

# PODSTAWOWE RODZAJE SYSTEMÓW WIZYJNYCH STOSOWANYCH W NOWOCZESNYM ROLNICTWIE

Streszczenie

W artykule krótko scharakteryzowano najpopularniejsze technologie wykorzystywane w systemach wizyjnych maszyn rolniczych, podając zakres ich zastosowań i stan rozwoju.

**Słowa kluczowe:** systemy wizyjne, rolnictwo precyzyjne, rodzaje czujników optycznych

## Wstęp

Obecnie można zaobserwować szybki postęp robotyzacji prac polowych i związany z tym rozwój autonomicznych maszyn rolniczych (robotów polowych). Nad ich projektami pracuje wielu producentów oraz wiele ośrodków naukowych. Należy się spodziewać, że maszyny takie będą produkowane także w Polsce.

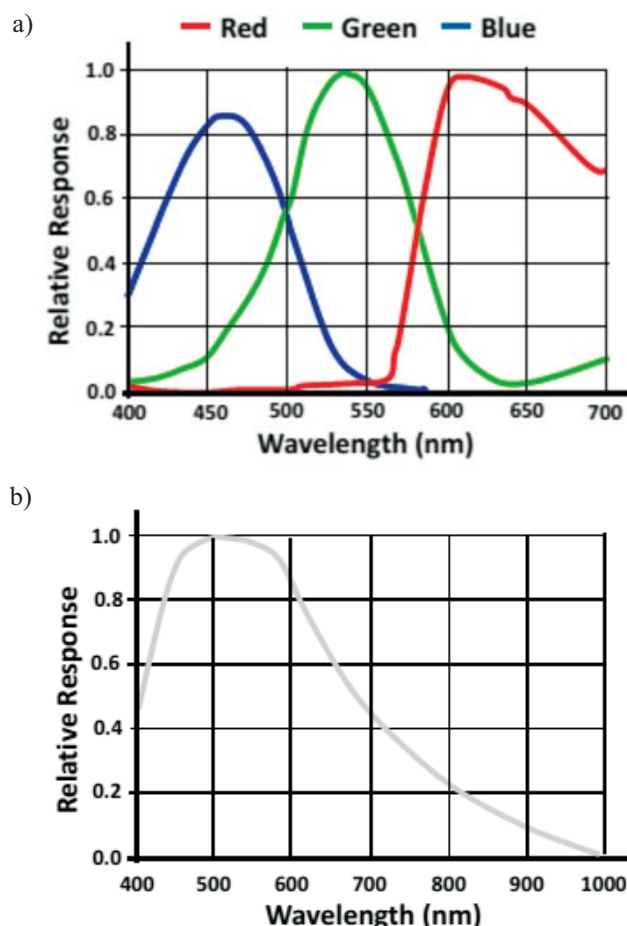
Wraz z rozwojem technologii elektronicznej i informatycznej opracowano różne systemy czujników stosowanych podczas prac rolnych na całym świecie. Dokładne informacje dotyczące zmienności przestrzennej w obrębie pól są szczególnie ważne dla rolnictwa precyzyjnego i upraw specjalistycznych. Na tę zmienność mają jednak wpływ różne czynniki, w tym plon, właściwości gleby i jej składniki odżywcze, składniki odżywcze roślin uprawnych, objętość roślin, zawartość wody i warunki występowania szkodników (chwasty i owady). Czynniki te można mierzyć za pomocą różnych typów czujników i przyrządów, takich jak czujniki elektroniczne terenowe, maszynowe systemy wizyjne, obrazy satelitarne, obrazowanie termiczne. Najbardziej zaawansowane są systemy czujników do wykrywania biomasy roślinnej, wykrywania chwastów, badania właściwości gleby i składników odżywczych. Techniki wykrywania chorób i ich charakterystyki, jak również stanu wody w uprawach, oparte są na bardziej złożonych interakcjach między rośliną a czujnikiem, co utrudnia ich wdrożenie w skali pola i jest trudniejsze do interpretacji.

