

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Katarzyna Byczkowska-Gazi

**Uwarunkowania siedliskowe i modelowanie rozmieszczenia
inwazyjnej trawy *Anthoxanthum aristatum* Boiss. na obszarze
Sandru Nowotomyskiego**

Habitat conditions and distribution modeling of the invasive grass
Anthoxanthum aristatum Boiss. in the area of the Nowotomyski
Sander

Promotor:

prof. UPP dr hab. Maria Drapikowska
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Promotor pomocniczy:

dr hab. Maciej Nowak
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Poznań, 2024

Załącznik 1b

Maria Drapikowska, Maciej Nowak

imię i nazwisko promotora / promotorów / promotora pomocniczego

Oświadczenie promotorów rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska pt.: „Uwarunkowania siedliskowe i modelowanie rozmieszczenia inwazyjnej trawy *Anthoxanthum aristatum* Boiss. na obszarze Sandru Nowotomyskiego” została przygotowana pod naszym kierunkiem i stwierdzamy, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data

Podpis promotora rozprawy

Podpis promotora pomocniczego rozprawy

Katarzyna Byczkowska
imię i nazwisko doktoranta

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Niniejszym oświadczam, że przedłożoną rozprawę doktorską pt.: „Uwarunkowania siedliskowe i modelowanie rozmieszczenia inwazyjnej trawy *Anthoxanthum aristatum* Boiss. na obszarze Sandru Nowotomyskiego” napisałam samodzielnie, tj.: – nie zleciłam opracowania rozprawy lub jej części innym osobom, – nie przepisałam rozprawy lub jej części z innych opracowań i prac związanych tematycznie z moją pracą, – korzystałam jedynie z niezbędnych konsultacji, – wszystkie elementy rozprawy, które zostały wykorzystane do jej realizacji (cytaty, ryciny, tabele, programy itp.), a nie będące mojego autorstwa, zostały odpowiednio zaznaczone wraz z podaniem źródła ich pochodzenia, – rozprawa nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego. Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną. Mam świadomość, że złożenie nieprawdziwego oświadczenia skutkować będzie niedopuszczeniem do dalszych czynności postępowania w sprawie nadania stopnia doktora lub cofnięciem decyzji o nadaniu mi stopnia doktora oraz wszczęciem postępowania dyscyplinarnego.

Data

.....

podpis autora rozprawy

Składam serdeczne podziękowania:

Pani prof. UPP dr hab. Marii Drapikowskiej za nieocenioną radę, pomoc i motywację w całym procesie badawczym, wiarę w umiejętności i możliwości ich wykorzystania,

Panu dr hab. Maciejowi Nowakowi za wsparcie w podejmowaniu badań i ocenie wyników,

Panu prof. UAM dr hab. Zbigniewowi Celce za cenne sugestie przy opracowaniu koncepcji pracy,

Panu dr Pawłowi Bogawskiemu za pomoc przy ocenie wyników,

Rodzicom, Rodzinie i Bliskim, którzy wierzyli we mnie pomimo przeciwności,

Oraz mojemu Mężowi Szczepanowi, który jest dla mnie bezcennym wsparciem.

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Problem inwazji biologicznych.....	8
2.1. Inwazja, rośliny inwazyjne	8
2.1.1. Charakterystyka <i>Anthoxanthum aristatum</i> Boiss.....	10
2.1.2. Zagrożenie w rolnictwie.....	13
2.2. Modele opisujące rozprzestrzenianie się roślin.	13
3. Cel, hipotezy i zakres badań	19
3.1. Cel badań	19
3.2. Hipotezy badawcze	19
3.3. Zadania badawcze	20
4. Materiał i metody badań.....	21
4.1. Charakterystyka obszaru badań	21
4.1.1. Położenie	21
4.2. Analiza gleb	25
4.2.1. Pobór prób.....	25
4.2.2. Analizy statystyczne prób glebowych.....	26
4.3. Modelowanie	26
4.3.1. Dane do modelowania.....	26
4.3.1.1. Dane środowiskowe	26
4.3.1.2. Dane teledetekcyjne	28
4.3.2. Modelowanie w MaxEnt.....	31
4.3.3. Reklasyfikacja wyników MaxEnt	41
5. Wyniki	42
5.1. Warunki glebowe stanowisk <i>A. aristatum</i>	42
5.2. Wyniki modelowania	45

5.2.1.	Ujęcie przestrzenne i statystyczne prawdopodobieństwa	45
5.2.2.	Dane glebowe w oparciu o mapę preferencji siedliskowej	59
6.	Dyskusja	60
7.	Wnioski	67
8.	Literatura	68
9.	Źródła internetowe	75
10.	Akty prawne	75
11.	Spis Tabel	75
12.	Spis Rysunków	76
13.	Streszczenie	78
14.	Summary	79
15.	Suplement	80

1. Wstęp

Zrozumienie procesu inwazji biologicznej jest niezbędne do podejmowania działań w celu ochrony przed nadmiernym rozprzestrzenianiem się gatunków, zarówno w obrębie siedlisk naturalnych ale także tych przekształconych przez człowieka, w tym obszarów objętych gospodarką rolną. Wybrany do badań obiekt (*Anthoxanthum aristatum* Boiss.) reprezentuje dużą grupę gatunków roślin, które uwalniając się z ekosystemów naturalnych wykazują zdolność do zajmowania różnego typu siedlisk wtórnych, zasadniczo odbiegających od tych które zajmowały pierwotnie. Proces ten został już dość dobrze opisany na poziomie biogeograficznym i ekologicznym. Natomiast nie zaproponowano, jak dotychczas oceny prawdopodobieństwa jego inwazji, a jednym z najbardziej skutecznych, a co zatem idzie opłacalnych działań jest zapobieganie temu procesowi. W ostatnich latach coraz większe znaczenie przy analizie rozmieszczenia i rozprzestrzeniania się roślin, a także przy próbach zrozumienia czynników rządzących inwazjami nabierają modele rozmieszczenia gatunków (ang.: Species Distribution Model (SDM)) zwane również modelami niszy ekologicznych. Narzędzia te są stosunkowo szybką i skuteczną metodą pozwalającą przewidzieć kierunki ewentualnych inwazji, a co za tym idzie, pozwalają podjąć próby ich zapobieżenia. Niniejsza praca wpisuje się w nurt szeroko prowadzonych badań nad modelowaniem inwazji roślin, a autorka ma nadzieję, że uzyskane wyniki przyczynią się do ograniczenia rozszerzania się zasięgu badanego gatunku inwazyjnej trawy – *Anthoxanthum aristatum*.

2. Problem inwazji biologicznych

2.1. Inwazja, rośliny inwazyjne

Inwazja (łac. *invasio* – wtargnięcie) zwana inaczej ekspansją (łac. *expansio* – rozszerzanie się) jest procesem, który od wielu lat znajduje się w obszarze badań ekologów. Inwazja roślin będąca wyjątkowo złożonym zjawiskiem przyrodniczym, jest jednym z istotnych obszarów badań ekologicznych. Ekspansywne gatunki obce wpływają negatywnie na ekosystemy przekształcając istniejące siedliska czy konkurując wypierając gatunki rodzime (Tokarska-Guzik i in. 2011). Przeobrażanie środowiska przyrodniczego na skutek rozprzestrzeniania się gatunków o szerokiej skali ekologicznej przy równoczesnym zanikaniu gatunków o wąsko wyspecjalizowanych cechach jest obserwowane od wielu dziesięcioleci. Faliński (1972) zdefiniował takie procesy jako proces synantropizacji. Stanowi on część zmian kierunkowych zachodzących w środowisku na skutek działalności człowieka, a efektem jest zastępowanie składników swoistych przez kosmopolityczne, rodzimych przez przybyszów, gatunków o wąskiej skali ekologicznej przez gatunki tolerujące duże wahania czynników środowiskowych. Konsekwencją jest przeobrażanie się naturalnie występujących układów pierwotnych w układy wtórne.

Częścią strategii organizmów żywych jest kolonizacja nowych obszarów. Procesy te zachodzą naturalnie pod wpływem zmian warunków klimatycznych czy warunków siedliskowych. W ostatnich dziesięcioleciach rozwój cywilizacji przyczynił się do znacznie większego wpływu człowieka na przemiany szaty roślinnej (Falińska 2012). Gatunki wkraczając na nowe obszary przekraczają bariery geograficzne, co definiuje się jako ekspansję geograficzną lub chorologiczną (Jackowiak 1999).

W Polsce gatunek obcy, zgodnie z ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz. U. z 2021, poz. 1098 tj.), jest definiowany jako gatunek występujący poza swoim naturalnym zasięgiem, w postaci osobników lub zdolnych do przeżycia gamet, zarodników, nasion, jaj lub części osobników, dzięki którym mogą one rozmnażać się.

Badania nad wymianą gatunków spowodowaną antropopresją w ostatnim czasie znacznie się zintensyfikowały, natomiast bezprecedensowe tempo tej wymiany, wymaga intensywniejszego monitoringu i zastosowania metod pozwalających przewidzieć niebezpieczeństwo inwazji na danym obszarze. Oprócz niewątpliwych pierwszorzędnych skutków inwazji, prowadzących do homogenizacji flory i fauny, ma ona daleko idące

implikacje dla ludności, funkcjonowania całych ekosystemów i gospodarki człowieka (Seebens i in. 2017).

A. aristaum jest jednym z niewielu gatunków (oprócz *A. fatua*) zachwaszczającym uprawy zbóż na siedliskach oligotroficznym (Tokarska-Guzik 2005). W Polsce, występowanie tego chwastu ogranicza się do żyta i pszenżyta uprawianych na słabych, oligotroficznym glebach (Drapikowska i in. 2020). Na tych terenach praktykowane jest rolnictwo ekologiczne, bez użycia środków ochrony roślin, zapewniając zboże do produkcji żywności ekologicznej. Oprócz strat spowodowanych konkurencyjnym oddziaływaniem chwastów w uprawach, szeroko opisywane w literaturze przedmiotu jest rozprzestrzenianie się różnych patogenów roślinnych przy użyciu wektora jakimi są gatunki towarzyszące uprawom. Przykładem są patogeny grzybowe dla roślin, które mogą się rozprzestrzeniać lub przetrwać w zakażonych nasionach, ziarniakach i innych pozostałościach porażonych roślin. Źródłem inokulum patogenu mogą być również zainfekowane chwasty towarzyszące uprawom. Pozostawianie chwastów, które są rezerwuarem patogenów, przyczynia się do nieskuteczności ochrony roślin przed nimi (Wisler i Norris, 2005). Na potwierdzenie powyższych stwierdzeń, podczas badań wykonywanych na potrzeby niniejszej rozprawy, na materiale roślinnym *A. aristatum* zidentyfikowano szczepy *Fusarium avenaceum* i *F. culmorum* (Pieczul i in. 2018, 2019, 2022), które są również patogenami atakującymi zboża uprawne.

