

Stanisław Gawron

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

## WYBRANE, INNOWACYJNE PROJEKTY MASZYN ELEKTRYCZNYCH Z MAGNESAMI TRWAŁYMI I ICH PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA

### SELECTED INNOVATIVE DESIGNS OF ELECTRICAL MACHINES WITH PERMANENT MAGNETS AND THEIR PRACTICAL APPLICATIONS

**Streszczenie:** Maszyny elektryczne z magnesami trwałymi są prostej budowy, mają najwyższą sprawność energetyczną oraz dysponują największą gęstością mocy ze wszystkich znanych i stosowanych rodzajów maszyn elektrycznych. Maszyny tego typu doskonale nadają się do układów napędowych, w których wymagana jest szeroka regulacja prędkości obrotowych oraz w napędach o dużym momencie rozruchowym. Maszyny tego typu stosowane są również w napędach, w których determinującym parametrem jest ich masa. W niniejszym artykule przedstawiono i omówiono najciekawsze projekty maszyn z magnesami trwałymi i ich praktyczne zastosowania, które w kilku ostatnich latach zrealizowano w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL.

**Abstract:** Electrical machines with permanent magnets are characterized by simple design, highest power efficiency and highest power density among all known and used types of electrical machines. PM machines are perfectly suited to drives requiring wide range of rotational speed control and drives with high starting torque. They are also used in drives, where weight of the machine is the decisive factor. In the current paper the most interesting designs of electrical machines and their applications have been discussed. All of the described machines have been designed and built in the Institute of Electrical Drives and Machines Komel.

**Słowa kluczowe:** *napęd elektryczny, silnik z magnesami trwałymi, prądnica z magnesami trwałymi*

**Keywords:** *electric drive, permanent magnet synchronous motor, permanent magnet synchronous generator*

## 1. Wstęp

Maszyny elektryczne wirujące, w których zastosowano magnesy trwałe, są zazwyczaj prostej budowy. Najczęściej spotykane są rozwiązania konstrukcyjne, w których część zewnętrzna, zwana potocznie stojanem jest nieruchoma, natomiast część wewnętrzna, zwana wirnikiem obraca się.

Maszyny te nie mają uzwojenia w wirniku i charakteryzują się najlepszymi właściwościami elektromechanicznymi wśród wszystkich typów przetworników energii mechanicznej na elektryczną [2, 8] i odwrotnie:

- mają najwyższą sprawność energetyczną,
- generują energię elektryczną w całym zakresie prędkości obrotowej (w przypadku prądnicy),
- mają największą gęstość mocy,
- nie mają pierścieni ślizgowych i szczotek.

Maszyny tego typu stosowane są jako prądnice w elektrowniach wiatrowych i wodnych oraz jako silniki, głównie w napędach różnego typu pojazdów i urządzeń, w których wymagana jest zmiana prędkości obrotowej w szerokim za-

kresie lub wymagana jest niska masa lub objętość.

## 2. Podział maszyn z magnesami trwałymi

Maszyny z magnesami trwałymi, ze względu na zastosowanie, dzieli się na silniki oraz prądnice (generatory). Nie jest to jednak podział prosty, gdyż, np. w przypadku zastosowań trakcyjnych (pojazdy elektryczne), pod względem eksploatacyjnym, obie funkcje (silnikowa i generatorowa) są jednakowo istotne.

Innym, często stosowanym podziałem w maszynach z magnesami trwałymi jest ich podział ze względu na konstrukcję. Podstawowy podział konstrukcyjny to: rozwiązanie najbardziej rozpowszechnione, czyli część zewnętrzna maszyny (obudowa) zatrzymana, a obraca się wirnik z wałem, oraz rozwiązanie odwrotne, czyli część zewnętrzna obraca się, a wał z twornikiem jest nieruchomy. Rozwiązanie, w którym wał silnika jest zatrzymany, a obraca się część zewnętrzna stosowane jest np. w silnikach w kołach.

W podziale konstrukcyjnym maszyn z magnesami trwałymi istnieje wiele rozwiązań ze względu na kształt obwodu elektromagnetycznego, głównie kształtu wirnika i umieszczeniu w nim magnesów trwałych [8]. Podstawowy podział pod tym kątem dotyczy maszyn z wirnikiem typu SPM (Surface Permanent Magnet) oraz typu IPM (Interior Permanent Magnet). Warto również wspomnieć o podziale maszyn z magnesami trwałymi, głównie silników, pod kątem sposobu zasilania i sterowania:

- ✓ silniki synchroniczne (PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor),
- ✓ silniki bezszczotkowe prądu stałego z komutatorem elektronicznym sterowane sinusoidalnie (PMDCBMSC - Permanent Magnet Direct Current Brushless Motor with Sine Control),
- ✓ silniki bezszczotkowe prądu stałego z komutatorem elektronicznym sterowane trapezowo (PMDCBMTC - Permanent Magnet Direct Current Brushless Motor with Trapez Control).

