

Stanisław Gawron, Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice  
 Jerzy Baranowski, Paweł Piątek, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków  
 Jan Ossa, Zakład Budowy Maszyn OSSA, Tychy

## BEZSZCZOTKOWA WYSOKOMOMENTOWA ZAKRĘTARKA ELEKTROMECHANICZNA

### BRUSHLESS ELECTRIC TORQUE TOOL

**Streszczenie:** W publikacji zawarto opis prac badawczo rozwojowych, jakich podjęły się dwa ośrodki badawcze (KOMEL i AGH) oraz przedsiębiorca (ZBM OSSA), w celu skonstruowania wysokomomentowej zakrętarki elektromechanicznej napędzanej silnikiem bezszczotkowym. Partnerzy konsorcjum planują opracować nowy typ zakrętarki, która ma służyć do dokręcania śrub w połączeniach z zadaniem momentem od 2 000 do 15 000 Nm. Nowa zakrętarka będzie mogła pracować w środowiskach wysoko zapylnych i o zwiększonych wymaganiach bezpieczeństwa, gdzie nie można zastosować zakrętarek napędzanych silnikami komutatorowymi, które są obecnie standardem.

**Abstract:** Paper includes a presentation of research and development activities regarding an electric torque tool driven by brushless motor. Work is realised by two research institutions (KOMEL and AGH-UST) and an industrial partner (ZBM OSSA). The consortium plans to develop a new type of electric torque tool, which will be used for tightening nuts in joints with torque set from 2000 to 15000 Nm. New tool will be able to operate in highly dust-laden environments and also those with heightened safety requirements, where conventional torque tools driven by commonly universal motors can not be used.

**Słowa kluczowe:** zakrętarka elektryczna, napęd elektryczny, silnik bezszczotkowy  
**Keywords:** electric torque tool, electric drive, brushless motor

### 1. Wstęp

Celem projektu jest zbadanie technologii i opracowanie konstrukcji zakrętarki elektromechanicznej napędzanej nieiskrzącym silnikiem bezszczotkowym[1]. Powstała tak zakrętarka elektryczna będzie umożliwiać dokręcanie śrub w połączeniach sprężanych w zakresie momentów 2000-15000 Nm. Przykładowe połączenia tego typu można zaobserwować na rysunku 1.

Obecnie dokręcanie tego typu realizuje się za pomocą urządzeń z kontrolowanym momentem obrotowym czyli: ręcznych kluczy dynamometrycznych (dla małych momentów), kluczy hydraulicznych (wymagających zasilania hydraulicznego) oraz zakrętarek elektromechanicznych zasilanych z sieci 230 V/50 Hz (rys. 2).

Przewagą zakrętarek elektromechanicznych nad innymi rozwiązaniami jest ich duża mobilność, łatwość zapewnienia zasilania i szeroki zakres momentów dokręcania.



Rys. 1. Przykłady połączenia śrubowego



Rys. 2. Zakrętarka elektromechaniczna

## 2. Budowa i zasada działania urządzenia

Zakrętarka elektromechaniczna składa się z następujących elementów:

- przekładni podnoszącej moment obrotowy,
- napędu elektrycznego, zazwyczaj w postaci silnika uniwersalnego komutatorowego,
- sterownika wykonanego w technologii analogowej lub cyfrowej.

Połączenia śrubowe sprężane odgrywają bardzo dużą rolę we współczesnym budownictwie i przemyśle. W szczególności dotyczy to inwestycji o dużej skali. Przykładowo zakrętarki elektromechaniczne jednego z członków konsorcjum wykorzystywane były, m.in. na budowie w Rafinerii Gdańskiej (rys. 3), gdzie wykonano ponad 10 tys. połączeń oraz na budowie Stadionu Śląskiego (rys. 4), gdzie zrealizowano ponad 8 tys. połączeń.



Rys. 3. Prace przy budowie Rafinerii Gdańskiej (10 tys. połączeń)



Rys. 4. Prace przy budowie Stadionu Śląskiego (8 tys. połączeń)

W uproszczeniu zasada działania połączenia sprężanego polega na dokręceniu śruby z siłą,

powodującą jej odwracalne wydłużenie, czyli "w obszarze" stosowalności prawa Hooke'a.

Zgodnie z obowiązującymi normami [2] połączenie śrubowe sprężane polega na zakręceniu nakrętki z odpowiednią siłą sprężającą, która zależy od nominalnej wytrzymałości na rozciąganie materiału śruby oraz pola jej przekroju czynnego. W zależności od wymaganej siły określany jest odpowiedni moment dokręcania. Normy regulują cztery sposoby dokręcania, z których dwa można realizować, przy pomocy zakrętarki elektromechanicznej.