Od wielu lat prowadzone są prace, które mają na celu monitorowanie rozprzestrzenienia się gatunków inwazyjnych. Stosowane metody chorologiczne, w wyniku których opracowano mapy rozmieszczenia poszczególnych gatunków, są podstawową informacją o liczbie stanowisk i natężeniu inwazji (Jackowiak 1999; Zajac i Zajac 2001). Obecnie, śledzenie procesu inwazji jest wykonywane przy użyciu szeroko dostępnych metod opartych na modelach dystrybucji gatunków (Zajac i in. 2019).

Na terenie naszego kraju obowiązuje Ustawa z dnia 11 sierpnia 2021 r. o gatunkach obcych (Dz. U. z 2013, poz. 1589 t.j.) oraz Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 1143/2014 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych (Dz. Urz. UE L 317 z 04.11.2014, str. 35, z późn. zm.). Rozporządzenie to, w sposób kompleksowy reguluje takie zagadnienia jak: zapobieganie wprowadzaniu i rozprzestrzenianiu się inwazyjnych gatunków obcych, ich wczesne wykrywanie i szybka eliminacja bądź długofalowa i efektywna kontrola populacji w przypadku gatunków rozpowszechnionych. Do istotnych działań prowadzonych aktualnie

w krajach Unii Europejskiej należy przygotowanie Strategii dotyczącej inwazyjnych gatunków obcych (EU Strategy on Invasive Alien Species). Do jej przestrzegania Polska jest zobowiązana. Ograniczanie inwazji biologicznych jest jednocześnie jednym z sześciu kluczowych celów Europejskiej strategii ochrony różnorodności biologicznej (EU 2020 Biodiversity Strategy). Podjęcie odpowiednich działań zaradczych wymaga zebrania wiedzy o gatunkach obcego pochodzenia w skali poszczególnych regionów. Dobre rozpoznanie uwarunkowań oraz skali inwazji biologicznych powinno znaleźć odzwierciedlenie w kompleksowej strategii postępowania z gatunkami obcymi, do opracowania której zobowiązane są kraje zrzeszone w Unii Europejskiej.

2.1.1. Charakterystyka *Anthoxanthum aristatum* Boiss.

Anthoxanthum aristatum Boiss. (tomka oścista) (Poaceae) jest przedstawicielem rodzaju liczącego na świecie około 20 gatunków jednorocznych i wieloletnich traw. Jest rośliną jednoroczną, diploidalną ($2n=10$). Jej naturalny zasięg obejmuje obszary Europy atlantycko-śródziemnomorskiej oraz Afrykę północno-zachodnią. Od połowy XIX wieku nastąpiła ekspansja w kierunku wschodnim i objęła obszary południowej, zachodniej i środkowej Europy znajdujące się pod wpływem klimatu atlantyckiego. Na teren Polski gatunek ten wkroczył pod koniec XIX wieku z zachodu. W kolejnych dekadach rozprzestrzenił się poprzez centralną Polskę w kierunku wschodniej granicy naszego kraju, osiągając ją w ostatnim dwudziestoleciu (Ryc. 3). W obrębie wtórnego zasięgu *Anthoxanthum aristatum* zajmuje przede wszystkim oligotroficzne siedliska segetalne, ale także piaszczyste murawy, przydroża, odłogi i nieużytki.

Rozprzestrzenianie się tomki ościstej w naszym kraju oraz zajmowanie nowych siedlisk, stwarza coraz większe zagrożenie dla naszych upraw. Przyczynami ekspansji tego gatunku jest wysoka plenność, zdolność ziarniaków do kiełkowania nawet po wielu latach oraz właściwości allelopatyczne w stosunku do siewek gatunków towarzyszących (Latowski 2005). Należy zwrócić uwagę, że allelopatia jest bardzo niebezpieczną cechą gatunków inwazyjnych, mogącą przyczyniać się do większej konkurencji i skuteczności w zasiedlaniu nowych siedlisk (Gniazdowska 2005).

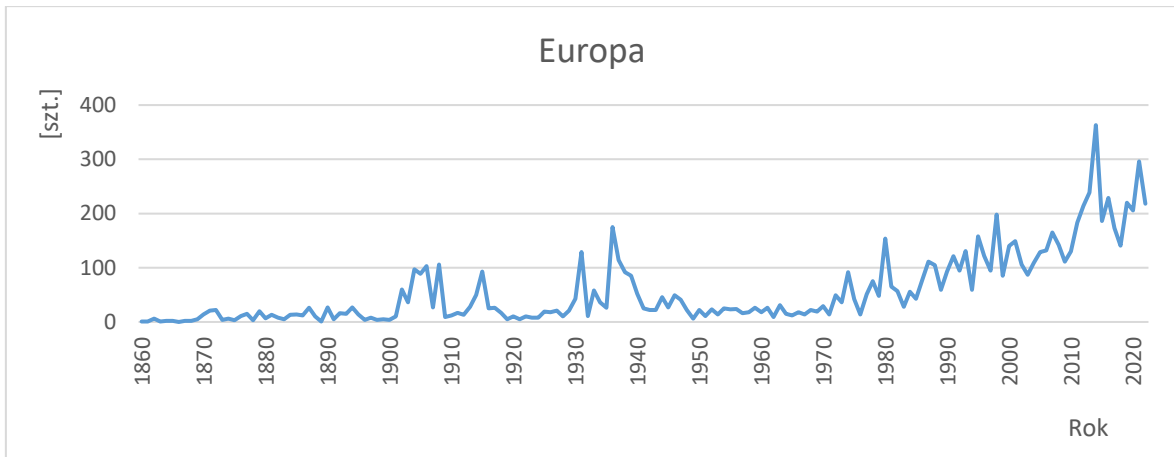
Anthoxanthum aristatum jest gatunkiem plastycznym fenotypowo. Wstępne badania biometryczne populacji *A. aristatum* ze zróżnicowanych siedlisk (polnych, ruderalnych, przydroży, obrzeży lasu) wykazały istotne zróżnicowanie pomiędzy nimi. Ponadto wykazano korelację pomiędzy stopniem zróżnicowania morfologicznego, a typem zajmowanego siedliska (Drapikowska i in. 2011, Drapikowska 2013). Występowanie od

ponad 100 lat populacji tomki ościstej w bezpośrednim kontakcie populacji rodzimego gatunku *A. odoratum* nasuwa pytanie o możliwość tworzenia mieszańców międzygatunkowych. Falkowski (1982) za Knobloch (1968) zwraca uwagę na możliwość krzyżowania się diploidalnego *A. aristatum* z tetraploidalnym *A. odoratum*. Powstałe mieszańce międzygatunkowe, mogłyby w znacznie większym stopniu rozpocząć ekspansję, nie tylko na siedliskach już zajętych przez *A. aristatum* ale także przenieść się na stanowiska dotąd zdominowane przez *A. odoratum*. Sprawna identyfikacja ewentualnych mieszańców jest w związku z powyższym bardzo istotna. Przeprowadzone badania cytogenetyczne nad gatunkami z rodzaju *Anthoxanthum* wykazały, że tomka oścista i tomka wonna różnią się zawartością DNA. Oba gatunki są również zróżnicowane pod względem lokalizacji i liczby loci 45 rDNA i 5S rDNA. Wykryte bliskie położenie genów 45 rDNA i 5S rDNA na tej samej parze chromosomów, może służyć jako marker do identyfikacji gatunków z rodzaju *Anthoxanthum* (Drapikowska i in. 2013).

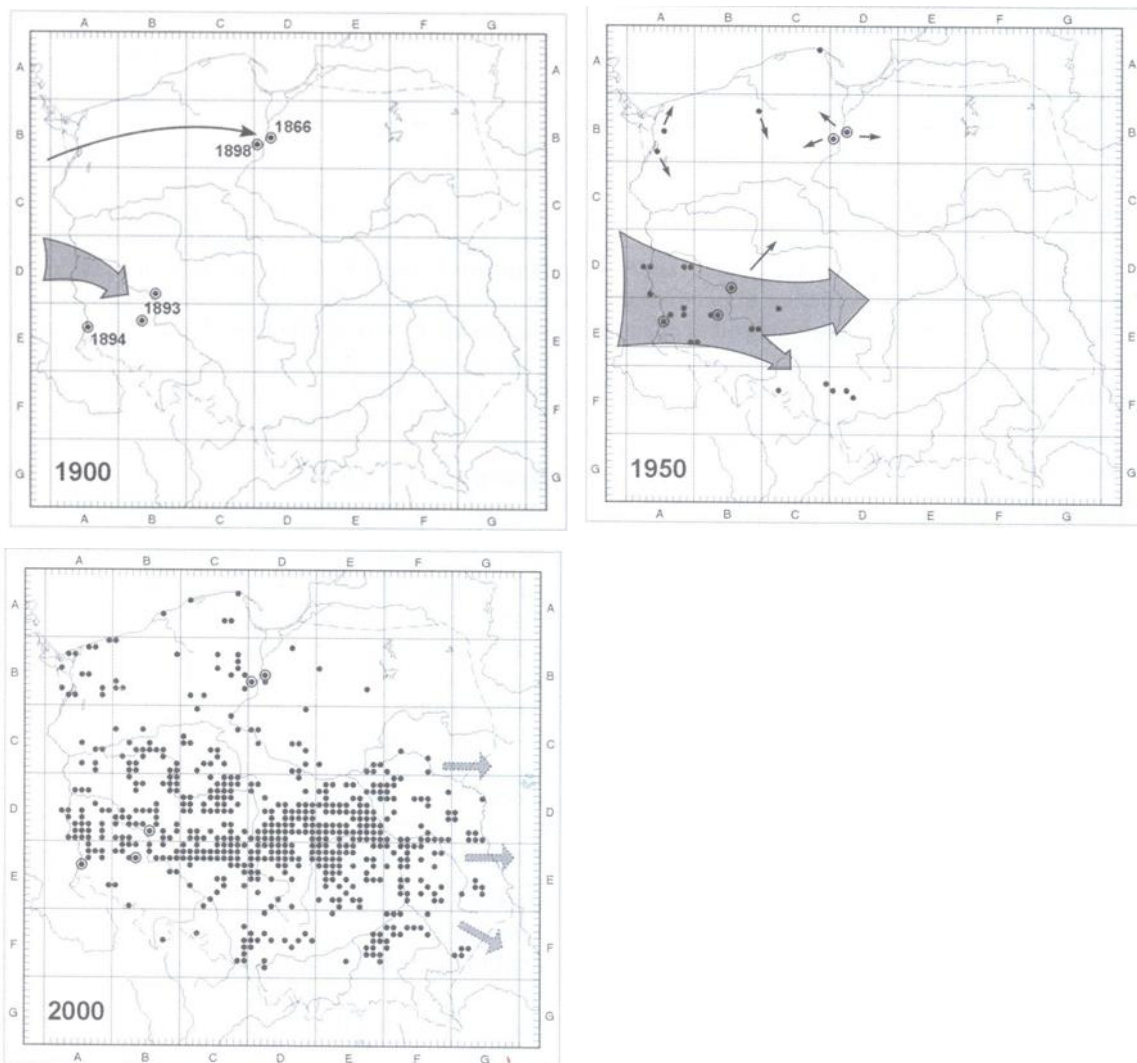
Na przestrzeni lat stwierdza się coraz większą liczbę stanowisk tomki. Dane zebrane za pośrednictwem Światowej Sieci Informacji o Bioróżnorodności (GBIF – Global Biodiversity Information Facility) wskazują, że w Europie widoczne wzrosty notuje się od początku XX wieku. W Polsce gatunek był coraz częściej rejestrowany począwszy od lat 60-tych ubiegłego wieku. Dynamikę przyrostu stanowisk tomki ościstej w czasie w Polsce i Europie, zaczynając od pierwszego jej zarejestrowania w kraju prezentują ryciny (Ryc. 1 i 2).



