

**Jan Radosław Kamiński
Igor Stepanovič Kruk
Aleksander Szeptycki**

**CIĄGNIKOWE AGREGATY MASZYNOWE
W NOWOCZESNYM ROLNICTWIE**

TRACTOR-MACHINE SETS IN MODERN AGRICULTURE

INSTYTUT TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
Falenty, al. Hrabka 3, 05-090 Raszyn
tel./fax 22 628-37-63; www.itp.edu.pl; e-mail: itp@itp.edu.pl

DYREKTOR INSTYTUTU

prof. dr hab. Edmund Kaca

Oddział w Warszawie

ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa
tel. 22 542-11-00, fax 22 542-11-50

Kierownik Oddziału

prof. dr hab. Aleksander Szeptycki

KOLEGIUM REDAKCYJNE

prof. dr hab. Aleksander Szeptycki – przewodniczący

prof. dr hab. J. Lech Jugowar

prof. dr hab. Zdzisław Wójcicki

prof. dr hab. Jan Pawlak

prof. dr hab. Krzysztof Wierzbicki

Recenzenci

prof. dr hab. Jan Pawlak, prof. dr hab. Maciej Kuboń

Redakcja naukowa

prof. dr hab. Edmund Kamiński

Kierownik Działu Wydawnictw: *dr hab. inż. Halina Jankowska-Huflejt, prof. nadzw.*

Projekt okładki: *Halina Jankowska-Huflejt*

Opracowanie redakcyjne: *Barbara Wcislińska*

Skład komputerowy i przygotowanie do druku: *Anna Wysocka*

© Copyright by Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach (ITP), 2015

ISBN 978-83-62416-86-8

ISSN 2083-9545

Adres redakcji: Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Falenty, al. Hrabka 3, 05-090 Raszyn
tel. 22 720-05-98; www.itp.edu.pl; e-mail: wydawnictwo@itp.edu.pl
Realizacja wydania: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „Gimpo”
02-778 Warszawa, ul. M. Grzegorzewskiej 8. Ark. wyd. 9. Nakład 220 egz.

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń	5
1. WPROWADZENIE	8
2. CIĄGNIKI ROLNICZE (SILNIKI, PODWOZIA, WYPOSAŻENIE, KLASY, ENERGETYKA, HYDRAULIKA)	10
2.1. Silniki instalowane w ciągnikach rolniczych	10
2.2. Układy jezdne ciągników rolniczych	14
2.3. Podstawowe wyposażenie ciągników rolniczych	16
2.4. Elektronika ułatwiająca pracę kierowcy	20
2.5. Klasyfikacja ciągników rolniczych	22
2.6. Energetyka agregatu ciągnikowego	23
2.7. Układy hydrauliczne w ciągnikach rolniczych	23
3. ROLNICZE AGREGATY MASZYNOWE	26
3.1. Informacje ogólne	26
3.2. Maszyny i narzędzia do podstawowej uprawy gleby	28
3.3. Maszyny do uprawy przedsiewnej i późniejszej uprawy	32
3.4. Maszyny do nawożenia mineralnego i organicznego	37
3.5. Maszyny do siewu i sadzenia	43
3.6. Maszyny do ochrony roślin	48
3.7. Maszyny i narzędzia do upraw międzyrzędowych	49
3.8. Maszyny do zbioru roślin uprawnych	51
4. ODDZIAŁYWANIE CIĄGNIKÓW, MASZYN I NARZĘDZI NA ŚRODOWISKO NATURALNE	56
4.1. Rozpylenie i ugniatanie gleby	56
4.2. Zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych	60
4.3. Erozja wodna i wietrzna gleby	61
4.4. Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego	62
4.5. Zadymienie spalin silników ciągnikowych	63
5. DOBÓR CIĄGNIKÓW, NARZĘDZI I MASZYN ROLNICZYCH	88
5.1. System doboru (proponycja)	88
5.2. Rodzaje agregatów ciągnikowo-maszynowych	90
5.3. Wymagania dla ciągników	92
5.4. Organizacja zabiegów technologicznych	93
5.5. Wykorzystanie technik satelitarnych w doborze i użytkowaniu agregatów rolniczych	95
6. BADANIA CIĄGNIKÓW I MASZYN	99
6.1. Parametry techniczno-eksploatacyjne ciągników	99
6.2. Baza danych o zbadanych ciągnikach rolniczych	106
6.3. Planowanie eksperymentów	108
6.4. Przykładowe badania statystyczne	112
7. PODSUMOWANIE	118
8. BIBLIOGRAFIA	119
Streszczenie	130

Contents

List of important signs	5
1. INTRODUCTION	8
2. AGRICULTURAL TRACTORS (ENGINES, CHASSIS, EQUIPMENT, CLASSES, ENERGETICS, HYDRAULICS)	10
2.1. Engines in agricultural tractors	10
2.2. Driving systems of agricultural tractors	14
2.3. Basic equipment of agricultural tractors	16
2.4. Electronic systems supporting driver	20
2.5. Classification of agricultural tractors	22
2.6. Energetics of tractor-machine set	23
2.7. Hydraulic systems of agricultural tractors	23
3. AGRICULTURAL MACHINE SETS	26
3.1. General informations	26
3.2. Machines and tools for soil tillage	28
3.3. Machines and tools for pre-sowing and after-harvest soil cultivation	32
3.4. Machines for application of mineral and organic fertilizers	37
3.5. Machines for sowing and planting	43
3.6. Machines for plant protection	48
3.7. Machines and tools for interrow cultivation	49
3.8. Machines for harvesting crops	51
4. IMPACT OF TRACTORS, MACHINES AND TOOLS ON THE ENVIRONEMENT	56
4.1. Pulverization and compaction of soil	56
4.2. Soil and water pollution	60
4.3. Water and wind erosion of soil	61
4.4. Pollution of atmospheric air	62
4.5. Smokiness of exhaust gases from tractor engines	63
5. SELECTION OF TRACTORS, TOOLS AND AGRICULTURAL MACHINES	88
5.1. Method of selection (proposal)	88
5.2. Types of tractor-machine sets	90
5.3. Requirements for tractors	92
5.4. Organisation of technological operations	93
5.5. Application of satellite technics for selection and use of agricultural machines sets	95
6. TESTING OF TRACTORS AND MACHINES	99
6.1. Technical and operational parameters of tractors	99
6.2. Database of tested agricultural tractors	106
6.3. Design of experiments	108
6.4. Example of statistical test	112
7. RECAPITULATION	118
8. BIBLIOGRAPHY	119
Summary	132

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

- ABS – Anti-Lock Braking System – system zapobiegający blokowaniu się kół podczas hamowania;
system to prevent the wheels from locking during braking;
- ACS – Automatic Crash System – system automatycznie odblokowujący (podczas kolizji) centralny zamek, włączający oświetlenie pojazdu i światła awaryjne, odcinający dopływ paliwa;
the system will automatically unlock (during a collision) the central locking system which activates the vehicle lighting and emergency lights and fuel shut-off;
- ACD – Active Central Differential – rozdział mocy pojazdu na półosie (kompensacja różnicy prędkości obrotowych półosi);
power distribution on the axles of the vehicle (compensation of difference in rotational speed of half shafts);
- ACC – Adaptive Cruise Control – dostosowanie prędkości pojazdu do warunków na drodze (położenia innych pojazdów);
adjustment of the vehicle speed to the road conditions;
- AdBlue – roztwór mocznika, płyn wykorzystywany w ciągnikach wyposażonych w SCR;
urea solution, the fluid used in tractors equipped with SCR;
- AFS – Adaptive Front Lighting System – system oświetlający kierunek jazdy;
- AFU – wspomaganie nagłego hamowania;
Brake Assist;
- AHR – Active Head Restraint – układ aktywnych zagłówków;
- APS – Automatic Power Shuttle – automatyczna zmiana biegów pod obciążeniem;
automatic gear;
- ASR – Acceleration Slip Regulation – system kontroli trakcji, system zapobiegający nadmiernym poślizgom podczas przyśpieszania, występuje również pod nazwami TC (Traction Control), TCS (Traction Control System) oraz ATC (Automatic Traction Control);
traction control, anti-slipping when excessive accelerating, it also appears under the name of TC Traction Control), TCS (Traction Control System) and ATC (Automatic Traction Control);
- ATG – Automatyka i Technika Grzejna w systemie olej napędowy i olej roślinny;
Automatic Heating Technology in the system diesel-vegetable oil;
- BAS – Brake Assist System – system wspomagania nagłego hamowania w sytuacjach awaryjnych (określany również jako Brake Assist – BA lub Aide au freinage d'urgence – AFU);
brake assist system in emergency situations (also known as Brake Assist – BA or Aide au freinage d'urgence – AFU);
- BLIS – Blind Spot Information System – system informacji „martwego pola” w pojeździe;
information system about "blind spots" in the vehicle;
- CDS – kontrola stabilności;
stability control;
- CNG – Compressed Natural Gas – sprężony gaz ziemny;
- PA – system zapobiegający kolizjom, monitorowanie ciśnienia w oponach, ostrzegający o spadku ciśnienia, kurtyny powietrzne;
anti-collision system, monitoring of tire pressure, air curtains;
- CSD – funkcja awaryjnego hamowania, pozwalająca uniknąć zderzenia ze stałą przeszkodą;
emergency braking function allows you to avoid a collision with a fixed obstacle;

- CTF – Controlled Traffic Farming – system automatycznego prowadzenia maszyn rolniczych o dużej szerokości roboczej zawsze tym samym śladem w kolejnych zabiegach technologicznych;
automatic guiding system for machines of large working width;
- CVT – Continuously Variable Transmission – przekładnia bezstopniowa;
- DAA – Driver Activity Assistant – system wykrywający zmęczenie u kierowcy;
system of monitoring driver's fatigue;
- DCR – Deutz Common Rail – układ wtryskowy firmy Deutz;
Deutz's injection system;
- DSR – Dynamic Steering Response – system kontrolujący moment obrotowy samochodu (może wykonać lekki manewr kierownicą), system wspomagający ESP;
controls the torque of the car (can make slight steering maneuver), the system will support ESP;
- EDC (EHR) – elektroniczny układ regulacji siłowej (elektro-hydrauliczne sterowanie tylnym podnośnikiem);
electronic system for hydraulic power control (electro-hydraulic control of rear lift);
- EDS – elektroniczna blokada mechanizmu różnicowego;
electronic differential lock;
- EDW – alarm antywłamaniowy;
antibreaking alarm;
- EGR – Exhaust Gas Recirculation – system recyrkulacji spalin (zewnętrzna recyrkulacja spalin), pozwalający na kontrolowanie dozowania spalin, które częściowo są ponownie doprowadzane do komór spalania;
enabling the control of dosing the exhaust gas which is partially supplied back to the combustion chamber;
- ESP – Electronic Stability Program – elektroniczny program stabilizacji toru jazdy (często używane są inne skróty, jak np. VSC lub STC); obejmuje systemy ABS i ASR;
electronic stability program (often using other shortcuts such as VSC or STC) includes ABS and ASR systems;
- ETO – elektroniczna technika obliczeniowa;
electronic computing technology;
- HHC – Hill Hold Control – system zapobiegający staczaniu się pojazdu podczas podjeżdżania na wzniesienie oraz zjeżdżania ze wzniesienia;
system to prevent the vehicle from rolling backwards during hill climb on and drive off;
- IACS – Integrated Administration and Control System – zintegrowany system zarządzania i kontroli;
integrated administration and control system;
- i-ELOOP – Intelligent Energy Loop – układ odzyskiwania energii (należący do gamy rozwiązań z silnikami SKYACTIV);
system of energy recovery for SKYACTIV engines;
- LDW – Lane Departure Warning – ostrzega przed niezamierzonym zjazdem z pasa ruchu;
warns of unintended lane exit;
- LED – Light Electronic Device -- lampy do dziennej jazdy;
daytime running lamps;
- LNG – Liquefied Natural Gas – skroplony gaz ziemny;
- LPG – Liquid Petrol Gas Propan Butan – ciekły gaz ziemny propan-butan;
- MCB – Multi Collision Brake – system automatycznego hamowania w przypadku braku reakcji kierowcy podczas kolizji;
system of automatic breaking during collision in case when driver do not react;
- NOx – tlenki azotu – nitrogen oxides;
- REF – elektroniczny rozdział siły hamowania, najczęściej włączone w skład ESP;
electronic brake force distribution (it is usually included in ESP);

- RSC – Roll Stability Control – system zapobiegający przewróceniu się pojazdu;
- SBR – Seat Belt Reminder – czujnik zapięcia pasów bezpieczeństwa;
- SCR – Selective Catalitic Reduction – selektywna katalityczna redukcja związków azotu;
- SDC – System Distance Control – system automatycznej kontroli wysokości i ustawienia poprzecznego belki polowej opryskiwacza;
system of automatic control of sprayer beam height and transversal adjustment;
- SYNC – zaawansowana technologia obsługi głosowej z aktywnym głosem samochodowym;
advanced system of service with active vehicle voice;
- TM – masa cząstek stałych w spalinach;
particulate mass in the exhaust;
- TSR – Traffic Sign Recognition – system rozpoznający znaki drogowe;
- TTV – przekładnia bezstopniowa o trzech trybach pracy (automatycznej, manualnej i WOM,
WOM 540E i 1000E – prędkości ekonomiczne);
variable transmission with three modes (automatic, manual and PTO 540E and
1000E PTO – economic speed;
- Turn Assist – asystent nawracania (ułatwia manewry na uwrociach, po skręceniu kierownicą o 8° następuje włączenie dodatkowego wspomagania);
makes it easy to maneuver on the headland, and when the steering wheel is turned
of about 8 degrees the additional support is switched on;
- VSA – Vehicle Stability Assist – system stabilizacji pojazdu (antypoślizgowy);
anti slip system.

1. WPROWADZENIE

Racjonalne wykorzystanie ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych jest jednym z aktualnych problemów polskiego rolnictwa. Przemysł dostarcza na rynek bardzo szeroki asortyment ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych o różniących się charakterystykach technicznych, jakości pracy, wskaźnikach eksploatacyjno-ekonomicznych, ergonomicznych i ekologicznych [ITP 2014]. Systematycznie wprowadzany postęp techniczny i technologiczny sprawia, że eksploatowane są ciągniki i maszyny charakteryzujące się zróżnicowanym stopniem nowoczesności konstrukcji i wskaźnikiem postępu technicznego. Przykładem mogą być ciągniki rolnicze, których obecnie wykorzystywanych jest w rolnictwie polskim ok. 1 300 tys. szt., a średni wiek ciągnika oceniany jest na 19 lat. Wysokie ceny nowoczesnych ciągników i maszyn hamują proces wymiany starego parku maszynowego na nowy, bardziej efektywny z punktu widzenia energetycznego, ergonomicznego i ekologicznego. Wymiana ta powinna następować w gospodarstwach całościowo, to znaczy, że zakup nowego ciągnika powinien być połączony z zakupem przystosowanych do niego nowych maszyn i narzędzi rolniczych, zapewniających poprawną ich współpracę i efektywne wykorzystanie. Uwzględniać przy tym należy obecnie funkcjonujące normy unijne, normy polskie i normy branżowe, dotyczące sprzętu rolniczego. Ważniejsze z nich podano w wykazie aktów prawnych.

Ważnym parametrem eksploatacyjnym narzędzi i maszyn rolniczych jest szerokość robocza, która z jednej strony powinna zapewniać efektywne wykorzystanie mocy ciągnika, z drugiej zaś zapewniać łączenie narzędzi i maszyn prostych, jednoczynnościowych, w jeden zestaw wieloczynnościowy. Normy z tego zakresu, dotyczące szerokości roboczych narzędzi i maszyn rolniczych, były normami branżowymi, są jednak przestrzegane; na przykład szerokości robocze siewników zbożowych wynoszą: 3, 4, 6 i 9 m, podstawowe szerokości robocze rozsiewaczy i opryskiwaczy polowych – 12 i 18 m. Maszyny o tych szerokościach roboczych umożliwiają, między innymi, stosowanie tzw. ścieżek technologicznych w uprawie zbóż.

Kolejną ważną grupę stanowią normy, na podstawie których bada się narzędzia i maszyny rolnicze, zapewniające porównywalność uzyskanych wyników badań oraz poprawność i dokładność wyznaczanych charakterystyk narzędzi i maszyn rolniczych.

W ostatnich latach ukazało się również wiele rozporządzeń, dotyczących zasad produkcji rolniczej; wybrane z nich podano również w wykazie aktów prawnych.

W pracy scharakteryzowano sytuację w zakresie badawczo-technicznym, dotyczącą sposobu wykorzystania aktualnie znajdujących się w eksploatacji ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych. Omówiono problem odnowienia starego parku maszynowego, co umożliwiłoby wdrożenie nowoczesnych technologii produkcji, które, oprócz wymagań agrotechnicznych, powinny spełniać kryteria ergonomiczne i ekologiczne. Wymagane jest, aby maszyny i technologie produkcji były przyjazne środowisku naturalnemu, gwarantowały zachowanie żyzności gleby oraz pozyskiwanie surowców do produkcji zdrowej żywności. Racjonalny dobór ciągników, narzędzi i maszyn

powinien umożliwiać efektywne wykorzystanie mocy silników spalinowych, zainstalowanych w ciągnikach, zaczepów transportowego, rolniczego, automatycznego i trzypunktowych układów zawieszenia oraz instalacji elektrycznej, pneumatycznej, hydraulicznej, a także komputerów pokładowych z systemami automatycznej kontroli i sterowania parametrami techniczno-eksploatacyjnymi agregatów maszynowych.

Zakres monografii obejmuje ciągniki rolnicze, narzędzia i maszyny rolnicze wykorzystywane w gospodarstwach rolnych, głównie w produkcji roślinnej. Zwrócono uwagę na destrukcyjne oddziaływanie maszyn na glebę, wody gruntowe i powietrze atmosferyczne, w tym na nadmierne zagęszczenie warstwy ornej i podglebia, rozpylenie gleby aktywnymi organami roboczymi, naruszenie stosunków wodnych w glebie i jej zanieczyszczenie środkami chemicznymi, zanieczyszczenie powietrza gazami spalinowymi silników wysokoprężnych, z podaniem możliwości oddzielania sadzy od spalin za pomocą specjalnych filtrów. Opisano badania stanowiskowe zadymienia spalin silników wysokoprężnych, formułując problem badawczy następująco: jaki stopień zadymienia spalin charakteryzuje ciągniki rolnicze produkcji krajowej. W tym celu zbudowano specjalne stanowisko badawcze z odpowiednią aparaturą pomiarową, opracowano metodykę badań oraz przeprowadzono weryfikację uzyskanych wyników, porównując je z uzyskanymi metodą opisaną w „Kodeksie drogowym”.

Tematyka monografii obejmuje rolnictwo tradycyjne, zrównoważone i ekologiczne ze szczególnym uwzględnieniem rolnictwa precyzyjnego, wykorzystującego nowoczesne maszyny i ciągniki wyposażone w komputery pokładowe, przystosowane do współpracy z nawigacją satelitarną. Omówiono też uprawę gleby sprzyjającą zatrzymywaniu w warstwie ornej wód opadowych i z topniejącego śniegu oraz zapobiegającą erozji wietrznej i wodnej, między innymi na polach uprawnych, znajdujących się na terenie pochyłym.

2. CIĄGNIKI ROLNICZE (SILNIKI, PODWOZIA, WYPOSAŻENIE, KLASY, ENERGETYKA, HYDRAULIKA)

2.1. Silniki instalowane w ciągnikach rolniczych

Od wielu lat obserwowana jest tendencja zwiększania mocy silników spalinowych instalowanych w ciągnikach rolniczych. W zależności od klasy ciągnika zakres mocy wynosi od kilku do kilkuset kW. Na przykład firma niemiecka Fendt, wyposaża ciągniki kołowe w silniki o mocy: 200V/F/P (48–70 kW), 200 S (48–69 kW), 300 Ci (68–72 kW), seria 300 Vario (70–92 kW), seria 400 Vario (85–114 kW), seria 700 Vario (96–132 kW), seria 800 Vario (136–151 kW), Vario 220 (265 kW), Black Beauty Trisix (397 kW). Podobnie firma Massey Ferguson instaluje w swoich ciągnikach silniki o mocy od 24 do 232 kW. Firma Claas wyposaża ciągniki w silniki od 50 do 279 kW. Są to głównie ciągniki dwuosiowe z napędem na jedną lub dwie osie, ciągniki dwuosiowe sześciokołowe z napędem na dwie osie, ciągniki dwuosiowe ośmiokołowe z napędem na dwie osie, a nowością jest ciągnik trzyosiowy z napędem na trzy osie. W ciągnikach dużych mocy ważne jest poprawne ustalenie ogólnego bilansu mocy, na który składa się moc przeznaczona na m.in. opory przetaczania ciągnika, siłę uciągu, wały przekładników mocy, napędy siłowników i silników hydraulicznych, napęd siłowników pneumatycznych, silników elektrycznych, poślizgi kół napędowych, opory jałowe mechanizmów przekazania mocy. Przekazanie mocy z silnika na odpowiednie zespoły ciągnika może odbywać się w różny sposób. W ciągnikach starego typu popularne były układy mechaniczne przekazania mocy, głównie przez manualną skrzynię przekładniową, na napęd kół jezdnych i przekładnię mechaniczną na napęd wałka odbioru mocy. Podstawową wadą mechanicznych skrzyń przekładniowych była skokowa zmiana prędkości jazdy, uniemożliwiająca osiągnięcie optymalnych prędkości roboczych wymaganych w operacji technologicznej, na przykład orce. Mechaniczne przenoszenie napędu na koła jezdne ciągnika z napędem na dwie osie związane było z dużymi stratami mocy na przekładniach, mechanizmie różnicowym, poślizgami kół przednich i tylnych podczas jazdy na zakrętach i nierównym terenie. W celu poprawy efektywności przekazywania mocy między silnikiem i kołami jezdnymi w nowoczesnych konstrukcjach wykorzystywane są: przekładnie manualne, automatyczne, automatyczne działające pod obciążeniem, napęd elektryczny (silnik spalinowy ciągnika napędza prądnicę), napęd hybrydowy – mechaniczno-elektryczny, napęd hydrostatyczny (zamknięty obwód hydrauliczny wyposażony w pompę wyporową i silniki hydrostatyczne), napęd hydrokinetyczny – układ wykorzystujący sprzęgło lub przekładnię hydrokinetyczną [ZABOST 2009]. Zespoły napędowe kół, jak: silniki elektryczne, hydrauliczne i hydrokinetyczne, montowane są bezpośrednio na osiach kół jezdnych, co zapewnia małe straty mocy oraz możliwość stosowania bezstopniowych skrzyń przekładniowych [CIEŚLIKOWSKI 2011; EKIELSKI 2009]. Ciągniki nowszych typów są wyposażane w przekładnie bezstopniowe (tab. 2.1).

Firmy Funk Manufacturing i John Deere Company produkują przekładnie następujących typów: planetarne, HMD (hydrostatyczne), Powershift (sterowane elektronicznie) [ZABOST 2009]. Według danych zamieszczonych na stronie internetowej

Tabela 2.1. Przykładowe typy przekładni bezstopniowych montowanych w ciągnikach dużych mocy

Table 2.1. Examples of variable speed gear mounted on high-power tractors

Producent ciągnika Manufacturer of tractor	Model ciągnika Type of tractor	Typ przekładni bezstopniowej Type of variable gear	Maksymalna prędkość jazdy Maximum speed [km·h ⁻¹]
Case IT	CVX	ZF S-Matic	40 lub 50
Claas	Axion 800	ZF C-Matic	50
Deutz-Fahr	Agrotron TTV	ZF-Eccom	50
Fendt	300 Vario	Fendt Vario	40
Fendt	700, 800 i 900 Vario	Fendt Vario TMS	50 (936 Vario) – 60
JCB	Fastrac 8250 V-Tronic	Fendt Vario	65
John Deere	6030, 7030 Premium	AutoPowr (ZF-Eccom)	40 lub 50
John Deere	8030	AutoPowr (Deere IVT)	40 lub 50
Lamborghini	R6 VRT	ZF-Eccom	50
Massey Ferguson	7 400 Dyna-VT	Fendt Vario	50
Massey Ferguson	8 400 Dyna-VT	Fendt Vario	50
New Holland	T7500	ZF S-Matic	50
Same	Iron Continuo	ZF Eccom	50
Valtra	N i T Direct	AGCO AVT	50
Valtra	Seria S	AGCO AVT	50

Źródło: opracowanie własne na podstawie: ZABOST [2009].

Source: own elaboration based of ZABOST [2009].

firmy TECHBUD [2014], przekładnie planetarne charakteryzują się następującą mocą: F9R – 27 kW, F12R – 35 kW, F25R – 71 kW, P65T – 138 kW, P120T – 168 kW. Przekładnie hydrostatyczne: HMD 33000 – 75 kW, HMD 12700 – 104 kW, HMD 18000 – 149 kW, natomiast przekładnie Powershift odpowiednio: DF150 – 120 kW, DF250 – 186 kW, seria 2000 – 168 kW.

Podstawowym paliwem ciągnikowym jest olej napędowy, uzyskiwany z ropy naftowej [BACZEWSKI, KAŁDOŃSKI 2004; BOCHENSKI 2003; CANAKCI, SANLI 2008; EN 14214-2008; ZAJĄC i in. 2008;]. Obecnie wdrażane są takie nowe paliwa, jak: olej roślinny, gaz ziemny, biogaz, wodór [BOCHENSKI i in. 2006; NOVIKOV 2008; PASYNIUK 2011; PASYNIUK, GOLIMOWSKI 2011; RODE 2003; SZLACHTA 2002].

Pomysł zastosowania czystego, naturalnego oleju roślinnego jako paliwa do silników wysokoprężnych jest tak stary, jak silnik Diesla. Rudolf Diesel, wynalazca silnika wysokoprężnego przed ponad 100 laty, jako paliwo wykorzystywał, m.in. także oleje roślinne.

Przeprowadzone przez HEMMERLEINA i in. [1991] badania różnych silników wysoko-
prężnych wykazały, że silniki z bezpośrednim wtryskiem paliwa nie nadają się do pracy na oleju roślinnym. Powodem było szybkie nawarstwianie się osadów w komorze spalania. Podobne wyniki uzyskał VELLGUTH [1983], obserwując dodatkowo powstawanie nagaru na końcówkach wtryskiwaczy, prowadzące do zatrzymania pracy silnika po ok. 50 godzinach. Klaus Elsbett w 1964 r. skonstruował silnik z sercową komorą spalania, nadający się do pracy na oleju roślinnym [BOCHENSKI 2003].

Ponieważ olej napędowy otrzymywany z ropy naftowej i oleje roślinne mają różniące się znacznie właściwości fizyczno-mechaniczne, podjęto próby badawcze z mieszankami tych olejów. Jak wykazały badania przeprowadzone przez PASYNIUKA [2011], ciągnik bez problemu był uruchamiany i pracował na mieszance oleju roślinnego z 20-procentowym dodatkiem oleju napędowego w temperaturze powietrza do -15°C . W trakcie badań zarejestrowano 10-procentowy spadek mocy silnika ciągnika pracującego na oleju roślinnym w porównaniu z silnikiem zasilanym olejem napędowym. Ponadto godzinowe zużycie oleju roślinnego było porównywalne ze zużyciem oleju napędowego, natomiast jednostkowe zużycie paliwa, w przeliczeniu na kWh w przypadku oleju roślinnego, było wyższe średnio o 15%.

Drugim rozwiązaniem jest przebudowa silników Diesla w sposób umożliwiający pracę silnika na oleju napędowym i oleju roślinnym w systemie ATG z dwoma zbiornikami paliwowymi. Z uwagi na to, że olej roślinny jest gęstszy niż olej napędowy i jego lepkość jest wyższa, uruchamianie silnika zimnego następuje z wykorzystaniem oleju napędowego. Po osiągnięciu przez silnik temperatury eksploatacyjnej następuje automatyczne przełączanie zasilania na paliwo roślinne. Od tego momentu silnik pracuje na czystym oleju roślinnym z temperaturą eksploatacyjną silnika. Inne wartości parametrów oleju roślinnego i inne warunki spalania powodują nieznaczny spadek mocy silnika i wzrost zużycia paliwa. Zaobserwowano również spadek emisji tlenku węgla (CO), węglowodorów (HC) oraz niższe zadymienie spalin, określane liczbą cząstek stałych (PM). Wzrosła natomiast emisja tlenków azotu (NOx), nad ograniczeniem których prowadzone są intensywne prace badawcze. Fabryka ciągników rolniczych John Deere Werke w Mannheim w Niemczech opracowała nowe ciągniki o mocy ponad 120 kW, przystosowane do spalania oleju roślinnego. Są to m.in.: John Deere 6830 Premium i John Deere 7530 [CHOŁOBOV i in. 2011; GRUBER 2007; LICHÁČEV 2011].

Znaczący udział w rynku paliw ciągnikowych ma tzw. biodiesel, uzyskiwany w wyniku reakcji transestryfikacji olejów roślinnych i odpadowych tłuszczów zwierzęcych. Osiągi silników zasilanych tym paliwem są o kilka procent niższe niż zasilanych olejem napędowym, ale jest to paliwo odnawialne. Emisja do atmosfery tlenku węgla i węglowodorów jest mniejsza niż w przypadku oleju napędowego, a tlenków azotu jest nieco większa.

Poszukując nowych paliw ciągnikowych, naukowcy i konstruktorzy skupili się na ciągnikach zasilanych wodorem. Przystosowanie ciągnika do paliwa wodorowego polega na zastąpieniu silnika spalinowego systemem ogni wodorowo-tlenowych, przetwarzających wodór na energię elektryczną, wykorzystywaną do napędu silników elektrycznych. Powstało wiele wzorców i serii prototypowych ciągników, które obecnie przechodzą próby eksploatacyjne. Przykładem może być ciągnik New Holland, znanego producenta sprzętu rolniczego, oznaczony symbolem NH_2^{TM} , zbudowany na bazie ciągnika standardowego serii T6000. Ciągnik, według danych fabrycznych, wyposażono w: zbiornik na sprężony wodór o pojemności 100 dm^3 (2,4 kg), wystarczający na dwie godziny pracy, system ogniw paliwowych, silnik elektryczny napędu układu jezdnego poprzez przekładnię bezstopniową CVT, silnik elektryczny napędu WOM poprzez CVT i innych źródeł energii, każdy o mocy 75 kW (101 KM), o stałym momencie obrotowym 949 Nm, przy maksymalnym 1200 Nm

i maksymalnej prędkości obrotowej 3000 obr. \cdot min⁻¹. Wersja ulepszona NH₂ bazuje na konwencjonalnym modelu ciągnika T6.140. Ma zbiornik wodoru o pojemności 8,2 kg, wystarczający na trzy godziny pracy.

Zaletami paliwa wodorowego są: pozyskanie energii elektrycznej ułatwiającej przenoszenie mocy, zastąpienie skomplikowanych przewodów hydraulicznych i przekładni mechanicznych przewodami elektrycznymi, idealna czystość spalin (niewielka ilość wody w postaci pary wodnej) sprawiająca, że ciągnik pod tym względem jest ekologiczny.

Obecnie opracowywane są, między innymi, następujące metody produkcji wodoru:

- elektroliza wody z wykorzystaniem energii elektrycznej, pozyskiwanej przez ogniwa fotowoltaiczne znajdujące się w gospodarstwie rolnym;
- reakcja metanu z parą, wykorzystanie metanu z komór fermentacyjnych generatorów biogazu;
- wykorzystanie ciemnej fermentacji beztlenowej biomasy.

Innym paliwem stosowanym w ciągnikach rolniczych jest biogaz, wykorzystywany w 2010 r. m.in. przez firmę Valtra w ciągniku T133 HiTech z technologią SCR. Nowszy model ciągnika T133 Dual Fuel został przystosowany do mieszanki biogazu z olejem napędowym. Około 83% mocy silnika pozyskiwane jest z biogazu, a 17% z oleju napędowego. Do rozpoczęcia spalania biogazu silnik pracuje na oleju napędowym.

Jako paliwo w ciągniku może również być wykorzystany gaz ziemny. Istnieją dwa sposoby zasilania silników wysokoprężnych paliwem gazowym, a mianowicie:

- w systemie dwupaliwowym (dual-fuel), z jednoczesnym zasilaniem silnika olejem napędowym i paliwem gazowym (zasysanie mieszanki gazowo-powietrznej, a następnie wtrysk oleju napędowego (ON));
- w systemie jednopaliwowym, w którym silnik z zapłonem samoczynnym zostaje odprężony i przerobiony na silnik z zapłonem iskrowym (zasysanie mieszanki gazowo-powietrznej, a następnie zapłon iskrowy).

Z paliw gazowych najczęściej stosowane są: gaz ziemny (CNG – sprężony, LNG – skroplony), ciekła mieszanka propanu i butanu (LPG) oraz biogaz.

Zasilanie gazowe silników wysokoprężnych zastosowano, między innymi, w następujących ciągnikach [LEJDA, JAWORSKI 2011]:

- ciągnik Massey Ferguson z silnikiem AD3.152, przystosowany do zasilania gazem ziemnym;
- mikrociągnik Ghepard z silnikiem Rugerini, przystosowany do zasilania gazem ziemnym;
- mikrociągnik Ghepard z silnikiem Rugerini, przystosowany do zasilania gazem propan butan;
- ciągnik Ursus klasy 14 kN, przystosowany do zasilania gazem ziemnym;
- ciągnik Ursus klasy 14 kN, przystosowany do zasilania gazem propan-butan;
- ciągnik Ursus 4512, przystosowany do zasilania gazem propan-butan;
- ciągnik Steyer 4135 PROFI, przystosowany do zasilania gazem ziemnym (CNG).

2.2. Układy jezdne ciągników rolniczych

Z uwagi na stosowane rozwiązania techniczne układy jezdne ciągników podzielić można na: kołowe, gąsienicowe i półgąsienicowe. Każdy typ ma swoje zalety i wady. Podwozia kołowe, najbardziej popularne, charakteryzują się dobrymi właściwościami trakcyjnymi na różnych podłożach, jednak wraz ze stopniem zużycia bieżnika opon spada siła uciągu i znacznie wzrastają poślizgi kół, co prowadzi m.in. do: strat mocy na poślizgi, niszczenia struktury gleby, tworzenia frakcji pylistej gleby w koleinach, tworzenia kolein.

Ciągniki kołowe można podzielić na następujące grupy: jednoosiowe (głównie małej mocy), dwuosiowe z napędem na jedną oś, dwuosiowe z napędem na dwie osie. Ciągniki z napędem na dwie osie charakteryzuje, przede wszystkim, większa siła uciągu, o ok. 30% w porównaniu z napędem na jedną oś. Występuje równomierniejsze rozłożenie masy ciągnika na osie, co ogranicza naciski opon na glebę. Przedni trzypunktowy układ zawieszenia tych ciągników można efektywnie wykorzystać do zawieszania dodatkowej maszyny. Produkowane są również ciągniki dwuosiowe sześciokołowe, dwuosiowe ośmiokołowe (koła bliźniacze), trzyosiowe sześciokołowe.

Producenci opon oferują do ciągników i maszyn rolniczych szeroki ich asortyment. Ze względu na przeznaczenie opony podzielić można na opony prowadzące i napędowe. Z uwagi na konstrukcję przyjętą się następujący podział opon: diagonalne, diagonalne z opasaniem, radialne, radialne niskoprofilowe półeliptyczne, walcowe typu Terra Tire, o szerokim profilu [TRAFICA 2014].

Oznaczenie opon ciągnikowych informuje o ich parametrach geometrycznych, eksploatacyjnych i przeznaczeniu. Na przykład w oznaczeniu opony ciągnikowej 650/75 R 34 162 D, znajdują się następujące informacje: 650 – szerokość opony w mm, 75 – wysokość opony w procentach szerokości, R – radialna, 34 – średnica obręczy w calach, 162 indeks nośności, D – klasa prędkości (w tym przypadku $65 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). W oznaczeniu opony 520/70R38 TM700 D, symbol TM700 z indeksem D informuje o przeznaczeniu opony na drogi i pola z prędkością jazdy do $65 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (duża przyczepność i elastyczność). Seria opon TM900 przeznaczona jest do ciągników dużych mocy 150-260 kW. Rozmiar o dużej szerokości opony 900/60R38 przeznaczony jest na gleby spulchnione. Z serii opon TM900 High Power dostępnych jest wiele rozmiarów, m.in.: 600/70R28 157A8, 600/70R30 158A8 itd., 900/60R42 180D.

Opony do ciągników i maszyn rolniczych produkują m.in.: firma czeska Mitas, Cultor, Continental, firma serbska Trayał, stosując oznaczenia opon: R – radialna, TT – dętkowa, TBL – bezdętkowa.

Przykładowe rozmiary opon ciągnikowych: 380/85 R 28 (14,9 R 28) TBL Mitas bieżnik RD-01; 16,9-28/10R TT Cultor bieżnik AS-AGRI 13; 9,5-42/10R TT Continental bieżnik AS FARMER.

Przykładowe rozmiary opon ciągnikowych niskoprofilowych: 600/65 R 34 TBL Mitas bieżnik RD-03; 480/70 R 28 TBL Cultor bieżnik Radial-70; 520/70 R 34 TBL Continental bieżnik Ac-70T.

Gąsienicowe układy jezdne w zależności od materiału, z jakiego są wykonane gąsienice, podzielić można na: gąsienice metalowe, gumowo-metalowe, gumowe. Drugim kryterium podziału może być rodzaj konstrukcji i wtedy rozróżnia się: gąsienice z połączonych ze sobą ogniw, gąsienice pneumatyczne, gąsienice ażurowe.

Gąsienice metalowe stosowane są w ciągnikach rolniczych wielu firm, m.in. firma Caterpillar stosuje je w: małych ciągnikach – D3K, D4K i D5K z silnikami o mocy 55–71 kW, średnich – D6K, D6N, D6T i D7R serii 2 o mocy 110–175 kW oraz dużych – D8T, D9T, D10T i D11T o mocy 230–634 kW (są przeznaczone do trudnych warunków terenowych).

Gąsienice gumowe stosowane są głównie w ciągnikach rolniczych oraz maszynach dużych wydajności przeznaczonych na podłoża miękkie. Gąsienice gumowe w USA noszą nazwę Mobil-Trac-System (MTS), natomiast w Niemczech Terra-Trac. Firma amerykańska Caterpillar w gąsienice gumowe wyposaża ciągniki Challenger 65 o mocy silnika 200 kW i Challenger 75 o mocy silnika 240 kW. Ciągnik Trac Marshall TM200 wyposażony jest w gąsienice gumowe.

Gąsienicowe układy jezdne charakteryzują się: dużą przyczepnością do podłoża, małymi poślizgami, niskimi naciskami jednostkowymi na glebę, ścinaniem gleby podczas skrętów i nawrotów, dużą przydatnością do prac wykonywanych w trudnych warunkach glebowo-klimatycznych, małą przydatnością do prac pielęgnacyjnych w międzyrzędziach roślin uprawnych, a w przypadku gąsienic stalowych, niszczeniem nawierzchni dróg utwardzonych.

Głównymi zaletami gąsienic gumowych są: dobra amortyzacja pojazdu, nieuszkodzenie nawierzchni, możliwość poruszania się po polu, drogach polnych i o utwardzonej nawierzchni z prędkościami znacznie wyższymi w porównaniu z pojazdami z gąsienicami metalowymi.

Przykładem zastosowania gąsienic gumowych w samojezdnych maszynach rolniczych mogą być: kombajn Tucano 450-320 firmy Claas (fot. 2.1), kombajn firmy New Holland CR9090 Elevation, wyposażony w silnik wysokoprężny o mocy 591 KM/435 kW (przystosowany do biodiesla) oraz zespół żniwny zbożowy Varifeed o szerokości roboczej 10,7 m, zbiornik ziarna o pojemności 12 500 dm³, kombajn buraczany Grimme typu Maxtron 620, którego układ jezdny tworzą szerokie gąsienice z przodu i kierowane koła bliźniacze z tyłu, kombajn buraczany firmy holenderskiej Agrifac serii Quanto na gąsienicach o szerokości 760 mm i długości 2250 mm, z systemem OptiTracPlus, przeznaczony na trudne warunki glebowo-klimatyczne (fot. 2.2), kombajn ziemniaczany holenderskiej firmy Ploeger AR-4W.

Układy jezdne na półgąsienicach mogą mieć konstrukcję składającą się z typowego układu gąsienicowego, usytuowanego pod tylną osią ciągnika, i dodatkowego kołowego układu przedniej osi, służącego do sterowania ciągnikiem. Układy jezdne tego typu posiadały kombajny zbożowe przeznaczone do zbioru w trudnych warunkach pogodowych na glebach o dużej wilgotności. Przemysł ciągnikowy oferuje również półgąsienice do montażu na ciągnikach kołowych z napędem na tylną oś. Składają się one z dodatkowej osi z kołami zębatymi, umieszczanej między osiami



http://www.claas.pl/clpw/pl/products/kombajny/tucano/technology/reis/start.bpSite=628296.lang=pl_PL.html

Fot. 2.1. Podwozie gąsienicowe Terra Trac kombajnu zbożowego Tucano 450-320 model 114c5 firmy Claas

Photo 2.1. Terra Trac Caterpillar chassis of a combine harvester Claas Tucano's 450-320 model 114c5



<http://www.agrifac.eu/pl.html>

Fot. 2.2. Gąsienicowy układ jezdny kombajnu buraczanego serii Quanto firmy Agrifac

Photo 2.2. Caterpillar chassis in beet harvester of Agrifac Company serie Quanto

ciągnika, oraz dwóch taśm gąsienicowych, nakładanych na tylne koła ciągnika i koła zębate dodatkowej osi.

Półgąsienice stosowane są również w takich maszynach rolniczych, jak przyczepy dużej ładowności, kombajny zbożowe, do kukurydzy i ryżu, kombajny ziemniaczane i buraczane.

Ogumienie maszyn rolniczych oznaczane jest podobnie jak ogumienie ciągnikowe, a podstawowe wymiary i oznaczenia można znaleźć, między innymi, na stronie internetowej [TRAFICA 2014].

2.3. Podstawowe wyposażenie ciągników rolniczych

Do podstawowego wyposażenia ciągników rolniczych należą: instalacja elektryczna prądu stałego o napięciu 24 V, instalacja pneumatyczna, instalacja hydrauliczna, komputer pokładowy. Zainstalowana na ciągniku prądnica ładuje akumulator i zasila takie odbiorniki prądu elektrycznego, jak: oświetlenie ciągnika i tablice rozdzielczej,

silniki elektryczne montowane na maszynie, regulatory, czujniki, przekaźniki, komputer pokładowy. W ogólnym bilansie mocy ciągnika udział mocy przetworzonej na energię elektryczną stanowi ok. 2%. Instalacja pneumatyczna składa się z kompresora (sprężarki), przewodów pneumatycznych, zbiornika ciśnieniowego powietrza, siłowników pneumatycznych. Instalacja hydrauliczna dzieli się na wewnętrzną i zewnętrzną. Instalacja wewnętrzna służy do obsługi samego ciągnika, natomiast instalacja hydrauliczna zewnętrzna do zasilania silników i siłowników hydraulicznych, zainstalowanych na maszynie współpracującej z ciągnikiem.

Najbardziej rozpowszechnione obecnie systemy elektroniczne, instalowane w ciągnikach rolniczych znajdujących się na rynku polskim, obejmują:

- napędy układów (zespołów) ciągnika (silnik, skrzynia przekładniowa, podwozie, podnośnik itd.);
- informację, regulację, sterowanie (kontrola procesów, informacja o włączonych zespołach, napędach ciągnika, nastawionych parametrach pracy, przełączanie biegów, włączanie i wyłączanie napędu osi przedniej, mechanizmu różnicowego, WOM itp.);
- diagnostykę, umożliwiającą samokontrolę systemu, analizowanie i sygnalizowanie usterek technicznych i technologicznych oraz miejsca ich powstawania;
- zarządzanie (gromadzenie wyników pracy, np. czasu pracy, obrobionej powierzchni, zbieranego plonu, zużytych środków, kosztów, podejmowanie decyzji o zmianie reżimów pracy).

Szczególnie ważne dla zastosowania elektroniki w ciągnikach okazało się wprowadzenie techniki cyfrowej, która umożliwia przekazywanie dużej liczby informacji w warunkach bardzo ograniczonej ilości kabli (przewodów). Prostotę rozwiązań łączących elektroniczne urządzenia sterujące zapewniają złącza systemu Can BUS. W ciągnikach można, za pomocą przewodów przekazujących dane cyfrowe, łączyć ze sobą układy sterujące silnikiem, skrzynią przekładniową, podnośnikiem hydraulicznym, osiami napędowymi kół ciągnika itp. Z komputerem pokładowym umieszczonym na ciągniku mogą współpracować równocześnie układy sterująco-kontrolujące, znajdujące się w maszynach agregatowanych z ciągnikiem. Zastosowanie elektronicznego systemu sterującego wzajemnym oddziaływaniem układu, obejmującego: traktorystę, ciągnik, maszynę i glebę, daje duże możliwości poprawienia wyników pracy agregatu, między innymi zwiększenia wydajności, zmniejszenia zużycia paliwa. Elektroniczna regulacja maszyn wymaga kompatybilności komputera ciągnika, procesora maszyny oraz przewodów i złącz niezbędnych do połączenia komputera z procesorem maszyny. Zespoły te są już znormalizowane, co umożliwia wykorzystanie ciągnika w agregacie z maszynami wyposażonymi w elektronikę różnych producentów.

Zwiększają się możliwości elektronicznego sterowania funkcjami ciągników rolniczych w dwóch nowych technikach: systemu pozycjonowania ciągnika w terenie oraz systemu wzajemnej telekomunikacji między ciągnikiem, maszyną i biurem.

Firmy japońskie demonstrują od niedawna ciągniki bezobsługowe z napędem hydrostatycznym i automatycznym sterowaniem bez kabin i traktorzystów. Takie systemy jeszcze nie są oferowane na rynku polskim.

Elektroniczne połączenie zespołów (układów) ciągnika umożliwia stworzenie systemu sterującego pracą w sposób bliski optymalnemu. Żeby to było osiągalne, zespoły muszą być wykonane w sposób umożliwiający pomiar ich charakterystycznych wielkości i parametrów oraz wyposażone w układy sterujące. Istotnym składnikiem układów elektronicznych są czujniki i mierniki wielkości i parametrów funkcjonalnych, będących danymi wyjściowymi dla systemów sterujących. Od jakości i niezawodności (trwałości) czujników i mierników w znacznym stopniu zależy jakość sterowania.

O przydatności ciągników do sterowania elektronicznego decyduje wyposażenie w hydrauliczne układy napędowe, pozwalające na bezstopniową, automatyczną regulację parametrów pracy. Dlatego koncepcje rozwoju budowy ciągników zmierzają w kierunku eliminacji mechanicznych układów przełączanych dźwigniami za pomocą sprzęgła, które powodują największe straty mocy, ograniczając m.in. możliwości: zwiększenia wydajności pracy, poprawy jakości pracy, zmniejszania negatywnego oddziaływania ciągnika na środowisko naturalne, zmniejszania zużycia paliwa, emisji szkodliwych związków chemicznych, również kosztów i wprowadzania w miejsce układów mechanicznych napędów hydraulicznych oraz dodawaniu nowych zespołów rozszerzających możliwości i zakresy wykorzystania ciągnika, zgodnie z rosnącymi wymaganiami. To oznacza, że w ciągnikach w coraz większym zakresie będzie wykorzystywana hydraulika do realizacji procesów roboczych. Wiąże się to z rosnącym zapotrzebowaniem mocy ciągnika na obsługę takich napędów.

W nowoczesnych ciągnikach o mocy ponad 100 kW system hydrauliczny może wykorzystać 15–30% mocy silnika, w zależności od wyposażenia. Wiele zespołów, nawet w tak dużych ciągnikach, jest wyposażeniem dodatkowym. Stąd duża różnica między tymi samymi modelami ciągnika, wyposażonymi w minimum zespołów hydraulicznych, a wyposażonymi maksymalnie. Proporcje te będą się zmieniać i hydraulika sterowana elektronicznie będzie stawać się w coraz większym stopniu wyposażeniem standardowym. Podobnie jest z ciągnikami w przedziale mocy 60–100 kW, z tym że w ciągnikach tych prawie wszystkie zespoły hydrauliczne sterowane elektronicznie są wyposażeniem opcjonalnym. Te dwie grupy ciągników należy przede wszystkim brać pod uwagę, ponieważ one powinny stanowić podstawowe narzędzie pracy rolnika zarówno w wielkoobszarowych gospodarstwach rolnych, jak i w polskich gospodarstwach rodzinnych. Stąd też konieczne jest posiadanie usystematyzowanej (uporządkowanej) wiedzy na temat polskiego rynku ciągników rolniczych w zakresie wyposażenia w elektroniczne, automatyczne systemy sterujące układami hydraulicznymi ciągników.

Obecnie produkowany jest szeroki asortyment ciągników rolniczych, kołowych, gąsienicowych i półgąsienicowych. W ciągnikach instalowane są silniki spalinowe o coraz większej mocy, dochodzącej do 400 kW. Poprawa właściwości trakcyjnych ciągników kołowych w wyniku zwiększenia rozmiarów kół przednich i stosowania napędu na dwie osie [KAMIŃSKI, ŻDANOWICZ 2007; WÓJCICKI i in. 2009; WÓJCICKI 2010] sprawiły, że w Polsce do prac polowych i transportowych powszechnie wykorzystywane są ciągniki kołowe. Stosowanie przedniego i tylnego wałka przekaźnika mocy umożliwia przeniesienie znacznej części mocy silnika bezpośrednio na napędzane zespoły robocze maszyny, co pozwala efektywniej wykorzystywać moc silnika. Wiele zalet ma również stosowanie przedniego trypunktowego układu zawieszenia:

występuje większa stabilność agregatu podczas jazdy, dociążenie przedniej osi zwiększa sterowność agregatu podczas pracy i w transporcie, umieszczenie z przodu ciągnika części zestawu wieloczynnościowego sprawia, że agregat jest bardziej zwrotny, można stosować węższe pasy uwroci, zmniejsza się długość narzędzi zawieszanych na tylnym trzypunktowym układzie zawieszenia, a ich środek ciężkości przesuwają się bardziej do przodu, to znaczy bliżej tylnej osi ciągnika. Podsumowując, można stwierdzić, że przednie trzypunktowe układy zawieszenia stosowane są już powszechnie w ciągnikach rolniczych średniej i dużej mocy (tab. 2.2).

