

# ELEKTRYCZNE NAPĘDY CIĄGNIKÓW I MASZYN ROLNICZYCH. Część 1

Streszczenie

*Dążenie do poprawy wskaźników ekonomicznych, energetycznych i ekologicznych w eksploatacji maszyn rolniczych realizowane jest między innymi przez poszukiwanie nowych rozwiązań w budowie ich układów napędowych. W artykule przedstawiono przegląd rozwiązań elektrycznych układów napędowych ciągników i maszyn rolniczych opracowanych przez producentów i jednostki naukowe oraz opisano tendencje rozwojowe w tej dziedzinie.*

**Słowa kluczowe:** ciągniki rolnicze, maszyny rolnicze, napędy elektryczne, tendencje rozwojowe

Rozwiązaniem w istotny sposób poprawiającym parametry ekologiczne silników ciągników jest wykorzystanie energii elektrycznej do napędu maszyn i narzędzi roboczych oraz zespołów pomocniczych silnika spalinowego. Dynamiczny, w ostatnich latach, rozwój rolnictwa precyzyjnego i postępująca automatyzacja maszyn rolniczych powoduje również zwiększone zainteresowanie tego rodzaju napędem. Umożliwia on szybkie i precyzyjne sterowanie prędkością i momentem obrotowym, a także pozwala uprościć układy napędowe maszyn, w porównaniu do napędów mechanicznych i hydraulicznych. Jest to kierunek rozwoju konstrukcji ciągników, w który zaangażowanych jest wielu producentów oraz jednostek badawczych.

Pomijając, historyczne już dziś, konstrukcje ciągników IH Farmall 450 (1954 r.) z systemem IH ElectrAll (generator 10 kW, 208 V) [5] i Allis-Chalmers (1959 r., pierwszy ciągnik z ogniwami paliwowymi - rys. 1) [9], pierwszą nowoczesną konstrukcją, wykorzystującą energię elektryczną w układzie napędowym, był hybrydowy ciągnik Eltrac E135 (rys. 2).

a)



b)



Rys. 1. Ciągniki: Allis-Chalmers z ogniwami paliwowymi (a) i IH Farmall 450 ElectrAll (b) [5, 9]

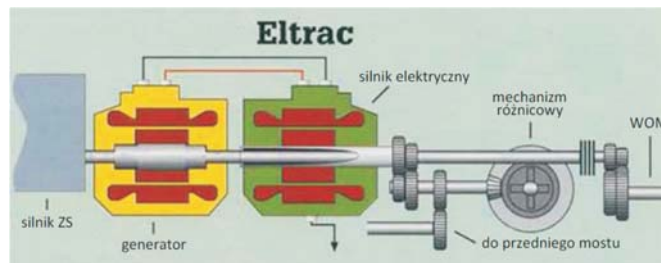
Fig. 1. Tractors: Allis-Chalmers fuel cells (a) and IH Farmall 450 ElectrAll (b) [5, 9]



Rys. 2. Ciągnik Eltrac E135 [1]

Fig. 2. Tractor Eltrac E135 [1]

Zbudowany on został w 1998 r. przez firmę Schmetz GmbH na bazie modelu New Holland M135. Wyposażono go w sześciocylindrowy, turbodoładowany silnik ZS firmy Iveco ( $7,4 \text{ dm}^3$ ) o mocy 100 kW i momencie obrotowym 612 Nm. Silnik spalinowy napędzał chłodzony powietrzem generator (rys. 3). Wytworzony przez niego prąd zasiliał zamontowany w szeregu za generatorem silnik elektryczny napędzający za pośrednictwem przekładni koła ciągnika i wał odbioru mocy (WOM). Zapewniał on ciągnikowi dwa zakresy prędkości jazdy ( $0-17$  i  $0-40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) oraz pozwalał odebrać z WOM moc 89 kW przy prędkościach obrotowych 540/540E/1000 obr $\cdot\text{min}^{-1}$  [1, 3, 7].



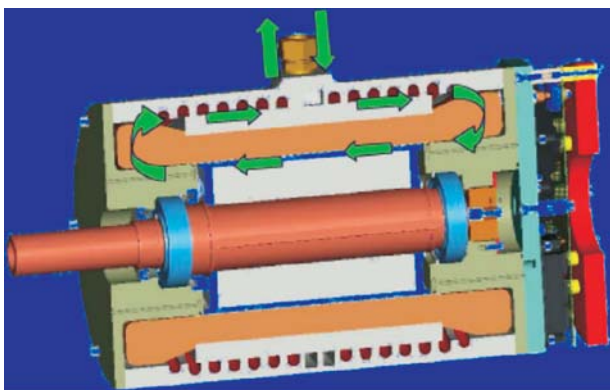
Rys. 3. Schemat układu napędowego ciągnika Eltrac E135 [7]

Fig. 3. The Eltrac's transmission concept [7]

