

WYKORZYSTANIE DRONÓW DO TELEDETEKCJI MULTISPEKTRALNEJ W ROLNICTWIE PRECYZYJNYM

Streszczenie

Przedstawiono przegląd dostępnych kamer multispektralnych wykorzystywanych do wykonywania fotografii upraw roślin przy użyciu dronów. Opisano wskaźniki wegetacyjne wykorzystywane do przeprowadzenia precyzyjnej, szybkiej i bezinwazyjnej oceny stanu roślin. Zaprezentowano przykład wykorzystania fotogrametrii i fotodetekcji oraz wskaźników wegetacji NDVI, GNDVI i SAVI w opracowaniu materiałów pozyskanych z misji wielowirnikowca X4, z kamerą multispektralną Parrot Sequoia oraz dedykowanego oprogramowania Pix4D.

Słowa kluczowe: wskaźniki wegetacyjne, dron, UAV, rolnictwo precyzyjne

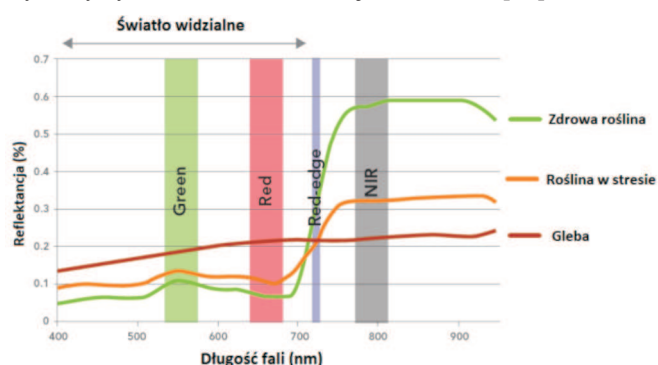
Wstęp

Rolnictwo precyzyjne jest formą gospodarowania wspomaganą komputerowo, pozwalającą na najbardziej efektywną ekonomicznie i środowiskowo produkcję roślinną [7]. Do podejmowania właściwych strategicznie decyzji wymagane są wiarygodne i interpretowalne dane o stanie gleby i roślin. Przykładowym sposobem zdobywania informacji, od dawna niezbędnym przy produkcji leśnej, jest obserwacja drzew z wysokości połączona z geomatyką [4]. Zastosowanie systemu informacji geograficznej - GIS (*Geographic Information System*), nawigacji satelitarnej oraz zdjęć lotniczych do wsparcia zarządzania gospodarstwem rolniczym staje się również możliwe, dzięki miniaturyzacji i bardzo znacznemu spadkowi cen sprzętu technicznego i oprogramowania, wzrostowi możliwości obliczeniowych komputerów oraz powszechnemu dostępowi do bezpłatnych i płatnych systemów umożliwiających pozycjonowanie satelitarne. Obecnie dokonuje się rewolucja w sposobie zdobywania informacji z wysokości o stanie upraw dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego, głównie za sprawą małych, niedrogich bezzałogowych statków powietrznych - dronów, z zamontowanymi na nich multispektralnymi kamerami. Pozwalają one na wykonywanie zdjęć nie tylko w pełnym paśmie widzialnym, ale i poza widzialnym [2]. Intensywna modernizacja platform UAV umożliwia coraz większą wydajność (czas lotu bez lądowania), dokładność lotu, łatwość i wygodę obsługi (dedykowane aplikacje do planowania misji). Zdjęcia o wysokiej rozdzielczości, pozyskiwane za pomocą bezzałogowych statków latających z wykorzystaniem technologii teledetekcji i fotogrametrii, są źródłem ogromnego potencjału informacji, który może być przydatny w codziennej praktyce uprawy roślin. Technologia ta może stanowić niskokosztowe rozwiązanie do zastosowania w rolnictwie precyzyjnym [3].