Pozostałe podziały maszyn, zarówno konstrukcyjne, jak również pod względem sterowania są już tylko wariacją powyższych.

### 3. Silniki z magnesami trwałymi – zastosowania trakcyjne

W ostatnich latach, Instytut KOMEL opracował wiele ciekawych praktycznych projektów dotyczących silników z magnesami do różnych zastosowań [25]. Opracowane w ramach projektów prototypy, w celu weryfikacji uzyskanych parametrów, zostały poddane szczegółowym badaniom laboratoryjnym, a następnie zamontowane w konkretnych pojazdach, które z powodzeniem jeżdżą do dnia dzisiejszego (testowanie długofalowe). Poniżej przedstawiono najciekawsze projekty silników z magnesami trwałymi wraz z ich zastosowaniem.

#### 3.1. Samochód elektryczny Re-Volt

Na przełomie 2004-2005 roku, na zlecenie szwajcarskiej firmy, został zaprojektowany oraz wykonany napęd do elektrycznego samochodu osobowego [5]. Napęd składał się początkowo z silnika z magnesami trwałymi typu SPM, a później, wraz z rozwojem pojazdu zastosowano silnik z magnesami trwałymi typu IPM. W obu rozwiązaniach zastosowano przekładnię mechaniczną o stałej wartości przełożenia. Znamionowa moc silnika wynosi 14.9 kW, przy napięciu zasilania z baterii 135 V<sub>DC</sub>.

W sumie wyprodukowano kilkaset sztuk pojazdów z silnikami produkcji KOMEL, które jeżdżą do dnia dzisiejszego.



Rys. 1. Samochód elektryczny Re-Volt z silnikiem elektrycznym o mocy 14.9 kW

Silnik do elektrycznego samochodu Re-Volt był pierwszym, zakończonym późniejszym wdrożeniem napędem opracowanym i wykonanym w Instytucie KOMEL.

#### 3.2. Elektryczny Fiat Panda

Kilka lat później (2011-2013) w KOMEL-u realizowano projekt badawczy rozwojowy pt.: „Bezemisyjny napęd elektryczny nowej generacji (E-Kit) do samochodów osobowych i dostawczych o masie całkowitej do 3.5 t.”. Celem projektu E-Kit było opracowanie i wdrożenie kompleksowego rozwiązania w pełni elektrycznego napędu samochodów osobowych lub dostawczych, będącego zamiennikiem dla fabrycznie montowanych napędów spalinowych [19, 20].

W miejsce silnika spalinowego zastosowano wysokosprawny silnik elektryczny z magnesami trwałymi, zasilany za pośrednictwem przekształtnika energoelektronicznego. Zbiornik z paliwem płynnym zastąpiono nowoczesnym zespołem akumulatorowym, sterowanym i nadzorowanym przez inteligentny układ elektroniczny. Układ przeniesienia napędu z wału silnika elektrycznego na koła został tak zaprojektowany, aby w możliwie dużym stopniu wykorzystać elementy oryginalnie pojazdu. Układy pomocnicze samochodu, takie jak wspomaganie układu kierowniczego, hamulcowego itp., zostały dostosowane do specyfiki napędu elektrycznego.

W ramach projektu wykonano konwersję dwóch małych (miejskich) samochodów, osobowego i dostawczego.



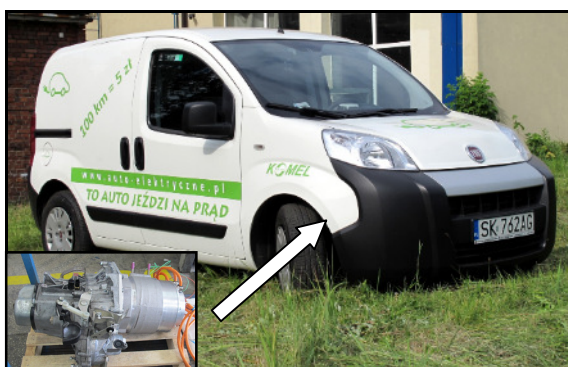
Rys. 2. Samochód elektryczny Fiat Panda z silnikiem elektrycznym o mocy 41 kW

Najważniejsze dane silnika w napędzie elektrycznym samochodu Panda:

- moc znamionowa 41 kW;
- moment znamionowy 119 Nm;
- prąd znamionowy 182 A;
- prędkość obrotowa znamionowa 3300 min<sup>-1</sup>;
- moc maksymalna, przy prędkości bazowej 62 kW;
- moment maksymalny 180 N.m;
- prąd maksymalny 280 A;
- typ chłodzenia: ciecżą.

