

## CHARAKTERYSTYKI SPEKTRALNE LIŚCI KASZTANOWCA BIAŁEGO (*AESCULUS HIPPOCASTANUM* L.) ZAATAKOWANEGO PRZEZ SZROTÓWKĘ KASZTANOWCOWIACZKA (*CAMERARIA OHRIDELLA*)

Adam Młynarczyk<sup>1,2✉</sup>, Grzegorz Jankowiak<sup>1</sup>, Sławomir Królewicz<sup>2</sup>, Jan Piekarczyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wydziałowa Pracownia Komputerowa, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

<sup>2</sup>Pracownia Teledetekcji Środowiska i Gleboznawstwa, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

### ABSTRAKT

Szrotówek kasztanowcowiaczek (*Cameraria ohridella*) to szkodnik atakujący kasztanowca białego na terenie Europy, powodujący utratę miękiszu asymilacyjnego. Szybkie rozprzestrzenianie się umożliwiające szkodnikowi sprzyjające warunki środowiskowe oraz niewielka liczba naturalnych wrogów. W pracy przedstawiono możliwość pozyskania informacji o stopniu porażenia fragmentów listków przez szkodnika na podstawie analizy krzywych odbicia spektralnego rejestrowanego za pomocą czujnika kontaktowego w zakresie optycznym widma. Określono charakterystyki spektralne fragmentów listków o różnym stopniu porażenia przez szkodnika oraz obliczono wartości wskaźników roślinności NDVI<sub>850,650</sub> oraz NDVI<sub>850,720</sub>, z których drugi wykazywał silniejszą zależność ze stopniem porażenia fragmentów listków ( $R^2$  na poziomie 0,88). Wyniki wskazują na duże możliwości wykorzystania metod teledetekcyjnych w ocenie i monitoringu stanu zdrowotnego kasztanowców.

**Słowa kluczowe:** kasztanowiec biały, szrotówek kasztanowcowiaczek, krzywe spektralne, NDVI

### WSTĘP

Motyl szrotówek kasztanowcowiaczek (*Cameraria ohridella*) jest jednym z największych zagrożeń (Lack, 2002) dla kasztanowca białego (*Aesculus hippocastanum* L.). Na naszym kontynencie został zaobserwowany po raz pierwszy w Macedonii w 1984 roku (Deschka i Dimic, 1986). Rozprzestrzeniając się sukcesywnie na obszarze Europy, w tym Polski (Łabunowski i Sojka, 1998), stał się istotnym zagrożeniem dla populacji kasztanowca (Bystrowski i in., 2008) ze względu na nikłą liczbę naturalnych wrogów (zarówno parazytoidów, jak i drapieżców). Jego szkodliwość przekłada się na zmniejszenie wielkości przyrostu słoju (Bednarz i Scheffler, 2008), ale też widoczne

porażenie liści, skutkujące utratą miękiszu asymilacyjnego. To z kolei prowadzi do zaburzeń m.in. w procesach fotosyntezy i transpiracji (Salleo, 2003). Do tej pory opracowano oraz wprowadzono (z różnym skutkiem) wiele metod ochrony drzew przed opisywanym szkodnikiem (Głowacka i in., 2009). Niezależnie od tego, w 2001 roku uruchomiono unijny program Controcam (Control of Cameraria) w celu opracowania skutecznej metody przeciwdziałaniu szkodnikowi (Głowacka, 2005). Wykorzystywane dotąd metody to m.in.: pułapki feromonowe (pochwytyujące samce; Svatoš i in., 1999), fizyczna eliminacja opadłych liści wraz z zagnieżdżonymi tam larwami (Kehrli

