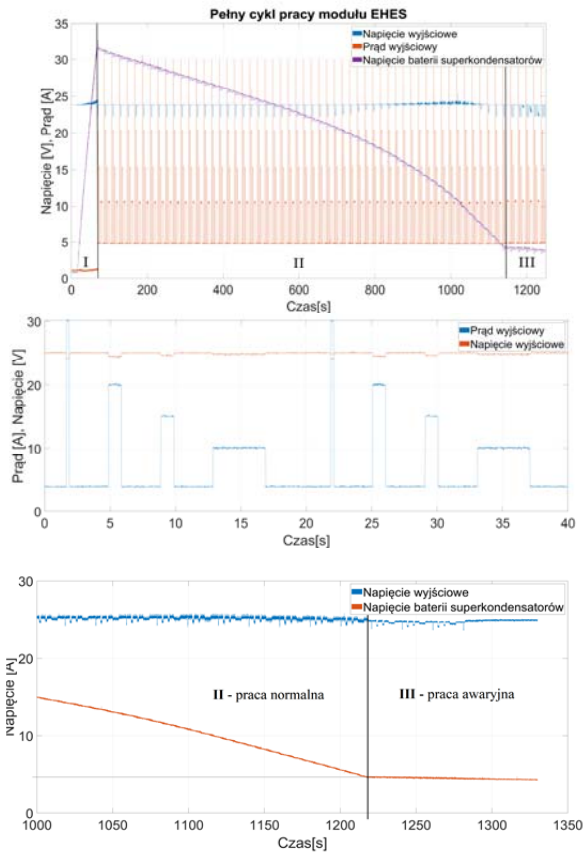
### Badania właściwości modułu EHES

Badania potwierdzające właściwości modułu EHES rozpoczęto od testów obciążeniowych w każdym z możliwych stanów pracy, tj. podczas ładowania modułu (I), podczas pracy normalnej (II), z pełnym obciążeniem, w stanie ograniczonej mocy oraz w tzw. awaryjnym stanie pracy (III). Testy te były wykonywane na specjalnym

stanowisku pomiarowym, zawierającym dwukierunkowy zasilacz SM 70-CP-450 o dużym prądzie wyjściowym (450A), obciążenie elektroniczne IT8514B+ o regulowanym profilu czasowo-prądowym, rejestrator parametrów elektrycznych modułu PICOscope 3403D oraz wielopunktowy rejestrator temperatury PICO TC-08 z sondami typu K. Schemat ideowy stanowiska oraz zdjęcie pokazano na rysunku 2, natomiast najważniejsze wyniki pokazano na wykresach na rysunku 3.



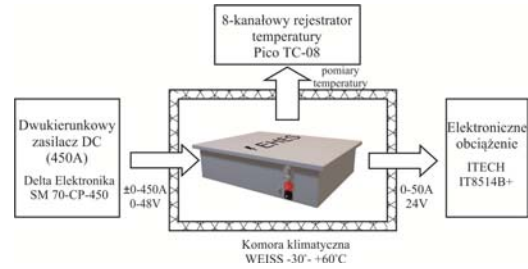
Rys.2. Schemat i zdjęcie stanowiska pomiarowego modułu EHES do testów obciążeniowych w warunkach laboratoryjnych



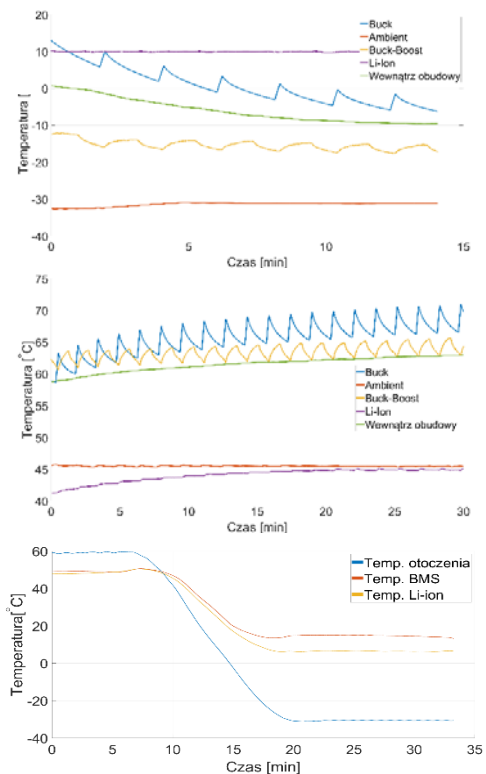
Rys.3. Wyniki testów obciążeniowych modułu EHES: od góry: pełny cykl pracy, profil obciążenia testowego, bezprzerwowe przejście z trybu normalnego w tryb awaryjny