### 3.3. Elektryczny samochód osobowo-towarowy Fiat Fiorino

Elektryczny samochód osobowo-towarowy Fiat Fiorino, podobnie jak Fiat Panda, został opracowany w ramach projektu pt.: „Bezemisijny napęd elektryczny nowej generacji (E-Kit) do samochodów osobowych i dostawczych o masie całkowitej do 3.5 t”. Szczegóły dotyczące konwersji opisano w punkcie 3.2 oraz szerzej w innych publikacjach [19, 20].



Rys. 3. Samochód elektryczny Fiat Fiorino z silnikiem elektrycznym o mocy 55 kW

Podstawowe parametry silnika elektrycznego z magnesami trwałymi dedykowanego do napędu miejskiego samochodu osobowo – dostawczego Fiata Fiorino:

- moc znamionowa 55 kW;
- moment znamionowy 119 Nm;

- prąd znamionowy 182 A;
- prędkość obrotowa znamionowa 4400 min<sup>-1</sup>;
- moc maksymalna 84 kW, przy prędkości 5000 min<sup>-1</sup>;
- moment maksymalny (chwilowy, 2-min.) 180 Nm, przy prądzie maksymalnym 282 A;
- typ chłodzenia: ciecżą.

Oba projekty były dofinansowane ze środków na naukę w latach 2011 ÷ 2013, jako projekt badawczy rozwojowy nr NR01-0084-10.

### 3.4. Silnik napędowy do hybrydowego samochodu dostawczego Pasagon

W latach 2010 – 2012 w Instytucie KOMEL opracowano hybrydowy bimodalny układ napędowy pojazdu mechanicznego. Nowoczesny układ napędowy składa się z tradycyjnego napędu spalinowego plus zabudowanego na wale transmisyjnym (wale kardana) silnika elektrycznego [11, 12]. Silnik jest zasilany z baterii akumulatorów poprzez dwukierunkowy przekształtnik energoelektroniczny. Napęd bimodalny charakteryzuje się tym, że silnik spalinowy i silnik elektryczny mogą pracować wyłącznie indywidualnie [10]. Oba silniki nie mogą napędzać pojazdu jednocześnie. Przy pracy silnika spalinowego, silnik elektryczny może pracować jako prądnica ładując akumulatory pokładowe, a także odzyskiwać energię kinetyczną podczas hamowania pojazdu.



Rys. 4. Samochód o napędzie hybrydowym bimodalnym spalinowo – elektrycznym

Podstawowe parametry opracowanego samochodu hybrydowego:

- maksymalny zasięg jazdy – 100 km;
- prędkość maksymalna – 70 km/h;
- pojemność energetyczna akumulatora trakcyjnego – 21kWh;
- czas ładowania baterii – ok. 3 godzin, dla ładowarki 3-fazowej;

- moc maksymalna silnika elektrycznego 70 kW;
- maksymalny moment silnika - 520Nm.

Praca finansowana ze środków NCBiR w ramach projektu rozwojowego nr NR01-0085-10/2010.

### 3.5. Elektryczne pojazdy sportowo - rekreacyjne

W ciągu ostatnich lat coraz większą popularność zdobywają pojazdy sportowo-rekreacyjne. Pojazdy te są wykorzystywane do rekreacyjnego przemieszczania się po torach terenowych lub na polach golfowych, parkach lub innych terenach, gdzie wymagany jest napęd na dwa lub cztery koła.

Pojazdy sportowo-rekreacyjne z napędem elektrycznym zyskują coraz większy udział w rynku oraz mają coraz więcej zastosowań, związane to jest z ich zaletami [9, 13], m.in:

- niskie koszty eksploatacji,
- niewielkim hałasem,
- wysoką dynamiką pojazdu szczególnie przy niskich prędkościach pojazdu,
- brakiem emisji dwutlenku węgla i spalin,
- możliwością odzyskiwania energii przy redukcji prędkości lub hamowaniu,
- małym prawdopodobieństwem zapalenia się podczas wywrotki lub wypadku.



Rys. 5. Pojazd sportowo rekreacyjny [24] napędzany silnikiem z magnesami trwałymi o mocy 14,9kW

W ramach konsorcjum z firmą EleDriveCo powstał pojazd o parametrach [24]:

- silnik o mocy 14,9 kW,
- napięcie zasilania 90 V<sub>DC</sub>,
- chłodzenie cieczą,
- zasięg 100 km,
- prędkość maksymalna 110 km/h,

- moment obrotowy 75 Nm,
- bateria trakcyjna Li-Po, 9,5 kWh.

Projekt zrealizowany z dof. ze środków NCBiR w ramach projektu rozwojowego INNOTECH-K1/INI/17/155502/NCBR/12.

### 3.6. Prototyp samochodu elektrycznego „ELV001”

W samochodzie „ELV001” przyjęto koncepcję przedniego napędu opartą na strukturze dwusilnikowego napędu z podwójną przekładnią pasową dla każdego silnika. Praca obu silników ze stałym momentem realizuje funkcję dyferencjału mechanicznego, czyli elektrycznej przekładni planetarnej.