Tabela 2.2. Moc silników przebadanych ciągników rolniczych wyposażonych w przedni i tylny trzypunktowy układ zawieszenia

Table 2.2. The example of test results on agricultural tractors equipped with front and rear three-point mounting systems

Lp.	Firma i typ ciągnika Manufacturer and type of tractor	Moc Power [kW]	Lp.	Firma i typ ciągnika Manufacturer and type of tractor	Moc Power [kW]
1	CASE IH MX 100 MAXXUM	64,2	16	LAMBORGHINI AGILE 660S, HURLIMANN XN 709	60,4
2	CASE IH CS 150	94,0	17	SAME GOLDEN 85 COMPATTO	56,3
3	SAME DORADO 60 VDT	40,0	18	SAME GOLDEN 75 COMPATTO	49,9
4	CASE IH MX 150 MAXXUM	97,4	19	MASSEY FERGUSON 8280	172,5
5	CASE IH MX 170 MAXXUM	109,0	20	GOLDONI 3070 STAR V JOHN DEERE 2070 V	43,2
6	DEUTZ FAHR AGROPLUS 60	37,9	21	GOLDONI IDEA 40 DT JOHN DEERE 1046	22,6
7	ZETOR 9641 FORTERRA TURBO	59,3	22	FENDT FAVORIT 716 VARIO	120,6
8	ZETOR 9641 FORTERRA (4WD) 40 km/h	61,2	23	NEW HOLLAND TV 140 Bi Directional	81,3
9	ZETOR 8641 FORTERRA TURBO	55,6	24	SAME RUBIN 150 HURLIMANN SX 1500	102,5
10	SAME GOLDEN 65 COMPATTO	46,7	25	LAMBORGHINI CHAMPION 150	110,5
11	LAMBORGHINI AGILE 880S, HURLIMANN XN 708	54,2	26	FENDT FAVORIT 712 VARIO	95,9
12	SAME GOLDEN 60 COMPATTO	37,4	27	STEYER 9145 a M2	98,0
13	LAMBORGHINI AGILE 660S, HURLIMANN XN 706	35,2	28	FENDT FARMER 411 VARIO	80,7
14	LAMBORGHINI AGILE 660S, HURLIMANN XN 707	48,7	29	ZETOR 11441 Forterra	73,6
15	FENDT FARMER 309 C	70,2			

Źródło: opracowanie własne na podstawie testów OECD.

Source: own elaboration based of OECD tests.

Układy takie stosują w swoich ciągnikach o mocy 37–172 kW znane firmy, jak: Case, Deutz, John Deere, Fendt, Lamborghini, Massey Ferguson, New Holland, Same, Steyer, Zetor. Na przednim układzie zawieszenia ciągnika mogą być zawieszane takie maszyny rolnicze, jak: plugi, narzędzia uprawowe, rozsiewacze nawozowe, kosiarki łąkowe, opryskiwacze polowe i sadownicze. Z narzędzi rolniczych przede wszystkim te, które charakteryzują się niskimi oporami roboczymi, np.: spulchniacze obrotowe, włóki oraz narzędzia aktywne, jak brony obrotowe, glebogry-

zarki. Do przedniego trzypunktowego układu zawieszenia produkowanych jest dużo narzędzi gospodarskich, typu: sypczacz do odśnieżania, widły do załadunku i ewentualnego przewożenia na małe odległości sprasowanej słomy w belach prostopadłościennych i cylindrycznych, pojemniki do przewozu zwierząt gospodarskich, zbiorniki na wodę, ciecz robocze do opryskiwaczy. Popularne jest stosowanie dwóch widel zawieszanych z przodu i tyłu ciągnika, służących do przewozu na małe odległości cylindrycznych bel słomy.

2.4. Elektronika ułatwiająca pracę kierowcy

W ostatnich latach obserwuje się szybki rozwój wyposażenia pojazdów, a zwłaszcza samochodów, w układy elektroniczne wspomagające pracę kierowcy. Jednym z pierwszych był system ABS, zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania. Zasada jego pracy polega na pulsacyjnej zmianie ciśnienia zasilającego cylinderki hydrauliczne, w wyniku czego skraca się droga hamowania i nie występują takie zjawiska, jak: ściąganie pojazdu w bok, obrót pojazdu, utrata kontroli nad pojazdem. Ważnym mechanizmem jest układ ASR (występujący również pod nazwami TC, TCS, ATC), zapobiegający nadmiernym poślizgom kół napędowych podczas przyspieszania (zwłaszcza podczas jazdy na wzniesienie, na śliskiej nawierzchni drogi). Efektem działania tego systemu są zmniejszenie zużycia paliwa i opon oraz poprawa właściwości trakcyjnych. Innym ważnym wyposażeniem ciągnika jest system automatycznej zmiany biegów pod obciążeniem APS, a także system awaryjnego hamowania CSD, pozwalający uniknąć zderzenia ze stałą przeszkodą. System ASR umożliwia, przy nadmiernych poślizgach, ograniczenie dawki paliwa, odcięcie zapłonu na jeden i kilka cylindrów, przy prędkości jazdy poniżej $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Elektroniczny układ stabilizacji toru jazdy ESP (określany również skrótami VSC lub STC), obejmuje funkcje systemów ABS i ASR, a ponadto zapobiega wyjściu pojazdu z zakrętu przez przyhamowywanie jednego lub kilku kół. Zapobiega on również takim zjawiskom, jak podsterowność i nadsterowność, występującym podczas utraty przyczepności kół przednich lub tylnych. Układem wspomagającym system ESP jest układ DSR, kontrolujący moment obrotowy pojazdu (może on wykonać lekki manewr kierownicą korygujący kierunek jazdy), przydatny głównie podczas hamowania na drodze o różnej przyczepności (gdy koła lewe są na śniegu, koła prawe na lodzie). Stosowany w pojazdach układ wspomagania nagłego hamowania w sytuacjach awaryjnych BAS (określany również skrótami BA lub AFU) ma za zadanie zwiększyć ciśnienie płynu w układzie hamulcowym, czego efektem jest krótsza droga hamowania, może również uruchomić światła awaryjne, informujące o nagłym hamowaniu. Układ elektroniczny ACD daje możliwość kierowcy wybrania odpowiedniego rozdziału mocy silnika na koła przednie i tylne, w zależności od nawierzchni (asfalt, szuter, śnieg). Na przykład, szutrze 65% mocy na oś tylną i 35% mocy na oś przednią, natomiast na śniegu odwrotnie 35% mocy na oś tylną i 65% mocy na oś przednią. Układ elektroniczny ACC ma za zadanie dostosowanie prędkości pojazdu do warunków panujących na drodze (położenia innych pojazdów). Układ współpracuje z umieszczonym z przodu radarem, pozwala na zachowanie bezpiecznej odległości przez przyhamowanie. Układ elektroniczny Multi Collision Brake (MCB) uaktywnia się podczas kolizji w przypadku braku reakcji kierowcy. Auto rozpocznie automatycznie hamowanie, które trwa aż prędkość spadnie poniżej $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Układem elektronicznym, zapewniającym oświetlenie w kierunku jazdy, jest system AFS. Przy skręcie w prawo lub lewo reflektory obracają się również o określony kąt. Istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa jest układ elektroniczny BLIS, informujący o innym pojeździe, znajdującym się w tzw. martwym polu widzenia (niewidocznym gołym okiem i w lusterkach bocznych oraz wstecznym). Informują o tym zainstalowane kamery i światła sygnalizacyjne umieszczone w lusterkach bocznych. Do chwilowej elektronicznej blokady mechanizmu różnicowego służy układ EDS, który uaktywnia się podczas utraty przyczepności przez jedno z kół napędowych, nie powodując całkowitej blokady mechanizmu różnicowego. Układ ten jest szczególnie przydatny podczas ruszania z miejsca (koła na nawierzchni o różnej przyczepności). Układem elektronicznym, mającym za zadanie zwiększenie bezpieczeństwa jazdy, jest układ LDW, ostrzegający przed niezamierzonym zjechaniem z pasa ruchu bez włączonego migacza. Poprawie bezpieczeństwa jazdy służy układ RSC, zapobiegający przewróceniu się pojazdu na zakręcie, wykorzystujący układ hamulcowy i system kontroli trakcji. Układem elektronicznym, zapobiegającym urazom kręgosłupa szyjnych, jest układ AHR tzw. aktywnych zagłówków, który uaktywnia się podczas zderzenia pojazdu z przeszkodą, przesuwając zagłówek w kierunku głowy kierowcy. Układem elektronicznym, wykorzystującym omawiane wcześniej systemy, jest układ VSA, zapobiegający poślizgom kół i wypadnięciu pojazdu z zakrętu. Interesującym rozwiązaniem jest układ elektroniczny HHC, zapobiegający staczaniu się pojazdu przy podjeździe i zjeżdżaniu z pochyłości. System współpracuje z układem hamulcowym, wykrywa pochyłości, podtrzymuje ciśnienie oleju hamulcowego do momentu pełnego wciśnięcia pedału hamulca. Równie ważnym układem elektronicznym jest układ TSR, czytający znaki drogowe i pokazujący je na desce rozdzielczej, z wykorzystaniem kamery zamocowanej na przedniej szybie kabiny pojazdu. Układ SBR, współpracujący z czujnikiem napięcia pasów bezpieczeństwa, sygnalizuje odpowiednią lampką o niezapięciu pasów. ACS jest układem elektronicznym, automatycznie odblokowującym (podczas kolizji) centralny zamek, włączającym oświetlenie pojazdu i światła awaryjne oraz odcinającym dopływ paliwa. Układ elektroniczny DAA wykrywa zmęczenie u kierowcy, a cofanie pojazdem ułatwia tzw. dźwiękowy czujnik parkowania, informujący o odległości przeszkód znajdujących się za pojazdem.

Systematyczne doskonalenie układów elektronicznych wspomagających pracę kierowcy czyni ją lżejszą, bezpieczniejszą, wydajniejszą, bezstresową. Doskonalone są światła do jazdy dziennej (halogeny, diody LED, ksenony) i w nocy, współpracujące z systemem To Visio i kamerą umieszczoną za przednią szybą. Dzięki czemu widoczność, szczególnie w nocy, jest lepsza. Innowacyjność technologii LED polega na emisji większej ilości światła przy mniejszym zużyciu energii. System zapobiegający kolizjom CPA monitoruje ciśnienie w oponach, ostrzega o spadku ciśnienia, steruje kurtynami powietrznymi. Współpracuje on z systemem kontroli stabilności CDS. Powszechnie stosowany jest w pojazdach system SCD automatycznej kontroli wysokości i ustawienia poprzecznego belki polowej opryskiwacza, przekładnia bezstopniowa TTV o trzech zakresach pracy, asystent nawracania Turn Assist, który ułatwia manewry na uwrociach.

Obecnie prowadzone są prace badawcze nad układami odzyskiwania energii podczas zwalniania i hamowania. Nowa generacja samochodu Mazda 6 jest wyposażona w układ odzyskiwania energii i-ELOOP (Intelligent Energy Loop), należąco do

gamy rozwiązań z silnikami SKYACTIV. W samochodach Ford B-Max instalowany jest system SYNC (zaawansowana technologia obsługi głosowej – z aktywnym głosem samochodowym), umożliwiającą wezwanie pomocy natychmiast po wypadku.

Omówione powyżej zastosowania elektroniki są już powszechnie stosowane w samochodach i powoli, po odpowiednich adaptacjach, przenoszone do ciągników.

2.5. Klasyfikacja ciągników rolniczych

Klasyfikacji ciągników można dokonać z uwagi na moc zainstalowanego silnika spalinowego i wtedy ciągniki dzieli się na: na mikrociągniki o małej mocy do ok. 5 kW, średniej mocy od ok. 5 do 30 kW, dużej mocy z silnikami ponad 30 kW. Podstawowa klasyfikacja ciągników uwzględnia wiele parametrów ciągnika, przede wszystkim siłę uciągu. Polskie normy podają typoszereg klas ciągników, a mianowicie: do 1, 2, 4, 6, 9, 14, 20, 30, 50 i 60 kN. Poszczególne klasy charakteryzowane są głównie siłą uciągu, dopuszczalnym obciążeniem zaczepu rolniczego, zaczepu automatycznego do przyczep jednoosiowych, trzypunktowego układu zawieszenia. Dopuszczalne wartości nacisków na zaczep ciągników poszczególnych klas podano w tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Dopuszczalne naciski na zaczep rolniczy i automatyczny ciągników rolniczych podstawowych klas

Table 2.3. The permissible values of load exerted on agricultural and automatic hitches in agricultural tractors of basic classes

Dopuszczalne naciski na zaczep rolniczy ciągnika wg PN-82/R-36107 Permissible load exerted on agricultural hitches in tractor according to PN-82/R-36107 standard		Dopuszczalne naciski na zaczep automatyczny ciągnika wg PN-82/R-36108 Permissible load exerted on automatic tractor hitch according to PN-82/R-36108 standard	
klasa ciągnika tractor class	wartości dopuszczalnych nacisków values of permissible hitch loading	klasa ciągnika tractor class	wartości dopuszczalnych nacisków values of permissible hitch loading
[kN]			
6	2,25	do 6	4,50
9	4,00	6	7,50
14	5,00	9	12,00
20	6,00	14	14,00
30	7,00	20	18,00
40	10,00	30	20,00
50	13,00	40	20,00
60	15,00	50	30,00
		60	35,00

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Opory przetaczania maszyn są zależne od wielu czynników, przede wszystkim od: masy maszyny, masy ładunku oraz rodzaju podłoża, po którym porusza się agregat. Podłożem tym mogą być: droga asfaltowa, droga polna, łąka, ściernisko, pole po orce, kultywatorowaniu, bronowaniu, itp. Podłoże w dużym, ale dostatecznym stopniu uproszczenia, charakteryzuje bezwymiarowy współczynnik oporów przeta-

czania, przyjmujący najczęściej wartości z przedziału 0,1 do 0,2. Wzór do obliczenia oporów przetaczania maszyny [kN] jest następujący:

$$R = 0,1 \div 0,2 (M_m + M_l) \quad (2.1)$$

gdzie:

M_m – ciężar maszyny [kN],

M_l – ciężar ładunku [kN].

Podstawiając do powyższego wzoru wartości liczbowe ciężarów poszczególnych maszyn i ładunków, uzyskuje się szacunkowe opory przetaczania poszczególnych maszyn. Wychodząc z oporów przetaczania można dobrać ciągnik odpowiedniej klasy [KAMIŃSKI, GRUDNIK 2008]. Klasa ciągnika w przybliżeniu odpowiada sile uciągu rozwijanej w określonych warunkach terenowych.

Obecnie producentów ciągników obowiązują dyrektywy europejskie, dotyczące m.in. stosowanych zaczepów. Z uwagi na to, że dopuszczalne naciski na zaczep zależą również od zastosowanego ogumienia oraz typu zaczepu, podczas wyboru ciągnika należy posługiwać się informacjami podanymi przez producentów w instrukcji obsługi ciągnika.

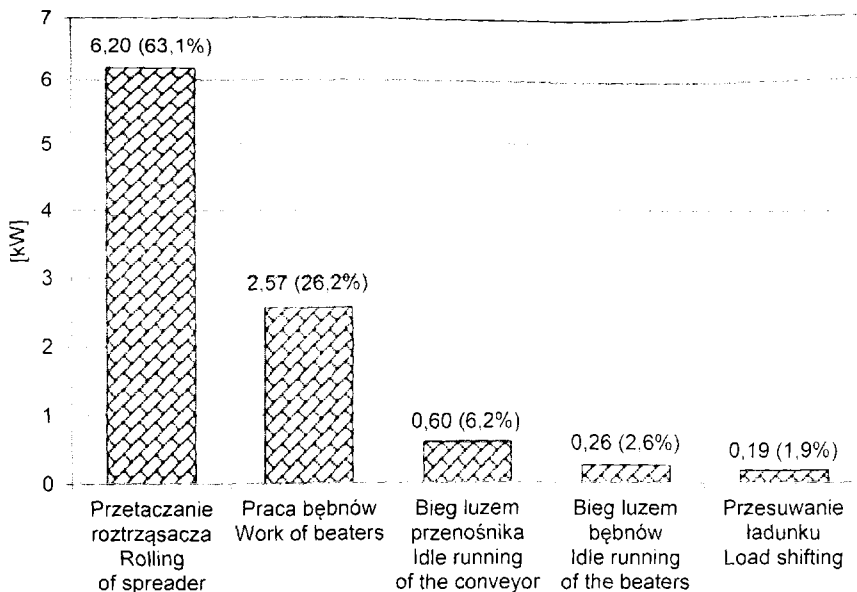
Podstawowym kryterium wymagającym uwzględnienia podczas tworzenia zestawu ciągnik – maszyna jest właściwe dobranie siły uciągu ciągnika w zależności od oporów pracy i przetaczania maszyny [DZIENIA i in. 2006; GAWROŃSKI 2011; HAKANSSON, REEDER 1994; KAMIŃSKI, KORMSZCZIKOW 1995a, b; ZBYTEK, TALARCZYK 2011].

2.6. Energetyka agregatu ciągnikowego

W zależności od przebiegu procesu technologicznego i rodzaju operacji technologicznej struktura bilansu mocy silnika ciągnika może być różna. W przypadku orki, główna część mocy idzie na pokonanie oporów pracy pługa i przetaczanie agregatu. W przypadku ciągnika z glebogryzarką, główna część mocy silnika przekazywana jest przez wałek odbioru mocy (WOM) na wał z nożami frezującymi. Siła uciągu glebogryzarki zależna jest również od kierunku obrotu noży frezujących i przy obrotach współbieżnych przyjmuje stosunkowo małe wartości. Przykładowy bilans zapotrzebowania mocy na pracę jednoosiowego roztrzásacza obornika, o nośności 2,5 t, zamieszczono na rysunku 2.1.

2.7. Układy hydrauliczne w ciągnikach rolniczych

Ciągniki rolnicze wyposażane są w układ hydrauliki wewnętrznej i zewnętrznej. Układ hydrauliki wewnętrznej składa się z pompy, przewodów, silników i siłowników hydraulicznych obsługujących pracę ciągnika. Układ hydrauliki zewnętrznej przeznaczony jest do obsługi silników i siłowników hydraulicznych, zainstalowanych na narzędziach i maszynach, współpracujących z ciągnikiem. W przypadku rozbudowanego układu hydraulicznego maszyn mogą one być wyposażone we własną pompę, napędzaną od WOM ciągnika, służącą do napędu silników i siłowników hydraulicznych.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: KANAFOJSKI [1977].
 Source: own elaboration based of KANAFOJSKI [1977].

Rys. 2.1. Przykładowy bilans mocy zużywanej przez jednoosiowy roztrzásacz o nośności 2,5 t, załadowany obornikiem (masa objętościowa obornika $\gamma \approx 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; wilgotność $\sim 80\%$; współczynnik oporu przetaczania $f = 0,13$)

Fig. 2.1. An example of the balance of power demand for one-axle manure spreader operation with a capacity of 2.5 t (volumetric mass of manure $\gamma \approx 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; moisture content $\sim 80\%$; rolling resistance coefficient $f = 0.13$)

Podstawowymi parametrami układu hydraulicznego jest ciśnienie robocze i wydatek pompy, które są uzależnione głównie od mocy ciągnika, rodzaju współpracujących narzędzi i maszyn rolniczych oraz stopnia wykorzystania hydrauliki do napędu zespołów roboczych.

Wiele zalet napędów hydraulicznych, jak: stałe ciśnienie, stały wydatek, łatwość regulacji obrotów silników, proste przeniesienie napędu w dowolne miejsce maszyny, sprawiają, że weszły one do powszechnego użytku. Za konkurencyjne dla napędów hydraulicznych, w perspektywie, należy uznać napędy elektryczne wymagające instalacji na ciągnikach prądnic dużej mocy.

Instalowane w ciągnikach pompy hydrauliczne charakteryzują się wydajnością w zakresie od 18 do $235 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ i ciśnieniem $12\text{--}26 \text{ MPa}$. Przykładowo, ciągniki Claas serii Nectis ($40\text{--}80 \text{ kW}$), w zależności od wersji, wyposażane są w trzy pompy hydrauliczne o łącznym wydatku $109 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$. Wyjścia hydrauliki mogą być umieszczane z przodu ciągnika – maks. sześć lub z tyłu ciągnika – maks. osiem. Ciągniki Claas Arion ($81\text{--}132 \text{ kW}$) mają pompę o wydajności $110 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$. Ciągniki Claas serii Xerion ($246\text{--}279 \text{ kW}$) mają dwie pompy o wydatku $150 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ każda; pierwsza zasila podnośnik i rozdzielacze, a druga zapewnia obsługę podstawowych

elementów ciągnika – układ hamulcowy i kierowniczy. Wyposażeniem dodatkowym jest instalacja hydrauliczna o dużej wydajności $235 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, przy ciśnieniu 26 MPa. Ciągniki Fendt 220 Vario (51–81 kW) posiadają pompę $76 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, przy ciśnieniu 20 MPa, a Fendt 900 Vario (162–265 kW) – pompę w wyposażeniu podstawowym o wydajności $160 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, przy ciśnieniu 20 MPa oraz opcjonalnie pompę o wydajności $216 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, przy ciśnieniu 20 MPa.

Istotnym parametrem układu hydraulicznego ciągnika jest udźwig na trzypunktowym układzie zawieszenia. Udźwig zależy od wielu czynników, ale aby była zachowana stateczność agregatu, nie może przekraczać dopuszczalnych wartości. Ciągniki dużych mocy z napędem na dwie osie i rozłożoną masą ciągnika po ok. 50% na oś tylną i przednią charakteryzują się wysokim udźwigiem, proporcjonalnym do masy ciągnika. Przykładowo, ciągniki firmy Fendt 220 Vario o masie 3800 kg mają podnośnik tylny o udźwigu 4200 kg. Fendt 900 Vario o masie 10 080 kg ma podnośnik tylny o udźwigu 12 000 kg i przedni – 5660 kg. Ciągnik Mińskich Zakładów Traktorskich (MTZ) Białoruś 3022 (300 KM/221 kW) o masie 11 500 kg z pompą olejową o wydajności $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ i ciśnieniu 20 MPa dysponuje podnośnikiem tylnym o udźwigu 10 000 kg i przednim o udźwigu 5000 kg. Ciągnik Ursus 14034 o masie 6900 kg z pompą olejową $120 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ i ciśnieniu 20 MPa dysponuje udźwigiem podnośnika tylnego 7000 kg.

3. ROLNICZE AGREGATY MASZYNOWE

3.1. Informacje ogólne

Według KUCZEWSKIEGO i MAJEWSKIEGO [1999], agregatem maszynowym nazywa się zespół złożony z energetycznego źródła napędowego i maszyny roboczej lub narzędzia. Agregat ciągnikowy jest to zespół złożony z ciągnika i maszyny roboczej lub narzędzia. W zależności od przeznaczenia maszyny lub narzędzia, agregaty ciągnikowe dzieli się na proste i złożone (jedno- i wieloczynnościowe). Agregat prosty tworzy ciągnik pracujący z jednym narzędziem, przeznaczonym do wykonania określonej czynności agrotechnicznej, na przykład ciągnik z kultywátorem. Agregat złożony jednoczynnościowy powstaje przez połączenie ciągnika z kilkoma narzędziami wykonującymi te same czynności agrotechniczne, na przykład ciągnik połączony sprzęgiem z kilkoma siewnikami. Agregat złożony wieloczynnościowy składa się z ciągnika pracującego z kilkoma narzędziami lub maszynami wykonującymi różne czynności agrotechniczne, na przykład ciągnik z pługiem i wałem Campbella, ciągnik z siewnikiem i broną posiewną.

Zastosowany w agregacie ciągnik jako źródło energii powinien mieć odpowiednią moc silnika, wymaganą do współpracy z daną maszyną lub narzędziem. Narzędzia nie mogą powodować przeciążenia silnika ciągnikowego, a jednocześnie powinny zapewniać wystarczające jego wykorzystanie, w celu uzyskania zadowalających wyników eksploatacyjnych agregatu. Jakość współpracy ciągnika z narzędziem zależy w dużym stopniu od warunków agrotechnicznych. Warunki te wpływają na bilans mocy w agregacie. Użytkownik może mieć wpływ na układ tego bilansu przez dobranie prędkości roboczej, odpowiedniej do istniejących warunków agrotechnicznych i zapewniającej właściwe wykonanie zabiegu oraz uzyskanie oczekiwanej wydajności pracy.

Opory występujące podczas pracy agregatu nie powinny powodować nadmiernego poślizgu kół napędowych ciągnika, a układ sił działających na ciągnik musi zapewniać jego stateczność i sterowność. Będzie to możliwe wówczas, gdy masa obciążająca przednie koła ciągnika wyniesie ponad 20% całkowitej masy ciągnika.

Występuje także związek między prędkością jazdy agregatu a jego szerokością roboczą. Praca maszyny o dużej szerokości roboczej, pracującej z mniejszą prędkością roboczą, może być ekonomicznie bardziej opłacalna i wydajna niż praca z narzędziem o mniejszej szerokości z większą prędkością. Dlatego pierwszym warunkiem wydajnej pracy agregatu jest właściwe wykorzystanie siły uciągu ciągnika przez dobranie narzędzia o odpowiedniej szerokości roboczej.

Oprócz szerokości roboczej i prędkości jazdy trzecim czynnikiem, umożliwiającym zapewnienie korzystnej pracy agregatu, gdy sprawność ciągnika jest duża, jest stosowanie maszyn napędzanych od wałka odbioru mocy. W zestawy wieloczynnościowe mogą być łączone tylko narzędzia o tej samej szerokości roboczej, pracujące z zadowalającą jakością z tą samą prędkością roboczą.

Prędkości jazdy agregatów rolniczych można podzielić na robocze i transportowe. Prędkości robocze agregatów wynoszą 0,4–3,4 m·s⁻¹. Małe prędkości stosowane są na przykład podczas sadzenia rozsady sadzarkami półautomatycznymi, większe prędkości (1,0–2,8 m·s⁻¹) – na przykład przy podorywce, bronowaniu, talerzowaniu, wałowaniu, siewie nawozów.

Prędkości transportowe agregatów wynoszą 1,2–7,0 m·s⁻¹, w zależności od warunków terenowych. Opory jednostkowe narzędzi uprawowych w dużej mierze zależą od typu gleby i mieszczą się w przedziale od 20 do 100 kN·m⁻². Przeciętne wartości tych oporów podano w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Przeciętne wartości jednostkowego oporu orki na różnych typach gleb
Table 3.1. Average specific values of plowing resistance for various types of soil

Typy gleb Soil types	Opór jednostkowy Specific resistance [kN·m ⁻²]
Lekkie: Light: – piaszczyste sandy – gliniasto-piaszczyste sandy-loam – lekkie gliniaste loamy light	20 20–30 30–40
Srednio zwięzłe: Medium heavy: – średnie glinkowate medium-loamy	35–50
Zwięzłe: Compact: – ciężkie glinkowate heavy-loamy – gliniaste wilgotne moist-loamy – gliniaste suche dry-loamy	50–70 70–85 85–100

Źródło: opracowanie własne na podstawie: KUCZEWSKI, MAJEWSKI [1999].
Source: own elaboration based of KUCZEWSKI, MAJEWSKI [1999].

Przykładowe jednostkowe opory narzędzi i maszyn uprawowych, pobierających moc wyłącznie przez układ zawieszenia i zaczep ciągnika, podano w tabeli 3.2.

Ruch kół ciągników, maszyn rolniczych i innych pojazdów wpływa niekorzystnie na strukturę gleby i podglebia. Koła ciągników (zwłaszcza napędowe, pracujące z poślizgiem) i maszyn w koleinach intensywnie rozgniatają bryłki gleby, tworząc frakcję pylistą, podatną na erozję wietrzną i zbrylenie w przypadku deszczu.

Obecnie w Polsce dominują gospodarstwa rolne o młym areale, wykorzystujące do produkcji rolniczej ciągniki małych mocy (do 40 kW) oraz narzędzia i maszyny małych wydajności, które wykorzystywane we właściwy sposób nie stwarzają zagrożenia nadmiernym ugniataniem gleby i podglebia [KUREK, WÓJCICKI 2011; WÓJCICKI, KUREK 2011; WÓJCICKI (red.) 2012; VENGLINSKIJ i in. 2011]. Natomiast wchodzące na rynek nowe ciągniki i maszyny rolnicze charakteryzują się coraz większymi masami. Do eksploatacji wchodzą coraz większe, wydajniejsze agregaty maszynowe, składające się z ciągników dużej mocy i maszyn ciężkich o dużych szerokościach roboczych. Trend ten wpływa na nasilenie się zjawisk ugniatania gleby i podglebia oraz rozpylenia gleby, wynikającego z poślizgu kół napędowych i oddziaływania aktywnych organów roboczych narzędzi uprawowych. Nadmierne ugniatanie gleby obserwuje się w takich zabiegach, jak: nawożenie organiczne (obornik, gnojowica), zbiór buraków cukrowych, zbiór ziemniaków. Zjawiskom ugniatania i rozpylenia gleby poświęcono wiele prac naukowo-badawczych. Badania prowadzono i są kontynu-

Tabela 3.2. Jednostkowe opory robocze narzędzi i maszyn pobierających moc z ciągnika przez układ zawieszenia lub zaczep ciągnika

Table 3.2. Specific values of working resistance of tools and machines which take power from tractor via suspension system or tractor hitch

Rodzaj narzędzia Type of tool	Opór jednostkowy narzędzia Tool specific resistance		
	jednostka miary unit of measure	wartości spotykane encountered values	wartości przeciętne average values
Brona talerzowa Disc harrow	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	2,8–8,0	4,0
Brona zębowa ciężka Heavy tooth harrow	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	1,0–1,7	1,3
Kultywator zawieszany Mounted cultivator	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	zęby sprężyste spring tooth	2,0
		zęby półsprężyste semi-spring tooth	1,8
Zestaw uprawowy: Cultivation aggregate:	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	– brona z wałem harrow with roller	0,7
		– kultywator z wałem cultivator with roller	2,3
		– kultywator z broną cultivator with harrow	2,3
Siewnik nawozowy na polu zaoranym Fertilizer distributor on the ploughed field	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	0,6–1,1	0,9
Siewnik uniwersalny Universal seeder	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	0,8–1,5	1,1
Sadzarka Planter	$\text{kN}\cdot\text{rzęd}^{-1}$ $\text{kN}\cdot\text{row}^{-1}$	1,5–2,2	1,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie: KUCZEWSKI, MAJEWSKI [1999].

Source: own elaboration based of KUCZEWSKI, MAJEWSKI [1999].

wane krajach Europy i Świata. Zainteresowanie problemem wynika przede wszystkim ze znacznych ograniczeń plonu roślin uprawnych spowodowanych ugniataniem gleby, dochodzących do 40% prognozowanych zbiorów.

3.2. Maszyny i narzędzia do podstawowej uprawy gleby

Orka i głęboszowanie

Orka i głęboszowanie są zabiegami energochłonnymi, wymagającymi ciągników o dużej sile uciągu. Z uwagi na zmienne wartości oporów roboczych, narzędzia te powinny być stosowane z wykorzystaniem map zwięzłości gleby i nawigacji satelitarnej, pozwalających ustalać szerokości robocze w poszczególnych przejazdach zgodne z siłą uciągu ciągnika (z zachowaniem dopuszczalnych poślizgów kół napędowych). W tym celu budowane są plugi i głębosze o regulowanej szerokości roboczej [KAMIŃSKI 1997a]. Orka wykonywana jest plugami zagonowymi lub obracalnymi, najczęściej z zespołami doprawiającymi, np. z bronami, wałami. Oba zabiegi, oprócz spulchnienia gleby, powinny zapewniać jej dużą chłonność wodną, zapobiegającą

splywowi wód opadowych i z topniejącego śniegu oraz odporność na erozję wodną i wietrzną. Pewnym rozwiązaniem jest uprawa dwuwarstwowa i trzywarstwowa gleby. Dwuwarstwowa jest wykonywana narzędziem do uprawy płytkiej i spulchniającym głęboszem. Do uprawy trzywarstwowej konieczny jest specjalny pług z zespołem frezującym. Zabieg przebiega następująco: początkowy układ warstw powierzchniowej, środkowej i dolnej gleby ulega zamianie a warstwa powierzchniowa zostaje na powierzchni, warstwa środkowa zajmuje miejsce warstwy dolnej, natomiast dolna zajmuje miejsce warstwy środkowej. Narzędzie składa się ze specjalnego korpusu płużnego, który podnosi warstwę dolną i wierzchnią gleby i bez odwracania przemieszcza ją na leżącą w bruzdzie warstwę środkową, usypaną przez zespół frezujący [KAMIŃSKI 1997b]. Pozostające na powierzchni pola resztki poźniwne chronią glebę przed wysychaniem, erozją wietrzną i spowalniają spływ wody opadowej i z topniejącego śniegu. Jak wykazały badania przeprowadzone w Instytucie Rolniczym w Kirowie (Rosja), stan powierzchni pola istotnie wpływa na wymycie gleby i spływ wód z topniejącego śniegu [KAMIŃSKI, KORMSZCZIKOW 1995c] (tab. 3.3).

Tabela 3.3. Masa wody w pokrywie śnieżnej, odpływ wody z topniejącego śniegu i wymyta gleba w różnych systemach uprawy pola w poprzek zbocza

Table 3.3. Mass of water in the snow cover, water outflow from melting snow and soil washed away for different methods of cultivation of fields across the slope

Wyszczególnienie Specification	Uprawa pola w poprzek zbocza Cultivation of fields across the slope					
	orka pługiem czteroskibowym PŁN-4-35 ploughing with four furrow-slice plough type PŁN-4-35				głęboszowaniem KPG-250 subsoiling with subsoiler type KPG-250	
	pług PŁN-4-35 plough PŁN-4-35	z tworzeniem grobelek making dams (damming)	z rowkowaniem powierzchni making ditches on surface	z przerywanym bruzdowaniem making interrupted furrows	głębosz KPG-250 subsoiler type KPG-250	z głęboszami stabilizującymi stabilizing subsoilers
Masa wody w pokrywie śnieżnej [t·ha ⁻¹]	1 016,0	-	-	1 035,0	1 100,0	1 113,3
Mass of water in snow cover [t·ha ⁻¹]	820,0	-	-	817,5	850,0	885,3
	843,7	-	-	850,0	986,0	1 040,0
	360,0	370,0	360,0	387,0	480,0	500,0
Masa wody odpływowej [t·ha ⁻¹]	249,0	-	-	225,0	240,0	194,5
Mass of water outflow [t·ha ⁻¹]	144,0	-	-	79,4	75,0	49,3
	248,0	-	-	180,0	194,0	133,3
	74,4	71,9	73,5	71,5	78,2	70,6
Masa wymytej gleby [t·ha ⁻¹]	0,998	-	-	0,460	0,380	0,249
Mass of soil washed away [t·ha ⁻¹]	0,919	-	-	0,551	0,320	0,185
	0,975	-	-	0,673	0,392	0,230
	0,603	0,479	0,451	0,300	0,150	0,077

Źródło: Source: KAMIŃSKI, KORMSZCZIKOW [1995a, b, c].

Porównując sześć wariantów różnych sposobów uprawy gleby stwierdzono, że w warunkach podobnej masy wody w pokrywie śnieżnej największe masy wody odpływowej wystąpiły na polach po głęboszu i pługu, natomiast najmniejsze na polu

po głęboszach ze stabilizatorami i pługu z przerywanym bruzdowaniem. Największą masę wymytej gleby odnotowano na polu po pługu, najmniejszą natomiast na polu po głęboszu ze stabilizatorami. Sposób uprawy pól na zboczach istotnie wpływa na zdolność gleby do zatrzymywania wody oraz na stopień wymycia gleby.

Uprawa gleby ma trzy podstawowe zadania:

- wzrost plonowania roślin uprawnych (uprawa powinna zapewniać stworzenie optymalnej postaci warstwy ornej);
- zwiększenie wydajności agregatów uprawowych (skrócenie czasu przygotowania gleby pod zasiew);
- zmniejszenie nakładów energetycznych (zmniejszenie kosztów własnych produkcji).

Ważnym zagadnieniem jest właściwe uformowanie składu granulometrycznego warstwy uprawnej gleby. SZEWCZENKO [1997] w swoich badaniach proponuje pod rośliny zbożowe, dla warunków południowo ukraińskiego czarnoziemu o wilgotności gleby 12–18%, następujący skład granulometryczny poszczególnych warstw:

- warstwa powierzchniowa 0–4 cm powinna zawierać przede wszystkim frakcje gruzełków o wymiarach 10–20 mm (min. 60%);
- warstwa siewna 4–8 cm gruzełki 0,25–5 mm (min. 80%);
- warstwa podsiewna 8–25 cm gruzełki 1,0–50 mm (min. 65%).

Gęstość objętościowa gleby w warstwie powierzchniowej i siewnej powinna mieścić się w przedziale $1,22\text{--}1,24\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a w warstwie podsiewnej nie przekraczać przedziału $1,24\text{--}1,26\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Na Uniwersytecie Agrotechnicznym w Melitopolu (Ukraina), do celów badań wykonano specjalny model maszyny formującej skład granulometryczny warstwy ornej gleby [SZEWCZENKO 1997].

Badania pługów

Badaniami procesów orki i głęboszowania zajmuje się wiele ośrodków naukowo-badawczych, w tym: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy (Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku), Instytut Rolniczy w Kirowie (Rosja), Tawrijski Uniwersytet Rolniczy w Melitopolu (Ukraina), Instytut Techniki Rolniczej w Tännikon (Szwajcaria). Ważne znaczenie mają wyniki badań porównawczych korpusów płużnych, przeprowadzone w 1976 r. przez pracowników naukowych Instytutu Techniki Rolniczej z Tännikon i Mazowieckiego Ośrodka Badawczego w Kłudzienku, na krytym stanowisku badawczym, tzw. kanale glebowym, znajdującym się w tym Ośrodku. Badania prowadzono oceniając jakość pracy korpusów oraz opory robocze narzędzia. Prowadzono także badania korpusów płużnych pod kątem określenia wpływu ustawienia korpusu płużnego w pługu jednoskibowym wahadłowym (kąta ustawienia lemiesza/nośnicy pługa – θ/θ_1 ; kąta skrawania – γ i prędkości roboczej orki – v) na opór jednostkowy narzędzia [KAMIŃSKI, GRUDNIK 2008]. W badaniach wykorzystano matematyczne planowanie eksperymentu, obróbkę statystyczną wyników, uzyskując zależności regresyjne między badanymi zmiennymi, w następującej (kodowanej) postaci [KAMIŃSKI, GRUDNIK 2008]:

$$Y = 58,802 + 1,8977x_1 + 2,3339x_2 + 4,3608x_3 - 0,9568x_1x_2 + 0,8555x_1x_3 + 1,2696x_2x_3 + 4,9958x_1^2 + 1,7096x_2^2 + 1,9627x_3^2 + 1,6206x_1x_2x_3 \quad (3.1)$$

gdzie:

Y – opór roboczy korpusu pługa;

$x_1 = \theta_1$; $x_2 = \gamma$; $x_3 = v_1$.

Minimum oporu jednostkowego, wynoszące $56,0217 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$, odpowiada następującym wartościom kątów ustawienia korpusów i prędkości roboczej pługa:

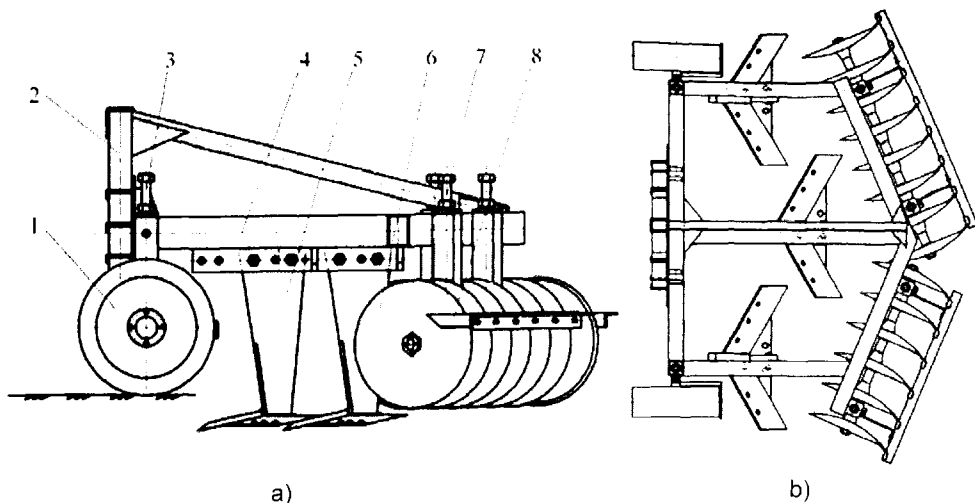
$x_1 (\theta_1) = -0,2350 (35^\circ 44')$; $x_2 (\gamma) = -0,5036 (33^\circ 28')$; $x_3 (v) = -0,9453 [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$.

Szerokie badania nad doskonaleniem narzędzi uprawowych, w tym głęboszy, prowadzono również w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu [ZBYTEK, TALARCZYK 2011; 2012]. Badania ukierunkowane były na ograniczenie oporów pracy i poprawę jakości wykonywanych zabiegów. Dużo uwagi poświęcono uprawie dwuwarstwowej, w której glebę należy płytko odwracać, mieszać oraz głęboko spulchniać. Proponują oni, między innymi, stosowanie pługów z pogłębiaczami spulchniającymi dno bruzdy i niszczącymi podeszwę płużną.

NAPIÓRKOWSKI [2005] w swojej rozprawie habilitacyjnej, poświęconej zużyciowemu oddziaływaniu gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych, skupił się na szybkości zużywania się lemieszy płużnych i ocenie stopnia zużycia, z wykorzystaniem analizy kształtu elementów skrawających. W jednym z wniosków stwierdził, że „zastosowanie nowych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych lemieszy płużnych, dostosowanych do warunków glebowych, powoduje nawet czterokrotne obniżenie intensywności zużywania w glebach gliniastych w stosunku do lemieszy standardowych”. Autor wnioskuje dalsze prowadzenie badań z tego zakresu, poszerzonych o inne elementy pracujące w glebie.

FEDOROV [2012] w badaniach przeprowadzonych na glebach darniowo-bielicowych, dotyczących oceny plonowania i efektywności energetycznej różnych sposobów uprawy wykazał, że najbardziej efektywnymi sposobami uprawy są wykonywane przemiennie kultywacja, bronowanie i orka.

W opracowaniu KOZŁOWEJ i in. [2014] zamieszczono wyniki badań porównawczych oceny plonowania i efektywności energetycznej z wykorzystaniem agregatu uprawowego, składającego się z głębosza i brony talerzowej (rys. 3.1) oraz zestawu uprawowo-siewnego (rys. 3.2). Badania prowadzono na glebie darniowo-bielicowej z uprawą żyta ozimego i mieszanki wyki z owsem, stosując dwa warianty uprawy podstawowej: pługiem PŁN-3,35 i agregatem KPA-2,2 oraz uprawę przedsięwną kultywatorami KPS-4,0 i KBM-4,2 i agregatem uprawowo-siewnym APPN-2,1. Wyniki badań dotyczące plonowania, uzyskanej energii, nakładów energetycznych oraz współczynnika energetycznej efektywności, zamieszczono w tabeli 3.4. Jako współczynnik efektywności energetycznej przyjęto stosunek uzyskanej energii z plonu do poniesionych nakładów energetycznych. Współczynnik energetycznej efektywności w uprawie żyta głęboszem i broną talerzową był o 12,6% wyższy w porównaniu z orką. Mniejsze różnice dotyczą wartości współczynnika energetycznej efektywności w uprawie mieszanki wyki z owsem. Nakłady energetyczne na uprawę podsta-



Źródło: KOZŁOWA i in. [2014]. Source: KOZŁOWA et al. [2014].

Rys. 3.1. Kombinowane narzędzie uprawowe KPA-2,2 do bezorkowej uprawy gleby: a) widok z boku, b) widok z góry; części składowe: 1 – koło podporowe, 2 – układ zawieszenia, 3 – mechanizm regulacji głębokości pracy, 4 – rama, 5 – łapy głębosza, 6 – sekcje brony talerzowej, 7 – mechanizm regulacji głębokości pracy brony talerzowej, 8 – skrobak

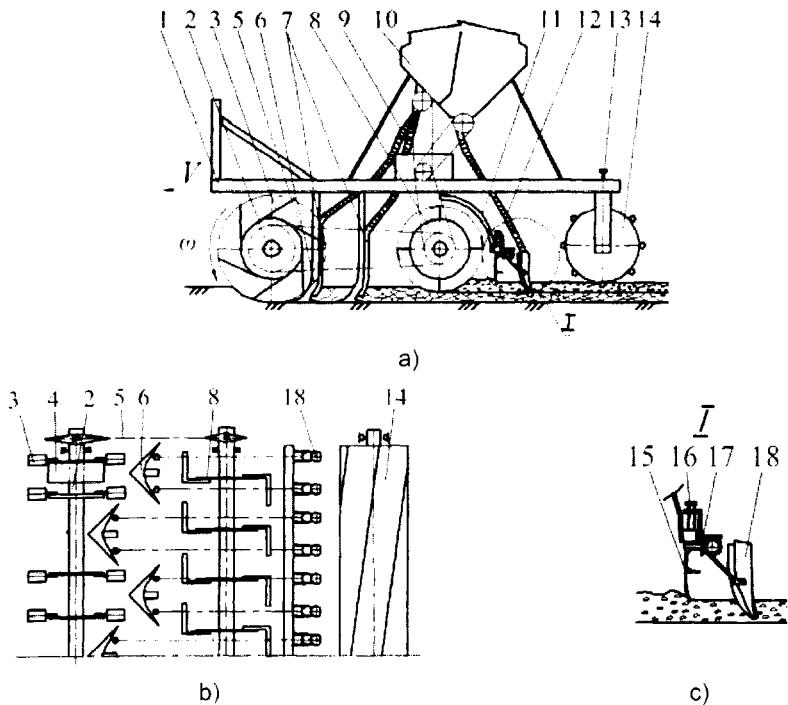
Fig. 3.1. Combined tillage tool KPA-2.2 for plow-less soil tillage: a) side view, b) top view; assembly units: 1 – supporting wheel, 2 – mounting system, 3 – work depth control, 4 – main frame, 5 – subsoiler's shares, 6 – disk harrow section, 7 – mechanism of disc harrow depth control, 8 – scraper

wową głęboszem stanowiły 32,6%, natomiast dla agregatu uprawowo-nawozowo-siewnego 45,7% całkowitych nakładów na zabiegi agrotechniczne.

3.3. Maszyny do uprawy przedsięwnej i późniwej gleby

Do uprawy przedsięwnej gleby dostępny jest szeroki asortyment narzędzi. Podstawowymi są zestawy, składające się z narzędzi jednoczynnościowych, takich jak: włóki, brony zębowe, kultywatory, wały wyrównujące, kruszące, ugniatające. Na podstawie wyników badań opracowano zasady przygotowania pola pod siew, uwzględniające m.in. właściwości fizyczne gleby, uprawianą kulturę, warunki glebowo-klimatyczne [JUNUSOV i in. 2012; KANAFOJSKI 1977; OLSEN 1994; PAWLAK 2012; PETERS 2001; ŠARAPATKA, URBAN i in. 2012].

W wielu krajach, w tym również w Polsce, podjęto badania dotyczące łączenia zabiegów technologicznych, m.in. uprawy przedsięwnej gleby i siewu nasion zbóż oraz buraków i kukurydzy. Pierwsze wyniki badań z tego zakresu, które przeprowadzono w latach 1972–75 w Instytucie Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Oddział w Kłodzku, prezentowano na konferencji naukowej w Puławach [KAMIŃSKI, MAJZAK 1976a]. Na podstawie uzyskanych wyników badań, przeprowadzonych na glebach ciężkich, średnio-zwężłych i lekkich, zaproponowano narzędzia



Źródło: KOZŁOWA i in. [2014]. Source: KOZŁOWA et al. [2014].

Rys. 3.2. Agregat uprawowo-siewny APPN-2,1: a) widok z boku, b) schemat rozmieszczenia organów roboczych, c) redlica; 1 – rama, 2 – bęben napędowy, 3 – ostrogi, 4 – bęben oporowy, 5 – przełożenie łańcuchowe, 6 – łapy kultywatora, 7 – przewody nasienne, 8 – wał rozdrabniający bryły, 9 – skrzynia przekładniowa, 10 – zbiornik nasion i nawozu, 11 – osłona, 12 – przewód nasienny, 13 – mechanizm regulacji głębokości pracy, 14 – wał strunowy, 15 – płoza wyrównująca glebę i kopiująca, 16 – mechanizm regulacji głębokości siewu, 17 – belka redliczna, 18 – redlice

Fig. 3.2. Tillage and sowing set APPN-2,1: a) side view, b) scheme of working tools arrangement, c) furrow opener; 1 – main frame, 2 – driving drum, 3 – grousers, 4 – supporting drum, 5 – chain transmission, 6 – cultivator shares, 7 – seed tubes, 8 – clump crushing roller, 9 – gear box, 10 – seed and fertilizer tank, 11 – shield, 12 – seed tube, 13 – mechanism of working depth control, 14 – string roller, 15 – soil leveling and copying slade, 16 – mechanism of sowing depth control, 17 – furrow openers' beam, 18 – furrow opener

wchodzące w zestawy uprawowo-siewne. Na gleby ciężkie:

- pod zboża jare – zestaw uprawowo-siewny z broną wahadłową;
- pod kukurydzę – zestaw uprawowo-siewny z kultywatorem o zębach sztywnych z gęsiostopkami;
- pod pszenicę ozimą – zestaw uprawowy z broną wahadłową;
- do bezpośredniego siewu pszenicy po przedplonie – zestaw uprawowo-siewny z glebogryzarką lub broną wahadłową lub kultywatorem.