## Wykorzystywane zakresy pasm widma

Większość zadań rolniczych wykorzystujących systemy wizyjne maszyn wymaga technik przetwarzania obrazów w celu identyfikacji określonych sygnatur widmowych. Wskaźniki wegetacji wymagają wyodrębnienia cech spektralnych przez połączenie dwóch lub więcej pasm spektralnych, w oparciu o właściwości odbicia powierzchni roślin [10]. Niektóre z nich wykorzystują tylko trzy widoczne pasma widmowe, tj. Czerwony (R - red), Zielony (G - green) i Niebieski (B - blue), dla których możliwe jest wzmocnienie pewnego określonego pasma. W związku z tym, jeśli interesuje nas zieleń, wartości w pasmach G mogą zostać wzmocnione, gdy interesuje nas segmentacja gleby, należy poprawić wartości pasm R. Nadmiar zieleni i nadmiar czerwieni to dwa dobrze znane wskaźniki wykorzystywane do takich celów. Pierwszy z nich jest stosowany do wykrywania roślin zielonych, w tym rzędów roślin uprawnych, obszarów chwastów, liści i innych części wegetatywnych. Drugi służy do

celów, takich jak analiza gleby (skład organiczny, wilgotność itp.).

Istotną cechą czujników optycznych jest zmiana wielkości odpowiedzi w zależności od długości fali światła. Rys. 1a przedstawia przykładowy ogólny wykres ilustrujący względną odpowiedź RR (*Relative Response*) czujnika RGB dla różnych długości fali. Jeśli czujnik jest monochromatyczny, typowym profilem może być ten przedstawiony na rys. 1b.



Rys. 1. Typowa odpowiedź widmowa: a) czujnika RGB; b) czujnika monochromatycznego [16]

Fig. 1. Typical spectral response of a) RGB sensor; b) monochrome sensor [16]

W zastosowaniach, w których za pomocą systemów wizyjnych umieszczonych w samolotach lub na satelitach ma

być identyfikowana zielona roślinność. Stosowane są czujniki wielospektralne. Wykorzystują one pełną przestrzeń barw w zakresie światła widzialnego, a także mikrofal, dalekiej i bliskiej podczerwieni oraz ultrafioletu. Obraz wielospektralny składa się z wielu kanałów będących uogólnieniem kanałów barw podstawowych: RGB. Szczególnie przydatne jest pasmo tzw. bliskiej podczerwieni (NIR - *Near InfraRed*), ponieważ u roślin zielonych występuje wysoki współczynnik odbicia w paśmie NIR z powodu aktywności i absorpcji chlorofilu [15].

### Typy czujników stosowane w nowoczesnej produkcji roślinnej i ich zastosowanie

Stosowane w nowoczesnym rolnictwie technologie intensywnie wykorzystujące czujniki optyczne obejmują:

1. Nowe technologie do kontrolowania stosowania substancji chemicznych i składników odżywczych w sposób, który poprawia wydajność, zmniejsza koszty, poprawia bezpieczeństwo pracowników i zmniejsza negatywny wpływ na środowisko.
2. Zabiegi rolnicze usprawnione dzięki zastosowaniu bezdotykowych czujników w rozwiązaniach mechatronicznych i wykorzystywanych w robotach w celu zwiększenia wydajności, a następnie zminimalizowania kosztów pracy. Przykłady obejmują: przerzedzenie owoców, przycinanie, opryskiwanie i zbieranie.
3. Autonomiczne systemy nawigacyjne, które można zastosować do różnych operacji rolniczych, takich jak zbiory, opryskiwanie i sterowanie pojazdami. Operacje te wymagają szeregu czujników upraw, aby działały w sposób, który jest wrażliwy na lokalne warunki uprawy.
4. Rolnictwo precyzyjne obejmujące procesy mapowania pól i prognozowania, badania własności gleby, stosowania składników odżywczych i pestycydów, sterowania nawadnianiem itp.
5. Monitorowanie występowania chorób i szkodników wykorzystujące różne podejścia, w tym technologie czujników lotniczych, a także systemy naziemne umożliwiające wykrywanie bezkontaktowe.