Jak sami autorzy projektu zauważyli [1], zastosowanie podwójnej przekładni pasowej w napędzie „ELV001” nie jest rozwiązaniem optymalnym w aspekcie kosztów budowy, sprawności, cichobieżności, eksploatacji i niezawodności samochodu.

Napęd samochodu składa się z 2 silników elektrycznych z magnesami trwałymi z chłodzeniem cieczą o mocy  $P_N = 15$  kW każdy, przy obrotach  $n_N = 3400$  obr/min. Napięcie zasilania falowników wynosiło  $U_{DCN} = 105$  V. Prędkość maksymalna silników  $n_{max} = 7000$  obr/min. Silniki w tym projekcie opracowywał i dostarczał KOMEL.



Rys. 6. Dwusilnikowy samochód elektryczny ELV001

Podstawowe dane samochodu:

- masa całkowita 1190 kg – w tym pojazdu 850 kg, baterii 250 kg,
- zasięg samochodu, przy prędkości 50 km/h około 160 km.

### 3.7. Napęd elektryczny do pojazdu Elipsa

Pojazdy Elipsa wyposażone są w dwa silniki elektryczne z magnesami trwałymi [23] (opracowane i produkowane w KOMEL-u), które

charakteryzują się dużą wytrzymałością i trwałością oraz wysoką bezawaryjnością. Współpraca obu silników realizuje funkcję dyferencjału mechanicznego, czyli elektrycznej przekładni mechanicznej [6].

Silniki pracują cicho i bezemisyjnie, co zwiększa możliwości zastosowania i wykorzystania Elipsy, m.in. na obszarach zamkniętych dla ruchu pojazdów spalinowych oraz w dużych halach, budynkach, magazynach.



Rys. 7. Pojazd elektryczny Elipsa VERSTYLE

Podstawowe parametry silnika do napędu pojazdu ELIPSA:

- moc znamionowa 2.2 kW,
- napięcie zasilania 48 V<sub>DC</sub>,
- prędkość obrotowa 2200 obr/min.

### 3.8. Napędy elektryczne do lekkich statków powietrznych

W latach 2008-2009 w Instytucie KOMEL realizowany był, jako pierwszy w Europie, projekt napędu elektrycznego do załogowego statku powietrznego [25]. Projekt zrealizowano na bazie paralotni plecakowej, dla której opracowano lekki, elektryczny, bezprzekładniowy system napędowy.

Układ napędowy przeszedł badania laboratoryjne, a następnie zamontowano go bezpośrednio w paralotni (rys.8), na której dokonano pierwsze loty zakończone sukcesem.

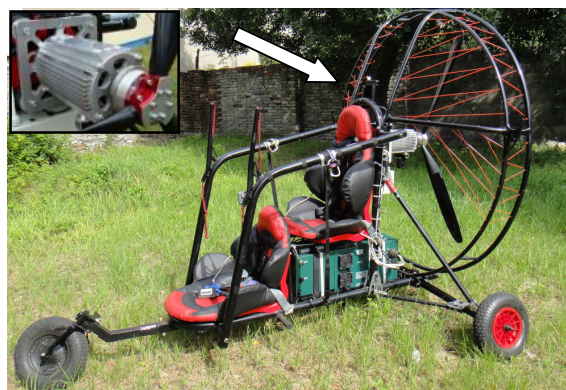
Parametry paralotni plecakowej:

- moc znamionowa: 3.0 kW,
- moc startowa: 8.0 kW,
- napięcie zasilania: 60 V<sub>DC</sub>,
- prędkość obrotowa śmigła: 2400 obr/min,
- czas lotu z włączonym silnikiem elektrycznym: 50 min,
- masa paralotni: 37 kg.



Rys. 8. Prototypowa paralotnia plecakowa z napędem elektrycznym

W następnych miesiącach, w ramach dalszego rozwoju projektu, opracowano kolejny układ napędowy do 2-osobowej paralotni (rys. 9). Ta paralotnia również przeszła pozytywne próby lotnicze.



Rys. 9. Przykład zastosowania wysoko wydajnego silnika z magnesami trwałymi - paralotnia 2-osobowa

Parametry paralotni wózkowej 2-osobowej:

- moc znamionowa: 15 kW,
- moc startowa: 23 kW,
- max ciąg: 100 kg,
- czas lotu z włączonym silnikiem elektrycznym: 60 min,
- startowa prędkość obrotowa śmigła: 2450 obr/min,
- masa paralotni: 125 kg,
- nowoczesna bateria polimerowo-litowa o pojemności: 7kWh.

### 3.9. Elektryczne zespoły napędowe do jednostek pływających

Ekologiczne i ekonomiczne silniki elektryczne cechuje cicha praca i brak emisji spalin [25]. Zaprojektowane i wykonane w KOMEL-u elektryczne silniki napędowe z magnesami trwałymi charakteryzują się wysoką sprawnością i korzystnym stosunkiem mocy do masy.