Przebiegi na rysunku 3 prezentują pełny cykl pracy modułu EHES: I – ładowanie dużym impulsem prądu, II – praca w trybie normalnym, III – praca w trybie awaryjnym. W każdym przypadku, mimo dużej zmienności obciążenia, moduł utrzymuje na wyjściu stabilną wartość napięcia. Podobnie w przypadku tzw. pracy awaryjnej (rys.3), gdzie mimo rozładowania magazynu podstawowego system bezprzerwowo przechodzi do trybu pracy z magazynu pomocniczego. Widoczne na wykresie napięcie wyjściowe modułu pozostaje praktycznie niezmiennie i wynosi ok. 25V.

Kolejne testy wykonywano w specjalnej komorze klimatycznej, WEISS Sb22/300/80, która umożliwiła testowanie urządzenia zarówno w temperaturze głębokiej mroźni (-30°C) jak również w podwyższonej temperaturze otoczenia (60°C). Schemat ideowy oraz zdjęcie stanowiska badawczego umieszczono na rysunku 4.



Rys.4. Schemat ideowy i zdjęcie stanowiska do badań termicznych modułu EHES oraz wnętrza komory z badanym urządzeniem



Rys.5. Wyniki rejestracji temperatury wewnątrz modułu EHES: od góry - przy temperaturze ujemnej -30°C, przy temperaturze dodatniej 45°C oraz przy zmianie temperatury od 60°C do -30°C

Na rysunku 5 zaprezentowano wyniki rejestracji temperatury wewnątrz modułu w skrajnych temperaturach otoczenia. Zastosowany inteligentny system stabilizacji tej temperatury zapewnia bezpieczne warunki pracy podzespołów modułu, w tym magazynu litowo-jonowego, podczas pracy w podwyższonych i ujemnych temperaturach. Ma to szczególnie wpływ na żywotność podzespołów modułu EHES, dzięki czemu układ może pracować niezawodnie przez wiele lat zachowując deklarowane parametry. System stabilizacji zapewnia utrzymanie magazynu litowo-jonowego w bezpiecznych granicach tj. poniżej 50°C dla temperatury podwyższonej oraz ok. 10°C przy temp. otoczenia -30°C.

### Badania certyfikowane modułu EHES

Ważnym punktem badań modułu przed wprowadzeniem go do sprzedaży były testy w certyfikowanych laboratoriach zewnętrznych. Moduł EHES został przetestowany pod kątem generowania zaburzeń elektromagnetycznych, szczelności i wytrzymałości mechanicznej obudowy oraz odporności na pracę przy wibracjach i uderzeniach przyspieszenia.

a) Podstawowym badaniem urządzeń elektrycznych wprowadzanych na rynek jest pomiar generowanych zaburzeń elektromagnetycznych przewodzonych i promieniowanych. Przed rozpoczęciem pomiarów rejestrujących zaburzenia elektromagnetyczne (EMC) układów przekształtnikowych EHES, zmierzono poziom tła w środowisku pomiarowym. Stanowiło to odniesienie do dalszych pomiarów aby można było wykluczyć pojawiające się wewnątrz komory zaburzenia obce. Pomiaru były wykonywane w trzech trybach:

- Tryb 1 - brak napięcia na złączach EHES.
- Tryb 2 - ładowanie modułu EHES.
- Tryb 3 - rozładowanie modułu EHES.

Pierwsza część, czyli badanie zaburzeń na zaciskach linii zasilającej i zaciskach wyjściowych polegało na pomiarze poziomu zaburzeń w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz mierzonych na zaciskach wejściowych zasilacza pomocniczego o napięciu 3x400 V AC oraz na zaciskach wyjściowych obciążenia urządzenia badanego 24 V DC. Do pomiaru użyto sztuczne sieci pomiarowe (ESH2-Z5 Rohde oraz NNBL 8226-2 Schwarzbek) i tłumik 20dB. Wewnątrz komory umieszczono badany moduł, zasilacz pomocniczy oraz obciążenie w postaci rezystora (rys.6).