W poszczególnych, wymienionych wyżej, obszarach działania wykorzystywane są systemy optyczne różnego rodzaju, o rozmaitych własnościach, wymagających różnego sprzętu i oprogramowania.

### Zdjęcia lotnicze i satelitarne

Zdjęcia lotnicze i satelitarne w rolnictwie, szczególnie precyzyjnym, są wykorzystywane najczęściej do badania wydajności upraw. Obrazy z powietrza uzyskane w trakcie sezonu wegetacyjnego mogą być wykorzystywane nie tylko do zarządzania po sezonie, ale także do prowadzenia odpowiednich zabiegów w trakcie sezonu, bezpośrednio po uzyskaniu zdjęć. Obecnie do mapowania zmienności pól w terenie i innych precyzyjnych zastosowań w rolnictwie wykorzystywane są obrazy wielospektralne oraz zdjęcia satelitarne o wysokiej rozdzielczości. Systemy obrazowania wielospektralnego o wąskich pasmach widmowych dostarczają obrazy danych o dużej rozdzielczości przestrzennej oraz mają możliwość monitorowania w czasie rzeczywistym.

Dostępność komercyjna czujników satelitarnych o wysokiej rozdzielczości, takich jak IKONOS, QuickBird i SPOT 5, otworzyła nowe możliwości mapowania zmienności badanej cechy wewnątrz pola. Te czujniki satelitarne znacznie zawęziły lukę w rozdzielczości przestrzennej między obrazami satelitarnymi i powietrznymi.

W Polsce na bieżąco dostarcza dane satelitarne dla rolników indywidualnych serwis SatAgro (<http://satagro.pl/>). Jest to

serwis internetowy, w którym użytkownicy mogą oznaczyć, a później monitorować swoje pola. Użytkownik może śledzić na ile równomiernie rozwija się jego uprawa, porównywać zdjęcia w czasie i odpowiednio do tego dobierać zabiegi agrotechniczne [18].

### Termografia

Termografia to proces obrazowania w paśmie średniej podczerwieni. Pozwala on na rejestrację promieniowania ciepłego emitowanego przez ciała fizyczne w przedziale temperatur spotykanych w warunkach codziennych, bez konieczności oświetlania ich zewnętrznym źródłem światła, a w niektórych rozwiązaniach pozwala na dokładny pomiar temperatury tych obiektów.

Podobnie jak w przypadku obrazów widzialnych (RGB) lub w podczerwieni (NIR), obrazy termiczne zawierają informacje przestrzenne o obrazowanych obiektach. Z drugiej strony, wykazują w stosunku do nich dwie zasadnicze różnice: po pierwsze, obrazy termowizyjne (TIR) zawierają informacje o energii emitowanej z powierzchni ciał w postaci fal elektromagnetycznych, podczas gdy obrazy RGB i NIR zawierają informacje o energii elektromagnetycznej odbijanej od powierzchni ciał. Po drugie, zakres spektralny podczerwieni termicznej wynosi od 3 do 12  $\mu\text{m}$ , podczas gdy obrazy RGB i NIR korzystają z fal w zakresie od 0,35 do 1,0  $\mu\text{m}$ . Obrazy RGB są związane z absorpcją pigmentu (skład chemiczny), obrazy NIR są związane z rozpraszaniem (geometryczna struktura komórki), a obrazy TIR są związane z właściwościami termodynamicznymi obiektu i emisyjnością oraz warunkami otoczenia. Dlatego każdy typ obrazu ma inną treść tematyczną, co czyni je komplementarnymi.