Zastosowany w napędzie łodzi silnik cechuje niska prędkość obrotowa (1500 obr/min), co umożliwia bezpośrednie połączenie jego wału z wałem śruby napędowej, bez konieczności redukcji prędkości obrotowej.

Przykładowo, silnik o mocy 2,3 kW (4.5kW moc maksymalna), w jednostce o długości 6 m i wyporności 1,2 tony, pozwala na rozwinięcie prędkości ok. węzłów 6 (ok. 11 km/h).

Poniżej, na rysunku 10 przedstawiono przykład zastosowania tego typu silników.



Rys. 10. Silnika z magnesami trwałymi zastosowany w napędzie łodzi

### 3.10. Elektryczne napędy do górniczej kolejki transportowej

Ciągnik GAD-1 zasilany jest z własnego zeroemisyjnego akumulatora nowej generacji, a przeznaczony jest do prac transportowych w podziemiach kopalń. Opracowany przez KOMEL napęd elektryczny cechuje się niskim poziomem hałasu, wysoką sprawnością, odzyskiwaniem energii podczas zjazdu na nachyleniach oraz podczas hamowania [7, 14].

W zestawie zastosowanych jest 8 szt. silników o parametrach:

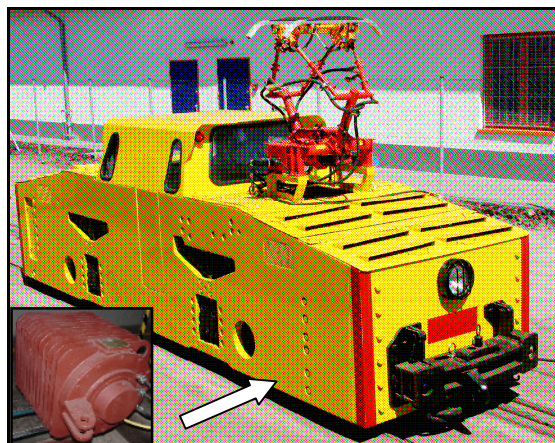
- moc znamionowa 10.8 kW,
- napięcie zasilania 150 V<sub>DC</sub>,
- moment obrotowy 115 Nm,
- prędkość obrotowa 900 obr/min,
- sprawność – powyżej 91%.



Rys. 11. Silnik z magnesami trwałymi w zastosowaniu w bardzo ciężkich i wymagających warunkach pracy

### 3.11. Napędy do górniczych lokomotyw transportowych

Na przełomie 2005 i 2006 roku opracowano w Instytucie KOMEL nowy silnik z magnesami trwałymi do napędu lokomotyw kopalnianych typu Ld-31EM. Nowy silnik zastępuje awaryjny i niskosprawny silnik prądu stałego typu LDa 327a. W nowo opracowanym silniku, w stosunku do stosowanego silnika prądu stałego LDa 327a, zwiększono moc mechaniczną o ponad 30%, zwiększono sprawności o ok. 9 punktów procentowych, przy równoczesnym obniżeniu masy silnika o ok. 15%. Gabaryt nowego silnika, ze względów montażowych musiał pozostać identyczny, jak w silniku LDa 327a.



Rys. 12. Silnik z magnesami trwałymi w zastosowaniu w bardzo ciężkich i wymagających warunkach pracy

Najważniejsze parametry silnika [25]:

- moc znamionowa 33 kW (S1) i 60 kW (S2),
- prąd znamionowy 175 A (S1) i 380 A (S2),
- sprawność 95 % (S1) i 97 % (S2),
- prędkość obrotowa 1500 i 1080 obr/min,
- moment znamionowy 210 Nm i 530 Nm,
- moment maksymalny 620 Nm.

### 3.12. Bezprzekładniowe, elektryczne napędy do przenośników taśmowych

Bardzo spektakularnym zastosowaniem silników z magnesami trwałymi jest bezprzekładniowy napęd przenośników taśmowych. Taki układ napędowy jest bardzo wymagający nie tylko pod względem konstrukcyjnym, np. praca w strefach zagrożonych wybuchem, ale również, (a może przede wszystkim), ze względu na konieczne do osiągnięcia parametry elektromechaniczne.

W roku ubiegłym, wspólnie z firmą NAFRA zakończono realizację projektu bezprzekładniowego górniczego silnika do przenośników taśmowych.

Znamionowa prędkość obrotowa silnika wynosi 45 obr/min, co pozwala na uzyskanie prędkości liniowej taśmy ok. 3.2 m/s. Napęd zasilany jest z energoelektronicznej przetwornicy częstotliwości, a przetwornica zasilana jest napięciem 1000 V. Znamionowy moment obrotowy silnika wynosi 53 kNm, natomiast moment maksymalny 110 kNm. Zasilanie z przekształtnika energoelektronicznego umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej od 0 do 55 obr/min [22].