✉adml@amu.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3607-0890>

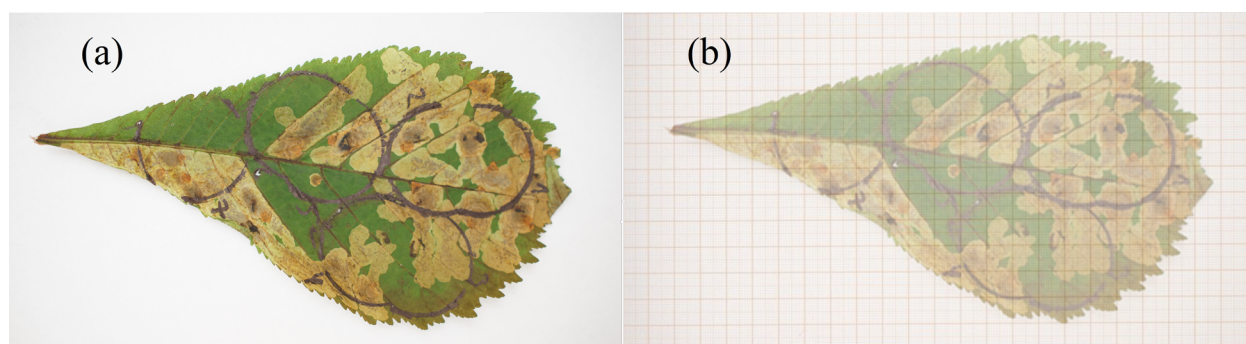
i Bacher, 2004), iniekcja pnia oraz gleby (Dzięgielewska i Kaup, 2007), czy też opaski lepowe (Kosibowicz, 2005). Poznanie charakterystyki spektralnej liści w odniesieniu do wzrostu stopnia pokrycia liścia zmianami wywołanymi uszkodzeniami powodowanymi przez rdzę brunatną (Piekarczyk i Wójtowicz, 2010) stworzyło pole do zbadania zmian w zakresie odbicia spektralnego (Bartkowiak i Osińska-Skotak, 2016), także pod kątem szrotówki. Analiza spektralna w zakresie pasma 400–750 nm umożliwia dokładne określenie zawartości chlorofilu w zależności od charakterystyki krzywej odbicia (Gitelson i Merzylak, 1994). W przypadku zdrowych liści niskie odbicie w paśmie widzialnym widma elektromagnetycznego występuje w zakresie fal niebieskich i czerwonych, natomiast odbicie stosunkowo wyższe – w zakresie fal zielonych. Gwałtowny wzrost odbicia następuje w bliskiej podczerwieni, a w paśmie środkowej podczerwieni zawarta w liściu woda wpływa na zmniejszenie odbicia (Zawiła-Niedźwiedzki, 2010). Analizy szerszego zakresu podczerwieni pozwalają nie tylko określić dynamikę wegetacji za pomocą wskaźnika NDVI (Martinez, 2009), ale też ocenić na jego podstawie stopień degradacji drzew (Meneses-Tovar, 2001) oraz wygenerować krzywą spektralną (Zagajewski i Sędzikowski, 2009), także dla liści kasztanowca.

Celem przeprowadzonych badań było poznanie charakterystyki spektralnej liści kasztanowca, na którym żerowały larwy szrotówki kasztanowcowiaczka (*Cameraria ohridella*) oraz ustalenie korelacji między wielkością plamki a wielkością odbicia spektralnego od liścia.

## MATERIAŁY I METODY

Obiektem badań były fragmenty listków kasztanowca białego (*Aesculus hippocastanum* L.) zaatakowane przez szkodnika – szrotówkę kasztanowcowiaczka (*Cameraria ohridella*). Pozyskano po pięć liści z pięciu drzew rosnących przy drodze między miejscowościami Pawłowice a Złotniki, w powiecie poznańskim. Pomiarów spektralnych fragmentów listków wykonano za pomocą spektrofotometru ASD FieldSpec 3 wyposażonego w adapter do pomiaru kontaktowego (Contact Plant Probe). Spektrofotometr rejestruje odbite promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie długości fal od 350 nm do 2500 nm, z dokładnością interpolowaną 1 nm. Przed każdą serią pomiarową spektrofotometr kalibrowano za pomocą skalibrowanego wzorca bieli *Spectralon*. Wykonano 25 pomiarów i powtórzo je w pięciu seriach. Łącznie uzyskano 125 krzywych spektralnych, które przedstawiono na wykresie ilości odbitego promieniowania w zależności od długości fali. Miejsca na listkach, w których wykonano pomiary zostały zaznaczone czarnym pisakiem w celu łatwej ich identyfikacji (rys. 1). Pole powierzchni obserwowanej przez sondę kontaktową wynosiło 4,9 cm<sup>2</sup>.