Wskaźniki wegetacyjne roślin

Możliwość wykorzystania dronów do dostarczania informacji o kondycji upraw za pomocą fotodetekcji wymaga poprawnej interpretacji pozyskiwanych danych z sensorów optycznych oraz odpowiedniej ekstrakcji informacji z tak dobranych wskaźników wegetacyjnych, by umożliwiły zdobywanie jak najwięcej wiedzy. Do tego celu wykorzystuje się charakterystyczną dla roślin zdolność do odbijania i pochłaniania światła o różnej długości fali. Współczynnik odbicia światła - reflektancja, jest zależny od barwników zawartych

w roślinach oraz od struktury komórkowej i zawartości wody, dlatego na podstawie jego wartości można ocenić poziom zdrowotności rośliny. Przykładowy współczynnik odbicia światła dla roślin w postaci krzywej spektralnej przedstawia rys. 1. Na wykresie zaznaczono pasma światła najczęściej wykorzystywane do celów detekcji stanu roślin [10].



Rys. 1. Krzywa spektralna światła odbitego od rośliny [10]

Fig. 1. Spectral curve of the light reflected from the plant [10]

Rośliny przeciętnie słabo odbijają światło w zakresie światła widzialnego, o długości od 400 do 700 nm, a głównie pochłaniają je. Znaczące różnice w poziomie reflektancji, w zależności od stanu roślin, można zauważyć w zakresie podczerwieni (powyżej 700 nm). Kamery umożliwiają poza światłem widzialnym, również rejestrację zdjęć wykonanych w bliskiej podczerwieni - NIR (*Near Infrared*). Dzięki niezależnemu rejestrowaniu wybranych, wąskich pasm światła przez kamery multispektralne oraz odpowiednim kalkulacjom różnicowym tych pasm, możliwe jest pozyskanie fotomap stanu roślin, które można wykorzystać do podjęcia decyzji o rodzaju zabiegu [3].

Najbardziej rozwiniętymi, zweryfikowanymi i najczęściej wykorzystywanymi wskaźnikami wegetacyjnymi są NDVI, GNDVI i SAVI [1, 3, 9]. Podstawowym wskaźnikiem wegetacyjnym jest NDVI - znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji (*Normalized Difference Vegetation Index*). Wyznaczany jest według wzoru (1):

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red), \quad (1)$$

gdzie:

NIR, Red - wartości współczynnika odbicia światła w zakresie bliskiej podczerwieni i w paśmie czerwonym.

Znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji przyjmuje graniczne wartości w zakresie od -1 do 1. Wartości poniżej 0 są wartościami charakterystycznymi dla braku roślinności, standardowe uprawy wykazują wartości w zakresie 0,2-0,9. NDVI służy do oceny kondycji uprawy, jej stanu rozwoju, prognozowania plonów oraz potencjału biomasy.

Wskaźnik GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) [5, 6], przyjmuje wartości od -1 do 1. Jest on liniowo skorelowany ze wskaźnikiem powierzchni liścia (LAI) i objętością biomasy, ponieważ jest bardziej wrażliwy na stężenie chlorofilu. Stosowany jest w średnim i zaawansowanym stadium rozwoju roślin. GNDVI opisany jest formułą (2):

$$GNDVI = (NIR - Green)/(NIR + Green), \quad (2)$$

gdzie:

Green - wartości współczynnika odbicia światła w zakresie pasma zieleni.

Aby uniknąć błędów oceny stanu roślin ze względu na odkrytą glebę stosowany jest glebowy skorygowany wskaźnik wegetacji - SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*):

$$SAVI = (1 + L)(NIR - Red)/(NIR + Red + L), \quad (3)$$

gdzie:

L - jest współczynnikiem pokrycia gleby, w przedziale od 0 do 1, (0 - całkowite pokrycie roślinnością, wtedy SAVI = NDVI; 1 - oznacza brak pokrycia roślinności).

Wskaźnik SAVI stosowany jest w przypadku upraw lub faz rozwojowych, gdzie występuje relatywnie duża powierzchnia odkrytej gleby. Wskaźnik przyjmuje wartości z zakresu -1 do 1. Huete, autor opracowania wskaźnika, zaleca przyjąć wartość współczynnika $L = 0,5$ jako wyjściowy [8]. Współczynnik reprezentuje sytuację, w której gleba prześwituje przez roślinność (np. dla pszenicy ozimej będą to fazy BBCH 20-29).

