

Możliwości zastosowania oprogramowania DeltaPix InSight w procesie zliczania ziaren pyłku leszczyny, olszy i brzozy

Applicability of DeltaPix InSight software for hazel, alder and birch pollen grains counting

Szymon Tomczyk¹, Małgorzata Malkiewicz², Małgorzata Werner¹

¹ Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski

² Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski

Streszczenie:

Niniejsza praca ma na celu ocenę możliwości zastosowania oprogramowania DeltaPix InSight do automatycznego rozpoznawania ziaren pyłku leszczyny (*Corylus sp.*), olszy (*Alnus sp.*) i brzozy (*Betula sp.*). Analiza dotyczyła danych dobowych ze stacji monitoringu we Wrocławiu i została przeprowadzona dla 2 tygodni sezonu 2023.

Oprogramowanie DeltaPix wykorzystywało 5 kryteriów do rozpoznawania ziaren pyłku, tj.: barwy ustalonej za pomocą trzech rang RGB, morfologii szukanych obiektów, jako etap preprocessingu oraz progów dotyczących powierzchni, kształtu i średnicy Fereta dla wyznaczonych przez program obszarów, które odpowiadają 2 pierwszym kryteriom.

Wyniki zliczania automatycznego porównano z wynikami obserwacji manualnej i podsumowano przy użyciu miar trafności prognoz. Przeprowadzona analiza wykazała, że zastosowanie 4 pierwszych kryteriów pozwala uzyskać najlepsze wyniki. Przy dołączeniu progu związanego ze średnicą Fereta oprogramowanie znacznie gorzej radziło sobie ze zliczaniem materiału pyłkowego. Rezultaty najbardziej zbliżone do wyników obserwacji manualnej udało się uzyskać przede wszystkim w czasie tygodnia, kiedy przeważał pyłek olszy oraz leszczyny. Znacznie gorsze wyniki dotyczą rozpoznawania brzozy ze względu na dużą liczbę ziaren, w tym podobnych do pyłku brzozy (np. dębu), a także zanieczyszczenia na preparacie (fragmenty roślin), co skutkowało licznymi fałszywymi sygnałami. Weryfikacja pozwoliła zidentyfikować główne zalety i wady oprogramowania oraz określić, kiedy może być ono pomocne w zliczaniu ziaren pyłku.

Abstract:

This study aims to evaluate the applicability of the DeltaPix InSight software for the automatic recognition of pollen grains of three allergenic taxa, i.e. hazel (*Corylus sp.*), alder (*Alnus sp.*) and birch (*Betula sp.*). The analysis was conducted for daily data from Wrocław monitoring station for 2 weeks during the 2023 season.

The software worked on the basis of five criteria to recognize the pollen grains, i.e.: the colour determined by three RGB ranks, the morphology of the objects searched for as a preprocessing step, and thresholds regarding the area, shape and Feret diameter for the areas designated by the software that correspond to the first two criteria.

The results of the automatic counting were compared with the results of the manual observation and summarized using the forecast accuracy measure statistics. The results showed that using the first 4 criteria provides the best results in pollen quantification. When a threshold related to Feret diameter was included, the software performed significantly worse in counting pollen grains. The results that were the closest to those of manual observation were mainly obtained during the week, when alder and hazel pollen predominated. Much poorer results were obtained in the recognition of birch due to the large number of pollen grains, including those similar to birch pollen (e.g. oak), as well as contamination on the preparation (plant fragments), resulting in numerous false signals. The verification allowed to identify the main advantages and disadvantages of the software and to determine when the software could be helpful in counting airborne pollen grains.

Słowa kluczowe: DeltaPix InSight, ziarna pyłku, alergia pyłkowa, metoda wolumetryczna, automatyczne zliczanie

Key words: DeltaPix InSight, pollen grains, pollen allergy, volumetric method, automatic counting

Wstęp

Ekspozycja na substancje alergenne (aeroalergeny) pochodzące z bioaerozolu może stymulować wytwarzanie przeciwciał w organizmie człowieka i powodować choroby dróg oddechowych (m.in. astmę, zapalenie zatok, alergiczny nieżyt nosa [ANN]). ANN dotyka ok. 10–30% światowej populacji [1]. Alergia w miastach należy do najczęstszych przewlekłych chorób dzieciństwa [2]. Najnowsze prace wskazują, że zmiany klimatu zwiększą bodźcowość sezonów pylenia do 60% [3]. Wielu autorów podkreśla również istnienie synergizmu między stężeniem pyłku a stężeniem zanieczyszczeń ze źródeł antropogenicznych [4]. Analizy aerobiologiczne dowodzą, iż globalne ocieplenie przyspiesza początek sezonu pylenia, a także wydłuża czas pylenia różnych taksonów roślin. Dochodzi również do zwiększenia ilości aeroplanktonu w powietrzu i nasilenia właściwości alergizujących pyłku, co jest związane z interakcją z zanieczyszczeniami chemicznymi. W związku z tym wzrasta również potrzeba monitorowania liczby ziaren pyłku w powietrzu atmosferycznym [5, 6].

Zliczanie ziaren pyłku roślinnego jest metodą ilościową, wizualną, wykonywaną przy użyciu mikroskopu optycznego, gdzie zaleca się zastosowanie obiektywu z powiększeniem 400-krotnym. Proces zliczania można wykonywać kilkoma metodami. Najpowszechniejsza i zgodna ze standardami europejskimi jest metoda horyzontalnych pasów ciągłych – stosunkowo prosta, jednak pracochłonna oraz czasochłonna [7, 8]. Współcześnie istotną staje się automatyzacja wielu procesów, dlatego celem pracy była ocena możliwości zastosowania oprogramowania DeltaPix InSight do automatycznego rozpoznawania ziaren pyłku.

Dane i zastosowanie metody standardowej

Do oceny możliwości zastosowania oprogramowania DeltaPix InSight przy zliczaniu materiału pyłkowego wykorzystano dane aerobiologiczne ze stacji miejskiej monitoringu we Wrocławiu, która znajduje się na dachu Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego (51°6'59"N, 17°1'40"E) na wysokości 20 m od powierzchni gruntu. Materiał pyłkowy był pobierany metodą wolumetryczną za pomocą 7-dniowej

pułapki objętościowej typu Burkard. Przyrząd zasysa powietrze, a ziarna pyłku i inne cząstki spadają na przygotowaną taśmę lepłą. Po tygodniu taśma zostaje zmieniona i przygotowuje się preparaty laboratoryjne, z których zliczana jest liczba ziaren pyłku zgodnie z europejskimi standardami, czyli z czterech horyzontalnych pasów ciągłych. Do zliczania ziaren pyłku z preparatów użyto mikroskopu Nikon ECLIPSE Ci z obiektywem o 400-krotnym powiększeniu.

