

doi:10.15199/48.2018.12.51

## Analiza spadków napięć w instalacjach elektrycznych ciągników rolniczych i ich konsekwencje na mechatroniczne układy sterujące

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę spadków napięć w instalacjach elektrycznych czterech ciągników. Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku coraz większej liczby odbiorników prądu włączonych do standardowego źródła zasilania i instalacji elektrycznej konieczne staje się przeprowadzenie wstępnych pomiarów dotyczących spadków napięć. Poprawność działania systemów mechatronicznych w przypadku dwóch przebadanych ciągników wymaga wymiany akumulatora lub doposażenia instalacji w zabezpieczenia przed spadkami napięć.

**Abstract:** The article presents analysis of voltage drops in electrical installations of four tractors. The tests have shown that in the case of an increasing number of current receivers connected to a standard power source and electrical installation, it is necessary to carry out preliminary measurements regarding voltage drops. The correct operation of mechatronic systems in the case of two tested tractors requires replacement of the battery or retrofitting the installation with protection against voltage drops. **(The analysis of voltage drops in electrical installations of agricultural tractors and their consequences on mechatronic control systems)**

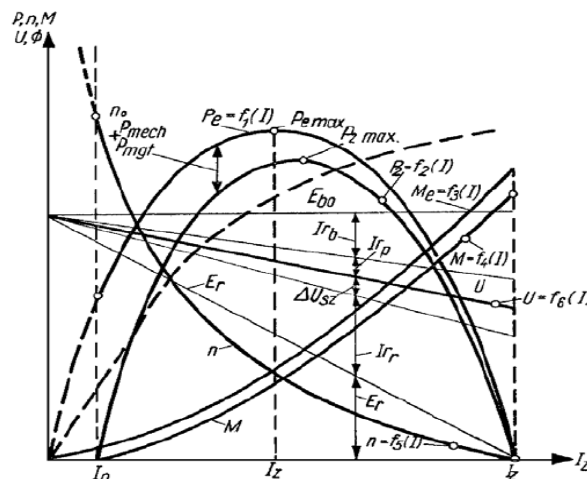
**Słowa kluczowe:** spadki napięcia, panel nawigacyjny, układy sterujące, rolnictwo precyzyjne

**Keywords:** voltage drops, navigation display, control systems, precision farming

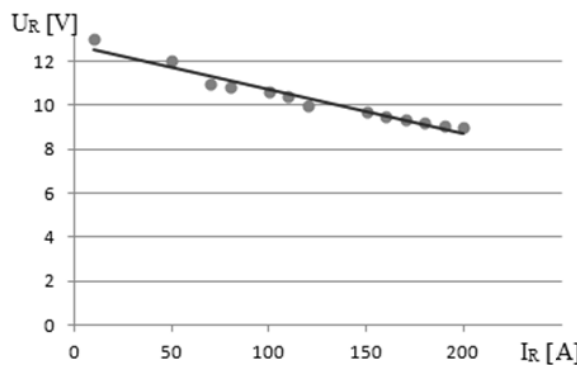
### Wstęp

Współczesne technologie wykorzystują maszyny, które pracują z dużymi wydajnościami pozwalającymi obniżyć jednostkowe koszty produkcji. Stopień precyzji w organizacji pracy maszyn wymusza szczegółową analizę każdej składowej czasu pracy a następnie jego minimalizację. Możliwości techniczne pozwalają na śledzenie maszyny w czasie rzeczywistym i generowanie informacji o szacowanym ekonomicznym wyniku jej pracy. Stopień informatyzacji pozwala sterować ustawieniami maszyn zdalnie poprzez wirtualny terminal odciażając tym samym operatora, który ma dostęp do interaktywnej pomocy ze strony dyspozytora, dodatkowo może wykorzystywać doświadczenia innych operatorów. Powszechny dostęp do Internetu sieci GSM oraz systemu GPS pozwolił praktycznie zautomatyzować technologie przyczyniając się do optymalizacji procesu pracy.