Ryc. 1. Wykres liczby stanowisk *A. aristatum* w czasie w Polsce (źródło: <https://www.gbif.org/>, data dostępu 23.02.2024 r.)



Ryc. 2. Wykres liczby stanowisk *A. aristatum* w czasie w Europie (źródło: <https://www.gbif.org/>, data dostępu 23.02.2024 r.)



Ryc. 3. Rozprzestrzenianie się *A. aristatum* na terenie Polski. (Tokarska-Guzik 2005)

Jak podaje Tokarska-Guzik (2005), pierwsze miejsca pojawienia się tomki ościstej na terenie Polski obserwowano w zachodniej i centralnej części Polski pomiędzy Toruniem

a Gdańskiem w latach 1866 i 1898 oraz na Dolnym Śląsku (1893 i 1894 rok). Z tych właśnie stanowisk, w następnych latach nastąpiła ekspansja na pozostałe regiony kraju. W połowie XX wieku stanowiska tomki notowano również w okolicy Półwyspu Helskiego, w pobliżu Szczecina i na Górnym Śląsku. Na przełomie wieku XX i XXI *Anthoxanthum aristatum* zajmowało już prawie obszar całej Polski. Szczególnie widoczny jest kierunek jej rozprzestrzeniania w centralnym pasie kraju, od Dolnego Śląska aż po Lubelszczyznę (Ryc. 3).

2.1.2. Zagrożenie w rolnictwie

W odróżnieniu od wielu wzorcowych roślin ekspansywnych *Anthoxanthum aristatum* charakteryzuje się wąską skalą ekologiczną, zajmując przede wszystkim oligotroficzne siedliska segetalne, rzadziej piaszczyste przydroża. W ostatnich latach obserwowane jest zajmowanie żyzniejszych stanowisk przez tę trawę, co wynika ze zdolności adaptacyjnych tomki ościstej mieszczących się prawdopodobnie w granicach plastyczności tego gatunku (Drapikowska 2013). Dodatkową przyczyną rozprzestrzeniania się tomki ościstej na glebach bardziej zasobnych w substancje odżywcze (np. w uprawach roślin okopowych), może wynikać z ocieplenia klimatu, wydłużających się okresów suszy (Soukupová 2001; Skrzypczyńska i in. 2010).

2.2. Modele opisujące rozprzestrzenianie się roślin.

Coraz większe znaczenie przy analizie rozmieszczenia i rozprzestrzeniania się roślin, a także przy próbach zrozumienia czynników rządzących tymi procesami nabierają modele rozmieszczenia gatunków (ang.: Species Distribution Model (SDM)) zwane również modelami niszy ekologicznych. Określenie związków między występowaniem gatunków a czynnikami środowiskowymi za pomocą SDM pozwala prognozować rozmieszczenie organizmów żywych wnosząc tym samym znaczący wkład w dziedziny badań dotyczących biogeografii, zarządzania zasobami naturalnymi, skutków zmiany klimatu, ekologii, ze szczególnym uwzględnieniem gatunków ekspansywnych, lokalizacji obszarów podatnych na zasiedlenie przez gatunki inwazyjne. Modele rozmieszczenia gatunków znajdują zastosowanie w monitorowaniu występowania roślin, również w określaniu możliwego rozprzestrzeniania się gatunków, korzystając z relacji gatunków ze środowiskiem (Nielsen Ch i in. 2008). SDM wykorzystuje się do monitorowania i oceny inwazyjnych gatunków roślin, przewidywania skutków globalnego ocieplenia, badania zmieniającego się pokrycia

terenu, określenie presji człowieka na rozmieszczenie gatunków, do badania i oceny gatunków w celu kierowania projektami ich reintrodukcji i ochrony, a także identyfikowania nowych obszarów wymagających ochrony (Amindin i in. 2024).

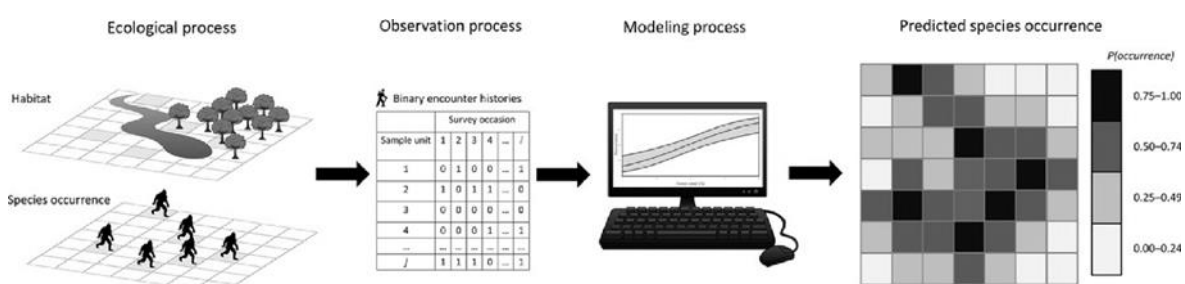
Szczególne SDM ma zastosowanie w badaniach gatunków inwazyjnych. Modelowanie rozkładu inwazji obcych gatunków roślin pozwala na przewidywanie ich rozprzestrzeniania, między innymi w powiązaniu z czynnikami klimatycznymi. Na ich rozmieszczenie w mikroskali znaczny wpływ ma również rodzaj gleby, sposób jej użytkowania, relacje między organizmami i inne czynniki biotyczne (Nielsen Ch i in. 2008).

Wybór zastosowanej metody modelowania często jest zdeterminowany charakterystyką badanego gatunku, czynnikami wpływającymi na jego występowanie oraz danymi możliwymi do pozyskania, zarówno w warunkach terenowych jak i przy wykorzystaniu dostępnych danych. Wobec coraz powszechniejszej dostępności danych o liczebności gatunków oraz ich występowaniu możliwe jest zastosowanie modelowania rozmieszczenia gatunków na podstawie dostępnych baz danych o występowaniu organizmów fauny i flory.

Do modelowania stosuje się wiele różnych metod i wciąż pojawiają się nowe. Istotne jest rozróżnienie poszczególnych metod, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości zastosowania posiadanych informacji o gatunku (Elith i in. 2020, Phillips, Elith 2011). Modele rozmieszczenia gatunków można podzielić na kilka grup w zależności od typu danych: modele wymagające danych tylko o obecności, modele wymagające dane o obecności i nieobecności oraz dane dotyczące powtarzającego się wykrywania i niewykrywania.

Metoda opierająca się na danych o obecności gatunku wymaga szeregu znanych lokalizacji z jego występowaniem. Dane są zbierane, gdy badany jest losowo podzbiór całkowitej liczby potencjalnych jednostek próby i notuje się pozytywne próby, tj. dotyczące wykrycia. Jest to typowa metoda przy wykorzystywaniu danych z zielników, muzeów, baz danych o przypadkowych spotkaniach poszukiwanych osobników. Dane te mogą być powiązane z zmiennymi środowiskowymi lub zmiennymi towarzyszącymi pod warunkiem, że dane te nie wpływały na pobór próby lub błąd w badaniu. Wobec powyższego wymagane jest aby wzorce prawdopodobieństwa wykrycia osobników były stałe w jednostkach próbki lub zawierały jedynie przypadkową różnorodność, co pozwoli na obiektywne szacunki dotyczące występowania gatunków (Duarte i in. 2019). Wśród modeli opierających się na danych o obecności gatunku najczęściej stosowane jest MaxEnt oraz MaxLike.

MaxEnt jest jedną z częściej stosowanych aplikacji komputerowych dla tworzenia modeli rozmieszczenia gatunków na podstawie danych dotyczących obecności. Zapewnia on wysoką dokładność predykcyjną oraz posiada możliwości dostosowania parametrów modelu w zależności charakteru posiadanych danych, wielkości zbioru i obszaru badawczego. Na wydajność MaxEnta wpływa umiarkowana liczba parametrów i możliwość zastosowania ustawień domyślnych programu pozwalających na uzyskanie dobrego modelu bazującego na danych o obecności gatunku (Phillips S. J., Dudík M. 2008). Jako wynik uzyskuje się wskaźnik przydatności siedliska. Funkcjonowanie modelu prezentuje rycina (Ryc.4).



Ryc. 4. Ilustracja kolejnych elementów w opracowywaniu modeli rozmieszczenia gatunków (Duarte i in. 2019)

Alternatywną metodą jest MaxLike, która została opracowana przez Royle i in. (2012). Nie zawsze wskaźniki przydatności siedliska mogą być wiarygodnymi wskaźnikami prawdopodobieństwa. Metoda MaxLike wiąże dane dotyczące obecności z wektorem towarzyszących zmiennych środowiskowych. Główną różnicą pomiędzy MaxEnt a MaxLike jest wykorzystanie przez ten drugi analizy opartej na prawdopodobieństwie, że aby dopasować model logit-liniowy (liniowy model logistyczny) do połączenia zmiennych środowiskowych towarzyszących z informacjami o obecności nie generuje punktów lokalizacji tła. Wynikiem jest informacja o prawdopodobieństwie wystąpienia gatunku. W badaniach wykazano, że metoda ta wymaga większego zestawu danych w celu dokładniejszego oszacowania prawdopodobieństwa wstąpienia – im mniejsze zestawy danych tym większe odchylenia standardowe wyników (Fitzpatrick i in. 2013). Badania wykazały, że stosując ilość prób poniżej 1000 szacowane prawdopodobieństwo wystąpienia stawało się nieprecyzyjne, jednak przy zastosowaniu skalowania wartości do względnych prawdopodobieństwa wystąpienia osiągnano dokładne oszacowanie przy około pięciokrotnie mniejszym zestawie danych. W praktyce największe zastosowanie ta metoda znajduje przy dużych zbiorach dotyczących krajobrazu (Merow C., Silander J. 2014).