Analizę przeprowadzono dla trzech taksonów roślin: olszy, leszczyny oraz brzozy. Podczas wyboru kluczowe było dobranie ziaren pyłku o charakterze alergennym, co jest szczególnie ważne dla większości współczesnych badań. Wytypowano okresy sezonu pyłkowego, w których zarejestrowane zostały zróżnicowane wartości stężeń wraz z maksimum dobowym. W ten sposób możliwe było sprawdzenie, jak program działa przy różnej liczbie ziaren pyłku.

Dla olszy i leszczyny wytypowano okres od 21.02 do 27.02.2023, w którym zanotowano najwyższe dobowe stężenie ziaren pyłku obu taksonów (sumarycznie ponad 150 ziaren/m³ w dniu 22.02). W kolejnych dniach dochodziło do spadku sumarycznych stężeń dobowych i pod koniec tygodnia zostało zarejestrowanych jedynie 13 ziaren/m³. Dla brzozy analizie poddano okres od 18.04 do 24.04.2023. Początek i koniec badanego tygodnia charakteryzował się niskim stężeniem pyłku brzozy, wynoszącym 22 ziarna/m³ dnia 19.04. Maksymalna liczba ziaren pyłku brzozy w powietrzu atmosferycznym przypadła na 21.04 i wówczas zarejestrowano ponad 1200 ziaren/m³.

Oprogramowanie DeltaPix InSight

Oprogramowanie składa się z podstawowego pakietu (bezpłatnego z większością kamer DeltaPix) i opcjonalnych modułów dostarczających funkcje specjalne. Używa się go w wielu dziedzinach, m.in. w przemyśle oraz produkcji, medycynie sądowej, biomedycynie, geologii i geografii oraz edukacji [9]. Program DeltaPix InSight ma również funkcje pozwalającą na zliczanie elementów ze zdjęcia wykonanego za pomocą kamery.

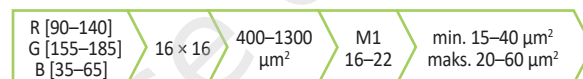
Zgodnie ze standardową metodą zliczanie materiału pyłkowego dotyczy ciągłych poziomych pasów

wytypowanych na preparacie laboratoryjnym. Dlatego do zliczania obiektów przy wykorzystaniu programu DeltaPix InSight w pierwszej kolejności konieczne było wykonanie za pomocą kamery zdjęć tych samych pasów wyznaczonych do zliczania standardowego. Biorąc pod uwagę szerokość obiektywu kamery, wykonanie 145 zdjęć pozwala objąć jeden pas preparatu. W aerobiologii zliczanie materiału pyłkowego z preparatu odbywa się z 4 pasów, dlatego łącznie dla jednego dnia wykonano 580 zdjęć. Następnie wszystkie łączone były w jedną macierz i wówczas uruchamiano proces zliczania ziaren pyłku z wykorzystaniem DeltaPix. Procedura zliczania opiera się na 5 kryteriach:

- Kryterium 1.: **barwa elementów**, które mają zostać zliczone przez program. Kolor określany jest na podstawie trzech rang RGB. Ustawienie barwy jest możliwe poprzez „pobranie koloru” z przykładu interesującego nas rodzaju pyłku. Wówczas przedziały barw dla wyszukiwania ustala się samodzielnie, jednak można również manualnie zmieniać wielkości przedziału barw, które zostaną zaimplementowane w procesie zliczania.
- Kryterium 2.: **wielkość pikseli**, które będą brane pod uwagę, gdy program znajdzie na obrazie fragment odpowiadający przyjętemu kryteriom. Znajdujące się blisko siebie piksele są przez program agregowane i traktowane jako obiekt, który będzie zliczany. Wielkość pikseli określana jest za pomocą skali bezjednostkowej i przede wszystkim sugeruje się przyjęcie maksymalnych wartości (16 × 16), co pozwala odrzucić zbędne małe artefakty znajdujące się na preparacie. Jednak z drugiej strony, jeśli na obrazie występuje wiele ziaren pyłku, to wzięcie pod uwagę mniejszych pikseli może pozwolić uniknąć łączenia kilku bliskich sobie ziaren pyłku w jeden obiekt, ponieważ wówczas przerwy między nimi będą większe.
- Kryterium 3.: **powierzchnia**, dotyczy obszaru, który zbudowany jest z pikseli o wybranych przez nas kolorze oraz wielkości, i definiowana jest w jednostkach μm^2 .
- Kryterium 4.: **kształt wyznaczonych obiektów**, który definiowany jest przez skalę liczbową. M1 – 15 dotyczy obiektu idealnie kulistego, a im wyższa wartość, tym bardziej skomplikowana jest budowa obiektu.
- Kryterium 5.: **parametr Fereta**, który określa maksymalną i minimalną odległość między dwiema równoległymi stycznymi obiektu. Jednostkami są tutaj μm .

Procedura doboru kryteriów była związana z wcześniejszą analizą pojedynczych obrazów, co pozwoliło na uśrednienie założeń. Jednak i tak zastosowano stosunkowo szerokie kryteria w celu osiągnięcia najlepszej możliwej identyfikacji ziaren pyłku. Przyjęto, że olsza i leszczyna będą zliczane razem przez identyczne kryteria ze względu na podobną wielkość, kolor i kształt ziarna pyłku.

Ostatecznie dla olszy/leszczyny dobrano następujące kryteria:



A dla brzozy:



W celu weryfikacji wyników kluczowe było zestawienie ich z wynikami zliczania manualnego. Zostało to przedstawione graficznie za pomocą tabel z sumaryczną ilością pyłku, jaką program zliczył danego dnia wraz z wynikiem zliczania manualnego. Porównanie dotyczy zastosowania 3, później 4 oraz 5 kryteriów. Zastosowano również tzw. wykresy zgodności, które ukazują cztery statystyki, czyli *Probability of detection*, *Success Ratio*, *Bias* oraz *Critical Success Index*. Procedura liczenia wymienionych statystyk została przedstawiona w tabelach 1 oraz 2.

Tabela 1. Tabela kontyngencji, gdzie *a* oznacza całkowitą liczbę trafień, *b* – liczbę fałszywych trafień, *c* – liczbę sytuacji z brakiem wskazania i *d* – liczbę poprawnych braków wskazań.

Wynik programu	Wynik rzeczywisty	
	TAK	NIE
TAK	a	b
NIE	c	d

Tabela 2. Statystyki użyte przez wykres zgodności.