Rys. 13. Prototypowy silnik z wirnikiem zewnętrznym o mocy 250 kW [22]

Praca realizowana w ramach projektu badawczo - rozwojowego nr POIG.01.03.01-24-075/12.

## 4. Rozwiązania konstrukcyjne dla OZE (Odnawialne Źródła Energii)

Maszyny z magnesami trwałymi, ze względu na swoją wysoką sprawność, idealnie nadają się do zastosowania w urządzeniach produkujących energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii. Są to, np. wszelkiego typu elektrownie wiatrowe, elektrownie wodne lub agregaty

spalające biogaz. W niniejszym punkcie zaprezentowano praktyczne zastosowania prądnic z magnesami trwałymi właśnie w takich urządzeniach.

### 4.1. Prądnice do elektrowni wiatrowych o poziomej osi obrotu

Już w 2003 roku w Instytucie KOMEL powstała mała doświadczalna elektrownia wiatrowa o poziomej osi obrotu. Początkowo była to elektrownia wielołopatowa (12 łopat), jednak później ewoluowała do rozwiązania konstrukcyjnego 3-łopatowego.

Powstała w ten sposób elektrownia jest tak zaprojektowana, aby była możliwość samodzielnego jej wykonania metodą gospodarczą [3, 4]. W Instytucie dostępna jest dokumentacja konstrukcyjna, którą można nabyć na zasadzie umowy licencyjnej.

Najważniejsze parametry techniczne:

- system bezprzekładniowy – zastosowano prądnicę z magnesami trwałymi,
- średnica koła wiatrowego 5.8 m,
- moc maksymalna elektrowni wiatrowej 6kW.



Rys. 14. Doświadczalna elektrownia wiatrowa z prądnicą z magnesami trwałymi o mocy 6 kW

Obecnie, w celach badawczych, elektrownię tą zastąpiono elektrownią o pionowej osi obrotu, którą szerzej opisano w kolejnym punkcie.

#### 4.2. Prądnice do elektrowni wiatrowych o pionowej osi obrotu

W celu pokazania kolejnych możliwości zastosowania maszyn z magnesami trwałymi, opracowano prądnicę o konstrukcji do elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu [18]. Z uwagi na konstrukcję turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu, najrozsądniejszym z punktu widzenia stopnia skomplikowania, masy i niezawodności całego zespołu elektrowni wiatrowej (turbina + prądnica), wydaje się być zastosowanie w tych elektrowniach prądnic z wirnikiem zewnętrznym. Dzięki wirnikowi zewnętrznemu, łopatki turbiny mogą być mocowane bezpośrednio do kadłuba prądnicy, np. do górnej tarczy łożyskowej prądnicy; cały układ jest przy tym bezprzekładniowy.

Moc elektrowni wynosi 2.5 kW, przy prędkości obrotowej wirnika  $n_N = 90$  obr/min. Przy tych parametrach moc znamionowa prądnicy wynosi  $P_N = 2$  kW ( $f_N = 30$  Hz,  $U_N = 230$  V).



Rys. 15. Przykładowe zastosowanie prądnicy z magnesami trwałymi z wirnikiem zewnętrznym

#### 4.3. Systemy do wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach wodnych

W ramach prac badawczych Instytutu KOMEL, w konsorcjum z ZM EMIT S.A oraz ENEL-PC sp. z o.o., opracowano koncepcję, wykonano prototyp i przeprowadzono badania nowego zespołu prądotwórczego [15, 21].

Jednym z najważniejszych parametrów było zwiększenie sprawności energetycznej całego zespołu prądotwórczego.



Rys. 16. Bezprzekładniowy zespół prądotwórczy w elektrowni wodnej z generatorem z magnesami trwałymi (kolor zielony – generator)

Zwiększenie sprawności całego zespołu zrealizowano poprzez:

- wprowadzenie możliwości płynnej regulacji prędkości obrotowej turbiny wodnej w szerokim zakresie, stosownie do aktualnych warunków wodnych, w jakich pracuje turbina,
- zastąpienie generatora asynchronicznego z wirnikiem klatkowym generatorem synchronicznym z magnesami trwałymi,
- wyeliminowanie przekładni mechanicznej (multiplikatora prędkości) między turbiną wodną, a generatorem,
- możliwość programowego sterowania współczynnikiem i oddawanie mocy do sie-



ci, przy wysokim współczynniku mocy  $\cos\varphi=1$ ,

- bezproblemowe przyłączanie generatora do sieci przesyłowej (wyeliminowanie problemów związanych z koniecznością synchronizacji generatora z siecią),
- możliwość programowej kontroli i ograniczania zawartości harmonicznych w napięciu wyjściowym przemiennika,
- możliwość pracy hydroelektrowni na „słabej” sieci oraz autonomicznie w sieciach rozdzielonych (zamkniętych).