Pierwsza z metod wymaga dwuetapowego dokręcania z kontrolowanym momentem z dokładnością +/- 4%, dokręcanie to ma mieć charakter ciągły i równomierny. Druga metoda, tzw. kombinowana wymaga dokręcenia z dokładnością +/- 10% do pewnej zadanej wartości momentu, a następnie dokręcenia nakrętki o dodatkowy kąt zależny od grubości części łączonych i średnicy śruby.

Urządzenie opracowywane w ramach projektu będzie umożliwiało dokręcanie śrub z wymogami obowiązujących norm.

## 3. Zalety nowego rozwiązania

Bezszcotkowa zakrętarka elektromechaniczna będąca celem projektu będzie posiadać szereg innowacyjnych funkcjonalności odróżniających ją od rozwiązań obecnie dostępnych na rynku.

W szczególności znaczną rolę odgrywa tu zastąpienie silnika szeregowego za pomocą silnika bezszczotkowego [5]. Obecnie dostępne rozwiązania silników z komutatorem mechanicznym, charakteryzują się znacznym iskrzeniem, co uniemożliwia pracę w środowiskach zapylnych, wilgotnych lub niebezpiecznych.

Można wymienić kilka korzyści płynących z zastosowania nowego rodzaju silnika.

Pierwszą i najistotniejszą zaletą jest brak iskrzącego komutatora. W oczywisty sposób pociąga to za sobą zwiększenie bezpieczeństwa pracy.

Jednocześnie brak zastosowania zużywających się szczotek wydłuża czas bezawaryjnej pracy silnika bezszczotkowego w stosunku do silników komutatorowych. Pociąga to za sobą również mniejszą zmienność parametrów silnika w trakcie eksploatacji. Zastosowanie silnika z magnesami trwałymi może zapewnić zwiększenie gęstości mocy [4], co może prowadzić w konsekwencji do zmniejszenia rozmiarów jednostki napędowej.

Równie istotną, jak wymienione wcześniej, cechą napędu bezszczotkowego jest istotna redukcja poziomu zakłóceń elektromagnetycznych. Jest to bezpośrednią konsekwencją wspomnianego wcześniej braku szczotek. Spodziewane są dwa efekty redukcji zakłóceń. Brak składowej pola magnetycznego spowodowanej występowaniem wyładowań w obwodzie komutacji może doprowadzić do uproszczenia obwodów zabezpieczających układ sterowania. Ponadto spodziewane jest zmniejszenie zakłóceń w torach pomiarowych. Potencjalnie może okazać się to bardzo korzystne w czasie syntezy algorytmów estymacji momentu zakręcania na podstawie pomiarów prądu uzwojenia stojana. Bardzo istotną zaletą potencjalnego produktu będzie szczelna obudowa (standard IP54). Obudowa taka pozwoli na stosowanie zakrętarek w niekorzystnych warunkach pracy, czyli środowiskach zapyłonych, wilgotnych (np. w cementowniach, w zakładach petrochemicznych). Obudowa wykonana w standardzie IP54 może być w przyszłości rozwijana i stanowić podstawę do konstrukcji obudowy z certyfikatem przeciwwybuchowej (Ex, ATEX).

Kolejną istotną cechą badanego rozwiązania będzie zastosowanie w pełni cyfrowego sterowania. Jest to spowodowane koniecznością zastosowania algorytmów elektronicznej komutacji. Jednak dodatkowe korzyści płynące z tego rozwiązania będą istotnym czynnikiem odróżniającym go od dotychczasowych rozwiązań. Sterownik cyfrowy umożliwi implementację szeregu funkcjonalności, niedostępnych w produkowanych do tej pory urządzeniach.

Są to przede wszystkim:

- możliwość zakręcania dwiema metodami opisanymi w normie PN-EN 1090-2 [2],
- uproszczenie obsługi urządzenia,
- poprawa bezpieczeństwa pracy obsługi, poprzez implementację wykrywania błędów i obsługi sytuacji awaryjnych,
- zwiększenie precyzji zakręcania dzięki zastosowaniu zaawansowanych algorytmów estymacji momentu oraz większej swobodzie w manipulacją parametrami sterownika,
- wydłużenie żywotności urządzenia poprzez zastosowanie algorytmów soft-start oraz soft-stop oraz wykrywania błędów.

Należy podkreślić, że nowe rozwiązanie ma znaczącą przewagę nad rozwiązaniami obecnie dostępnymi nie tylko pod względem bezpieczeństwa.

Nowa zakrętarka będzie produktem nie tylko do zastosowań specjalizowanych, ale także we wszystkich zastosowaniach, w których obecnie stosuje się zakrętarek.

Jednocześnie zakrętarka z nieiskracącym silnikiem otwiera potencjał zastosowania jej w wielu obszarach obecnie zajętych przez klucze hydrauliczne. Jest to bardzo korzystne, ponieważ zakrętarek wymagają dużo mniej skomplikowanej infrastruktury.