Statystyka	Wzór
<i>Probability of detection</i>	POD = $a/(a + c)$
<i>Success Ratio</i>	SR = $1 - (b/(a + b))$
<i>Bias</i>	BIAS = $(a + b)/(a + c)$
<i>Critical Success Index (threat score)</i>	CSI = $a/(a + b + c)$

W pracy wytypowano najczęstsze błędy programu, które pojawiały się podczas zliczania materiału pyłkowego. Przykłady dotyczą pyłku brzozy ze względu na fakt, że dla tego analizowanego taksonu

uzyskane rezultaty najbardziej różnią się od wyników zliczania manualnego.

Wyniki

Tabela 3 wskazuje, że wraz z dodawaniem kolejnych kryteriów dochodzi do poprawy wyniku zliczania pyłku względem metody manualnej. Zastosowanie jedynie 3 kryteriów powodowało znaczące przeszacowanie wyników. Zbyt szerokie kryteria nie pozwalają na poprawne wykrywanie ziaren pyłku, a błąd wynosił nawet ponad 2000%. Znacznie lepsze wyniki dotyczą 4 kryteriów, ponieważ program potrafił praktycznie oszacować liczbę ziaren pyłku. W przypadku 5 dni błąd wynosił poniżej 10 ziaren. W dniach z większą liczbą ziaren pyłku (22.02 oraz 23.02) błąd programu był większy, jednak nadal uzyskane wartości były stosunkowo bliskie metodzie manualnej. Dodanie 5. kryterium skutkowało niewielkim pogorszeniem rezultatów, polegającym na tym, że w każdym dniu doszło do niedoszacowania wyników. Zastosowanie zbyt ścisłych kryteriów skutkowało niezidentyfikowaniem niektórych ziaren pyłku. Jednak w dniach z niewielką liczbą ziaren olszy i leszczyny błąd nie był znaczny, a w dniu 23.02 wynik okazał się bliższy rezultatowi uzyskanemu przy zliczaniu metodą standardową niż przy zastosowaniu pierwszych 4 kryteriów.

Tabela 3. Sumaryczna dobowa ilość pyłku olszy i leszczyny (wynik programu DeltaPix InSight/metoda manualna).

	3 kryteria	4 kryteria	5 kryteriów
21.02.2023	189/122	113/122	61/122
22.02.2023	393/154	176/154	93/154
23.02.2023	590/87	124/87	72/87
24.02.2023	147/93	87/93	43/93
25.02.2023	195/17	12/17	7/17
26.02.2023	367/22	25/22	18/22
27.02.2023	326/13	22/13	6/13

W tabeli 4 (dla brzozy) zastosowanie jedynie 3 kryteriów skutkowało pojawieniem się wyjątkowo dużych błędów, liczba ziaren zliczona przez DeltaPix była wielokrotnie wyższa niż rezultat zliczania manualnego. W przypadku brzozy dodanie 4. kryterium nie pozwoliło na znaczną poprawę wyników jak w przypadku olszy i leszczyny. W czasie występowania wielu ziaren pyłku brzozy błąd programu był duży, jednak najgorsze rezultaty dotyczą dni z niewielką liczbą ziaren. DeltaPix InSight zliczał wówczas oprócz pyłku znaczną liczbę fałszywych sygnałów, co skutkowa-

ło tak dużym błędem. Dla tego taksonu najlepsze rezultaty występują po dodaniu 5. kryterium. Wówczas w dniach z najwyższym stężeniem brzozy w powietrzu atmosferycznym, czyli w dniach 20–21.04, program był blisko wyniku uzyskanego metodą standardową.

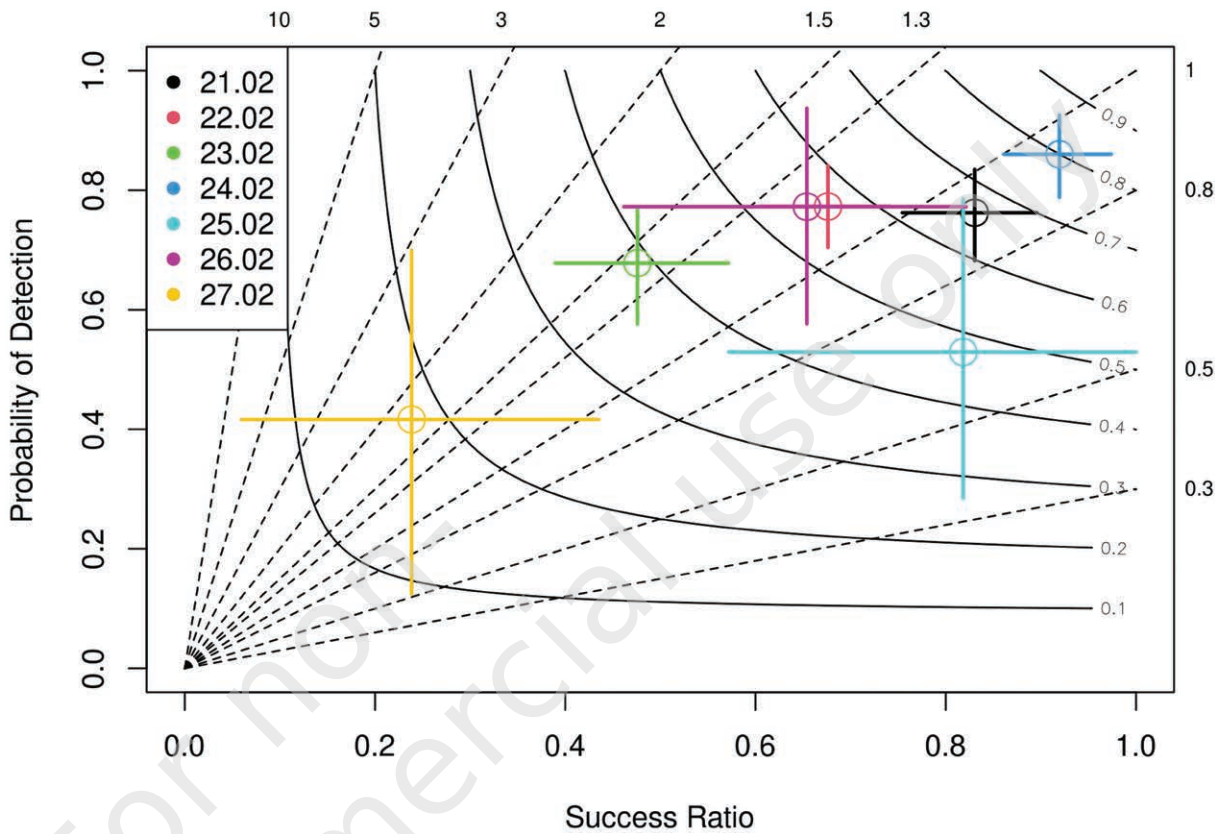
Tabela 4. Sumaryczna dobowa ilość pyłku brzozy (wynik programu DeltaPix InSight/metoda manualna).