*Praca ta została dofinansowana ze środków publicznych przez NCBiR, w ramach projektu nr PBS1/B4/4/2012.*

Poniżej, na rysunku 17, przedstawiono inny przykład małej elektrowni wodnej, ale w wykonaniu amatorskim. Elektrownia zbudowana jest na niewielkim cieku wodnym znajdującym się w Miliku koło Muszyny. Wyprodukowana w ten sposób energia elektryczna, o zmiennych parametrach, uzależnionych od prędkości przepływu wody, jest bezpośrednio zużywana do ogrzewania ciepłej wody użytkowej oraz do grzewania domu.

Zainstalowana na początku 2004 roku prądnica, pracuje do dnia dzisiejszego.

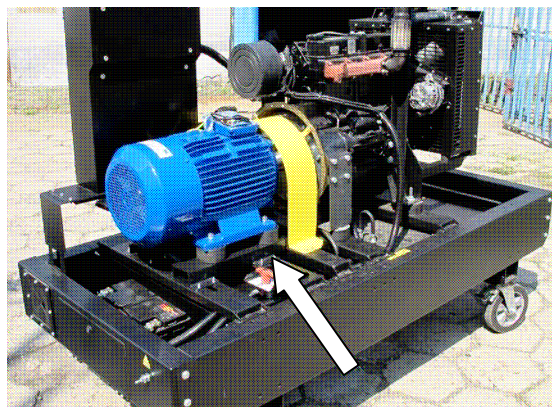


*Rys. 17. Mała przydomowa elektrownia wodna w wykonaniu amatorskim o mocy 1.5 kW*

#### 4.4. Wysokosprawne prądnice do bioagregatów prądotwórczych

Ciekawym urządzeniem, ze względu na możliwości aplikacyjne zastosowania prądnic z magnesami trwałymi, jest agregat spalinowy prądotwórczy nowej generacji. Agregaty takie mogą być zasilane olejem napędowym lub biogazem, np. pozyskiwanym z procesu gazyfikacji biomasy.

Poniżej przedstawiono przykładowy spalinowy agregat prądotwórczy pracujący z prądnicą z magnesami trwałymi [16].



*Rys. 18. Agregat spalinowo-elektryczny o mocy znamionowej 30 kVA i prędkości 1500 obr/min [16]*

W ramach projektu opracowano ponad 20 konstrukcji prądnic z magnesami trwałymi dedykowanych do zastosowań w agregatach prądotwórczych. Agregaty te, przy odpowiednim paliwie, np. biogaz, mogą pracować jako odnawialne źródła energii. Cechą charakterystyczną opracowanych urządzeń, jest poprawa skuteczności przetwarzania energii mechanicznej w elektryczną. W stosunku do obecnie stosowanych prądnic, uzyskano poprawę sprawności ok. 4%. Poprawa sprawności jest to bardzo istotna z punktu widzenia przetwarzania mocy, np. biogazowniach, gdyż daje realnie większe zyski ze sprzedaży energii elektrycznej.

*Praca dofinansowana ze środków publicznych przez OPI, w ramach projektu rozwojowego nr WND-POIG.01.03.01-24-015/09.*

## 5. Podsumowanie

W niniejszej publikacji zaprezentowano najciekawsze projekty z zakresu maszyn z magnesami trwałymi zrealizowane w Instytucie KOMEL w ciągu ostatnich 10 lat.

Celem przewodnim było pokazanie praktycznych możliwości stosowania takich maszyn. W artykule skupiono się głównie na najistotniejszych parametrach eksploatacyjnych oraz na wizualnym zaprezentowaniu wyników projektów. Przez ostatnie 10 lat, w Instytucie KOMEL zrealizowano szereg innych, nie mniej ciekawych prac. Prace były realizowane nie tylko z zakresu maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi, ale również maszyn indukcyjnych, np. zaprojektowanie oraz opracowanie doku-

mentacji konstrukcyjnej silników o mocy 180 kW do napędu pojazdu trakcyjnego typu METROPOLIS (Metro Warszawskie), które są produkowane przez ZM EMIT S.A. z Żychlina. Jednak ze względu na ograniczoną objętość artykułu, nie ma możliwości zaprezentowania wszystkich zrealizowanych projektów.

Wyniki z realizacji większości prac badawczo - rozwojowych znajdują się na stronie internetowej KOMEL-u: [www.komel.katowice.pl](http://www.komel.katowice.pl), do której przeglądania zapraszamy.