W praktyce agronomicznej najczęściej wykorzystywany jest wskaźnik NDVI ze względu na potrzebę doradztwa nawozowego w wyższych fazach rozwojowych (BBCH >30), gdzie roślinność całkowicie zakrywa glebę i nie ma potrzeby estymacji wartości *L* dla wskaźnika SAVI.

Kamery multispektralne

Dotychczas do zdalnego pozyskiwania zdjęć Ziemi wykorzystywane były pilotowane samoloty lub satelity, jednak ich wadą jest problem uzyskiwania konkretnych danych „na żądanie”. Dzięki rozwojowi technologii i miniaturyzacji optoelektroniki na rynku dostępne są niewielkie kamery multispektralne dedykowane do wykonywania pomiarów za pomocą bezzałogowych statków latających. Są to najczęściej aparaty jedno- lub wieloobiektywowe. Multispektralne kamery montowane do dronów powinny być bardzo lekkie, małych

rozmiarów i umożliwiać, by można było równocześnie wykonać za ich pomocą zdjęcia tego samego celu w kilku dobranych długościach fal światła. Mogą one mieć tylko jeden obiektyw (Mapir 2 NIR + NDVI) (rys. 2) lub są to aparaty wieloobiektywowe (Parrot Sequoia) (rys. 3) [11, 12]. Przegląd parametrów technicznych kamer multispektralnych, przystosowanych do montowania na dronach przedstawiono w tab.



Rys. 2. Jednoobiektywowa kamera Mapir 2 (NIR + NDVI) [12]
Fig. 2. Single-lens camera Mapir 2 (NIR + NDVI) [12]



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Wieloobiektywowa kamera Parrot Sequoia zamontowana na multikopterze Agro-Dron®
Fig. 3. Multi-lens Parrot Sequoia camera mounted on Agro-Dron® multicopter

Zdjęcia w określonych pasmach fali mogą być sekwencjonowane za pomocą sensorów lub zamontowanych w obiektywach filtrów kolorów. Ze względów radiometrycznych, bardzo istotne jest korzystanie z tablic kalibracyjnych dostarczanych przez niektórych producentów (Parrot, Tetracam Inc.) do skalibrowania kamery.

Przy wykonywaniu serii zdjęć na potrzeby teledetekcji, pożądane jest wykonanie zdjęć prostopadle do fotografowanej powierzchni (*nadir*), co wymaga stosowania samopoziomu-

Tab. Parametry wybranych kamer multispektralnych
Table. Parameters of selected multispectral cameras

Nazwa	Parrot Sequoia	Mappir 2 (NIR + NDVI)	Canon S100 NDVI	TETRACAM ADC Micro	MicaSens RedEdge
Producent	Parrot	Peau Productions	Event38	Tetracam Inc.	MicaSens
Automatyczna kompensacja składu oświetlenia zewnętrznego	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak
Tablica referencyjna	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie
Format plików	TIFF, JPG (RGB)	JPG + RAW	JPG + RAW	RAW	JPG + RAW
Kanały	R, G, RED, NIR	NIR+RED	NIR	G, R, NIR	R, G, B, RED, NIR
Masa [g]	107 (z sensorem świetlnym)	64 z baterią	198	90	152
ródło informacji	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]

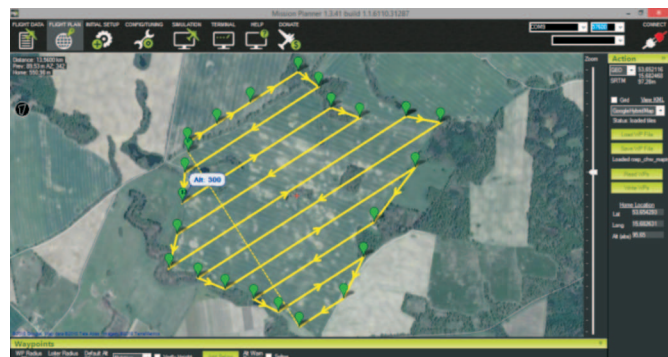
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

jących uchwytów kamer (*gimbal*). Alternatywnym rozwiązaniem jest zapisanie w parametrach każdego zdjęcia bieżących wartości odchyłki od pionu. Ze względu na specyficzną tele-detekcji dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego, technika *nadir* nie jest bezwzględnie wymagana.