W przypadku badań możliwe jest również zbieranie informacji o nieobecności gatunku. Dane te pojawiają się gdy informacje zarówno o braku jak i o obecności gatunku są rejestrowane przy prowadzeniu badań losowego podzbioru całkowitej liczby potencjalnych jednostek próby, bądź poprzez generowanie punktów o pseudo-nieobecności i łączenie ich z danymi dotyczącymi tylko obecności. Metody te są miarodajne jeżeli zarówno dane o obecności jak i nieobecności są wiarygodne. W zestawie metod opierających się na zbiorach o obecności i nieobecności można wyróżnić modele regresji oraz modele oparte na drzewie.

W metodach opartych na modelu regresji liniowej zmienna odpowiedzi jest określana jako funkcja liniowa jednej lub większej liczby zmiennych i parametrów objaśniających. Postać modelu liniowego obrazuje poniższy wzór

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_Z x_{Z,i} \dots,$$

gdzie Y to wartość zmiennej odpowiedzi, zmienna x_i oraz x_z to wartości zmiennych objaśniających dla obserwacji i , β_0 to punkt przecięcia z osią, natomiast β_i oraz β_z to współczynniki modelu. Wybór typów modeli liniowych do modelowania opiera się na oczekiwanej charakterystyce odpowiedzi. Metody te bazując na obecności lub nieobecności, tj. odpowiedziach binarnych 0-1 wymagają zastosowania rozkładu błędów Bernoulliego. Wynikiem modelowania jest prawdopodobieństwo obecności lub wystąpienia gatunku. Wśród tych modeli można wyróżnić: model regresji logistycznej (Logistic regression model), uogólniony model addytywny (Generalized additive model – GAMs) i uogólnione liniowe modele mieszane (Generalized linear mixed models) (Duarte A. i in. 2019).

Modele prognozujące występowanie gatunku oparte na drzewie wywodzą się z metod uczenia maszynowego. Nie są oparte o jawny model dopasowany do zbioru danych, lecz przewidują one prawdopodobieństwa na podstawie algorytmu, który został wytrenowany przez zbiór danych w procesie „uczenia się”. Jest to inny sposób modelowania, a podstawą jego działania są algorytmy, dzięki którym możliwe jest wyodrębnienie informacji z dużych zbiorów danych. Stosując metodę drzewa wybierane są zmienne objaśniające, kilka parametrów dostrojenia modelu, natomiast związki pomiędzy zmiennymi objaśniającymi a zmiennymi odpowiedzi są identyfikowane automatycznie przez algorytm (Duarte A. i in. 2019). Należy zwrócić uwagę, że brak zakładanych powiązań i zależności może skutkować fałszywymi wnioskami dotyczącymi znaczenia i wpływu zmiennych siedliskowych (Burnham, K.P., Anderson, D.R., 1998). W badaniach stosuje się

drzewa klasyfikacyjne (Classification trees), lasy losowe (Random forests) i wzmocnione drzewa (Boosted trees).

Entropię definiuje się jako miarę nieuporządkowania lub niepewności w rozkładzie prawdopodobieństwa. Jest rozumiana inaczej jako średnia ważona ilości informacji niesionej przez pojedynczą wiadomość, przy czym wagami są prawdopodobieństwa nadania poszczególnych informacji. Entropia układu jest zerowa jeżeli dowolne zdarzenie może wystąpić z prawdopodobieństwem wynoszącym 1 w określonym zbiorze zdarzeń, co oznacza pewność wystąpienia zdarzenia.

Modelowanie rozmieszczenia gatunków za pomocą MaxEnt znalazło szereg zastosowań, w tym do określania rozmieszczenia gatunków, związków pomiędzy nimi, przewidywanego rozprzestrzeniania się w dziedzinach ekologicznych, ewolucyjnych, konserwatorskich i bezpieczeństwa biologicznego, a także do aplikacji mapowania bioróżnorodności (Elith J. i in. 2010). Jest jednym z najbardziej popularnych narzędzi służących do modelowania nisz ekologicznych i rozmieszczenia gatunku. Program opiera się na informacji o obecności gatunku oraz zestawie zmiennych środowiskowych na zdefiniowanym obszarze, podzielonym na komórki siatki. Z tego terenu program wyodrębnia próbę lokalizacji tła, które kontrastują z lokalizacjami obecności. (Morrow, Smith, Silander 2013)

Metoda MaxEnt znajduje zastosowanie w prognozowaniu przyszłego rozmieszczenia gatunku przy rozpatrywaniu scenariuszy klimatycznych, dzięki ekstrapolacji modeli na nowe zestawy zmiennych środowiskowych. Należy jednak traktować wyniki z ostrożnością, jeżeli do modelowania wykorzystano tylko dane o obecności, z uwagi na fakt, iż wynik może być zbyt zawężony wskutek stałego prawdopodobieństwa lub zbyt rozszerzony w przestrzeni. Wyniki takich modeli mogą być stosowane pogładowo, bez posługiwania się nimi do późniejszych analiz.

Określenie charakterystyki niszy ekologicznej wraz z określeniem wpływu zmiennych środowiskowych jest kolejnym zastosowaniem metody maksymalnej entropii. W tym przypadku cechy zachowane w modelu są wrażliwe na inne predyktory zastosowane w modelu. Modele te pozwalają na analizę wagi poszczególnych zmiennych środowiskowych. Są także podatne na testowanie predyktorów w celu znalezienia najważniejszych zmiennych środowiskowych, które wpływają na zasięgi gatunków.

Program pozwala również na przewidywanie występowania gatunku, dzięki określeniu przydatności siedliska. Prognozy wskazują miejsca, gdzie gatunek najprawdopodobniej może występować, ale nie określa z jakim natężeniem. Nie może

również służyć do szacowania granicy zasięgu gatunku. Sprawia także trudności przy próbie analizy przewidywania występowania wielu gatunków w celu oszacowania ich różnorodności.

Badania oparte na maksymalnej entropii pomagają także w zrozumieniu wzorców makroekologicznych, które najczęściej stosuje się w celu prowadzenia analiz dla wielu gatunków (Merrow, Smith, Silander 2013).

Do modelowania jako zmienne często wykorzystywane są dane bioklimatyczne (dane z WorldClim), będące zbiorem warstw, siatek klimatycznych całego globu z danymi pogodowymi i klimatycznymi. Dane te powszechnie stosuje się do modelowania i mapowania przestrzennego, w tym szczególnie dane prezentujące projektowane modele klimatyczne (Bogawski i in. 2019, Rakotonirina i in. 2024). Przy prognozowaniu rozprzestrzeniania się gatunków nie uwzględniają one jednak pozostałych czynników środowiskowych, które mają również wpływ na rozmieszczenia gatunków takich jak pokrycie i ukształtowanie terenu, a także interakcji biotycznych, zmian ewolucyjnych (w tym przystosowania się do zmian klimatu) i rozproszenie, rozprzestrzenianie się gatunków ograniczane przez naturalne i sztuczne bariery oraz ich zdolność do migracji. Przyjmuje się, że w skali kontynentalnej za najbardziej dominujący czynnik uznaje się klimat, jeżeli rozdzielczość danych wynosi 50 km². Przy mniejszych skalach (od 5 km²) na znaczeniu przybiera rodzaj pokrycia terenu i topografia. Jeżeli rozdzielczość zostanie zmniejszona poniżej 1 km² wówczas najbardziej znaczące będą interakcje biotyczne i mikroklimat (Pearson, Davson 2003, Wiens i in. 2009).

3. Cel, hipotezy i zakres badań

3.1. Cel badań

Celem jest wskazanie uwarunkowań siedliskowych występowania *A. aristatum* na wybranym obszarze przy zastosowaniu wybranego modelu rozmieszczenia preferowanych siedlisk.

Problem inwazji *A. aristatum* na siedliskach oligotroficznym jest opisywany w literaturze naukowej od wielu dziesięcioleci. W przypadku tego gatunku, inwazja dotyczy ubogich upraw, na których generuje straty ekonomiczne. Skuteczne przewidywanie możliwości inwazji jest podstawą praktycznych działań zarówno zapobiegawczych, jak i eliminacji inwazyjnego chwastu.

Podjmując badania wyznaczono następujące cele szczegółowe:

- określenie wzorców zajmowanych siedlisk przez inwazyjny gatunek,
- określenie potencjalnej zdolności *A. aristatum* do zasiedlania nowych siedlisk w toku ekspansji chorologicznej),
- wskazanie najbardziej korzystnych siedlisk dla *A. aristatum* na wybranym obszarze,
- wybór optymalnego zasobu zmiennych środowiskowych do modelowania potencjalnego rozmieszczenia *A. aristum*.

Autorka pragnie zaznaczyć, że są to pierwsze badania prawdopodobieństwa i preferencji inwazji tomki ościstej *A. aristatum* przy użyciu modelu rozmieszczenia gatunków (SDM – species distribution model).

3.2. Hipotezy badawcze

Podjęte badania będą skierowane na weryfikację następujących hipotez:

1. *A. aristaum* występuje na glebach oligotroficznych.
2. Na podstawie dostępnych danych spektralnych z obrazów Sentinel, można określić preferencje siedliskowe i przydatność siedliska *A. aristatum* na wybranym obszarze.
3. Na obszarze zasięgu wtórnego *A. aristatum* rozprzestrzenia się także poza oligotroficzne siedliska segetalne.

3.3. Zadania badawcze

W celu weryfikacji hipotez badawczych wyznaczono zadania badawcze. Pierwszym zadaniem było wykonanie prac terenowych z identyfikacją tomki ościstej. Następnym etapem było opracowanie modelu preferencji siedliskowych *A. aristatum*.