Następnie listki umieszczono na czarnym tle i sfotografowano w przestrzeni barwnej RGB za pomocą aparatu Sony Alpha 7, umieszczonego na statywie. W takiej samej geometrii wykonano zdjęcie papieru milimetrowego, co pozwoliło na analizę kartometryczną listków po nałożeniu na siebie obrazu listka i papieru milimetrowego. Po wykonaniu i zapisaniu zdjęć w formacie TIFF zostały one wczytane do



**Rys. 1.** Listek kasztanowca: a – z zaznaczonymi miejscami spektralnego pomiaru kontaktowego, b – z naniesioną siatką milimetrową do kartometrycznych pomiarów wielkości porażenia

**Fig. 1.** Chestnut leaf: a – with marked sites of spectral contact measurement, b – with millimeter grid for cartometric measurements of infestation

oprogramowania TNTmips 2018, następnie poddane reklasyfikacji kolorów do 16 klas. Na podstawie wyników klasyfikacji obliczono powierzchnie zdrowej tkanki fragmentu listka oraz tej zaatakowanej przez larwy szkodnika.

Na podstawie krzywych spektralnych wyliczono stosowany powszechnie w teledetekcji indeks biofizyczny NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Indeks jest obliczany według następującej formuły (Rouse i in., 1973):

$$NDVI_{850,650} = (Refl_{850} - Refl_{650}) / (Refl_{850} + Refl_{650})$$

gdzie:

$Refl_{650}$  – odbicie dla fali długości 650 nm,

$Refl_{850}$  – odbicie dla fali o długości 850 nm.

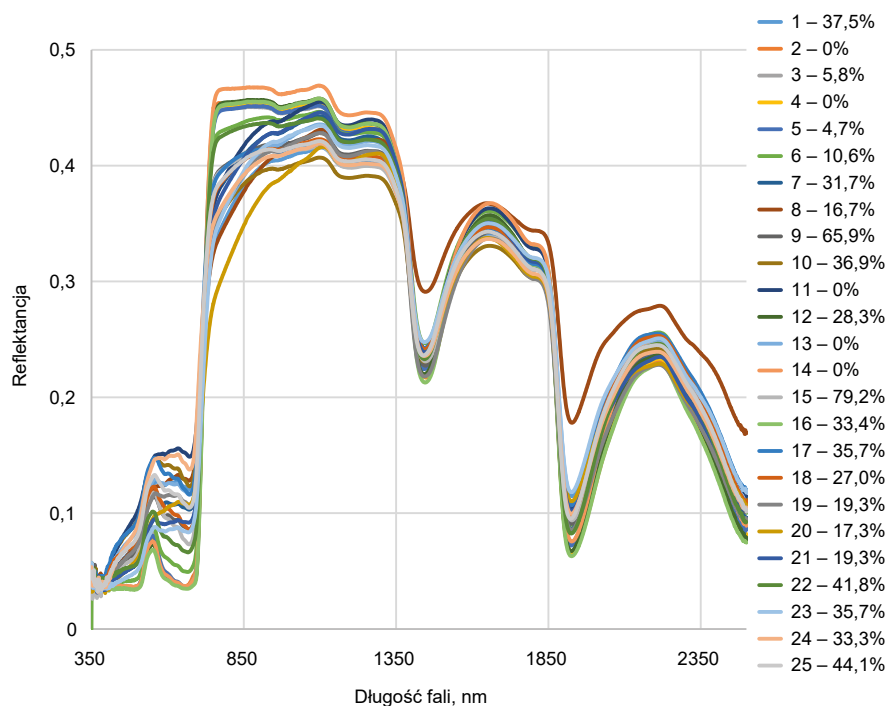
Wykorzystano również zmodyfikowany indeks NDVI<sub>850,720</sub>, w którym falę 650 nm zastąpiono falą o długości 720 nm. Następnie obliczono korelację

między wartością tych indeksów a powierzchnią uszkodzą oraz wyznaczono zależności funkcyjne oparte na regresji liniowej. Do obliczeń korelacji wykorzystano oprogramowanie MS Excel.