Kamera Sequoia (rys. 3) jest bardzo użyteczna dzięki niewielkim rozmiarom i masie oraz swojemu zaawansowaniu: ma wbudowany odbiornik GPS, czujnik oświetlenia zewnętrznego (do kompensacji zmiennego nasłonecznienia w trakcie pomiarów) oraz wbudowany żyrokompas, który umożliwia rejestrację kątów nachylenia kamery podczas wykonywania każdego zdjęcia. Kamera dla wszystkich pasm mono korzysta z jednej, centralnej migawki gwarantującej brak zniekształceń zdjęć. Poszczególnymi obiektywami wykonuje zdjęcia w długościach fal, w zakresie: Green - 500 nm, Red - 660 nm, Near Infrared - 790 nm, wszystkie z szerokością pasma 40 nm, oraz Red-Edge - 735 nm z szerokością pasma 10 nm.

Metoda badawcza

W celu przeanalizowania procesu wykorzystania wskaźników wegetacji do oceny jakości uprawy przeprowadzono misję pomiarową pozwalającą pozyskać potrzebne dane multispektralne. Pomiaru dokonano na uprawie pszenicy ozimej (faza BBCH 15) posianej na polu, na którym wcześniej było kultywowane ściernisko po kukurydzy, o powierzchni ok. 200 ha. Do nalotu użyto drona UAV: Agro Dron® X4 z zamontowaną kamerą Parrot Sequoia. Misję zaplanowano w oparciu o mapę cyfrową uprawy, wykorzystując program *MissionPlanner*. Tor autonomicznego lotu drona przedstawiony w oknie programu *MissionPlanner* zobrazowano na rys. 4. Wysokość nalotu: 300 m AGL (*above ground level*). Podczas misji wykonano 669 zdjęć: dla każdego kanału (RED, GREEN, NIR, RED).



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Planowanie trasy drona z wykorzystaniem oprogramowania *MissionPlanner*

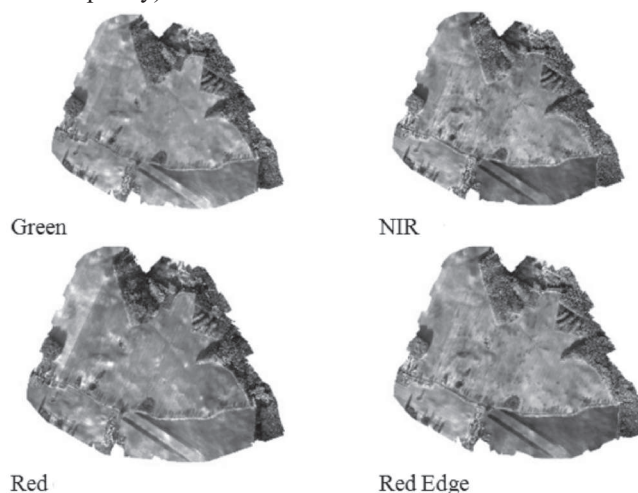
Fig. 4. Drone route planning using software *MissionPlanner*

Otrzymane z kamery, w badanych pasmach, monochromatyczne serie zdjęć uprawy, zostały opracowane w programie PIX4DAG, który połączył je w fotomozajki tworzące fotomapy w poszczególnych pasmach (rys. 5).

Kamera poprzez swoje filtry zamieszczone w obiektywie wykonuje dla każdej długości fali świetlnej zdjęcia, monochromatyczne, czarno-białe, każde osobno z każdego obiektywu. Intensywność szarości oznacza intensywność danego koloru, dla którego wykonano zdjęcie. Na podstawie intensywności szarości dla danego piksela w danym paśmie oblicza się wartość wskaźnika w tym punkcie.

