

Henryk RODE

## BADANIA INDUKCYJNEGO REKUPERATORA ENERGII DRGAŃ POJAZDU

*W artykule przedstawiono wyniki badań wstępnych procesu rekuperacji energii kinetycznej drgań fotela operatora pojazdu mechanicznego. Indukcyjny rekuperator energii drgań montowany jest pod fotelem operatora pojazdu mechanicznego. Pozwala on zamieniać energię kinetyczną drgającego siedziska fotela operatora na energię elektryczną. Zespół ten wspomaga pracę amortyzatora gazowego. Składa się on z zamontowanego do konstrukcji fotela stalowego rdzenia z magnesami stałymi w kształcie walca. Magnesy wykonują ruch posuwisto-zwrotny wewnątrz nawiniętej z drutu miedzianego cewki. Generowany w wyniku indukcji elektromagnetycznej w cewce prąd magazynowany jest ostatecznie w akumulatorze samochodowym. Dla sprawdzenia poprawności zastosowanego rozwiązania zbudowano stanowisko do badań procesu rekuperacji energii drgań. Badania miały na celu weryfikację przyjętych parametrów konstrukcyjnych rekuperatora indukcyjnego oraz wyznaczenie zakresu jego parametrów roboczych.*

### WSTĘP

Pojecie zrównoważonego rozwoju zatacza coraz większe kręgi. Coraz więcej z nas chce konsumować z dóbr Ziemi tak aby przyszłe pokolenia miały zabezpieczone bezpieczeństwo energetyczne [10]. Każda nowa konstrukcja maszyny, pojazdu czy systemu grzewczego musi być optymalizowana pod kątem zapotrzebowania energetycznego. Szczególne znaczenie ma to w pojazdach samochodowych z uwagi na skalę ich stosowania. W samym naszym kraju zarejestrowanych jest ponad 20 milionów pojazdów i ich liczba ciągle rośnie. W każdym z nich funkcjonuje zespół napędowy, który przetwarza jedynie jedną trzecią energii pierwotnej, najczęściej chemicznej, na energię mechaniczną. Pozostała część dostarczonej energii jest zamieniana w ciepło lub energię drgań i bezpowrotnie tracona [4,5,6]. Przy tak wielkiej liczbie poruszających się po naszych drogach pojazdów rekuperacja nawet stosunkowo małej części rozpraszanej energii może przynieść wymierne efekty, które przełożą się na oszczędzanie zużycia paliwa a tym samym zmniejszeniu emisji trujących związków wydobywających się z rur wydechowych naszych samochodów [1,2,3,7,11]. Indukcyjny rekuperator drgań fotela operatora pojazdu mechanicznego właśnie do tego celu ma służyć. Ma być prostym urządzeniem, nieingerującym w funkcjonowanie innych zespołów, odzyskującym część energii drgań poruszającego się pojazdu i tym samym poprawiającym jego bilans energetyczny [8].

### 1. INDUKCYJNY REKUPERATOR ENERGII DRGAŃ POJAZDU MECHANICZNEGO

Indukcyjny rekuperator energii drgań pojazdu mechanicznego nie ingeruje w żaden element układu napędowego lub jezdny pojazdu, przez co nie pogarsza jego niezawodności. Pozwala on zamieniać energię kinetyczną drgającego siedziska fotela operatora na energię elektryczną. Indukcyjny rekuperator montowany jest pod fotelem operatora i wspomaga pracę amortyzatora gazowego. Składa się on (rysunek 1) z połączonego z konstrukcją fotela rdzenia z magnesami stałymi w kształcie walca. Magnesy wykonują ruch posuwisto-zwrotny wewnątrz nawiniętej z drutu miedzianego cewki. Walcowy rdzeń zbudowany jest z magnesów neodymowych z powłoką niklową MW 45x15 o średnicy 45 mm i wysokości 15 mm każdy. Magnesy stałe neodymowe wytwarzane są metodą prasowania

sproszkowanych komponentów w polu magnetycznym w podwyższonej temperaturze. Powstają z połączenia neodymu, żelaza i boru Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Magnesy te wytwarzają bardzo silne pole magnetyczne. Wokół rdzenia nawinięta jest cewka cylindryczna z miedzianego drutu. Walcowa powierzchnia zewnętrzna cewki jest zaizolowana, a jej górny i dolny koniec połączony jest z płytami wykonanymi z dielektryka (rysunek 1 – kolor czerwony). W dolnej płycie są wyprowadzone końce uzwojenia cewki. Dla utrzymania prostoliniowości cewki oraz stałej wielkości szczeliny pomiędzy cewką i rdzeniem magnetycznym konstrukcja nośna cewki zbudowana jest z czterech, skręcanych, prętowych kolumn montowanych do ram pomocniczych. Generowany w cewce prąd elektryczny ostatecznie magazynowany jest w akumulatorze pojazdu. Całkowita masa rekuperatora wraz z rama wynosi ok. 4kg.