## WYNIKI

Na rysunku 2 przedstawiono zbiór 25 krzywych spektralnych uzyskanych w wyniku pomiaru odbicia od fragmentów listków kasztanowca opianowanych w różnym stopniu przez szrotówkę kasztanowcowiaczka.

W zakresie widzialnym widma (350–780 nm) zwiększony udział powierzchni fragmentu listka opianowanego przez szkodnika powodował wzrost odbicia promieniowania maksymalnie o około 0,1. Największy wzrost obserwowano w przypadku fal czerwonych (środek zakresu – fale o długości 650 nm), a nieco mniejszy – fal niebieskich (450 nm), co wiązało się z ubytkiem



**Rys. 2.** Zbiór 25 uśrednionych krzywych spektralnych pozyskanych dla pięciu miejsc z każdego z pięciu liści kasztanowca białego w różnym stopniu zaatakowania przez szkodnika szrotówkę kasztanowcowiaczka

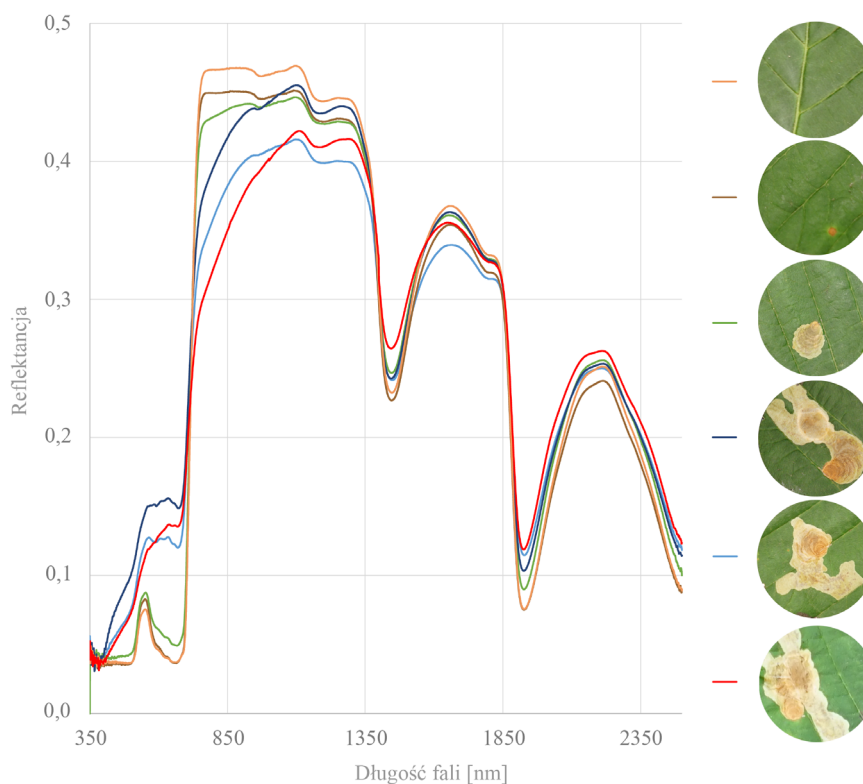
**Fig. 2.** A set of 25 averaged spectral curves obtained for 5 places from each of the 5 leaves of white chestnut tree in varying in degrees of infestation attack by the horse chestnut leaf miner impeller pest

chlorofilu w zniszczonych tkankach fragmentów listków. W bliskiej podczerwieni (780–1300 nm) największe zmiany wywołane żerowaniem szkodnika wystąpiły w przypadku fal krótszych tego zakresu: od 780 nm do 860 nm – do 0,18 wartości odbicia. Im większe porażenie fragmentów listka, tym większy zakres objęty obniżeniem wartości odbicia. Zróżnicowanie wielkości odbicia spektralnego było niewielkie w środkowej podczerwieni (1300–2500 nm). Jedynie krzywa reprezentująca powierzchnię numer 8 miała wyraźnie inny przebieg niż pozostałe spektra, co uznano za błąd grubo i nie uwzględniano jej w dalszej analizie.