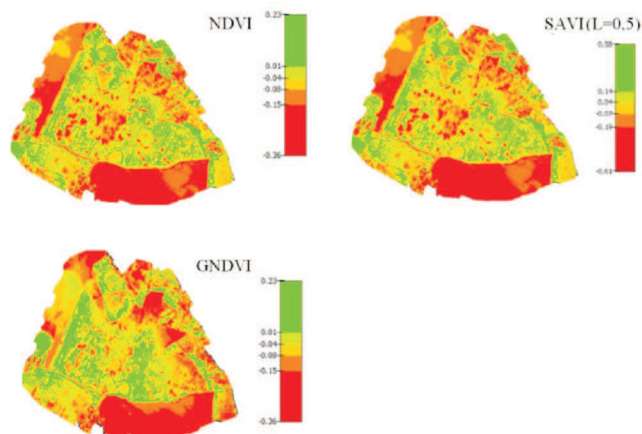
Po utworzeniu fotomozajk, będących faktycznie mapami pikseli, wykonano obliczenia wybranych wskaźników, w wyniku czego powstały mapy wskaźników: NDVI, GNDVI,

SAVI. Mapy te przedstawione są na rys. 6. Analizując je można stwierdzić, że widoczne są obszary o zakłóconych wschodach (strefy czerwone oznaczają brak roślin), strefy map w kolorach od żółtej do czerwonej obrazują strefy ze zróżnicowaną ilością biomasy roślin zdrowych. (Kolory na rys. 6 nie są kolorami rzeczywistymi tylko służą jako miara intensywności dla danego wskaźnika wegetacji występującego w danym punkcie obrazu uprawy).



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Fotomapy uprawy w poszczególnych pasmach światła
Fig. 5. Plant canopy photomaps in different light bands



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Mapy wskaźników wegetacyjnych

Fig. 6. Vegetation indices maps

Podsumowanie

Obróbka danych i wygenerowanie map wybranych wskaźników zajęły łącznie ok. 6 godz. Korzystając z dostępnych technologii, pozyskanie danych okazało się niekłopotliwe (pomiaru terenowe składały się z trzech 20-minutowych misji). Wykorzystanie drona i kamery multispektralnej okazało się bezinwazyjne (w porównaniu do podobnej oceny wykonywanej za pomocą sensorów i ciągnika - nie jest wymagany przejazd ścieżkami technologicznymi, co wiąże się z niższymi kosztami oraz brakiem uszkodzeń roślin). Ze względu na specjalizację tego typu pomiarów, technologia ta jest obecnie dostępna głównie w świadczeniu usług przez wyspecjalizowane firmy, jednak rozwój technologii rodzi nadzieję na dostępność rozwiązań wymagających bardzo uproszczonej obsługi i dostępnych dla każdego rolnika. Doskonaląc technologie pod kątem dokładności pozyskanych informacji należy

wykonywać naloty w odpowiednich warunkach pogodowych, szczególnie, że problematyczne są cienie (np. od drzew rosnących na skraju pól) i zmienne nasłonecznienie w czasie misji. W przypadku kamery Parrot Sequoia jest ono korygowane za pomocą dodatkowego czujnika. Wskazane jest również dołączenie badań naziemnych i zdobycie innych informacji (np. o teksturze gleby pozyskanej za pomocą skanera glebowego). Ważna jest też właściwa interpretacja uzyskanych wskaźników pozwalająca na przygotowanie dokładnych, poprawnych agronomicznie aplikacji nawozowych (nawożenie azotowe).