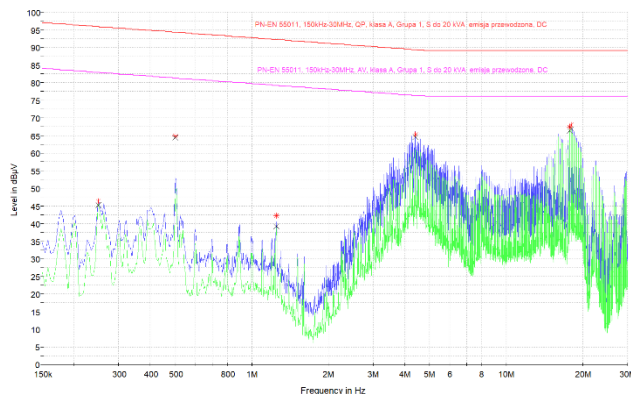
Rys.6. Schemat rozładowywanie oraz zdjęcie stanowiska do pomiaru zaburzeń przewodzonych modułu EHES

Na rysunku 7 przedstawiono reprezentatywne wyniki pomiarów zaburzeń przewodzonych urządzenia pracującego w trybie rozładowania. Wartości quasi-szczytowe oznaczono kolorem niebieskim, a średnie - zielonym. Dodatkowo oznaczono poziomy dopuszczalne

przez normę. Kolor czerwony odpowiada dopuszczalnej wartości quasi-szczytowej, a fioletowy dopuszczalnej wartości średniej, wg normy PN-EN 55011:2014-09 Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne.

Pomiar przeprowadzany był dwuetapowo. W pierwszym etapie mierzono poziom zaburzeń w całym badanym paśmie, po czym nastąpiła szczegółowa weryfikacja w punktach o najwyższych poziomach zaburzeniach (czerwone gwiazdki na rysunku 7).

Przeprowadzono szereg testów w różnych płaszczyznach przestrzeni komory, które wykazały że badane urządzenie nie przekracza dopuszczalnych norm.

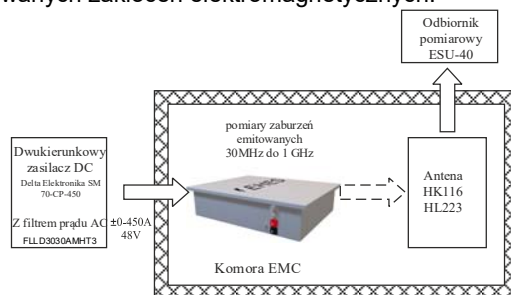


Rys.7. Poziomy napięć zaburzeń przewodzonych generowanych przez moduł pracujący w trybie 3 (rozładowanie EHES)

Druga część badań dotyczyła pomiarów zaburzeń promieniowanych w paśmie 30MHz – 1GHz. Procedura była analogiczna do badań zaburzeń przewodzonych.

W komorze umieszczono moduł EHES i antenę odpowiednią dla badanego zakresu: HK116 mierząc zaburzenia w paśmie 30MHz - 230MHz oraz HL223 mierząc zaburzenia w paśmie 230MHz - 1GHz.

Pozostałe urządzenia umieszczone zostały poza komorą EMC (rys. 8). Konstrukcja i gabaryty komory EMC wymusiły zastosowanie długich (ok. 10m) przewodów stanowiących źródło zwiększonych zakłóceń, dlatego przewody te były również ekranowane. W warunkach przemysłowych i umieszczeniu hybrydowego modułu EHES w urządzeniu jezdnym nie będzie konieczności stosowania tak długich przewodów, co też istotnie wpłynie na zmniejszenie emitowanych zakłóceń elektromagnetycznych.

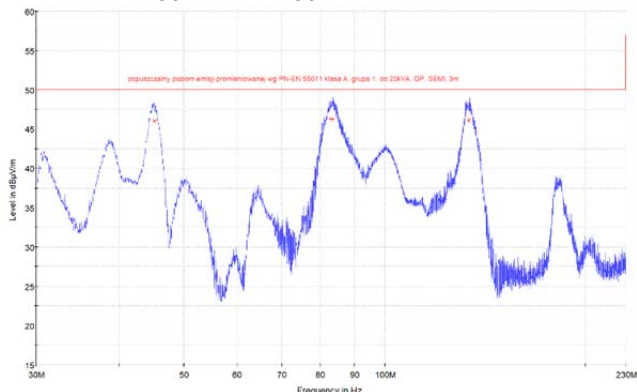


Rys.8. Schemat blokowy oraz zdjęcie stanowiska do pomiaru zaburzeń promieniowanych z modułu EHES (ładowanie EHES)



Na wykresie (rys.9) czerwoną poziomą linią EN55011, QP zaznaczono dopuszczalny poziom zaburzeń zgodnie z normą EN55011: Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne – Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych – limity i metody pomiarowe dla urządzeń klasy A (przeznaczonych do pracy w środowisku przemysłowym), dla 10m stanowiska pomiarowego.

