

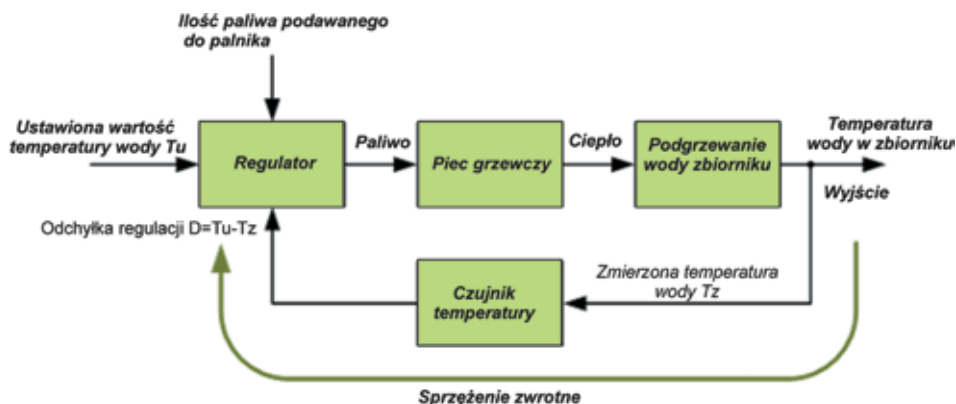
**Przykład:** Przetwornik ADC zaprojektowany do przetwarzania napięcia wejściowego w zakresie od 0 do 12 V na 8-bitowy sygnał cyfrowy. W tym przypadku maksymalna liczba stanów, jakie może przyjąć sygnał cyfrowy wynosi  $k = 2^n = 2^8 = 256$ . Zatem sygnał wejściowy podzielony jest na 256 poziomów i kolejne zmiany wartości wejściowej są zauważone na wyjściu tylko wtedy, gdy wynoszą nie mniej niż rozdzielczość przetwornika:  $k = (12-0)/256 = 0,0469$  V.

**Tabela 2.2.1. Wartość wejściowa sygnału analogowego oraz interpretacja wielkości analogowej, przez 8-bitowy przetwornik AC/DC**

Zakres napięcia wejściowego (V)	Interpretowana przez przetwornik wartość (V)	Wartość wielkości przedstawionej w zapisie dwójkowym	Wartość wielkości wyjściowej w zapisie dziesiętnym
0,000-0,0469	0	0000 0000	0
0,0470-0,0938	0,05	0000 0001	1
5,956-6,003	6	1000 0000	128
11,960-12,000	12	1111 1111	255

**Sprzężenie zwrotne** – system automatyki pozwalający na śledzenie zmian wielkości wyjściowej i przekształcenie tej wartości na wielkość wprowadzanej poprawki regulacyjnej. Klasycznym układem jest każdy system regulacji głębokości orki, gdzie dla regulacji siłowej wartością zadaną jest ustawiona na podnośniku siła, a w sprzężeniu zwrotnym pojawia się rzeczywista siła zmierzona przez siłomierz umieszczony np. w cięgłach dolnych układu zawieszenia narzędzia. Innym przykładem może być system ogrzewania wody w zbiorniku za pomocą pieca zasilanego paliwem ciekłym. W układzie zamontowano system regulacji wyposażony w regulator zespolony z pompą paliwa. Jeżeli piec ma dostarczyć więcej ciepła, pompa sterowana przez regulator zwiększa obroty, podając więcej paliwa do pieca. Zwiększenie ilości podawanego paliwa powoduje zwiększenie ilości dostarczonego ciepła wykorzystanego do podgrzewania wody w zbiorniku (rys. 2.2.6).

Wzrost temperatury mierzony jest za pomocą czujnika temperatury umieszczonego w zbiorniku. Do regulatora wprowadzane są dwie wielkości sterujące: wartość zadana –  $T_u$ , którą jest ustawiona temperatura, jaka ma być utrzymywana w zbiorniku, oraz wartość zmierzona określona przez czujnik temperatury –  $T_z$ . Różnica pomiędzy temperaturą zadaną i zmierzoną nosi nazwę odchyłki regulacji. Od algorytmu regulatora sterującego zależy, w jaki sposób będzie zmieniać ilość podawanego do pieca paliwa. Może podać ilość proporcjonalnie do wielkości odchyłki – tak działają regulatory proporcjonalne. Może również stopniowo, w miarę upływu czasu zwiększać ilość



**Rysunek 2.2.6. Przykład u kładu regulacji temperatury cieczy w zbiorniku wyposażonego w pętlę sprzężenia zwrotnego.**

podawanego paliwa, tak długo aż odchyłka regulacji zniknie lub, co gorzej, skończy się możliwość zwiększania ilości paliwa podawanego do pieca. Ten sposób pracy opisuje pracę regulatora całkującego. Regulator powinien tak sterować ilością paliwa dostarczanego do pieca, aby wartość tej odchyłki była bliska zeru.