## 6. Literatura

- [1]. Adamczyk D., Michna M., Ronkowski M., Kutt F., Bernatt J., Pistelok P., Król E., Kucharski Ł., Kwiatkowski M., Byrski Ł., Koziół M.: „*Koncepcja, modelowanie i symulacja układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „ELV001”*”, Maszyny Elektryczne-Zeszyty Problemowe nr 92/2011, str. 17 – 22.
- [2]. Bernatt J.: „*Obwody elektryczne i magnetyczne maszyn elektrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi*”, monografia KOMEL, Katowice 2010.
- [3]. Bernatt J., Gawron S., Król E.: „*Energia wiatru jako źródło taniego ciepła*”, Śląskie Wiadomości Elektryczne, Nr (58) 01/2005.
- [4]. Bernatt J., Gawron S., Król E.: „*Wykorzystanie energii wiatru do efektywnego dogrzewania pomieszczeń gospodarczych*”, Maszyny Elektryczne-Zeszyty Problemowe nr 72/2005, s. 5-9.
- [5]. Bernatt J., Król E.: „*Comparison of Two Versions of Electric Motors Used in a Drivetrain of an Electric Car*”. The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, EVS-25 Shenzhen, China, Nov. 5-9, 2010.
- [6]. Bodora A., Biskup T., Domoracki A.: „*Dwustrefowy napęd małego pojazdu elektrycznego z silnikami BLDC*”, Wiadomości Elektrotechniczne, 12/2010, str. 42-47.
- [7]. Dukalski P., Brymora L.: „*Nowa koncepcja silnika trakcyjnego wzbudzanego magnesami trwałymi przeznaczonego do zastosowania w napędach kopalni*”. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 2/2013 (99).
- [8]. Glinka T.: „*Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*”, wyd. Pol. Śląskiej. Gliwice 2002 r.
- [9]. Król E.: „*Silniki synchroniczne w napędach pojazdów sportowo-rekreacyjnych*”, Maszyny Elektryczne-Zeszyty Problemowe nr 2/2014.
- [10]. Król E., Białas A.: „*Koncepcja napędu hybrydowego przeznaczonego do samochodu dostawczego*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 1/2012.
- [11]. Król E., Gawron S., Skęczek W.: „*Autobus miejski z napędem spalinowo-elektrycznym - aspekty*

*społeczno-ekonomiczne wyników badań drogowych*”, Logistyka, 4/2015, str. 4279-4288.

- [12]. Król E., Skęczek W.: „*Autobus miejski z napędem spalinowo-elektrycznym wyniki badań drogowych*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 1/2015, str. 163-168.
- [13]. Król E., Maciążek M.: „*Wpływ algorytmu sterowania przekształtnika na właściwości napędu z silnikiem*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 2/2013, str. 211-215.
- [14]. Mróz J., Skupień K., Drwięga A., Budzyński Z., Polnik B., Czerniak D., Dukalski P., Brymora L.: „*Gentle accumulator drive (GAD) – new directions of development for the mining industry*”, Przegląd Elektrotechniczny 06.2013.
- [15]. Pistelok P., Rossa R.: „*Generatory synchroniczne z magnesami trwałymi dedykowane dla małych elektrowni wodnych*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 2/2015 (106).
- [16]. Pistelok P.: „*Jednostka prądowtórca z generatorem z magnesami trwałymi – wyniki badań*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 1/2014 (101), str.193-198.
- [17]. Rossa R.: „*Zaawansowane rozwiązania techniczne w napędzie elektrycznym E-Kit dla miejskiego samochodu osobowego*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 2/2014 (102).
- [18]. Rossa R., Białas A.: „*Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi o wirniku zewnętrznym do przydomowych elektrowni wiatrowych*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe nr 89/2011, str. 133-137.
- [19]. Rossa R., Białas A.: „*Napęd elektryczny e-Kit miejskiego pojazdu dostawczego – rozwiązania techniczne*”, Logistyka nr 6/2014.
- [20]. Rossa R., Król E.: „*Regulacja prędkości obrotowej w napędzie elektrycznym „E-Kit” dedykowanym do elektryfikacji małych samochodów osobowych i dostawczych*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 4/2012 (97).
- [21]. Rossa R., Pistelok P.: „*Małe elektrownie wodne jako źródło energii odnawialnej*”, Rynek Energii nr 2 (111)/2014, str. 75.
- [22]. Wolnik T., Król E.: „*Optymalizacja obwodu elektromagnetycznego silnika do bezprzekładniowego napędu górniczego przenośnika taśmowego*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, Nr 2/2016 (110), str. 123-127.
- [23]. [www.elipsavehicle.com](http://www.elipsavehicle.com).
- [24]. [www.eledriveco.pl/](http://www.eledriveco.pl/).
- [25]. [www.komel.katowice.pl](http://www.komel.katowice.pl).

## Autor

dr inż. Stanisław Gawron  
 e-mail: [s.gawron@komel.katowice.pl](mailto:s.gawron@komel.katowice.pl)  
 Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych  
 KOMEL, al. Roździeńskiego 188,  
 40-203 Katowice, tel. +48 (32) 258 20 41