Gwarancją prawidłowej pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych jest stała wartość napięcia zasilającego. Układy zasilające urządzeń mogą być również przystosowane do niewielkich zmian napięcia zasilającego, co poprawia niezawodność pracy. Jest to szczególnie ważne w przypadku odbiorników zasilanych prądem stałym. Spadki napięć są szczególnie uciążliwe w przypadku instalacji niskiego napięcia, a z takimi mamy do czynienia w przypadku pojazdów samochodowych i ciągników rolniczych, gdzie najczęściej występują instalacje o napięciu 12 i 24 V [1]. Decydujący wpływ na wartość napięcia wybranego do zasilania instalacji pojazdu ma moc znamionowa rozrusznika (od 0,3 do 11kW), która zależy od wielkości i typu silnika spalinowego [2]. Niskie napięcie zasilania rozrusznika powoduje konieczność jego pracy przy prądach dochodzących do 1000 A [1, 2]. Zastosowany rozrusznik o określonej mocy i napięciu znamionowym determinuje wybór akumulatora o wystarczającej pojemności, aby przy niskich temperaturach nie następował znaczny spadek napięcia i prędkości obrotowej rozrusznika [2, 3]. Zmiany prędkości obrotowej, mocy, momentu napędowego czy napięcia można odczytać z charakterystyk (rys. 1) dla konkretnego rozrusznika zastosowanego w pojeździe [2].



Rys. 1. Charakterystyki rozrusznika elektrycznego z zaznaczeniem punktów znamionowych [2]



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka zależności napięcia od prądu rozruchu [3]

Chwilowe spadki napięć podczas rozruchu silnika mogą dochodzić do 30% (rys. 2) [3] i to może powodować zakłócenia w pracy innych odbiorników prądu podpiętych do instalacji. Odbiorniki prądu w postaci silników i siłowników elektrycznych zamontowanych na maszynach, aby nie

pobierać znacznej ilości mocy z układu elektrycznego ciągnika posiadają własną instalację zasilaną z alternatora napędzanego hydraulicznie lub mechanicznie. Niektóre rozwiązania idą dalej i sterowanie taką maszyną może odbywać się przy wykorzystaniu bezprzewodowej transmisji danych (Wi-Fi, Bluetooth).

Nowoczesne technologie produkcji i doskonalenie maszyn rolniczych spowodowało, że zastosowanie układów mechatronicznych, elektroniki, informatyki oraz systemów telekomunikacji można spotkać w każdej maszynie przystosowanej do technologii rolnictwa precyzyjnego [4, 5, 6]. Praca nowoczesnymi maszynami wymaga od operatora nie tylko znajomości obsługi maszyny, prowadzenia ciągnika, ale również obsługi komputerów pokładowych [4, 5]. Zautomatyzowanie procesu prowadzenia agregatu ciągnikowego po polu oraz dozowania środków produkcji umożliwia wzrost wydajności pracy maszyn oraz poprawę komfortu pracy i ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko [6, 7].

Mechatroniczne układy sterujące oprócz informacji zbieranych z czujników korzystają również z danych o położeniu geograficznym. Są podstawowymi układami stosowanymi w technologii rolnictwa precyzyjnego. Aby precyzyjnie wyznaczyć pozycję maszyny na polu konieczne jest wyposażenie systemu w odbiorniki GNSS i dodatkowe modemy do odbioru poprawki RTK [4, 8]. Odbiornik wykonujący obserwacje w celu wyliczenia korekt pomiarowych oraz mający możliwość wysłania tych informacji np. drogą radiową (UHF) lub GSM (GPRS) nazywamy odbiornikiem bazowym lub stacją referencyjną [9]. Komputery i urządzenia stosowane w ciągnikach i maszynach rolniczych są zabezpieczone przed spadkami napięcia zasilającego. Zakres zmian napięcia może być w zakresie od 7.0 do 32.0 V DC [10, 11], ale zdarzają się przypadki kiedy niektóre z urządzeń włączonych w jeden system mają inny zakres napięć i wtedy pojawiają się stany anormalne uniemożliwiające poprawną pracę całego zestawu. Przejawia się to w postaci wyświetlanych błędów o zaniku sygnału z czujnika lub urządzenia, konieczności ponownego logowania do serwisów udostępniających poprawki RTK, a w skrajnych przypadkach restarterem całego komputera sterującego i koniecznością nawiązania połączeń z wszystkimi układami pomiarowymi (z czujnikami) i modemami oraz serwisami danych. W przypadku odbiorników GNSS zakłócenia w pracy mogą występować również podczas przejazdu w pobliżu linii energetycznych, nadajników radiowych lub nadajników telefonii komórkowej [11].