Tabela 3.4. Energetyczna efektywność uprawy roślin
Table 3.4. Energetic efficiency of plant production

Uprawa podstawowa Primary tillage	Uprawa przedsięwzięcia Presowing tillage	Plonowanie Yield [t·ha ⁻¹]		Uzyskana energia Output of energy [MJ·ha ⁻¹]		Nakłady energetyczne Input of energy [MJ·ha ⁻¹]		Współczynnik KEE ¹⁾ Coefficient KEE ¹⁾	
		żyto ozime winter rye	wyka z owsem vetch with oats	żyto ozime winter rye	wyka z owsem vetch with oats	żyto ozime winter rye	wyka z owsem vetch with oats	żyto ozime winter rye	wyka z owsem vetch with oats
Pług PLN-3,35 PLOW PLN-3,35	KPS-4,0	2,22	4,50	33,70	45,60	19,20	19,40	1,76	2,35
	KBM-4,2	2,41	4,42	35,00	49,10	19,20	19,50	1,83	2,52
	APPN-2,1	2,38	5,38	38,50	53,20	19,00	18,70	2,02	2,85
Głębosz z broną Subsoiler with harrow KPA-2,2	KPS-4,0	2,43	5,39	38,90	48,30	18,80	19,10	2,07	2,53
	KBM-4,2	2,63	4,58	41,90	43,60	18,90	19,00	2,21	2,30
	APPN-2,1	2,50	5,12	40,00	49,20	18,70	18,30	2,14	2,69

¹⁾ Współczynnik efektywności energetycznej. ¹⁾ Coefficient energetic efficiency.

Źródło: KOZŁOWA i in. [2014]. Source: KOZŁOWA et al. [2014].

Na gleby średnio żwiłłe:

- pod pszenicę jarą – zestaw uprawowo-siewny z broną zębową średnią;
- pod siew bobiku – zestaw uprawowo-siewny z broną wahadłową;
- pod siew ozimin – zestaw uprawowo-siewny z broną wahadłową;
- pod rzepak ozimy – zalecono rozdzielenie zabiegów, uprawa pługofrezarką lub pługiem, i siew nasion;
- pod jęczmień – zestaw uprawowo-siewny z broną zębową.

Na podstawie przeprowadzonych badań prototypów różnych zestawów uprawowo-siewnych [KAMIŃSKI, MAJCAK 1976a, b] o różnych szerokościach roboczych, stwierdzono, że w warunkach Polski jednoczesna uprawa i siew mogą być wykonywane z użyciem produkowanych przez przemysł sprzęgów do łączenia bron wahadłowych, bron zębowych i kultywatorów z siewnikami zbożowymi.

W wyniku dalszego doskonalenia sprzętu przemysł dostarcza rolnictwu całą gamę wieloczynnościowych zestawów uprawowych, jak również zestawy uprawowo-siewne, przeznaczone na różne gleby, dla gospodarstw różnego areалу, przewidziane do ciągników o odpowiednim wyposażeniu podstawowym i dodatkowym. Rozwijanemu kierunkowi łączenia zabiegów agrotechnicznych sprzyja szeroki asortyment nowoczesnych ciągników rolniczych, w tym: z napędem na dwie osie, przednim i tylnym wałkiem odbioru mocy, przednim i tylnym trzypunktowym układem zawieszenia, przednim i tylnym wyjściem hydrauliki zewnętrznej. Najczęściej na przednim, trzypunktowym układzie zawieszenia montowane są narzędzia uprawowe i nawozowe, natomiast na tylnym, trzypunktowym układzie zawieszenia siewniki zbożowe lub siewniki z narzędziami doprawiającymi glebę typu: brony aktywne, zgrzebla posiewne,

wały doprawiające. Badania o dużym zakresie uprawy przedsewnej gleby oraz jakości pracy narzędzi uprawowych przeprowadzili JUNUSOV i in. [2012]. Główną uwagę zwrócili oni na kombinowane agregaty uprawowe, przygotowujące pole pod zasiew zbóż, kukurydzy, buraków cukrowych, oraz specyficzne wymagania dotyczące jakości uprawy gleby, stawiane w uprawie poszczególnych roślin.

Do uprawy przedsewnej bardzo często stosowane są kultywatory o zębach sprężystych, sztywnych, z redlicami radełkowymi, gęsiostopkowymi [KAMIŃSKI i in. 2005; KAMIŃSKI (red.) 2011a, b; KAMIŃSKI (red.) 2012; ZABIELSKI 2005]. W tym zabiegu ważnym zagadnieniem są jakość pracy maszyn i energochłonność. WASZKIEWICZ i in. [2011], na podstawie przeprowadzonych badań, wyznaczyli równania regresji opisujące wpływ prędkości roboczej (x_1) i głębokości uprawy (x_2) na stopień spulchnienia (K), stopień wyrównania powierzchni pola (G) i opory jednostkowe kultywatora (Q) w następującej postaci:

$$K = 57,13 + 3,28x_1 - 0,20x_2 + 1,83x_1x_2 + 0,24x_1^2 + 0,20x_2^2 \quad (3.2)$$

$$\dot{G} = 28,72 - 0,99x_1 + 1,26x_2 - 2,81x_1x_2 - 1,66x_1^2 - 4,10x_2^2 \quad (3.3)$$

$$Q = 13,68 + 0,61x_1 + 3,39x_2 - 0,49x_1x_2 + 2,39x_1^2 - 2,46x_2^2 \quad (3.4)$$

Funkcja $K(x_1, x_2)$ przyjmuje wartość minimalną, wynoszącą 52,26 dla $x_1 = -1$ (1,6 m·s⁻¹) i $x_2 = -1$ (6 cm), oraz wartość maksymalną, wynoszącą 62,49 dla $x_1 = 1$ (2,5 m·s⁻¹) i $x_2 = 1$ (14 cm).

Funkcja $G(x_1, x_2)$ przyjmuje wartość minimalną, wynoszącą 19,87 dla $x_1 = -1$ (1,6 m·s⁻¹) i $x_2 = -1$ (6 cm), oraz wartość maksymalną, wynoszącą 29,25 dla $x_1 = -0,6$ (2,3 m·s⁻¹) i $x_2 = 0,36$ (9 cm).

Funkcja $Q(x_1, x_2)$ przyjmuje wartość minimalną, wynoszącą 7,70 dla $x_1 = 0,23$ (2 m·s⁻¹) i $x_2 = -1$ (6 cm), oraz wartość maksymalną, wynoszącą 17,54 dla $x_1 = 1$ (2,5 m·s⁻¹) i $x_2 = 0,59$ (8,5 cm).

Zależności regresyjne między parametrami optymalizacyjnymi i wielkościami zmiennymi wybranych narzędzi uprawowych, dla warunków południowej Ukrainy, wyznaczył SZEWCZENKO [1997]. I tak stopień zagęszczenia gleby (y), w warstwie 0–10 cm, wałami uprawowymi Cambridge w funkcji prędkości roboczej agregatu (x_1), krotności przejazdu (x_2) i nacisku jednostkowego (x_3), z założeniem ($x_2 = 1$), spełnia równanie:

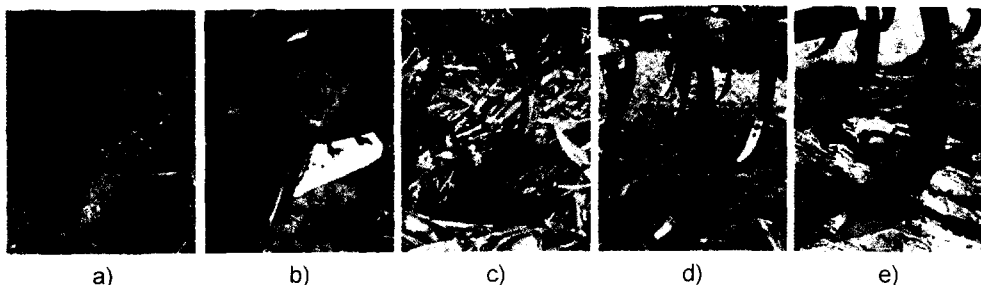
$$y = 1,04 + 0,05x_1 - 0,02x_3 + 0,01x_1x_3 + 0,02x_1^2 - 0,04x_3^2 \quad (3.5)$$

Funkcja $y(x_1, x_3)$ przyjmuje wartość minimalną 0,94 dla $x_1 = -1$ (4 km·h⁻¹) i $x_3 = 1,0$ (420 kg·m⁻¹) oraz wartość maksymalną 1,11 dla $x_1 = 1$ (12,0 km·h⁻¹) i $x_3 = -0,09$ (500 kg·m⁻¹).

Nowoczesna uprawa późniwna ściernisk ma za zadanie podcięcie warstwy wierzchniej gleby, wymieszanie z resztkami późniwnymi i spulchnienie do stopnia odpowia-

dającego warstwie siewnej gleby. Przemysł dostarcza rolnictwu maszyny do tzw. mulczowania (spulchniania, mieszania z resztkami organicznymi), głównie zestawy oparte na kultywatorach, bronach talerzowych oraz wałach wyrównujących i krusząco-ugniatających.

W Mazowieckim Ośrodku Badawczym ITP w Kłudzienku KOGUT [2012] przeprowadził badania porównawcze dziesięciu typów agregatów, różniących się konstrukcyjnie, oceniając je pod względem jakości pracy, tj. wymieszania i przykrycia resztek roślinnych. Przykładowe zęby kultywatorów, stosowane w badanych zestawach uprawowych, przedstawia zdjęcie 3.1.

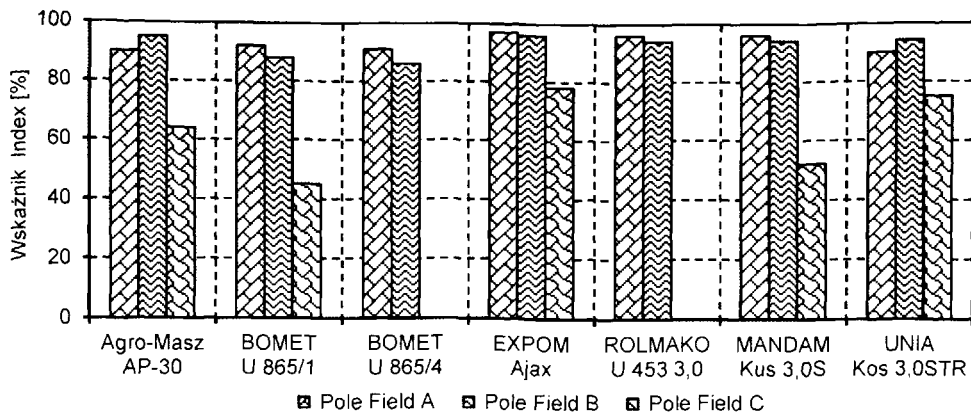


Źródło: Source: Z. Kogut.

Fot. 3.1. Różne wersje zębów stosowanych w badanych kultywatorach ścierniskowych: a) zęby na bazie redliczek z podcinaczami dwustronnymi, b) zęby na bazie redliczek sercowych z podcinaczami bocznymi, c) zęby podcinające gęsiostopkowe, d) zęby podcinające dłutowe, e) zęby gęsiostopkowe

Photo 3.1. Different versions of teeth used in the studied stubble cultivators: a) tooth with share-point and two-side under-cutter, b) tooth with heart-shaped share point and two-side under-cutter, c) tooth with duck-foot under cutter, d) chisel under-cutting tooth, e) duck-foot tooth

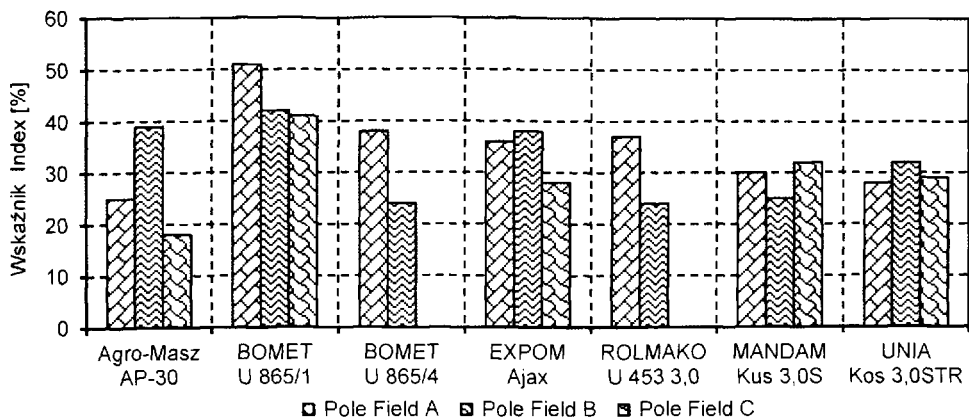
Wartości wskaźników jakości pracy dla siedmiu zestawów uprawowych badanych na trzech polach: A – ściernisko po pszenicy, głębokość uprawy ok. 8 cm, B – ściernisko po pszenicy, głębokość uprawy 16 cm, C – ściernisko po kukurydzy na ziarno, głębokość uprawy ok. 16 cm, zamieszczono na rysunkach 3.3 i 3.4. Kultywatory zastosowane w agregatach wyposażone były w następujące rodzaje zębów: kultywator w agregacie Agro-Masz AP-30 miał zęby redliczkowe z podcinaczami dwustronnymi (fot. 3.1a); BOMET U-865/1 – redliczki z podcinaczami dwustronnymi (fot. 3.1a); BOMET U865/4 – zęby podcinające gęsiostopkowe (fot. 3.1c); EXPOM AJAX – zęby podcinające gęsiostopkowe (fot. 3.1c); ROLMAKO U-453 3,0 – zęby podcinające gęsiostopkowe (fot. 3.1c); MANDAM KUS 3,0S – zęby podcinające gęsiostopkowe (fot. 3.1c); UNIA KOS 3,0 STR – redliczki sercowe z podcinaczami (fot. 3.1b) Agregaty uzyskały zbliżone wartości wskaźnika przykrycia resztek poźniwnych na polach A i B, natomiast dla pola C różnice były znaczne (do 50%) (rys. 3.3). Wartości nierównomierności głębokości spulchnienia gleby na poszczególnych polach różniły się znacznie (do 50%) (rys. 3.4). Wyniki badań porównawczych świadczą o tym, że należy starannie dobierać agregat uprawowy do warunków glebowych pola.



Źródło: Source: KOGUT [2012].

Rys. 3.3. Wartości wskaźnika przykrycia resztek poźniwnych przez badane agregaty uprawowe na polach A, B i C

Fig. 3.3. Values of index of plant residues covering by cultivation aggregates tested on fields A, B and C



Źródło: Source: KOGUT [2012].

Rys. 3.4. Wartości wskaźnika nierównomierności głębokości roboczej badanych agregatów uprawowych

Fig. 3.4. Values of index of working depth irregularity of the tested cultivation aggregates

3.4. Maszyny do nawożenia mineralnego i organicznego

Nawożenie mineralne nawozami granulowanymi

W technologii nawożenia mineralnego występują cztery podstawowe czynności: załadunek nawozu na środki transportowe, transport nawozu na pole, załadunek do skrzyń nawozowych rozsiewaczy i rozsiew [KAMIŃSKI i in. 2011c]. Stopień mechanizacji tych czynności zależy w dużej mierze od tego, czy stosuje się nawóz luzem, w workach 50-kilogramowych, kontenerach elastycznych lub sztywnych. Również

liczba i rodzaj użytych maszyn zależą od wielu czynników. Wysoki stopień mechanizacji oraz wysoką wydajność prac przeładunkowych można uzyskać, stosując nawozy luzem i w kontenerach elastycznych i sztywnych. Do tego zabiegu wykorzystywane są maszyny ogólnego przeznaczenia z odpowiednim wyposażeniem, są to: ładowacze ciągnikowe i samobieżne, przyczepy rolnicze, wózki widłowe, itp. Podstawową grupę maszyn do rozsiewu nawozów stanowią rozsiewacze jedno- i dwutarczowe (PN-82/C-87004; PN-EN 13739-1/2004; PN-EN 13739-2/2004; PN-EN ISO 4254-1/2009/AC/2010). Rozsiewacze budowane są jako zawieszane na ciągniku, przyczepiane, samochodowe i samojezdne [KAMIŃSKI 2010; 2011a; KAMIONKA 2005; 2007; KRYŻACZKOWSKI, KAMIŃSKI 1997; MUZALEWSKI 2010].

Zmiany konstrukcji rozsiewaczy zmierzają do zwiększania ładowności skrzyń nawozowych, zwiększania szerokości roboczych oraz przystosowania do siewu granicznego. Rozsiewacze zawieszane o ładowności 300–4000 kg, z uwagi na stabilność agregatu, wymagają ciągników o dużej masie. Rozsiewacze przyczepiane, o ładowności 2000–12 000 kg, z uwagi na duże opory przetaczania po spulchnionej powierzchni pola, wymagają ciągników o znacznej sile uciągu, najlepiej z napędem na dwie osie. Stosując duże szerokości robocze rozsiewaczy nawozowych, należy zwrócić uwagę na dokładność prowadzenia maszyn po polu. W tym celu mogą być wykorzystane ścieżki technologiczne w uprawie zbóż, międzyrzędzia w uprawie roślin okopowych, ścieżki przejazdowe zakładane na cały okres uprawy roślin w wykorzystaniu nawigacji satelitarnej. Rozsiewacze samochodowe cechują się dużą wydajnością, zwłaszcza podczas nawożenia pogłównego, ale z uwagi na ogumienie z wysokim ciśnieniem rzadko są stosowane. Rozsiewacze samojezdne z ogumieniem niskociśnieniowym także nie znalazły szerszego zastosowania, głównie z uwagi na wysokie koszty ich zakupu.

Podstawowymi kierunkami doskonalenia technologii rozsiewania nawozów są:

- przystosowanie do spełnienia wymagań ekologicznych, np. nieobsiewania stref buforowych przy ciekach wodnych (fot. 3.2);
- ograniczenie strat nawozów mineralnych wynikających z uszkodzania granул przez zespoły robocze ładowarek, rozsiewaczy oraz rozsypywania podczas załadunku do skrzyń nawozowych;
- poprawa równomierności poprzecznej i podłużnej rozsiewu nawozu oraz przystosowanie do stosowania zmiennej dawki nawożenia, przewidzianej w rolnictwie precyzyjnym.

Interesującym przykładem dostosowania konstrukcji rozsiewacza do poruszania się po terenach podmokłych, w warunkach dużej wilgotności gleby, nawożenia pogłównego zbóż w początkowej fazie wzrostu, a także do pracy na łąkach i pastwiskach [GOLKA, KAMIŃSKI 2011], może być wieloczynnościowa maszyna, w tym do nawożenia, wyposażona w ogumienie niskociśnieniowe (0,015 MPa), pokazana na fotografii 3.3.

Maszyny do rozsiewu nawozów muszą spełniać wymagania ekologiczne, podane w normach (PN-EN 13740-1/2005; PN-EN 13740-2/2005).

Innym nowoczesnym rozwiązaniem jest samobieżna maszyna do nawożenia i ochrony roślin Terra-Gator 1603T [Ag-Chem Equipment Company 2011], o podwoziu trzy kołowym, z ogumieniem niskociśnieniowym 0,025 MPa, ze zbiornikiem 5 t (fot. 3.4).



<http://www.karbanek.com.pl>

Fot. 3.2. Rozsiewacz nawozowy firmy Sulky, wyposażony w komputer i nawigację satelitarną, podczas nawożenia skrajnego pasa pola

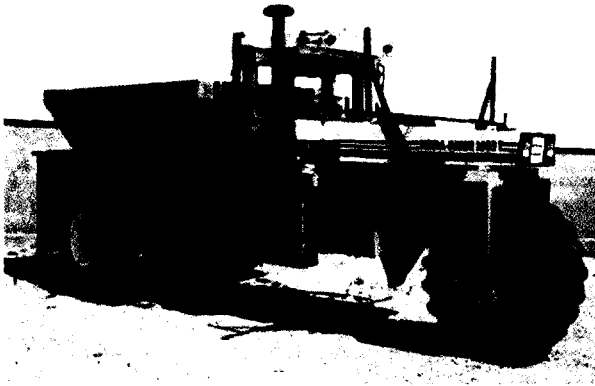
Photo 3.2. A mounted spreader type X36 produced by Sulky Company with computer and satellite navigation during spreading of fertilizer on boundary of a field



<http://www.bluming.ru/rus/catalog/104/233.html>

Fot. 3.3. Dwutarczowy samojezdny rozsiewacz nawozowy Rosa

Photo 3.3. Self-propelled double disc fertilizer spreader Rosa



Źródło: Source: Ag-Chem Equipment Company [2011]

Fot. 3.4. Samojezdny rozsiewacz nawozów mineralnych Terra-Gator 1603T

Photo 3.4. Self-propelled mineral fertilizer distributor Terra-Gator 1603T

Nawożenie mineralne płynne i ciekłe

Do nawożenia wykorzystywane są też nawozy płynne w postaci zawiesin oraz ciekłe w postaci roztworów. Postać zawiesinowa nawozów wymaga budowy specjalnych wytwórni zawiesiny (inwestycja kosztowna) i specjalnych maszyn do transportu zawiesiny na pole i rozlewania. W Polsce funkcjonuje tylko jedna baza wytwarzania nawozów zawiesinowych w Łagiewnikach, woj. dolnośląskie, mogąca przygotować nawozy na powierzchnię ok. 20 tys. ha. Technika nawożenia nawozami zawiesinowymi od wielu lat nie rozwija się. Dużego znaczenia nabrało, w ostatnich latach, nawożenie roztworami azotowymi (PN-EN 12761-1/2003; PN-EN 12761-2/2003; PN-EN 12761-3/2003). Jest to forma nawozów możliwa do aplikacji przez maszyny przeznaczone do środków ochrony roślin. Możliwe jest stosowanie małych dawek nawozów na ha (rzędu kilku kilogramów), a także ich łączne stosowanie z pestycydami. Głównym ciekłym nawozem azotowym, znajdującym się w dystrybucji, jest roztwór saletrzano-mocznikowy o trzech stopniach stężenia azotu, a mianowicie 28, 30 i 32%. Im wyższy stopień stężenia, tym niższa jest temperatura krystalizacji.

Obecnie w zasadzie wszystkie typy opryskiwaczy rolniczych przystosowane są konstrukcyjnie do aplikacji roztworów azotowych. Opryski na glebę można wykonywać roztworem w pełnym stężeniu fabrycznym, natomiast opryski dolistne roztworem rozcieńczonym wodą (aby zapobiec poparzeniu roślin). Na uwagę zasługuje większa gęstość roztworu ($1,31 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) w porównaniu z wodą, co stwarza niebezpieczeństwo nadmiernego obciążenia opryskiwacza cieczą roboczą (np. 400-litrowy zbiornik opryskiwacza pomieści 520 kg roztworu saletrzano-mocznikowego). Szczegółowe omówienie wpływu techniki na efektywność pogłównego nawożenia zbóż znajduje się m.in. w pracy KAMIONKI [2005].

Nawożenie organiczne

W technologii nawożenia obornikiem występują następujące trzy podstawowe operacje technologiczne: załadunek obornika na rozrzutnik, transport na pole i rozrzucanie. Przykładowy dla tej technologii zestaw maszyn, składający się z dwóch agregatów: ciągnik – rozrzutnik oraz ciągnik – ładowacz, pokazano na fotografii 3.5.

Z uwagi na duży asortyment rozrzutników obornika, znajdujących się w sprzedaży, podejmowane są próby wyznaczenia wartości podstawowych wskaźników eksploatacyjnych nawożenia obornikiem, z zastosowaniem rozrzutników różnej ładowności. MARCZUK i KAMIŃSKI [2012a], prowadząc badania eksploatacyjne zestawów nawozowych z rozrzutnikami trzech grup ładowności: 5, 10 i 20 t, ustalili cenę zakupu maszyn, koszty nawożenia i nakłady energetyczne. Wyniki badań potwierdzają (rys. 3.5), że ceny zestawu, koszty nawożenia i nakłady energetyczne rosną wraz z ładownością rozrzutnika obornika. Wskazują one na istotne znaczenie właściwego doboru ciągników i rozrzutników obornika z punktu widzenia minimalizacji ugniataania gleby. Najlepsze wskaźniki spośród wymienionych zestawów uzyskał zestaw z rozrzutnikiem 10 t. Wpłynął na to prawidłowy dobór wielkości kół i rozmiaru ogumienia rozrzutnika i ciągnika.

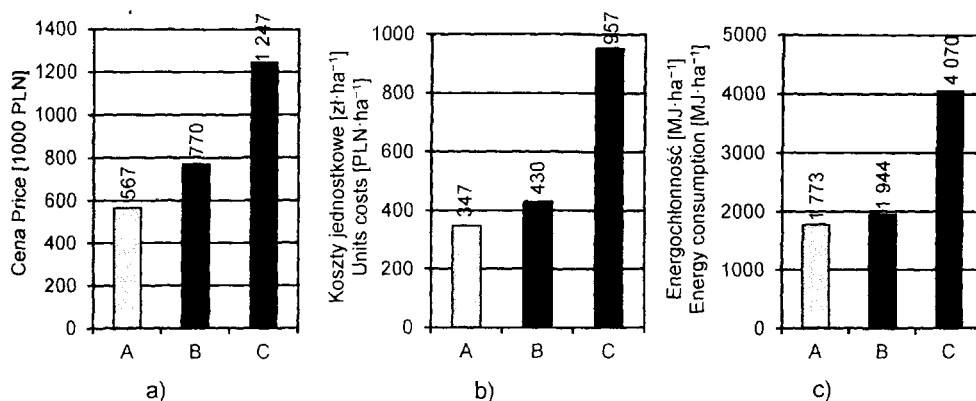
Kompostowanie obornika wpływa korzystnie na jego przydatność nawozową. Jest również jednym ze sposobów ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, w tym także



Źródło: W. Markiewicz, MOB w Kłudzienku. Source: W. Markiewicz, MOB in Kłudzienko.

Fot. 3.5. Załadunek nawozu na rozrzutnik obornika

Photo 3.5. Organic fertilizer loading on manure spreader



Źródło: Source: MARCZUK, KAMIŃSKI [2012a].

Rys. 3.5. Wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne badanych zestawów maszyn do nawożenia obornikiem: a) ceny zakupu, b) koszty jednostkowe nawożenia, c) energochłonność zabiegu

Fig. 3.5. Exploitation-economical indices of the tested machine aggregates for manure application: a) purchase prices, b) specific costs of application, c) energy consumption for operations

z gnojowicy [JELINEK i in. 2001]. Badania z tego zakresu obejmują maszyny do formowania pryzm kompostowych, napowietrzania kompostowanego materiału, załadunku kompostu na środki transportowe i rozrzutniki obornika [MARCZUK, KAMIŃSKI 2012a, b].

Do składowania, transportu i rozlewania ciekłych nawozów naturalnych (gnojowicy i gnojówki) potrzebny jest dość szeroki asortyment urządzeń i maszyn dostosowanych do lokalnych warunków glebowo-klimatycznych i obowiązujących wymagań ekologicznych [KAMIŃSKI (red.) 2012].

Składowana w szczelnych, zazwyczaj betonowych, zbiornikach gnojowica musi być okresowo mieszana, w celu rozbicia tworzącego się na powierzchni kożucha i ujednorodnienia jej przed wywiezieniem na pole. Do mieszania gnojowicy mogą być stosowane, tanie i proste mieszadła zawieszane na trzypunktowym układzie zawieszania i napędzane od WOM ciągnika. Zapotrzebowanie mocy dla takich mieszadeł jest niewielkie, nie przekracza 10 kW. Mogą więc one być agregatowane z ciągnikami używanymi do prac podwórzowych.

Łaładunek ciekłego nawozu ze zbiornika do beczkowozu odbywa się z użyciem pompy zewnętrznej lub kompresora zamontowanego na beczkowozie.

Do przewozu i aplikacji gnojowicy służy szeroki asortyment beczkowozów (wozów asenizacyjnych) o zróżnicowanych rozwiązaniach konstrukcyjnych i pojemnościach zbiorników od kilku do kilkudziesięciu metrów sześciennych. Przykładowe wozy asenizacyjne, stosowane w gospodarstwach farmerskich, pokazano na zdjęciach (fot. 3.6a, b).



a)

b)

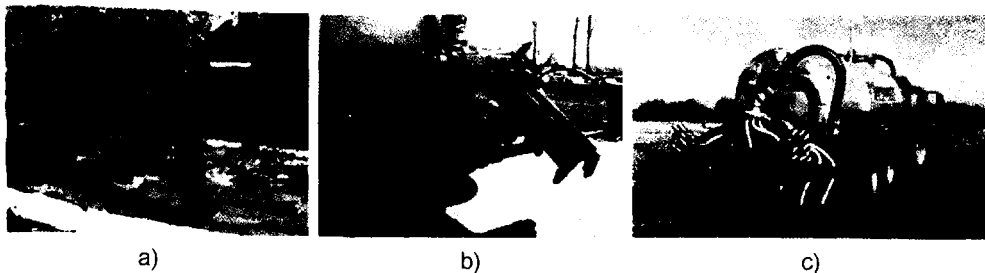
http://meprozet.pl/Rozne_wozy.html

Fot. 3.6. Przykładowe wozy asenizacyjne firmy Meprozet Kościan: a) PN-30/2 jednoosiowy 3000 dm³, b) PN-120 tandem 12 000 dm³

Photo 3.6. Examples of slurry tankers produced by Meprozet Koscian: a) PN-30/2, single axleled, 3000 dm³, b) PN-120 tandem axleled, 12 000 dm³

Podstawowymi zespołami beczkowozów są: podwozie z układem jezdny, zbiornik, urządzenie do napełniania i opróżniania zbiorników (kompresory, pompy), elementy do rozlewania (dysze, łyżki rozbryzgowy, węże rozlewające) oraz w niektórych zastosowaniach, elementy wprowadzające gnojowicę do gleby, jak: zęby głęboszy, różne redlice, brony talerzowe i kultywatory (fot. 3.7).

Rozlewacze gnojowicy należą do najcięższych maszyn rolniczych, zwłaszcza wyposażone w elementy wprowadzające ją do gleby. Współpracują one z ciężkimi ciągnikami o dużej mocy, stąd niebezpieczeństwo ugniatania gleby kołami jezdny agregatów. Liczba osi i kół rozlewaczy zależy od pojemności zbiornika – najmniejsze rozlewacze są najczęściej 1-osiowe co zapewnia im dużą zwrotność na małych polach, a największe – mają podwozia 6-kołowe, o szerokim ogumieniu.



http://meprozet.pl/Rozne_wozy.html

Fot. 3.7. Aplikatory do nawożenia doglebowego gnojowicą: a) aplikator dwuredlicowy, b) aplikator czteroredlicowy, c) brona talerzowa

Photo 3.7. Applicators for application of liquid manure into soil: a) with two openers, b) with four openers, c) disc harrow

3.5. Maszyny do siewu i sadzenia

Siew i sadzenie to praktyczne zakładanie plantacji, na której będą w okresie wegetacji prowadzone zabiegi pielęgnacji i ochrony roślin, a po zakończeniu wegetacji – zbiór plonów. Prawidłowe zestawienie agregatów ciągnika z siewnikiem czy sadzarką oraz staranne wykonanie zabiegu mogą być decydujące dla wszystkich dalszych działań na plantacji, ze zbiorem włącznie.

Siewniki rzędowe

Agregaty do siewu zbóż i rzepaku są stosunkowo proste w eksploatacji i znane od wielu lat. Do dokładnego wykonania siewu potrzebne jest prawidłowe ustawienie znaczników, która to czynność jest opisana we wszystkich podręcznikach mechanizacji rolnictwa dla szkół średnich i wyższych.

W nowoczesnych technologiach produkcji zbóż i rzepaku stosowane są ścieżki przejazdowe, po których poruszają się koła agregatów używanych do zabiegów wymagających wjazdu w łan, np. przy opryskach i dokarmianiu pogłównym.

Rozplanowanie ścieżek na polu zależy od szerokości roboczej opryskiwacza, a ich szerokość – od szerokości ogumienia ciągnika współpracującego z opryskiwaczem lub ogumienia opryskiwacza samobieżnego, jeśli taki będzie użyty (fot. 3.8).

W celu pozostawienia nieobsianych pasów pod przyszłe ścieżki, w siewniku zamykane są odpowiednie aparaty wysiewające. W dużych agregatach zamykaniem aparatów wysiewających i prowadzeniem maszyn po polu steruje komputer pokładowy na podstawie mapy pola z zaprogramowanymi ścieżkami. Na polach o nieregularnym kształcie i przy obsiewaniu skrajnych pasów komputer steruje też zamykaniem zbędnych aparatów wysiewających.

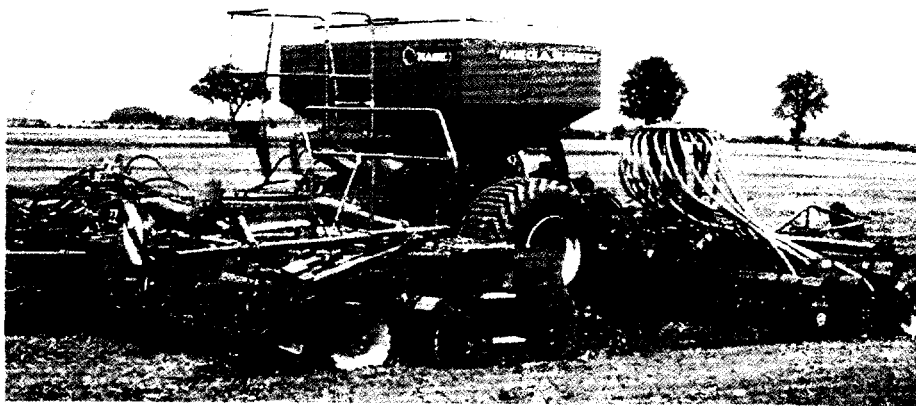
Ponieważ siewniki stawiają niewielkie opory robocze, wykonywanie siewu agregatem jednoczynnościowym złożonym tylko z siewnika i ciągnika ma miejsce jedynie w gospodarstwach niewielkich. W większych przedsiębiorstwach najczęściej siew jest



Fot. 3.8. Ścieżki technologiczne na plantacjach zbóż
Photo 3.8. Tramlines on a grain crop field

Źródło: materiały informacyjne firmy RAUCH. Source: folder of the firma RAUCH.

łączony z uprawą podstawową lub tylko przedsewną, a także z nawożeniem mineralnym i niekiedy opryskiwaniem doglebowym środkami chemicznymi. W tych przypadkach powstają agregaty wieloczynnościowe, lepiej wykorzystujące moc ciągnika ograniczające liczbę przejazdów po polu, a więc i ugniatanie gleby (fot. 3.9).



Źródło: materiały informacyjne firmy Rabe. Source: folder of the firma Rabe.

Fot. 3.9. Agregat wieloczynnościowy stosowany w uprawie zbóż
Photo 3.9. Multifunction machine set as used in grain crop cultivation

Siewniki punktowe (precyzyjne)

Oddzielną grupę wśród siewników stanowią siewniki precyzyjne, do wysiewu buraków cukrowych i kukurydzy. Te nasiona wysiewa się w szeroko rozstawione (ponad 40 cm) rzędy z precyzyjnym, punktowym ich rozmieszczaniem wzdłuż rzędów. Każdy rząd obsiewa oddzielna sekcja siewnika z własnym zbiornikiem na nasiona. Ze względu na sposób pobierania nasion przez zespoły wysiewające, siewniki precyzyjne można podzielić na mechaniczne i pneumatyczne.

Siewniki punktowe do wysiewu buraków są wykonywane najczęściej w wersjach 6- i 12-rzędowych, rzadziej jako 18-rzędowe, a do kukurydzy również 8-, 16- i 20-rzę-

dowe. Są one zawieszane na podnośniku hydraulicznym ciągnika (fot. 3.10), a do transportu składane lub przyczepiane do ciągnika i ciągnięte w położeniu wzdłużnym ramy. Napęd na sekcje wysiewające jest przekazywany od kół jezdnych, choć niedawno pojawiły się też siewniki z sekcjami napędzanymi elektrycznie. Wentylatory ssące lub tłoczące w siewnikach pneumatycznych pobierają napęd od WOM ciągnika.



Źródło: materiały informacyjne firmy Sfoggia. Source: folder of the firma Sfoggia.

Fot. 3.10. Siewnik punktowy do wysiewu buraków cukrowych w położeniu: a) roboczym, b) transportowym

Photo 3.10. Single seed precision drill for sugar beets: a) service position, b) transport position

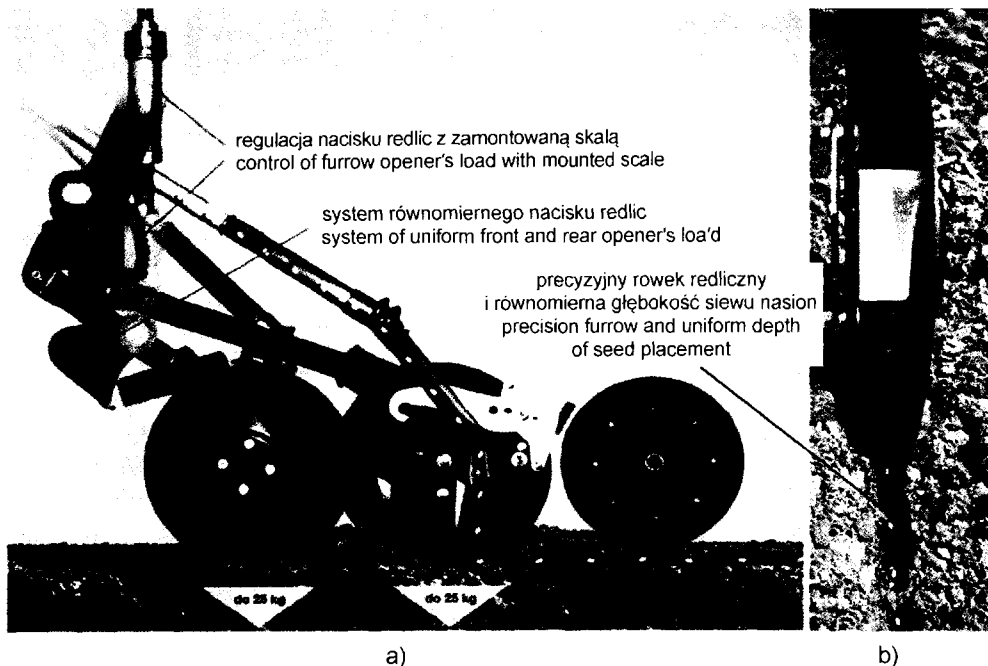
Siewniki do wysiewu w mulcz i wysiewu „na gotowo”

Zrównoważona gospodarka rolna chroni glebę przez ograniczenie zabiegów uprawowych i stosowanie tzw. mulczu. Wymaga to istotnych zmian w wyposażeniu siewników, które muszą być przystosowane do siewu w ściernisko lub w warstwę nierozłożonych resztek roślinnych.

W tym celu redlice są ciężkie lub mocno dociążone. Na ogół są one wyposażone w jedną lub dwie tarcze rozcinające warstwę mulczu lub ścierniska i tworzące brzdę, w której są umieszczane nasiona, zapewniając równomierną głębokość siewu, od czego zależy równomierność wschodów roślin uprawnych (fot. 3.11).

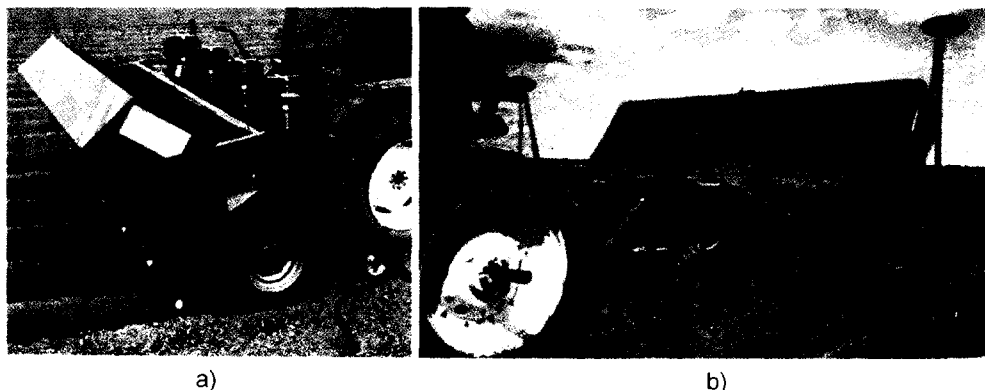
Sadzarki do ziemniaków

Rynek sadzarek został w Europie prawie całkowicie zdominowany przez maszyny z taśmowo-czerpakowymi zespołami wysadzającymi o dużej dokładności sadzenia. Maszyny te są budowane jako sekcyjne – każdy rząd obsadza jedna sekcja, składająca się z redlicy, aparatu wysadzającego i zagarniacza talerzowego lub obsypnika skrzydełkowego. Typoszereg sadzarek obejmuje maszyny 2-, 4- i 6-rzędowe. Sadzarki 2-rzędowe są zawieszane i mają stałe zbiorniki na 400–600 kg sadzeniaków. Sadzarki 4-rzędowe są budowane jako zawieszane ze zbiornikiem stałym (do 1000 kg) lub przechyłanym hydraulicznie (do 1500 kg) (fot. 3.12a), albo jako przyczepiane ze zbiornikiem przechyłanym hydraulicznie o pojemności ok. 2500 kg. Największe, 6-rzędowe sadzarki, są z reguły przyczepiane i mają zbiorniki hydraulicznie przechyłane o pojemności do 5 t sadzeniaków (fot. 3.12b).



Źródło: materiały informacyjne firmy Pöttinger. Source: folder of the firma Pöttinger.

Fot. 3.11. Redlica do siewu nasion zbóż w mulcz: a) widok z boku, b) widok z tyłu
 Photo 3.11. Furrow openers for sowing seeds into mulch: a) side view, b) back view



Źródło: materiały informacyjne firm Gruse i Kverneland.
 Source: folders of the firms Gruse and Kverneland.

Fot. 3.12. Sadzarki ziemniaczane podczas pracy: a) 4-rzędowa, b) 6-rzędowa
 Photo 3.12. Potato planters at work: a) 4-row, b) 6-row

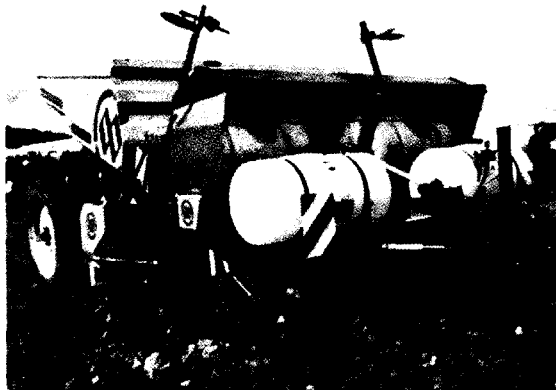
Popularne w Polsce lekkie sadzarki zawieszane z tarczowo-chwytkowymi zespołami wysadzającymi, jako mniej dokładne i uszkadzające sadzeniaki, zostały z rynku wyeliminowane, a stare egzemplarze pracują tylko w małych gospodarstwach.

W nowoczesnej produkcji towarowej ziemniaków dominuje rozstaw rzędów 75 cm, a w produkcji ziemniaków do przetwórstwa na frytki nawet 90 cm. Przy takich rozstawach redliny są znacznie grubsze i pozwalają pomieścić plon rzędu 40 i więcej ton na hektar bez obawy zazielenienia ziemniaków. Małe rozstawy rzędów (62,5–67,5 cm) są stosowane tylko w niewielkich gospodarstwach, gdzie pozostał jeszcze stary, mało wydajny zestaw maszyn.

Do nowoczesnych sadzarek potrzebne są cięższe, mocniejsze ciągniki, niezbędne zarówno ze względu na opory robocze, jak i możliwość podnoszenia maszyn zawieszanych z wypełnionymi zbiornikami. Wymagany rozstaw kół ciągników to 150 cm dla międzyrzędzi 75 cm i 180 cm dla międzyrzędzi 90 cm.

Sadzarki pobierają napęd od kół jezdnych przez przekładnię łańcuchową, mając możliwość zmiany przełożenia, zależnie od wymaganej gęstości sadzenia. Niektóre znane firmy dostarczają też sadzarki z napędem elektrycznym lub hydraulicznym, pozwalającym w sposób płynny zmieniać z miejsca kierowcy w szerokim zakresie gęstość sadzenia. W takim przypadku niezbędny jest komputer pokładowy, uzależniający prędkość obrotów silników sadzarki od prędkości jazdy agregatu.

Dość często spotykane jest dodatkowe wyposażenie sadzarek w zespoły do zaprawiania sadzeniaków środkami chemicznymi przeciw chorobom oraz w siewniki nawozowe, precyzyjnie odmierzające nawóz i umieszczające go w sąsiedztwie sadzeniaków, oddzielając go jednak warstwą gleby (fot. 3.13).



www.rpt.pl/index.php?content=1627

Fot. 3.13. Zestaw do sadzenia firmy Miedema z funkcjami: nawożenia, zaprawiania, uprawy, sadzenia i obsypywania

Photo 3.13. Multifunction planting set: fertilization, seed dressing, tillage, planting and ridging

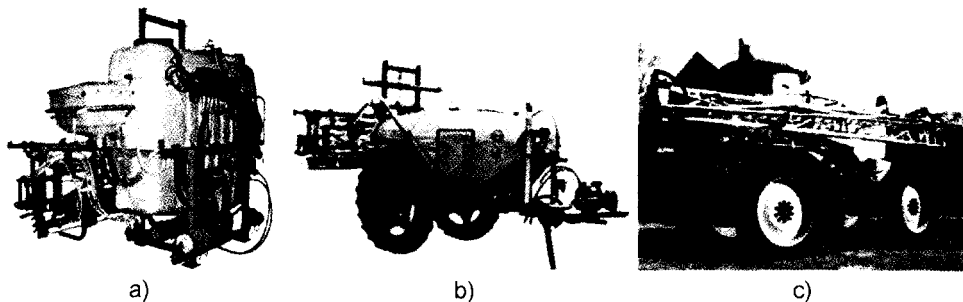
Sprawne wykonanie sadzenia wymaga dobrej organizacji, czyli dowozu na pole dużej masy sadzeniaków ($2,5\text{--}2,7\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i ich przeładunku do zbiorników sadzarek. Małe, 2-rzędowe sadzarki napełniane są najczęściej z worków 50-kilogramowych, a maszyny wyposażone w hydraulicznie przechyłane zbiorniki – bezpośrednio z przyczep wywrotek. Mechanizacja przeładunku sadzeniaków skraca postój sadzarki, najczęściej na nawrocie, zapewniając uzyskanie dużej wydajności.

W przypadku wspomnianych wieloczynnościowych agregatów sadzących, trzeba też zadbać o dowieszenie i właściwe rozmieszczenie na polu nawozu i środków do zaprawiania sadzeniaków.

3.6. Maszyny do ochrony roślin

Zabiegi ochrony roślin przed chorobami i szkodnikami, a także chemicznej regulacji zachwaszczenia, są obecnie w rolnictwie wykonywane tylko opryskiwaczami agregatowanymi z ciągnikami lub samojezdnymi. Bardzo rygorystyczne przepisy ochrony środowiska i bezpieczeństwa obsługi sprawiają, że maszyny te osiągnęły już wysoki stopień doskonałości technicznej i są nadal doskonalone (PN-EN 13790-1/2005).

W zależności od formy gospodarowania, w Polsce stosowane są liczne rodzaje opryskiwaczy o różnej budowie zarówno pod względem rozwiązań konstrukcyjnych, jak i technologicznych [FABIJAŃSKI 2009]. Na rynek wprowadzane są opryskiwacze ciągnikowe zawieszane i przyczepiane oraz samojezdne o coraz większych zbiornikach na ciecz roboczą, coraz większej szerokości roboczej (dochodzącej do 50 m), wyposażane w komputery pokładowe i nawigację satelitarną (fot. 3.14).



Źródło: a) i b): <http://www.korbanek.pl> oraz c) <http://www.hardipolska.com/pl>
Source: a), b): <http://www.korbanek.pl> and c) <http://www.hardipolska.com/pl>

Fot. 3.14. Opryskiwacze: a) zawieszany, b) przyczepiany, c) samojezdny
Photo 3.14. Sprayers: a) mounted, b) trailed, c) self-propelled

Belki opryskowe w maszynach o dużych szerokościach roboczych są automatycznie stabilizowane, niezależnie od wahań na nierównościach współpracującego ciągnika lub podwozia, w przypadku maszyny samojezdnej [KAMIŃSKI, KRUK 2012]. Dla bezpieczeństwa obsługi opryskiwacze są wyposażone w systemy rozładniające ciecz roboczą do wymaganego stężenia, a także w systemy mycia aparatury po skończonym zabiegu.

W celu ograniczenia znoszenia kropeł przez wiatr, a także umożliwienia „wbicia” kropeł w łan roślin o zwartym ulistnieniu, dostarczane są opryskiwacze z pomocniczym strumieniem powietrza, kierującym krople w dół ze znaczną energią.

Sporym problemem dla operatora jest prowadzenie agregatu po polu bez nakładania się pasów obrobionych i bez pozostawiania fragmentów nieopryskanych. Zapobiegają temu ścieżki technologiczne i urządzenia nawigacji satelitarnej. Stopień zelektronizowania opryskiwaczy wzrasta z roku na rok.

Opryskiwacze eksploatowane w rolnictwie muszą przechodzić, zgodnie z normą PN-EN-13790-1/2005, okresową ocenę sprawności w upoważnionych stacjach diagnostycznych.