**Przykład:** Dron przemieszcza się nad polem i wykonuje punktowo zdalne pomiary wilgotności gleby. Jaka musi być minimalna częstotliwość próbkowania gleby, aby przy prędkości przelotowej 50 km/h uzyskać pomiary co 5 m?

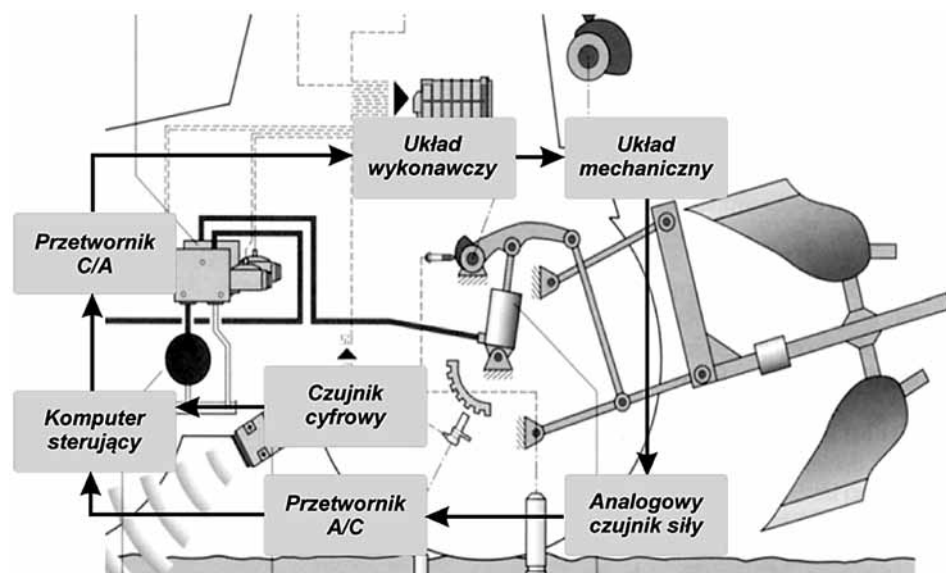


**Rysunek 2.2.7. Dron skanujący uprawy.**

**Rozwiązanie:**  $V = 50 \text{ km/h}$ ,  $d = 5 \text{ m}$ . Dron przemieszcza się z prędkością  $V = 50 \text{ km/h} = 13,89 \text{ m/s}$ . Aby możliwe było wykonanie próbek co 5 metrów, należy próbki wykonywać w odstępach czasu nie dłuższych niż  $T = d/V = 5/13,89 = 0,360 \text{ s}$ . Oznacza to, że częstotliwość próbkowania powinna wynieść przynajmniej:  $f = 1/T = 2,778 \sim 3 \text{ Hz}$ .

### 2.2.1. Praktyczna realizacja sprzężenia zwrotnego

Sprzężenie zwrotne może być realizowane zarówno przez układy mechaniczne, jak i przez układy elektroniczne. Na rysunku 2.2.8 przedstawiono podstawowe elementy systemu mechatronicznego sterowania głębokością orki w ciągniku wyposażonym w system EHR.



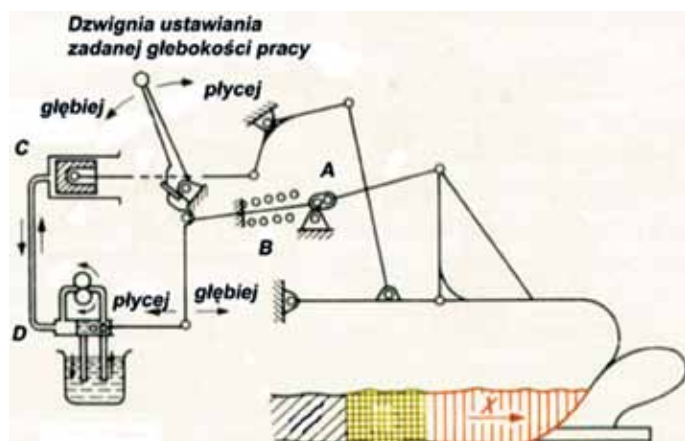
**Rysunek 2.2.8. Budowa systemu mechatronicznego na przykładzie rozwiązania EHR.**

Źródło: [Skrobacki, Ekielski. Pojazdy rolnicze i leśne, 2012].