### Przedmiot badań

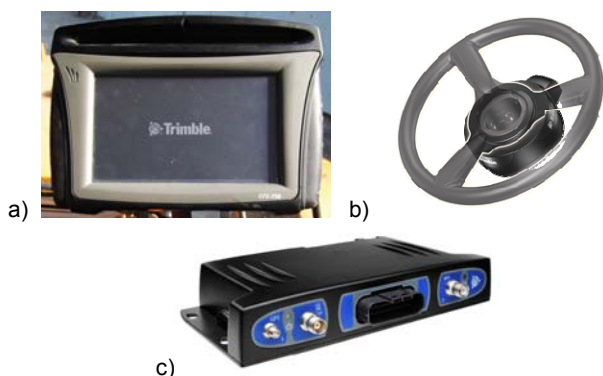
Systemy nawigacji automatycznej, które podczas swojej pracy mocno obciążają instalację, wymagają poprowadzenia oddzielnego okablowania i włączenia się bezpośrednio do akumulatora [10, 11]. Dodatkowo zasilania wymagają systemy wspomagające jazdę automatyczną oraz układy sterowania maszyn i narzędzi towarzyszących (rys. 3) które realizują założone czynnności technologiczne. Bardzo często układy mechatroniczne ciągników są dodatkowo wyposażone w elementy archiwizujące wybrane dane procesu z koordynatami geograficznymi włącznie, a w przypadku czynności nawożenia i ochrony chemicznej roślin oraz ich dokarmiania dolistnego, systemy czasu rzeczywistego, które również zasilane są z instalacji elektrycznej ciągnika. Wychodząc naprzeciw stawianym wymaganiom przez użytkownika i rozwój techniki w kabinach ciągników są instalowane gniazda zasilające przygotowane do zasilania dodatkowych urządzeń (rys. 3c).



Rys. 3. Urządzenia w kabinie ciągnika: a) urządzenia wspomagające czynności technologiczne nawożenia organicznego, b) System ISOBUS skonfigurowany do nawożenia mineralnego, c) gniazda zasilające w ciągniku Fendt [12, 13]

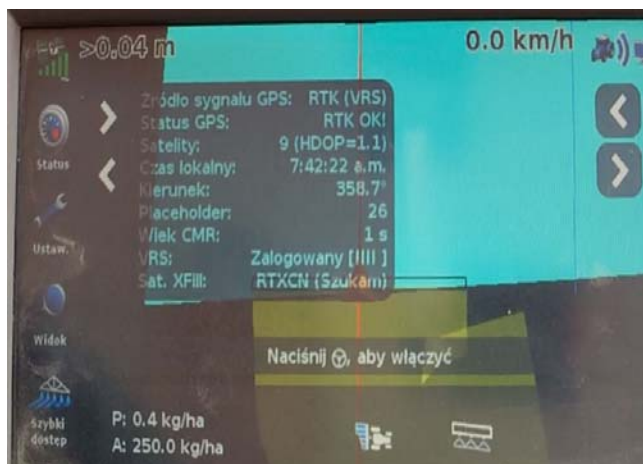
### Badania

Badania przeprowadzono dla 4 ciągników rolniczych o mocach silników z zakresu 88 – 243 kW. Jako urządzenia dodatkowe montowane na ciągnikach wykorzystano zestaw składający się z panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 wraz z systemem jazdy automatycznej EZ-Pilot i modemem DCM-300 do odbioru poprawki RTK (RTN) przesyłanej przez sieć GPRS (rys. 4).



Rys. 4. Zestaw nawigacyjny firmy Trimble: a) panel nawigacyjny CFX-750, b) system EZ-Pilot, c) modem DCM-300 [12, 13]

Zakres napięcia zasilającego dla panelu CFX-750 wraz z systemem jazdy automatycznej EZ-Pilot i modemem DCM-300 to 9-16 V, czujnik nachylenia IDM 600 zasilanie 12 V. Pomiar przeprowadzono przy silniku zimnym i rozgrzanym do nominalnej temperatury pracy. Pomiar dla zimnego silnika odbywał się rano po przerwie trwającej od 8 do 12 godzin poprzedzonej pracą ciągnika min. 4 godziny zapewniającą pełne naładowanie akumulatora. Temperatura podczas tego pomiaru oscylowała w granicach 15 – 18°C. Pomiar dla silnika ciepłego odbywał się po rozgrzaniu silnika do nominalnej temperatury pracy, następnie następowało wyłączenie silnika na 5 minut i ponowny rozruch połączony z pomiarem napięcia i czasu uruchomienia systemu nawigacyjnego. Zestaw podłączony był kablem o długości 4 m do akumulatora badanego ciągnika. Pomiar napięcia dokonywano na wejściu panelu nawigacyjnego wykorzystując miernik cyfrowy UNI-T UT-139C. Zakres pomiarowy był ustawiony na 60,00 V przy rozdzielczości pomiaru 10 mV, a dokładność pomiaru wynosiła  $\pm 0,7\%$  [14]. Pomiar napięcia wstępnego dokonano przed włączeniem odbiorników prądu w instalacji elektrycznej ciągnika. Podczas badań spadku napięcia wykorzystano funkcję pomiaru wartości minimalnej wyznaczanej z częstotliwością 3 Hz [14]. Podczas rozruchu silnika sprawdzana była poprawność pracy wymienionego wyżej zestawu na podstawie wyświetlanych informacji na ekranie (rys. 5). Przed uruchomieniem silnika zestaw nawigacyjny był uruchamiany i po osiągnięciu gotowości do pracy uruchamiano rozrusznik. Czas rozruchu całego zestawu urządzeń był mierzony od momentu uruchomienia rozrusznika do osiągnięcia pełnej funkcjonalności i prawidłowej jakości sygnału RTK i wyznaczony został przy użyciu stopera z dokładnością 0,1 s.