Uzyskana energia elektryczna może zostać wykorzystana do zasilania innych urządzeń elektronicznych np. telefonu komórkowego.

Specyfika budowy i sposób funkcjonowania rekuperatora determinuje jego wykorzystanie w pojazdach poruszających się po drogach nieutwardzonych lub bezdrożach np. w ciągnikach rolniczych lub pojazdach terenowych.

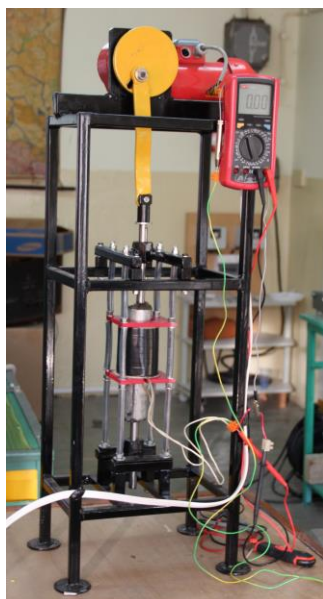


Rys. 1. Indukcyjny rekuperator energii drgań pojazdu mechanicznego

## 2. STANOWISKO DO BADAŃ PROCESU REKUPERACJI ENERGII DRGAŃ

Ideą budowy stanowiska do badań rekuperatora energii drgań fotela operatora pojazdu mechanicznego jest konieczność przeprowadzenia badań proponowanego systemu w celu sprawdzenia poprawności przyjętych rozwiązań a także doboru parametrów konstrukcyjnych oraz zakresu parametrów roboczych. Stanowisko to zostało skonstruowane w analogiczny sposób jak stanowisko do badań rekuperatora mechanicznego [9]. Stanowisko będzie wykorzystywane w przyszłości także jako stanowisko dydaktyczne.

Bazowym elementem stanowiska jest przestrzenna, stalowa rama wykonana z profili zamkniętych (rysunek 2). Ruchy drgające fotela w górę i w dół są symulowane przez motoreduktor napędzający mimośród. Zastosowanie motoreduktora podyktowane jest maksymalnym uproszczeniem konstrukcji oraz uzyskaniem zwartej budowy stanowiska. Dobrany został motoreduktor firmy Eberhard Bauer model D-37374 o mocy 250 W. Przełożenie przekładni reduktora wynosi 16:1, a maksymalny moment na wale napędowym 25 Nm. Ramię mimośrodu jest połączone z poruszającym się w prowadnicy cięgnem wykonującym ruch posuwisto-zwrotny. Cięgno połączone jest z rdzeniem rekuperatora. Zmiana prędkości obrotowej silnika zmienia częstotliwość drgań rdzenia rekuperatora. Prędkość obrotowa silnika zadawana jest za pomocą falownika. Można także zmieniać amplitudę drgań poprzez zmianę wielkości wykorbienia mimośrodu.



**Rys. 2.** Stanowisko do badań procesu rekuperacji energii drgań pojazdu mechanicznego

## 3. BADANIA INDUKCYJNEGO REKUPERATORA ENERGII DRGAŃ POJAZDU MECHANICZNYCH

### 3.1. Cel badań

Celem badań był sprawdzenie poprawności przyjętych założeń i parametrów konstrukcyjnych oraz dobór zakresu parametrów roboczych urządzenia.