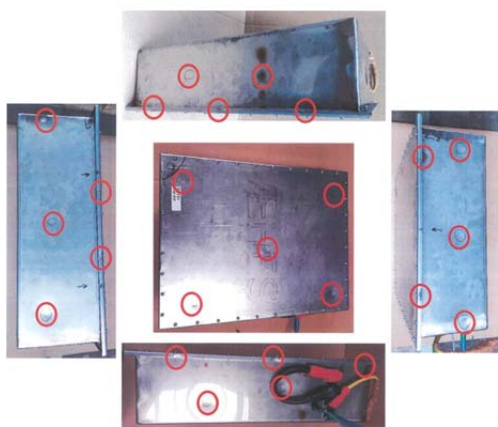
Rysunek 9 przedstawia poziom zaburzeń emitowanych w zakresie od 30 MHz do 230MHz.



Rys.9. Składowa elektryczna natężenia zaburzeń pola elektromagnetycznego w zakresie 30MHz - 230 MHz w trakcie pracy w trybie 2 (ładowanie EHES)

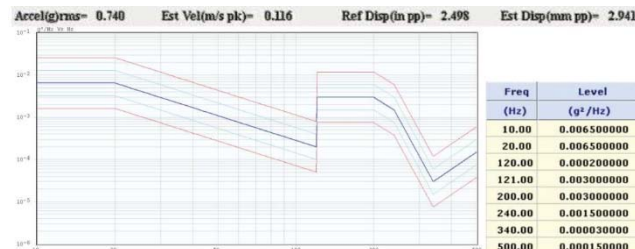
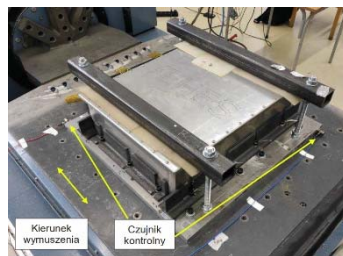
Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów stwierdzono, że poziom zaburzeń na zaciskach sieci zasilającej oraz przewodów wyjściowych badanego urządzenia nie przekracza wartości dopuszczalnych podanych w normie PN EN 55011:2016 05 dla urządzeń klasy A, grupy 1 o mocy znamionowej mniejszej niż 20kVA.

b) Niektóre środowiska przemysłowe mogą wymagać zastosowania obudowy o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej oraz odpowiedniej ochronie szczelności. Moduł hybrydowy EHES został przetestowany pod tym kątem w certyfikowanym laboratorium, poprzez narażenie obudowy na uderzenie o energię 20J (uderzenie młota pionowego o masie 5kg przy spadku swobodnym z wysokości 400mm). Każda z płaszczyzn obudowy została poddana pięciokrotnemu uderzeniu (rys.10). Następnie moduł poddano próbie szczelności w środowisku zapylnym oraz wodnym. Pozytywne rezultaty świadczą o spełnieniu wymogów stopnia ochrony IK10 zgodnie z normą PN-EN 62262:2003 i IP65 zgodnie z normą PN-EN 60529:2003+A2:2014-07.



Rys.10. Badana obudowa z zaznaczonymi miejscami uderzenia

c) Moduł hybrydowy EHES poddany został również badaniom wstrząsowym potwierdzającym możliwość zastosowania urządzenia w maszynach jezdnych (rys.11).



Rys.11. Moduł EHES zamontowany na stanowisko wibracyjnym oraz przykładowy profil badania wibracyjnego w osi poprzecznej

Badania złożone były z dwóch testów: 1) test wibracyjny zgodnie z militarną normą MIL STD 810G

Polegający na długotrwałych wibracjach (60 minut/oś) według zadanego profilu. Przykładowy profil zamieszczono na rysunku 11. Moduł EHES był poddawany wibracjom w trzech kierunkach wymuszenia (pionowy, wzdłużny, poprzeczny) będąc w stanie normalnej pracy. W trakcie testu zapewniono monitoring napięcia wyjściowego, które utrzymywało się na stałym poziomie 24V.