Główne zadania związane z wykrywaniem w rolnictwie precyzyjnym, w których główną rolę odgrywa termowizja, to mapowanie stanu upraw, wykrywanie i mapowanie chorób roślin uprawnych oraz wykrywanie owoców w koronach drzew. Najnowsze odkrycia w zakresie obrazowania termicznego otworzyły także możliwości mapowania stresów w uprawach, a przede wszystkim stresu wodnego w uprawie na podstawie jej temperatury [11].

Termografia jest często wykorzystywana do oceny jakości i ilości owoców [1]. Detekcja owoców opiera się na założeniu, że ich temperatura znacznie różni się od otoczenia.

Okazuje się, że połączenie obrazów termicznych i kolorowych obrazów RGB może zwiększyć także dokładność wykrywania owoców [4, 22]. Metoda polegająca na automatycznej rejestracji łączącej oba typy obrazów okazała się lepsza niż wykorzystanie każdego z tych obrazów oddzielnie.

Wiele materiałów organicznych i związków obecnych w liściach wykazuje charakterystyczne cechy widmowe w podczerwieni, chociaż pojawienie się takich cech jest dość zmienne ze względu na międzygatunkowe różnice w składzie i strukturze skórki. Zdalne rozpoznawanie subtelnymi właściwościami emisyjności liści w naturalnej geometrii korony nadal stanowi poważne wyzwanie techniczne. Wraz ze wzrostem możliwości technicznych coraz ważniejsze staje się zrozumienie udziału liści w podczerwonym promieniowaniu spektralnym, co ostatecznie może pozwolić na nowe rodzaje obserwacji teledetekcyjnych roślinności [5].

### Systemy laserowe

Laserowe systemy pomiarowe są stosowane w wielu dziedzinach od lat siedemdziesiątych, a pod koniec lat osiemdziesiątych XX wieku technologia laserowa została wykorzystana do wykrywania biomasy leśnej i produkcji

roślinnej [8]. Już 1988 roku w pracy [12] opisano wdrożenie działającego z powietrza laserowego systemu pulsacyjnego do oceny biomasy leśnej i objętości drewna. Ta sama technika może być zastosowana do niektórych roślin drzewiastych do oceny objętości korony. Uzyskane dane umożliwiły oszacowania objętości korony drzewa z błędem w granicach 2,6%. W 1996 roku laserowy system helikopterowy zastosowano do pomiaru wysokości i objętości drzewostanu [13]. Stwierdzono, że połączenie lidar z działającego z powietrza i zdjęć satelitarnych jest bardzo przydatne do opisu różnorodności biologicznej i monitorowania jej zmian.

Ostatnio systemy laserowe stosowane są do szacowania parametrów upraw, takich jak wysokość roślin, zasięg i gęstość biomasy, które mogą być głównym czynnikiem optymalizacji metod zbioru plonów.

### Systemy ultradźwiękowe

Zasada działania czujników ultradźwiękowych polega na wysyłaniu przez nadajnik czujnika fal w jednakowych odstępach czasu w stronę interesującego nas obiektu i odbiorze sygnału odbitego od niego.

Ważnymi zaletami czujników ultradźwiękowych są:

- duża odporność na zabrudzenia, co umożliwia pracę w kurzu i gęstym pyłu,
- emitowane fale o wysokich częstotliwościach powodują proces samooczyszczenia czujnika,
- fale ultradźwiękowe nie są pochłaniane przez pył obecny w powietrzu,
- wykrywanie szerokiej gamy materiałów,
- w zaawansowanych wersjach istnieje możliwość regulacji okna wykrywania.

Do wad czujników ultradźwiękowych można zaliczyć:

- wpływ temperatury i wilgotności powietrza na zasięg i kształt generowanej fali ultradźwiękowej,
- problem z wykrywaniem materiałów silnie porowatych i gąbczastych,
- w przypadku zwiększania okna pomiarowego, zmniejsza się precyzja czujnika,
- wzajemne zakłócenia sąsiadujących ze sobą czujników.