Zainteresowanie produktem, jaki może powstać w oparciu o wyniki projektu, jest znaczące. Firma ZBM OSSA jest obecnie w Polsce jedynym producentem i wiodącym usługodawcą w zakresie zakrętarek. Zapotrzebowanie zaś na połączenia sprężane z kontrolowanym momentem rośnie cały czas.

Połączenia śrubowe występują w każdej znaczącej branży (petrochemia, energetyka, chemia, konstrukcje stalowe, przemysł maszynowy i inne).

#### 4. Podsumowanie

Zakrętarek elektromechaniczne do zakręcania połączeń sprężanych są wysoce specjalizowanym sprzętem, którego produkcja ma charakter małoseryjny.

Wyniki badań prowadzonych w ramach projektu posłużą przedsiębiorcy do opracowania i wdrożenia nowego produktu na rynek.

Produkt ten wprowadzi istotne z punktu widzenia zastosowań innowacje.

Najważniejszymi ulepszeniami będą:

- Zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności pracy poprzez wprowadzenie nieiskracącego napędu. Jest to znaczna przewaga, nad większością rozwiązań obecnie dostępnych na rynku.
- Szczelna obudowa umożliwiająca stosowanie zakrętarek elektromechanicznych w środowiskach zapyłonych i wilgotnych (np. w cementowniach). Dodatkowo szczelna obudowa, będąca nowością na rynku zakrętarek znacząco podwyższy żywotność urządzenia.
- Wsparcie dla obydwu alternatywnych metod zakręcania zgodnych z normą PN-EN 1090-2. Obydwie metody mają swoje zalety, zastosowanie planowanych rozwiązań pozwoli, jako jedynej zakrętarce na rynku umożliwić stosowanie obydwu w zależności od decyzji operatora.
- Zwiększenie precyzji i powtarzalności zakręcania dzięki zastosowaniu algorytmów

estymacji momentu i zaawansowanych algorytmów sterowania cyfrowego.

- Zostaną zrealizowane specjalne algorytmy tzw. soft-start i soft-stop, które zabezpieczą połączenia śrubowe przed uszkodzeniem wynikającym z błędu operatora.
- Uproszczenie obsługi i zwiększenie bezpieczeństwa.
- Zwiększenie szybkości działania.

Dzięki wprowadzeniu tych urządzeń proponowane rozwiązanie – zakrętarka BETT jest całkowicie nową jakością w branży zakrętarek elektromechanicznych.

Należy zaznaczyć, że zakrętarka BETT jest produktem bardziej specjalizowanym od zakrętarek standardowych. Dodatkowo dzięki swoim zwiększającym bezpieczeństwo cechom stanie się alternatywą dla kluczy hydraulicznych. Ze względu na znacznie mniejsze wymagania infrastrukturalne mają więc realną szansę na zajęcie części tego rynku.

Firma ZBM OSSA [3] istnieje już 17 lat i jest obecnie w Polsce jedynym producentem oraz wiodącym usługodawcą w zakresie zakrętarek i innych urządzeń w zakresie techniki połączeń (klucze hydrauliczne, przekładnia). Zapotrzebowanie zaś na połączenia sprężane z kontrolowanym momentem rośnie cały czas – połączenia śrubowe występują w każdej znaczącej branży (petrochemia, energetyka, chemia, konstrukcje stalowe, przemysł maszynowy i inne). Liczne przedsiębiorstwa, spośród ponad 2000 klientów firmy, wyrażały zainteresowanie wynikami projektu.

## 5. Literatura

- [1]. Wniosek o projekt badawczo-rozwojowy pt.: "Bezszcotkowa wysokomomentowa zakrętarka elektromechaniczna - Brushless electric torque tool", ID 247287.
- [2]. Polska norma PN-EN 1090-2.
- [3]. <http://www.ossa.pl/>.
- [4]. Król E., Rossa R.: „*Silniki z magnesami trwałymi o dużej przeciążalności momentem*”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe KOMEL, nr 81/2009.
- [5]. A. Białas, R. Rossa, "Konstrukcja modelowa silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o cewkach skupionych", Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe KOMEL, nr 2/2014.

## Autorzy

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

dr inż. Jerzy Baranowski  
e-mail: [jb@agh.edu.pl](mailto:jb@agh.edu.pl)  
dr inż. Paweł Piątek  
e-mail: [ppi@agh.edu.pl](mailto:ppi@agh.edu.pl)  
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej  
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej  
al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
tel. +48 (12) 634-15-68

Jan Ossa  
e-mail: [ossa@ossa.pl](mailto:ossa@ossa.pl)  
Zakład Budowy Maszyn OSSA  
ul. Objazdowa 72, 43-100 Tychy  
tel./fax: +48 (032) 217 52 21