Ze względu na to, że agregat ciągnik–opryskiwacz porusza się często w łanie roślin po ścieżkach przejazdowych lub w międzyrzędziach koła ciągnika i opryskiwacza muszą być odpowiednio rozstawione, a ogumienie nie powinno być szersze niż 0,3 m.

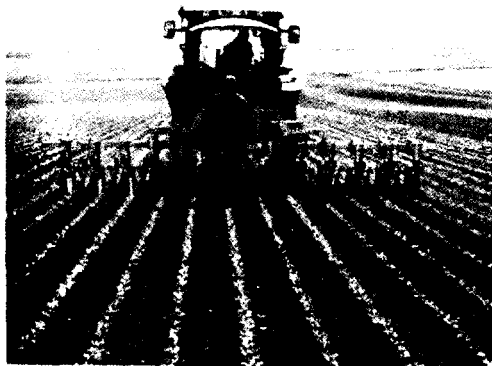
3.7. Maszyny i narzędzia do upraw międzyrzędowych

Uprawa roślin w szerokich międzyrzędziach, a więc przede wszystkim kukurydzy, buraków cukrowych i ziemniaków, wiąże się z koniecznością pielęgnacji tych międzyrzędzi, na ogół do czasu ich zakrycia przez rośliny uprawne. Pielęgnacja polega na spulchnianiu gleby w międzyrzędziach z równoczesnym mechanicznym lub mechaniczno-chemicznym zwalczaniem chwastów.

Pielniki

W przypadku kukurydzy i buraków, uprawianych w Polsce na płasko, zabiegi te wykonywane są pielnikami, w których elementami roboczymi są noże kątowe i gęsiostopki, a w kukurydzy również beznapędowe zespoły spulchniające (fot. 3.15).

W nowoczesnym rolnictwie pielniki są bezobsługowe, prowadzone wzdłuż rzędów za pomocą mechanicznych elementów prowadzących, a w najnowocześniejszych rozwiązaniach również elektronicznie, z wykorzystaniem kamer i komputera pokładowego oraz hydraulicznych siłowników, korygujących automatycznie położenie pielnika względem rzędów.



Fot. 3.15. Automatycznie sterowany pielnik 12-rzędowy na plantacji buraków cukrowych

Photo 3.15. Row crop cultivator with automatic control system at work on the field of sugar beet

http://www.agronomik.pl/ofertahandlowa/pielniki_samosteujace_agronomic/pielnik_do_burakow/pielnik_do_burakow.htm

Jako żelazną zasadę należy przyjąć, że pielnik obrabia tyle samo rzędów, ile siewnik posiał w jednym przejeździe i porusza się dokładnie po śladzie siewnika. A więc po siewniku 6-rzędowym, pracuje pielnik 6-rzędowy, po 12-rzędowym – 12-rzędowy, itd. Nieprzestrzeganie tej zasady prowadzi do uszkodzenia lub nawet wycinania młodych roślin uprawnych, bowiem międzyrzędzia stykowe, między sąsiednimi pasami siewnymi, rzadko bywają dokładnie takie, jak w pasie siewnym.

Pielniki stawiają niewielkie opory robocze i mogą być agregatowane ze stosunkowo lekkimi ciągnikami. Ciągnik musi mieć jednak koła rozstawione w odległości będącej całkowitą wielokrotnością rozstawu rzędów, np. przy uprawie buraków w rozstawie 45 cm rozstaw kół powinien wynosić 180 cm (4 x 45 cm). Koła ciągnika poruszają się w międzyrzędziach, powinny więc być dostatecznie wąskie, żeby zmieściły się w międzyrzędziach z co najmniej 8-centymetrowym luzem od każdego rzędu. Dla przykładowego rozstawu rzędów buraków 45 cm szerokość ogumienia nie powinna przekraczać 0,3 m.

Obsypniki

Obsypniki, stosowane do pielęgnacji międzyrzędzi w uprawie ziemniaków, oprócz spulchnienia gleby i zwalczania mechanicznego chwastów, mają za zadanie utrzymanie właściwego kształtu redlin. Zadania te są wypełniane przez dobór odpowiednich elementów roboczych, dostosowanych do warunków glebowych i stanu zakwaszczenia (fot. 3.16a).

Do spulchniania zwięźlejszej gleby z równoczesnym zwalczaniem chwastów są stosowane międzyrzędowe glebogryzarki połączone z blachami, nadającymi redlinom wymagany kształt (fot. 3.16b).



Źródło: materiały informacyjne firmy Gruse. Source: folders of the firma Gruse.

Fot. 3.16. Obsypniki ziemniaczane czterorzędowe podczas pracy: a) z biernymi elementami roboczymi, b) z aktywnymi spulchniaczami i blachami formującymi redliny
Photo 3.16. Four-row potato ridgers: a) with idle working elements, b) with rotary cultivator and ridge shaping sheet metal forms

Zasady poruszania się agregatu obsypującego po polu są podobne do wymagań dla pielników, tzn. obsypnik powinien obrabiać tyle samo rzędów, ile posadziła sadzarka w jednym przejeździe. Musi się on poruszać dokładnie śladem sadzarki. Oznacza to, że plantacja zasadzona sadzarką 4-rzędową powinna być obrobiona obsypnikiem 4-rzędowym. Jest tu dopuszczalne pewne odstępstwo, tzn. obsypnik 4-rzędowy może obrabiać plantację zasadzoną sadzarką 2-rzędową. Sadzarka 2-rzędowa nie wymaga znacznika, a koła ciągnika poruszają się w bruździe utworzonej w poprzednim przejeździe, co zapewnia szerokość międzyrzędzi stykowych dokładnie taką samą, jak międzyrzędzi w pasie siewnym, i umożliwia użycie obsypnika 4-rzędowego.

Obecnie w Polsce na plantacjach towarowych zaleca się rozstaw rzędów ziemniaków 75 cm, a nawet 90 cm. Tak więc koła ciągnika współpracującego z obsypnikiem powinny być rozstawione na odległość odpowiednio 1500 lub 1800 mm. Ze względu na szerokie międzyrzędzia ogumienie ciągnika może być nieco szersze niż w przypadku plantacji buraków, ale nie powinno ugniatać skarp redlin.

Obsypniki są budowane wyłącznie jako narzędzia zawieszane na ciągnikach i na ogół nie są agregatowane z innymi narzędziami.

3.8. Maszyny do zbioru roślin uprawnych

Maszyny do zbioru plonów należą do najnowocześniejszych maszyn użytkowanych we współczesnym rolnictwie [ŠARŠUNOV i in. 2014]. Zbiór plonów wieńczy całoroczny wysiłek rolnika, a od stanu zebranego ziarna czy ziemniaków lub buraków zależy możliwość ich sprzedania za dobrą cenę. Zbiór plonu bez strat i uszkodzeń z uzyskaniem dużej wydajności jest możliwy, gdy poziom techniczny maszyn zbierających jest bardzo wysoki, a stan plantacji dobry (proste rzędy, brak chwastów itp.).

Zbiór zbóż i roślin okopowych odbywa się w dużych towarowych gospodarstwach, maszynami samojezdnymi o wysokiej wydajności, co pozwala znacznie skrócić czas żniw i wykopków i wykonywać te operacje tylko w sprzyjających warunkach agrometeorologicznych.

Zbiór siana i zielonek

Do zbioru zielonek na siano i sianokiszonkę wykorzystywanych jest wiele maszyn, w tym: kosiarki listwowe, dyskowe, bębnowe, przetrząsacze, zgrabiarki, objętościowe przyczepy zbierające z podbieraczami do słomy, zielonki, siana, z zespołami tnącymi i rozdrabniającymi łodygi kukurydzy, przyczepy wielozadaniowe.

Do zbioru zielonek na sianokiszonki produkowane są prasy z zespołem do owijania bel folią (osłonową), na przykład prasy ROLLANT 455/454 UNIWRAP firmy Claas, przystosowane do balotów o rozmiarze 1,25 x 1,35 – 1,80 m.

Do zbioru słomy zbożowej po kombajnach i do zbioru siana stosowane są różnego typu prasy. Podzielić je można na dwie grupy, a mianowicie: kostkujące i rolujące (fot. 3.17). Bele mogą być mało- lub wielkogabarytowe. Kostki prostopadłościowe mają wymiary od 0,8 x 0,5 m do 1,2 x 1,0 m, natomiast baloty cylindryczne mają wymiary średnica/szerokość od 1,25/1,20 m do 1,80/1,20 m.

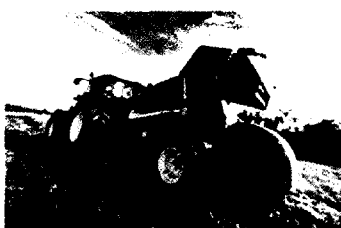
Wszystkie te maszyny współpracują z ciągnikami, a ich mechanizmy pobierają napęd od WOM. Ciągnikom nie są stawiane specjalne wymagania, ale ich moc powinna być dostosowana do potrzeb maszyny, co jest podawane w instrukcji obsługi maszyn.

Do bezpośredniego zbioru zielonki wykorzystywane są silosokombajny (samojezdne maszyny koszące, rozdrabniające i ładujące zielonkę na jadącą obok przyczepę). Do tego celu służą również przyczepy wyposażone w adaptory koszące i ładujące skoszoną masę do skrzyni transportowej.



a)

<http://www.claas.pl/produkty/prasykostkujace/quadrant3400>



b)

http://www.deere.pl/wps/dcom/pl_PL/industry/agriculture/learn_more/whats_new/whats_new_2014.page?



c)

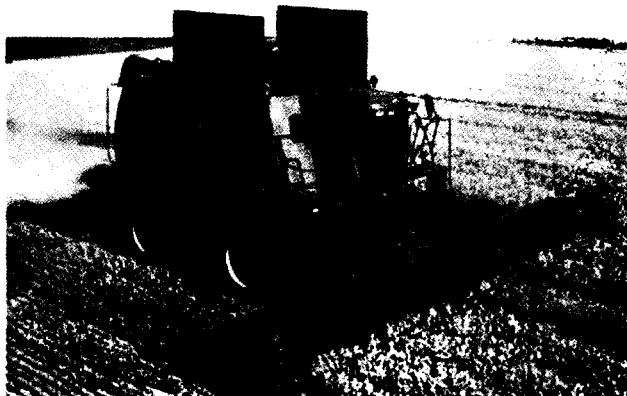
http://www.deere.pl/wps/dcom/pl_PL/products/equipment/balers/balers.page?

Fot. 3.17. Przykładowe prasy do słomy, siana i sianokiszzonek: a) kostkująca, b) zwijająca prasa stałokomorowa F 400 firmy John Deere, c) zwijająca prasa zmiennokomorowa seria 900 firmy John Deere

Photo 3.17. Examples of straw, silo and hay balers: a) rectangular baler, b) roll baler with constant volume chamber F 400 from the firma John Deere, c) roll baler with variable volume chamber of the 900 serie from the firma John Deere

Zbiór zbóż

Do zbioru zbóż wykorzystywane są już wyłącznie kombajny zbożowe o szerokościach roboczych od 3 do 9 m, z zespołami omlotowymi o przepustowości dochodzącej do $30 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ (fot. 3.18). Kombajny zbożowe wyposażane są w różnego typu adaptery, służące do zbioru innych roślin uprawnych, jak: kukurydzy, roślin oleistych.



Źródło: materiały informacyjne firmy John Deere. Source: folder of the firma John Deere.

Fot. 3.18. Kombajn zbożowy podczas pracy
Photo 3.18. Combine harvester at work

Doskonalenie konstrukcji kombajnów zbożowych polega m.in. na zwiększaniu szerokości roboczych (mniej przejazdów po polu), stosowaniu kół dużych rozmiarów i ogumienia niskociśnieniowego, a w warunkach dużej wilgotności gleby, również gąsienicowych układów jezdnych.

Kombajny zbożowe należą do najnowocześniejszych maszyn rolniczych, budowanych w wersji podstawowej z ogromną liczbą wyposażenia dodatkowego, dostarczanego według potrzeb użytkownika, z przeznaczeniem do różnych roślin i różnych wariantów i warunków zbioru. Kombajny są wyposażone w liczne elektroniczne i hydrauliczne urządzenia monitorująco-sterujące.

Jako agregaty ciągnikowe do zbioru zbóż wykorzystywane są już tylko różnego rodzaju prasy do zbioru słomy za kombajnem (fot. 3.17).

Zbiór ziemniaków

O skali trudności zbioru ziemniaków świadczy fakt, że do zebrania 30–50 t·ha⁻¹ bulw maszyna zbierająca musi podkopać i odsiać 1000–1500 t·ha⁻¹ ziemi, często zawierającej bryły i kamienie, a także oddzielić często kilkanaście ton łęcin i chwastów.

W Polsce ciągle znaczny jest udział zbioru kopaczkami, po których ziemniaki trzeba zbierać ręcznie. Ten sposób jednak szybko zanika i w gospodarstwach produkujących ziemniak towarowy został już praktycznie wyeliminowany przez zbiór kombajnowy [JABŁOŃSKI 2008; 2011; 2012; KOBYLARZ 2009].

W rolnictwie polskim pracują kombajny 1- i 2-rzędowe przyczepiane do ciągników (fot. 3.19), a pojawiają się już samojezdne maszyny 4-rzędowe.



Źródło: materiały informacyjne firmy Grimme. Source: folder of the firma Grimme.

Fot. 3.19. Kombajn przyczepiany do ciągnika

Photo 3.19. Trailed, one-row potato harvester

Do niedawna, w starszych wersjach kombajnów, ciągnik współpracujący musiał okraczać dwie redliny, kiedy wjeżdżał kołami między niewykopane jeszcze rzędy. Wymagało to rozstawu kół ciągnika równego dwukrotnemu rozstawowi redlin i szerokości opon nie większej niż 0,30–0,33 m (12–13 cali). Nowe kombajny, dostarczane obecnie na rynek, zarówno 1-, jak i 2-rzędowe, są tak skonstruowane, że podbierają redliny znajdujące się obok ciągnika, który wszystkimi kołami porusza się po polu już wykopanym i nie ma ograniczeń co do rozstawu kół i szerokości ogumienia.

Kombajny są wyposażone w zbiorniki mieszczące 2–4 t ziemniaków w przypadku maszyn 1-rzędowych i do 6 t w przypadku maszyn 2-rzędowych. Zbiorniki są okresowo opróżniane z ziemniaków na podставione przyczepy. Ze względu na znaczną masę kombajnów z wypełnionymi zbiornikami potrzebne są do nich stosunkowo ciężkie ciągniki o mocy 70–90 kW dla maszyn 1-rzędowych i 90–110 kW – dla 2-rzędowych.

Na rynku są dostępne lekkie kombajny 1-rzędowe, ze zbiornikami mieszczącymi do 1 t ziemniaków, napędzane ciągnikami 30–40 kW, przeznaczone na małe plantacje.

Przyczepiane kombajny ziemniaczane mają wiele urządzeń do regulacji intensywności pracy zespołów separujących, a także nacisku wywieranego na redliny, głębokości kopania itp. Regulacje te są dokonywane z miejsca traktorzysty za pomocą zaworów elektrohydraulicznych.

W przypadku najnowszych maszyn do układów sterująco-regulacyjnych włączany jest komputer z monitorem, co znacznie ułatwia pracę kierowcy ciągnika.

W dużych przedsiębiorstwach rolnych uprawiających ziemniaki na glebach wolnych od kamieni są stosowane kopaczki ładujące, zwane też kombajnami uproszczonymi, które mają bardzo prosty zestaw zespołów separujących, a ukopane ziemniaki ładują na jadącą obok przyczepę. Maszyny te osiągają wydajność większą niż kombajny, a doczyszczanie ziemniaków jest przeniesione w podwórze, w pobliżu przechowalni.

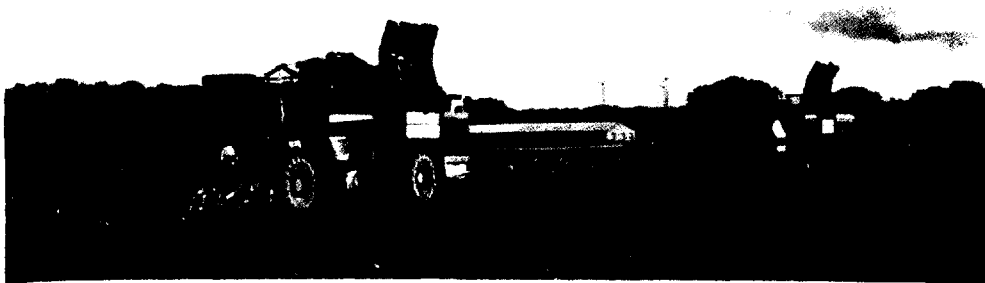
Dla tych gospodarstw przeznaczone są też 4-rzędowe kombajny samojezdne realizujące, zależnie od wyposażenia, wariant zbioru z pełną separacją na polu albo wariant uproszczony. Maszyny te mają zbiorniki na ziemniaki o pojemności nawet 10–12 t.

Zbiór buraków cukrowych

W technologii zbioru buraków zaszły w ostatnim dziesięcioleciu bardzo istotne zmiany. Uznano, że wartość paszowa liści buraczanych jest na tyle mała, że lepiej je rozrzucić po polu i przyorać jako zielony nawóz. Pozwoliło to znacznie uprościć zbiór i wprowadzić do powszechnego użytku samojezdne maszyny 6-rzędowe ze zbiornikami o pojemności nawet do 28–30 t korzeni.

W Polsce, cukrownie nie kontraktują plantacji mniejszych niż 2–3 ha, dlatego maszyny takie są używane najczęściej usługowo, co wyeliminowało niemal całkowicie prostsze i mało wydajne agregaty ciągnika z ogławiaczem i ciągnika z kopaczką, a także ciągnika z 1- lub 2-rzędowym kombajnem.

Samojezdne kombajny buraczane (fot. 3.20) są wyposażone w automatyczne urządzenia kontrolno-sterujące i diagnostyczne, co pozwala im pracować 24 godziny na dobę przy zmieniających się operatorach. Zbędny staje się transport korzeni i liści na polu – maszyna wywozi wykopane korzenie na skraj pola, skąd są odbierane transportem samochodowym w dogodnym czasie wprost do cukrowni, która nie musi organizować terenowych punktów skupu.



*Źródło: materiały informacyjne firmy Holmer Maschinenbau GmbH.
Source: folder of the firma Holmer Maschinenbau GmbH.*

*Fot. 3.20. Sześciorzędowe, samojezdne kombajny buraczane podczas pracy na polu
Photo 3.20. Six row, self-propelled sugar beet harvesters at work*

W warunkach takiej organizacji zbioru buraków cukrowych nie uczestniczą agregaty ciągnikowo-maszynowe, będące przedmiotem niniejszej monografii.

4. ODDZIAŁYWANIE CIĄGNIKÓW, MASZYN I NARZĘDZI NA ŚRODOWISKO NATURALNE

4.1. Rozpylenie i ugniatanie gleby

Ruch kół ciągników, maszyn rolniczych i innych pojazdów wpływa niekorzystnie na strukturę gleby i podglebia. Koła ciągników i maszyn intensywnie rozgniatają bryłki gleby w koleinach, zwłaszcza napędowe, pracujące z poślizgiem, tworzą frakcję pylistą podatną na erozję wietrzną i zbrylenie w przypadku opadu deszczu [KAMIŃSKI 2011a; KAMIŃSKI i in. 2011a, d; KAMIŃSKI, SKREBELIS 2011].

Destrukcja gleby, spowodowana układami jezdnyimi, jest związana z takimi jej cechami, jak: zwięzłość (siła z jaką gleba przeciwstawia się naciskowi mechanicznemu), gęstość i ciężar objętościowy gleby, wilgotność, skład mechaniczny gleby i gruzelkowatość. Ugniatanie wywołuje: zagęszczanie warstwy ornej, zagęszczanie podglebia, tworzenie podeszwy płużnej, tworzenie kolein, niszczenie struktury gleby. Czynnikiem powodującymi destrukcję są: naciski jednostkowe na glebę, związane z obciążeniem osi maszyn, poślizgi kół napędowych ciągników, prędkość jazdy agregatu, liczba przejazdów (koleiny), sposób poruszania się agregatu, wysoki stopień zużycia maszyn, praca maszyn w trudnych warunkach glebowo-klimatycznych.

Efektom destrukcyjnego oddziaływania ciągników i maszyn jest: obniżka plonu roślin i pogorszenie jego jakości, zwiększenie energochłonności procesu, naruszenie składu mechanicznego gleby, naruszenie stosunków wodnych w glebie, ogólna degradacja gleby. Do czynników ograniczających destrukcję zaliczyć należy: uproszczenia w zabiegach uprawowych, łączenie operacji technologicznych w jeden zabieg, stosowanie ścieżek technologicznych (ścieżki przejazdowe), jednoetapowy kombajnowy zbiór roślin uprawnych, stosowanie ogumienia niskociśnieniowego, rozłożenie ciężaru maszyn na więcej osi, bliźniakowanie kół, ograniczenie poślizgów, ograniczenie liczby przejazdów, wykonywanie zabiegów w sezonie agrotechnicznym tylko w sprzyjających warunkach glebowo-klimatycznych. Do podstawowych sposobów ograniczenia destrukcyjnego oddziaływania maszyn na glebę zaliczyć należy: stosowanie nowoczesnych maszyn i technologii produkcji, automatyzację kontroli i sterowania przebiegiem procesu technologicznego. A ponadto sterowanie parametrami technologicznymi, m.in. wydajnością, poślizgiem kół napędowych, oraz ograniczenie masy maszyn i ładunków przetaczanych po polu.

Efektom zmiennych oporów pracy narzędzi uprawowych i maszyn rolniczych są zmienne poślizgi kół napędowych ciągników, powodujące naruszenie struktury gruzelkowatej gleby. VENGLINSKIJ i in. [2011] przeprowadzili badania wpływu regulatora wtrysku paliwa na poślizgi kół jezdnych ciągnika podczas zmiennych oporów pracy. Wykazali oni związek między poślizgiem kół napędowych ciągnika w agregacie rolniczym i pracą silnika.

W Polsce dominują jeszcze gospodarstwa małych areatów, wykorzystujące do produkcji rolniczej ciągniki małych mocy (do 40 kW), oraz narzędzia i maszyny o małej wydajności, które wykorzystywane we właściwy sposób nie stwarzają zagrożenia nadmiernym ugniataniem gleby i podglebia. Powolne, ale stałe zmiany struktury

agrarniej i związane z tym wchodzące na rynek nowe ciągniki i maszyny rolnicze, charakteryzują się coraz większymi masami. Do eksploatacji wchodzi coraz większe, wydajniejsze agregaty maszynowe, składające się z ciągników dużych mocy i ciężkich maszyn o dużych szerokościach roboczych. Trend ten wpływa na nasilenie się zjawisk ugniatania gleby i podglebia oraz rozpylenia gleby, wynikającego z poślizgu kół napędowych, ugniatania gleby i oddziaływania aktywnych organów roboczych narzędzi uprawowych. Nadmierne ugniatanie gleby obserwuje się w takich zabiegach, jak: nawożenie organiczne (obornik, gnojowica), zbiór buraków cukrowych, zbiór ziemniaków.

Zjawiskom ugniatania i rozpylenia gleby poświęcono wiele prac naukowo-badawczych. Badania prowadzono i są kontynuowane w wielu krajach Europy i Świata. Zainteresowanie problemem wynika przede wszystkim z ograniczeń plonu roślin uprawnych spowodowanych ugniataniem gleby, dochodzących do 40% prognozowanych zbiorów. Obecnie badania takie prowadzone są w Polsce w takich ośrodkach naukowych, jak: Wydział Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku oraz za granicą: w Północno-Zachodnim Instytucie Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Sankt Petersburgu, Naukowo-Badawczym Instytucie Rolniczym Północnego Wschodu w Kirowie (Rosja), Białoruskim Państwowym Uniwersytecie Technicznym w Mińsku, Białoruskim Uniwersytecie Rolniczo-Technicznym w Mińsku, Uniwersytecie Agrotechnicznym w Melitopolu (Ukraina) i wielu innych ośrodkach naukowych [JURGA 2008a, b].

Jak wykazało wielu badaczy [BOCHTIS i in. 2010; MUCHAMADJAROV, OSTAL'CEV 2011; ZBYTEK, TALARCZYK 2011], ograniczenie ugniatania gleby kołami maszyn rolniczych można uzyskać wieloma sposobami, m.in. w wyniku:

- wdrożenia do praktyki uproszczeń w zabiegach uprawowych;
- stosowania maszyn i narzędzi uprawowych a zwłaszcza pługów o szerokości roboczej na tyle dużej, żeby koła ciągnika poruszały się po caliznie nie ugniatając dna bruzdy (czyli podglebia) i nie tworzyły podeszwy płużnej;
- stosowania w technologiach produkcji roślinnej ścieżek przejazdowych (technologicznych), co sprawia, że koła maszyn ugniatają tylko koleiny przejazdowe, natomiast pozostała część pola nie podlega nadmiernemu zagęszczaniu gleby [MARCZUK 2006];
- znacznego ograniczenia powierzchni śladów kół po ciągnikach i maszynach jeżdżących po polu podczas zbioru roślin uprawnych, co można osiągnąć przez wdrożenie kombajnowego zbioru zbóż, okopowych, roślin technicznych [SZEP- TYCKI 1994], kiedy tylko kombajn jeździ po polu a zebrany plon jest na skraju pola przeładowywany na środki transportowe lub gromadzony na przymach;
- ograniczeń administracyjnych w postaci limitu obciążenia osi lub kół i zakazu ruchu maszyn po polu powyżej określonej wilgotności gleby; ten sposób nie jest często wykorzystywany ze względu na trudności wyegzekwowania wymagań (znany jest przypadek ustanowienia norm państwowych GOST w Rosji (byłym Związku Radzieckim) w 1986 r. i w latach 1985–1990 w Szwecji, ale brak informacji o zakresie ich przestrzegania).

Dopuszczalne wartości ciśnienia na powierzchni styku zespołu jezdnego z glebą i naprężeń normalnych w glebie, według GOST 26955-86 (tab. 4.1), są przykładem próby działań administracyjnych.

Tabela 4.1. Dopuszczalne wartości ciśnienia na powierzchni styku zespołu jezdnego z glebą i naprężeń normalnych w glebie wg GOST 26955-86

Table 4.1. Permissible values of pressure on the surface of driving unit contact with soil, and values of normal stresses in soil, according to GOST 26955-86

Zawartość wilgoci w glebie w stosunku do pojemności połowej Soil moisture content in relation to water capacity of soil	Ciśnienie na powierzchni styku zespołu jezdnego z glebą Pressure on the surface of driving unit contact with soil		Normalne naprężenie pionowe na głębokości 0,5 m Normal vertical stress at depth of 0.5 m	
	wiosna spring	lato – jesień summer – autumn	wiosna spring	lato – jesień summer – autumn
	[kPa]		[kPa]	
>0,9	80	100	25	30
0,7–0,9	100	120	25	30
0,6–0,7	120	140	30	35
0,5–0,6	150	180	35	45
<0,5	180	210	35	50

Uwaga: na glebach piaszczystej i piaszczysto-gliniastej wartości dopuszczalne ciśnienia są o 20% wyższe.

Note: On the sandy and sandy-loam soils permissible values of stress are 20% higher.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: RUSANOV [1994].

Source: own elaboration based of RUSANOV [1994].

W pracy OLSENA [1994] zdefiniowano naprężenia pionowe w glebie $[N \cdot m^{-2}]$ jako następującą funkcję:

$$\sigma_z = p(1 - \cos^v \alpha) \quad (4.1)$$

gdzie:

p – ciśnienie na powierzchni styku koła z glebą $[N \cdot m^{-2}]$;

α – kątowa współrzędna głębokości [rad.];

v – współczynnik zagęszczenia gleby zależny od jej stanu.

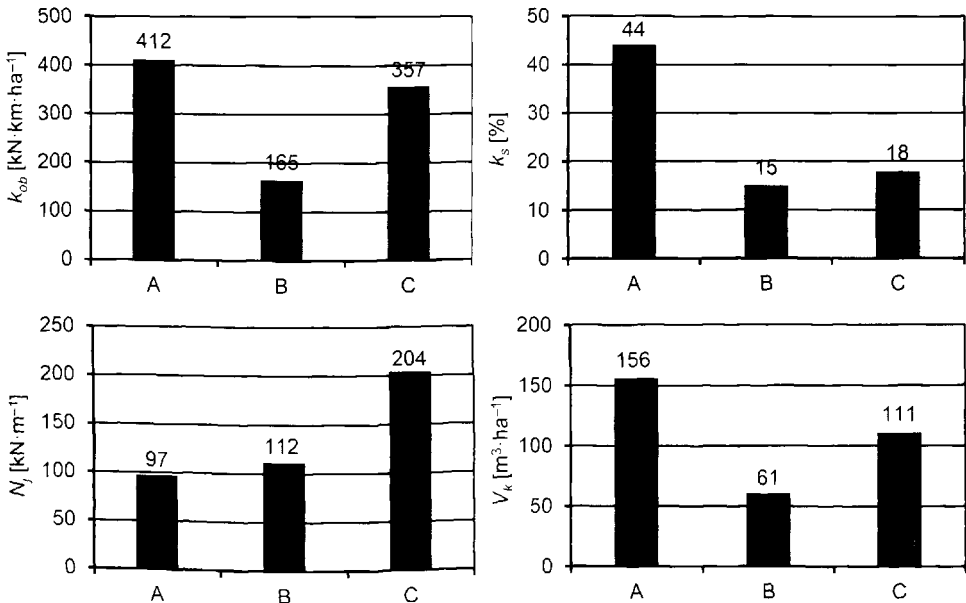
HAKANSSON i REEDER [1994] podają, że w Szwecji zaproponowano ograniczenie największego obciążenia pojedynczej osi pojazdu lub maszyny rolniczej do 6 Mg, a w przypadku osi tandem do 8–10 Mg. Takie ograniczenia mają, gdy ciśnienie w ogumieniu wynosi 150 kPa, nie dopuścić do ugniecenia gleby na głębokości większej niż 40 cm. Poniżej tej granicy naturalne przywracanie stanu podglebia w wyniku zamarzania i rozmarzania oraz nawilżania i wysychania zachodzi bardzo powoli, a mechaniczne spulchnianie wymaga ogromnych nakładów energii.

Obecnie produkowane są opony pozwalające na stosowanie ciśnień 50, a nawet 30 kPa, co według badań umożliwi zwiększenie dopuszczalnego obciążenia pojedynczej osi do 7 Mg, a osi z kołami w układzie tandem do 10–11 Mg.

Obecnie prowadzone są badania nad: formułowaniem składu granulometrycznego gleby podczas zabiegów uprawowych [SZEWCZENKO 1997], ograniczeniem poślizgów kół napędowych z wykorzystaniem zasad rolnictwa precyzyjnego i nawigacji satelitarnej, ograniczeniem nacisków na glebę powierzchniowych i osiowych, szczególnie dla maszyn wyposażonych w zbiorniki dużych ładowności oraz ciągników dużych mocy. Badania w tym zakresie są nadal aktualne z punktu widzenia agrotechnicznego i ekologicznego [SOMMER i in. 2003]. Do maszyn intensywnie ugniatających glebę należą: rozrzutniki obornika, wozy asenizacyjne, kombajny do zbioru zbóż, ziemniaków, buraków cukrowych oraz przyczepy rolnicze.

Szczególne znaczenie mają badania porównawcze maszyn ugniatających glebę oraz stosowanie prostych mierników stopnia ugniecenia. Przykładem mogą być wyniki badań eksploatacyjnych, przeprowadzone przez MARCZUKA i KAMIŃSKIEGO [2012 b], którzy do określenia stopnia ugniecenia gleby użyli cztery wskaźniki. Pierwszym był udział procentowy ugniecionej powierzchni pola kołami ciągnika i maszyny, drugim – nacisk jednostkowy w koleinie, trzecim – obciążenie pola przetaczanymi masami ciągnika, rozrzutnika i ładunku, czwartym – objętość kolein utworzonych na powierzchni jednego hektara.

Badano trzy zestawy maszyn nawozowych: A (ciągnik i rozrzutnik 5 t), B (ciągnik i rozrzutnik 10 t), C (ciągnik i rozrzutnik 20 t). Wartości liczbowe analizowanych wskaźników zamieszczono na rysunku 4.1.



Źródło: Source: MARCZUK, KAMIŃSKI [2012b].

Rys. 4.1. Ugnieciona powierzchnia k_s , obciążenie pola k_{ob} i koleiny N_j oraz objętość kolein V_k dla trzech zestawów maszyn A, B i C

Fig. 4.1. Compacted surface k_s , field loading k_{ob} , rut loading N_j and rut volume V_k for three machine sets A, B, C

Zestaw A charakteryzował się największymi wartościami wskaźników ugniecionej powierzchni, obciążenia pola i objętości kolein, natomiast najmniejsza była wartość wskaźnika obciążenia koleiny.

Zestaw B charakteryzował się najmniejszymi wartościami wskaźników ugniecionej powierzchni pola, obciążenia pola masami ciągnika, rozsiewacza i nawozu, najmniejszą objętością kolein i zbliżonym do zestawu A naciskiem jednostkowym w koleinie.

Zestaw C charakteryzował się średnimi wartościami wskaźników ugniecionia powierzchni pola, obciążenia pola masami ciągnika, rozsiewacza i nawozu, objętością kolein i największą wartością wskaźnika nacisku jednostkowego w koleinie.

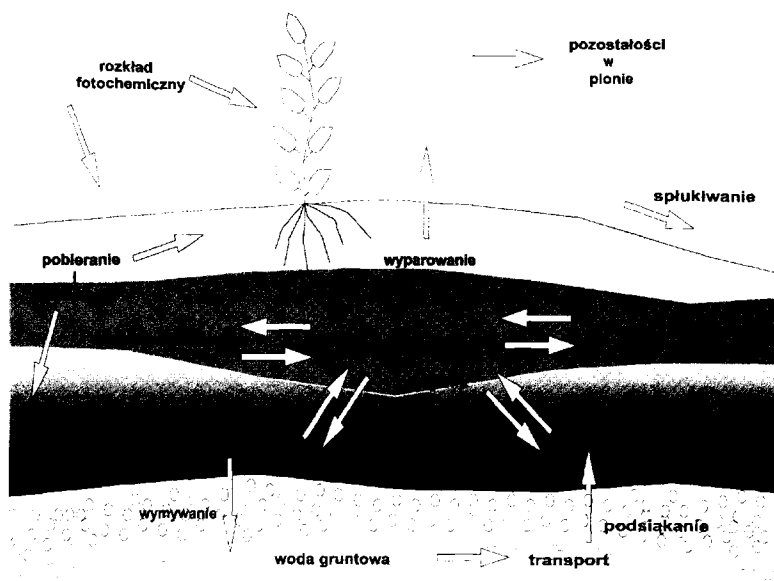
Mimo pewnych ujemnych skutków dla środowiska, wynikających z prowadzenia produkcji rolniczej, zaniechanie tej produkcji prowadzi również do niekorzystnych zmian środowiskowych. MALINOWSKI [2012] w swojej rozprawie habilitacyjnej wyraża pogląd, że „zaprzestanie działalności rolniczej ... może stanowić zagrożenie dla środowiska i krajobrazu”. Stwierdza ponadto, że na obszarach zalewowych „gleby użytkowane ornie ulegają dużo większym przekształceniom niż gleby pod trwałymi użytkami zielonymi. Dlatego obszary te powinny być użytkowane przemienne jako grunty orne i jako łąki”.

4.2. Zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych

Podczas operacji technologicznych uprawy roślin występuje zanieczyszczanie gleby i wód gruntowych pestycydami i innymi związkami toksycznymi (np. olejami silnikowymi, hydraulicznymi). Powodowane ono jest przez eksploatację nie w pełni sprawnych technicznie ciągników i maszyn, uszkodzone i nieszczelne instalacje hydrauliczne, pestycydy opadające na glebę podczas zabiegów ochrony roślin, wymywane z gleby związki nawozów mineralnych i wapniowych. Przemiany substancji biologicznie czynnej pokazano schematycznie na rysunku 4.2.

Badania w tym zakresie prowadzone były w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB, Oddział we Wrocławiu przez:

- KUCHARSKIEGO i SADOWSKIEGO [2002], którzy stwierdzili, że „adiuwanty stosowane z preparatami zawierającymi chizalofop i fluazifop powodują wzrost pozostałości tych substancji w glebie, dodatek Ałpolanu 80 EC, Olbrasu 88 EC, Olemixu 84 EC i Olejanu 85 EC powodował wzrost pozostałości substancji biologicznie czynnych badanych herbicydów w liściach i korzeniach buraka cukrowego i strąkach grochu”. Badacze ci zwrócili również uwagę na nieprawidłowości w technice zabiegów herbicydowych (źle dobrany preparat, nieprawidłowa dawka, opóźniony termin zabiegu, niewłaściwa temperatura powietrza podczas zabiegu) i ich skutki (straty preparatu, uszkodzenia roślin, straty plonu);
- DOMARADZKIEGO i SEKUTOWSKIEGO [2006], którzy badając wpływ technologii uprawy na dynamikę rozkładu i przemieszczanie w profilu glebowym herbicydów z grupy inhibitorów syntezy ALS piszą, że „stosowanie uproszczeń w uprawie ułatwia przemieszczanie się pozostałości w głąb profilu glebowego, natomiast nie stwierdzono wpływu uproszczeń na szybkość degradacji chlorosulfuronu i amido-sulfuronu w glebie płowej”.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: DOMARADZKI, SEKUTOWSKI [2006].
 Source: own elaboration based of DOMARADZKI, SEKUTOWSKI [2006].

Rys. 4.2. Działanie czynników środowiska na przemiany substancji biologicznie czynnej herbicydu: rozkład fotochemiczny, pozostałości w plonie, pobieranie i eliminacja, wyparowanie, rozkład chemiczny, absorpcja i zaleganie, rozkład biologiczny, wymywanie, woda gruntowa, podsiąkanie, transport

Fig. 4.2. Influence of environmental factors on transformation of herbicide biologically active substance: photochemical decomposition, residues in crop, taking up and elimination, evaporation, chemical decomposition, absorption and deposition, biological decomposition, washing out, ground water, capillary rise, transport

Stosowanie pestycydów wpływa negatywnie na przemiany biochemiczne w glebie i roślinach [TELESIŃSKI 2006]. W pracy habilitacyjnej TELESIŃSKIEGO [2012] szczegółowo omówiono zanieczyszczenie gleby spowodowane stosowaniem pestycydów. Autor ustalił wpływ wybranych substancji na biochemiczne wskaźniki żyzności gleb oraz określił stopień toksycznego oddziaływania cieczy jonowych na organizmy ze wszystkich poziomów troficznych. Stwierdził, że „obliczone biochemiczne wskaźniki żyzności gleby, jak i ładunek energetyczny komórki uległy obniżeniu pod wpływem 1-alkilo-3-metyloimidazoliowych cieczy jonowych, co stanowi potwierdzenie negatywnego wpływu tych związków na środowisko glebowe”.

4.3. Erozja wodna i wietrzna gleby

Skutki erozji gleb uprawnych przejawiają się przede wszystkim, wywiewaniem frakcji drobnej (poniżej 1 mm) z powierzchni gleby i przeniesieniem jej na pola sąsiednie, zmyciem wierzchniej warstwy gleby wodami z topniejącego śniegu i spływami podczas opadu deszczu, zwłaszcza z pól na pochyłościach [LEELAMANIE i in. 2008]. Przykład skutków erozji wodnej gleby pokazano na zdjęciu 4.1.



Fot. 4.1. Skutek erozji wodnej gleby pola na pochyłości
Photo 4.1. Effect of soil water erosion on a field on slope

http://pl.wikipedia.org/wiki/Erozja#Rodzaje_erozji_w_zale.C5.BCno.C5.9Bci_od_skutku

Istnieją różne sposoby zapobiegania erozji gleb uprawnych. Podstawowymi są: osłanianie pola rosnącymi roślinami, pozostawianie na powierzchni resztek roślinnych, formowanie powierzchni pola (bruzdowanie), specjalna uprawa dwu- i trzywarstwowa gleby, pasowy podsiew traw na łąkach i pastwiskach, siew nasion w mulcz (w glebę wymieszaną z resztkami organicznymi), siew bezpośredni w nieuprawioną glebę itp. Szczególnie narażone na erozję są gleby położone na pochyłościach, w rejonie podgórskim i górskim. Na polach położonych na pochyłościach zalecana jest uprawa prowadzona w poprzek skłonu. W rejonie górskim i podgórskim prowadzona jest głównie uprawa roślin na trwałych użytkach zielonych. Z przeznaczeniem na te tereny produkowany jest specjalny zestaw maszyn oraz ciągników charakteryzujących się napędem na cztery koła, nisko umieszczonym środkiem ciężkości, zapewniającym stabilność podłużną i poprzeczną agregatu, bogatym wyposażeniem podstawowym i dodatkowym, umożliwiającym agregatowanie nośnika (ciągnika) z wieloma typami narzędzi i maszyn rolniczych.

Wszystkie środki zaradcze eliminują tylko w części erozję gleb. Nie ma sposobu całkowitego uniknięcia tego zjawiska.

4.4. Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego

Podczas operacji technologicznych uprawy roślin występuje również intensywne zanieczyszczanie powietrza atmosferycznego spalinami silników wysokoprężnych, rozpylonymi podczas zabiegów ochrony roślin pestycydami, pyłącym wapnem i nawozami mineralnymi. Jak wykazały przeprowadzone badania [ROGAŁSKI, KAMIŃSKI 2001], średnio ok. 10% wypryskiwanych cieczy roboczych podczas zabiegów ochrony roślin stanowią straty cieczy roboczej, zanieczyszczające powietrze atmosferyczne. Podczas oprysków roślin, ok. 40% cieczy roboczej, opada na glebę i ją zanieczyszcza.

Rozsiew pyłącego wapna i nawozów mineralnych powinien być wykonywany, gdy pogoda jest bezwietrzna, w przeciwnym razie duża część materiału jest przenoszona na sąsiednie pola, zabudowania gospodarskie, drogi i stanowi zagrożenie dla środowiska naturalnego. Zabezpieczenia przed pyleniem stosowane w maszy-

nach rozsiewających wapno rolnicze są mało efektywne. Najczęściej są to osłony przeciwwiatrowe aparatów rozsiewających, mało skuteczne przy wietrze wiejącym z prędkością powyżej 1 m s^{-1} .

Destrukcja środowiska naturalnego wynikająca ze stosowania pestycydów, nawozów mineralnych, organicznych i wapniowych w technologii produkcji roślinnej obejmuje zanieczyszczenie związkami toksycznymi powietrza atmosferycznego, gleby oraz wód gruntowych. Szkodliwe jest także gromadzenie się w glebie nawozów, pestycydów, czy związków metali ciężkich.

Do podstawowych zadań zabiegów nawożenia i ochrony roślin należą odżywanie roślin makro- i mikroelementami oraz ochrona roślin przed chorobami, szkodnikami, a także niszczenie chwastów. Z destrukcją środowiska naturalnego zabiegami chemicznymi związane są straty środków chemicznych na etapie produkcji, składowania, transportu, przeładunków, aplikacji, niewłaściwa aplikacja (dawka, równomierność, kropliwość), nieodpowiednie warunki glebowo-klimatyczne (nasłonecznienie, wiatr, duża wilgotność gleby, zbyt mała lub zbyt duża wilgotność powietrza, konfiguracja terenu), duża liczba zabiegów (pojedyncze, łączone, nawozowo-pestycydowe). Dlatego bardzo ważnym zagadnieniem jest zapobieganie destrukcji przez: poprawę właściwości chemicznych i fizykomechanicznych nawozów, stosowanie nowoczesnych maszyn i technologii produkcji, automatyzację kontroli i sterowania przebiegiem procesu technologicznego, a także przejście na inne sposoby walki z chwastami, chorobami i szkodnikami roślin.

4.5. Zadymienie spalin silników ciągnikowych

Istotnym, choć mało w literaturze eksponowanym składnikiem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w wyniku produkcji rolniczej, jest zadymienie spalin silników ciągnikowych [KAMIŃSKI 2003; KONIUSZY 2010; PIEKARSKI, ZAJĄC 2003].

Gazowe produkty spalania oleju napędowego w silnikach wysokoprężnych są właściwie przezroczyste. Przezroczystość spalin zmniejszają stałe i ciekłe produkty krakingu termicznego oraz niezupełnego spalania takich składników, jak: sadza, ciekłe związki organiczne, kropelki niespalonego paliwa i oleju silnikowego. Zawartość sadzy powoduje zabarwienie spalin, zależnie od ilości, na kolor szary o różnej intensywności. Kropelki paliwa i oleju nadają spalinom charakterystyczne siwo-niebieskie zabarwienie. Składniki te mogą występować w spalinach równocześnie, a zabarwienie jest wówczas wynikiem sumarycznego pochłaniania i odbijania światła.

Obowiązujące przepisy dotyczące dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń w spalinach są zawarte w dyrektywie 97/68/WE i zastępującej ją dyrektywie 2005/13/WE. Podano je w tabeli 4.2 dla etapów wdrażania od I do IV. Od 1996 r., tj. od początku obowiązywania dyrektywy 97/68/WE Etap I, ograniczającą zawartość tlenków azotu (NO_x) i cząstek stałych (PM) w spalinach, rozpoczął się intensywny proces zmian konstrukcyjnych w silnikach ciągnikowych, zmierzający do uzyskania większej czystości gazów wylotowych [SZOLC 2011]. W momencie wprowadzania ograniczeń pierwsza dyrektywa dopuszczała zawartość NO_x na poziomie ponad $9,0 \text{ g kWh}^{-1}$ oraz PM do wartości $0,55 \text{ g kWh}^{-1}$. Dziesięć lat później, w 2006 r. Etap II, dopuszczał

Dlatego w ostatnim czasie tak ważny był wybór technologii skutecznie likwidującej tlenki azotu w spalinach, a jednocześnie perspektywicznej, gwarantującej dalszy postęp w tym zakresie.

Obecnie funkcjonują dwie, konkurujące ze sobą, technologie ograniczania zanieczyszczeń spalin, a mianowicie: recyrkulacja spalin, czyli EGR (exhaust gas recirculation), oraz selektywna redukcja katalityczna, czyli SCR (selective catalytic reduction), które pozwalają osiągnąć etap III B. Firma produkująca ciągniki Valtra, stosuje rozwiązanie drugie uzasadniając, że technologia ta charakteryzuje się mniejszym zużyciem paliwa i wytwarzaniem ciepła, co pozwala stosować mniej rozbudowane układy chłodzenia. Ważną zaletą technologii SCR jest to, że proces oczyszczania spalin odbywa się poza silnikiem, dzięki czemu układ ten właściwie w ogóle nie ingeruje w jego konstrukcję. Proces technologiczny z zastosowaniem SCR polega na wprowadzaniu do strumienia wylotowego spalin silnikowych niewielkich ilości roztworu mocznika. Zawarty w roztworze amoniak (NH_3) wiąże NO_x spalin, w wyniku czego powstają nieszkodliwe produkty uboczne – woda i azot gazowy. Ocenia się, że reakcja ta powoduje zmniejszenie emisji NO_x aż o ok. 90%. Niezbędny do redukcji, katalitycznej roztwór mocznika, stosowany jest już powszechnie w transporcie samochodowym, i jest dostępny na rynku pod nazwą AdBlue (można go kupić w pojemnikach lub luzem).

Oprócz oszczędności w zużyciu paliwa, technologia SCR powoduje mniejsze zanieczyszczenie oleju silnikowego sadzą (umożliwia wydłużenie okresów między wymianami oleju), daje możliwość zwiększenia obciążenia użytkowego silników w dużych ciągnikach rolniczych (dzięki lżejszemu osprzętowi). Proces zachodzący w silniku z SCR, np. w ciągniku Valtra, jest w pełni sterowany elektronicznie i nie wymaga działania kierowcy.

Należy zauważyć, że system wtrysku AdBlue jest zaawansowanym rozwiązaniem technicznym, wymagającym np. zastosowania pewnej liczby czujników, monitorujących przebieg procesu chemicznego. Poza tym w temperaturze -11°C preparat AdBlue zamarza (nie jest to dla preparatu szkodliwe), ale mimo że układ jest podgrzewany, w okresie zimowym trzeba zachować specjalne środki ostrożności. W przypadku wyczerpania się czynnika AdBlue, występuje również zmniejszenie osiągnięć silnika ciągnika. Silniki z technologią SCR, dostarczane przez firmę Sisu Power, montowane są w ciągnikach całego koncernu AGCO, do którego należy i Valtra. System ten stosowany jest również w najcięższych ciągnikach Valtra z serii S. Koszt osprzętu do technologii SCR dla ciągników mniejszych jest podobny do kosztu osprzętu stosowanego w ciągnikach ciężkich. Zintegrowany system SCR ma wpływ na cenę całego ciągnika, która w przypadku ciągników Valtra jest wyższa o ok. 8% niż cena ciągnika bez SCR.

Równocześnie z doskonaleniem silników na olej napędowy prowadzone są badania w kierunku poprawy spalania olejów roślinnych [DZIENISZEWSKI 2006; 2008; GOLIMOWSKA 2012; GOLIMOWSKI 2011; GOŚCIAŃSKA 2011; GRABOWSKI, MC CORMICK 1998; SZULC, GOLIMOWSKI 2010]. Stwierdzono, że niska temperatura, występująca w komorach spalania wpływa na wzrost powstawania osadów na tłoku, końcówkach wtryskiwaczy i głowicy, co w konsekwencji powoduje rozszczelnianie komory spalania, a w efekcie trwałe uszkodzenie silnika.

Proces ten przebiegał szybciej w przypadku silników spalinowych z wtryskiem bezpośrednim. Powstający nagar na końcówkach wtryskiwaczy powodował zmianę kąta wtrysku, zmieniając charakterystykę spalania paliwa. Pierwszym objawem jest spadek mocy, a następnie trwałe uszkodzenie silnika. Szukano więc rozwiązania umożliwiającego wprowadzanie oleju roślinnego do ciepłego silnika. Obecnie w sprzedaży znajdują się instalacje do silników wysokoprężnych, które umożliwiają stosowanie oleju roślinnego jako paliwa. Instalacje te działają podobnie, jak instalacje na gaz LPG instalowane w silnikach benzynowych. Dwa zbiorniki na różne paliwa w ciągniku rolniczym są kłopotliwym rozwiązaniem. Maszyny rolnicze rzadko bywają na stacji benzynowej, gdyż z reguły paliwo uzupełniane jest w obrębie gospodarstwa. Występuje wówczas podwojony problem z magazynowaniem paliw, dostawą i tankowaniem.