Skuteczność ultradźwiękowych czujników odległości była badana dla różnych upraw. W pracy [17] czujnik ultradźwiękowy został zastosowany w celu uzyskiwania odbić sygnału z różnych warstw liści pszenicy ozimej. Inne badania dotyczyły wykorzystania oceny wysokości dzikich jagód do analizy lokalnej zmienności plonów lub ultradźwiękowych pomiarów wysokości roślin wykorzystywanych do odróżniania chwastów i dzikich jagód w celu kierowania zautomatyzowanym opryskiwaczem do oprysku punktowego. Istotnym problemem stosowania czujników ultradźwiękowych i podobnych jest zjawisko polegające na tym, że geometria roślin, struktura i kolor powierzchni liścia oraz gęstość roślin mają wpływ na wielkość odbicia fali ultradźwiękowej, co może prowadzić do uzyskania niewłaściwych relacji między wysokością roślin i ich masą [7].

W pracy [20] opisano porównanie między skanerem laserowym a przetwornikami ultradźwiękowymi w pomiarze objętości koron drzew cytrusowych. W porównaniu z pomiarami ręcznymi, pomiary ultradźwiękowe pozwoliły na uzyskanie wartości współczynnika  $R^2$  na poziomie 0,90, podczas gdy za pomocą pomiarów laserowych uzyskano wartość  $R^2$  na poziomie 0,95. System czujników laserowych działał nieco lepiej, ponieważ miał wyższą rozdzielczość. W pracy [23] badano wpływ prędkości poruszania się przetwornika na pomiar ultradźwiękowy korony drzewa cytrusowego za pomocą systemu ultradźwiękowego. W pracy [1] przedstawiono

opryskiwacz, który może mierzyć docelowy rozmiar i gęstość jabłoni za pomocą czujników ultradźwiękowych i stwierdzono, że prędkość przemieszczania się maszyny nie ma znaczącego wpływu na pomiar roślinności za pomocą czujnika.

### Spektroskopia

Jedną z najczęściej stosowanych w rolnictwie metod spektroskopowych jest spektroskopia odbiciowa (*reflectance spectroscopy*) w ultrafiolecie, świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni. Jej zaletą jest możliwość szybkiego i nieniszczącego określania właściwości gleby. Zastosowanie spektroskopii odbiciowej w zakresie bliskiej podczerwieni do wykrywania właściwości gleby rozpoczęto w latach sześćdziesiątych XX wieku, a szczególny rozwój nastąpił w latach dziewięćdziesiątych. Począwszy od końca lat dziewięćdziesiątych i początku XXI wieku opracowano systemy detekcji w czasie rzeczywistym, a w produkcji roślinnej dostępne stały się pierwsze systemy komercyjne [8].

Jedną z badanych właściwości gleby była zawartość materii organicznej. Już 1965 roku w pracy [3] przedstawiono badania dotyczące wpływu własności materii organicznej na pomiary współczynnika odbicia i stwierdzono, że określenie wilgotności gleby jest możliwe poprzez pomiar współczynnika odbicia. Badano także widma w podczerwieni związków nieorganicznych; zidentyfikowano długości fal przydatnych do przewidywania zawartości procentowej materii organicznej, badano charakterystykę materii organicznej dla różnych frakcji, wykorzystano czujnik gruntu działający w zakresie bliskiej podczerwieni do przewidywania wilgotności gleby i zawartości materii organicznej.

Badano także zawartość azotu w glebie. Na przykład w pracy [6] zaprezentowano wyniki badań wartości współczynnika odbicia gleby z zakresu bliskiej podczerwieni w zależności od zawartości azotu. Stwierdzono, że uzyskane modele były wrażliwe na działania nie uwzględnionych czynników zakłócających, że konieczna byłaby kalibracja zależna od warunków lokalnych.