Etapy prac:

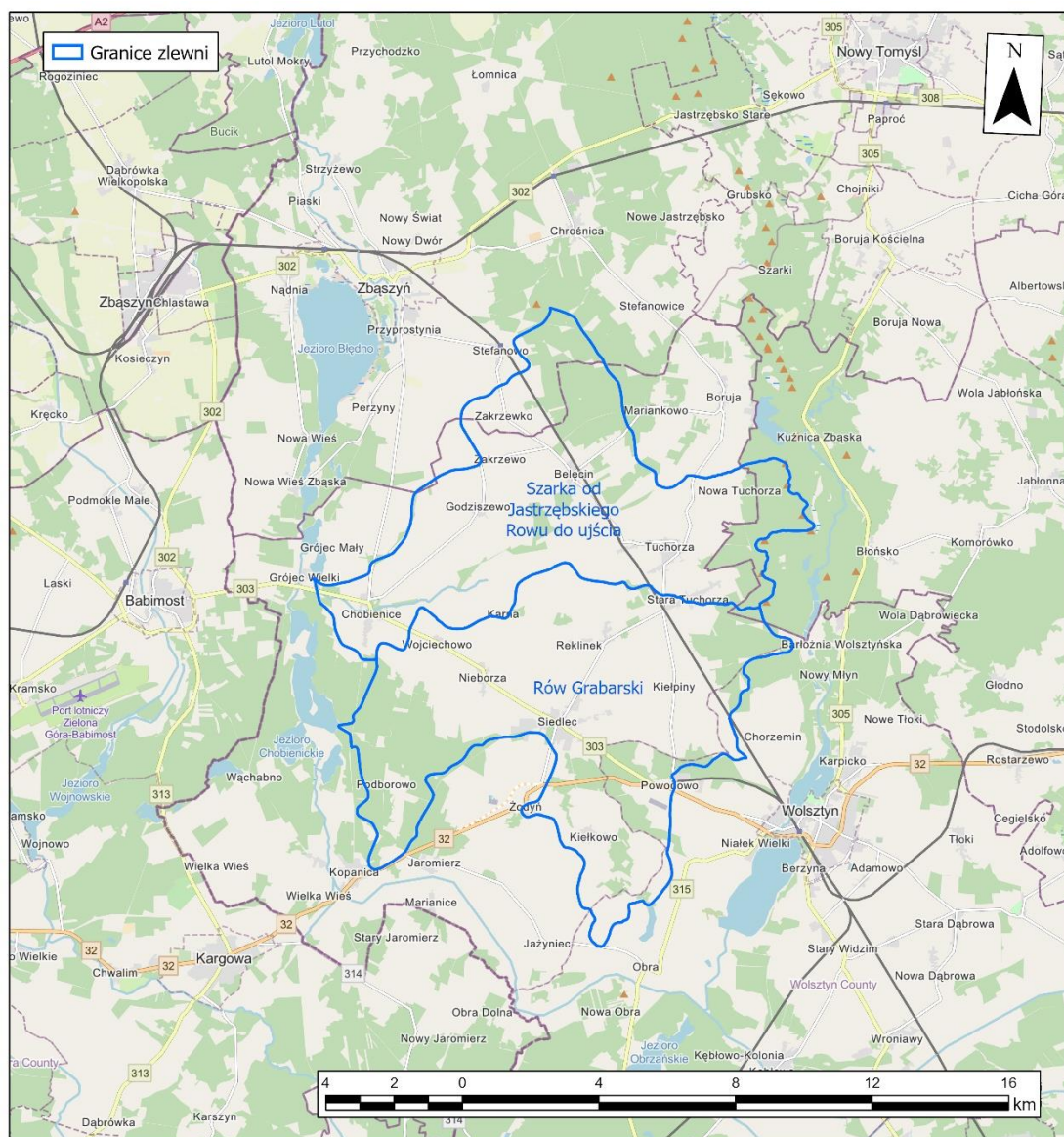
- położenie i charakterystyka fizjograficzna wybranego obszaru,
- wybór metodyki badań terenowych i modelowania,
- przeprowadzenie badań terenowych,
- przeprowadzenie badań laboratoryjnych,
- opracowanie danych zebranych podczas badań terenowych,
- zebranie i przygotowanie warstw zmiennych środowiskowych,
- modelowanie i weryfikacja preferencji siedliskowych *A. aristatum* oraz kierunków inwazji.

4. Material i metody badań

4.1. Charakterystyka obszaru badań

4.1.1. Położenie

Obszar badań znajduje się w Zachodniej Wielkopolsce, w powiatach nowotomyskim i wolsztyńskim, w większości w granicach gminy Siedlec, a także gminy Zbąszyn, Rakoniewice i Wolsztyn. Według danych na dzień 31.12.2023 r. największe miejscowości na obszarze badawczym to Siedlec, będący siedzibą gminy (1 824 mieszkańców), Chobienice (1239 mieszkańców) oraz Tuchorza (1218 mieszkańców) (źródło <https://siedlec.pl/index.php>, data dostępu 07.10.2024 r.).



Ryc. 5. Lokalizacja obszaru badań

W południowej części obszaru znajduje się droga krajowa nr 32. W okolicach znajduje się kilka jezior: Błędno, Chobienickie, Wolsztyńskie i Bierzyńskie. Najbliższym miastem powiatowym jest Wolsztyn (Ryc. 5).

Według podziału fizyczno-geograficznego Kondrackiego (2000) teren badań znajduje się w makroregionie Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie, w mezoregionie Pojezierze Poznańskie, w mikroregionie Równina Nowotomska. Zespół kierowany przez Jerzego Solona (Solon i in., 2018) w zaktualizował podział Kondrackiego oraz stworzył nowy mezoregion – Równina Nowotomska, na którym znajduje się teren badań. Obszary te zostały ukształtowane przez fazę poznańską zlodowacenia bałtyckiego. Charakterystyczną cechą wybranych terenów jest ich piaszczysty charakter z uwagi na fakt, że są to sandry morenowe. Teren badań został wyznaczony przez granice dwóch zlewni elementarnych: Szarka od Jastrzębskiego Rowu do ujścia oraz Rów Grabarski. Posiada on powierzchnię 132 km², w tym 111,5 km² na terenie Gminy Siedlec. Na obszarze tym rozciągają się obszary borów sosnowych i niezbyt żyznych pól (Ryc. 6 i 7).

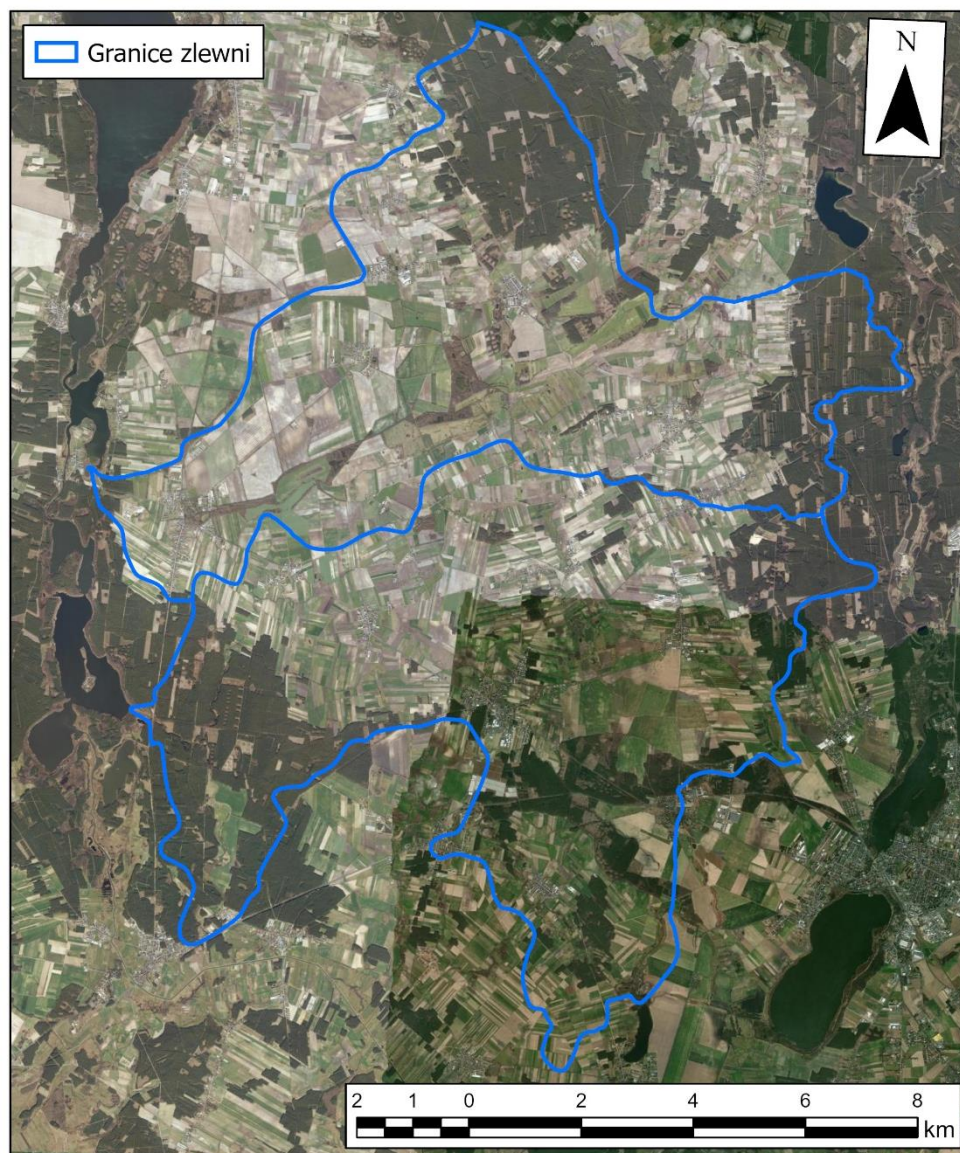


Ryc. 6. Bory sosnowe na terenach Sandru Nowotomyskiego

W większości jest on tworzony przez gleby o niskiej jakości, największy odsetek powierzchni zlewni stanowią piaski słabogliniaste (analiza własna na podstawie map glebowo-rolniczych w skali 1: 25 000).

Teren zlewni jest głównie pokryty glebami wytworzonymi z piasków luźnych (asocjacje gleb rdzawych, bielcowych oraz gleb brunatnych kwaśnych) oraz kompleksami gleb mineralno-murszowych, murszowatych i murszastych (asocjacje i kompleksy gleb hydrogenicznych) (Marciniak i Komisarek 2004). Cechą charakterystyczną gleb piaszczystych, które nie należą do gleb murszastych, a znajdują się na obszarze Sandru Nowotomyskiego, jest płytko zalegające zwierciadło wód gruntowych. Gleby wytworzone z piasków różnej granulacji i wytworzone z pyłów różnej genezy oraz drobnoziarnistych

piasków gliniastych (asocjacje podtypów czarnych ziem), również można zidentyfikować na badanym terenie, jednak w znacznie mniejszych ilościach.