Badania zadymienia spalin

W dawnym Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa (obecnie Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym) przeprowadzono szerokie badania zadymienia spalin kilku silników ciągnikowych. Ze względu na to, że takie wyniki są sporadycznie omawiane w publikacjach z zakresu inżynierii rolniczej, poniżej zamieszczono szersze ich omówienie.

Spaliny silników o zapłonie samoczynnym zawsze zawierają ślady sadzy. Wynika to z zasady ich pracy i sposobu mieszania paliwa z powietrzem, m.in. znacznie krótszy czas odparowania paliwa i wytwarzania mieszanki niż w silnikach z zapłonem iskrowym, duży nadmiar powietrza powodujący obniżenie temperatury spalin. Przy niewłaściwym rozpylaniu paliwa, zwiększaniu dawki, nieprawidłowej regulacji układu zasilania lub złym stanie technicznym silnika (czy starszym silniku o dużym przebiegu) emisja sadzy może wielokrotnie wzrosnąć. Spaliny przybierają wówczas niemal czarne zabarwienie. Wyraźne zabarwienie spalin występuje, gdy zawartość sadzy wynosi powyżej 100–120 mg·m⁻³. Przy koncentracji ok. 600 mg·m⁻³ spaliny stają się ciemnoszare, prawie czarne. Gdy zawartość sadzy jest większa, spaliny tworzą czarny, nieprzezroczysty dym [BERNHARD 2006].

Każdy silnik tłokowy spala olej na skutek konieczności smarowania gładzi cylindra, w celu zmniejszenia tarcia o nią tłoka i jego pierścieni. Ilość oleju pozostająca na gładzi cylindra może być regulowana doбором konstrukcji (kształt, luzy) tłoka oraz pierścieni zgarniających i w pewnym stopniu uszczelniających. Optymalne rozwiązanie pozostawia na gładzi cylindra minimum oleju niezbędnego do prawidłowego smarowania. Ilość ta jest tak mała, że nie powoduje widocznego zabarwienia spalin. Jeśli stan techniczny silnika jest zły, zawartość kropelek oleju i ciekłych produktów jego rozkładu może być w spalinach na tyle duża, że zabarwienie spalin staje się bardzo wyraźne.

W prawidłowym przebiegu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym jego spaliny zawierają nieliczne cząstki stałe i prawie pozbawione są węglowodorów w fazie ciekłej. W spalinach występują cząstki sadzy o różnej wielkości. Charakter rozkładu tych cząstek, pod względem wymiarów liniowych, jest zależny od indywidualnych cech konstrukcyjnych silnika, jego stanu technicznego, regulacji, warunków pracy, rodzaju paliwa, a także konstrukcji układu wydechowego i stopnia pokrycia osadem węglowym. Dlatego nie jest możliwe określenie ścisłej zależności między stopniem

zadymienia spalin a zawartością w nich sadzy. Spotykane w literaturze wykresy i nomogramy przeliczeniowe odpowiadają zależnościom przybliżonym, ustalonym empirycznie dla typowych silników i warunków pracy. Zawartość sadzy w spalinach można określić w sposób pośredni na podstawie pomiarów zadymienia, ale ma to znaczenie tylko umowne. Dlatego określenie zawartości sadzy w spalinach, zwłaszcza gdy stopień ich zadymienia jest niewysoki, jest zadaniem bardzo trudnym. Zawartość sadzy w spalinach silnika pracującego z umiarkowanym zadymieniem wynosi zaledwie od 0,3 do 0,5 g·m⁻³, a przy częściowych obciążeniach może być jeszcze kilkakrotnie mniejsza. Uchwycenie tak małej ilości sadzy z próbki spalin o ściśle określonej objętości jest bardzo pracochłonne i rzadko stosowane w praktyce badawczej. Na ogół, jeśli wymagane jest ustalenie udziału masowego sadzy w spalinach, to udział ten określa się na drodze pośredniej, mimo że jest ona, jak wykazano wyżej, mało dokładna.

Punktem wyjścia są pomiary stopnia zadymienia spalin, dokonane za pomocą dymomierza, oraz przedstawione na wykresach lub za pomocą nomogramów przeliczeniowych, odpowiadających danemu sposobowi określania zadymienia. Należy zauważyć, że sadza zawarta w spalinach nie jest chemicznie czystym węglem bezpostaciowym. Cząsteczki jej mają porowatą budowę i ogromną powierzchnię w stosunku do ich masy, co absorbuje odpowiednio dużą ilość smół, asfaltów, ciężkich węglowodorów i innych związków organicznych. Oznacza to, że sadza stanowi mieszaninę substancji o bliżej nieokreślonym składzie elementarnym i niejednorodną w odniesieniu do jej właściwości optycznych. Dlatego sadza jest szkodliwym składnikiem spalin, nie ze względu na zapylenie powietrza, lecz jako nośnik ciężkich związków organicznych, w tym także substancji rakotwórczych.

Cel badań

Aby rozwiązać postawiony problem badawczy: jaki stopień zadymienia spalin charakteryzuje ciągniki rolnicze krajowej produkcji, sformułowano cel badań, którym było określenie i ocena stopnia zadymienia spalin wybranych silników ciągników rolniczych w pełnym zakresie ich obciążeń (pracy), a także określenie i próba oceny wpływu zmian regulacji układu zasilania i nieprawidłowej jego pracy na zadymienie spalin silnika, w tym:

- sprawdzenie ciśnienia wtrysku i jakości rozpylania paliwa oraz ocena wpływu wadliwych wtryskiwaczy (złe ciśnienie wtrysku, niewłaściwe rozpylanie) na zadymienie;
- regulacja kąta wtrysku i ocena wpływu jego zmian na zadymienie;
- określenie luzów zaworowych i ich wpływu na zadymienie;
- sterowanie dawką paliwa i ocena wpływu jej zmian na zadymienie.

Przedmiot badań

Obecnie w polskim rolnictwie, według Rocznika statystycznego [GUS 2014], wykorzystywanych jest 1 466,1 tys. szt. ciągników, których średnia moc wynosi 37,6 kW, a powierzchnia użytków rolnych przypadająca na 1 ciągnik wynosi 10 ha. Podstawową grupę stanowią nadal ciągniki Ursus. W 2001 r., według szacunkowej oceny, pracowało w polskim rolnictwie:

4. Oddziaływanie ciągników, maszyn i narzędzi...

- ok. 78 tys. ciągników wyposażonych w silniki tego samego typu, co MF 255, tj. Ursus 3502, Ursus 3512, Ursus 3514, które stanowiły ok. 13,7% ciągników w grupie mocy do 60 kW liczącej ok. 570 tys. szt.;
- ok. 6 tys. ciągników Ursus 1012 i Ursus 1014 oraz ok. 15 tys. Ursus 1222 i Ursus 1224, które w sumie stanowiły ok. 58,3% w grupie mocy 60–100 kW, liczącej ok. 36 tys. szt.;
- ok. 5 tys. ciągników Ursus 1614 i Ursus 1634 oraz ok. 150 szt. Ursus 1734, które razem stanowiły ok. 62% w grupie o mocy powyżej 100 kW, z grupy liczącej ok. 8 300 szt.

Do badań wytypowano następujące krajowe ciągniki rolnicze: Ursus 3512 (MF 255), Ursus 1012, Ursus 1224 Ursus 1614, Ursus 1634, Ursus 1734, wyprodukowane przez ZPC Ursus. Podstawowe dane techniczne ciągników zamieszczono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Dane techniczne wybranych silników (wg producenta)
Table 4.3. Technical data of selected engines (according to manufacturer)

Wyszczególnienie Specification	Nazwa i model ciągnika Tractor name and model					
	Ursus 3512 (MF 255)	Ursus 1012	Ursus 1224	Ursus 1614	Ursus 1634	Ursus 1734
Typ silnika Engine type	AD3.152 UR	Z 8002.1	Z 8701.1	Z 8602.12		Z 8604.000
Rodzaj silnika Type of the engine	wysokoprężny, czterosuwowy, rzędowy, z bezpośrednim wtryskiem paliwa Diesel, four-stroke (four cycle), in-line, direct injection					
Turbodoładowanie Turbocharging	nie no	tak yes	nie no	tak yes		
Liczba cylindrów Number of cylinders	3,0	4,0	6,0			
Średnica/skok tłoka [mm] Bore/stroke [mm]	91,44/127	110/120			110/128	
Pojemność skokowa [cm ³] Cylinder capacity [cm ³]	2 502,0	4 562,0	6 842,0		7 298,5	
Stopień sprężania Compression ratio	16,5	17,0			16,8	
Moc znamionowa [kW] Power [kW]	34,6	72,0	85,0	115,0		121,5
Maksymalny moment obrotowy [Nm] Maximum torque [Nm]	165,4	357,5	412,5	566,6		609,0–670,0
Jednostkowe zużycie paliwa [g·kWh ⁻¹] Specific fuel consumption [g·kWh ⁻¹]	236 +5%	max. 238	max. 245	max. 235		225 ±2,5%
Zadymienie dopuszczalne [m ⁻¹] Smokiness limit [m ⁻¹]	2,5	3,0	2,5	3,0		3,0
Zadymienie z badań [m ⁻¹] Smokiness from tests [m ⁻¹]	0,47	1,01	0,83 0,64 ¹⁾	2,46	1,16	1,67

¹⁾ Pomiar zadymienia po regulacji kąta wtrysku.

¹⁾ Measurement of smokiness after adjusting the angle of injection.

Metodyka, przygotowanie do badań, warunki badań

W Polsce jedynie w przepisach dotyczących dopuszczenia pojazdów do ruchu drogowego wydano rozporządzenie, w którym określono maksymalne zadymienie spalin dla silników ciągników rolniczych (Dz.U. 1997. Nr 98 poz. 602; Dz.U. 1999. Nr 44 poz. 432 i Dz.U. 1999. Nr 59 poz. 632). Pomiarów dokonuje się w sposób określony ww. przepisami w warunkach swobodnego przyspieszania – bez obciążenia.

Dyrektywa Unii Europejskiej 77/537/EEC (wraz ze zmianami 82/890/EEC i 97/54/EC) przewiduje badanie zadymienia spalin ciągników rolniczych w ustalonych warunkach obciążenia.

Nie ma też przepisów dotyczących zadymienia spalin silników ciągników rolniczych w warunkach rzeczywistej pracy (pod obciążeniem). Dlatego do oceny zadymienia w tych warunkach, podjęto próbę opracowania własnej metodyki badań (w tym programu badań), mogącej być podstawą do określenia wymagań dotyczących zadymienia spalin i ewentualnie stworzenia przepisu dotyczącego silników ciągników rolniczych.

Opracowując własną metodykę badań (program badań), zdecydowano się na przeprowadzenie pomiarów zadymienia spalin w całym zakresie obrotów umożliwiającym wykonanie charakterystyki zewnętrznej silnika. Uwzględniono obroty silnika, w których uzyskano: maksymalny moment, maksymalną moc, obroty WOM 540 i 1000 obr. min⁻¹ w warunkach obciążenia.

Do celów porównawczych przeprowadzono badania zadymienia, według obowiązujących przepisów „Kodeksu drogowego”.

Kontrola i przygotowanie silników ciągnikowych i ciągników do badań

Przed przystąpieniem do badań z ciągników wymontowano wtryskiwacze i sprawdzono na stanowisku próbnika PRW-3. Z końcówek wtryskiwaczy ciągników Ursus 1224 i 1634 usunięto nagar, a w ciągniku Ursus 1012 wymieniono końcówki wtryskiwaczy. W ciągniku Ursus 1734 ciśnienie zostało wyregulowane zgodnie z zaleceniami producenta, a u pozostałych ciśnienie było wyższe od zalecanego o 1,0–1,5 MPa. Rzeczywiste wartości ciśnienia wtrysku zmierzone na próbniku PRW 3 oraz ciśnienia wtrysku zalecane przez producenta zamieszczono w tabeli 4.4.

W silnikach sprawdzono kąty początku wtrysku i jakość rozpylenia paliwa oraz luzy zaworowe. We wszystkich ciągnikach stwierdzono opóźnienia początku wtrysku w stosunku do zalecanego w instrukcjach obsługi od 2,7 do 10,8°. W przypadku ciągnika Ursus 1224, wykonano badania na regulacjach fabrycznych i powtórzono pomiary po zmianie kąta początku wtrysku do wartości zalecanej w instrukcji. W ciągniku Ursus 1614 stwierdzono pęknięcie króćców przewodów wysokociśnieniowych (które wymieniono), doprowadzających paliwo do wtryskiwaczy 4. i 5. cylindra. Sprawdzono filtry paliwa we wszystkich ciągnikach (w ciągniku MF 255 wymieniono wkład filtra na nowy) oraz szczelność układów wydechowych (występowanie przedmuchów powietrza do zespołów ciągnika mogących mieć wpływ na wyniki pomiarów

4. Oddziaływanie ciągników, maszyn i narzędzi...

Tabela 4.4. Wartości ciśnienia wtrysku [MPa], pomierzone i zalecane przez producenta
Table 4.4. Injection pressure [MPa] measured and recommended by the manufacturer

Nr wtryskiwacza No of the injector	Nazwa i model ciągnika Tractor name and model					
	Ursus 3512 (MF 255)	Ursus 1012	Ursus 1224	Ursus 1614	Ursus 1634	Ursus 1734
1	18,5–18,8	17,5	17,0	18,0	18,0	20,5
2	18,4–18,6	17,5	17,0	18,0	18,0	20,5
3	18,5–18,8	17,5	17,5	18,0	17,5	20,5
4	–	17,5	17,5	18,0	18,0	20,5
5	–	–	17,5	18,0	18,5	20,5
6	–	–	17,5	18,0	18,0	20,5
Zalecenia instrukcji The manual recommendations	17,2	16,8 – 0,8				20,0 + 0,8

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

zdemontowano zaczepy i osłony WOM, w celu ustawienia i przyłączenia ciągników do stanowiska badawczego. Przed wykonaniem pomiarów zarejestrowano przebiegi silników ciągnikowych. Liczbę przepracowanych przez badane silniki ciągników motogodzin (mth) zamieszczono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Liczba przepracowanych motogodzin przez silniki badanych ciągników
Table 4.5. Number of operating hours of tested tractors

Wyszczególnienie Specification	Nazwa i model ciągnika Tractor name and model					
	Ursus 3512 (MF 255)	Ursus 1012	Ursus 1224	Ursus 1614	Ursus 1634	Ursus 1734
Liczba motogodzin Number of operating hours	1 008	590	764	15	40	58

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Opis i przygotowanie stanowiska badawczego

W trakcie badań ciągniki były ustawiane na stanowisku wyposażonym w hamulec elektryczny Schenck W 450, z zamontowanym specjalnym wałem, umożliwiającym połączenie hamulca z WOM badanego ciągnika. Podczas badań silniki ciągnikowe podłączone były do stanowiskowego układu zasilania w paliwo, umożliwiającego pomiary zużycia paliwa. Za pomocą czujników kontrolowano (mierzone i odczytywano) temperaturę oleju silnikowego i płynu chłodzącego. Z urządzeń pomiarowych hamulca odczytywano prędkość obrotową silnika WOM, moc i moment obrotowy silnika. Na stanowisku badawczym zadymienie spalin mierzone dymomierzem optycznym (rys. 4.3).

Dymomierz wymagał kalibracji, zgodnie z wymaganiami producenta, co 186 dni (6 miesięcy). Badania prowadzono po kalibracji przyrządu przez serwis. Aby prowadzić pomiary wykonano przystawkę nasadową do układu wydechowego silnika z wymiennymi końcówkami o różnych średnicach wraz z mocowaniem (uchwytem) do wprowadzania sondy pomiarowej w strumień spalin. Do przystawki przyłączono



Źródło: materiały informacyjne firmy Radiotechnika. Source: folder of the firma Radiotechnika.

Rys. 4.3. Dymomierz optyczny DO 9500: a – jednostka centralna z komorą pomiarową, b – klawiatura, c – terminal sterujący DS 9510 wraz z drukarką, d – przystawka „tacho-term” DS 9500 z przewodami przyłączeniowo-zasilającymi, e – sondy poboru spalin, f – piezoelektryczny czujnik zaciskowy pomiarów obrotów silnika wraz z zaciskiem uziemiającym i przewodami przyłączeniowo-zasilającymi, g – czujnik pomiaru temperatury oleju silnika wraz z przewodem przyłączeniowym

Fig. 4.3. An optical opacimeter type DO 9500: a – the central unit and measuring chamber, b – key-board, c – controlling terminal type DS 9510 with printer, d – adapter “tacho-term” DS 9500 with connection and power supply cables, e – sampling probe, f – clamping piezoelectric sensor to measure engine rotations equipped with earthing and connection and power supply conduits, g – temperature sensor with connecting cable to measure the engine oil temperature

podłączono czujniki: pomiaru zadymienia, temperatury oleju silnikowego oraz prędkości obrotowej silnika, mocowane na przewodzie wysokiego ciśnienia doprowadzającego paliwo do wtryskiwacza. Warunki atmosferyczne podczas badań były następujące: ciśnienie powietrza wahało się w granicach od 996 do 1009 hPa, temperatura od 19 do 28°C, a wilgotność względna w zakresie 46–61%.

Zakres badań

Zakres badań obejmował:

- wykonanie charakterystyki zewnętrznej silnika: pomiary momentu obrotowego silnika (mocy silnika), prędkości obrotowej silnika (WOM), zużycia paliwa;
- pomiary zadymienia (współczynnika k) w całym zakresie mocy co 100–200 obrotów silnika od obrotów maksymalnych biegu jałowego (luzem) do maksymalnego

- pomiar zadymienia spalin w punktach charakterystycznych dla wszystkich ciągników (silników): maksymalnego momentu, maksymalnej mocy, przy obrotach WOM 540 i (lub) 1000 obr. min^{-1} , w zależności, które ciągnik posiada;
- pomiary zadymienia spalin metodą swobodnego przyspieszania (wg „Kodeksu drogowego” z 2014 r.) biegu jałowego (luzem) od obrotów minimalnych do maksymalnych.

Metoda pomiarowa

Zastosowano metodę bezpośredniej oceny stopnia przezroczystości spalin (zadymienia) na podstawie części spalin wydalanych przez silnik, przechodzących przez urządzenie pomiarowe, gdzie następuje pomiar dwóch wielkości fizycznych wzajemnie współzależnych (tab. 4.6):

- stopnia pochłaniania światła A (absorpcji promieniowania), obliczanego ze wzoru:

$$A = \frac{\Phi_0 - \Phi}{\Phi_0} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

- współczynnika pochłaniania światła k (absorpcji promieniowania) [m^{-1}], obliczanego ze wzoru:

$$k = \frac{1}{L} \cdot \ln \frac{1}{1-A} \quad (4.2)$$

gdzie:

- Φ_0 – natężenie strumienia światła przed przejściem przez słup gazu (spalin) [%];
- Φ – natężenie strumienia światła po przejściu przez słup gazu (spalin) [%];
- L – długość słupa gazu (spalin) – 0,43 m.

Urządzenie pomiarowe miało dwie skale:

- liniową, stopnia pochłaniania światła A , której 0 (0%) odpowiada całkowitej przezroczystości spalin ($\Phi_0 = \Phi$), a 1 (100%) całkowitej nieprzezroczystości;
- logarymiczną, wyrażoną w jednostkach współczynnika pochłaniania światła k [m^{-1}], której 0 odpowiada całkowitej przezroczystości spalin, a nieskończoność (∞) całkowitej nieprzezroczystości.

Przebieg pomiarów (badań)

Zgodnie z punktem opisującym przygotowanie do badań i warunki badań (opis i przygotowanie stanowiska badawczego, warunki badań, kontrola i przygotowanie silników ciągnikowych i ciągników do badań) przeprowadzono pomiary zadymienia spalin. Do ciągnika podłączono stanowiskowy (zewnętrzny) układ zasilania w paliwo, umożliwiający pomiar zużycia paliwa. Za pomocą czujników stanowiskowych hamulca kontrolowano temperaturę płynu chłodzącego i mierzono oraz odczytywano prędkość obrotową silnika. Z automatycznych urządzeń pomiarowych hamulca odczytywano moc (N_e) i moment obrotowy silnika (M_o).

Obok stanowiska hamulca usytuowano aparaturę do pomiaru zadymienia spalin (dymomierz, rys. 4.3). Do dymomierza podłączono sondę poboru spalin (rys. 4.3e)

Tabela 4.6. Wybrane wartości zależności współczynnika pochłaniania światła k od stopnia pochłaniania światła A dla długości słupa spalin 0,43 m

Table 4.6. Selected values of the dependence of the light absorption coefficient "k" on the degree of light absorption "A" at length of exhaust stream amounting to 0,43 m

k [m ⁻¹]	A [%]	k [m ⁻¹]	A [%]	k [m ⁻¹]	A [%]	k [m ⁻¹]	A [%]
0,02	1,0	0,90	32,0	2,31	63,0	4,74	87,0
0,05	2,0	0,93	33,0	2,38	64,0	4,84	87,5
0,07	3,0	0,97	34,0	2,44	65,0	4,93	88,0
0,09	4,0	1,00	35,0	2,51	66,0	5,03	88,5
0,12	5,0	1,04	36,0	2,58	67,0	5,13	89,0
0,14	6,0	1,07	37,0	2,65	68,0	5,24	89,5
0,17	7,0	1,11	38,0	2,72	69,0	5,35	90,0
0,19	8,0	1,15	39,0	2,80	70,0	5,47	90,5
0,22	9,0	1,19	40,0	2,88	71,0	5,60	91,0
0,25	10,0	1,23	41,0	2,96	72,0	5,73	91,5
0,27	11,0	1,27	42,0	3,04	73,0	5,87	92,0
0,30	12,0	1,31	43,0	3,13	74,0	6,02	92,5
0,32	13,0	1,35	44,0	3,22	75,0	6,18	93,0
0,35	14,0	1,39	45,0	3,32	76,0	6,36	93,5
0,38	15,0	1,43	46,0	3,42	77,0	6,54	94,0
0,41	16,0	1,48	47,0	3,52	78,0	6,75	94,5
0,43	17,0	1,52	48,0	3,63	79,0	6,97	95,0
0,46	18,0	1,57	49,0	3,74	80,0	7,21	95,5
0,49	19,0	1,61	50,0	3,80	80,5	7,49	96,0
0,52	20,0	1,66	51,0	3,86	81,0	7,80	96,5
0,55	21,0	1,71	52,0	3,92	81,5	8,15	97,0
0,58	22,0	1,76	53,0	3,99	82,0	8,58	97,5
0,61	23,0	1,81	54,0	4,05	82,5	9,10	98,0
0,64	24,0	1,86	55,0	4,12	83,0	9,77	98,5
0,67	25,0	1,91	56,0	4,19	83,5	10,71	99,0
0,70	26,0	1,96	57,0	4,26	84,0	12,32	99,5
0,73	27,0	2,02	58,0	4,34	84,5	12,84	99,6
0,76	28,0	2,07	59,0	4,41	85,0	13,51	99,7
0,80	29,0	2,13	60,0	4,49	85,5	14,45	99,8
0,83	30,0	2,19	61,0	4,57	86,0	16,06	99,9
0,86	31,0	2,25	62,0	4,66	86,5	-	100,0

Źródło: opracowanie na podstawie norm. Source: developed based of Standards.

i czujniki pomiaru temperatury oleju (rys. 4.3g) oraz obrotów silnika (rys. 4.3f). Czujnik pomiaru temperatury oleju wprowadzono do miski olejowej w miejsce miernika poziomego oleju (bagnetu). Na tej podstawie przyrząd pośrednio określał temperaturę silnika, wartość której odczytywano na wyświetlaczu terminalu sterującego (rys. 4.3c) dymomierza i rejestrowano na wydruku każdego pomiaru.

Pomiaru obrotów silnika dokonywano pośrednio za pomocą piezoelektrycznego czujnika zaciskowego (rys. 4.3f), zliczającego impulsy ciśnienia w przewodzie wysokociśnieniowym doprowadzającym paliwo do wtryskiwacza. Czujnik montowano na

prostoliniowym odcinku przewodu wtryskowego, oczyszczonego z farby do samego metalu. Obok zaciskano uchwyt szczękowy uziemienia czujnika tak, aby się nie stykały. Prowadzono pomiar ciągly obrotów, odczytywano na wyświetlaczu i rejestrowano na wydruku.

Pomiaru zadymienia dokonywano, wprowadzając sondę poboru spalin w strumień komina wydechowego silnika ciągnikowego w momencie ustabilizowania obrotów silnika (pod obciążeniem) w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej (co ok. $100 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$) i regulatorowej (co $10\text{--}20 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$) w całym zakresie prędkości obrotowych silnika. Rejestrowano kilka wartości maksymalnych zadymienia w trzysekundowych odcinkach czasowych, po czym sondę wyjmowano na czas przejścia do kolejnych obrotów silnika, ich ustabilizowania i powtarzano postępowanie. Maksymalny błąd względny dla stopnia zadymienia spalin, z uwzględnieniem stosowanego urządzenia pomiarowego, wynosił 2%. Pomiaru wykonywano trzykrotnie i wyliczano wartość średnią. Odchylenia od wartości średniej nie przekraczały 10%. Analiza wariancji dla wyników pomiarowych potwierdziła istotność różnic na poziomie ufności 95%. Wartości pomiarów w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej zamieszczono w tabelach 4.7–4.13.

Po przeprowadzeniu tego typu pomiarów ciągnik odłączano od stanowiska hamulca elektrycznego i prowadzono pomiary zadymienia w warunkach swobodnego przyspieszania, zgodnie z obowiązującymi przepisami o dopuszczeniu (lub nie) pojazdów do ruchu drogowego. Cykl pomiarowy polegał na wzroście prędkości obrotowej silnika (przyspieszeniu) od prędkości biegu jałowego do maksymalnej prędkości obrotowej. Powtarzano to trzy razy w czasie cyklu i rejestrowano wartość maksymalną zadymienia każdego powtórzenia. Cykl powtarzano dwa razy. Wyniki zamieszczono w tabeli 4.13. Podano średnie z wartości maksymalnych uzyskanych w cyklach pomiarowych.

Przedstawienie graficzne i tabelaryczne wyników pomiarów (badań)

Podstawowe dane techniczne (wg producenta) wybranych silników ciągnikowych, dopuszczalne wartości zadymienia dla tych silników wg „Kodeksu drogowego” i wartości uzyskane z badań w warunkach swobodnego przyspieszania zamieszczono w tabeli 4.3.

Wartości pomiarów zadymienia w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej, tzn. przy obrotach minimalnych i maksymalnych silnika pracującego pod obciążeniem, w szczycie momentu i szczycie mocy oraz przy znamionowych obrotach WOM (540 lub $1000 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$) przedstawiono w tabelach 4.7–4.13.

Przebieg krzywych: mocy, momentu obrotowego, zużycia paliwa i zadymienia spalin w funkcji obrotów silnika w postaci wykresów charakterystyk zewnętrznych silników zamieszczono na rysunkach 4.4–4.10.

Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej silnika MF 255 (Ursus 3512) przedstawiono graficznie na rysunku 4.4.

Z wykresu zamieszczonego na rysunku 4.4 wynika, że silnik osiąga maksymalną moc (30 kW) przy obrotach ok. $2200 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ czemu towarzyszy maksymalne zady-

Tabela 4.7. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika MF 255 (Ursus 3512)

Table 4.7. Values measured at selected points of external characteristics of the engine of MF 255 (U 3512) tractor

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotational speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness (opacity)
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [kg·h ⁻¹]	k [m ⁻¹]
13,87	147,1	900	257	3,66	263,9	0,36
21,10	155,1	1 299	371	5,56	263,5	0,54
27,94	141,1	1 890	540	7,60	272,1	1,16
29,97	127,1	2 251	643	8,64	288,3	2,31
0	0	2 398	685	2,89	–	0,01

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 4.8. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1012

Table 4.8. Values measured at selected points of external characteristics of the engine of Ursus 1012 tractor

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotational speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness (opacity)
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [kg·h ⁻¹]	k [m ⁻¹]
24,65	235,4	1 000	521	6,05	245,4	0,00
58,64	310,9	1 801	938	13,75	234,5	0,57
57,07	283,9	1 920	1 000	13,83	242,3	0,39
61,22	254,2	2 300	1 198	15,75	257,3	0,42
0	0	2 438	1 270	5,08	–	0,14

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 4.9. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1224

Table 4.9. Values measured at selected points of external characteristics of the engine of Ursus 1224 tractor

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotational speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness (opacity)
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [g·kWh ⁻¹]	k [m ⁻¹]
42,90	372,4	1 100	573	10,78	251,3	1,12
62,34	396,9	1 500	781	17,10	274,3	3,22
70,16	349,0	1 920	1 000	18,01	256,7	1,10
74,15	321,9	2 200	1 146	19,58	264,0	1,07
0	0	2 394	1 247	5,88	–	0,03

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 4.10. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1224 po regulacji kąta początku wtrysku paliwa

Table 4.10. Values measured at selected points of external characteristics of the engine of Ursus 1224 tractor after adjustment of the angle of fuel start injection

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotational speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness (opacity)
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [g·kWh ⁻¹]	k [m ⁻¹]
40,80	354,2	1 100	573	11,04	270,6	0,97
60,13	382,8	1 500	781	17,06	283,7	2,19
69,12	343,8	1 920	1 000	17,79	257,4	0,75
73,50	318,8	2 202	1 147	19,58	266,4	0,76
0	0	2 392	1 246	6,01	–	0,02

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 4.11. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1614

Table 4.11. Values measured at selected points of external characteristics of the engine Ursus 1614 tractor

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotational speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness (opacity)
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [g·kWh ⁻¹]	k [m ⁻¹]
40,50	351,6	1 100	573	9,86	243,5	0,30
85,03	507,8	1 599	833	20,83	245,0	2,54
91,84	456,8	1 920	1 000	23,18	252,4	1,57
96,95	420,8	2 200	1 146	26,11	269,3	0,93
0	0	2 412	1 256	7,11	–	0,15

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 4.12. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1634

Table 4.12. Values measured at selected points of external characteristics of the engine Ursus 1634 tractor

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotational speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [g·kWh ⁻¹]	k [m ⁻¹]
41,88	363,5	1 100	573	9,86	235,5	0,26
94,70	532,3	1 699	885	22,69	239,6	2,40
97,91	487,0	1 920	1 000	23,97	244,8	1,54
100,14	444,8	2 150	1 120	25,39	253,5	0,92
0	0	2 392	1 246	6,86	–	0,07

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 4.13. Wartości zmierzone w wybranych punktach charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1734

Table 4.13. Values measured at selected points of external characteristics of the engine of Ursus 1734 tractor

Moc ciągnika Tractor power	Moment obrotowy Torque	Prędkość obrotowa Rotation speed		Zużycie paliwa Fuel consumption		Zadymienie Smokiness
		silnika engine	WOM PTO	godzinowe per hour	jednostkowe specific	
Ne [kW]	Mo [Nm]	[obr.·min ⁻¹]	[rpm·min ⁻¹]	Ge [kg·h ⁻¹]	ge [g·kWh ⁻¹]	k [m ⁻¹]
47,10	408,8	1 100	573	10,87	230,8	0,31
82,62	563,5	1 400	729	17,86	216,2	0,23
99,48	494,8	1 920	1 000	23,85	239,7	0,16
105,35	457,3	2 200	1 146	27,25	258,7	0,55
0	0	2 400	1 250	9,08	–	0,19

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

mienie spalin (2,4 m⁻¹). Moment obrotowy wraz ze wzrostem obrotów silnika powoli maleje, natomiast zadymienie spalin początkowo maleje, osiągając minimum (0,1 m⁻¹) przy 1600 obr.·min⁻¹, a następnie wzrasta.

Godzinowe zużycie paliwa wraz z obrotami wzrasta, natomiast jednostkowe zużycie paliwa utrzymuje się na ustalonym poziomie i dopiero przy wysokich obrotach gwałtownie zwiększa się.

Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1012 przedstawiono graficznie na rysunku 4.5.

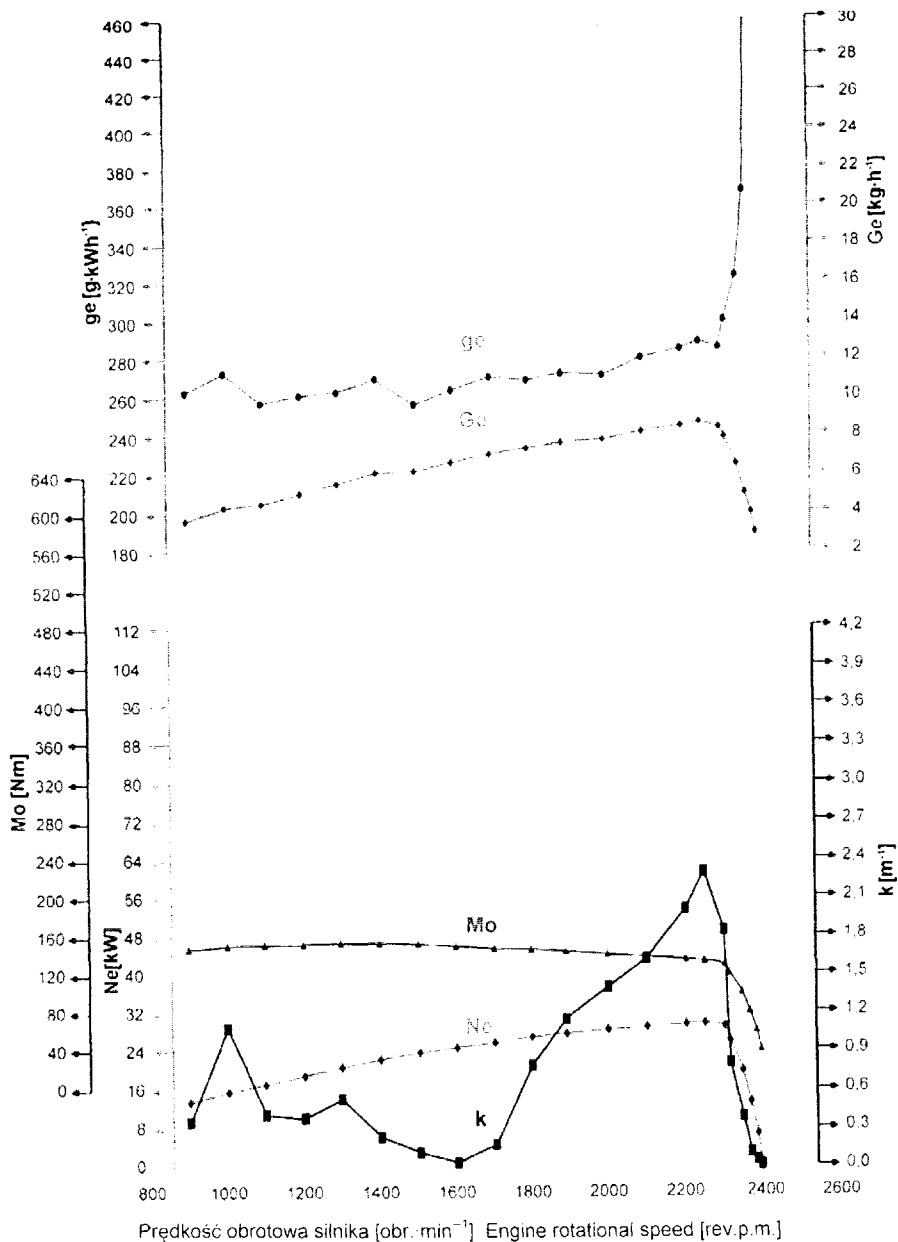
Z wykresu zamieszczonego na rysunku 4.5 wynika, że w warunkach ok. 2300 obr.·min⁻¹ silnik osiąga maksymalną moc (63 kW) oraz maksymalne zadymienie spalin (2,4 m⁻¹). Moment obrotowy wraz ze wzrostem obrotów silnika powoli wzrasta i osiąga maksimum przy 1800 obr.·min⁻¹, a następnie maleje. Zadymienie spalin początkowo zwiększa się, osiągając maksimum (0,6 m⁻¹) w warunkach 1800 obr.·min⁻¹, a następnie powoli maleje.

Godzinowe zużycie paliwa wraz z obrotami wzrasta, natomiast jednostkowe zużycie paliwa utrzymuje się na ustalonym poziomie i dopiero w warunkach wysokich obrotów gwałtownie zwiększa się.

Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej ciągnika Ursus 1224 przedstawiono graficznie na rysunku 4.6.

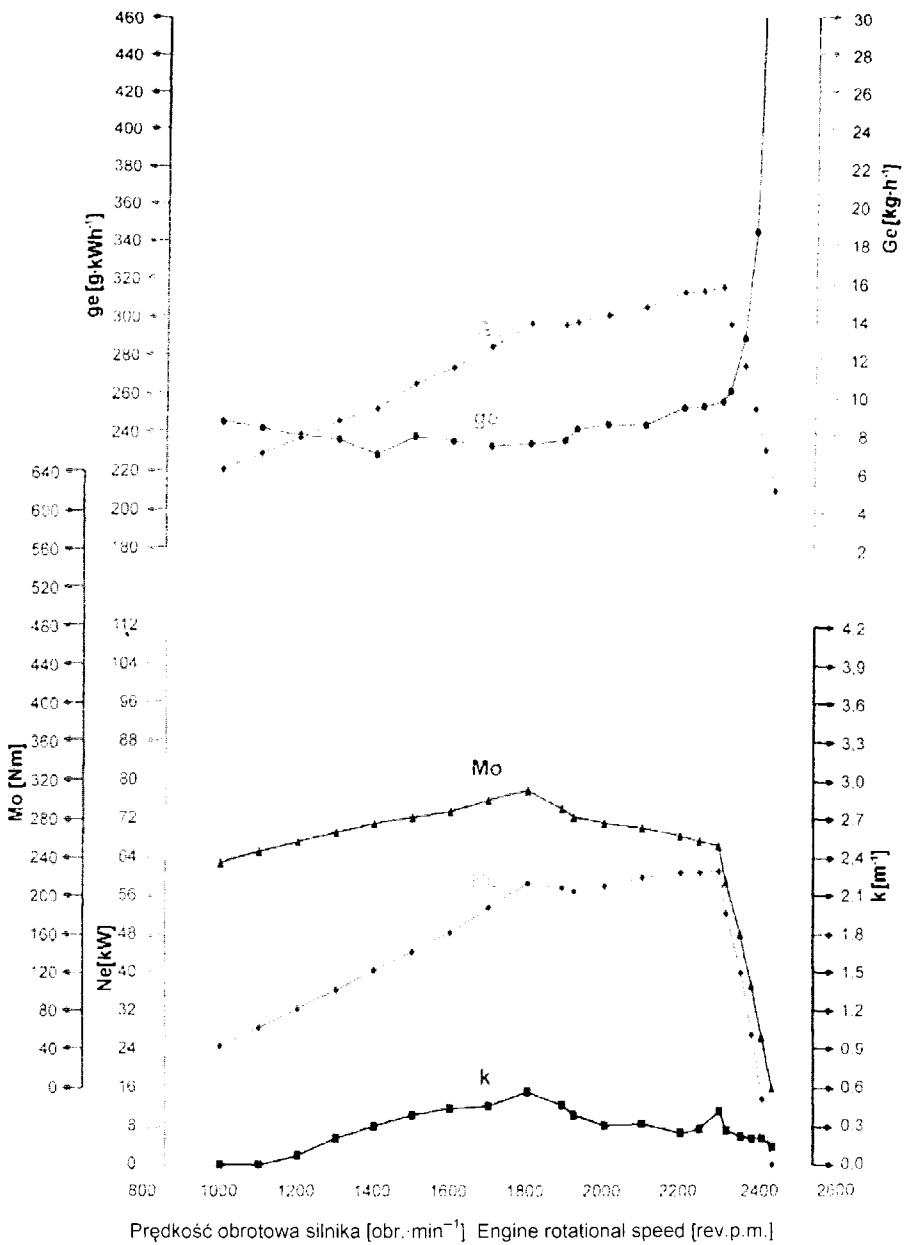
Silnik ciągnika Ursus 1224 maksimum mocy osiąga przy 2200 obr.·min⁻¹, maksimum momentu przy 1600 obr.·min⁻¹ oraz największe zadymienie spalin 3,2 m⁻¹ przy 1500 obr.·min⁻¹. Godzinowe zużycie paliwa wzrasta, natomiast jednostkowe początkowo wzrasta a następnie maleje osiągając minimum przy 1800 obr.·min⁻¹, a następnie zwiększa się.

Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1224, po regulacji kąta początku wtrysku paliwa, przedstawiono graficznie na rysunku 4.7.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.4. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin ciągnika MF 255 (Ursus 3512): Mo – moment obrotowy, Ne – moc, ge – jednostkowe zużycie paliwa, Ge – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin
 Fig. 4.4. External characteristics and exhaust smokiness of a tractor MF 255 (Ursus 3512): Mo – torque, Ne – power, ge – specific fuel consumption, Ge – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)

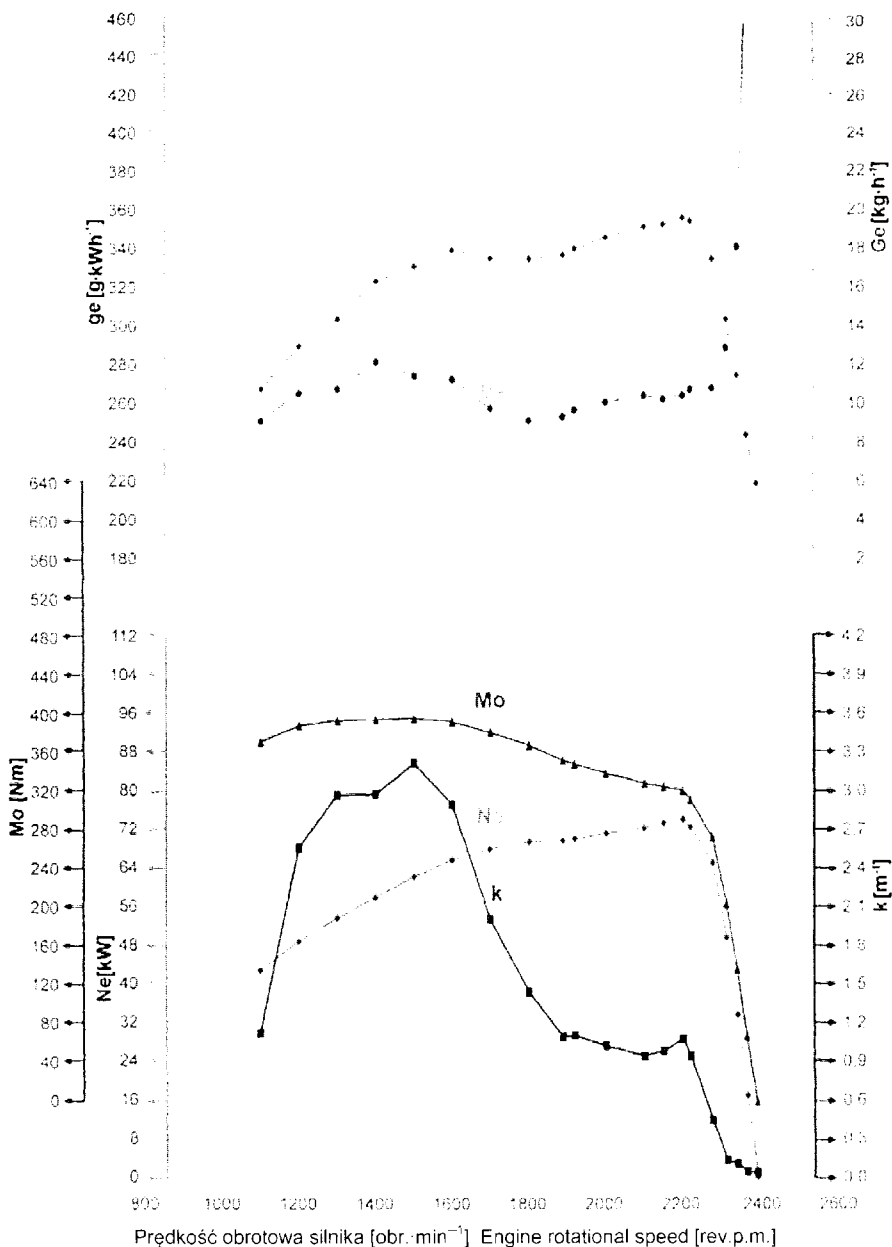


Prędkość obrotowa silnika [obr.·min⁻¹] Engine rotational speed [rev.p.m.]

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.5. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin ciągnika Ursus 1012: Mo – moment obrotowy, Ne – moc, ge – jednostkowe zużycie paliwa, Ge – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin

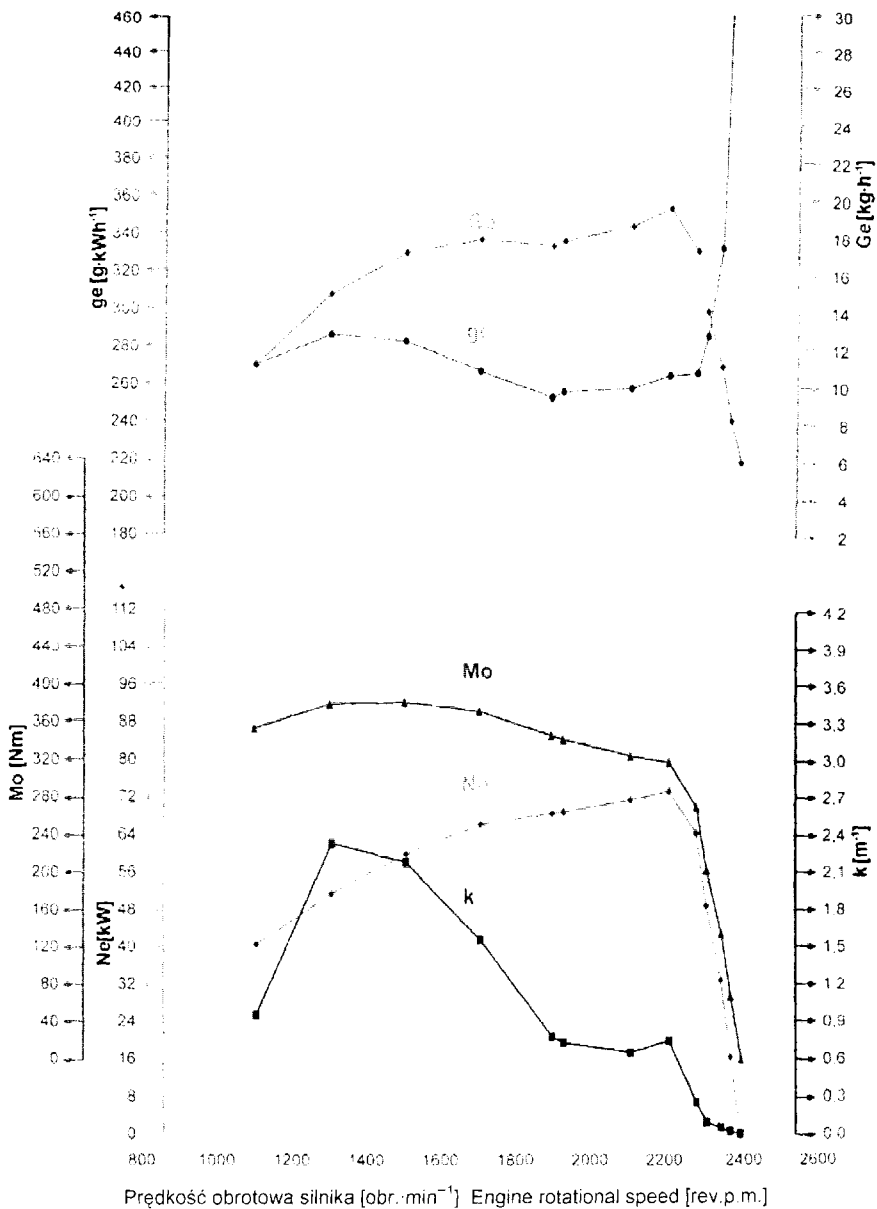
Fig. 4.5. External characteristics and exhaust opacity of a tractor type Ursus 1012: Mo – torque, Ne – power, ge – specific fuel consumption, Ge – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.6. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin ciągnika Ursus 1224: Mo – moment obrotowy, Ne – moc, g_e – jednostkowe zużycie paliwa, Ge – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin

Fig. 4.6. External characteristics and exhaust smokiness of tractor type Ursus 1224: Mo – torque, Ne – power, g_e – specific fuel consumption, Ge – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.7. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin ciągnika Ursus 1224, po regulacji kąta wtrysku paliwa: Mo – moment obrotowy, Ne – moc, ge – jednostkowe zużycie paliwa, Ge – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin
 Fig. 4.7. External characteristics and exhaust smokiness of the tractor Ursus 1224, after adjusting the angle of the start fuel injection: Mo – torque, Ne – power, ge – specific fuel consumption, Ge – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)

Po regulacji kąta wtrysku paliwa silnik ciągnika Ursus 1224 maksimum mocy osiąga przy 2200 obr. \cdot min⁻¹, maksimum momentu obrotowego przy 1400 obr. \cdot min⁻¹ oraz największe zadymienie spalin, wynoszące 2,4 m⁻¹ w warunkach 1300 obr. \cdot min⁻¹.

Godzinowe zużycie paliwa zwiększało się wraz z obrotami silnika, natomiast jednostkowe początkowo zwiększało się a następnie malało, osiągając minimum w warunkach 1900 obr. \cdot min⁻¹, następnie powoli zwiększało się do 2300 obr. \cdot min⁻¹, po dalszym zwiększaniu obrotów wzrastało gwałtownie.

Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1614, po regulacji kąta wtrysku paliwa przedstawiono graficznie na rysunku 4.8.

Silnik ciągnika Ursus 1614 maksimum mocy osiąga przy 2200 obr. \cdot min⁻¹, maksimum momentu obrotowego osiąga przy 1600 obr. \cdot min⁻¹ oraz największe zadymienie spalin, wynoszące 2,5 m⁻¹ przy 1600 obr. \cdot min⁻¹. Godzinowe zużycie paliwa wzrasta wraz z obrotami silnika do 26 kg \cdot h⁻¹, przy 2200 obr. \cdot min⁻¹, natomiast jednostkowe początkowo wzrasta do 270 g \cdot kWh⁻¹, przy 2200 obr. \cdot min⁻¹, po przekroczeniu których wzrasta gwałtownie.

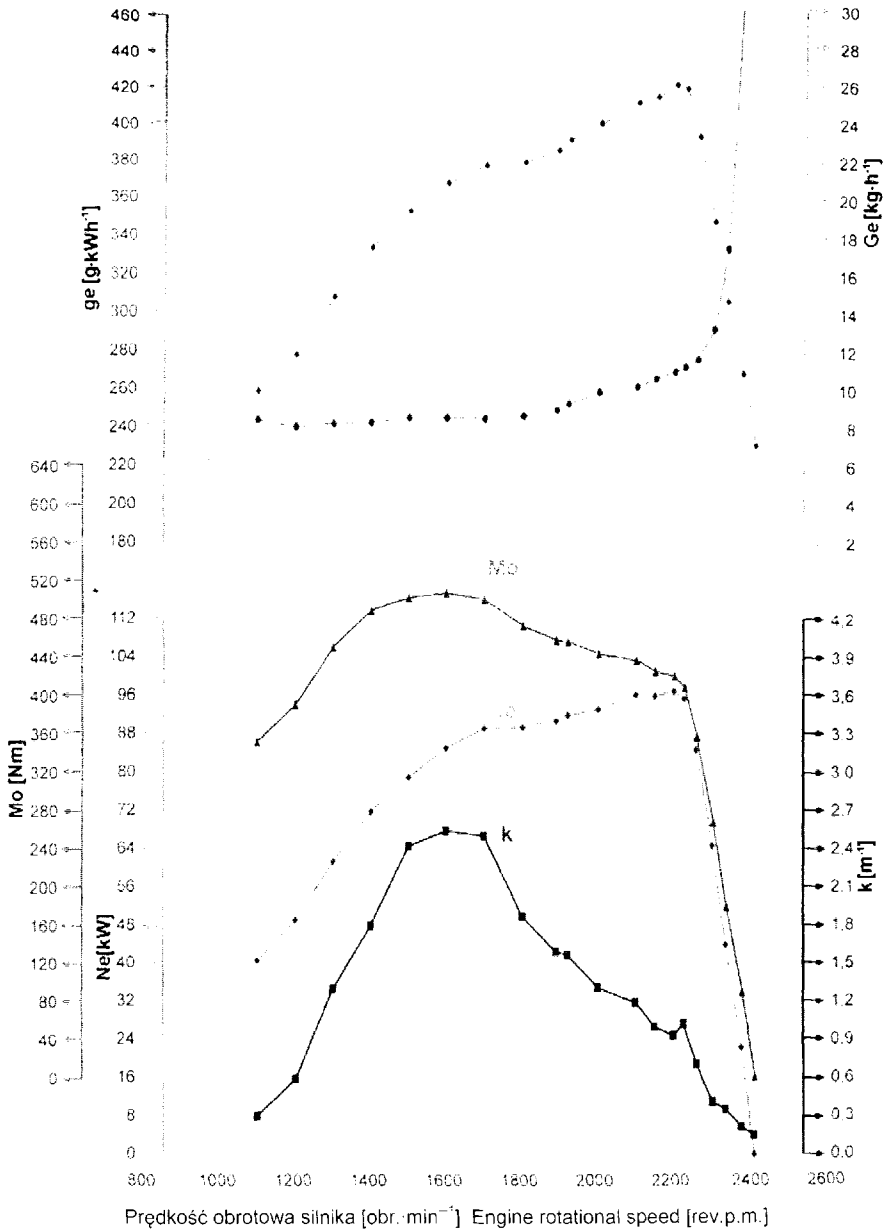
Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1634, przedstawiono graficznie na rysunku 4.9.

Silnik ciągnika Ursus 1634 maksimum mocy osiąga przy 2200 obr. \cdot min⁻¹, maksimum momentu obrotowego osiąga przy 1700 obr. \cdot min⁻¹ oraz największe zadymienie spalin, wynoszące 2,4 m⁻¹ przy 1600–1700 obr. \cdot min⁻¹. Godzinowe zużycie paliwa wzrasta wraz z obrotami silnika do 25 kg \cdot h⁻¹, przy 2200 obr. \cdot min⁻¹, natomiast jednostkowe początkowo powoli wzrasta do 260 g \cdot kWh⁻¹, przy 2300 obr. \cdot min⁻¹, po przekroczeniu których wzrasta gwałtownie.

Wyniki pomiarów charakterystyki zewnętrznej silnika ciągnika Ursus 1734, przedstawiono graficznie na rysunku 4.10.

Silnik ciągnika Ursus 1734 maksimum mocy osiąga w warunkach 2250 obr. \cdot min⁻¹, maksimum momentu obrotowego osiąga przy 1400 obr. \cdot min⁻¹ oraz największe zadymienie spalin, wynoszące 0,8 m⁻¹ przy 2250 obr. \cdot min⁻¹. Godzinowe zużycie paliwa wzrasta wraz z obrotami silnika do 12 kg \cdot h⁻¹, przy 2300 obr. \cdot min⁻¹, natomiast jednostkowe wzrasta od 265 g \cdot kWh⁻¹, przy obrotach silnika 1100 obr. \cdot min⁻¹, do 440 g \cdot kWh⁻¹, przy obrotach silnika 2250 obr. \cdot min⁻¹, po przekroczeniu których gwałtownie spada do 250 g \cdot kWh⁻¹, przy obrotach silnika 2400 obr. \cdot min⁻¹.

Podsumowując, można stwierdzić, że badane silniki uzyskiwały maksimum mocy przy prędkości 2200–2300 obr. \cdot min⁻¹, a maksimum momentu obrotowego przy 1500–1600 obr. \cdot min⁻¹. Największe zadymienie spalin występowało w pobliżu maksimum momentu obrotowego. Godzinowe zużycie paliwa wzrastało wraz z obrotami silnika do ok. 25 kg \cdot h⁻¹, a jednostkowe początkowo wzrastało do ok. 270 g \cdot kWh⁻¹, a następnie malało do ok. 230 g \cdot kWh⁻¹.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.8. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin silnika ciągnika Ursus 1614: M_o – moment obrotowy, N_e – moc, g_e – jednostkowe zużycie paliwa, G_e – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin

Fig. 4.8. External characteristics and exhaust smokiness level of Ursus 1614 tractor engine: M_o – torque, N_e – power, g_e – specific fuel consumption, G_e – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)

Analiza wyników badań

Głównym punktem programu badań były pomiary zadymienia spalin silników ciągników rolniczych w pełnym zakresie obciążeń i prędkości obrotowych (odpowiadających rzeczywistym warunkom pracy). Dodatkowo wykonano pomiary zadymienia w warunkach swobodnego przyspieszania, zgodnie z przepisami „Kodeksu drogowego”. Wartości zadymienia uzyskane w punktach charakterystycznych zestawiono w tabeli 4.14.

Tabela 4.14. Zestawienie wartości zadymienia uzyskanych podczas badań i wartości dopuszczalnych według „Kodeksu drogowego”

Table 4.14. Summary of opacity (smokiness) values acquired during tests, and limit (permissible) values in accordance with Highway Code

Wyszczególnienie Specification	Nazwa i model ciągnika Tractor name and model						
	Ursus 3512 (MF 255)	Ursus 1012(T)	Ursus 1224	Ursus 1224 po regulacji after adjustment	Ursus 1614(T)	Ursus 1634(T)	Ursus 1734(T)
Zadymienie zarejestrowane podczas badań (pod obciążeniem) Opacity recorded during the test under load							
Współczynnik pochłaniania światła k Light absorption coefficient k [m^{-1}]	2,31	0,57	3,22	2,19	2,54	2,40	0,55
Stopień pochłaniania światła A [%] Degree of light absorption A [%]	63,00	217,00	75,00	1,00	66,00	64,40	2,10
Maksymalne zadymienie z badań w warunkach swobodnego przyspieszania The maximum opacity from test under free acceleration							
Współczynnik pochłaniania światła k Light absorption coefficient k [m^{-1}]	0,47	1,01	0,83	0,64	2,46	1,16	1,67
Stopień pochłaniania światła A [%] Degree of light absorption A [%]	18,30	35,20	30,00	24,10	65,30	39,30	51,20
Dopuszczalne zadymienie spalin według „Kodeksu drogowego” Permissible opacity by the Highway Code							
Współczynnik pochłaniania światła k Light absorption coefficient k [m^{-1}]	2,50	3,00	2,50	2,50	3,00	3,00	3,00
Stopień pochłaniania światła A [%] Degree of light absorption A [%]	65,90	72,50	65,90	65,90	72,50	72,50	72,50

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Maksymalne zadymienie w zakresie pełnego obciążenia silniki ciągników Ursus 3512 (MF 255) i Ursus 1734 uzyskiwały w szczycie mocy. Pozostałe w szczycie momentu obrotowego.

Zakres obrotów silnika, przy których ciągnik najczęściej pracuje, zawiera się między szczytem mocy i momentu. W tym zakresie obrotów, w przypadku obu tych ciągników, zadymienie wzrasta wraz ze wzrostem mocy i spadkiem momentu obrotowego i osiąga maksimum w szczycie mocy. W pozostałych przypadkach dzieje się odwrotnie. Od wartości maksymalnej w szczycie momentu zadymienie spada wraz ze spadkiem momentu i wzrostem mocy.

Dla ciągnika Ursus 1224 powtórzono badania po zmianie kąta wtrysku paliwa (wyprzedzenie kąta wtrysku wynosiło $2,7^\circ$) w stosunku do badań na regulacjach fabrycznych (wyprzedzenie kąta wtrysku – $9,1^\circ$). Odnotowano niewielki spadek mocy i momentu obrotowego w całym zakresie obrotów. Na podobnym poziomie pozostało godzinowe zużycie paliwa. W zakresie $1100\text{--}1900\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ wzrosło jednostkowe zużycie paliwa. W całym zakresie obrotów silnika zadymienie spalin zmniejszyło się. Przebiegi krzywych mierzonych wielkości miały podobny charakter.

W ciągnikach Ursus 1614 i Ursus 1634 badano ten sam typ silnika na różnych regulacjach fabrycznych. Uzyskano zbliżony przebieg krzywych wszystkich mierzonych wielkości. W przypadku ciągnika Ursus 1634 nastąpił wzrost momentu obrotowego i mocy silnika, zwłaszcza w zakresie prędkości obrotowych między szczytem momentu i mocy, przy których silnik najczęściej pracuje. W tym zakresie uzyskano również spadek zadymienia i jednostkowego zużycia paliwa.

5. DOBÓR CIĄGNIKÓW, NARZĘDZI I MASZYN ROLNICZYCH

5.1. System doboru (propozycja)

Problemy związane z doбором parametrów ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych są aktualne zarówno na etapie projektowania, jak i budowy, konstrukcji, funkcjonowania oraz eksploatacji. Zestawy ciągnik – maszyna powinny spełniać wiele wymagań agrotechnicznych, dotyczących jakości pracy, wydajności oraz wartości wskaźników eksploatacyjno-ekonomicznych, ergonomicznych i ekologicznych.

Tradycyjnie ciągniki rolnicze projektowane są na bazie wymagań agrotechnicznych, formułowanych metodą oceny eksperckiej. Oceny eksperckie stosowane w projektowaniu ciągników bardzo często znacznie się różnią.

Konstruowane i budowane na takiej podstawie narzędzia, maszyny i ciągniki rolnicze mogą być ocenione dopiero podczas pracy w zestawie maszynowym, podczas badań wzorców doświadczalnych.

Parametry ciągnika i maszyny, niezbyt optymalnie dobrane podczas projektowania, nie pozwalają na tworzenie agregatów maszynowych o parametrach zbliżonych do optymalnych.

Ich zmiana opóźnia wdrożenie konstrukcji do produkcji, a często związana jest z dodatkowymi nakładami materiałowo-finansowymi. Dlatego logiczne jest uwzględnienie charakterystyk eksploatacyjno-technicznych ciągnika, w celu uzyskania optymalnych parametrów pracy agregatu maszynowego.

Poniżej zaprezentowano propozycję systematycznego podejścia do doboru parametrów techniczno-eksploatacyjnych zestawów ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych, umożliwiającą optymalizację warunków współpracy ciągników z maszynami rolniczymi, stosowanymi we współczesnych (mogących mieć zastosowanie również w przyszłości) technologiach polowej produkcji roślinnej.

Schemat takiego postępowania przedstawiono w tabeli 5.1.

Uwzględniając wymagania agrotechniczne, normatywy technologiczne oraz technologiczne dopuszczenia (tolerancje) dokonuje się wyboru parametrów ciągnika. Na podstawie zasad przeprowadzania prac, reżimów pracy i posiadanych środków technicznych formułowane są wymagania dla agregatu ciągnikowego, a następnie precyzowane podstawowe wartości parametrów agregatu maszynowego dla i -tej rośliny uprawianej według j -tej technologii. Matematycznie wyznacza się wartość oczekiwaną i dyspersję parametrów ciągnika rolniczego. Dopasowanie parametrów technicznych i eksploatacyjnych ciągnika do maszyny rolniczej wymaga: uściślenia parametrów ciągnika, sprawdzenia przynależności według siły uciągu i mocy, uściślenia parametrów maszyny i warunków pracy agregatu maszynowego, sprawdzenia zgodności z normami technologicznymi i dopuszczeniami.

Tabela 5.1. Algorytm doboru parametrów ciągników i maszyn rolniczych
Table 5.1. Algorithm of selection of parameters of tractors and agricultural machines

Wstępny dobór parametrów ciągnika (n klasy) z wykorzystaniem metod obliczeniowych, eksperymentalnych, prognostycznych			
Preliminary selection of tractor (n class) parameters making use of calculative, experimental and prognostic methods			
Ocena wskaźników elementów procesu technologicznego na etapie projektowania			
Assessment of parameters of elements of the technological process on the stage of planning			
Technologie uprawy i zbioru i -tej rośliny uprawnej (ocena lub opracowanie)			
Technologies of cultivation and harvest of selected arable crop (i) (assessment or drawing up)			
Zabieg technologiczny (j -ty), operacja (j -ta) dla i -tej rośliny uprawnej (ocena lub opracowanie)			
Technological method of operation (j) for selected arable crop (i) (assessment or drawing up)			
Wymagania agrotechniczne Agrotechnical requirements	Zasady przeprowadzania prac Rules of work	Reżimy pracy Work regimes	Środki techniczne Technical means
Technologiczne normatywy Technological standards	Wymagania dla agregatu ciągnikowego Requirements for tractor machine sets		
Technologiczne dopuszczenia (tolerancje) Technological tolerances	Wybór podstawowych parametrów agregatu maszynowego dla i -tej rośliny uprawnej wg j -tej technologii Selection of basic machine set parameters for arable crop (i) according to technological methods (j)		
Wybór parametrów ciągnika Selection of tractor parameters	Ocena matematyczna, wartość oczekiwana, dyspersja parametrów ciągnika rolniczego Calculative assessment, expected values, spread of parameters of agricultural tractors		
Dopasowanie parametrów technicznych i eksploatacyjnych ciągnika do maszyny rolniczej Matching of technical and operation parameters of tractor to machine	→ Uściślenie parametrów ciągnika, sprawdzenie przynależność według siły uciągu i mocy → Specifying of tractor parameters, check up according to pullin capacity and power		
	→ Uściślenie parametrów maszyny → Specifying of machine parameters		
	→ Uściślenie warunków pracy agregatu maszynowego → Specifying of work conditions of machine set		
Sprawdzenie zgodności z normami technologicznymi i dopuszczeniami Checking up of accordance with technological standards and tolerances			

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Systemowy dobór parametrów ciągnika i maszyny pozwala obliczeniowymi, eksperymentalnymi i innymi metodami wybrać najlepsze (na określonym etapie ich rozwoju) ich właściwości, co daje podstawę do znacznego obniżenia nakładów czasu i środków na projektowanie oraz zestawianie wysokoefektywnych agregatów maszynowych i uzyskanie dobrych rezultatów podczas ich eksploatacji.

Przykład źle dobranego zestawu ciągnika z pługiem pokazano na zdjęciu 5.1. Podczas pracy na znacznej pochyłości nawet ciężki ciągnik traci równowagę na skutek zbyt dużej siły oporu pługa.



<http://www.pl.tractorfan.eu/picture/88918/>

Fot. 5.1. Niestabilna praca źle dobranego zestawu do orki na pochyłości
Photo 5.1. Unstable operation of badly matched tractor-machine set for soil ploughing on slope

Przykład ten pokazuje jak ważne jest, w tym przypadku również dla bezpieczeństwa pracy, odpowiednie zestawienie agregatów maszynowych.

5.2. Rodzaje agregatów ciągnikowo-maszynowych

Rozróżnić można agregaty jedno- i wieloczynnościowe. Oprócz oczywistego wykonywania różnych zakresów pracy istotne są priorytety zestawienia ciągnika z towarzyszącymi maszynami i narzędziami. W przypadku agregatów jednoczynnościowych chodzi przede wszystkim o maksymalne wykorzystanie mocy ciągnika, aby uzyskać najwyższe wskaźniki jakości pracy i wydajności. W przypadku agregatów wieloczynnościowych niezbędne są kompromisy, wynikające z różnic w prędkościach optymalnych dla urządzeń wchodzących w skład zestawu, konieczności zgrania ich szerokości roboczych, a także wykorzystania mocy ciągnika.

Narzędzia i maszyny jednoczynnościowe

W agregaty jednoczynnościowe łączone są najczęściej narzędzia proste, typu: włóki, brony posiewne, rzadziej kosiarki do traw. Łączenie powinno zapewniać stateczność

wych, wykonywanie nawrotów w sposób bezpieczny, z małym pasem nawrotów. Sposób ograniczenia długości pojedynczego pług, przez zastosowanie dwóch zawieszanych, obracalnych pługów z przodu i tyłu ciągnika, znacznie ograniczających pas nawrotów, ilustruje zdjęcie 5.2. Pokazano również sposób zawieszenia na ciągniku trzech kosiarek do traw stanowiących agregat o dużej szerokości roboczej i wydajności, dobrze wykorzystujący moc silnika ciągnikowego.



[http:// www.fendt.com](http://www.fendt.com)



<http:// www.korbanek.pl>

Fot. 5.2. Jednoczynnościowe agregaty do orki i koszenia traw

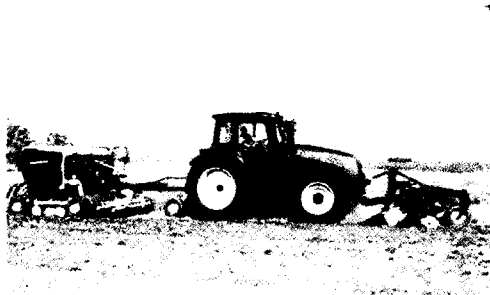
Photo 5.2. One-function sets for ploughing and mowing

W łączeniu agregatów jednoczynnościowych istotny jest rodzaj ciągnika. Do narzędzi pracujących z dużymi oporami powinny być dobierane ciągniki z napędem na dwie osie, charakteryzujące się dużą siłą uciągu. W przypadku narzędzi pobierających moc przez wałek odbioru mocy lub z napędami hydraulicznymi, ważna jest odpowiednia moc silnika ciągnikowego, zapewniająca poprawną pracę napędzanych zespołów roboczych. Współczynnik efektywności wykorzystania mocy silników powinien być wysoki, zapewniający minimalne zużycie paliwa na zabieg.

Jakość pracy jednoczynnościowych zestawów narzędzi w dużej mierze zależy od prędkości roboczej. Dlatego nie można zwiększać szerokości roboczej kosztem ograniczenia prędkości, chociaż w pewnych warunkach wydajność agregatu byłaby większa. Podstawowym wymogiem jest więc dobranie szerokości roboczej, gwarantującej uzyskanie przez agregat prędkości roboczej, optymalnej ze względu na jakość pracy.

Narzędzia i maszyny wieloczynnościowe

Dużą popularność zyskały agregaty wieloczynnościowe, wykonujące w jednym przejeździe kilka operacji technologicznych (fot. 5.3). Są to m.in.: pługi z narzędziami doprawiającymi glebę (wyrównującymi zaoraną powierzchnię, kruszącymi bryły, ugniatającymi i zagęszczającymi glebę w warstwie wierzchniej lub siewnej), brony z włókami i wałami, kultywatory z bronami, włókami i wałami doprawiającymi glebę, siewniki z bronami, zgrzeblami posiewnymi i wałami ugniatającymi.



<http://www.farmer.pl/technika>



<http://www.korbanek.pl>

Fot. 5.3. Wieloczynnościowe zestawy uprawowo-siewne
Photo 5.3. Multifunction tilling and sowing sets

Agregaty realizują jednocześnie uprawę przedsewną, siew nasion i uprawę posiewną, do której najczęściej stosowane są różnego typu zgrzebła zasypujące nasiona znajdujące się w brzdach redlicznych. Dobór prędkości roboczej agregatu wymaga znajomości optymalnych prędkości roboczych, ze względu na jakość pracy, narzędzi wchodzących w zestaw uprawowo-siewny. Najczęściej prędkość robocza zestawu uprawowo-siewnego jest zgodna z prędkością roboczą narzędzia przygotowującego glebę do siewu. Dlatego w zestawach uprawowo-siewnych popularne są: brony aktywne, kultywatory, brony talerzowe, wały kruszące bryły, wyrównujące pole i zagęszczające warstwę wierzchnią gleby.

Podobnie jak w zestawach jednoczynnościowych, zestawy wieloczynnościowe powinny spełniać określone wymagania odnośnie do jakości pracy, wskaźników eksploatacyjnych, bezpieczeństwa i ergonomii pracy obsługi, ekologii.

Równie ważne są: stabilność poprzeczna i podłużna agregatu, stopień wykorzystania mocy silnika ciągnikowego, nieprzekraczanie poślizgów kół napędowych ciągnika. Ciągniki powinny mieć znacznie bogatsze wyposażenie podstawowe i dodatkowe niż w przypadku agregatowania z agregatami jednoczynnościowymi.

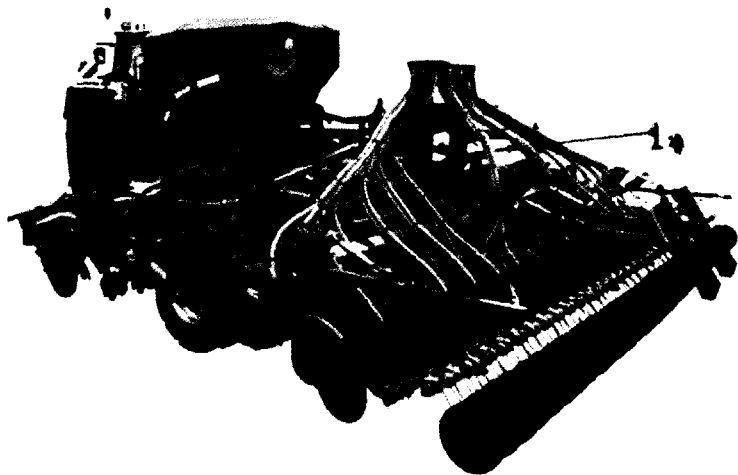
5.3. Wymagania dla ciągników

Tworzenie agregatów jednoczynnościowych i wieloczynnościowych wymaga posiadania odpowiednich ciągników. Gospodarstwa rolne mają najczęściej do dyspozycji od jednego do kilku ciągników, różniących się pod względem mocy silników, klasy siły uciągu, z napędem na jedną lub dwie osie, możliwością przyłączania narzędzi i maszyn zawieszanych i przyczepianych oraz możliwością napędów zespołów roboczych agregatu.

W wyposażeniu dodatkowym ciągniki najczęściej mają dodatkowe koła do tzw. bliźniakowania, często stosowane w agregatach uprawowych i uprawowo-siewnych. Przykładem może być ciągnik MTZ Białoruś 2522 B klasy 50 kN, z ogumieniem o rozmiarze 540/65R30 (koła przednie) i 580/70R42 (bliźniacze koła tylne). Obciążenie od masy ciągnika wynosiło dla osi przedniej 45%, tylnej 55%. Firma Fendt wyprodukowała specjalny ciągnik Fendt Trisix, sześciokołowy, trzyosiowy, z napędem

na trzy osie, z kołami resorowanymi z gumieniem o rozmiarze 600/65R34, z silnikiem o mocy 400 kW. Obciążenie od masy ciągnika rozłożone było równomiernie na wszystkie trzy osie po 33%. Oba ciągniki charakteryzowały te same wartości odległości zaczepu od osi kół jezdnych, wynoszące 0,7 m, i wysokość zaczepu nad ziemią, wynosząca 0,5 m.

Agregatów maszynowych i ciągnikowych jest wiele typów, np.: nawozowo-uprawowo-siewne, pielęgnacyjne (pielniki, opryskiwacze), uprawowo-nawozowo-sadzące. Przykładem może być agregat ciągnikowy uprawowo-nawozowo-sadzający firmy Miedema (fot. 3.13) – ciągnik z sadzarką wielozadaniową, wykonujący operacje technologiczne nawożenia, zaprawiania sadzeniaków, uprawę gleby, sadzenie i formowanie redlin, a także wielofunkcyjny zestaw uprawowo-siewny Cirrus firmy Amazone przeznaczony na duże plantacje (fot. 5.4).



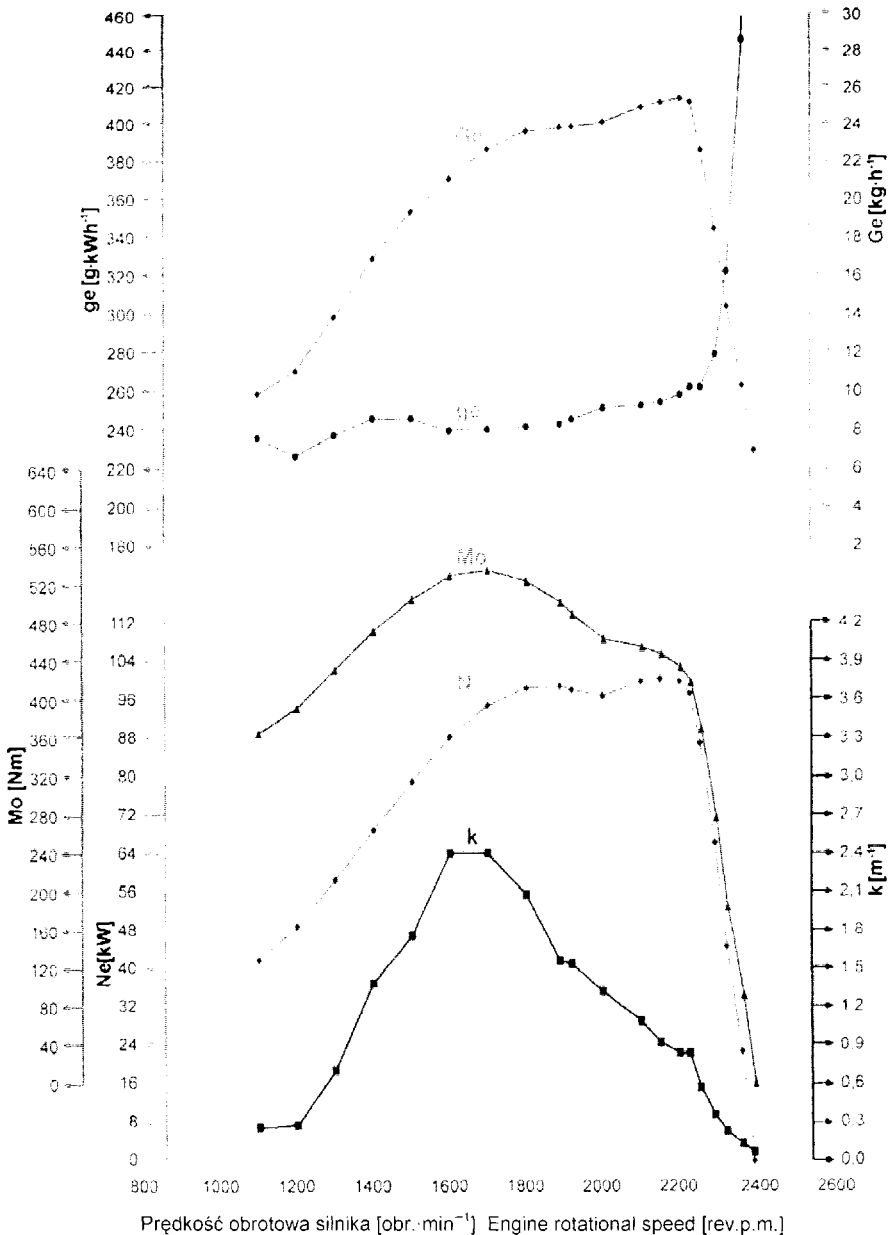
<http://www.amazone.pl/258.asp>

Fot. 5.4. Wielofunkcyjny zestaw uprawowo-siewny Cirrus firmy Amazone
Photo 5.4. Multifunction tilling and sowing set Cirrus of firma Amazone

KONIUZY [2010] w swojej rozprawie habilitacyjnej, której celem było: „opracowanie skutecznej i łatwej do zastosowania w warunkach eksploatacyjnych metody identyfikacji stanów obciążeń ciągnika rolniczego”, wykazał, że dzięki zastosowaniu urządzenia TRS, istnieje możliwość samoczynnej rejestracji stanu obciążeń ciągnika w całym okresie eksploatacji. Ułatwia to racjonalny dobór narzędzi i maszyn rolniczych do ciągnika posiadanego przez gospodarstwo rolne.

5.4. Organizacja zabiegów technologicznych

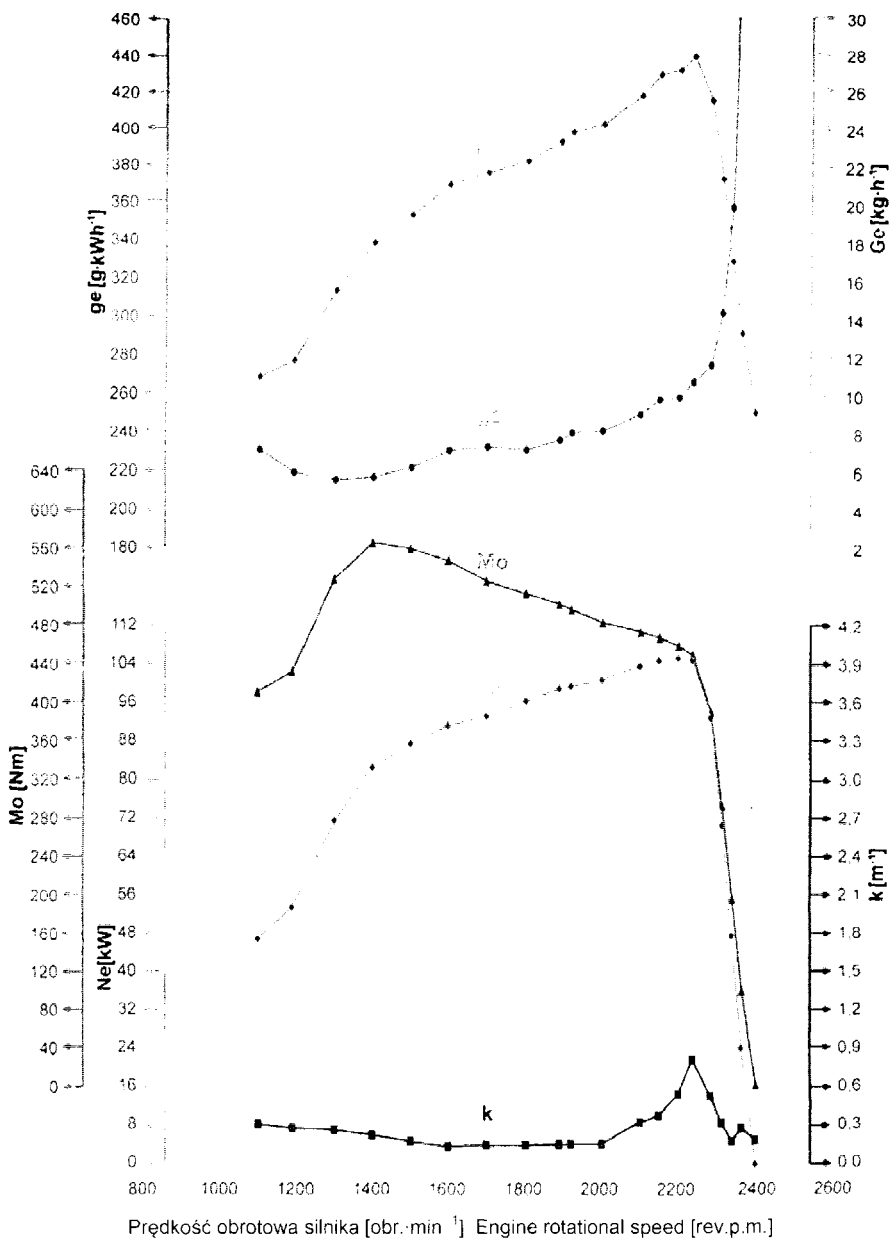
Aby zapewnić wymaganą wydajność agregatów konieczna jest odpowiednia organizacja pracy i dobór maszyn do linii technologicznej. Na przykład w technologii sadzenia ziemniaków sadzarką czterorzędową, zestaw maszyn składa się z sadzarki z ciągnikiem, przyczepy z ciągnikiem dowożącej sadzeniaki i ładowarki przeładunku sadowiarki z przyczepy do zbiornika sadzarki.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.9. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin ciągnika Ursus 1634: Mo – moment obrotowy, Ne – moc, ge – jednostkowe zużycie paliwa, Ge – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin

Fig. 4.9. External characteristics and engine exhaust smokiness of a tractor Ursus 1634: Mo – torque, Ne – power, ge – specific fuel consumption, Ge – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)

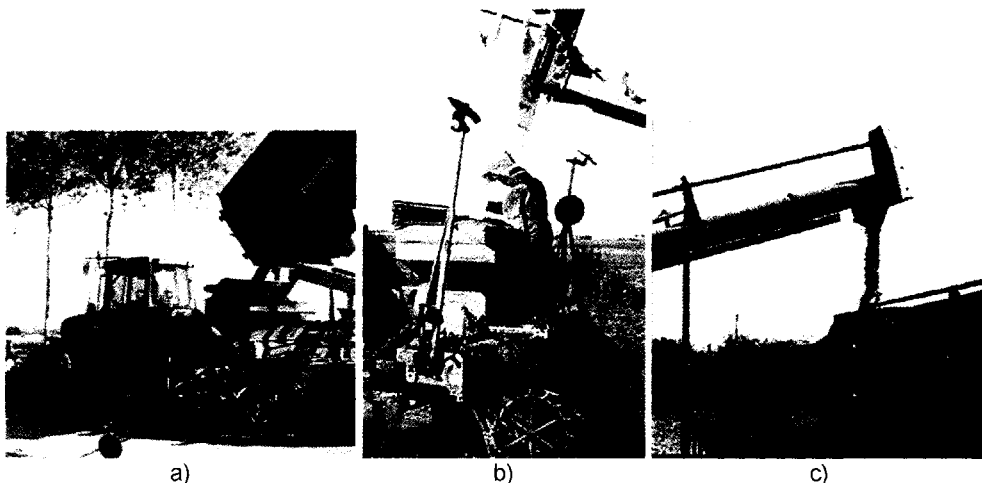


Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4.10. Charakterystyka zewnętrzna i zadymienie spalin ciągnika Ursus 1734: M_o – moment obrotowy, N_e – moc, g_e – jednostkowe zużycie paliwa, G_e – godzinowe zużycie paliwa, k – zadymienie spalin

Fig. 4.10. External characteristics and engine exhaust smokiness in tractor Ursus type U-1734: M_o – torque, N_e – power, g_e – specific fuel consumption, G_e – hourly fuel consumption, k – exhaust smokiness (opacity)

Sposób organizacji pracy zależy głównie od rodzaju wykonywanego zabiegu technologicznego. W przypadku takich zabiegów, jak orka, głęboszowanie, uprawa przed-siewna, wykorzystywane są agregaty ciągnik – narzędzie plus traktorzysta. Liczba takich agregatów zależy tylko od wydajności w okresie agrotechnicznym. Wystarczy podzielić przewidywany areał uprawy przez wydajność sezonową agregatu. W przypadku operacji technologicznych, w których występują dwie lub więcej czynności, organizacja pracy jest bardziej złożona. Na przykład podczas pracy zestawu uprawowo-siewnego z siewnikiem zbożowo-nawozowym należy również uwzględnić czynności związane z dowozem na pole nasion i nawozów oraz ich przeładunku ze środka transportowego do zbiorników siewnika. Duże znaczenie ma rodzaj opakowania nasion i nawozów. Czynność ta powinna być wykonana w krótkim czasie, aby nie występowały przestoje agregatu uprawowo-siewnego. Do załadunku nasion i nawozów do zbiorników siewnika lub rozsiewacza wykorzystywanych jest wiele środków technicznych. Do najpopularniejszych zaliczyć należy: przyczepy ciągnikowe wywrotki do tyłu, z przenośnikiem ślimakowym, przyczepy wysoko podnoszące wywrotki do tyłu, wózki widłowe lub ładowarki do podejmowania kontenerów elastycznych z przyczep lub podłoża i ustawiania nad skrzynią siewnika lub rozsiewacza (fot. 5.5).



Źródło: Source: KOGUT [2004].

Fot. 5.5. Sposoby załadunku nasion i nawozów do siewnika lub rozsiewacza: a) przyczepa wysoko podnosząca, b) urządzenie dźwigowe, c) przenośnik ślimakowy

Photo 5.5. Examples of loading of seeds or fertilizers to drill's or spreader's hopper: a) high lifting dump trailer, b) travelling crane with big-bag adaptor, c) mobile auger conveyor

W zabiegach siewu, nawożenia, sadzenia ziemniaków i ochrony roślin istotne są: długość pola, szerokość robocza maszyn, dawka na hektar. Pojemność zbiornika powinna wystarczać na całkowitą liczbę przejazdów agregatu po polu. Jednocześnie niewskazane jest wożenie w zbiorniku po polu dużego zapasu nasion lub nawozów. Załadunek nasion do siewnika i nawozu do rozsiewacza powinien odbywać się na skraju pola (uwrociach). Z punktu widzenia małego zużycia paliwa, małego ugniata-nia gleby, płytkich kolein, zasadny jest załadunek nasion, ziemniaków lub nawozu

w ilości wystarczającej na dwa przejazdy robocze. Wielkość ładunku wylicza się z dawki na hektar, szerokości roboczej i długości pola. I tak, gdy długość pola wynosi 3 km, dawka nawozu $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i szerokość robocza 24 m – potrzebna na dwa przejazdy masa nawozu wynosi 4320 kg. Konieczny jest zatem rozsiewacz ze zbiornikiem minimum 5 t. Z uwagi na brak na polu wagi do ważenia, stosowane są oznaczenia na skrzyniach ładunkowych, informujące o pojemności (objętości) załadowanego nawozu. Nowsze typy rozsiewaczy nawozowych wyposażane są w automatyczne wagi, które na bieżąco informują o wielkości ładunku w zbiorniku. Pozwala to także kontrolować stosowaną dawkę nawozu mineralnego.

5.5. Wykorzystanie technik satelitarnych w doborze i użytkowaniu agregatów rolniczych

Do rejestracji danych o polu i maszynach rolniczych służą: systemy satelitarne, montowane na samolotach skanery, anteny naziemne oraz nadajniki i odbiorniki montowane na ciągnikach i maszynach rolniczych. BARWICKI i ROMANIUK [2012] scharakteryzowali wykorzystanie zdalnych systemów rejestracji danych do kontroli pól uprawnych. Również BANASZKIEWICZ i in. [2012] scharakteryzowali zastosowanie technik satelitarnych w rolnictwie zrównoważonym, podając wiele przykładów. Techniki satelitarne pozwalają gromadzić informacje o strukturze gleby, uprawianych roślinach, które następnie służą, między innymi, do ustalania dopłat, z wykorzystaniem komputerowego zintegrowanego systemu zarządzania i kontroli IACS (Integrated Administration and Control System). Ponadto służą one do sterowania maszynami rolniczymi, monitorowania plonów, ustalania dawek nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, pomiarów pól uprawnych, rejestracji zachowania się zwierząt gospodarskich, itp. W pracy GAWROŃSKIEGO [2011] podano elementy składowe systemu IACS, a są to: komputerowa baza danych, zawartych we wnioskach pomocowych dla gospodarstw rolnych; system identyfikacji działek rolnych – LPIS (Land Parcels Identification System); system identyfikacji i rejestracji zwierząt, pozwalający na bieżącą kontrolę i weryfikację zgłaszanych wniosków; wnioski pomocowe na programy wspierające rozwój obszarów wiejskich, terenów leśnych oraz chowu i hodowli zwierząt; zintegrowany system kontroli, umożliwiający nadzór administracyjny i inspekcje terenowe.

Ważnym zagadnieniem jest efektywne wykorzystanie możliwości rolniczych urządzeń nawigacyjnych, czego przykładem może być system automatycznego prowadzenia maszyn rolniczych o dużej szerokości roboczej, zwany Controlled Traffic Farming (CTF) [BOCHTIS i in. 2010]. System opiera się na doborze szerokości roboczych maszyn w poszczególnych zabiegach technologicznych uprawy roślin, jak uprawa, siew, pielęgnacja i zbiór, aby było możliwe poruszanie się agregatów zawsze tym samym śladem, co wpływa na ograniczenie ugniatania gleby w porównaniu z tradycyjnie prowadzonymi zabiegami technologicznymi. Wymagane poziomy dokładności prowadzenia maszyn zapewniają, między innymi, rozwiązania odbiornik – dalmierz RTK dla geodetów (dokładność 1 cm) i z poprawkami Trimble RTX (dokładność 4 cm, zasięg 1600 m). W porównaniu z sieciami RTK, technologia RTX nie wymaga gęstej infrastruktury stacji referencyjnych. Użytkownik powinien mieć modem DCM-300 oraz odbiornik AG-372 GNSS. Ponadto w literaturze naukowej dużo miejsca poświęcono problemom związanym z: logistyką pojazdów na obszarach

wiejskich [BOCHTIS, SØRENSEN 2009], minimalizacją drogi przejazdów jałowych agregatów po polu [BOCHTIS, VOUGIOUKAS 2008], zarządzaniem rolniczym parkiem maszynowym [SØRENSEN, BOCHTIS 2010].

Mapy zwięzłości gleby sporządzone metodą kriging

Zwiększenie efektywności pracy agregatów uprawowych jest możliwe drogą ich adaptacji do lokalnych warunków glebowych uprawianego pola. Na podstawie analizy właściwości fizykomechanicznych i technologicznych gleb ustalono, że najbardziej istotną, ogólną i podstawową cechą gleby jest jej zwięzłość, która w pełni i ogólnie charakteryzuje pole uprawne z punktu widzenia energochłonności uprawy [KAMIŃSKI, MAKSYMOW 2004; KAMIŃSKI, ORDA 2004; MISZYN, KAMIŃSKI 2002]. Zwięzłość gleby w warstwie powierzchniowej jest wielkością zmienną i losową [MARCZUK 2006; USOWICZ 1999]. Badania wielu autorów wykazały, że zwięzłość gleby na określonym odcinku pola zmienia się wiele razy w zależności od wilgotności, zawartości próchnicy, okresów i sposobów uprawy, stopnia pokrycia roślinnością i innych czynników.

Przestrzenną zmianę zwięzłości gleby można przedstawić w postaci mapy (wykresów) posiadającej izolinie – linie równych wartości zwięzłości gleby, za pomocą specjalnych interpolacyjnych metod matematycznych z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej (ETO) [KAMIŃSKI, CZIGAREW 2007]. Opracowanie map (wykresów) z izoliniami za pomocą ETO powinno włączać etap pośredni – opis matematyczny powierzchni [MISZYN, KAMIŃSKI 2002]. Wtedy odpowiedni program na ETO pozwoli wykreślić izolinie interesujących nas wielkości na bazie zależności matematycznych. Zbudowanie modelu matematycznego zmian zwięzłości gleby jest konieczne do przystosowania agregatów uprawowych wchodzących w system „pole – maszyna – operator” z zastosowaniem w przyszłości komputerów pokładowych.

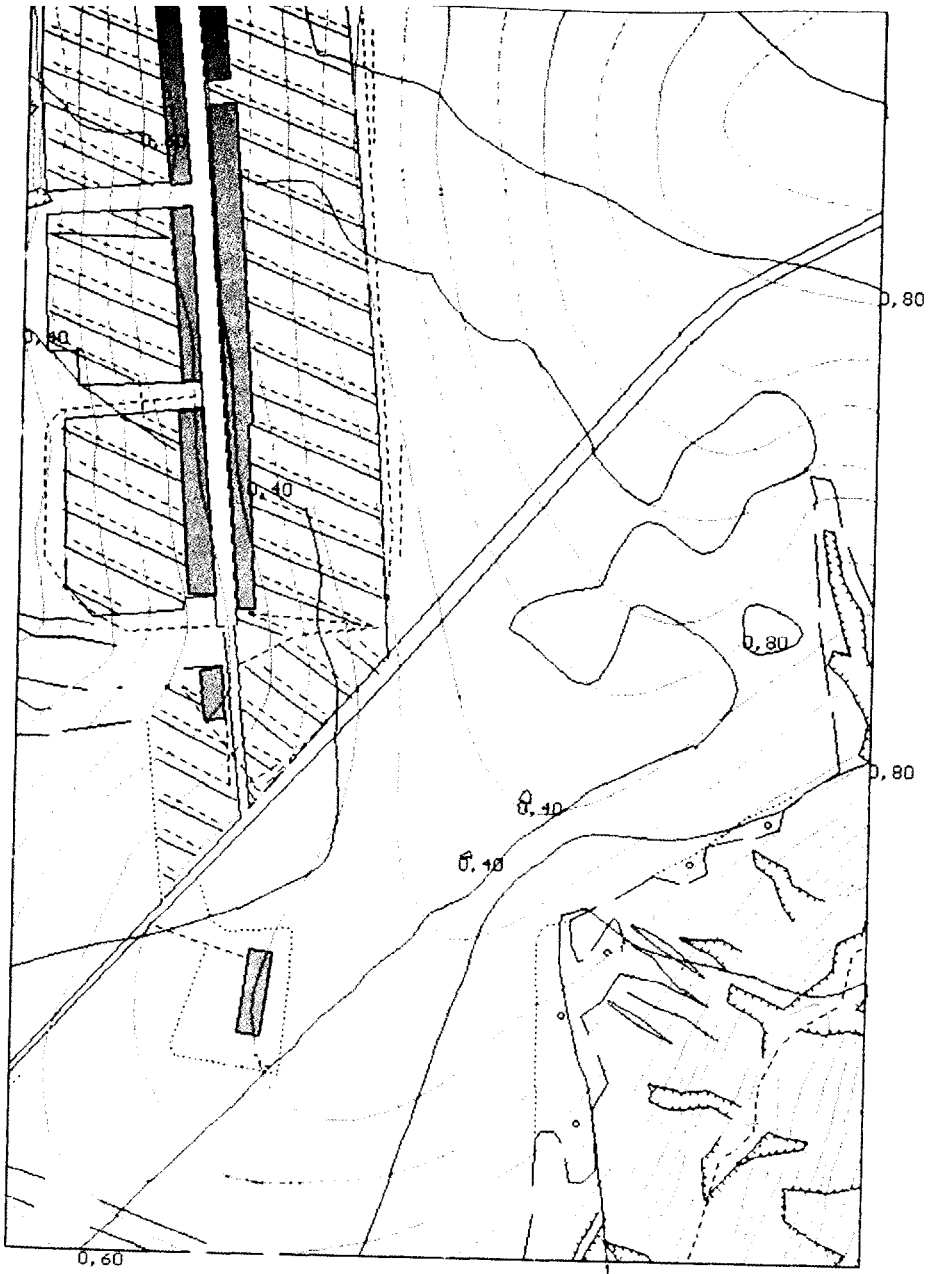
Metodyka badań

Wykreślanie map z izoliniami za pomocą ETO wykonywane jest metodą triangulacji, albo metodą sieci [DEVIS 1990; MATERON 2009]. Metoda sieci w porównaniu z metodą geostatystyki liniowej – kriging (nazwa od nazwiska Krige'a – pioniera tej metody), jest bardziej efektywnym sposobem wykreślania izolinii przestrzennego rozmieszczenia zwięzłości gleby na badanych poletkach pola uprawowego. Do opisu tą metodą matematycznej powierzchni badanej wielkości na dowolnym poletku pola uprawowego posługiwano się wyrażeniem służącym do wyznaczania zwięzłości gleby T_B w rozpatrywanym węźle sieci p z k bliskich mu kontrolnych punktów w postaci ogólnej:

$$T_{Bp} = \sum_{i=1}^k Q_i \cdot T_{Bi} \quad (5.1)$$

gdzie:

Q_i – waga i -tej wartości zwięzłości gleby T_{Bi} odniesiona do wyznaczanej w punkcie p na podstawie k kontrolnych punktów.



Źródło: Source: MISZYN, KAMIŃSKI [2002].