Inną ważną właściwością gleby jest zawartość wilgoci. Istnieje kilka bardzo dobrze znanych pasm absorpcji wody (na przykład 960, 1410, 1460 i 1910 nm) [8], dlatego też prowadzono liczne próby zastosowania spektroskopii w zakresie bliskiej podczerwieni (NIR) do ustalania ilości wody w glebie.

Przeprowadzono też wiele prób wykorzystania spektrografii do analizy zawartości fosforu w glebie [2].

Celem postawionym przez wielu badaczy było opracowanie przenośnego czujnika spektroskopowego działającego w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni umożliwiającego wykrywanie zawartości fosforu i jego związków w czasie rzeczywistym. Na przykład w pracy [9] przedstawiono wyniki testów takiego przenośnego czujnika do aplikacji zmiennej dawki fosforu i stwierdzono, że należy zastosować różne okna uśredniające w celu zminimalizowania fluktuacji prędkości aplikacji, ponieważ nie było sprzętu o zmiennej prędkości, który mógłby reagować na szybkie wahania.

Badania glebowe z użyciem spektrofotometru glebowego prowadzono także w IUNG [24]. Urządzenie w czasie rzeczywistym analizuje glebę za pomocą czujnika podczerwieni. Jest w stanie zbadać zawartości azotu i makro- i mikroelementów oraz poznać teksturę gleby. Zasadnicze elementy pomiarowe urządzenia, czyli lampa halogenowa i detektor umieszczone są w lemieszu urządzenia, który zagłębia się na około 10 cm. Wyniki działania spektrofotometru były porównane do tradycyjnych badań glebowych.

Ogólnie, spektroskopia w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni wykazała duży potencjał w wykrywaniu

różnych właściwości gleby i osiągnęła fazę, w której komercyjne systemy detekcji w czasie rzeczywistym zostały już opracowane lub są obecnie opracowywane dla różnych operacji w produkcji roślinnej [8, 21].

### Technika mikrofalowa

Technika mikrofalowa w rolnictwie wykorzystywana jest głównie do badania wilgotności gleby. Stosowane są dwie metody takich badań: pasywna i aktywna. Podstawowe zasady pasywnej teledetekcji mikrofalowej wilgotności gleby omówione zostały w pracy [14]. Stwierdzono, że emisja ciepłego promieniowania mikrofalowego z gleby była silnie skorelowana z wilgotnością gleby. Metody mikrofalowe mają tę dodatkową zaletę, że nie ma na nie wpływu zachmurzenie i były bardzo dokładne w przypadku gleby jałowej lub gleby o niskim pokryciu roślinnością. W artykule [21] autorzy wykorzystali skanujący wielokanałowy radiometr mikrofalowy (SMMR) do oszacowania wilgotności gleby na dużych obszarach (obserwacje satelitarne). Wyniki pokazały, że różnice w polaryzacji, jak również emisyjność mikrofal były silnie skorelowane z informacją o wilgotności gleby w regionach o niewielkiej lub zerowej wegetacji. System był bardzo przydatny, ponieważ wyeliminował konieczność stosowania drogich metod bezpośredniego pomiaru wilgotności.

Także w XXI w wielu badaczy prowadziło badania nad zastosowaniem urządzeń mikrofalowych do badania wilgotności i wykazywali dobrą zgodność między zmierzoną i przewidywaną wilgotnością gleby.

### Podsumowanie

Widzenie maszynowe jest ważnym systemem w pojazdach rolniczych (autonomicznych i nieautonomicznych) realizujących różnego rodzaju operacje agrotechniczne w sposób zautomatyzowany. Odpowiedni wybór systemów widzenia maszynowego jest niezbędnym elementem pomyślnej realizacji zadań stawianych przed nowoczesnymi maszynami rolniczymi.