Jednym z ważniejszych etapów na drodze rozwoju elektrycznych układów napędowych, stosowanych w ciągnikach i maszynach rolniczych, były prace zrealizowane w projekcie badawczym MELA (Mobile Elektrische Leistungs- und Antriebstechnik). Zapoczątkowany został on w 2000 roku przez konsorcjum firm i jednostek badawczych. W jego skład wcho-

dziły: Uniwersytety Techniczne w Regensburgu i Monachium oraz AGCO (Fendt), Wiedemann i Fraunhofer-Gesellschaft. Celem projektu było opracowanie koncepcji napędu spalinowo-elektrycznego zapewniającego energię elektryczną do zasilania osprzętu jednostki napędowej i odbiorników zewnętrznych (przyczepianych lub zawieszanych maszyn/narzędzi). Do celów projektu należało również opracowanie nowoczesnych wysokonapięciowych komponentów mobilnych układów elektrycznych, niedostępnych na rynku w chwili rozpoczęcia projektu. W pierwszej jego fazie opracowano między innymi: chłodzone cieczą synchroniczną maszynę ze stałymi magnesami o mocy 130 kW (540 V DC), współpracującą z nią falowniki oraz dwukierunkowy przekształtnik DC/DC (rys. 4).

Dzięki zastosowaniu chłodzenia cieczą zredukowano gabaryty maszyny synchronicznej o 40%. Uwzględniono przy tym zapewnienie odporności na podwyższoną temperaturę i drgania oraz bezpieczeństwo pracy. Pozytywne wyniki projektu przyczyniły się do podjęcia decyzji o jego kontynuacji. W następnym etapie przyjęto, jako korzystniejsze, napięcie 700 V DC, a także postawiono sobie za cel uzyskanie w produkcji seryjnej kosztu elementów wykonawczych i sterujących na poziomie 20-40 €/kW. Cel ten w znacznym stopniu osiągnięto. Zaprojektowane i wykonane komponenty układu elektrycznego zostały wykorzystane w wielu późniejszych aplikacjach i projektach [2, 6].




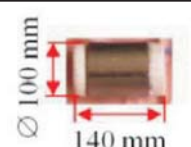

Rys. 4. Przekrój maszyny synchronicznej chłodzonej cieczą - projekt MELA [6]

Fig. 4. Sectional image PMSM with cooling - MELA project [6]

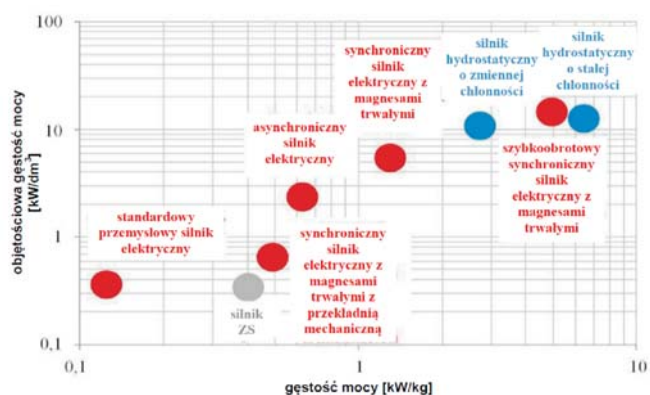
Kolejnym ważnym etapem, który przyczynił się do zwiększenia efektywności elektrycznych napędów pojazdów był

Tab. Porównanie parametrów silnika standardowego, silnika szybkoobrotowego (rosseta Technik GmbH) i układu napędowego szybkoobrotowego (Getrag GmbH & Co. KG) [4]

Table Comparison of standard motor, high speed motor of rosseta Technik GmbH and high speed drive of Getrag GmbH & Co. KG [4]

Parametr	Silnik standardowy	Silnik szybkoobrotowy	Napęd szybkoobrotowy
Moc [kW]	15	15	22
Maksymalna prędkość obrotowa [min <sup>-1</sup> ]	3000	35000	22500
Średnica [mm]	300	100	250
Długość [mm]	480	140	300
Objętość [dm <sup>3</sup> ]	34	1	15
Masa [kg]	140	3	48
Gęstość mocy [kW·kg <sup>-1</sup> ]	0,1	5	0,5
			

projekt zwany TEAM (*Entwicklung von Technologien für energiesparende Antriebe mobiler Arbeitsmaschinen*). Tworzyło go konsorcjum niemieckich firm przemysłowych (w tym z branży rolniczej AGCO) i jednostek naukowych. Celem projektu było opracowanie energooszczędnych mobilnych napędów elektrycznych, w tym szybkoobrotowych silników elektrycznych. W porównaniu z powszechnie stosowanymi napędami mechanicznymi i hydraulicznymi napędy elektryczne cechuje szereg zalet - między innymi: większa sprawność przy częściowym obciążeniu, łatwiejsza regulacja, mniejsza emisja hałasu. Zwiększenie prędkości obrotowej powyżej 20000 obr·min<sup>-1</sup> miało na celu wyeliminowanie dotychczasowych wad maszyn elektrycznych, takich jak: mała gęstość mocy, duża masa, duże wymiary gabarytowe i wysokie koszty inwestycyjne. Realizacja takich celów wymagała opracowania odpowiednich maszyn elektrycznych, urządzeń kontrolnych, przekładni, układów smarowania i chłodzenia. Na rys. 5 przedstawiono gęstości mocy różnych silników stosowanych w maszynach rolniczych, a w tabeli dokonano porównania silników elektrycznych standardowego i szybkoobrotowych opracowanych w ramach projektu TEAM [4].