	3 kryteria	4 kryteria	5 kryteriów
18.04.2023	4820/120	1392/120	519/120
19.04.2023	4877/22	1753/22	657/22
20.04.2023	6978/1016	3063/1016	1106/1016
21.04.2023	8377/1223	3719/1223	1415/1223
22.04.2023	4299/235	1891/235	705/235
23.04.2023	5710/64	3347/64	1043/64
24.04.2023	6274/38	3827/38	1328/38

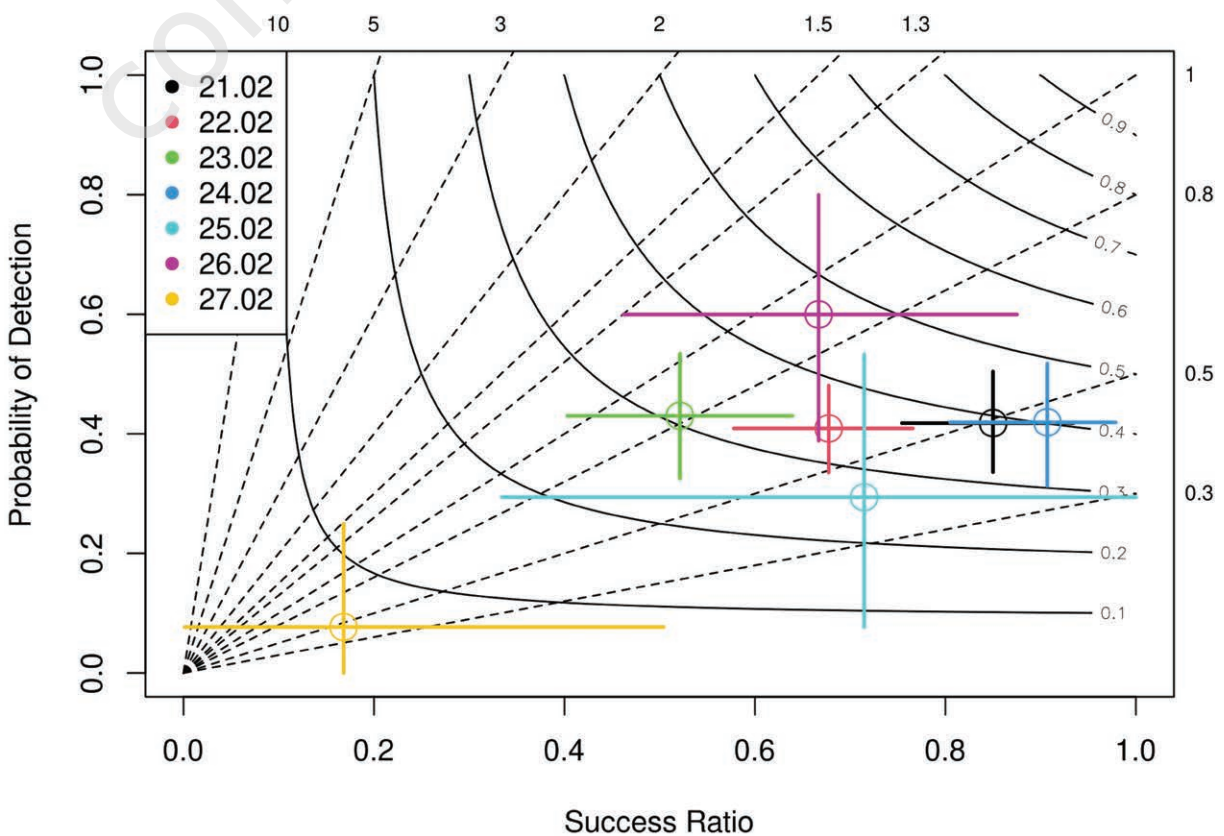
Ryciny 1–4 pozwalają zweryfikować wyniki uzyskane dzięki programowi DeltaPix InSight. W przypadku olszy i leszczyny rezultaty są zadowalające. Oczekiwane jest, żeby punkty dla danych dni znajdowały się w prawym górnym rogu wykresu. Wówczas oznacza to wynik najbliższy rezultatowi uzyskanemu ze zliczania metodą standardową. Przede wszystkim zastosowanie 4 kryteriów (ryc. 1) pozwoliło osiągnąć dobre rezultaty, co dotyczy szczególnie 24.02 (POB – 0,86, *Success Ratio* – 0,92, *Bias* – 0,94 i *Critical Success Ratio* – 0,8). Pozostałe dni związane były z większą liczbą fałszywych sygnałów (niższy wskaźnik *Success Ratio*), co widoczne jest głównie ostatniego analizowanego dnia, czyli 27.02. Gorsza liczba trafień przypada na 25.02 oraz 27.02 (niski POB oraz *Critical Success Ratio*). Należy podkreślić, że program dość dobrze oszacował liczbę ziaren pyłku na początku tygodnia, czyli w czasie, gdy stężenie olszy i leszczyny w powietrzu było najwyższe. Po dodaniu 5. kryterium (ryc. 2) znacząco pogarsza się sprawdzalność programu. Liczba trafień jest niższa, na co wskazują statystyki POB oraz *Critical Success Ratio* (średnio na poziomie 0,3–0,4). Dalej największy błąd dotyczy 27.02. W tym przypadku najlepsza sprawdzalność programu została osiągnięta 26.02 (POB – 0,6). Najmniejsza liczba fałszywych sygnałów przypada na 21.02 oraz 24.02. Trudno znaleźć korelację pomiędzy liczbą ziaren pyłku a sprawdzalnością programu, co prawdopodobnie jest związane w większym stopniu z zanieczyszczeniem preparatu materiałem biologicznym i antropogenicznym.

Znacząco gorsze rezultaty dotyczą procesu zliczania ziaren pyłku brzozy. W tej sytuacji również

Rycina 1. Statystyki dla wyników zliczania ziaren pyłku olszy/leszczyny (4 kryteria).