Obecnie dostępne są komercyjne monitory wydajności dla głównych upraw, takich jak zboża, ale nie ma komercyjnych monitorów wydajności dla większości upraw specjalistycznych. Ponieważ dokładne, bezpośrednie oszacowanie plonów nie zawsze jest możliwe w sezonie wegetacyjnym, dla celów nowoczesnego, precyzyjnego rolnictwa bardzo przydatne mogą być uzyskane za pomocą odpowiednich czujników obrazy multispektralne i hyperspektralne. Wymagają one jednak jeszcze szczegółowych badań, szczególnie pod kątem ich uniwersalności.

Konieczne są dalsze badania w zakresie metod przetwarzania obrazów multispektralnych i hyperspektralnych. Ostatnie badania pokazują, że bardzo obiecujące są możliwości uzyskiwania informacji z jednoczesnej analizy obrazów z wielu źródeł. Aby takie systemy stały się bardziej dostępne potrzebne są dalsze prace w dziedzinie automatycznej rejestracji obrazów, opracowywania modeli, które uwzględniają różne właściwości badanych obiektów i dokonują inteligentnej interpretacji uzyskanych obrazów.

Bardzo istotne dla dalszego rozwoju stosowanych w rolnictwie różnego rodzaju systemów monitorujących jest opracowanie standardów sprzętu, oprogramowania i interpretacji danych może wpłynąć na rozwój i popularyzację rolnictwa precyzyjnego. Z perspektywy użytkownika normalizacja ułatwiłaby wymianę danych, w szczególności przenoszenie danych przestrzennych z jednego zastrzeżonego pakietu oprogramowania na inny i regionalne bazy danych.

### Bibliografia

- [1] Balsari P., Doruchowski G., Marucco P., Tamagnone M., Van de Zande J., Weneker M.: A System for Adjusting the Spray Application to the Target Characteristics. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript ALNARP08 002*, 2002, Vol. X.
- [2] Bogreki I., Lee W.S.: Improving phosphorus sensing by eliminating soil particle size effect in spectral measurement. *Trans. ASAE*, 2005, 48 (5), 1971-1978.
- [3] Bowers S.A., Hanks R.J.: Reflection of radiant energy from soils. *Soil Sci.*, 1965, 100 (2), 130-138.
- [4] Bulanon D.M., Burks T.F., Alchanatis V.: Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection. *Biosyst. Eng.*, 2008, 101 (2), 161-171.
- [5] da Luz B.R., Crowley J.K.: Spectral reflectance and emissivity features of broad leaf plants: Prospects for remote sensing in the thermal infrared (8.014.0 m). *Remote Sens. Environ.*, 2007, 109, 393-405.
- [6] Ehsani M.R., Upadhyaya S.K., Slaughter D., Shafii S., Pelletier M.: A NIR technique for rapid determination of soil mineral nitrogen. *Precision Agric.*, 1999, 1 (2), 219-236.
- [7] Fricke T., Richter F., Wachendorf M.: Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, Vol 79, Issue 2, 142-152.
- [8] Lee W.S., Alchanatis V., Yang C., Hirafuji M., Moshou D., Li C.: Sensing technologies for precision specialty crop production, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 74, 2-33.
- [9] Maleki M., Mouazen R.A., Ramon M., De Baerdemaeker H.J.: Optimisation of soil VIS-NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil Tillage Res.*, 2007, 94, 239-250.
- [10] Meyer G.E.; Camargo-Neto J.: Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Comput. Electron. Agric.*, 2008, 63, 282-293.
- [11] Moeller M., Alchanatis V., Cohen Y., Meron M., Tsipris J., Naor A., Ostrovsky V., Sprintsin M., Cohen S.: Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J. Exp. Botany*, 2007, 58, 827-838.
- [12] Nelson R., Krabill W., Tonelli J.: Estimating forest biomass and volume using airborne laser data. *Remote Sens. Environ.*, 1988, 24 (2), 247-267.
- [13] Nilsson M.: Estimation of tree heights and stand volume using an airborne LIDAR system. *Remote Sens. Environ.*, 1996, 56 (1), 1-7.
- [14] Njoku E.G., Entekhabi D.: Passive microwave remote sensing of soil moisture. *J. Hydrol.*, 1996, 184, 101-129.
- [15] Ollinger S.V.: Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. *New Phytol.*, 2011, 189, 375-394.
- [16] Pajares G., García-Santillán I., Campos Y., Montalvo M., Guerrero J.M., Emmi L., Juan Romeo J., Guijarro M., Gonzalez-de-Santos P.: Machine-Vision Systems Selection for Agricultural Vehicles: A Guide, *J. Imaging* 2016, 2, 34; doi:10.3390/jimaging2040034.
- [17] Reusch S., Use of ultrasonic transducers for on-line biomass estimation in winter wheat. In: van Henten, E.J., Goense, D., Lokhorst, D. (Eds.), *Proceedings Precision Agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers, 2009, 169-175.
- [18] Starakiewicz-Krawczyk U.: Jak dane satelitarne mogą

