

## Porównanie wyników modelowania wyrzutni elektromagnetycznej uzyskanych za pomocą wybranych środowisk symulacyjnych

### Results Comparison Of Electromagnetic Launcher Modeling In Different Field Method Programs

Jarosław Domin, *Politechnika Śląska*  
Roman Kroczek, *Politechnika Śląska*

#### Abstract

The paper presents field model of electromagnetic launcher executed in three field method programs (FEMM, COMSOL Multiphysic, ANSYS). Simulation results (axial magnetic force acting on projectile) obtained with the help of these programs were compared to each other and with results received on laboratory stand.

#### Streszczenie

Artykuł przedstawia uproszczony model połowy jednostopniowej wyrzutni elektromagnetycznej wykonany z wykorzystaniem trzech programów do analizy pola elektromagnetycznego FEMM, COMSOL Multiphysic oraz ANSYS. W artykule dokonano analizy wyników (magnetycznej siły osiowej działającej na pocisk) otrzymanych z wykorzystaniem wymienionych programów oraz dokonano ich porównania z wynikami otrzymanymi na stanowisku badawczym.

#### 1. Wiadomości wstępne

Badana konstrukcja, nazwana układem „wyrzutni elektromagnetycznej”, jest specyficznym typem przetwornika elektromagnetycznego. Energia elektryczna pobrana ze źródła jest wykorzystywana do nadania prędkości liniowej elementu wykonawczego. W odróżnieniu od klasycznych maszyn elektrycznych, element ruchomy jest równocześnie narzędziem i nie jest w żaden sposób związany z urządzeniem.

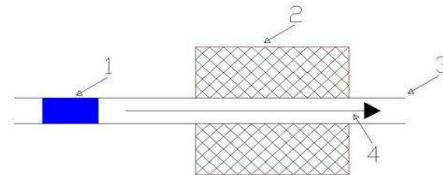
Cechy szczególne urządzenia to znaczna prędkość liniowa elementu ruchomego oraz związana z tym praca w układzie o ogromnej ilości zmagazynowanej energii oddawanej impulsowo.

Wyrzutnie elektromagnetyczne można podzielić na dwa podstawowe typy: wyrzutnia elektromagnetyczna typu „coilgun” (element ruchomy – pocisk – jest umieszczony w polu magnetycznym cewki), oraz wyrzutnia

elektromagnetyczna typu „railgun” (element ruchomy umieszczony pomiędzy dwoma szynami podłączonymi do źródła prądowego).

#### 2. Konstrukcja stopnia napędowego

Rysunek 1 przedstawia przekrój modelu stopnia napędowego, gdzie poszczególne cyfry oznaczają kolejno: pocisk (1), uzwojenie (2), łoże (3-lufa) oraz tor lotu (4).



Rys.1. Przekrój wzdłużny modelu.  
Fig.1. Axial cross-section of the model

Całość umieszczono w środowisku naturalnym (powietrze). Parametry układu:

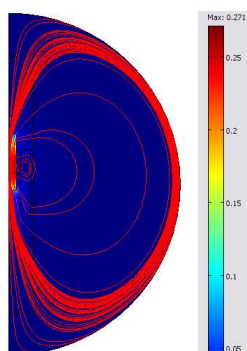
- długość pocisku 23mm
- długość cewki 20mm
- średnica pocisku 6mm
- liczba zwoi 472
- średnica wewnętrzna cewki 9,8 mm
- średnica zewnętrzna cewki 17,7 mm

#### 3. Modele polowe

Dla każdego z programów utworzono model połowy dwuwymiarowy z wykorzystaniem symetrii obwodu magnetycznego. Symulacje przeprowadzono w stanach statycznych, w taki sposób, że rejestrowano wielkość siły działającej na element magnetyczny co 1mm poruszając go w osi cewki, dla następujących danych materiałowych:

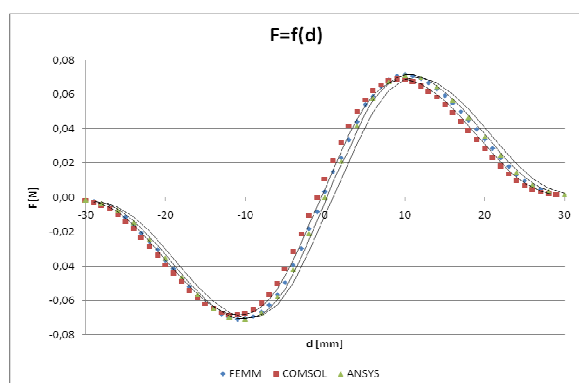
- konduktywność cewki  $\sigma=58$  [MS/m<sup>2</sup>]
  - przenikalność magnetyczna pocisku  $\mu_r=4400$
- oraz przyjęto prąd w cewce równy 1A.

Rysunek 2 przedstawia model połowy wyrzutni, rozkład natężenia pola oraz linii pola magnetycznego dla jednego z wzajemnych położen pocisku względem cewki, wykonany w programie COMSOL Multiphysic. [2]



**Rys.2. Model połowy wykonany w programie Comsol.**  
**Fig.2. Field method model created in Comsol program.**

Otrzymane wartości magnetycznej siły osiowej przedstawiono w postaci rodziny charakterystyk  $F=f(d)$ , gdzie:  $F$  – magnetyczna siła osiowa,  $d$  – odległość środka pocisku od środka cewki (Rys.3).