Bibliografia

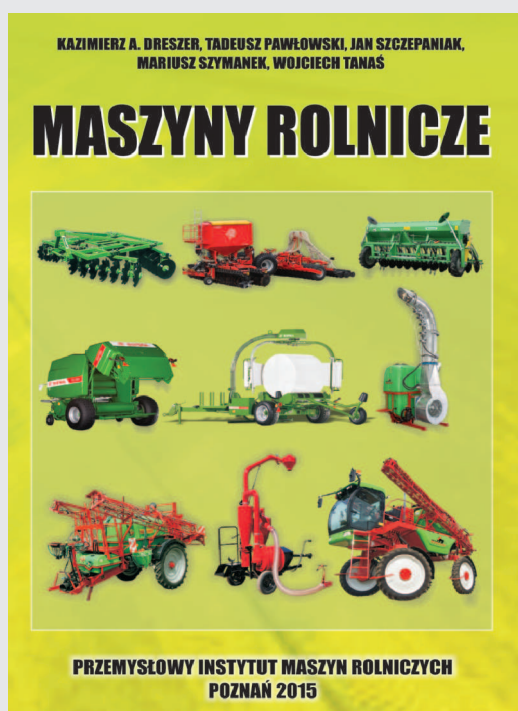
- [1] Banaszek M., Lewiński S., Aleksandrowicz S., Woźniak E., Kotarba A., Krupiński M.: Zastosowanie technik satelitarnych w rolnictwie zrównoważonym - wybrane przykłady zastosowań. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2012, 3 (77), 109-122.
- [2] Berner B., Chojnacki J.: Wykorzystanie dronów w rolnictwie precyzyjnym. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2016, 3, 19-21.
- [3] Candiago S., Remondino F., De Giglio M., Dubbini M., Gattelli M.: Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sens*, 2015, 7, 4026-4047.
- [4] Geometyka w lasach państwowych. Praca zbiorowa pod red. K. Okly. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa 2010.
- [5] Gitelson, A.A., Kaufman Y.J., Merzlyak M.N.: Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens Environ*, 1996, 58, 289-298.
- [6] Gitelson A.A., Merzlyak M. N.: Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in Space Research*, 1998, 22(5), 689-692.
- [7] Gozdowski D., Samborski S.: *Rolnictwo Precyzyjne*, SGGW, Warszawa 2007.
- [8] Huete A.R.: A soil adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sens. Environ*, 1988, 25, 295-309.
- [9] Wójtowicz A., Wójtowicz M., Piekarczyk J.: Zastosowanie tele-detekcji do monitorowania i oceny produktywności plantacji rzepak. *Rośliny oleiste - Oilseed crops*, 2005, Tom XXVI, 269-276.
- [10] https://www.parrot.com/us/sites/default/files/sequoia_official_documentation_and_specifications_2016_3.pdf.
- [11] www.parrot.com.
- [12] <https://www.mapir.camera/>.
- [13] <https://event38.com/product/ndvi-camera-ngb-converted-canon-s110-camera/>.
- [14] www.tetracam.com.
- [15] <https://www.micasense.com/>.

USE OF DRONES FOR MULTISPECTRAL REMOTE SENSING IN PRECISION FARMING

Summary

An overview of available multispectral cameras used to take photographs of plants by means of drones was presented. There have been described vegetation indices used to achieve precise, rapid and in non-invasive way information about plants' health. There have been also presented the examples of photogrammetry, photodetection, indices of vegetation: NDVI, SAVI, GNDVI and Pix4D software study of usage of materials obtained from survey by Parrot Sequoia multispectral camera and Agro-Dron® X4 UAV.

Key words: vegetation indices, drone, UAV, precision farming



Podręcznik pt. **MASZINY ROLNICZE** adresowany jest do szerokiego grona pracowników dydaktycznych i słuchaczy uczelni przyrodniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawarto w nim podstawowe informacje z przedmiotu "Technika rolnicza i eksploatacja maszyn rolniczych" wykładanego na ww. Uczelniach. Problematyka wykładów tego przedmiotu obejmuje charakterystykę szerokiego i niezwykle różnorodnego asortymentu maszyn i urządzeń technicznych. Wyczerpujące omówienie czy opisanie całości materiału jest niemożliwe. Z tych też względów w podręczniku przedstawiono ściśle wyselekcjonowane partie materiału - informacje podstawowe oraz te, które są dziełem autorów lub powstały przy znaczącym ich udziale. Stąd też, pomimo że podręcznik ma charakter pozycji dydaktycznej, nosi znamiona pracy monograficznej. Materiał uzupełniający stanowi literatura zamieszczona na końcu każdego z rozdziałów.

Wydawca:
 Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Ekonomicznej
 i Normalizacyjnej
 Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
 60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
 tel. 61 87-12-200; fax 61 879-32-62;
 e-mail: office@pimr.poznan.pl;
 Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>