Rycina 2. Statystyki dla wyników zliczania ziaren pyłku olszy/leszczyny (5 kryteriów).



zastosowanie 4 kryteriów (ryc. 3) pozwoliło uzyskać lepsze wyniki niż przy wdrożeniu 5 kryteriów (ryc. 4). Jednak zauważalna jest wyjątkowo duża liczba fałszywych sygnałów (*Success Ratio* średnio na poziomie 0,05) oraz wysoki *Bias*. Detekcja ziaren pyłku brzozy (POB) była na lepszym poziomie i wyniosła średnio 0,5 dla 4 kryteriów i 0,3 dla 5 kryteriów. Zastosowanie szerokich założeń pozwoliło na dość dobrą wykrywalność, jednak zliczanych było również wiele innych obiektów. Najwyższy POB oraz *Critical Success Index* dotyczą dni z najmniejszą liczbą ziaren pyłku, czyli początku i końca analizowanego tygodnia. Prawdopodobnie wówczas nie dochodziło do łączenia ziaren i możliwa była lepsza detekcja niż przy wielu ziarnach pyłku. Jednak dni z wyższym *Success Ratio* oraz niższym współczynnikiem *Bias* dotyczą najwyższej zawartości ziaren pyłku brzozy w powietrzu. W tych sytuacjach dominacja brzozy na preparacie pozwalała uniknąć wielu fałszywych sygnałów. Bardzo podobna tendencja dotyczy uwzględnienia 5 kryteriów (ryc. 4), jednak w tym przypadku dodanie długości Fereta spowodowało, że kryteria stały się bardziej surowe i znacząco spadła wykrywalność pyłku brzozy.

Najczęstszym problemem dla programu było występowanie ziaren pyłku blisko siebie (ryc. 5), przez co powierzchnia, kształt oraz długość Fereta nie pasowały do przyjętych kryteriów. Nawet zmniejszenie pikseli dla detekcji brzozy (2. kryterium 8×16) nie pomogło w wielu przypadkach uniknąć takich sytuacji. Jednak na rycinie widoczne jest, że dla pozostałych ziaren pyłku brzozy detekcja była prawidłowa. Udowadnia to, że w przypadku pojedynczych ziaren pyłku program radził sobie z rozpoznawaniem, chociaż można również zauważyć, iż w lewym górnym rogu zidentyfikował nieinteresujące nas elementy jako ziarna pyłku. W tej sytuacji agregacja pikseli i kolor spowodowały, że program mógł rozpoznawać taki obiekt jako brzozę. Znaczna liczba ziaren pyłku brzozy (ryc. 6) powodowała, że program łączył wszystkie ziarna w znaczące skupiska. Wówczas niemożliwe było wychwycenie pojedynczych ziaren pyłku. Rycina 7 wskazuje, że również możliwe były błędy związane z błędną identyfikacją różnych ziaren pyłku. W tym roku pylenie brzozy przypadło stosunkowo późno, przez co okresy kwitnienia brzozy i dębu wystąpiły w podobnym czasie. Pyłek dębu charakteryzuje się często podobnymi: barwą, wymiarami, a czasem nawet kształtem, co pyłek brzozy. Wówczas program mógł wychwycić wiele fałszywych sygnałów i liczyć dąb jako pyłek brzozy.

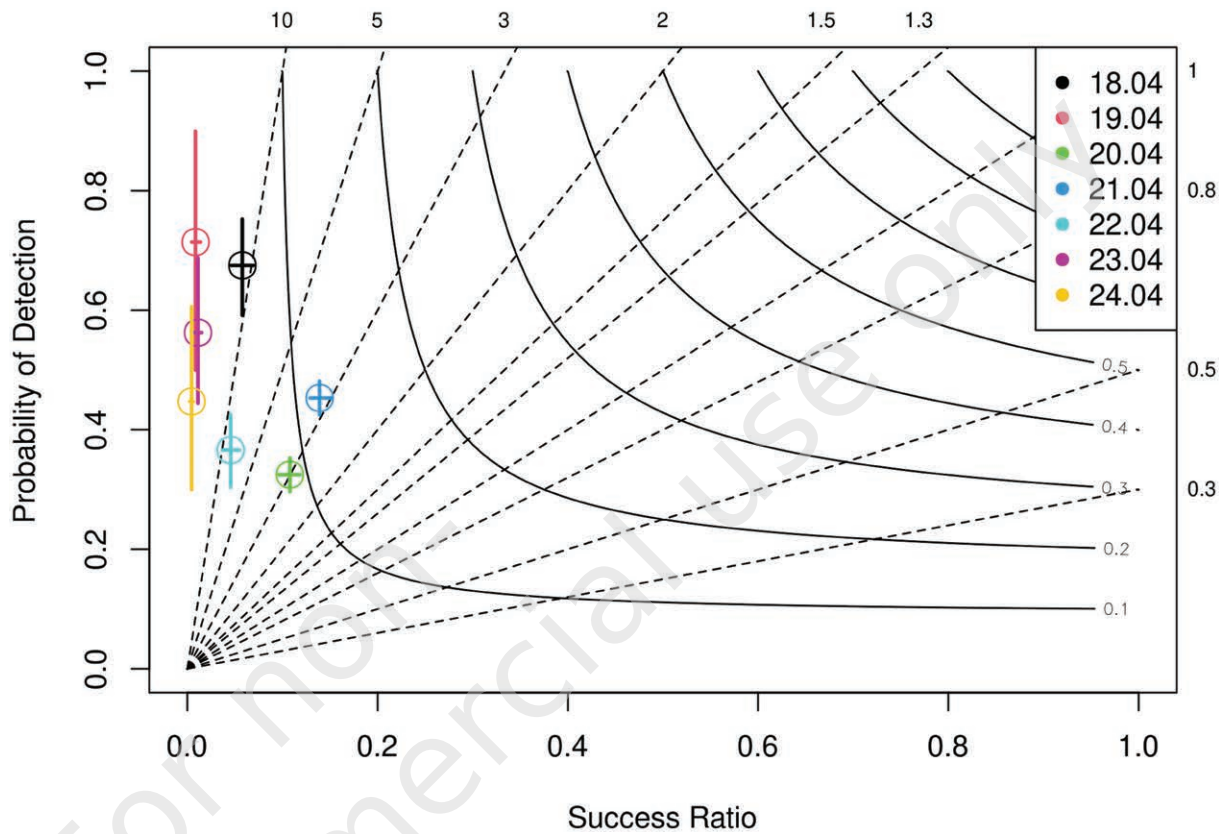
Podsumowanie

W pracy sprawdzono możliwość zastosowania oprogramowania DeltaPix InSight do automatycznego zliczania materiału pyłkowego z preparatu laboratoryjnego dla olszy i leszczyny oraz brzozy. Analizie poddane zostały dane z 2 tygodni, co pozwoliło zbadać działanie oprogramowania w **różnych warunkach**. Zliczanie ziaren pyłku odbywało się ze zdjęć wykonanych za pomocą kamery dołączonej do mikroskopu optycznego. Zastosowane zostały kryteria dopasowane do wybranych taksonów roślin. Założenia były stosunkowo szerokie, co miało pozwolić na wysoką wykrywalność ziaren pyłku. Wyniki pracy pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