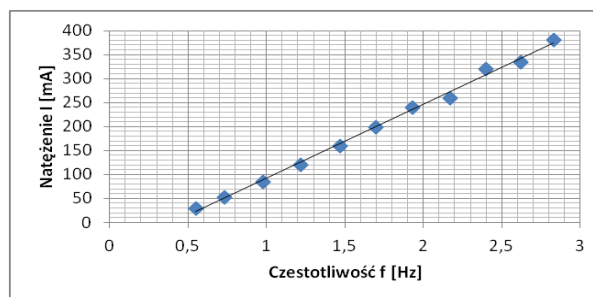
### 3.2. Przebieg badań

Do zacisków rekuperatora została podłączona w układzie pomiarowym dioda 7NZ70 w celu odczytu wartości natężenia i napięcia prądu na mierniku. Ustawiono 6 wielkości amplitud drgań tj.  $A = 10, 20, 30, 40, 50, 60$  mm poprzez zmianę długości wychylenia ramienia mimośrodu. Pomiar długości wychylenia mimośrodu wyko-

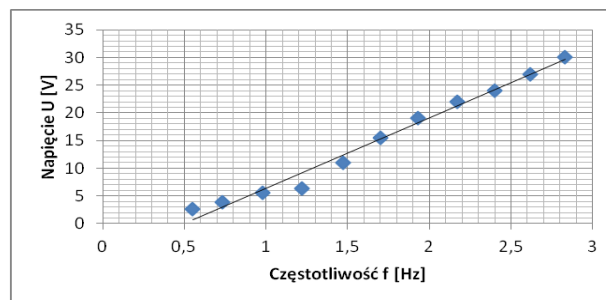
nywano suwmiarką o dokładności 0,05 mm. Za pomocą falownika ustalano prędkości obrotowe motoreduktora odpowiadającą częstotliwością drgań rdzenia od  $f = 0,55$  do  $f = 2,83$  Hz. Dla każdej częstotliwości i amplitudy wykonywano 3 próby. Wyniki przedstawiono na wykresach.

### 3.3. Wyniki badań i ich analiza

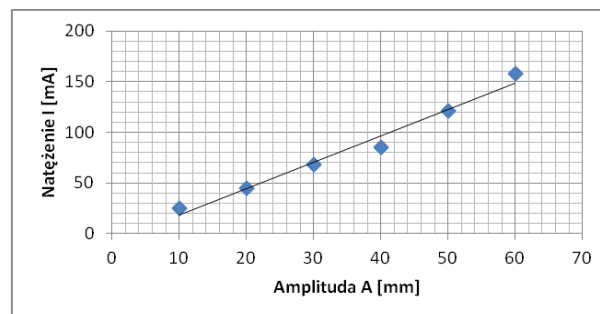
Przykładowe, charakterystyczne wyniki badań przedstawiono na wykresach (rys. 4,5,6,7).



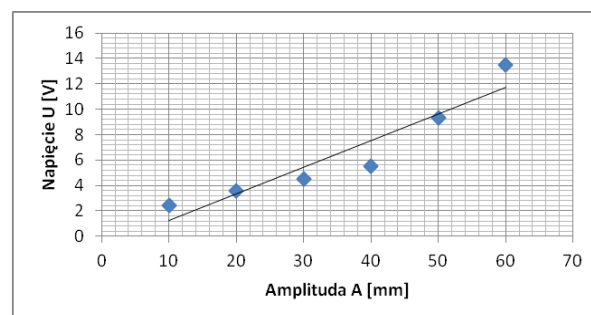
**Rys. 4.** Przebieg zmian wartości natężenia generowanego prądu w funkcji częstotliwości drgań rdzenia rekuperatora dla amplitudy drgań  $A = 40$  mm



**Rys. 5.** Przebieg zmian wartości napięcia w funkcji częstotliwości drgań rdzenia rekuperatora dla amplitudy drgań  $A = 40$  mm



**Rys. 6.** Przebieg zmian wartości natężenia generowanego prądu w funkcji amplitudy drgań rdzenia rekuperatora dla częstotliwości drgań  $f = 1$  Hz



**Rys. 7.** Przebieg zmian wartości napięcia w funkcji amplitud drgań rdzenia rekuperatora dla częstotliwości drgań  $f = 1$  Hz

Na podstawie uzyskanych w czasie badań wyników i obserwacji można wyciągnąć następujące wnioski:

- wzrost amplitudy i częstotliwości powoduje wzrost napięcia i natężenia generowanego przez rekuperator prądu,
- największe wartości natężenia i napięcia prądu ( $I = 490$  mA i  $U = 36$  V) osiągnięto dla częstotliwości drgań rdzenia rekuperatora  $f = 2,83$  Hz i amplitudzie  $A = 60$  mm,
- dla amplitud  $A = 50$  mm oraz  $A = 60$  mm rama rekuperatora wykazywała zbyt małą sztywność co mogło mieć wpływ na uzyskane wyniki,
- dla amplitudy  $A = 60$  mm rama stanowiska badawczego wykazywała skłonności do nadmiernych drgań wywołanych prawdopodobnie zbyt małymi przekrojami profili z których została zbudowana,
- nie było możliwości przeprowadzenia badań dla amplitud mniejszych niż  $A = 10$  mm co związane jest z budowa napędu rdzenia rekuperatora indukcyjnego,
- zastosowany do napędu stanowiska motoreduktor nie pozwalał na ustawienie częstotliwości drgań mniejszych niż  $f = 0.55$  Hz,
- dla poprawy płynności funkcjonowania rekuperator należy poprawić sztywność ramy tak rekuperatora jak i stanowiska badawczego,
- idea funkcjonowania rekuperatora jest dobra, należy zoptymalizować szczelinę między rdzeniem a cewką oraz długość zastosowanego uzwojenia,
- uzyskane wartości napięć i natężeń generowanego prądu są zbyt małe aby w tej postaci zamontować rekuperator w pojeździe.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania indukcyjnego rekuperatora energii drgań fotela operatora pojazdu mechanicznego wykazały konieczność dokonania szeregu zmian w konstrukcji urządzenia. Należy zmienić wartość wykorbienia układu napędowego oraz przeanalizować możliwość zmiany konstrukcji rekuperatora w kierunku poprawy sztywności jak również sztywności ramy samego stanowiska. Dzięki temu możliwe będzie zmniejszenia szczeliny między magnesami a cewką. Usunięcie wymienionych niedociągnięć pozwoli na ponowne przeprowadzenie badań i dobór parametrów roboczych rekuperatora. Pozwoli także na porównania jego funkcjonowania z rekuperatorem mechanicznym wykorzystującym do generowania prądu prądnicę.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bocheński C., *Badania kontrolne samochodów*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.

2. Korzybski W. Rode H., *Rekuperator energii drgań pojazdu mechanicznego*, Logistyka Nr 5, 2014.
3. Kuchar M., Siczek K., *Ocena możliwości odzyskiwania energii z układu zawieszenia przy wykorzystaniu amortyzatora pneumatycznego*, Archiwum Motoryzacji Nr 2, 2012.
4. Lipnicki Z., Rubaszewski A., *Współpraca akumulatora ciepła z układem chłodzenia silnika spalinowego*, Archiwum Motoryzacji Nr 3, 2000.
5. Luft M., Olszowiec P., *Straty silnika spalinowego szansą na rekuperację energii elektrycznej*, Logistyka Nr 6, 2011.
6. Luft S., *Podstawy budowy silników*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
7. Paska J., *Generacja rozproszona z wykorzystaniem hybrydowych układów wytwórczych*, Energetyka Nr 6, 2013.
8. Rode H., *Indukcyjny rekuperator energii drgań pojazdu mechanicznego*, Logistyka Nr 3, 2015.
9. Rode H., *Badania rekuperatora energii drgań pojazdu mechanicznego*, TTS Nr 12, 2015.
10. Rode H., i inni, *Elementy inżynierii zrównoważonych systemów energetycznych*, Towarzystwo Naukowe Płockie, Płock 2016.
11. Żmuda A., *Energia elektryczna ze spalin*, Biuletyn AGH, Kraków 2012.

### The research of induction recuperator vibration energy of the motor vehicle

*The article presents the results of initial research concerning the process of kinetic energy recuperation from a driver's seat vibration. The induction recuperator of vibration energy is installed under a driver's seat in a motor vehicle. It allows to convert the kinetic energy of the vibrating seat into the electric one. This unit supports the gas shock absorber. It consists of a steel core with cylinder-shaped permanent magnets installed under the driver's seat. The magnets make a reciprocating motion inside a copper wire coil. As a result of electromagnetic induction, the generated current is eventually stored in the vehicle's accumulator. In order to research the efficiency of the present solution, a stand, for testing the process of vibration energy recuperation, was built. The aim of the research was to verify the assumed construction parameters of the induction recuperator and to determine its working parameters scope.*

Autor:

dr inż. **Henryk Rode** - Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, Instytut Inżynierii Mechanicznej; 09-400 Płock, ul. Jachowicza 2, tel: +48 24 367-59-93, fax: +48 24 262-65-42, henryk.rode@pw.edu.pl