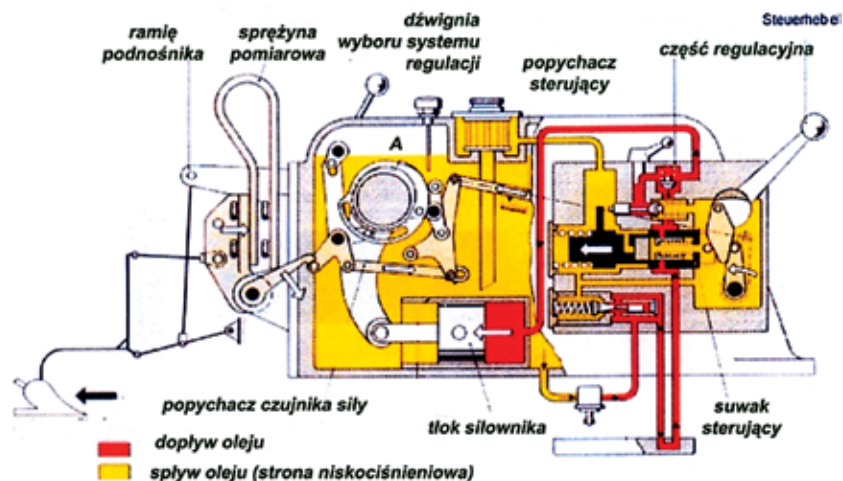
Zmiana elementu sterowania z układu mechanicznego na elektroniczny wymaga zastosowania podstawowego elementu kontrolno-sterującego, jakim jest kontroler mikroprocesorowy. Układ mikroprocesorowy wykorzystuje informacje zbierane od czujników pomiarowych i wytwarza sygnały o określonych wartościach i właściwym standardzie (napięciowe lub prądowe), które mogą być wykorzystane jako sygnały do zaworów hydraulicznych, sterujących siłownikami napędzającymi zespoły mechaniczne.

Na rysunku 2.2.9 przedstawiono mechaniczny system regulacji orki.

Opracowany przez Fergusona system regulacji głębokości orki przesyła sygnały przez układ mechaniczny. W tym przypadku informacja o wartości oporu pługa przenoszona jest przez górne ciągło do punktów A-B. Wartość zadania siły oporu pługa jaka ma być utrzymywana, ustawiana jest przez przemieszczenie dźwigni zadanej głębokości pracy. Występujące różnice pomiędzy siłą zadaną (opisaną jako głębokość orki) a wartością siły zmierzoną



a)



b)

**Rysunek 2.2.9. Klasyczny przykład rozbudowy mechanicznego systemu regulacji głębokości orki – od prostego systemu opracowanego przez Fergusona (a) do skomplikowanego układu mechanicznego (MHR) opracowanego przez firmę Bosch (b).**

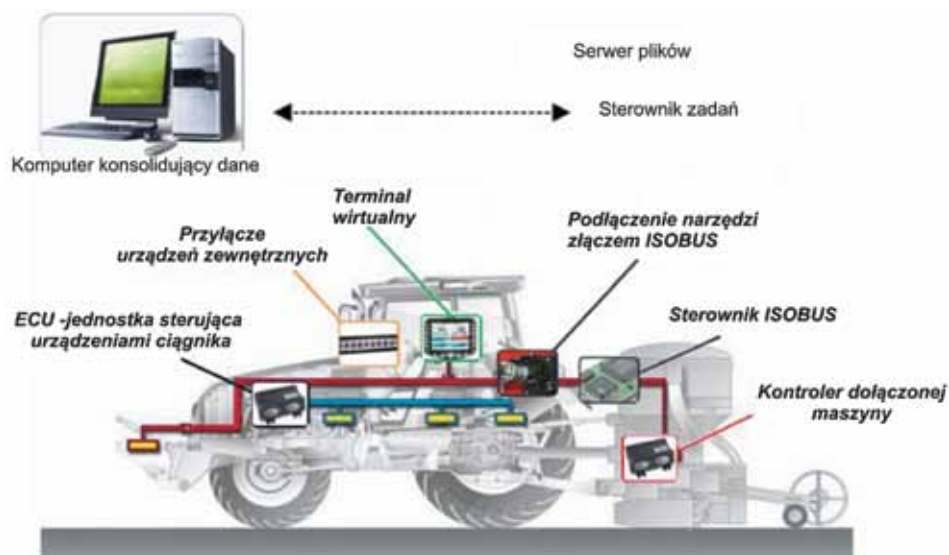
jako ugięcie sprężyny znajdującej się pomiędzy punktami A-B, powodują przesunięcie dźwigni zaworu sterującego przepływem oleju do cylindra podnośnika. Zwiększenie liczby funkcji realizowanych przez układ regulacji automatycznej na drodze mechanicznej prowadzi do znacznej komplikacji układu. Przykładem jest układ MHR opracowany przez firmę Bosch. Powyżej pewnego poziomu komplikacji układów mechanicznych ich cena wzrasta do takiego poziomu, że ich stosowanie przestaje być racjonalne. Układy elektroniczne po osiągnięciu odpowiedniej niezawodności, zastępują rozwiązania czysto mechaniczne.