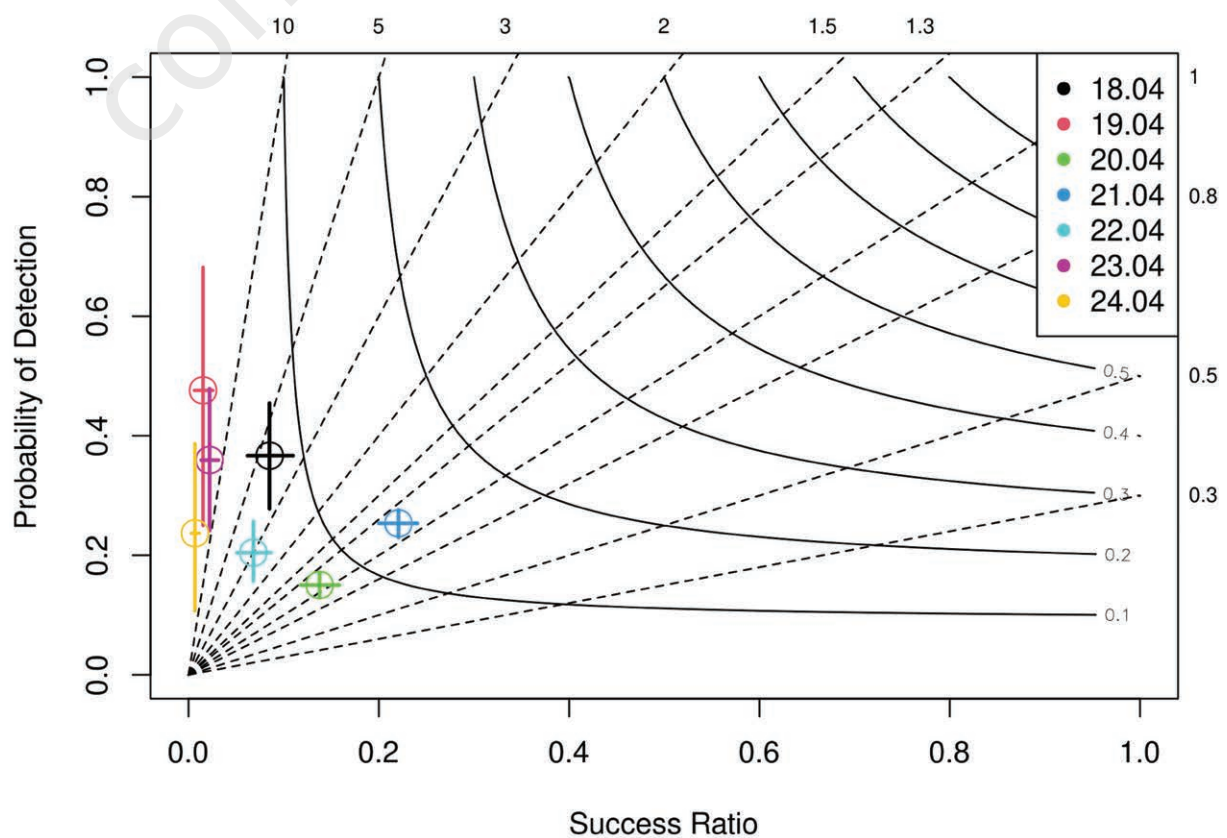
- W zależności od dobranych kryteriów możemy otrzymać lepszą wykrywalność danych ziaren pyłku lub mniejszą liczbę fałszywych sygnałów.
- Pod względem sumarycznym program nie radzi sobie przy zastosowaniu jedynie 3 kryteriów ze względu na zbyt dużą liczbę fałszywych trafień, jednak przy 4 lub 5 kryteriach możliwe jest uzyskanie wyników bliskich metodzie manualnej, mimo to trzeba zaznaczyć, że może w tej sytuacji dochodzić do tzw. kompensacji błędów (np. program nie zlicza niektórych prawidłowych obiektów, ale rozpoznaje obecny na preparacie materiał biologiczny i antropogeniczny jako ziarna pyłku).
- Dokładniejsze wyniki dla olszy i leszczyny wskazują, że program radzi sobie lepiej z prostymi sytuacjami, gdy na szkiełku nie ma jeszcze wielu zanieczyszczeń preparatu materiałem biologicznym (okres zimowy/wczesnowiosenny) oraz dominuje jeden takson pyłku.
- W przypadku brzozy pomimo stosunkowo łatwych cech identyfikacyjnych dla tego ziarna pyłku pojawiają się problemy związane z łączeniem ziaren, ich nadmierną ilością oraz zliczaniem innych podobnych pod względem wielkości, barwy i kształtu ziaren pyłku.

Wyniki wskazują, że budowa ziarna (np. cis lub sosna), obecność cech diagnostycznych nieidentyfikowalnych przez program (np. bruzdy u wierzby, pory u babki, kolce u ambrozji) oraz występowanie wielu ziaren pyłku w tym samym okresie (przełom wiosny i lata) mogą spowodować gorsze działanie programu dla niektórych taksonów (nierozważanych tutaj). Do poprawy systemu niezbędna jest jego rozbudowa – m.in. polegająca na zwiększeniu liczby kryteriów branych pod uwagę przy rozpoznawaniu automatycznym.