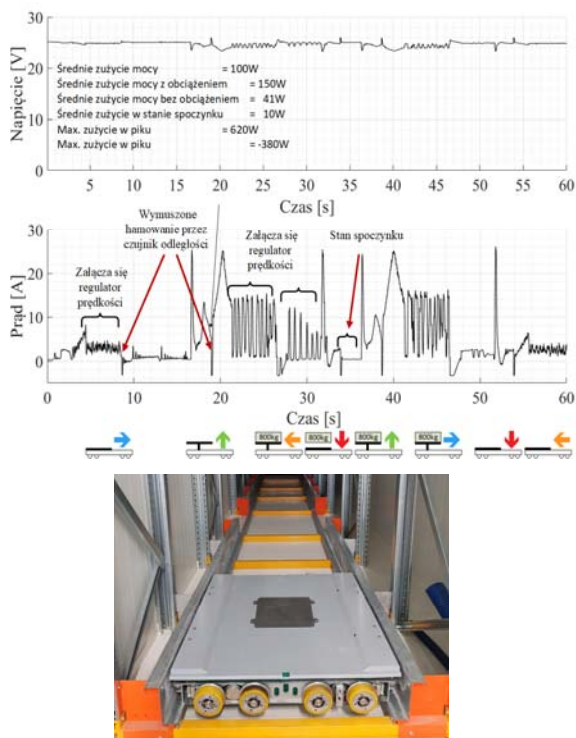
2) test udarowy zgodnie z MIL STD 810G polegający na przyłożeniu trzech krótkich (11ms) udarów o przyspieszeniu kolejno 20g, 30g, 40g o dwóch przeciwnych zwrotach w kierunku wzdłużnym.

Wyniki badań potwierdziły odporność modułu EHES na tego typu narażenia.

### Badania w środowisku przemysłowym

Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych testy potwierdziły najważniejsze właściwości opracowanego modułu hybrydowego EHES. Ostatnim etapem badań eksperymentalnych były testy wykonane w docelowym środowisku pracy tego układu, czyli we współpracy z komercyjnym wózkiem AGV/RS. Wykorzystano do tych testów wózek AGV udostępniony przez firmę Robomat Sp. z o.o., o udźwigu ok. 600kg. Tor testowy miał długość ok. 6 metrów. Na rysunku 12 zaprezentowano zarejestrowane napięcia i prądy zasilania wózka. w typowym profilu obciążenia, oraz fragment toru testowego (b). Zarówno podczas statycznych jak i dynamicznych warunków kinematycznych oraz podczas unoszenia i opuszczania palety z towarem, zarejestrowane impulsy prądowe w torze zasilania nie przekraczają wartości dopuszczalnych modułu EHES.

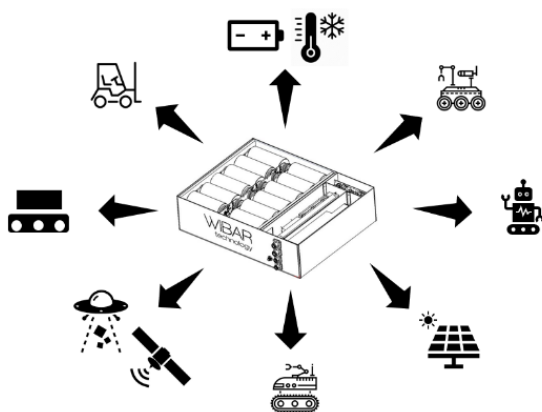
Testy przemysłowe były przeprowadzone jedynie w normalnej temperaturze otoczenia, ze względu na brak możliwości technicznych odtworzenia toru jezdny w innych warunkach temperatury otoczenia. Przeprowadzone badania certyfikacyjne potwierdziły poprawne działanie modułu EHES w warunkach przemysłowych, a wykonane wcześniej próby laboratoryjne w ujemnej i podwyższonej temperaturze otoczenia wskazują, że układ jest w stanie pracować z deklarowanymi parametrami również w tak niekorzystnych warunkach otoczenia.



Rys.12. Przebiegi prezentujące profil obciążenia modułu w wózku AGV zarejestrowany w środowisku przemysłowym

### Podsumowanie

Opracowany przez firmę Wibar Technology Sp. z o.o. inteligentny, hybrydowy moduł zasilający EHES jest jednym z najbardziej zaawansowanych na rynku rozwiązań do zasilania wózków AGV/RS. Przeprowadzone badania eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych potwierdzają bardzo wysrubowane parametry techniczne, nieosiągalne dla stosowanych dotąd systemów zasilania dla tego segmentu przemysłu. Ponadto moduł EHES spełnia najważniejsze normy pozwalające na zastosowanie go w warunkach przemysłowych. Są to normy kompatybilności elektromagnetycznej PN EN 55011:2016 05, wytrzymałości mechanicznej IK10, szczelności IP65 oraz normy MIL STD 810G.