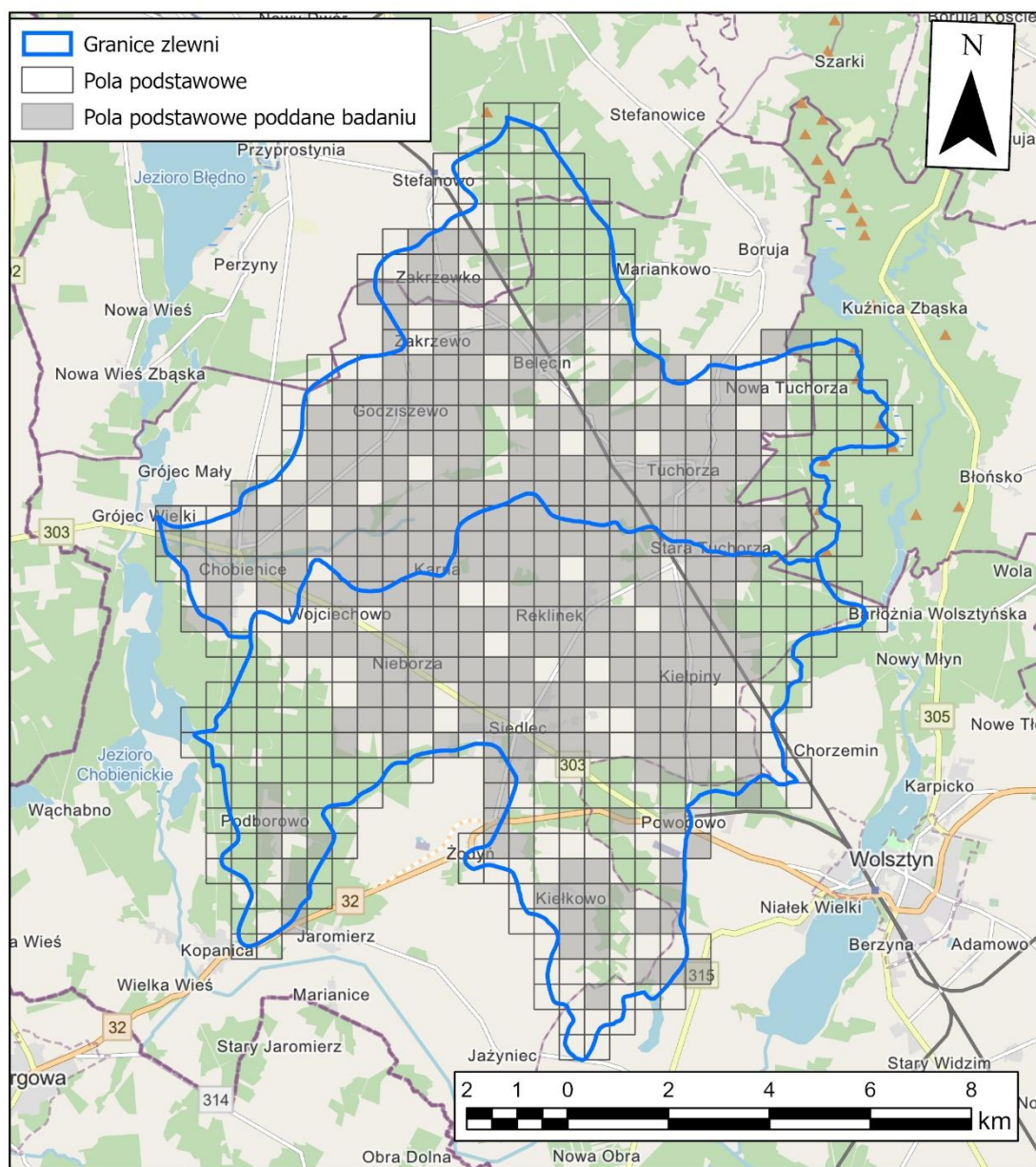


Ryc. 7. Teren badań na podkładzie ortofotomapy satelitarnej

Badany teren jest średnio przekształcony antropogenicznie (klasa 3 w 4-stopniowej skali), charakteryzujący się bardzo intensywną uprawą rolniczą skutkującą utratą materii organicznej. Wyjątkiem są nieznaczne powierzchnie terenów stabilnych w warunkach naturalnych, mało przydatnych lub nieprzydatnych do uprawy rolniczej, na których ukształtowały się naturalne ekosystemy dostosowane do warunków glebowych i klimatycznych lokalnego środowiska przyrodniczego. Według zastosowanej przez Marciniaka i Komisarek 5-stopniowej klasyfikacji waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej tereny objęte uprawą na badanym obszarze znajdują się głównie w niskiej, tj.

4 klasie wartości użytkowej (50-30 punktów wg waloryzacji punktowej) oraz w mniejszej skali w klasie 3 (70-50 punktów) i wysokiej klasie 2 (90-70 punktów).

Obszar wybranych zlewni podzielono zgodnie z podziałem stosowanym w skali krajobrazowej na 620 pól podstawowych o wymiarach 500 x 500 m (Affek 2016). Z powstałej siatki wyodrębniono 380 pól podstawowych, które przeznaczono do badań terenowych. Z badań wykluczono pola znajdujące się w ścisłej zabudowie mieszkalnej i przemysłowej oraz w zwartych połaciach lasów. Łącznie podczas prac terenowych zbadano 323 pola podstawowe, na których wykonano 759 lustracji terenowych. W 233 lokalizacjach stwierdzono obecność tomki ościstej (Ryc. 8).

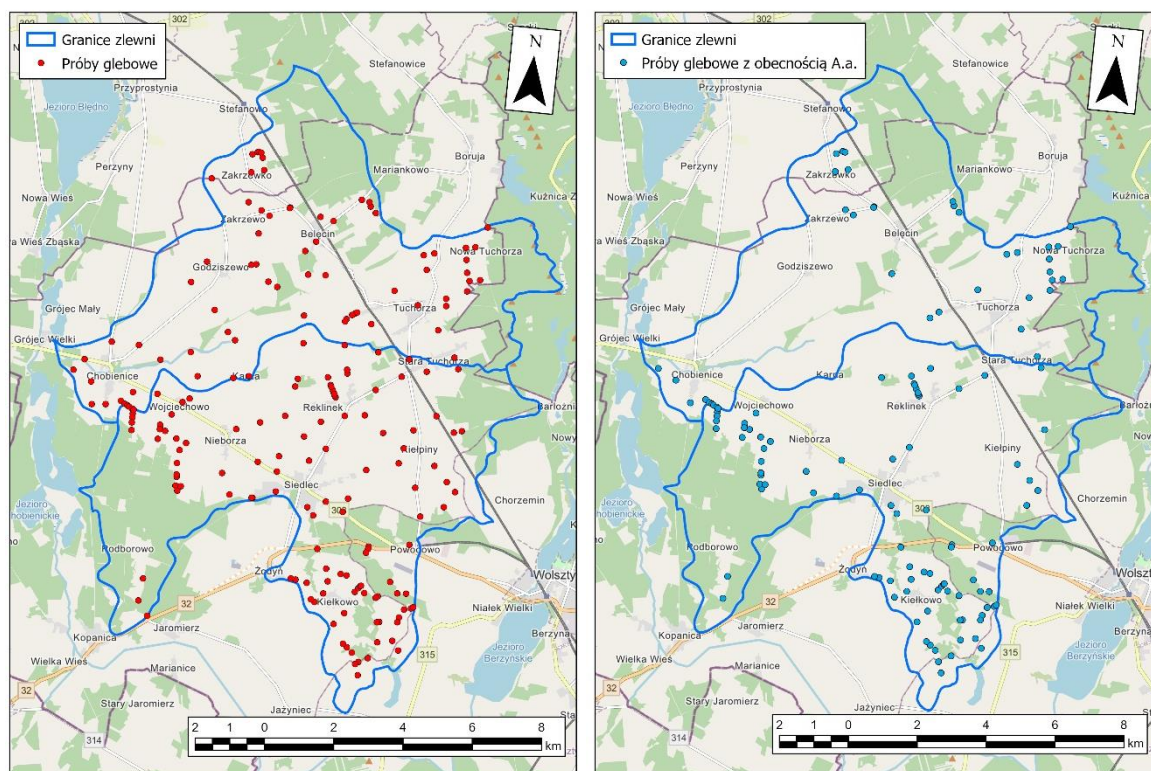


Ryc. 8. Obszar wybranych zlewni podzielony pola podstawowe 500 x 500 metrów wraz z zaznaczeniem pól zbadanych

4.2. Analiza gleb

4.2.1. Pobór prób

Podczas prac terenowych na każdym obszarze, gdzie występowała badana roślina pobierano próby glebowe ze strefy korzeniowej roślin. Ponadto pobrano również próby glebowe z lokalizacji, gdzie *A. aristatum* nie stwierdzono. Łącznie do analiz pobrano 203 prób, w tym 128 z obecnością *A. aristatum* (Ryc. 9).



Ryc. 9. Lokalizacja punktów poboru prób (A) Lokalizacja punktów poboru prób ze stwierdzeniem występowania *A. aristatum* (B)

Gleby pobierano przy pomocy świdra ręcznego Edelmanna z głębokości około 0,3 m. Na jedną próbę składała się gleba z trzech poborów. Każda z prób była suszona. Pobór prób i analizy chemiczne były przeprowadzone według standardowych metod (Ostrowska i in. 1991). Wysuszoną glebę przesiewano przez sito o wielkości oczek 0,2 mm. Zbadano odczyn gleby pH, konduktywność, azot ogólny, przyswajalny fosfor i potas oraz węgiel i zawartość próchnicy. Odczyn gleby ustalono przy pomocy metody potencjometrycznej (norma PB.63 edycja 5 z dnia 02.07.2007 r.). Metodą destylacyjno – miareczkową Kjeldahla (norma PB.16 edycja 5 z dnia 02.07.2007 r.) określono zawartość azotu ogólnego w glebie podaną w procentach. Za pomocą metody spektrofotometrycznej (Egnera) (norma PB.64 edycja 5 z dnia 02.07.2007 r.) podano udział fosforu przyswajalnego w mg/100 g gleby. W tych

samych jednostkach przedstawiono zawartość potasu przyswajalnego określonego metodą fotometrii płomieniowej (Egnera) (norma PB.64 edycja 5 z dnia 02.07.2007 r.). Zawartość węgla w glebie zbadano przy pomocy metody Tiurina.

Dalszym analizom poddano próby z miejsc, gdzie *A. aristatum* zostało zinwentaryzowane. Zbadane parametry glebowe przedstawiono w tabeli w suplemencie (Tabela 1).

4.2.2. Analizy statystyczne prób glebowych

Wyniki pomiarów biometrycznych oraz analiz glebowych opracowano statystycznie. Obliczono średnie wartości poszczególnych cech, minimum i maximum, odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności. W celu zbadania istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami cech zastosowano analizę wariancji ANOVA. W celu zbadania korelacji pomiędzy parametrami glebowymi a AUC obliczono korelację porządku rang Spearmana. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu STATISTICA 10 for Windows (Stat Soft, Inc. 2011).