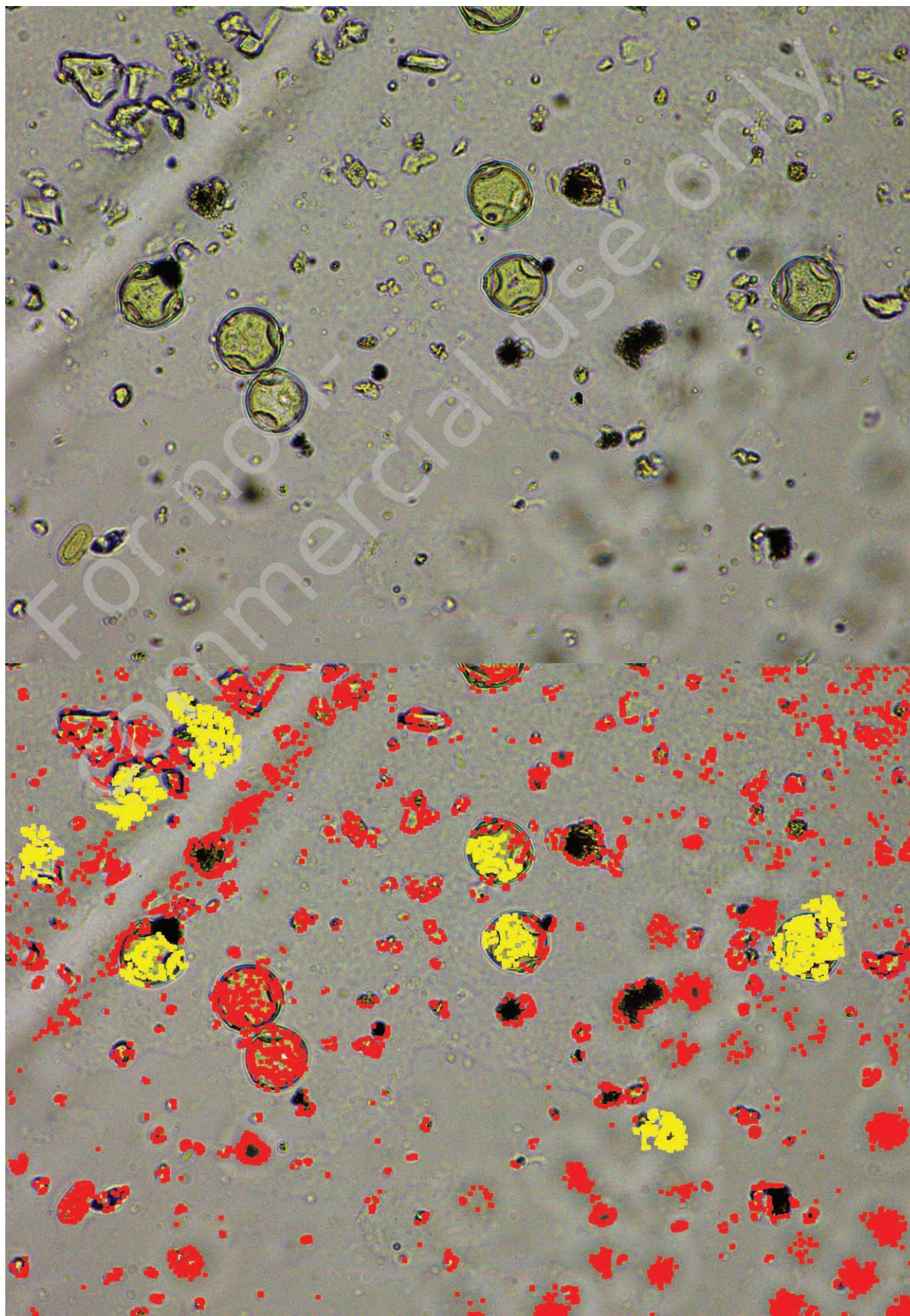
Rycina 3. Statystyki dla wyników zliczania ziaren pyłku brzozy (4 kryteria).



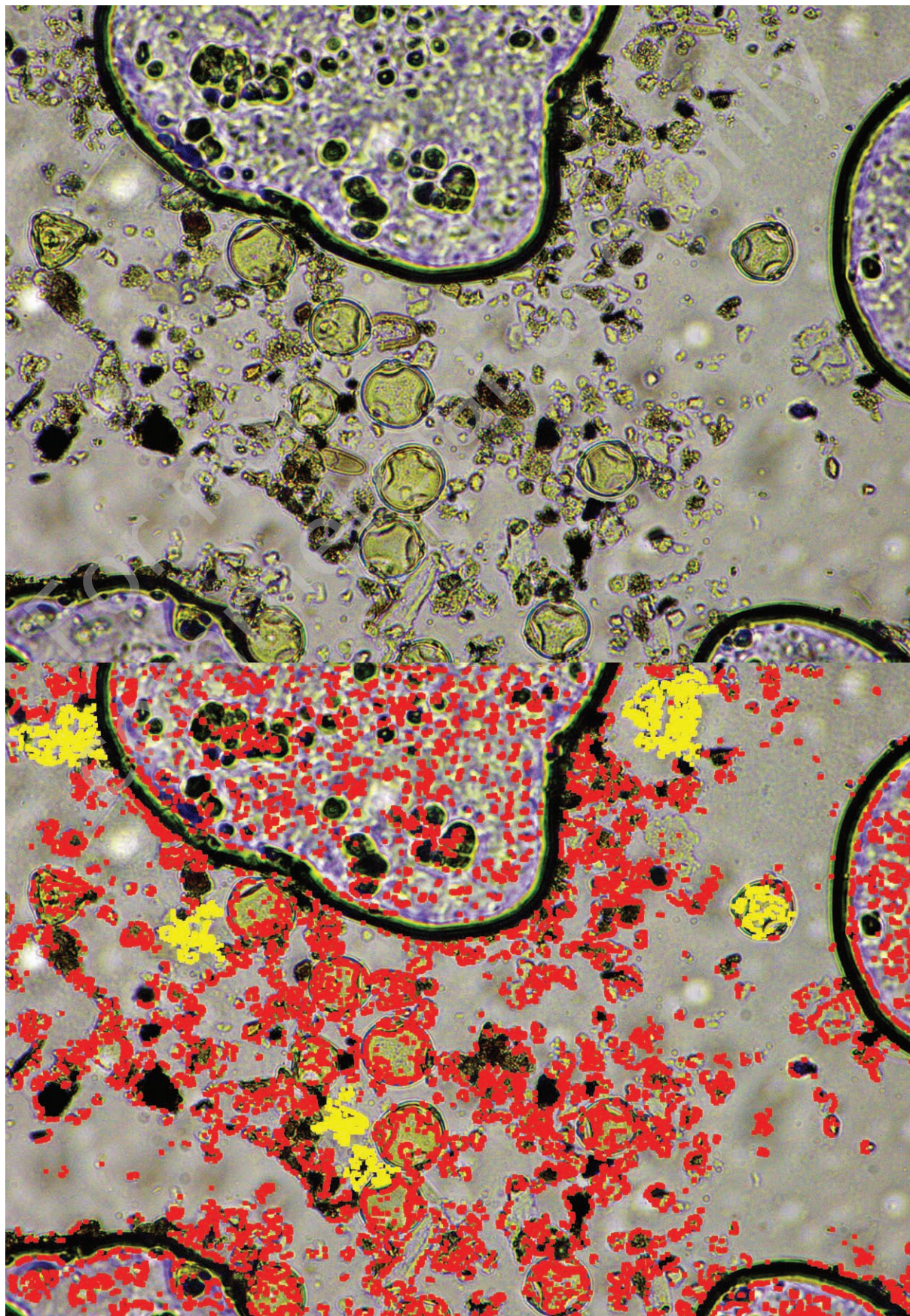
Rycina 4. Statystyki dla wyników zliczania ziaren pyłku brzozy (5 kryteriów).