Na rysunku 3 przedstawiono sześć wybranych krzywych spektralnych z fragmentów listka kasztanowca o wzrastającym udziale powierzchni opanowanej przez szrotówkę kasztanowcowiaczka. Zmniejszenie liczby krzywych w powiązaniu z obrazem listka,

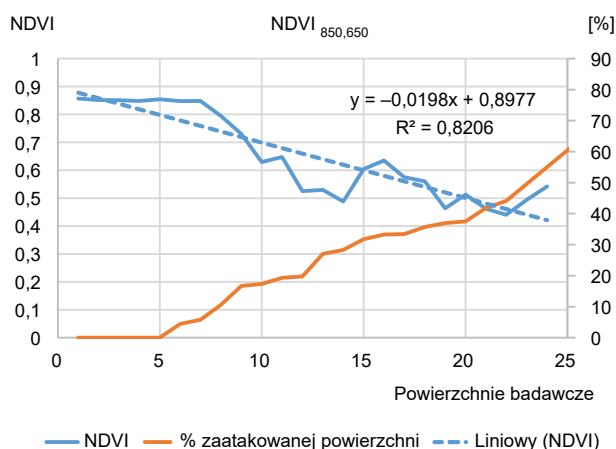
od którego mierzono odbicie uwidoczni jeszcze wyraźniej zakresy spektralne, w których występują zmiany związane z udziałem powierzchni zaatakowanej przez szkodnika. Listek bez widocznych śladów ataku szkodnika dał krzywą spektralną charakterystyczną dla zdrowych roślin. Przy długości fali 430–495 nm (zakres niebieski) i 620–680 nm (zakres czerwony) jest widoczne stosunkowo niskie odbicie, ponieważ promieniowanie z tego zakresu jest silnie pochłaniane przez chlorofil znajdujący się w liście. Nieco wyższe odbicie występuje przy długości fali 490–560 nm (zielony), a w bliskiej podczerwieni (powyżej 680 nm) następuje gwałtowny wzrost promieniowania odbitego. Kolejne fragmenty listka były zaatakowane w coraz większym stopniu.

Zmienność wartości wskaźnika roślinności  $NDVI_{850,650}$ , wynikająca z różnego stopnia porażenia



**Rys. 3.** Wybrane krzywe spektralne fragmentów listków kasztanowca białego zaatakowanych w różnym stopniu przez szrotówkę kasztanowcowiaczka

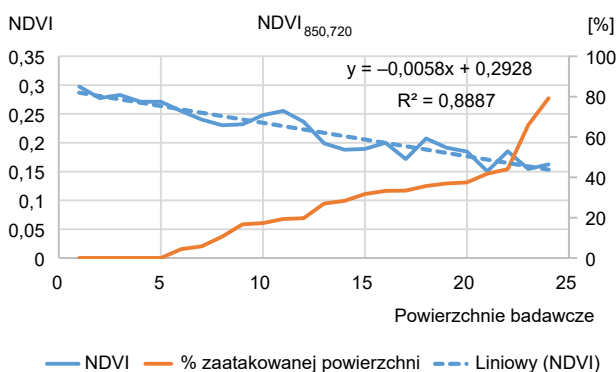
**Fig. 3.** Selected spectral curves of parts of white chestnut leaves differing in the degree of infestation by the horse chestnut leaf miner



**Rys. 4.** Zmienność wartości współczynnika NDVI oraz krzywa pokazująca procentowy udział powierzchni zaatakowanej przez szkodnika

**Fig. 4.** Variation in the value of NDVI and a curve showing the percentage of the area attacked by the pest

fragmentów listka przez szrotówkę, przedstawiono na rysunku 4. Średnia wartość tego wskaźnika dla zdrowych fragmentów listków wyniosła 0,852 przy odchyleniu standardowym równym 0,003. Gdy poziom porażenia fragmentów listka był mniejszy niż 5%, wówczas wartości współczynnika NDVI zbliżały się do maksimum i wraz ze wzrostem stopnia porażenia



**Rys. 5.** Wykres współczynnika 850,720 nm znormalizowanego za pomocą wzoru do obliczania NDVI oraz krzywa pokazująca procentowy udział powierzchni zaatakowanej przez szkodnika

**Fig. 5.** Graph of the 850,720 nm coefficient normalized by the formula for calculating NDVI and a curve showing the percentage of the area attacked by the pest

fragmentów listka następowało zmniejszenie wartości wskaźnika z 0,85 do 0,5, co odpowiada porażeniu badanej powierzchni między 10% a 28%.