Rys. 5. Ekran panelu nawigacyjnego CFX-750 z informacją o stanie systemu

Dla każdego ciągnika wykonano po 5 powtórzeń, z których obliczono średnią i odchylenie standardowe, a wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 1 i 2 odpowiednio dla pomiarów przy zimnym i ciepłym silniku.

Tabela 1. Wyniki pomiarów dla zimnego silnika

Pomiar		Fendt Vario 936	John Deere 6210R	New Holland T7.195	Claas Arion 520
Napięcie wstępne (V)	średnia	12,52	12,56	12,67	12,31
	odch. std.	0,64	0,38	0,23	0,42
Napięcie podczas rozruchu (V)	średnia	9,37	8,87	9,34	7,64
	odch. std.	0,56	0,32	0,52	0,19

Napięcie wstępne dla badanych ciągników wahało się w przedziale od 12,31 do 12,67 V (tab. 1). Ze zmierzonych wartości wynika, że w przypadku ciągnika Claas Arion 520 mamy do czynienia z najsłabszym akumulatorem podatnym na samoczynne rozładowywanie się. Najlepszym pod tym względem źródłem prądu charakteryzował się ciągnik New Holland T7.195 (tab. 1). Spadki napięcia w przypadku rozruchu silnika zimnego wahały się od 3,15 do 4,57 co w stosunku do napięcia początkowego dawało wartości od 25 do 38%. Napięcie wstępne, po osiągnięciu temperatury nominalnej silnika (praca silnika przez ok. 30 min.), dla badanych ciągników wahało się w przedziale od 12,73 do 13,49 V (tab. 2). Odchylenie standardowe uzyskanych wyników zawierało się w przedziale od 0,17 do 0,36 V. Ze zmierzonych wartości przy ciepłym silniku wynika, że napięcie akumulatora ciągnika Claas Arion 520 również wypada najsłabiej. Podobnie jak w przypadku zimnego silnika, najlepszym pod tym względem źródłem prądu charakteryzował się ciągnik New Holland T7.195 (tab. 2).

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla ciepłego silnika

Pomiar		Fendt Vario 936	John Deere 6210R	New Holland T7.195	Claas Arion 520
Napięcie wstępne (V)	średnia	13,24	13,42	13,49	12,73
	odch. std.	0,34	0,27	0,17	0,36
Napięcie podczas rozruchu (V)	średnia	10,51	9,11	10,42	8,52
	odch. std.	0,47	0,26	0,39	0,16

Spadki napięcia w przypadku rozruchu silnika ciepłego wahały się od 2,73 do 4,31 V, co w stosunku do napięcia początkowego dawało spadek wartości od 21 do 33%. Odchylenie standardowe uzyskanych wyników dla minimalnego napięcia podczas rozruchu zawierało się w przedziale od 0,16 do 0,47 V (tab. 2).

Tabela 3. Wyniki pomiarów czasu rozruchu zestawu nawigacyjnego

Ciągnik	Zimny silnik		Ciepły silnik	
	średni czas (s)	wsp. zmienności (%)	średni czas (s)	wsp. zmienności (%)
Fendt Vario 936	55,9	94,4	42,9	108,7
John Deere 6210R	100,6	14,4	78,9	36,6
New Holland T7.195	24,9	146,4	0,0	-
Claas Arion 520	114,6	14,9	107,0	13,2

Średni czas rozruchu systemu wahał się w zakresie od 0 do 114,6 s charakteryzując się współczynnikiem zmienności z zakresu od 0 do 146,6%. Taka duża rozbieżność wynikała z wyników zmieniających się od 0 do ponad 120 sekund. Zarówno największa jak i najmniejsza zmienność została zaobserwowana w przypadku ciągnika New Holland T7.195 co wynikało z braku zakłóceń w przypadku pracy przy ciepłym silniku.