Rys. 5.1. Przykładowa mapa zwięzłości gleby w izoliniach: – linie niebieskie oznaczają linie stałej zwięzłości gleby

Fig. 5.1. Example of map of soil compaction in the isolines: – blue lines are lines of equal soil compaction

6. BADANIA CIĄGNIKÓW I MASZYN

6.1. Parametry techniczno-eksploatacyjne ciągników

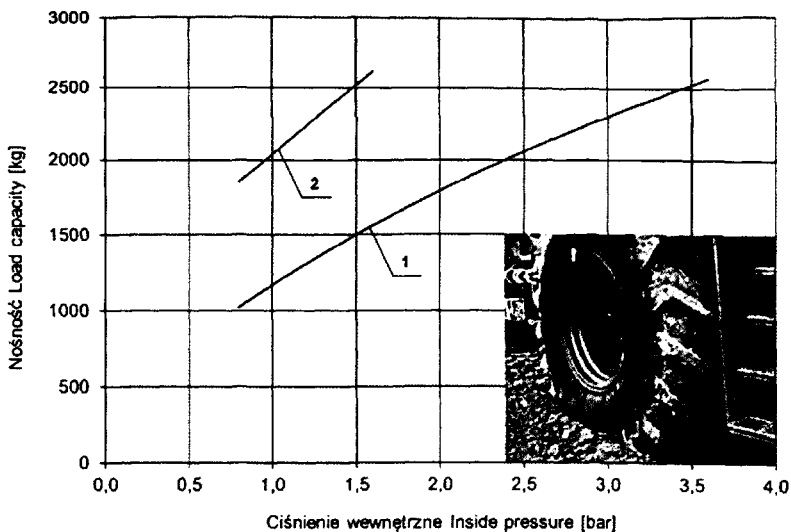
Literatura dotycząca badań zestawów ciągnik – maszyna rolnicza jest obszerna i systematycznie się powiększa [KIEFER, WOLFOWITZ 1959]. SKROBACKI i EKIELSKI [2006] dużo uwagi poświęcają statyce i dynamice pojazdu oraz warunkom pracy pojazdów terenowych. BOCHEŃSKI [2003] szczegółowo przebadał przebieg procesu spalania pojedynczej dawki paliwa ciekłego (oleju napędowego), wtryskiwanej do komory spalania o stałej objętości w silniku Diesla, jako podstawowej jednostce napędowej stosowanej w ciągnikach rolniczych, maszynach rolniczych i roboczych, a także w pojazdach ciężarowych stosowanych w transporcie. BOCHEŃSKI [1990] zajmował się również konstrukcją, badaniami i eksploatacją silników wysokoprężnych stosowanych w rolnictwie. Zagadnienia dostosowania pracy silników ciągników i samojedznych maszyn do pracy w rolnictwie w zakresie emisji toksycznych składników spalin i paliwa ekologicznego szczegółowo opisał KRASOWSKI [2000].

W publikacjach naukowych wskazuje się różne rozwiązania, mogące ograniczyć skutki ugniatania gleby, jak np. stosowanie odpowiedniego ogumienia, zmniejszenie ciśnienia w oponach, łączenie zabiegów, stosowanie ścieżek przejazdowych.

W swoich pracach BULIŃSKI i MARCZUK [2007] oraz LANDIS i in. [2007], za szczególnie ważne uznali odpowiednie zestawienie agregatu. W rozprawie doktorskiej POWAŁKI [2005] szczegółowo przebadano wpływ nacisków kół ciągników rolniczych na zagęszczenie gleby w warstwie ornej. Wykres, we współrzędnych prostokątnych, nośność opony w funkcji ciśnienia powietrza w oponie, dla dwóch rozmiarów opon 11.2R42 oraz 16.9R34, przy prędkości jazdy $30 \text{ km} \cdot \text{km}^{-1}$, zamieszczono na rysunku 6.1.

JAKLIŃSKI [2006] dokonał szczegółowego przeglądu konstrukcji i rozwoju mechanizmów jezdnych stosowanych w maszynach i ciągnikach rolniczych, wykazał również współzależności zjawisk występujących między mechanizmem jezdnym a podłożem, z którym bezpośrednio on współpracuje. KONIUSZY [2008] oraz LANDIS i in. [2007] skupili się na sporządzeniu charakterystyki gęstości czasowej, na podstawie której można tworzyć uproszczone cykle obciążeń do oceny właściwości użytkowych badanej grupy pojazdów. W znanych laboratoriach badań ciągników wyznaczono wskaźnik stałej mocy w zakresie określonych prędkości obrotowych [LEVITICUS 2015; Zoz i in. 1999], a także wskaźnik przyrostu momentu obrotowego. Francuska baza danych zawiera wybrane parametry z testów OECD, a także charakterystyki zbadanych ciągników.

Obecnie w praktyce projektowej wykorzystuje się oddzielnie metodyki badań poszczególnych układów ciągników i maszyn rolniczych. Rozwiązuje się problemy geometrycznego, kinematycznego, siłowego dopasowania parametrów ciągników i maszyn rolniczych. Problemy energetycznego i dynamicznego dopasowania części składowych agregatu maszynowego dotychczas nie zostały zadowalająco rozwiązane. Nie został sformułowany problem doboru optymalnych reżimów pracy agregatu ciągnikowego.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: POWAŁKA [2005].
 Source: own elaboration based of POWAŁKA [2005].

Rys. 6.1. Nośność opon w funkcji ciśnienia powietrza w oponie (gdy prędkość wynosi $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$): 1 – opona 11,2 R42 do prac pielęgnacyjnych, 2 – opona 16,9 R34 standardowa (normalna)

Fig. 6.1. Tire load capacity as a function of inside pressure (at $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$): 1 – tire 11,2 R42 for interrow cultivation, 2 – standard tire 16,9 R34 (normal tire)

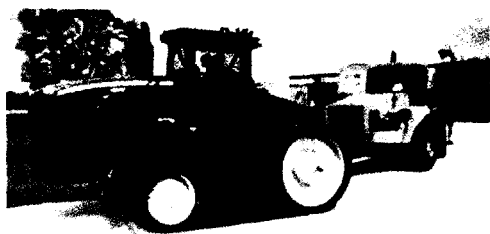
Badania stanowiskowe

Pomiary właściwości trakcyjnych ciągników wykonuje się na stanowiskach lub betonowym torze badawczym, jaki istnieje np. w Mazowieckim Ośrodku Badawczym ITP (dawny IBMER O/Kłudzienko). Mogą to być m.in. pomiary siły uciągu na torze, służące do sporządzenia charakterystyki trakcyjnej ciągnika (fot. 6.1).

Badania silników za pomocą wałka odbioru mocy (WOM) ciągników rolniczych wykonuje się na hamowni do sporządzania charakterystyk: zewnętrznej, uniwersalnej i regulatorowej. Mogą one być prowadzone zarówno na stanowiskach stacjonarnych, jak i mobilnych (fot. 6.2).

Wykresy godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej wału silnika zamieszczono na rysunkach 6.2 i 6.3. Natomiast na rysunku 6.4 zamieszczono wykresy jednostkowego zużycia paliwa w funkcji mocy silnika.

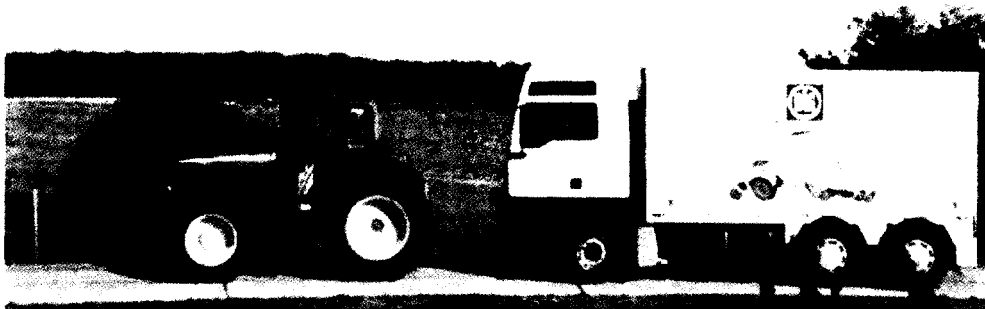
Do sporządzania charakterystyk wewnętrznych układów hydraulicznych ciągników służą różnego typu stanowiska badawcze. Przykładowe, wykorzystywane w Mazowieckim Ośrodku Badawczym ITP w Kłudzienku, składa się ze specjalnych ram z trzypunktowym układem zawieszenia na podnośniku hydraulicznym ciągnika, wyposażonych w zawiesia do kosza z obciążnikami (rys. 6.5). Na rysunku 6.5 zamieszczono również poglądowy schemat geometrii trzypunktowego układu zawieszenia ciągnika, wykorzystywany do badań udźwigu podnośnika na ramie badawczej.



a)



b)



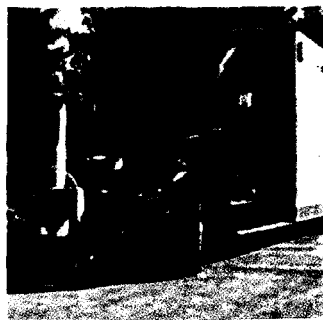
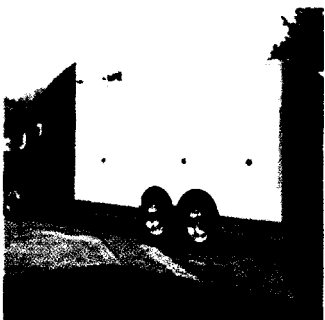
c)

a) i b) <http://www.tractortestlab.unl.edu>

c) http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/test/DLG_Test_for_Practical_Users.pdf

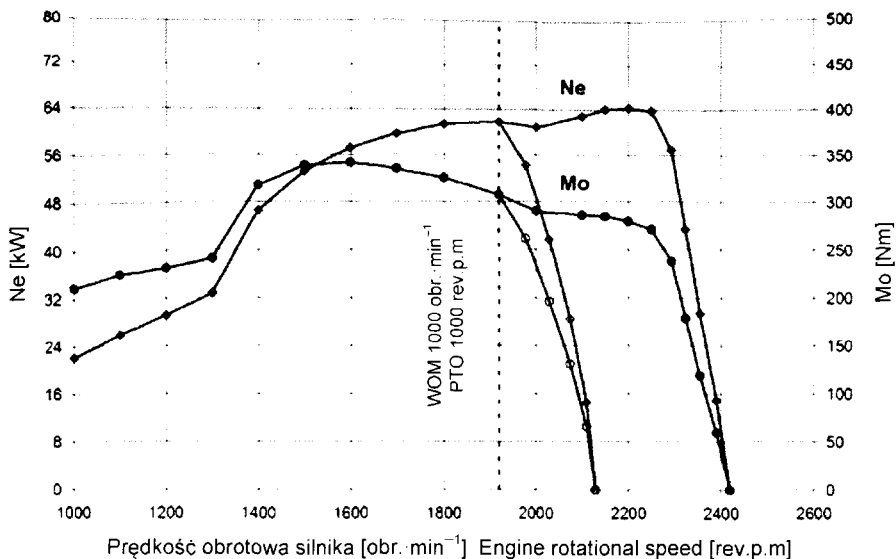
Fot. 6.1. Zestawy ciągnik i wóz pomiarowy do badań uciągu na torze ciągnikowym:
a) badania ciągnika na gąsienicach gumowych, b) wóz pomiarowy, c) badania
ciągnika z napędem na przednią oś

Photo 6.2. Tractors and moving testing wagon for pull-tests on track: a) pull-test of a crawler
tractor, b) testing wagon, c) pull-test of a tractor with front axle drive



<http://www.mustangdyne.com/mustangae/project-spotlights/mac-delivers-nebraska-tractor-test-complicuet-mobile-tow-dynamometer-laboratory-to-inifap/>

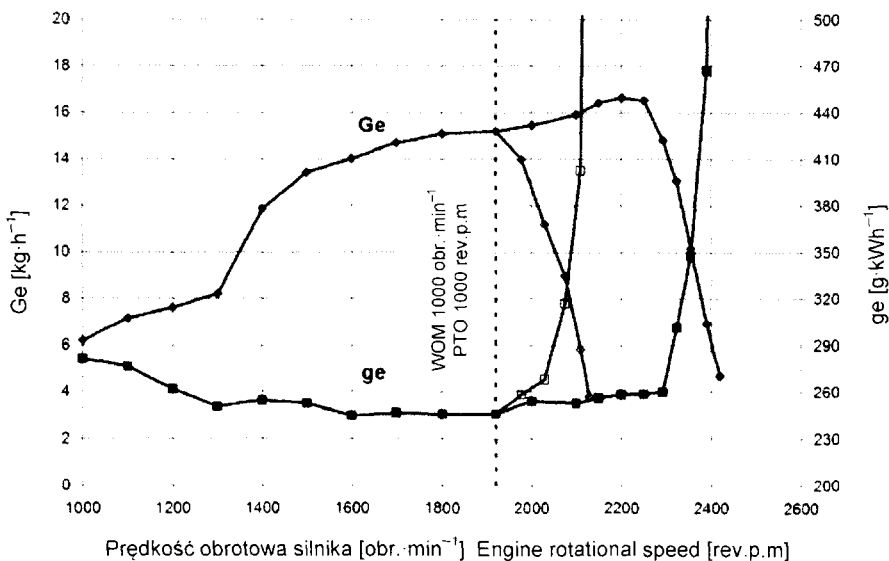
Fot. 6.2. Mobilne stanowisko badawcze firmy Mustang Advanced Engineering (MAE) do
sporządzania charakterystyki zewnętrznej, uniwersalnej i regulatorowej silnika
Photo 6.2. Mobile test rig for measuring external and governor characteristics of engines



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 6.2. Wykres mocy N_e i momentu obrotowego M_o silnika w funkcji prędkości obrotowej silnika

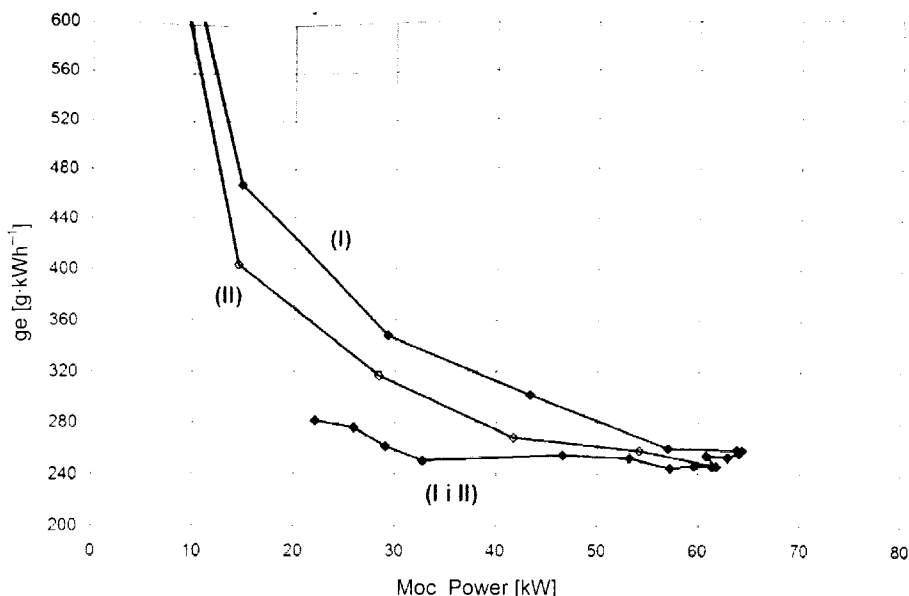
Fig. 6.2. Diagram of engine power N_e and torque M_o as a function of rotational speed



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 6.3. Wykres godzinowego G_e i jednostkowego g_e zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej silnika

Fig. 6.3. Diagram of hourly G_e and specific g_e fuel consumption as a function of engine rotational speed



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

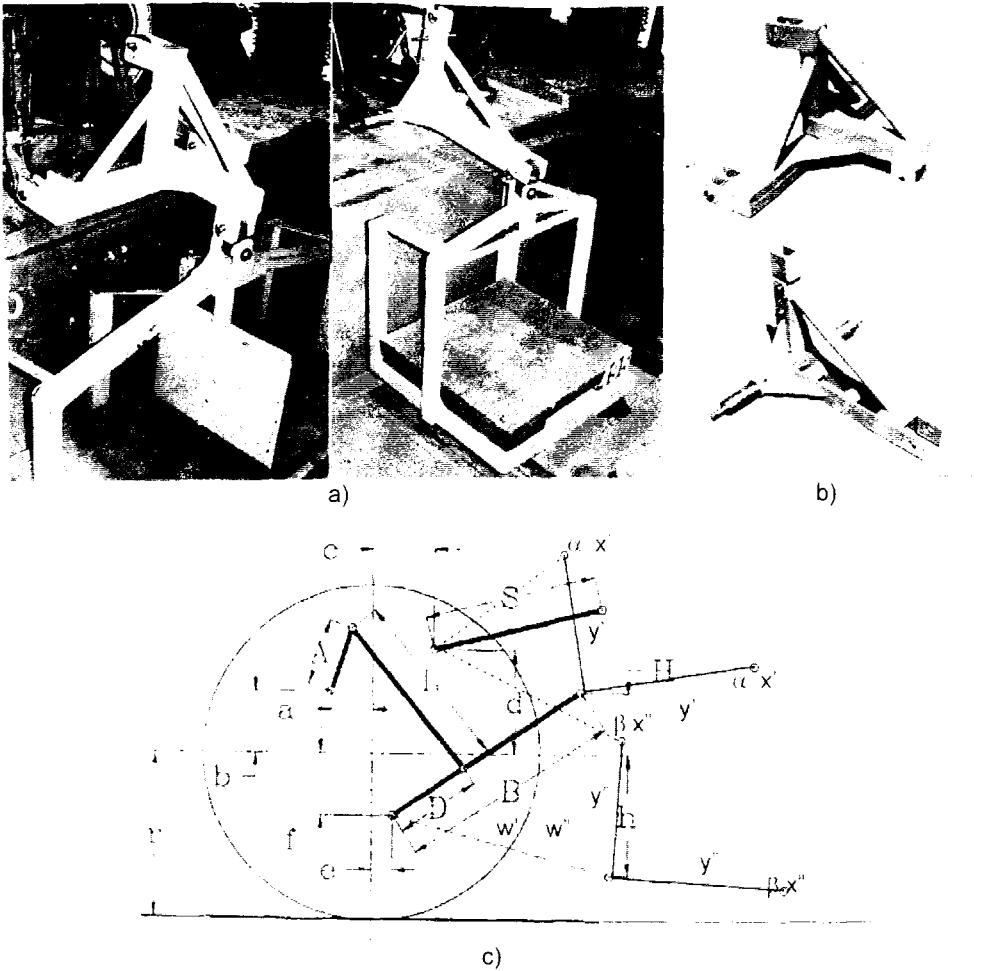
Rys. 6.4. Wykres jednostkowego zużycia paliwa g_e w funkcji mocy silnika: (I) – przy ustawieniu dźwigni sterującej dawką paliwa na pełne podawanie, (II) – przy ustawieniu dźwigni sterującej dawką paliwa w pozycji odpowiadającej znormalizowanej prędkości obrotowej WOM w pełnym obciążeniu

Fig. 6.4. Diagram of specific fuel consumption g_e as a function of engine torque: (I) – fuel dose selector lever set-up on position “full feed”, (II) – fuel dose selector lever set-up on standardized speed of PTO at full load

Do badań hydrauliki zewnętrznej ciągnika rolniczego wykorzystywana jest aparatura i urządzenia pomiarowe typu: objętościowy przepływomierz turbinowy, (fot. 6.3), urządzenie pomiarowe wraz z trójnikiem przyłącza czujników i czujnikami ciśnienia i temperatury (fot. 6.4).

Poza tym wykonuje się: badania układów hamulcowych na torze za pomocą opóźniomierza, badania i pomiary do charakterystyki technicznej ciągnika, tj. promienia zawracania, środka ciężkości, stateczności, nacisków na osie, mas obciążających itp.

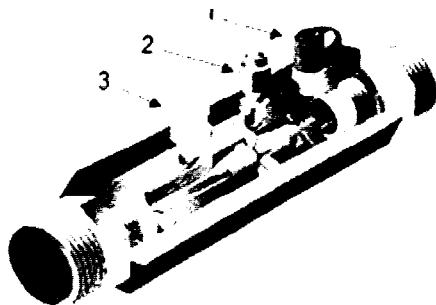
Istotne z punktu widzenia wpływu na środowisko pomiary składu spalin i ich zadyfuzji omówiono szczegółowo w rozdziale 4.5.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

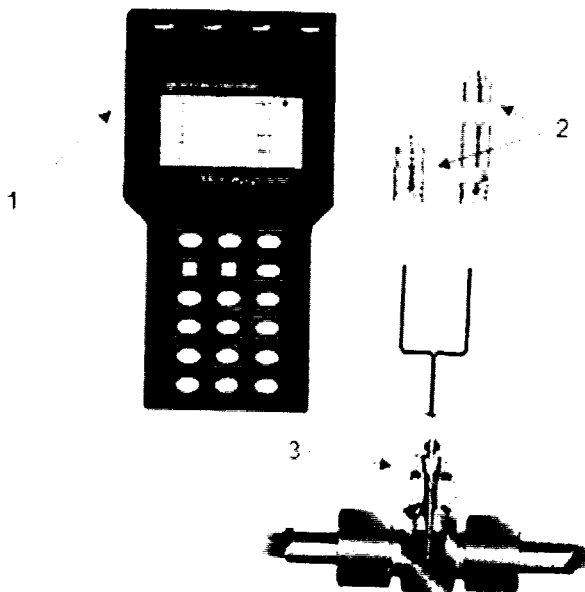
Rys. 6.5. Stanowisko do badań hydrauliki wewnętrznej ciągnika: a) widok ogólny układu zawieszenia i kosza na obciążniki, b) ramy z trzypunktowym układem zawieszenia, c) poglądowy schemat trzypunktowego układu zawieszenia

Fig. 6.5. Test stand for testing of internal hydraulic system of tractors: a) outside view of the three point mounting system with box for loading weights, b) frames with three point linkages, c) pictorial scheme of three point linkage system



Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów informacyjnych firmy Radiotechnika.
 Source: own elaboration based of producer's information.

Fot. 6.3. Objętościowy przepływomierz turbinowy: 1 – przyłącze czujnika ciśnienia, 2 – czujnik natężenia przepływu, 3 – przyłącze czujnika ciśnienia i temperatury
 Photo 6.3. Volumetric turbine flow – meter: 1 – pressure gauge joint, 2 – rate of flow gauge, 3 – joint of the pressure and temperature gauge



Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów informacyjnych firmy Radiotechnika.
 Source: own elaboration based of producer's information.

Fot. 6.4. Urządzenie pomiarowe wraz z trójnikiem przyłącza czujników i czujnikami ciśnienia i temperatury oleju: 1 – programowane urządzenie sterująco-rejestrujące, 2 – czujniki ciśnienia i temperatury, 3 – przyłącze czujnika ciśnienia i temperatury
 Photo 6.4. Measuring device with triple gauge connector and oil pressure and temperature gauges: 1 – programable controlling and recording device, 2 – pressure and temperature gauges, 3 – joint of pressure and temperature gauge

6.2. Baza danych o zbadanych ciągnikach rolniczych

Wszystkie czołowe laboratoria z krajów OECD, badające ciągniki rolnicze zawarły porozumienie o wykonywaniu tych badań, według uzgodnionych metodyk, tzw. kodów, i o wzajemnym uznawaniu raportów z tych badań na rynkach krajów uczestniczących w porozumieniu. Laboratoria te dostają raporty z badań w wersji papierowej, a obecnie mają dostęp do ich wersji elektronicznej (rys. 6.5). W laboratorium dawnego Zakładu Motoryzacji IBMER powstała baza danych o ciągnikach, oparta na tych raportach.

Wybierz zakres mocy poszukiwanych ciągników		Wybierz rok		
do 15 kW	od 70 do 100 kW	Wybierz zakres lat (od 1989 do 1999)		
od 15 do 30 kW	od 100 do 130 kW			
od 30 do 50 kW	od 130 do 180 kW			
od 50 do 70 kW	pow 180 kW			
od 0 do 350 kW				
		Wszystkie po 1.01.83	Wszystkie po 1.01.89	Wszystkie po 1.01.90
Wybierz typ ciągników, o których chcesz uzyskać informacje		Arkusz przeliczany ręcznie		
		Włącz auto	Wyłącz auto	Do tabeli

Źródło: opracowanie Zakładu Motoryzacji i Transportu MOK Kludzienko/IBMER.

Source: elaborated of Motorisation and Transport Testing Laboratory of farmer Institute IBMER.

Rys. 6.5. Baza danych dotycząca ciągników rolniczych: wybierz zakres mocy poszukiwanych ciągników, wybierz rok, wybierz zakres lat, wszystkie po, wybierz typ ciągników, o których chcesz uzyskać informacje, arkusz przeliczany ręcznie, włącz auto, wyłącz auto, do tabeli

Fig. 6.5. Data base of agricultural tractors: select range of power of searched tractors, select the year, select the range of years, all after, select type of tractors of which you search for the information, manually recounted sheet, auto switch on, auto switch out, to the table

Przykładowy algorytm korzystania z bazy jest następujący:

```
Sub Pobierz_daty()
' Makro Pobierz_daty
Kom = "Podaj początkowy rok"
Tytuł = "Rok startu"
Data_pocz = Application.InputBox(Kom, Tytuł, Left:=150, Top:=200, Type:=2)
Sheets("Tabela").Select
```

```
Range("po83").Select
If Data_pocz = 1989 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1152"
Elseif Data_pocz = 1990 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1222"
Elseif Data_pocz = 1991 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1298"
Elseif Data_pocz = 1992 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1345"
Elseif Data_pocz = 1993 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1418"
Elseif Data_pocz = 1994 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1502"
Elseif Data_pocz = 1995 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1542"
Elseif Data_pocz = 1996 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1587"
Elseif Data_pocz = 1997 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1643"
Elseif Data_pocz = 1998 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1727"
Elseif Data_pocz = 1999 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ">=1803"
End If
Range("po83_1").Select
ActiveSheet.Paste
Range("po83_2").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
Kom = "Podaj końcowy rok"
Tytuł = "Rok końca"
Data_kon = Application.InputBox(Kom, Tytuł, Left:=150, Top:=200, Type:=2)
Sheets("Tabela").Select
Range("Przed83").Select
If Data_kon = 1989 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "<1222,,
Elseif Data_kon = 1990 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "<1298"
Elseif Data_kon = 1991 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "<1345"
Elseif Data_kon = 1992 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "<1418"
End If
Range("przed83").Select
Selection.Copy
Range("przed83_1").Select
ActiveSheet.Paste
Range("przed83_2").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
Aktualizuj
End Sub
```

Tabela 6.2. Wyniki badań 18 ciągników o mocy silników od 18 do 143,8 kW
 Table 6.2. Test results for 18 tractors with engines from 18 to 143,8 kW of power

Pozycja w bazie Position in base	Ciągnik Tractor	Moc maksymalna (próba dwugodzinna) Maximal power (2-hour trial)			Moc przy znormalizowanej prędkości obrotowej WOM Power at normalized PTO rotational speed [kW]	Zużycie paliwa w warunkach obciążeń częściowych przy pełnym podawaniu Fuel consumption at partial loads and full feed rate				Nr OECD Number of OECD test report
		Moc Power [kW]	Prędkość obrotowa silnika [obr.·min ⁻¹] Rotational speed of engine [rpm·min ⁻¹]	Jednostkowe zużycie paliwa [g·kWh ⁻¹] Specific fuel consumption [g·kWh ⁻¹]		85% MNmax		42,5% MNmax		
						[dm ³ ·h ⁻¹]	[g·kWh ⁻¹]	[dm ³ ·h ⁻¹]	[g·kWh ⁻¹]	
712	Massey Ferguson 8210	94,4	2 017	269	93,9	29,05	312	20,74	436	1 889
713	Massey Ferguson 8210	94,4	2 017	269	93,9	29,05	312	20,74	436	1 888
714	Goldoni Idea 40DT John Deere 1046	23,4	2 997	358	22,6	9,16	365	6,24	488	1 880
715	Goldoni 3070 Star V John Deere 2070 V	45,8	2 562	255	43,2	11,86	256	8,02	330	1 879
716	Masey Ferguson 6290	94,1	2 000	247	94,1	26,58	287	18,11	384	1 878
717	LG LT 380 D	25,4	2 599	291	25,2	22,20	299	5,39	396	1 876
718	LG LT 3000	20,6	2 520	294	19,7	6,47	313	4,17	397	1 875
719	Massey Ferguson 6290	94,1	2 000	247	94,1	26,58	287	18,11	384	1 874
720	Massey Ferguson 8260	143,8	1 900	245	140,0	39,77	283	26,71	370	1 871
721	Massey Ferguson 8260	143,8	1 900	245	140,0	39,77	283	26,71	370	1 870
722	Massey Ferguson 8280	178,5	1 906	240	172,5	49,54	280	31,44	342	1 869
723	Tong Yang T 390	23,3	2 750	298	23,0	7,73	320	5,34	435	1 868
724	Tong Yang T 280	18,0	2 600	285	17,9	5,68	298	3,89	399	1 867
725	Ursus 1734	114,7	2 200	250	108,5	31,82	264	19,54	315	1 866
726	Massey Ferguson 6255	63,6	2 200	288	62,1	20,78	321	13,81	424	1 865
727	Massey Ferguson 6260	69,4	2 208	273	66,7	19,79	288	12,98	370	1 864
728	Massey Ferguson 8280	87,2	2 000	255	87,2	25,34	304	18,14	417	1 863
729	Massey Ferguson 6245	60,0	2 059	265	59,3	17,26	301	12,12	416	1 862

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportów OECD. Source: own elaboration based on OECD test reports.

Przykładowe wyniki badań ciągników rolniczych, znajdujące się w bazie danych, zamieszczono w tabelach 6.2 i 6.3. Dla 18 ciągników podano: moc maksymalną, moc przy znamionowej prędkości obrotowej WOM, zużycie paliwa przy obciążeniach częściowych z pełnym podawaniem paliwa (tab. 6.2). Wyniki badań hydraulicznych, podnośnika i udźwigu przedstawiono w tabeli 6.3.

6.3. Planowanie eksperymentów

Ważną rolę w rozwoju nauki zarówno w badaniach przyrodniczych, jak i technicznych spełnia eksperyment. Stał się więc przedmiotem badań, w rezultacie czego pojawił się nowy kierunek naukowy zwany teorią planowania eksperymentów. Historycznie planowanie eksperymentów pojawiło się w pracach FISZERA [1935; 1971], a następnie w pracach BOXA i WILSONA [1951]. W drugiej połowie lat 50. KIEFER i WOLFOWITZ [1959] opracowali i sformalizowali podstawy nowych planów eksperymentu, tzw. planów optymalnych, które zostały przekształcone w teorię. Kształt współczesnej teorii planowania eksperymentów określili, między innymi, tacy uczeni, jak: NALIMOV, ČERNOVA [1967], KRASOVSKIJ i FILARETOV [1982], ALDRICH [2007], RAFAJŁOWICZ [1996; 2005], który dużo uwagi poświęcił algorytmom i optymalizacji. Opracowane ostatnio plany zakładania eksperymentów znacznie zwiększały efektywność badań eksperymentalnych. Matematycznym aparatem teorii planowania eksperymentów jest teoria prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i niektóre rozdziały matematyki stosowanej, takie jak metody cyfrowe i matematyczne programowanie, w tym rachunek wariacyjny obejmujący zadania wariacyjne, ciągłość i różniczkowalność, ekstremum funkcjonu [GRZYMKOWSKI, POCHCIAŁ 2009]. Podobnie jak w innych kierunkach naukowych i w tej dziedzinie wypracowano system podstawowych pojęć i określeń, jak: eksperyment, obiekt badań, plan eksperymentu, parametr optymalizacji.

Obiekt badań. Każdy obiekt badań można przedstawić w postaci czarnej skrzynki z określoną liczbą wejść i wyjść. Strukturalny obiekt badań z addytywnym (sumarycznym) zakłóceniem składa się z następujących elementów:

- wektora „X”, charakteryzującego wejściowe, kontrolowane i sterowane zmienne, które badacz może zmieniać według swojego uznania;
- wektora „Z”, charakteryzującego zmienne wejściowe kontrolowane, którymi nie można sterować;
- wektora „E”, charakteryzującego zmienne nie sterowalne i niekontrolowane;
- wektora „Y”, charakteryzującego wielkości wyjściowe (opis badanych właściwości lub jakości obiektu).

Zmienne X i Z przyjęto nazywać czynnikami. Czynniki mogą zmieniać się w czasie, czyli są zdeterminowane (część czynników X) lub być zmiennymi losowymi (część czynników Z). Kontrolowane zmienne tworzą przestrzeń czynników. Zmienne grupy E, w swoim charakterze są zmiennymi zakłóceń. Przy czym ich wpływ na zmienne wyjściowe Y może być dwojaki:

- jeśli założyć, że czynniki X i Z są ustalone (ustabilizowane) w czasie, to pod wpływem czynników E czynnik Y może zmieniać się dostatecznie systematycznie (sytuacja, kiedy mówimy, że mamy do czynienia z „dryfowaniem obiektu”);
- lub praktycznie nieokreślonym, przypadkowym obrazem i wtedy mówimy o występowaniu losowego zakłócenia, losowego pola szumów.

Z fizycznego punktu widzenia, zmienne E odnoszą się przede wszystkim do błędów aparatury pomiarowej lub metod analizy, a także niekontrolowanych zmian w obiekcie pod wpływem środowiska zewnętrznego oraz nieuwzględniane zmienne, wynikające z błędu eksperymentu lub z niemożliwości ich pomiaru. Do zmiennych (czynników) danej grupy można zaliczyć: wykwalifikowanie obsługi (szczególnie aparatury pomiarowej), metody pomiaru, stopień zabezpieczenia aparaturowego. To są te zmienne, które w danym konkretnym eksperymencie mogą nie pojawić się, ale które mogą utrudnić porównanie rezultatów otrzymanych w różnych laboratoriach i przez różnych badaczy.

Większość metod planowania eksperymentów rozwinęła się dla przypadku, gdy wymiar wektora X wynosi 1 i wpływ zmiennych E (pole szumu) można przedstawić w postaci addytywnej składowej wielkości mierzonej Y , tj. w postaci ekwiwalentnej, sprowadzonej do wyjścia obiektu addytywnego zakłócenia (szumu). Zmienną wyjściową Y – zależną od zmieniającego się obiektu – nazywa się odchyłką lub parametrem optymalizacji, natomiast zależność odchyłki od rozpatrywanych czynników – funkcją odchyłki, a geometryczne przedstawienie odchyłki – powierzchnią odchyłek. Praktycznie metody planowania eksperymentów wykorzystywane są do budowy modeli statystycznych, w wyniku czego metody te nazywane są statystycznymi metodami planowania eksperymentów.

Ze statystycznych modeli najbardziej przydatne okazały się modele regresyjne (modele analizy regresyjnej). Modele można interpretować jako rozłożenie niewiadomej funkcji odchylenia w szereg, według pewnego systemu funkcji bazowych (w szereg trygonometryczny Fouriera, w szereg według różnych systemów ortogonalnych wielomianów lub funkcji, w szereg Taylora). W ostatnim przypadku mają miejsce wielomianowe regresyjne modele różnego rzędu (rzędu pierwszego – liniowa, zakładana wielomianem pierwszego rzędu dla zmiennych, rzędu drugiego – kwadratowa, zakładana wielomianem rzędu drugiego dla zmiennych itd.).

Eksperyment to system operacji, oddziaływań i obserwacji ukierunkowanych na otrzymanie informacji o obiekcie badań.

Doświadczenie (próba) oznacza prześledzenie badanego zjawiska w określonych warunkach przeprowadzenia eksperymentu z możliwością rejestracji wyników.

Plan eksperymentu – jest to zbiór danych, określających liczbę, warunki i kolejność realizacji prób.

Planowanie eksperymentu – jest to wybór planu eksperymentu, spełniającego zadane wymagania.

Zarówno czynniki, jak i parametr optymalizacji powinny spełniać określone wymagania, w tym następujące czynniki procesu technologicznego:

- powinny być sterowalne, tj. pozwalające badającemu ustalać wymagane wartości czynnika z zachowaniem stałości w czasie;
- dla dowolnej pary czynników (zmiennych) powinien być spełniony warunek łączności – ich połączenie nie powinno naruszać procesu technologicznego;

Tabela 6.3. Wyniki badań hydrauliki, podnośnika i udźwigu 21 ciągników
 Table 6.3. Tester results of hydraulic system, lift and lifting capacity for 21 tractors

Pozycja w bazie Position in data base	Ciągnik Tractor	Hydraulika Hydraulic system			Badania podnośnika Lift testing				Udźwig do mocy Lifting capacity to power index
		Wydatek Discharge [dm ³ ·min ⁻¹]	Ciśnienie Pressure [MPa]	Moc Power [kW]	Siła Force [kN]	Ciśnienie Pressure [MPa]	Siła rama Force at frame [kN]	Moment Torque [kNm]	
		przy maksymalnej mocy at full power of engine							
796	Case IH MX80 C	90,40	15,00	22,60	42,80	18,20	34,70	60,00	0,85
807	John Deere 8110 Powershift	156,00	16,69	43,40	60,90	18,10	60,60	117,60	0,43
806	John Deere 8210 Powershift	156,00	16,69	43,40	60,90	18,10	60,60	117,60	0,38
805	John Deere 8210 T Powershift	155,20	16,34	42,30	61,90	17,80	70,10	129,00	0,38
809	John Deere 8310 T Powershift	155,20	16,34	42,30	61,90	17,80	70,10	129,00	0,35
808	John Deere 8410 Powershift	156,70	16,96	44,30	65,60	18,10	87,40	130,70	0,33
810	John Deere 8410 T Powershift	155,20	16,34	42,30	61,90	17,80	70,10	129,00	0,31
797	Case IH MX 115 C	79,50	14,00	18,60	40,10	18,20	32,90	56,90	0,65
798	Case IH MX 100 C	81,00	16,00	21,60	40,10	18,20	32,90	56,90	0,65
791	Massey Ferguson 290	18,40	19,50	5,98	21,40	21,50	18,10	28,60	0,38
799	Massey Ferguson 390 E	18,40	19,50	5,98	21,40	21,50	18,10	28,60	0,38
839	New Holland Model 9684	167,50	15,02	41,93	b.d.				
800	Fendt Favorit 712 VARIO	98,30	19,00	31,10	53,40	18,40	45,40	79,04	0,55
801	Kubota L 3000 DT	26,60	12,90	5,74	7,65	14,10	5,93	7,96	0,36
802	Steyer 9145 a M 2	103,70	19,50	33,70	82,40	19,50	67,50	120,80	0,83
803	Massey Ferguson 4233	61,80	19,30	19,88	15,60	20,30	11,90	18,80	0,30
804	Massey Ferguson 4235	61,80	19,30	19,88	15,60	20,30	11,90	18,80	0,30
811	Deadong DK 45	30,32	15,82	7,99	12,05	17,21	11,66	18,25	0,45
812	Deadong DK 50	31,86	15,79	8,38	11,85	16,15	11,31	17,69	0,39
813	Dongfanghong LF 80-90	35,20	16,40	9,62	25,58	17,10	15,58	26,05	0,45
829	Case IH STX 375	131,00	16,89	36,90	95,60	18,10	87,30	194,20	0,33

Objaśnienie: b.d. = brak danych. Explanation: b.d. = no data.

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportów OECD. Source: own elaboration based on OECD test reports.

- czynniki (zmienne) powinny być niezależne – poziom jednego czynnika nie zależy od poziomu innych czynników w eksperymencie;
- powinny być jednoznaczne – nie występować jako funkcja innych czynników;
- powinny bezpośrednio wpływać na parametr optymalizacji;
- powinny być określone operacyjnie – określona kolejność oddziaływań (operacji), za pomocą których ustalane są istniejące wartości poziomu czynników;
- dokładność stanowiska i poziom czynników powinny być maksymalnie wysokie – nie przewyższać dokładności aparatury.

Wymagania w stosunku do parametru optymalizacji (odchyłki) można sformułować następująco:

- powinien być mierzony w warunkach dowolnej zmiany lub kombinacji badanych czynników;
- powinien być statystycznie efektywny, tj. być mierzony z największą dokładnością, co pozwoli skrócić do minimum powtarzanie doświadczeń;
- powinien być informujący, tj. wszechstronnie charakteryzować proces technologiczny;
- powinien mieć sens fizyczny;
- powinien być jednoznaczny, tj. powinien maksymalizować lub minimalizować właściwość badanego obiektu.

Zalecane są następujące zasady planowania i prowadzenia eksperymentów:

- na bazie informacji *a priori* (z założenia) i badań wstępnych określa się poziom zmienianych czynników i zakres ich zmienności;
- kodowanie zmiennych parametrów w zakresie badawczym od -1 do $+1$, przy czym $x_k = (x_i - x_o) / h_i$ (gdzie: x_k – kodowana wartość parametru, x_i – bieżąca wartość i x_o – podstawowy poziom parametru w granicach zmienności, h_i – zakres zmienności parametru); kodowanie parametrów pozwala zmniejszyć błąd przy prowadzeniu optymalizacji i rozwiązywaniu innych zadań, z punktu widzenia racjonalności.

6.4. Przykładowe badania statystyczne

Badaniami statystycznymi objęto 30 ciągników rolniczych z silnikami o mocy od 43,4 do 82,0 kW, opierając się na wspomnianej bazie danych (tab. 6.4).

Do analiz statystycznych wykorzystano następujące wzory:

- średnia arytmetyczna:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (6.1)$$

- mediana (wartość środkowa) (M_x):

$$M_x = x_{\frac{1}{2}(n-1)^2} \quad (6.2)$$

z tym, że zachodzi dla:

– parzystego $n \rightarrow w(x_j < M_x) = \frac{1}{2}$

– nieparzystego $n \rightarrow w(x_j < M_x) \approx \frac{1}{2}$

Tabela 6.4. Moce silników ciągnikowych wziętych do badań statystycznych
Table 6.4. Engine power for tractors used for statistical tests

Ciągnik Tractors	Moc Power [kW]	Ciągnik Tractors	Moc Power [kW]
XIN HU HONGLI-650	43,4	RENAULT CELTIS 436	54,5
RENAULT CERES 325	45,3	RENAULT CELTIS 446	54,5
NEW HOLLAND TD 75 D CASE IH JX 75	45,7	DAEDONG DK 90	55,6
NEW HOLLAND TD 75 D CASE IH JX 75	45,7	RENAULT CERES 345	58,9
NEW HOLLAND TD 75 D CASE IH JX 75	45,7	JOHN DEERE 6220 NA Powr Quad Plus	59,0
NEW HOLLAND TD 75 D CASE IH JX 75	45,7	NEW HOLLAND TD 95 D CASE IH JX 95	62,1
RENAULT CELTIS 426	49,1	NEW HOLLAND TD 95 D CASE IH JX 95	62,1
DAEDONG DK80	49,7	NEW HOLLAND TD 95 D CASE IH JX 95	62,1
XIN HU HONGLI-800	52,3	JOHN DEERE 6320 NA Powr Quad	65,7
NEW HOLLAND TD 85 D CASE IH JX 85	53,4	RENAULT CERES 355	66,7
NEW HOLLAND TD 85 D CASE IH JX 85	53,4	RENAULT CELTIS 456365	68,3
NEW HOLLAND TD 85 D CASE IH JX 85	53,4	JOHN DEERE 6320 PowrQuad Plus	69,4
NEW HOLLAND TD 85 D CASE IH JX 85	53,4	ZETOR 11441 Forterra	74,2
RENAULT CERES 335	53,5	JOHN DEERE 6420 NA AutoQuad	77,5
JOHN DEERE 6120 NA SyncroPlus	53,9	JOHN DEERE 6420S AutoQuad	82,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportów OECD.
Source: own elaboration based on OECD test reports.

Wariancja S_x^2 , definiowana jako średnia kwadratowa z sumy kwadratów odchyień od średniej arytmetycznej jako wariancja nieobciążona:

$$\hat{S}_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \quad (6.3)$$

Wariancja stanowi podstawę wyznaczania odchylenia standardowego (S_x) oraz procentowego współczynnika zmienności (V_x).

W rezultacie rachunku wariancji nieobciążonej, odchylenie standardowe (S_x) oraz procentowy współczynnik zmienności (V_x) także są kalkulowane inaczej:

$$\hat{S}_x = \sqrt{\hat{S}_x^2} \quad (6.4)$$

$$\hat{V}_x = \left(\frac{\hat{S}_x}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \quad (6.5)$$

Dla analizowanego przykładu otrzymamy następujące wartości:

- średnia 57,2 kW, minimalna 43,4 kW, maksymalna 82,0 kW, mediana 54,2 kW;
- kwartyl 1 – 50,35 kW, kwartyl 3 – 62,1 kW, kwartyl 2 – 54,2 kW;
- wariancja 101,2056 kW², odchylenie standardowe 10,0601 kW;
- współczynnik zmienności 17,58%.

Pozycyjne miary zróżnicowania, odchylenie ćwiartkowe Q_x oraz pozycyjny procentowy współczynnik zmienności V_x , oparte na kwartylach (pierwszym, drugim i trzecim) mają postać:

$$Q_x = \frac{(Q_3 - Q_1)}{2} \quad (6.6)$$

$$V_x = \left(\frac{Q_x}{Q_2}\right) \cdot 100 \quad (6.7)$$

i wynoszą: odchylenie standardowe – 5,875 kW, natomiast pozycyjny współczynnik zmienności – 10,83%.

Standaryzacja wariantów cechy zmiennej:

$$x_{j,stand} = \frac{(x_j - \bar{x})}{\hat{S}_x} \quad (6.8)$$

przyjmuje następujące wartości:

-1,37146	-1,14383	-0,37843	-0,26908	0,486377	1,102673
-1,18359	-0,80586	-0,37843	-0,26908	0,486377	1,212016
-1,14383	-0,74622	-0,37843	-0,15974	0,486377	1,689148
-1,14383	-0,48777	-0,36849	0,168289	0,844226	2,017177
-1,14383	-0,37843	-0,32872	0,178229	0,943629	2,464488

Dla zbiorowości statystycznych, charakteryzujących się umiarkowanym zróżnicowaniem wariantów obserwowanej cechy zmiennej, często zachodzi, że standaryzowane warianty $x_{j,stand}$ znajdują się w przedziale (-3; +3) lub nawet w przedziale (-2; 2).

Miary asymetrii i kurtozy

Współczynnik asymetrii (A_x), oparty na trzecim momencie centralnym (m_3), w przeliczeniu na sześcián odchylenia standardowego, tzn. jest miarą nieobciążoną postaci:

$$\hat{A}_x = \frac{n \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)\hat{S}_x^3}, \text{ dla } n \geq 3 \quad (6.9)$$

skośność wynosi 0,78,

$$\hat{A}_{x.\text{stand}} \approx \frac{\hat{A}_x}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \quad (6.10)$$

skośność standaryzowana wynosi 1,75.

Kalkulacja współczynników kurtozy, w postaci nieobciążonej (\hat{C}_x) oraz nieobciążonej i jednocześnie standaryzowanej ($\hat{C}_{x.\text{stand}}$) oparta jest na czwartym momencie centralnym (m_4):

$$C_x = \frac{m_x}{S_x^4} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^4}{\frac{n}{S_x^4}} \quad (6.11)$$

$$\hat{C}_x = \frac{n(n+1) \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^4 - 3(n-1) \left[\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \right]^2}{(n-1)(n-2)(n-3)\hat{S}_x^4} \quad (6.12)$$

dla $n \geq 4$

$$\hat{C}_{x.\text{stand}} \approx \frac{\hat{C}_x}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \quad (6.13)$$

Kurtoza wynosi 0,05.

Kurtoza standaryzowana wynosi 0,06.

Szeregi rozdzielcze

Rozwinięty schemat takiego szeregu rozdzielczego w postaci punktowej (bez przedziałów) jest następujący.

Punktowy rozkład empiryczny

$X = x_i$	n_i	$w_i = n_i : n$	$w(X \leq x_i)$
x_1	n_1	w_1	w_1
x_2	n_2	w_2	$w_1 + w_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
x_k	n_k	w_k	1
$\sum_{i=1}^k$	n	1	

przy czym przyporządkowanie wektora $[n_i]$ lub wektora $[w_i]$ wektorowi $[x_i]$ dla wszystkich $i = 1, 2, \dots, k$ jest szeregiem rozdzielczym w postaci punktowej.

Dla analizowanego przypadku (tab. 6.4), gdy $k = 6$ i $h = 6,43$ kW otrzymujemy:

$$[\dot{x}_i] = [46,6; 53,0; 59,4; 65,9; 72,4; 78,8]$$

$$[n_i] = [8; 10; 5; 3; 2; 2]$$

$$[w_i] = [0,27; 0,33; 0,16; 0,10; 0,07; 0,07]$$

$$[h_i] = [43,4-49,83; 49,83-56,26; 56,26-62,69; 62,69-69,12; 69,12-75,55; 75,55-82,0]$$

Przedziałowy szereg rozdzielczy, w którym następuje przyporządkowanie wektora $[n_i]$ lub wektora $[w_i]$ wektorowi dolnych i górnych granic $[x_{0i}; x_{1i}]$ każdego kolejnego przedziału klasowego wariantów obserwowanej cechy ($i = 1, 2, \dots, k$, gdzie $2 < k < n$).