Zauważono, że stopień porażenia fragmentu listka przez szkodnika jest widoczny na krzywej z zakresu 680–1100 nm (rys. 2). Przy zdrowym fragmencie listka krzywą wyróżnia charakterystyka zbliżona do prostej, natomiast im większy stopień porażenia, tym przebieg krzywej cechuje łuk łagodniejszy. Posłużono się wskaźnikiem NDVI, natomiast do obliczeń zmodyfikowano długości fal – 850 i 720 nm (rys. 5). Zróżnicowanie przebiegu NDVI jest nieco inne – krzywa zaczyna opadać przy braku widocznych zmian w zakresie widzialnym (przy zastosowanej metodyce) i detekcji na obrazach RGB. Wyznaczony współczynnik korelacji między wskaźnikiem NDVI<sub>850,720</sub> a powierzchnią fragmentu listka zaatakowaną przez szrotówkę jest wyższy i wynosi 0,88.

## DYSKUSJA

Uzyskane krzywe spektralne dla zdrowych fragmentów listków kasztanowca charakteryzują się podobnym kształtem do prezentowanych w literaturze danych spektralnych, a niewielkie różnice w przebiegu krzywej wynikają z odmienności gatunkowej (Bartkowiak i Osińska-Skotak, 2016; Hovi i in., 2017; Lee i in., 2007; Rautiainen i in., 2018; Zagajewski i Sędziowski, 2009). Przebieg krzywych spektralnych dla fragmentów uszkodzonych jest zgodny z wynikami, które uzyskali Brackx i in. (2016). Wymienieni autorzy badali uszkodzenia trzech gatunków drzew w obszarach zurbanizowanych (*Acer campestre*, *Aesculus hippocastanum*, *Quercus robur*). Wykorzystując indeksy spektralne, stwierdzili ich przydatność do wydzielenia poszczególnych gatunków, nie korelowali jednak charakterystyk spektralnych z powierzchnią uszkodzenia liścia. Korelacje między powierzchnią fragmentu listka uszkodzonego przez szrotówkę a wskaźnikiem NDVI są podobne do uzyskanych przez Piekarczyka i Wójtowicza (2010), którzy badali wpływ rdzy zbożowej na żyto.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników stwierdzono związek między właściwościami spektralnymi a wielkością

porażenia fragmentu listka kasztanowca białego przez szrotówka kasztanowcowiaczka. Przebieg krzywych spektralnych, wskutek zmian we wnętrzu liścia, zachodzi w zakresie zarówno widzialnym, jak i bliskiej podczerwieni. Siłę tego związku oceniano, analizując zmienność wskaźnika NDVI, wyznaczonego na podstawie krzywych spektralnych i wyliczonego areału powierzchni badawczych, która została zaatakowana przez owada. Wykorzystano dwie wersje wskaźnika NDVI wyznaczonego dla dwóch par długości fal: 850,650 nm oraz 850,720 nm. Zaobserwowano następujący trend: wraz ze wzrostem porażenia wartość NDVI maleje proporcjonalnie. Dla NDVI<sub>850,650</sub> uzyskano jednak korelację 0,82, a dla NDVI<sub>850,720</sub> stwierdzono zależność silniejszą – 0,89.

W obserwacjach przeprowadzonych podczas badań potwierdzono występowanie różnych stadiów porażenia fragmentów listka. Wykazano, że stopień porażenia mocno zmienia właściwości spektralne. Zgromadzone dane mogą posłużyć tworzeniu biblioteki spektralnej, a w przyszłości opracowaniu algorytmów automatycznego szacowania stopnia porażenia na podstawie danych teledetekcyjnych. Wykorzystanie algorytmów umożliwi efektywne monitorowanie kondycji drzew – stanu fitosanitarnego drzewa i zgrupowania.