**Rys.3. Wyniki symulacji.**  
**Fig.3. Simulation results.**

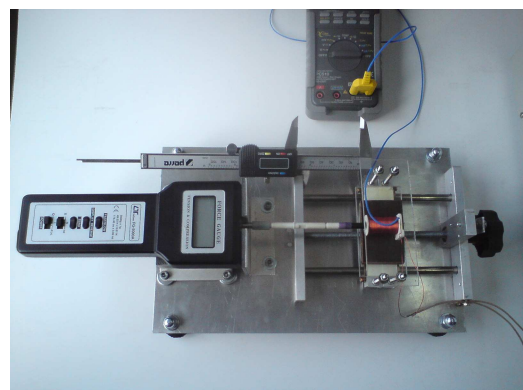
Obliczając pole powierzchni pod jedną połową charakterystyki otrzymano wartość energii pocisku (Tab.1).

**Tab.1.**

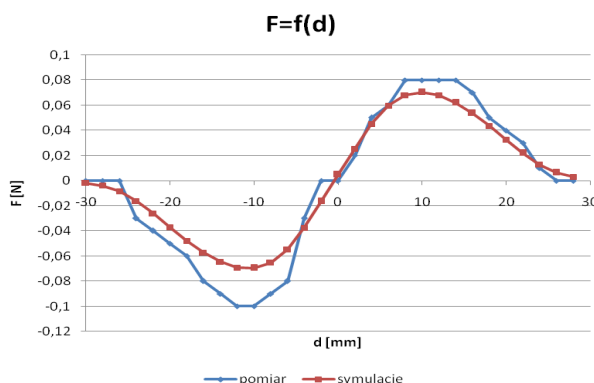
Energia pocisku Missile energy	
	Energia [J]
FEMM	1,163
COMSOL	1,125
ANSYS	1,126

Dokonano również porównania wyników otrzymanych metodami symulacyjnymi (jako wynik symulacji wzięto średnią arytmetyczną z wyników uzyskanych w wykorzystywanych programach połowych) z wynikami otrzymanymi na stanowisku pomiarowym (Rys.5).

Stanowisko pomiarowe (Rys.4) [1] zostało wykonane w oparciu o siłomierz cyfrowy FG500A o rozdzielczości pomiarowej 0,01 Niutona. Konstrukcja umożliwia badania siły działającej na element magnetyczny umieszczony w osi cewki w obszarze wytwarzanego przez nią pola magnetycznego. Istnieje możliwość precyzyjnego przemieszczania elementu magnetycznego (odczyt położenia z dokładnością 0,01m) wzdłuż osi cewki od jednego położenia granicznego gdy miernik siły wskazuje wartość zerową poprzez wnętrze cewki aż do drugiego położenia granicznego. W każdym położeniu można odczytać aktualnie działającą siłę na poruszany element. Ze względu na nagrzewanie się uzwojenia został w nim umieszczony czujnik temperatury w celu zabezpieczenia przez przegrzaniem. Wszelkie elementy konstrukcyjne będące w bezpośrednim otoczeniu uzwojenia są wykonane z tworzyw sztucznych tak aby nie zakłócały pola magnetycznego wytwarzanego przez cewkę.



**Rys.4. Stanowisko pomiarowe.**  
**Fig.4. Laboratory stand.**



**Rys.5. Wyniki pomiaru i symulacji.**  
**Fig.5. Measurement and simulation results.**

#### 4. Podsumowanie

Otrzymane wyniki symulacyjne w trzech różnych programach (Femm, Comsol, Ansys) są zgodne. Porównując natomiast symulacje komputerowe z rzeczywistymi pomiarami rozbieżności otrzymanych wyników oscylują w granicach 15%. Jako główną przyczynę rozbieżności można uznać rozdzielczość siłomierza przy pomocy którego dokonywano pomiarów.

Kolejnymi etapami prac prowadzonymi w Katedrze Mechatroniki Politechniki Śląskiej nad tego typu przetwornikami będą: stworzenie modelu dynamicznego tego typu urządzenia, stworzenie modelu wyrzutni elektromagnetycznej typu „railgun” a następnie podjęte zostaną próby zbudowania, modelu polowego działającego elektromagnetycznego będącego hybrydą tych dwóch typów (coilgun, railgun) konstrukcji jak również samego urządzenia.

Badania są finansowane z grantu badawczego N N510 390635

Autorzy artykułu składają serdeczne podziękowanie Katedrze Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki za udostępnienie programu ANSYS oraz dr inż. Mariuszowi Stępniewi za wykonanie obliczeń w programie ANSYS.

#### Literatura

1. Krocze Roman: *Weryfikacja komputerowego modelu jednostopniowej wyrzutni elektromagnetycznej na stanowisku badawczym*, Materiały Konferencyjne WZEE'2009, 21-23 Września 2009, Poznań
2. Domin Jarosław: *Model polowy stanowiska do wyznaczania sił działających na pocisk jednostopniowej wyrzutni elektromagnetycznej*, Materiały Konferencyjne WZEE'2009, 21-23 Września 2009, Poznań

#### Adresy służbowe Autorów:



Mgr inż. Jarosław Domin  
Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 10  
44-100 Gliwice  
tel. (032) 237 26 85

email: [jaroslaw.domin@polsl.pl](mailto:jaroslaw.domin@polsl.pl)



Mgr inż. Roman Krocze  
Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 10  
44-100 Gliwice  
tel. (032) 237 26 85

email: [roman.krocze@polsl.pl](mailto:roman.krocze@polsl.pl)