Uzyskane wyniki zostały przeanalizowane statystycznie w programie STATISTICA 10, stosując analizę składowych głównych (PCA – Principal Component Analysis). Opiera się ona na określeniu składowych głównych, które są kombinacją liniową badanych zmiennych. Na podstawie tego możliwe jest wskazanie zmiennych początkowych mających duży wpływ na wygląd poszczególnych składowych głównych (tworzących grupę jednorodną). Reprezentantem tej grupy zostaje składowa główna o zmaksymalizowanej wariancji. Obraz graficzny PCA pozwala na stwierdzenie zależności pomiędzy lokalizacją a wynikami prób glebowych pH, N, P, K, C i konduktywnością.

4.3. Modelowanie

4.3.1. Dane do modelowania

4.3.1.1. Dane środowiskowe

W latach 2016 – 2019 prowadzono badania terenowe na terenie badawczym obejmującym zlewnie: Szarka od Jastrzębskiego Rowu do ujścia oraz Rów Grabarski. Jako dane środowiskowe do modelowania posłużyły zebrane informacje dotyczące obecności *Anthoxanthum aristatum*. Podczas lustracji zastosowaniu metodę pól podstawowych, które były podstawą prowadzonych poszukiwań rośliny. W trakcie czteroletnich badań zbadane

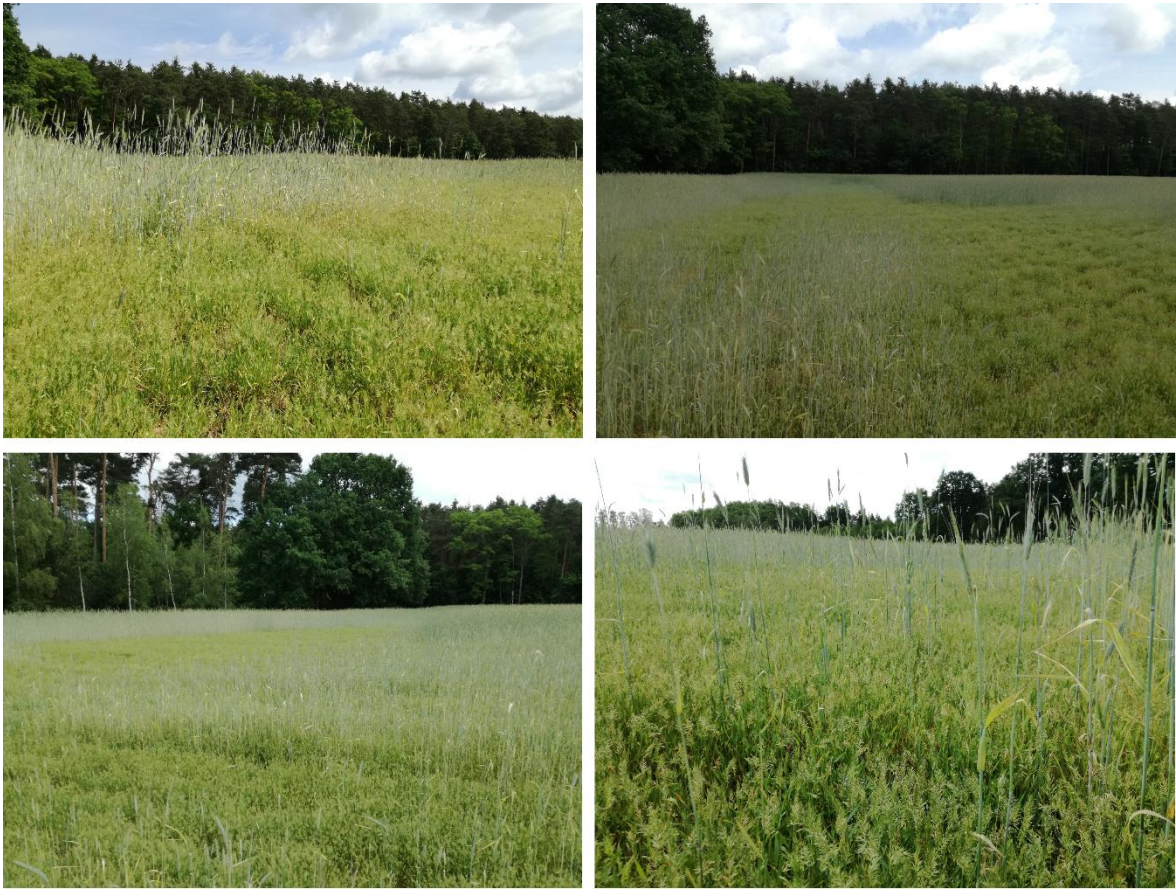
zostały 323 pola podstawowe o łącznej powierzchni 80,75 km². Zebrano w nich informacje o braku lub obecności badanej rośliny w łącznie 759 punktach. Ze względu na uniemożliwiony dostęp do niektórych lokalizacji, których przyczyną było ogrodzenie, opłotowanie uprawy, osłonięcie zabudowanymi gospodarskimi, mieszkalnymi, zostały one pominięte w badaniach. Zidentyfikowano łącznie 233 stanowiska *A. aristatum*, które znajdowały się w 92 polach podstawowych. W 526 punktach nie stwierdzono występowania żadnych osobników tego gatunku. *A. aristatum* lokalizowano i.in. na miedzach, w uprawie, na skrajach lasu, na nieużytkach (Ryc. 10).



Ryc. 10. *A. aristatum* na badanym obszarze

A. aristatum najczęściej było obecne na granicy uprawy i w uprawie. Miejsce największej koncentracji i skupiska badanej rośliny znajdowało się w okolicy wsi Powodowo. W tej lokalizacji tomka oścista zdominowała uprawę tworząc zwarte łąny wykluczające jej wzrost i rozwój (Ryc. 11).

Zebrane dane terenowe o obecności rośliny były podstawą modelowania przeprowadzonego w programie MaxEnt. Zestaw danych wraz z podanymi współrzędnymi został wprowadzony jako dane punktowe w formacie CSV.



Ryc. 11. Miejsce największej ekspansji *A. aristatum* w uprawie w okolicach wsi Powodowo

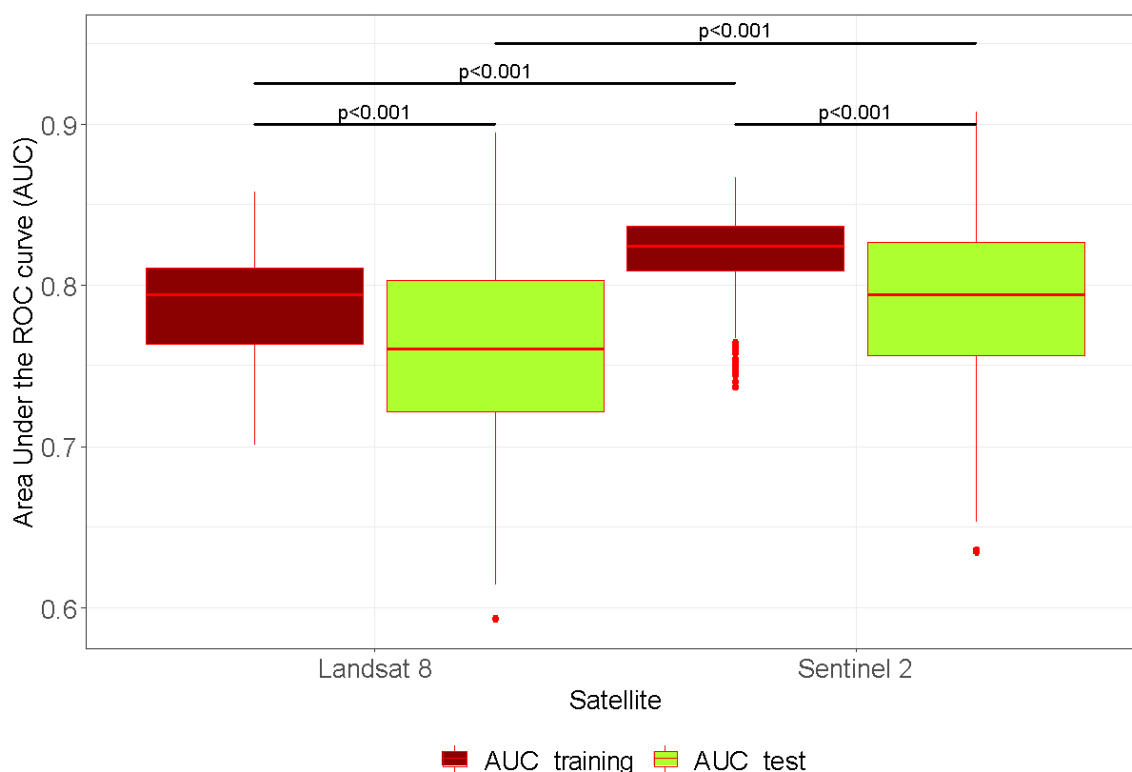
4.3.1.2. Dane teledetekcyjne

Pozyskano dane teledetekcyjne z satelity Sentinel 2 oraz Landsat 8 wykonane w okresie 2016-2019. Warunkiem wykorzystania danych dla dalszych opracowań był brak zachmurzenia lub zachmurzenie pokrywające poniżej 5% powierzchni obszaru. Powyższe warunki spełniało 49 zdjęć z satelity Sentinel 2 oraz 18 zdjęć z Landsat 8. Rozdzielczość danych z Sentinela wynosiła od 10 do 60 metrów w zależności od kanału spektralnego: B02, B03, B04 i B08 – 10 m; B05, B06, B07, B08a, B11, B12 – 20 m; B01, B09, B10 – 60 m. Rozdzielczość do kanałów Landsat wyniosła 30 metrów (B01-B07, B09-B11) oraz 15 metrów (B08).