pomóc uprawom?, [<http://rolniczeabc.pl/418967,Jak-dane-satelitarne-moga-pomoc-uprawom.html>] (dostęp 19.11.2018).

- [19] Stentz A., Dima C., Wellington C., Herman H., Stager D.: A system for semi-autonomous tractor operations. *Auton. Robot.*, 2002, 13, 87-104.
- [20] Tumbo S.D., Salyani M., Whitney J.D., Wheaton T.A., Miller W.M.: Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. *Appl. Eng. Agric.*, 2002, 18 (3), 367-372.
- [21] Vinnikov K.Y., Robock A., Qiu S., Entin J.K., Owe M., Choudhury B.J., Hollinger S.E., Njoku E.G.: Satellite remote sensing of soil moisture in Illinois. *USA J. Geophys. Res.*, 1999, 104 (D4), 4145-4168.

- [22] Wachs J., Stern H., Burks T.F., Alchanatis V.: Multi-modal registration using a combined similarity measure. In: Tiwari, A., Knowles, J., Avineri, E., Dahal, K., Roy, R. (Eds.). *Applications of Soft Computing: Recent Trends*. Springer Verlag, Germany 2009, Series: *Advances in Soft Computing*, vol. 38, pp. 170-180.
- [23] Zaman Q., Salyani M.: Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. *Appl. Eng. Agric.*, 20 (2), 173-178, 2004.
- [24] <http://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/analiza-gleby-bez-laboratorium,35450.html> (dostęp 22.05.2018).
- [25] [http://www.kameratermowizyjna.com/kamery\\_termowizyjne\\_uniwersalne.html](http://www.kameratermowizyjna.com/kamery_termowizyjne_uniwersalne.html) (dostęp 19.11.2018).


## BASIC TYPES OF VISION SYSTEMS USED IN MODERN AGRICULTURE

### Summary

The article describes shortly the most popular technologies used in vision systems of agricultural machines, giving their scope of application and the state of development.

**Keywords:** vision systems, precision agriculture, types of optical sensors

ISBN 978-83-927505-0-5



**NAPĘDY HYDROSTATYCZNE  
W MASZYNACH ROLNICZYCH**

Kazimierz A. Dreszer, Adam P. Dubowski, Tadeusz Pawłowski,  
Jan Szczepaniak, Mariusz Szymanek

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH  
POZNAŃ 2008

## NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

**Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.**

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych  
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31  
tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;  
e-mail: [office@pimr.poznan.pl](mailto:office@pimr.poznan.pl); Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>

ISBN 978-83-927505-2-9



**KOSZTY PRACY  
MASZYN LEŚNYCH**

KATARZYNA GŁĘBOK, ROMAN WÓJTKOWIAK

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH  
POZNAŃ 2009

## KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH

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

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