## PIŚMIENNICTWO

- Bartkowiak, P., Osińska-Skotak, K. (2016). Analiza możliwości wykorzystania obrazów hiperspektralnych HySpex do inwentaryzacji drzewostanów leśnych Puszczy Białowieskiej [Analysis of the potential applicability-possibility of using HySpex hyperspectral images tofor the inventory of forest stands in the Białowieża Primeval Forest]. Teledet. Środ., 55, 27–44.
- Bednarz, B., Scheffler, M. (2008). Wpływ żeru szrotówka kasztanowcowiaczka (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) na szerokość słoju rocznych kasztanowca białego (*Aesculus hippocastanum* L.) [Effect of feeding of the horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) on the width of annual rings of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.)]. Sylwan, 7, 53–66.
- Brackx, M., Wittenberghe, S. V., Scheunders, P., Samson, R. (2016). Hyperspectral leaf reflectance for the non-destructive monitoring of urban tree diseases. Observatree/ IPSN Conference, 23–24 februari 2016. University of Antwerp.
- Bystrowski, C., Celmer-Warda, K., Tarwacki, G. (2008). Wpływ stanowiska kasztanowca (*Aesculus hippocastanum* L.) na występowanie i liczebność parazytoidów szrotówka kasztanowcowiaczka (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) w centralnej Polsce [The influence of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) stand on the occurrence and abundance of parasitoids of the horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) in central Poland]. Leśn. Pr. Bad. – For. Res. Pap., 69(1), 49–55.
- Deschka, G., Dimic, N. (1986). *Cameraria ohridella* sp. N. (Lepidoptera, Lithocolletidae) aus Mazedonien, Jugoslawien [*Cameraria ohridella* sp. N. (Lepidoptera, Lithocolletidae) from Macedonia, Yugoslavia]. Acta Entom. Jugosl., 22(1–2), 11–23.
- Dzięgielewska, M., Kaup, G. (2007). Skuteczność chemicznego zwalczania szrotówka kasztanowcowiaczka insektycydami z grupy inhibitorów biosyntezy chityny metodą dogłębowej aplikacji i mikroiniekcji [Efficacy of chemical control of horse chestnut leaf miner with insecticides from the group of chitin biosynthesis inhibitors by means of soil application and microinjection]. Proc. of ECOpole, 1, 1/2, 123–127.
- Gitelson, A., Merzylak, M. N. (1994). Quantitative estimation of chlorophyll- $\alpha$  using reflectance spectra: experiments with autumn chestnut and maple leaves. Photobiol., B, Biol., 22, 247–252.
- Głowacka, B., Lipiński, S., Tarwacki, G. (2009). Możliwości ochrony kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* L. przed szrotówkiem kasztanowcowiaczkiem *Cameraria ohridella* Deschka et Dimic [Potential for protection of horse chestnut *Aesculus hippocastanum* L. against the horse chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka et Dimic]. Leśn. Pr. Bad. – For. Res. Pap., 70(4), 317–328.
- Głowacka, B. (2005). Skuteczność diflubenzuronu w ochronie kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* L. przed szrotówkiem kasztanowcowiaczkiem *Cameraria ohridella* Deschka et Dimic [Efficacy of diflubenzuron in protection of horse chestnut *Aesculus hippocastanum* L. against horse leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka et Dimic]. Sylwan, 12, 12–20.
- Hovi, A., Raitio, P., Rautiainen, M. (2017). A spectral analysis of 25 boreal tree species. Silva Fenn., 51, 4. ID 7753.
- Kehrli, P., Bacher, S. (2004). How to safely compost *Cameraria ohridella* – infested horse chestnut leaf litter on private compost heaps. J. Appl. Entom., 128, 707–709.
- Kosibowicz, M. (2005). Szrotówek kasztanowcowiaczek *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic (Lepidoptera, Gracillariidae), nowy inwazyjny szkodnik kasztanowca