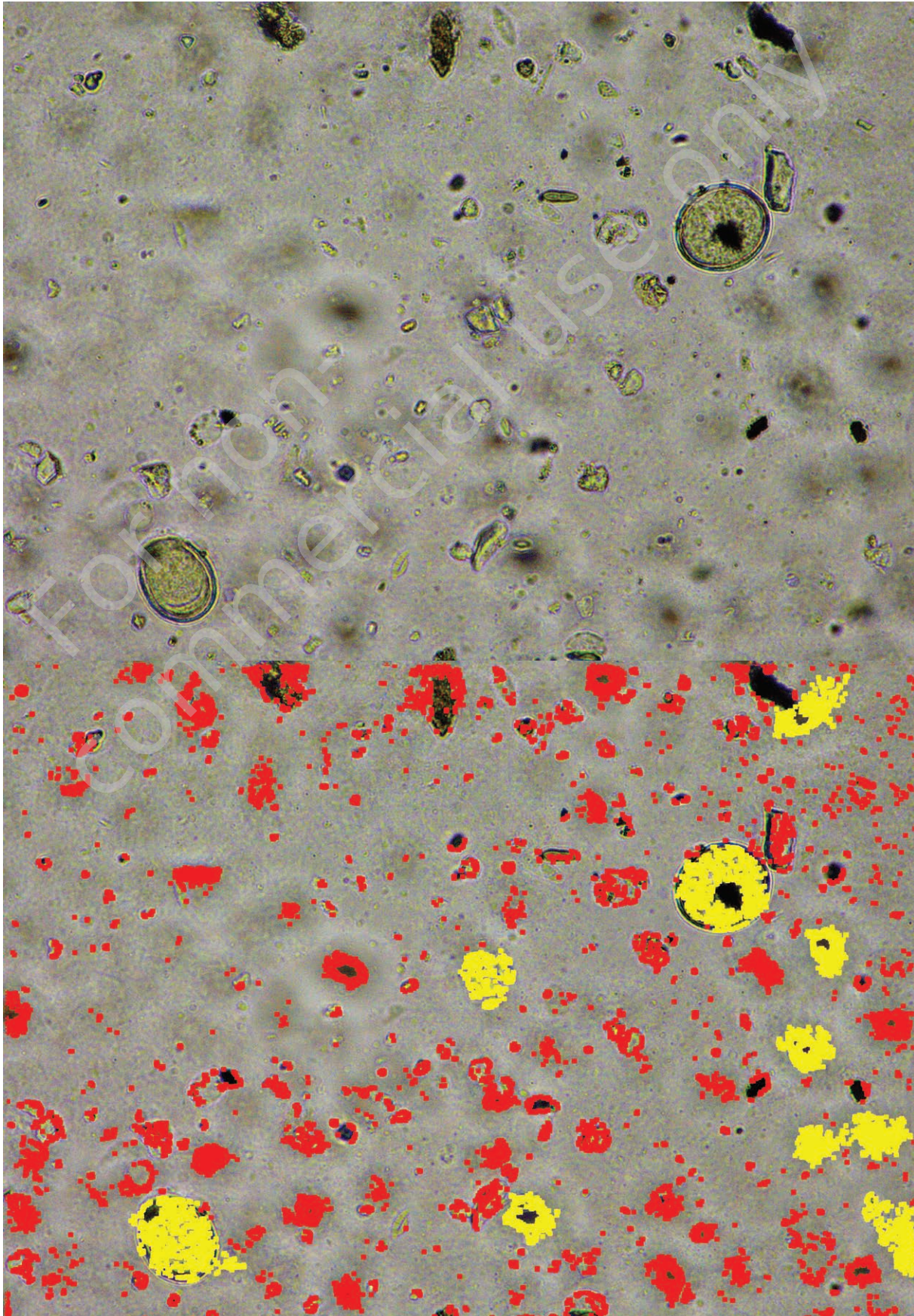
Rycina 5. Połączone ziarna pyłku oraz fałszywe sygnały. Na czerwono zaznaczono obszary niezaklasyfikowane przez oprogramowanie do procesu zliczania (niepełniające przyjętych warunków), kolorem żółtym oznaczono obiekty zidentyfikowane jako ziarna pyłku.



Rycina 6. Duża liczba ziaren pyłku. Na czerwono zaznaczono obszary niezaklasyfikowane przez oprogramowanie do procesu zliczania (niepełniające przyjętych warunków), kolorem żółtym oznaczono obiekty zidentyfikowane jako ziarna pyłku.



Rycina 7. Pyłki dębu – fałszywe sygnały. Na czerwono zaznaczono obszary niezaklasyfikowane przez oprogramowanie do procesu zliczania (niepełniające przyjętych warunków), kolorem żółtym oznaczono obiekty zidentyfikowane jako ziarna pyłku.



Piśmiennictwo

1. Weinmayr G, Jaensch A, Ruelius AK et al. Can environment or allergy explain international variation in prevalence of wheeze in childhood? *Eur J Epidemiol.* 2019; 34(5): 509-20.
2. Pawankar R, Canonica GW, Holgate ST et al. *White Book on Allergy.* World Allergy Organization 2013: 242.
3. Kurganskiy A, Creer S, de Vere N et al. Predicting the severity of the grass pollen season and the effect of climate change in Northwest Europe. *Sci Adv.* 2021; 7(13): 11.
4. Baldacci S, Maio S, Cerrai S et al. Allergy and asthma: Effects of the exposure to particulate matter and biological allergens. *Respir Med.* 2015; 109(9): 1089-104.
5. Dbouk T, Visez N, Ali S et al. Risk assessment of pollen allergy in urban environments. *Sci Rep.* 2022; 12(1): 12.
6. Ziska LH. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *Lancet Planet Health.* 2019; 3(3): 124-31.
7. Weryszko-Chmielewska E. *Aerobiologia.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie 2007: 156.
8. Stach A, Kasprzyk I. *Metodyka badań zawartości pyłku roślin i zarodników grzybów w powietrzu z zastosowaniem aparatu Hirsta.* Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2005: 16.
9. *InSight Basic – Microscope software – DeltaPix (access: 31.07.2023).*

ORCID

S. Tomczyk – ID – <http://orcid.org/0009-0007-8930-907X>
 M. Malkiewicz – ID – <http://orcid.org/0000-0001-6768-7968>
 M. Werner – ID – <http://orcid.org/0000-0003-2412-959X>

Wkład autorów/Authors' contributions:

S. Tomczyk: 80%; M. Malkiewicz: 10%; M. Werner: 10%.

Konflikt interesów/Conflict of interests:

Nie występuje.

Finansowanie/Financial support:

Nie występuje.

Etyka/Ethics: Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helsińskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych.

Copyright: © Medical Education sp. z o.o. This is an Open Access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

Adres korespondencji

Szymon Tomczyk

Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska,
 Uniwersytet Wrocławski
 ul. Cybulskiego 30 50-205 Wrocław
 tel.: +48 (71) 375-9274
 e-mail: szymon.tomczyk@uwr.edu.pl