Rys. 5. Porównanie gęstości mocy różnych silników [4]

Fig. 5. Comparison of power density for different motors [4]

Jednym z pierwszych praktycznych zastosowań w technice rolniczej nowoczesnych rozwiązań napędów elektrycznych był zaprezentowany przez firmę Case IH w 2005 r. koncepcyjny ciągnik Case ProHybrid EECVT (rys. 6). Zbudowany został on na bazie modelu Case MXM. Do jego napędu zastosowano silnik ZS o mocy 120 kW i momencie obrotowym 800 Nm oraz dwa silniki elektryczne/generatory o mocy 50 kW. Jeden z silni-

ków, działający jako generator, zapewnia moc elektryczną dla drugiego, który służy jako silnik trakcyjny. Nadmiar energii gromadzony jest w akumulatorze o pojemności 11,5 kWh przy napięciu 456 V DC. Energia wyzwolona podczas hamowania ciągnika wykorzystywana jest do doładowania akumulatora. Poza pracę w trybie w pełni elektrycznym, system napędowy ciągnika może przekazywać napęd na koła z obu silników elektrycznych i silnika wysokoprężnego przez przekładnię bezstopniową CVT [8].



Rys. 6. Ciągnik Case ProHybrid EECVT [8]  
Fig. 6. Tractor Case ProHybrid EECVT [8]

## Bibliografia

- [1] Bernhard B.: Untersuchungen zur Bewertung stufenloser Fahrtriebe für Mährescher. Universität Hohenheim 2011.
- [2] Breu W.: Design of a High Voltage System for Agricultural Machines. 4. Kolloquium Elektrische Antriebe in der Landtechnik 25-26. Juni 2013, Wieselburg.
- [3] Buning E.: Electric drives in agricultural machinery. An approach from the tractor side. Club of Bologna - 13.11.2010.
- [4] Schröter J., Jacobs G., Zhitkova S., Felden M., Hameyer K.: Development of High Speed Electrical Drives for Mobile Machinery - Challenges and Potential Solutions; The 9th International Fluid Power Conference, Aachen 2014.
- [5] Stoss K.J., Bin Shi, Sobotzik J., Kreis E.R.: Tractor Power for Implement Operation - Mechanical, Hydraulic, and Electrical: An Overview. Agricultural Equipment Technology Conference, Kansas City, USA 2013, ASABE Publication Number 913C0113.
- [6] Szajek A.: Motivation und Konzepte zum Einsatz elektrischer Antriebstechnik im Ackerschlepper am Beispiel MELA. Tagung Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruhe, 2007.
- [7] [www.eltrac.de](http://www.eltrac.de).
- [8] [www.greencarcongress.com/2005/11/case\\_ih\\_shows\\_d.html](http://www.greencarcongress.com/2005/11/case_ih_shows_d.html).
- [9] [www.hydrogencarsnow.com/index.php/fuel-cells/allis-chalmers-farm-tractor-was-first-fuel-cell-vehicle](http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/fuel-cells/allis-chalmers-farm-tractor-was-first-fuel-cell-vehicle).

## ELECTRIC DRIVELINES FOR TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINERY. Part 1

### Summary

*The desire to improve economic indicators, energy and ecological operation of agricultural machinery realized, among others, by the search for new solutions in the construction of the drivelines. The article presents an overview of solutions to the electric power transmission systems of tractors and agricultural machinery developed by manufacturers and research units and describes the development trends in this area.*

**Key words:** agricultural tractors, agricultural machinery, electric drives, development trends

KATARZYNA GLAZAJ, ROMAN WOLTRÓWIAR

KOSZTY PRACY  
MASZYN LEŚNYCH

KOSZTY PRACY  
MASZYN LEŚNYCH

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH  
POZNAŃ 2009

# KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH

ISBN 978-83-927505-2-9

Książka adresowana jest przede wszystkim do prywatnych przedsiębiorców Leśnych, Służb Leśnych i pracowników technicznych w Nadleśnictwach, Dyrekcjach Regionalnych oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych i ma na celu przedstawienie sposobu wyliczenia kosztów usług maszynowych wykonywanych w lasach.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych  
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31  
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;  
e-mail: [office@pimr.poznan.pl](mailto:office@pimr.poznan.pl); Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>