#### Podsumowanie

Podłączenie dodatkowych urządzeń w ciągnikach rolniczych nie jest problemem, bo w większości przypadków nawet w kabinach są fabrycznie przygotowane gniazda zasilające. Jednak w przypadku coraz większej liczby odbiorników prądu włączonych do standardowego źródła zasilania i instalacji elektrycznej konieczne staje się przeprowadzenie wstępnych pomiarów dotyczących spadków napięć. W niektórych przypadkach konieczne jest zmodernizowanie instalacji do nowych warunków poboru mocy. Niekiedy wymiana akumulatora na nowy lub o większej pojemności i prądzie rozruchu jest wystarczające do usunięcia problemów z zasilaniem. Przeprowadzona analiza wyników wykazała, że najlepsze wyniki otrzymano przy pomiarach wykonanych dla ciągników Fendt 936 Vario i New Holland T7.210. Spadki napięć jakie występowały w instalacji badanych ciągników wahały się od 21 do 38%. Poprawność działania systemów mechatronicznych w przypadku dwóch ciągników wymaga wymiany akumulatora lub doposażenia instalacji w zabezpieczenia przed spadkami napięć.

#### Autorzy:

dr inż. Mirosław ZAGÓRDA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Miroslaw.Zagorda@urk.edu.pl, dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Pawel.Kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Tomasz DRÓŹDŹ, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Tomasz.Drozdz@ur.krakow.pl, dr inż. Aleksander GAŚIORSKI, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa, E-mail: alekg@el.pcz.czest.pl;

#### LITERATURA

- [1] Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S. 1999. Elektrotechnika i elektronika samochodowa. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1999.
- [2] Plizga K. 2008. Diagnostyka wyposażenia elektrycznego pojazdów rolniczych. MOTROL, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, nr 10, 2008, ss. 110-121. ISSN 1730-8658
- [3] Duer S., Zajkowski K. 2016. Badanie laboratoryjne rozrusznika samochodowego, Autobusy, nr 6, 2016, ss. 840-843. ISSN 1509-5878
- [4] Walczykova M, Kielbasa P., Zagórda M. 2016. Pozyskanie i wykorzystanie informacji w rolnictwie precyzyjnym. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. ISBN 978-83-64377-03-7.
- [5] Gozdowski D., Samborski S., Sioma S. 2007. Rolnictwo precyzyjne. SGGW. Warszawa. ISBN 978-83-7244-858-3.
- [6] Baum R., Wojszczyk K., Wawrzynowicz J. 2012. Miejsce i rola rolnictwa precyzyjnego w koncepcji zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolnych. Ekonomia i Środowisko. Nr 1 (41). s. 71 – 83.
- [7] Sałat R. 2013. Układy mikroprocesorowe i sensory w maszynach rolniczych. Współczesna inżynieria rolnicza - osiągnięcia i nowe wyzwania. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 2013, t. I, 263-285. ISBN 978-83-935020-3-5.
- [8] Zagórda M., Juliszewski T., Kielbasa P., Nawara P., Dróźdź T., Trzyniec K. 2017. CONTROL OF ELECTROVALVE ASSEMBLY BASED ON SIGNAL FROM TRIMBLE CFX-750 NAVIGATION PANEL WITH FIELD-IQ MODULE. Przegląd Elektrotechniczny, nr 12, s. 199-203.
- [9] [http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg\\_type=tech\\_rtk](http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=tech_rtk)
- [10] [http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-624020/EZ-Pilot\\_Install\\_78100-22-E05\\_ClaasArion\\_Axion-AW.pdf](http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-624020/EZ-Pilot_Install_78100-22-E05_ClaasArion_Axion-AW.pdf)
- [11] [http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-533911/Trimble\\_CFX-750\\_UserGuide\\_19A\\_POL.pdf](http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-533911/Trimble_CFX-750_UserGuide_19A_POL.pdf)
- [12] <https://www.maszynylafarmera.pl/zmodernizowana-kabina-horizon-w-seriach-cignikow-t6-i-t7-new-holland/>
- [13] [https://www.fendt.com/pl/images/57ad8d8f44d24d05748b4568\\_1471341128\\_web\\_pl-PL.jpg](https://www.fendt.com/pl/images/57ad8d8f44d24d05748b4568_1471341128_web_pl-PL.jpg)
- [14] Instrukcja obsługi miernika UNI-T UT-139C