## 2.3. Zasada pracy szyny CANBUS i ISOBUS

**Wypożażenie stanowiska:** Instalacja ISOBUS fabrycznie zamontowana w pojeździe lub zestaw modernizacji pojazdu wyposażony w czujniki i terminal z oprzyrządowaniem zgodny z ISO 11783.

Podłączenie w pojazdach coraz większej liczby urządzeń kontrolno-pomiarowych wymusiło na producentach wprowadzenie uporządkowanego systemu zarządzania komunikacją pomiędzy nimi. Pierwsze systemy przesyłające dane wewnątrz pojazdów zastosowano w 1992 roku i opisano protokołem CAN (Bosch). Dane były przesyłane przez jedną centralną wiązkę przewodów nazywaną szyną danych. Wprowadzenie jednej szyny danych, do której można dołączyć kolejne urządzenie bez konieczności jej znacznej przebudowy, było niewątpliwie dużym osiągnięciem. Protokoły i szyna danych ze względu na swoje uniwersalne działanie, jako środek do bieżącej obsługi urządzeń i diagnostyki pojazdu, zostały nazwane CAN (ang. *Controller Area Network*). Z punktu widzenia automatyki zasada działania algorytmu wykorzystywanego w CAN, przedstawia szeregowy protokół komunikacyjny, obsługującym systemy sterowania rozproszonego. Magistrała przesyłania danych, ze względu na fizyczne jej działanie wykorzystujące sygnały cyfrowe (ang. *Binary Unit System* – BUS), przyjęła nazwę CANBUS. Wtedy również pojawił się standard dla sygnałów przesyłanych pomiędzy urządzeniami w pojeździe opisany normą ISO 11898 zgodną z normą J1939. Obie normy opisywały standardy przesyłania danych wykorzystywanych w pojazdach roboczych i autobusach. W 1999 roku wprowadzono normę ISO 11992, standaryzującą komunikację pomiędzy ciągnikami drogowymi i przyczepami. Norma ISO 11783, również znana jako ISOBUS, wprowadzona została w 2002 roku i opisuje zasady komunikacji pomiędzy urządzeniami elektronicznymi zamontowanymi w ciągnikach oraz w maszynach rolniczych i leśnych. Wszystkie wymienione wyżej standardy są ze sobą kompatybilne. Ze względu na otwarty charakter sieci CAN, możliwe było jej wykorzystanie praktycznie we wszystkich urządzeniach wymagających diagnostyki, wprowadzając nowe standardy. Opracowany standard zaprojektowano tak, aby umożliwić sterownikom i systemom zainstalowanym w pojeździe łączenie się między sobą z pominięciem zewnętrznej jednostki sterującej (komputera).

Dużą zaletą szyny CAN jest możliwość wykorzystania jednej grupy przewodów do przesyłania sygnałów od różnych urządzeń. Każdy podsystem maszyny (silnik, pompy hydrauliczne) ma swoje własne sterowniki (ECU). Sterowniki podłączone są właśnie za pomocą szyny CAN w układzie „rybiej ości” w jedną sieć informacyjną. Aby możliwe było zapewnienie niezawodności i łatwej diagnostyki systemu CAN, wprowadzono układ różnicowy napięcia jako standard przesyłania informacji.