Rozwinięty schemat takiego rozkładu można przedstawić następująco:

i	$x_{0i} < X \leq x_{1i}$	\dot{x}_i	n_i	w_i	$w(X \leq x_{1i})$
1	$x_{01}; x_{11}$	\dot{x}_1	n_1	w_1	w_1
2	$x_{02}; x_{12}$	\dot{x}_2	n_2	w_2	$w_1 + w_2$
.
.
.
k	$x_{0k}; x_{1k}$	\dot{x}_k	n_k	w_k	1
		\sum_i	n	1	

Przedziałowy szereg rozdzielczy z tzw. środkami przedziałów klasowych (\dot{x}_i), definiowanych jako:

$$\dot{x}_i = \frac{1}{2}(x_{0i} + x_{1i}) \quad (6.14)$$

Liczba przedziałów klasowych (k) oraz ich rozpiętości (h_i) mogą być orientacyjnie wyznaczone według różnych algorytmów, w tym także według wzorów:

$$k = \sqrt{n} \text{ oraz } h_i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} \quad (6.15)$$

Podsumowanie analizy statystycznej

Analiza statystyczna podstawowej grupy ciągników eksploatowanych w rolnictwie wykazała, że charakteryzują się one mocą w zakresie 43,4–82,0 kW, przy wartości średniej wynoszącej 57,2 kW. Mediana jest wartością niższą i wynosi 54,2 kW. Obliczona wariancja wynosi 101,2 kW², natomiast odchylenie standardowe 10,1 kW. Współczynnik zmienności, określony stosunkiem odchylenia standardowego do wartości średniej pomnożony przez 100% wyniósł 17,58%.

7. PODSUMOWANIE

Nowoczesne techniczne środki mechanizacji powinny spełniać wymagania gospodarki zrównoważonej, a więc przede wszystkim wymagania ekologiczne i ekonomiczne. Racjonalnie dobrany zestaw narzędzi i maszyn oraz ciągnika powinien zapewnić wykonanie pracy z wymaganą jakością a jednocześnie umożliwiać wykorzystanie mocy silnika i wyposażenia ciągnika z zachowaniem takiego zakresu jego obciążeń, w którym szkodliwe oddziaływanie na środowisko (atmosferę i glebę) są możliwie najmniejsze oraz zachowane są warunki bezpiecznej pracy.

W monografii szczegółowo scharakteryzowano główne zespoły ciągników oraz ich wyposażenie z punktu widzenia przydatności do prac wykonywanych w produkcji polowej. Przedstawiono charakterystyczne wymagania maszyn i narzędzi używanych do tworzenia zestawów maszynowych, ze zwróceniem uwagi na wspomniane zasady rolnictwa zrównoważonego.

W oddzielnym rozdziale omówiono oddziaływanie agregatów ciągnikowo-maszynowych na środowisko naturalne. Szczególnie obszernie potraktowano charakterystyki zadymienia spalin silników ciągnikowych, wskazując zakresy obciążenia, w których jest ono najmniejsze.

Przedstawiono propozycję algorytmu postępowania w racjonalnym doborze ciągnika i maszyn współpracujących. Zwrócono uwagę na aspekty organizacyjne oraz optymalizację zestawów z punktu widzenia realizacji zasad rolnictwa zrównoważonego.

Omówiono również istniejącą w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym bazę danych o zbadanych ciągnikach oraz sposób jej wykorzystania, a także zasady planowania eksperymentów i podano przykład opracowania statystycznego danych o ciągnikach, zawartych w tej bazie.

8. BIBLIOGRAFIA

- Ag-Chem Equipment Company 2011. Ag-Chem "Terra Gator 1603/1703/1803/1903 (1979–1997) [online]. [Dostęp 12.12. 2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.trucksplanet.com/catalog/model.php?id=787>
- ALDRICH J. 2007. Information and economics in fisher's design of experiments. *International Statistical Review*. Vol. 75, 2 s. 131–149.
- BACZEWSKI K., KAŁDOŃSKI T. 2004. Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Warszawa. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. ISBN 83-206-1510-0 ss. 215.
- BANASZKIEWICZ M., LEWIŃSKI S., ALEKSANDROWICZ S., WOŹNIAK E., KOTARBA A., KRUPIŃSKI M. 2012. Zastosowanie technik satelitarnych w rolnictwie zrównoważonym – wybrane przykłady zastosowań. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 109–122.
- BARWICKI J., ROMANIUK W. 2012. Wykorzystanie zdalnych systemów rejestracji danych do kontroli pól uprawnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 15–24.
- BERNHARD R. 2006. Bronco biodiesel to fuel Kalamazoo buses. *Western Michigan University. Western News*. Vol. 33. No 4 ss. 4.
- BOCHEŃSKI C. 1990. Dymienie a konstrukcja i eksploatacja silników wysokoprężnych stosowanych w rolnictwie. Rozprawa habilitacyjna. Warszawa. SGGW. ISBN 83-00-02641-X, 978-8300026418 ss. 101.
- BOCHEŃSKI C.I. 2003. Biodiesel – paliwo rolnicze. Warszawa. SGGW. ISBN 837-2444129, 978-837244412 ss. 184.
- BOCHEŃSKI C., POWAŁKA M., BOCHEŃSKA A. 2006. Możliwości produkcji biodiesla w Polsce. Oddział PAN w Lublinie. *MOTROL* s. 42–48.
- BOCHTIS D.D., SØRENSEN C.G. 2009. The vehicle routing problem in field logistics. Part 1. *Biosystems Engineering*. Vol. 104(4) s. 447–457.
- BOCHTIS D.D., SØRENSEN C.G., BUSATO P., HAMEED L.A., RODIAS E., GREEN O., PAPADAKIS G. 2010. Tramline establishment in controlled traffic farming based on operational machinery cost. *Biosystems Engineering*. Vol. 107 s. 221–231.
- BOCHTIS D.D., VOUGIOUKAS S. 2008. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. *Biosystems Engineering*. Vol. 101 s. 1–12.
- BOX G.E.P., WILSON K.B. 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society (B, 13.1)*. ISSN 0964-1998 ss. 145.
- BULIŃSKI J., MARCZUK T. 2007. Wyposażenie w maszyny i ciągniki gospodarstw rolnych województwa podlaskiego w aspekcie ugniatania gleby kołami. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3 s. 37–44.
- CANAKCI M., SANLI H. 2008. Biodiesel producing from various feed stocks and their effects on the fuel properties. *Journal of Industrial Microbiology Biotechnology*. Vol. 35 s. 431–441.
- CIESLIKOWSKI B. 2011. Kierunki badań i najnowsze trendy rozwojowe w konstrukcji ciągników rolniczych [online]. [Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.agengpol.pl/ekspertyzy.aspx>
- DEVIS Dž. S. 1990. *Statističeskij analiz dannyh v geologii (w dwu tomach)*. Moskwa. Izd. Nedra. ISBN T. 1: 0-471-08079-9 ss. 319, T. 2: 5-247-02122-1 ss. 425.
- DOMARADZKI K., SEKUTOWSKI T. 2006. Wpływ techniki uprawy gleby na dynamikę rozkładu i przemieszczanie w profilu glebowym herbicydów z grupy inhibitorów syntezy ALS. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 508 s. 41–46.

DZIENIA S., ZIMNY L., WEBER R. 2006. Najnowsze kierunki w uprawie roli i technice siewu. *Fragmenta Agronomica*. Vol. 2(90) s. 227–241.

DZIENISZEWSKI G. 2006: Analiza możliwości zasilania silnika diesla surowym olejem roślinnym. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12 s. 117–125.

DZIENISZEWSKI G. 2008. Wybrane problemy stosowania biopaliw do zasilania silników z zapłonem samoczynnym. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10 s. 39–45.

EKIELSKI A. 2009. Napęd hydrokinetyczny. *Agromechanika*. Nr 4(37) s. 42–45.

FABIJAŃSKI T. 2009. Trendy w ochronie roślin wyznaczają najwięksi. *Agromechanika*. Nr 4(37) s. 12–16.

FISHER R.A. 1935. *The design of experiments*. Edynburg. Oliver and Boyd ss. 21.

FISHER R.A. 1971. *The design of experiments*. Nowy Jork. Hafner Publishing Company ss. 41.

GAWROŃSKI K. 2011. Zintegrowany System Zarządzania i Kontroli (IACS), struktura systemu oraz podstawowe problemy związane z jego wdrożeniem. Wykład z przedmiotu: „Źródła informacji o nieruchomościach na potrzeby ich wyceny” [online]. [Dostęp 12.12. 2014]. Dostępny w Internecie: <http://matrix.ar.krakow.pl/~isig/nowy/prezentacje/gawronski.pdf>

GAWRYS J. 2008. Ocena wytrzymałości pakietów skał stropowych pokładów węgla metodą geostatyczną. *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko*. Nr 4. ISSN 1643-7608 ss. 86.

GOLIMOWSKA R. 2012. Poprawa temperatury blokady zimnego filtra biopaliw z tłuszczów zwierzęcych otrzymywanych metodą transestryfikacji niskotemperaturowej. *Rozprawa doktorska*. Falenty. ITP. Maszynopis ss. 155.

GOLIMOWSKI W. 2011. Ciągnik na olej roślinny w minusowych temperaturach [online]. *Aktualności Techniki Rolniczej*. Nr 2 s. 21–22. [Dostęp 12.12. 2012]. Dostępny w Internecie: http://www.valtra.pl/news/documents/valtra_ART_2_2011.pdt

GOLKA W., KAMIŃSKI E. 2011. Maszyny transportowe na łąki i gleby podmokłe. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 61–67.

GOŚCIAŃSKA J. 2011. Oszczędności paliwa w rolnictwie – nowe priorytety Unii Europejskiej. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*. Vol. 56(2) s. 54–57.

GRABOSKI M.S., MC CORMICK R.L. 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 24 s. 125–164.

GRUBER G. 2007. Potencjał czystego oleju roślinnego. *Biofuel Cities*. No 1 s. 3–4.

GRZYMKOWSKI R., POCHCIAŁ J. 2009. *Elementy rachunku wariacyjnego*. Gliwice. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skolimowskiego. ISBN 836-0716-773, 978-83-30716-779 ss. 142.

GUS 2014. *Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*. Rozdz. XVI. Rolnictwo, łowiectwo i leśnictwo, rybołówstwo. Warszawa s. 464–501.

HAKANSSON L., REEDER R.C. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load – extent, persistence and crop response. *Soil Tillage Research*. Vol. 29 s. 277–304.

HEMMERLEIN N., KORTE V., RICHTER H., SCHREDER G. 1991. Performance, exhaust emissions and durability of modern diesel engines running on rapeseed oil. *Technical Papers Series SAE 910848*.

ITP 2014. *Katalog Maszyn Rolniczych [CD]*. Warszawa–Falenty.

- JABŁOŃSKI K. 2008. Nowoczesne maszyny do zbioru ziemniaków. *Ziemniak Polski*. Nr 3 s. 1–5.
- JABŁOŃSKI K. 2011. Nowe elementy w technice i technologii produkcji ziemniaków. Cz. III. Przygotowanie plantacji do zbioru i zbiór. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*. Nr 5 s. 25–28.
- JABŁOŃSKI K. 2012. Technika zbioru ziemniaków na dużych plantacjach. *Ziemniak Polski*. Nr 3 s. 1–6.
- JAKLIŃSKI L. 2006. *Mechanika układu pojazd – teren w teorii i badaniach*. Warszawa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. ISBN 83-7207-595-6 ss. 171.
- JELINEK A., ČEŠPIVA M., PLIVA P., HORNIG G. 2001. Composting as possibility of toxic gases emissions reduction, mainly ammonia, generated during manure storage. *Research in Agricultural Engineering. Zemědělská technika. Cz.* 3 s. 82–91.
- JURGA J. 2008a. Metoda prognozowania zmian gęstości objętościowej gleby na podstawie geometrycznych parametrów koleiny. *Wydaw. 248 z serii Rozprawy – Akademia Rolnicza w Szczecinie*. ISSN 0239-6467 ss. 99.
- JURGA J. 2008b. Wpływ głębokości koleiny i ciśnienia powietrza w ogumieniu na naciski jednostkowe kół ciągników na glebę. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4 s. 347–351.
- KAMIŃSKI E., GRUDNIK P. 2008. Opór roboczy pługa wahadłowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 1 s. 145–152.
- KAMIŃSKI E., KRUK I. 2012. Tłumienie drgań poprzecznych belki opryskiwacza polowego za pomocą amortyzatorów. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 83–94.
- KAMIŃSKI E., MAJCZAK W. 1976a. Wyniki dwuletnich badań nad doborem maszyn do zestawów wieloczynnościowych do uprawy zbóż i poplonów. W: *Konferencja naukowa nt.: Uprawa roli podstawą intensyfikacji produkcji roślinnej*. 28–29 października 1976 r., Wrocław. Materiały–streszczenia konferencyjne. Pr. zbior. Red. J. Sienkiewicz. Puławy. IUNG s. 55–57.
- KAMIŃSKI E., MAJCZAK W. 1976b. Równoczesna uprawa przedsiewna z siewem nasion zbóż (jarych i ozimych), poplonów i sadzeniem ziemniaków za pomocą zestawów uprawowo-siewnych i uprawowo-sadzających. W: *Konferencja naukowa nt. Uprawa roli podstawą intensyfikacji produkcji roślinnej*. 28–29 październik 1976 r. Wrocław. Materiały–streszczenia konferencyjne. Pr. Zbior. Red. J. Sienkiewicz. Puławy. IUNG s. 57–59.
- KAMIŃSKI E. (red.) 2011a. Conservation tillage systems and environment protection in sustainable agriculture. *Monografia. Falenty. ITP*. ISBN 978-83-62416-19-6 ss. 86.
- KAMIŃSKI E. (red.) 2011b. Development trends in soil cultivation engineering in the aspect of organic farming standards. *Monografia. Falenty. ITP*. ISBN 978-83-62416-25-7 ss. 160.
- KAMIŃSKI E. (red.) 2012. Improving soil treatment technology and mineral fertilization. *Inżynieria w Rolnictwie. Monografie*. Nr 6. Falenty. ITP. ISBN 978-83-62416-47-9 ss. 152.
- KAMIŃSKI E., WASZKIEWICZ C., ZABIELSKI M. 2005. Badania laboratoryjno-pólowe kultywatora. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 23–30.
- KAMIŃSKI J.R. 1997a. Głębosz uprawowy o zmiennej szerokości roboczej. *Technika Rolnicza*. Nr 5 s. 12–12.
- KAMIŃSKI J.R. 1997b. Pług do trzywarstwowej uprawy gleby. *Technika Rolnicza*. Nr 3 s. 19–19.
- KAMIŃSKI J.R. 2003. Badania dymienia spalin silników ciągników rolniczych w zakresie pełnych i częściowych obciążeń. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 59–68.
- KAMIŃSKI J.R. 2010. Metodyka optymalizacji parametrów ustawienia tarcz rozsiewających. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 79–87.

- KAMIŃSKI J.R. 2011a. Porównanie metod optymalizacyjnych ustawienia tarcz rozsiewających nawozy mineralne. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 65–74.
- KAMIŃSKI J.R. 2011b. Forecasts of board computer usage in tractors. W: *Development trends in soil cultivation engineering in the aspect of organic farming standards*. Monografia. Falenty. ITP s. 7–20.
- KAMIŃSKI J.R., CHIGAREW A.W. 2007. Zastosowanie analizy wariacyjnej w planowaniu produkcji roślinnej. *Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych*. Z. 6(15) s. 71–80.
- KAMIŃSKI J.R., KORMSZCZIKOW A.D. 1995a. Poprawa stateczności ruchu agregatów uprawowych i sadzących pracujących na zboczach. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 5–12.
- KAMIŃSKI J.R., KORMSZCZIKOW A.D. 1995b. Przystosowanie spulchniaczy i rozsiewaczy nawozowych do pracy na zboczach. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 13–20.
- KAMIŃSKI J.R., KORMSZCZIKOW A.D. 1995c. Wpływ sposobu uprawy na zatrzymywanie wody przez glebę na zboczach. IV Sympozjum „Inżynieria systemów bioagrotechnicznych”. Cz. 1. Płock, 19–21 czerwca 1995 r. Z. 4 s. 87–90.
- KAMIŃSKI J.R., MAKSIMOW I. 2004. Porowatość charakteryzująca stan gleby. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 21–30.
- KAMIŃSKI J.R., ORDA A.N. 2004. Kruszenie gleby podczas zabiegów uprawowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 5–12.
- KAMIŃSKI J.R., SKREBELIS S. 2011. Peculiarities of plowless tillage technology when growing crops. W: *Conservation tillage systems and environment protection in sustainable agriculture*. Monografia. Falenty. ITP s. 81–86.
- KAMIŃSKI J.R., ŻDANOWICZ C. 2007. Dobór układów jezdnych dla agregatów rolniczych uwzględniający aspekty ekologiczne. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3 s. 75–82.
- KAMIŃSKI J.R., BARWICKI J., GOLKA W. 2011d. Environment friendly cultivation of field plants. W: *Development trends in soil cultivation engineering in the aspect of organic farming standards*. Monografia. Falenty. ITP s. 115–126.
- KAMIŃSKI J.R., GUSKOV A., SZEPTYCKI A. 2011a. Influence of drag resistance on relationships pneumatic wheel and peat soil. W: *Conservation tillage systems and environment protection in sustainable agriculture*. Monografia. Falenty. ITP s. 35–50.
- KAMIŃSKI J.R., MAŁECKA A., SZEPTYCKI A. 2011c. Analysis of fertilizer application on selected farms. W: *Development trends in soil cultivation engineering in the aspect of organic farming standards*. Monografia. Falenty. ITP s. 32–48.
- KAMIŃSKI J.R., SZEPTYCKI A., ZHDANOVICH Ch. 2011b. Traction properties of tractors with two- and three – axle drive. W: *Development trends in soil cultivation engineering in the aspect of organic farming standards*. Monografia. Falenty. ITP s. 21–31.
- KAMIONKA J. 2005. Wpływ techniki na efektywność pogłównego nawożenia zbóż. *Rozprawa habilitacyjna*. Inżynieria Rolnicza. Nr 15 ss. 106.
- KAMIONKA J. 2007. Nakłady na wapnowanie gleb wybranymi zestawami maszyn. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3 s. 91–98.
- KANAFOJSKI Cz. 1977. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. I. Cz. III. Maszyny do nawożenia, siewu i sadzenia. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-7247-015-4 ss. 283.
- KIEFER J., WOLFOWITZ J. 1959. Optimum Designs i Regression Problems [Metody planowania eksperymentu]. Rozdz. 7. Plany optymalne – podstawowe założenia i kryteria optymalności. *Annals of Mathematical Statistics*. Vol. 30 s. 271–294.

KOBYLARZ J. 2009. Nowości – Nowy rozdrabniacz łęcin ziemniaków. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Nr 2 s. 25–25.

KONIUSZY A. 2008. Charakterystyka gęstości czasowej jako podstawowy cykl obciążeń w badaniach ciągników rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 1 s. 181–188.

KONIUSZY A. 2010. Identyfikacja stanów obciążeń ciągnika rolniczego. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Rozprawa habilitacyjna. ISBN 978-83-7663-039-7 ss. 111.

KOGUT Z. 2004. Analiza stanu i perspektywy rozwoju techniki i technologii siewu roślin uprawnych. Sprawozdanie z badań IBMER. Symb. dokumentacji XIII/412 ss. 47.

KOGUT Z. 2012. Jakość pracy kultywatorów ścierniskowych w zróżnicowanych warunkach eksploatacji. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 4 s. 69–84.

KOZŁOWA L., NOSKOVA E., POPOV F., DEMŠIN S., ČEREMISINOV D., KAMIŃSKI E., ŻEBROWSKA E. 2014. Characteristic and efficiency of operation of the unit for non-plough soil cultivation and the cultivation and sowing unit in conditions of the eastern european part of Russia. Inżynieria Rolnicza. Nr 4 s. 151–163.

KRASOWSKI E. 2000. Akademia Rolnicza w Lublinie współpracuje z Uniwersytetem Rolniczym w Kijowie. Aktualności Akademii Rolniczej w Lublinie. R. 4. Nr 3(15) ss. 9.

KRYŻACZKOWSKI N., KAMIŃSKI J.R. 1997. Modelowanie procesu technologicznego dozowania nawozów w maszynach nawozowych. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2 s. 31–40.

KUCHARSKI M., SADOWSKI J. 2002. Pozostałości graminydów stosowanych z adiuwantami w materiale roślinnym i glebie. IX Międzynarodowe Sympozjum „Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej. Warszawa. IBMER. Z. 9 s. 220–226.

KUCZEWSKI J., MAJEWSKI Z. 1999. Eksploatacja maszyn rolniczych. Warszawa. Wydaw. Szkolne i Pedagogiczne. ISBN 83-02-07249-4 ss. 368.

KUREK J., WÓJCICKI Z. 2011. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Część IV. Wyposażenie i działalność badanych obiektów w 2010 r. Monografia. Falenty–Warszawa. ITP. ISBN 978-83-62416-28-8 ss. 128.

LANDIS M., SCHIESS I., WOLFENBERGER U. 2007. Retrofitting of particulate filters on tractors. Filter systems need to be adapted to vehicle use. Poster Session at the 11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 13–15.08.2007, Zürich. Agroscope Reckenholz–Tänikon ART.

LEELAMANIE D.A.L., KARUBE J., YOSHIDA A. 2008: Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand. Soil Science and Plant Nutrition. Vol. 54 s. 179–187.

LEJDA K., JAWORSKI A. 2011. Zasilanie gazowe silników rolniczych [online]. MOTROL. Nr 8 s. 131–138. [Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol8/Lejda.pdf>

LEVITICUS L. 2015. Nebraska tractor test lab struggling to survive [online]. Farm Show Magazine [online]. [Dostęp 06.02.2015]. Dostępny w Internecie: http://www.farmshow.com/a_article.php?aid=9652.

LICHAČEV A.JU. 2011. Soveršenstvovanie processa očistki otrabotannyh motornych masel ot mehaničeskich primesej centrobežnym apparatom v uslovijach celskochozjajstvennogo proizvodstva. Dissertacionnaja rabota. Federalnoe gosudarstvennoe obrazovatelnoe učreždenie vysšego professionalnogo obrazovanija „Azovo-Černomorskaja gosudarstvennaja agro-inženernaja akademija (FGOU VPO AČGAA). Zernograd ss. 155.

- MALINOWSKI R. 2012. Gleby tarasu zalewowego doliny ujścia Warty i dolnej Odry oraz ich przekształcenia w wyniku zabiegów hydrotechnicznych i użytkowania rolniczego. Szczecin. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Rozprawa habilitacyjna. ISBN 978-83-7663-109-7 ss. 190.
- MARCZUK A., KAMIŃSKI E. 2012a. Wpływ ładowności rozrzutników na wartości wskaźników eksploatacyjno-ekonomicznych nawożenia obornikiem. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 109–120.
- MARCZUK A., KAMIŃSKI E. 2012b. Wpływ ładowności rozrzutników na ugniecenie gleby. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 85–93.
- MARCZUK T. 2006. Możliwości zmniejszenia ugniatania gleby kołami pojazdów rolniczych przez dobór agregatu ciągnik–maszyna. Rozprawa doktorska. Warszawa. IBMER. Maszynopis ss. 95.
- MATERON Ž. 2009. *Osnovy prikladnoj geostatistiki*. Moskwa. Izdatelstvo Institut Kompjuternych Issledovanij. ISBN 978-5-93972-771-6 ss. 460.
- MISZYN P., KAMIŃSKI J.R. 2002. Mapy zwięzłości gleby sporządzone metodą kriginga. W: *Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej*. Monografia. Z. 9. Warszawa. IBMER s. 262–269.
- MUZALEWSKI A. 2010. Koszty eksploatacji maszyn. Nr 25. Falenty–Warszawa. ITP. ISBN 978-83-62416-05-9 ss. 56.
- NALIMOV V.V., ČERNOVA N.A. 1965. *Statističeskie metody planirovanija ekstremalnych eksperimentov*. Moskwa. Izd. Nauka ss. 340.
- NAPIÓRKOWSKI J. 2005. Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*. Rozprawa habilitacyjna. Nr 12(72). ISSN 1429-7264 ss. 171.
- NOVIKOV A.V. 2008. Ułučszenie očístki topliva v toplivnoj sisteme sel'skochozjajstvennych traktorov ispolzovaniem filtra–vlagooddzritelja. *Disertacionnaja rabota*. Penza. FGOU VPO Penzenskaja gosudarstvennaja sel'skochozjajstvennaja akademija ss. 139.
- OLSEN H.J. 1994. Calculation of subsoil stresses. *Soil and Tillage Research*. Vol. 29 s. 111–123.
- PASYNIAK P. 2011. Zastosowanie czystego oleju roślinnego jako paliwa drugiej generacji do napędzania konstrukcyjnie zaawansowanych silników spalinowych [online]. Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: www.ozewortal.pl/files/artykuly/pasyniak_zastosowanie_czystego.pdf
- PASYNIAK P., GOLIMOWSKI W. 2011. Work indicator test for prototype John Deere 6830 agricultural tractor fueled with pure vegetable oil. *Technical Sciences*. No 14(1) s. 109–117.
- PAWŁAK J. 2012. Zakupy ciągników rolniczych w Polsce w ujęciu regionalnym. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 35–44.
- PETERS R. 2001. Trends in der Kartoffeltechnik. *Landtechnik*. Nr 6 s. 382–385.
- PIEKARSKI W., ZAJĄC G. 2003. Analiza doboru mieszanek paliwowych biopaliwa i oleju napędowego w aspekcie emisji spalin. *Eksploatacja i Niezawodność*. Nr 3 s. 6–11.
- POWAŁKA M. 2005. Wpływ nacisków kół ciągników rolniczych na zagęszczenie gleby w warstwie ornej. Rozprawa doktorska. Warszawa. SGGW. Maszynopis ss. 84.
- RAFAJŁOWICZ E. 1996. Algorytmy planowania eksperymentu z implementacjami w środowisku Mathematica. *Problemy współczesnej nauki. Teoria i zastosowania*. Statystyka – sterowanie jakością produkcji. Warszawa. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ. ISBN 83-7101-329-9 ss. 310.

- RAFAJŁOWICZ E. 2005. Optymalizacja eksperymentu z zastosowaniami w monitorowaniu jakością. Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. ISBN 83-7085-913-5 ss. 205.
- RODE H. 2003. Zastosowanie ogniw paliwowych w gospodarstwie rolnym. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. Nr 8 s. 5–7.
- ROGALSKI L., KAMIŃSKI E. 2001. Bilans rozdziału cieczy nawozowo-ochronnej w opryskiwaniu pszenicy. VIII Międzynarodowe Sympozjum „Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej”, 6–7 września 2001 r. Warszawa. IBMER. Z. 8 s. 211–216.
- RUSANOV V.A. 1994. USSR standards for agricultural mobile machinery: permissible influences on soil and methodes to estimate contact pressure and stress at a depth of 0,5 m. Soil and Tillage Research. Vol. 29 s. 249–252.
- ŠARAPATKA B., URBAN J. i in. 2012. Rolnictwo ekologiczne w praktyce. Pr. zbior. Red. H. Janowska-Huflejt, J. Szymona. ISBN 978-83-62178-52-0; 978-83-62416-39-4 ss. 470.
- ŠARŠUNOV V.A., KRUGLENJA V.E., KAMIŃSKI E., KUBOŃ M. 2014. Flax seed separation with vibrating screens. Agricultural Engineering. No 3(151) s. 187–201.
- SKROBACKI A., EKIELSKI S. 2006. Pojazdy i ciągniki rolnicze. Warszawa. Warszawa. Wieś Jutra. ISBN 83-89503-29-8 ss. 248.
- SOMMER C., LEBERT M., JAKLIŃSKI L., JASIŃSKI B. 2003. Strategie i techniki zabezpieczenia gleby przed niszczącym ugniataniem. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. Nr 8 s. 3–4 oraz 7.
- SØRENSEN G.G., BOCHTIS D.D. 2010. Conceptual model of fleet management in agriculture. Biosystems Engineering. Vol. 105(1) s. 41–50.
- SZEPTYCKI A. 1994. Ugniatanie gleby i podglebia kołami ciężkich agregatów (synteza). I Międzynarodowe Sympozjum „Ekologiczne aspekty mechanizacji nawożenia, ochrony roślin i uprawy gleby”. Warszawa. IBMER. Z. 1 s. 5–12.
- SZEWCZENKO I. 1997. Doskonalenie technologii i narzędzi uprawowych w aspekcie właściwości agrofizycznych gleb. Prace Naukowo-Badawcze. Warszawa. IBMER. Skróty rozprawy habilitacyjnej ss. 111.
- SZLACHTA Z. 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Warszawa. Wydaw. Komunikacji i Łączności. ISBN 83-206-1459-7 ss. 184.
- SZOLC S. 2011. Valtra/AGCO – Kierunek na SCR [online]. Aktualności Techniki Rolniczej. Nr 2 s. 22–23. [Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: http://www.valtra.pl/news/documents/valtra_ART_2_2011.pdf
- SZULC R., GOLIMOWSKI W. 2010. Strategia i możliwości produkcji biopaliw z tłuszczów zwierzęcych w Polsce. Journal of Research and Application in Agricultural Engineering. Vol. 55(2) s. 88–91.
- TECHBUD 2014. Przekładnie planetarne [online]. [Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.silniki.info.pl/cat,16,przekladnie.html>
- TELESIŃSKI A. 2006. Oddziaływanie zanieczyszczeń pestycydami na przemiany biochemiczne w glebie i roślinach. Rozprawa doktorska. Szczecin. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Maszynopis ss. 297.
- TELESIŃSKI A. 2012. Zmiany parametrów biochemicznych i toksykologicznych gleb pod wpływem 1-alkilo-3-metyloimidazolowych cieczy jonowych. Rozprawa habilitacyjna. Szczecin. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. ISBN 978-83-7663-119-6 ss. 108.

TRAFICA 2014. Oznaczenia opon rolniczych [online]. [Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.oponyhurt.pl/site/50/oznaczenia-opon.html>

USOWICZ B. 1999. Zastosowanie analizy geostatystycznej i teorii fraktali w badaniach dynamiki wilgotności w profilu glebowym na polach uprawnych. *Acta Agrophysica*. Vol. 22 s. 229–243.

VELLGUTH G. 1983. Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. *SAE Transactions*. No 83. ISSN 0096-736X ss. 1358.

WASZKIEWICZ C., ZABIELSKI M., KAMIŃSKI E. 2011. Impact of new type cultivators teeth parameters on working quality and resistance. W: *Improving soil treatment technology and mineral fertilization*. Inżynieria w Rolnictwie. Nr 5. Falenty. ITP s. 5–45.

WÓJCICKI Z. i in. 2009. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Cz. I. Program, organizacja i metodyki badań. Monografia. Warszawa. IBMER. ISBN 978-83-89806-32-1 ss. 149.

WÓJCICKI Z. 2010. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Cz. II. Projekty modernizacji badanych obiektów. Monografia. Falenty–Warszawa. ITP. ISBN 978–83–62416–12-7 ss. 89.

WÓJCICKI Z., KUREK J. 2011. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Cz. III. Wyposażenie i działalność badanych obiektów w 2009 r. Monografia. Falenty–Warszawa. ITP. ISBN 978-83-62416-18-9 ss. 122.

WÓJCICKI Z. (red.) 2012. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Cz. V. Modele przyszłościowych gospodarstw rodzinnych. Monografia. Falenty–Warszawa. ITP. ISBN 978-83-62416-33-2 ss. 220.

ZABIELSKI M. 2005. Wpływ parametrów konstrukcyjnych nowego typu zębów kultywatora na jakość pracy i opory robocze. Rozprawa doktorska. Warszawa. IBMER. Maszynopis ss. 70.

ZABOST M. 2009. Od bezstopniowych nie ma odwrotu. *Agromechanika*. Nr 4(37) s. 46–50.

ZAJĄC G., PIEKARSKI W., KRZACZEK P. 2008. Ocena zużycia paliwa przez silnik o zapłonie samoczynnym przy zasilaniu wybranymi paliwami. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2 s. 323–330.

ZBYTEK Z., TALARCZYK W. 2011. Ekspertyza. Narzędzia i maszyny uprawowe – aktualne badania i tendencje rozwojowe [online]. [Dostęp 12.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.agengpol.pl/ekspertyzy.aspx>

ZBYTEK Z., TALARCZYK W. 2012. Sposoby ograniczenia negatywnego oddziaływania agregatów ciągnikowych na rolę. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4 s. 57–68.

ZOZ F.M., TURNER R.J., SHELL L.R. 1999. Power Delivery Efficiency: A Valid Measure of Belt/Tire Tractor Performance [online]. An ASAE Meeting Presentation. Paper No 99-1034. [Dostęp 06.02.2015]. Dostępny w Internecie: http://bse.rv214.bse.vt.edu/Dist_Lecture_27/REFFrences/Power_Delivery_Efficiency.pdf

ВЕНГЛИНСКИЙ А.М., ШМАКОВ В.А., ФАХСУТДИНОВ М.Х. 2011. Взаимосвязь буксования ведущих колес трактора в технологическом сельскохозяйственном агрегате с работой его двигателя [Związek między poślizgiem kół napędowych ciągnika agregatu rolniczego i pracą silnika]. *Аграрна наука Евро-Северо-Востока*. No 2(21) s. 47–52.

КРАСОВСКИЙ Г.И., ФИЛАРЕТОВ Г.Ф. 1982. Планирование эксперимента [Planowanie eksperymentu]. Изд. Беларусский Государственный Университет. Минск ss. 302.

МУХАМАДЬЯРОВ Ф.Ф., ОСТАЛЬЦЕВ В.П. 2011. Модели деформирования почвы при оценке взаимодействия движителей тракторов с почвой [Modele odkształcenia gleby i ocena właściwości trakcyjnych ciągników]. *Аграрна наука Евро-Северо-Востока*. No 3(22) s. 72–74.

Федоров Г.Ю. 2012. Ресурсосберегающие способы обработки дерново-подзолистой почвы в условиях Костромской области [Ograniczające nakłady sposoby uprawy gleb darniowo-bielicowych w warunkach obwodu kostromskiego]. Аграрна наука Евро-Северо-Востока. No 1(26) s. 53–58.

Холобов Л.А., Дыдикин А.М., Суворов Е.А. 2011. Изменение токсичности отработавших газов бензинового ДВС в зависимости от параметра время-сечение газораспределительного механизма [Zmiana toksyczności gazów silnika benzynowego w funkcji czasu pracy układu wydechowego]. Аграрна наука Евро-Северо-Востока. No 4(23) s. 59–64.

Юнусов Г.С., Майоров А.В., Попов И.И., Кропотов Ю.А. 2012. Машины для поверхностной обработки почвы под посев сельскохозяйственных культур [Maszyny do przed-siewnej uprawy gleby]. Аграрна наука Евро-Северо-Востока. No 1(26) s. 50–56.

Wykaz aktów prawnych

Dyrektywa Rady (azotanowa) 91/676/EEC z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego. Dz.Urz. UE L 375/1 z dnia 31 grudnia 1991 r. oraz ze zmianami: Dz.Urz. UE L 03.284.1 art. 3 z dnia 20 listopada 2003 r., Dz.Urz. UE L 05.94.34 art. 1 z dnia 2 lipca 2004 r., Dz.Urz. UE L 05.324.89 art. 1 z dnia 1 stycznia 2006 r.

Dyrektywa Rady 77/537/EWG z dnia 20 czerwca 1977 r. (wraz ze zmianami 2000/37/WE z dnia 22 maja 2000 r.) dotycząca badań zadymienia spalin silników ciągników rolniczych w ustalonych warunkach obciążenia. Dz.Urz. UE L 173 z dnia 12 lipca 2000 r.

EN 14214-2008. Europejska norma jakości biodiesla.

Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 25 czerwca 2008 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ochronie roślin. Ogłasza się w załączniki do niniejszego obwieszczenia jednolity tekst ustawy z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin. Dz.U. 2004. Nr 11 poz. 94, Dz.U. 2008. Nr 133 poz. 849.

PN-75/R-36126. Agrotechnika. Szerokości międzyrzędzi podstawowych roślin uprawnych, podającą szerokości międzyrzędzi, przy siewie rzędownym i pasowym, podstawowych roślin w uprawie polowej.

PN-73/R-36120. Ciągniki rolnicze. Rozstawy kół, których szerokości odpowiadają rozstawom międzyrzędzi roślin uprawnych, przy czym poprzez zamianę kół lewych na prawe w ciągniku można uzyskać dwa rozstawy, przy ciągnikach średnich mocy 135 i 150 cm i ciągnikach dużych mocy 150 i 180 cm.

PN-82/R-36107. Ciągniki rolnicze. Zaczep rolniczy. Główne wymiary, wymagania i usytuowanie. Norma zawiera znormalizowane parametry zaczepu rolniczego ciągnika, głównie jego wymiary, wymagania i usytuowanie.

PN-82/R-36108. Ciągniki rolnicze. Dolny zaczep transportowy. Główne wymiary, wymagania i usytuowanie. Norma zawiera znormalizowane parametry dolnego zaczepu transportowego ciągnika, głównie jego wymiary, wymagania i usytuowanie.

PN-77/R-36110. Ciągniki rolnicze. Trzypunktowy układ zawieszenia. Parametry przyłączeniowe. Norma zawiera znormalizowane parametry trzypunktowego układu zawieszenia ciągnika oraz jego parametry przyłączeniowe.

PN-R-36139/1989. Ciągniki i maszyny rolnicze. Trzypunktowy układ zawieszenia przedni. Norma zawiera znormalizowane parametry przedniego trzypunktowego układu zawieszenia ciągnika.

PN-73/R-36106. Ciągniki rolnicze. Trzypunktowy układ zawieszenia (siła udźwigu). Norma zawiera znormalizowane parametry trzypunktowego układu zawieszenia ciągnika (siła udźwigu).

PN-EN 12525+A2. 2010. Maszyny rolnicze. Ładowacze czołowe. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa.

PN-EN ISO 4254-1. 2009/AC. 2010. Maszyny rolnicze. Bezpieczeństwo. Cz. 1. Wymagania ogólne.

PN-90/R-55021. Maszyny rolnicze. Metody badań narzędzi i maszyn uprawowych.

PN-91/R-55029. Maszyny rolnicze. Metody badań rozsiewaczy i siewników do rzutowego rozsiewu stałych nawozów mineralnych.

PN-EN 13080/2004. Maszyny rolnicze. Rozrzutniki obornika. Ochrona środowiska. Wymagania i metody badań.

PN-EN 13739-1/2004. Maszyny rolnicze. Rozsiewacze i siewniki rzutowe nawozów stałych. Ochrona Środowiska. Cz. 1. Wymagania.

PN-EN 13739-2/2004. Maszyny rolnicze. Rozsiewacze i siewniki rzutowe nawozów stałych. Ochrona Środowiska. Cz. 2. Metody badań.

PN-EN 13740-1/2005. Maszyny rolnicze. Siewniki nawozów stałych. Ochrona Środowiska. Cz. 1. Wymagania.

PN-EN 13740-2/2005. Maszyny rolnicze. Siewniki nawozów stałych. Ochrona Środowiska. Cz. 2. Metody badań.

PN-EN 13790-1/2005. Maszyny rolnicze. Opryskiwacze. Badania kontrolne użytkowanych opryskiwaczy. Cz. 1. Opryskiwacze polowe.

PN-EN 1553/2002. Maszyny rolnicze. Maszyny rolnicze samobieżne, zawieszane, półzawieszane i przychepiane. Wymagania wspólne dotyczące bezpieczeństwa.

PN-EN ISO 14982/2002. Maszyny rolnicze i leśne. Kompatybilność elektromagnetyczna. Metody badania i kryteria przyjęcia.

PN-EN ISO 4254-1/2006. Maszyny rolnicze. Bezpieczeństwo. Część 1. Wymagania ogólne. Norma zawiera wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa obsługi maszyn rolniczych.

PN-EN ISO 4254-1/2009/AC/2010. Maszyny rolnicze. Bezpieczeństwo. Cz. 1. Wymagania ogólne.

PN-EN 12761-1/2003. Maszyny rolnicze i leśne. Opryskiwacze oraz maszyny do nawożenia płynnymi nawozami mineralnymi. Ochrona środowiska. Cz. 1. Postanowienia ogólne.

PN-EN 12761-2/2003. Maszyny rolnicze i leśne. Opryskiwacze oraz maszyny do nawożenia płynnymi nawozami mineralnymi. Ochrona środowiska. Cz. 2. Opryskiwacze polowe.

PN-EN 12761-1/2003. Maszyny rolnicze i leśne. Opryskiwacze oraz maszyny do nawożenia płynnymi nawozami mineralnymi. Ochrona środowiska. Cz. 3. Opryskiwacze sadownicze.

PN-82/C-87004. Nawozy sztuczne. Nazwy i określenia.

Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 181/2006 z dnia 1 lutego 2006 r. w sprawie wykonania rozporządzenia (WE) nr 1774/2002 w odniesieniu do nawozów organicznych i dodatków do wzbogacania gleby innych niż nawóz naturalny oraz zmieniające to rozporządzenie. Dz.Urz. UE L/29.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowa-

niach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typu wapna nawozowego. Dz.U. 2010. Nr 183 poz. 1229.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 13 czerwca 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn Dz.U. 2011. Nr 124 poz. 701.

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz.U. 2008. Nr 119 poz. 765.

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 21 grudnia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz.U. 2009. Nr 224 poz. 1804.

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 czerwca 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania. Dz.U. 2012. Nr 0 poz. 745.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 stycznia 2012 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin. Wydane na podstawie art. 48 ustawy z 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody. Dz.U. 2009. Nr 151 poz. 1220.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4 czerwca 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości pestycydów, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub na ich powierzchni. Dz.U. 2008. Nr 102 poz. 655.

Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu. Dz.U. 2007. Nr 147 poz. 627.

Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym. Dz.U. z 1997 r. Nr 98 poz. 602.

Streszczenie

Systematyczny postęp w doskonaleniu konstrukcji maszyn i technologii polowej produkcji roślinnej wymaga od użytkowników maszyn rolniczych szczegółowej wiedzy z zakresu ich użytkowania. Doskonalenie konstrukcji ciągników rolniczych zmierza do rozbudowywania ich wyposażenia podstawowego i dodatkowego. W ciągnikach instalowane są silniki o coraz większej mocy, dochodzącej do 400 kW, a podstawowym podwoziem jest podwozie dwuosiowe z napędem na dwie osie, z rozkładem masy ciągnika na oś przednią i tylną po ok. 50%. Masy dużych ciągników przekraczają 10 000 kg, a udźwig trzypunktowych układów zawieszenia dochodzi do 7000 kg. Ciągniki mają rozbudowane układy: elektryczne, pneumatyczne, hydrauliczne, przyłączeniowe maszyn rolniczych, komputery pokładowe i nawigację satelitarną. Umożliwia to stosowanie bardzo zróżnicowanego i skomplikowanego sprzętu rolniczego.

Doskonalenie silników ciągnikowych w kierunku ograniczenia takich zanieczyszczeń w spalinach, jak tlenki azotu (NO_x) i cząstki stałe (PM) poparte jest szerokimi badaniami z tego zakresu. Mało rozpoznany jest stopień zadymienia spalin silników ciągnikowych. Przedstawiono metodykę badań, która obejmowała pomiary zadymienia spalin w całym zakresie obrotów, umożliwiając sporządzenie charakterystyki zewnętrznej silnika. Do celów porównawczych i weryfikacji wyników przeprowadzono badania zadymienia spalin, według obowiązujących przepisów „Kodeksu drogowego”. Mierzonymi wielkościami były współczynnik pochłaniania światła „k” i stopień pochłaniania światła „A”. Badania obejmowały sześć ciągników, w tym jeden przed i po regulacji kąta wtrysku paliwa. Sporządzono charakterystyki zewnętrzne silników, obejmujące: moment obrotowy, moc, jednostkowe zużycie paliwa, godzinowe zużycie paliwa i zadymienie spalin w funkcji obrotów silnika. Maksymalne zadymienie spalin, w zakresie pełnego obciążenia, trzy ciągniki uzyskały w szczycie mocy. Pozostałe w szczycie momentu obrotowego.

Mechanizacja podstawowej uprawy gleby powinna zostać wyraźnie zmodyfikowana przez powszechniejsze stosowanie uprawy uproszczonej i przemienne stosowanie orki i uprawy uproszczonej. Zabieg powinien uwzględniać poprawę struktury gleby oraz jej ochronę przed erozją wodną i wietrzną. Ważnym elementem jest stosowanie narzędzi o zmiennej szerokości roboczej, map zwięzłości gleby oraz ścieżek przejazdowych. W uprawie przedsiębiernej preferowane są zestawy narzędzi jednoczynnościowych oraz narzędzia wieloczynnościowe. Do uprawy późniejszej gleby zalecane są agregaty na bazie kultywatorów i bron talerzowych, umożliwiające sporządzenie mulczu. Nawożenie mineralne to głównie nawozy granulowane jedno- i wieloskładnikowe, aplikowane rozsiewaczami tarczowymi i pneumatycznymi. Kierunek rozwoju tych maszyn to duże szerokości robocze i duże pojemności zbiorników nawozowych. Nawożenie mineralne ciekłe realizowane jest maszynami do ochrony roślin, zabieg ten często jest połączony z ochroną roślin.

Agregaty uprawowo-siewne i uprawowo-sadzące, łączące zabiegi uprawy i siewu zbóż oraz uprawy i sadzenia ziemniaków, ograniczają liczbę przejazdów maszyn po polu, zwiększają wydajność i ograniczają pracochłonność zabiegów, a także ograni-

cząją destrukcyjne oddziaływanie na glebę. Zabiegi oprysków plantacji środkami ochrony roślin wykonywane są maszynami o coraz większej szerokości roboczej, dochodzącej do 50 m. Duże zróżnicowanie rozwiązań konstrukcyjnych opryskiwaczy umożliwia dostosowanie ich do lokalnych warunków glebowo-klimatycznych, uprawianych roślin, rodzaju zabiegu. Problemami, które nadal wymagają rozwiązania, są zapobieganie przed znoszeniem cieczy opryskowej i stabilizacja poprzeczna belek opryskowych.

Rozwój mechanicznej pielęgnacji plantacji roślin uprawnych umożliwia wdrażanie rolnictwa zrównoważonego i ekologicznego. Powstający rynek maszyn dla gospodarstw ekologicznych systematycznie powiększa się i rokuje dalszy rozwój. Do zbioru roślin uprawnych wykorzystywane są różnego typu kombajny. Najczęściej są to maszyny samojezdne (kombajny zbożowe, buraczane) lub przyczepiane do ciągnika (kombajny ziemniaczane). Zbiór kombajnowy ma wiele zalet, ale duża masa tych maszyn grozi intensywnym niszczeniem struktury gruzełkowej i ugniataniem gleby.

Właściwy dobór ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych powinien być dokonywany w aspekcie dobrej jakości pracy, zadowalających wskaźników eksploatacyjno-ekonomicznych, a także przyjaznego oddziaływania na środowisko naturalne.

Doskonalenie ciągników, narzędzi i maszyn rolniczych stosowanych w zabiegach technologicznych polowej uprawy roślin, zmierza w kierunku przystosowania ich do rolnictwa zrównoważonego i ekologicznego, ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, umożliwiającego pozyskanie surowca do produkcji zdrowej żywności.

Summary

Steady progress in improving the design of machines and technology in crop production requires users of agricultural machinery to have detailed knowledge on how to use them. Improvement of agricultural tractors construction aims at development of their basic and additional equipment. The tractors are fitted with engines of power of up to 400 kW and the basic chassis is the two-axle chassis with all wheel drive and with tractor weight distribution on the front and rear axle by about 50%. Masses of large tractors exceed 10 000 kg and three-point suspension systems lifting capacities are up to 7 000 kg. Tractors are equipped with high-tech electrical, pneumatic and hydraulic systems, as well as agricultural machinery connection systems, on-board computers and satellite navigation, too.

Improvement of tractor engines in reducing pollutants content in exhaust gases, such as nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter (PM) is supported by the wide research in this area. Not enough, however, is recognized smokiness level of tractor engines exhaust gases in relation to their power, engine operating speed and number of hours worked.

There has been developed a method of research, which includes measurements of smoke opacity throughout the whole rpm range to enable elaboration of external characteristics of the engine. For the purpose of comparison and verification of the results there has been carried out research on smoke opacity under the current rules of the Highway Code. The measured values were light absorption coefficient – "k" – and the degree of light absorption "A". The study included six tractors, of which one – before and after injection angle adjustment. There have been prepared the external characteristics of engines including: torque, power, specific fuel consumption, hourly fuel consumption and smoke as a function of engine rotations. The maximum opacity within the full load was achieved by three tractors in peak power, and the other – at peak torque.

Mechanization of primary tillage should be significantly modified by more common use of reduced tillage and by alternating application of tillage and reduced tillage. The treatment should include improvement of soil structure, and protection of soil against water and wind erosion. An important element is the use of tools with variable working width, as well as maps of soil compaction and tramlines. In the pre-sowing cultivation single function tool aggregates and multifunction tools are preferred. For the post-harvest soil cultivation recommended are aggregates on the basis of cultivators and disc harrows to allow preparation of mulch. Mineral fertilization mainly includes granular fertilizers – single and multi-components – applied by the use of disc or pneumatic spreaders.

Modernization of these machines tends to increase both their working width and volume of containers for fertilizer. Liquid mineral fertilizer is applied by the use of machines for plant protection treatment. This operation is frequently connected with plant protection measures.

Currently both cultivation-sowing and cultivation-planting aggregates are of great importance because they connect the treatments of cereal cultivation and sowing as well as the potatoes cultivation and planting, and thus they reduce number of machine passages across the field, they increase the operation performance, and they limit machines destructive impact on soil. Plantation spraying treatments with plant protection means are made by machines with increasing working width of up to 50 m. The great variety of design solutions of sprayers enable their adaptation to local conditions of soil and climate, crops and type of treatment. Problems that are still being resolved include preventing spray drift and keeping spray beams lateral stability.

The development of mechanical cultivation of crops allows the implementation of sustainable and ecological agriculture. Arising machine market for organic farms is steadily growing and promising for further development. To harvest crops various types of combines are used. Usually these are self-propelled machines (combine harvesters, beet harvesters) or tractor trailed equipment (potato harvesters). Combine harvesting has a number of advantages, but because of the large mass of the machine it causes extensive destruction of soil structure and soil compaction, as well. The proper selection of tractors, farm machinery and tools is essential to the proper course of technological treatments. The choice should be made in terms of good quality of work, satisfactory operational and economic indicators, friendly impact on the environment.

Improving tractors, agricultural tools and machines used in crop cultivation technology tends to adapt them for sustainable and organic agriculture, limiting the negative impact on the environment and enabling the acquisition of raw materials for the production of healthy food.