- białego *Aesculus Hippocastanum* L. w Polsce – Biologia i metody zwalczania [Horse chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić (Lepidoptera, Gracillariidae), a new invasive pest of the white chestnut *Aesculus hippocastanum* L. in Poland – Biology and control methods]. Leśn. Pr. Bad., 2, 121–132.
- Lack, H. W. (2002). The discovery and rediscovery of the horse chestnut. *Arnoldia*, 61, 4, 15–19.
- Łabanowski, G., Sojka, G. (1998). Szrotówek kasztanowcowiaczek zagraża kasztanowcom w Polsce [Horse chestnut leaf miner threatens chestnut trees in Poland]. *Ochr. Rośl.*, 12, 12.
- Lee, K.-S., Kook, M.-J., Shin, J.-I., Kim, S.-H., Kim, T.-G. (2007). Spectral characteristics of forest vegetation in moderate drought condition observed by laboratory measurements and spaceborne hyperspectral data. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 73, 10, 1121–1127.
- Martinez, B. (2009). Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform. *Remote Sens. Environ.*, 113, 1823–1842.
- Meneses-Tovar, C. L. (2001). NDVI as indicator of degradation. *Unasylva*, 238, 62.
- Piekarczyk, J., Wójtowicz, A. (2010). Ocena stopnia porażenia liści żyta przez rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *Recondita roberge*) na podstawie polowych pomiarów hiperspektralnych [Assessment of the degree of rye leaf infestation by brown rust (*Puccinia recondita* f. sp. *Recondita roberge*) based on field hyperspectral measurements]. *Post. Ochr. Rośl. Progr. Plant Prot.*, 50(2), 713–717.
- Rautiainen, M., Lukeš, P., Homolová, L., Hovi, A., Pisek, J., Möttus, M. (2018). Spectral properties of coniferous forests: A review of in situ and laboratory measurements. *Remote Sens.*, 10, 207.
- Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC 1978-1*, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, no. E73-106393, 93 (NTIS no. E73-106393).
- Salleo, S., Nardini, A., Raimondo, F., Assunta, M., Gullo, L., Pace, F., Giacomich, P. (2003). Effects of defoliation caused by the leaf miner *Cameraria ohridella* on wood production and efficiency in *Aesculus hippocastanum* growing in north-eastern Italy. *Trees*, 17, 367–375.
- Svatoš, A., Kalinová, B., Hoskovec, M., Kindl, J., Hovorka, O., Hrdý, I. (1999). Identification of a new lepidopteran sex pheromone in picogram quantities using an antennal biodeceptor: (8E,10Z)-tetradeca-8,10-dienal from *Cameraria ohridella*. *Tetrahedr. Lett.*, 40, 38, 7011–7014.
- Zagajewski, B., Sędzikowski, Z. (2009). Biblioteka spektralna gatunków zielnych Ogrodu Botanicznego Uniwersytetu Warszawskiego [Spectral library of herbaceous species of the Botanical Garden of the University of Warsaw]. *Teledet. Środ.*, 41, 121–133.
- Zawiła-Niedźwiedzki, T. (2010). Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych [Remote sensing and photogrammetry of forest areas]. W: *Geomatyka w lasach państwowych* (s. 277–297). Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.

## SPECTRAL CHARACTERISTICS OF HORSE CHESTNUT (*AESCULUS HIPPOCASTANUM* L.) LEAVES ATTACKED BY THE HORSE CHESTNUT LEAF MINER (*CAMERARIA OHRIDELLA*)

### ABSTRACT

The horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) is a pest that attacks the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) population in Europe, causing the loss of chlorenchyma. Favourable environmental conditions and a small number of natural enemies allow the pest to spread rapidly. The paper presents the potential to obtain information on the degree of leaf infestation by the pest based on the analysis of spectral reflectance recorded with a contact sensor in the optical spectrum. Spectral characteristics of leaves with different degrees of pest infestation were determined and values of vegetation indices  $NDVI_{850,650}$  and  $NDVI_{850,720}$  were calculated, the latter showing a stronger relationship with the degree of leaf infestation ( $R^2$  at 0.88). The results indicate great potential applicability of remote sensing methods to assess and monitor the health status of horse chestnut trees.

**Keywords:** horse chestnut, horse chestnut leaf miner, spectral curves, NDVI