Rys.13. Obszary zastosowania modułu zasilającego EHES

Parametry i właściwości modułu EHES oraz fakt, że mogą być one również dopasowane do indywidualnych potrzeb docelowej aplikacji, pozwalają znacznie rozszerzyć zakres możliwych zastosowań (rys. 13).

Mogą to być m.in. :

- systemy magazynowe wysokiego składowania,
- roboty samojezdne do pracy w trudnych warunkach,
- roboty i aplikacje militarne,
- chłodnie i mroźnie spożywcze i przemysłowe,
- układy napędowe z odzyskiem energii,
- lekkie pojazdy elektryczne,
- aplikacje kosmiczne.

Specjalne podziękowania dla prof. Jana Sroki z Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej za przeprowadzenie wstępnych badań kompatybilności EMC oraz firmy Robomat Sp. z o. o. za udostępnienie przemysłowego wózka AGV oraz toru testowego, które umożliwiły przetestowanie modułu EHES w warunkach przemysłowych.

**Autorzy:** dr inż. Piotr Grzejszczak, mgr inż. Marek Szymczak, mgr inż. Mikołaj Koszel, Politechnika Warszawska, Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: piotr.grzejszczak@pw.edu.pl, marek.szymczak@pw.edu.pl, mikołaj.koszel@pw.edu.pl; mgr inż. Adam Czaplicki, inż. Bartosz Nowatkiewicz, Wibar Technology sp. z o.o., ul. Nadrzeczna 147A/27, 16-300 Augustów, E-mail: adam.czaplicki@wibar.pl, bartosz.nowatkiewicz@wibar.pl.

### LITERATURA

- [1] [online]D. Łuciów, *Magazyny na drodze 4.0*, MM Magazyn Przemysłowy, 08-Maj-2018. [Online]. Available: <https://www.magazynprzemislowy.pl/artykuly/magazyny-na-drozdze-4-0>.
- [2] H. Yoshitake, R. Kamoshida and Y. Nagashima, New Automated Guided Vehicle System Using Real-Time Holonic Scheduling for Warehouse Picking, in *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4 (2019), nr. 2, 1045-1052, doi: 10.1109/LRA.2019.2894001.
- [3] X. Liu, J. Cao, Y. Yang, and S. Jiang, *CPS-Based Smart Warehouse for Industry 4.0: A Survey of the Underlying Technologies*, Computers, 7 (2018), nr. 1, str. 13.
- [4] [online] materiały Wiferion, <https://www.wiferion.com>
- [5] [online] materiały Promag, Wózki autonomiczne AIV [https://promag.pl/Wozki\\_autonomiczne\\_AIV\\_10266.html](https://promag.pl/Wozki_autonomiczne_AIV_10266.html)
- [6] S. Kumar Das, Design and Methodology of Automated Guided Vehicle-A Review, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 3 (2016), n. 03, 29–35
- [7] [online] RAYMOND Radioshuttle system <https://www.raymondcorp.com/automation/radioshuttle-system>
- [8] B. Jakubiec, Układy zasilania zrobotyzowanych systemów transportowych, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 19 (2018), nr.6, str. 486-489
- [9] [online] Movexx AGV 1000, [http://intralogix.pl/wp-content/uploads/2017/12/UK\\_AGV1000.pdf](http://intralogix.pl/wp-content/uploads/2017/12/UK_AGV1000.pdf),
- [10] [online] Jugheinrich, <https://www.jungheinrich.pl/produkty/akumulatory-technika-ladowania/akumulatory/akumulatory-litowo-jonowe-439688>
- [11] Z. Li, C. Zhu, J. Jiang, K. Song and G. Wei, "A 3-kW Wireless Power Transfer System for Sightseeing Car Supercapacitor Charge," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32 (2017), n. 5, 3301-3316,, doi: 10.1109/TPEL.2016.2584701.
- [12] [online] Sew Eurodrive, <https://zrobotyzowany.pl/informacje/technologie/3100/agv-samojezdne-wozki-transportowe>
- [13] J. Cowperthwaite , *Ultracapacitor and battery device with standard form factor*, 10-Paź-2012.
- [14] G.A. Covic, J.T. Boys, *Inductive power transfer*, 101 (2013), nr.6,