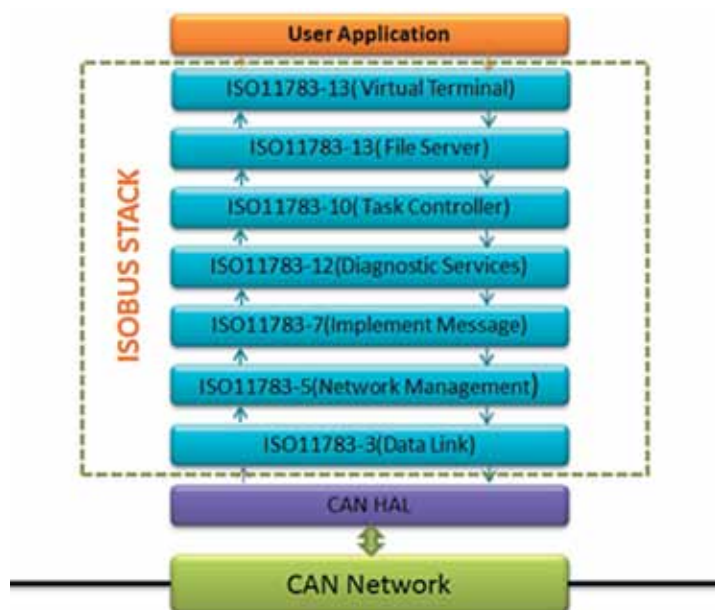


**Rysunek 2.3.1. Idea przesyłania sygnałów sterujących pomiędzy ciągnikiem i maszyną.**

W pojazdach rolniczych szyna i standard CAN wykorzystywane są podobnie jak w pojazdach do komunikacji wewnętrznej pomiędzy oprzyrządowaniem. Ze względu jednak na możliwość ich współpracy z różnego rodzaju maszynami, konieczne stało się wprowadzenie systemu zarządzania nimi z poziomu systemu CAN. Konieczność opracowania standardu przesyłania sygnałów (protokołu) pomiędzy różnymi maszynami, wykonanymi przez różnych producentów, wymusiła opracowanie protokołu komunikacji, nazwanego ISOBUS – od nazwy International Standard Organization. Protokół transmisji, wykorzystujący protokół CAN został opracowany pierwotnie przez firmę Bosch w 1991 roku. Protokół danych jest zgodny z później opracowanym standardem przesyłania danych **ISO 11783**, przeznaczonym dla pojazdów rolniczych i leśnych i wykorzystuje standard CAN zgodny z normą ISO 11898. Podłączenie do istniejącej w pojazdach szyny CAN umożliwia użytkownikom wykorzystanie wyświetlaczy zamontowanych fabrycznie w pojazdach do wyświetlania informacji przekazywanej z dołączonych maszyn lub narzędzi. Przyłączenie nowych użytkowników do sieci ISOBUS odbywa się bezinstalacyjnie (ang. *Plug and Play*), poprzez wykrycie nowego użytkownika przez system i ukazanie go na ekranie monitora.

Podstawą rozwoju tej technologii, odgrywającą obecnie bardzo ważną rolę w rozwoju i diagnostyce maszyn i pojazdów rolniczych jest tzw. model warstwowy OSI. Stanowi on podstawę do projektowania protokołów umożliwiających

liwiających interakcję pomiędzy komponentami elektronicznymi w sieci. Model warstw sieci składa się z 7 warstw i opisany jest w normie ISO 11898-1 (rys. 2.3.2). Struktura ISOBUS wykorzystuje standard CAN i składa się z kolejnych, współpracujących ze sobą warstw. Strukturę warstw można generalnie podzielić na część fizyczną i logiczną, wymienioną w normie ISO 11783. Na rysunku 2.3.2 przedstawiono kolejne warstwy sieci, na które składają się: protokół przesyłania danych, warstwy wspierające szeregowe przesyłanie danych pomiędzy maszynami i pojazdem oraz oprogramowanie pozwalające na komunikację z jednostką sterującą urządzeniami w pojeździe – ECU (ang. *Electronic Control Unit*). Zgodnie ze standardem OSI w systemie CANBUS można wyróżnić również siedem warstw opisanych w kolejnych normach.



Rysunek 2.3.2. Architektura sieci ISOBUS zgodna z modelem OSI, warstwy sieci opisane w normie ISO 11783.

### 2.3.1. Warstwy logiczne sieci ISOBUS

**7: Terminal wirtualny ISOBUS** (ang. *Virtual Terminal*) – jest to oprogramowanie, które stanowi podstawę systemu komunikacji z urządzeniami wyświetlającymi i urządzeniami pomiarowymi. Dzięki wirtualnemu terminalowi można zamienić sygnały wychodzące z monitora umieszczonego w pojeździe na sygnały sterujące, przyjmowane przez ECU dowolnego urządzenia przyłączonego do sieci. Działania sterujące są przejmowane przez tę warstwę.