Zdjęcia satelitarne z każdego roku podzielono na cztery kwartały zawierające pełne miesiące kalendarzowe. Marzec, kwiecień i maj zostały umownie na potrzeby pracy określone jako wiosna; czerwiec, lipiec i sierpień – lato; wrzesień, październik i listopad – jesień; grudzień, styczeń i luty jako zima. Z satelity Sentinel pozyskano zdjęcia: dla wiosny

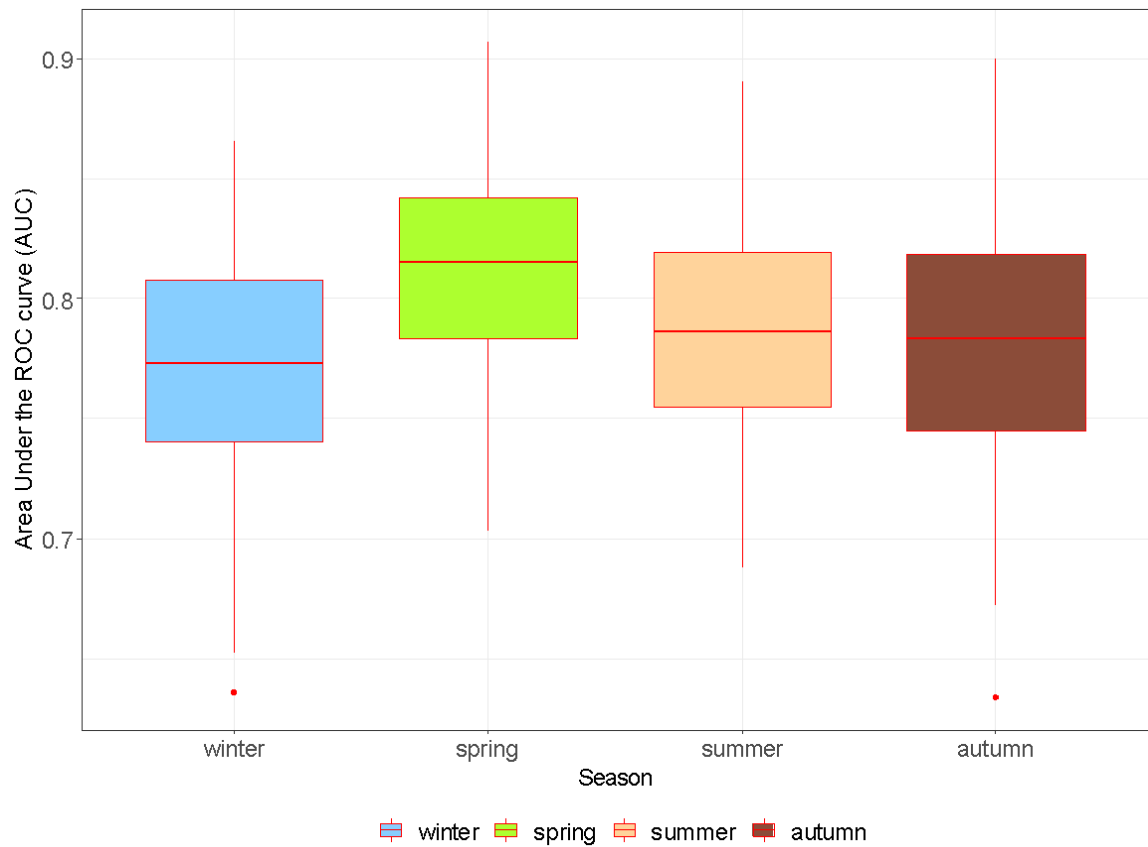
– 15 szt., dla lata – 13 szt., dla jesieni – 11 szt. i dla zimy – 10 szt. Zmienne środowiskowe przekształcono do formatu ASCII w środowisku Arcgis Pro.

Wszystkie zdjęcia satelitarne przeanalizowano w programie statystycznym Maxnet. Wyniki analizy w zakresie parametru AUC testowego i treningowego danych pochodzących z dwóch satelitów porównano między sobą. Analiza statystyczna wykazała na poziomie $p \leq 0,001$ większą istotność statystyczną wyników zarówno wartości AUC testowych jak i treningowych otrzymanych z Sentinel 2 w porównaniu do Landsat (Ryc. 12). Wobec powyższego do dalszych analiz zastosowano dane z satelity Sentinel 2.

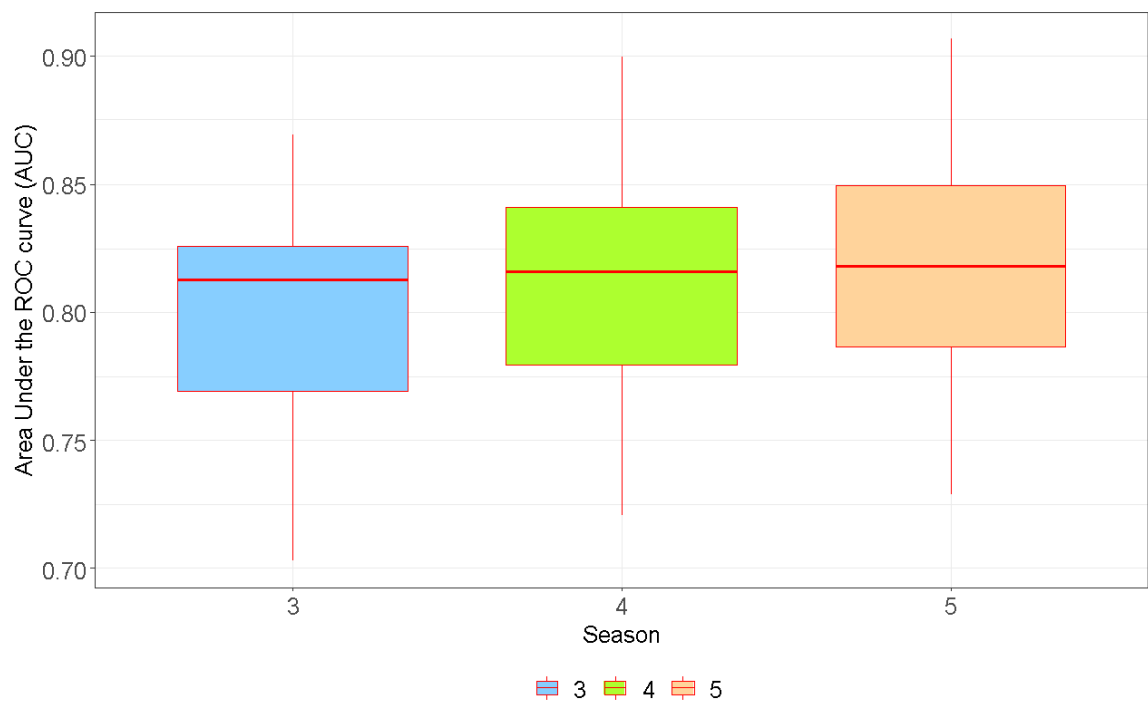


Ryc. 12. Porównanie AUC testowego i treningowego satelitów Sentinel 2 i Landsat 8

Wartości testowe i treningowe AUC otrzymane na podstawie 49 obrazów z satelity Sentinel 2 porównano w podziale na wcześniej wyznaczone cztery sezony pomiędzy sobą. W teście Tukeya na poziomie istotności 0,05 stwierdzono, że najwyższe statystycznie wyniki otrzymano dla wiosny (Ryc. 13).



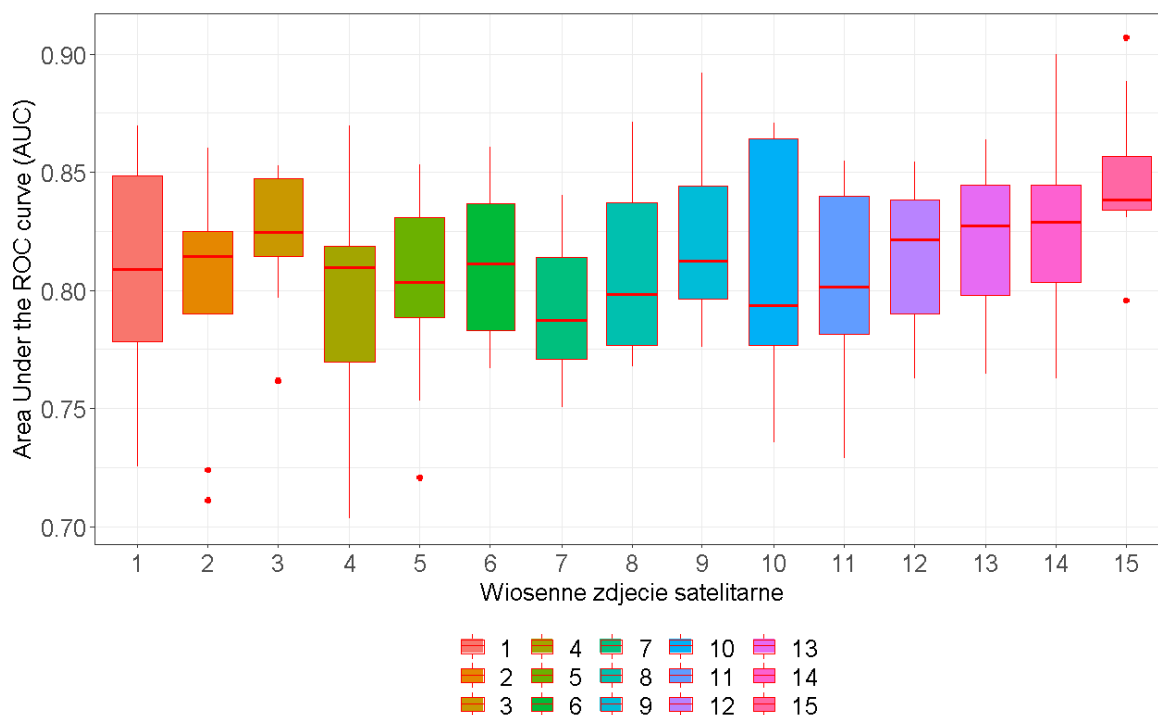
Ryc. 13. Porównanie AUC testowego i treningowego z podziałem na sezony (winter – zima, spring – wiosna, summer – lato, autumn – jesień)



Ryc. 14. Porównanie AUC testowego i treningowego z podziałem na miesiące wiosenne (3 – marzec, 4 – kwiecień, 5 – maj)

Wyniki analizy statystycznej przeprowadzone pomiędzy miesiącami wiosennymi wykazały, że różnice z wartością AUC pomiędzy nimi nie są istotne statystycznie. (Ryc. 14).

Analizy 15 wyników AUC z wiosny wykazały, były one zróżnicowane pomiędzy sobą, z których największe wartości otrzymano dla dnia 19.05.2019 r.) (Ryc. 15).



Ryc. 15. Porównanie wartości AUC treningowego i testowego pomiędzy zdjęciami z wiosny 2016-2019. (1 – 17.03.2016, 2 – 27.03.2016, 3 – 01.04.2017, 4 – 25.03.2018, 5 – 06.04.2018, 6 – 19.04.2018, 7 – 21.04.2018, 8 – 04.05.2018, 9 – 06.05.2018, 10 – 26.05.2018, 11 – 29.05.2018, 12 – 01.04.2019, 13 – 04.04.2019, 4 – 19.04.2019, 15 – 19.05.2019).

4.3.2. Modelowanie w MaxEnt

Do opracowania zebranych danych zastosowano program MaxEnt wykorzystujący technikę uczenia maszynowego, opierający się na metodzie maksymalnej entropii. Wyniki analiz są przedstawione w sposób łatwy do interpretacji wskazując tereny o większym lub mniejszym prawdopodobieństwie wystąpienia gatunku. Wykorzystano oprogramowanie MaxEnt w wersji 3.4.0, z zastosowaniem parametrów domyślnych z uwagi na fakt, że ich wyznaczenie było sprawdzone przez równe rozmiary prób, wiele gatunków i zmiennych środowiskowych (Elith i in. 2010). W programie zadano 8 replikacji z walidacją krzyżową, z 10% losowym odsetkiem testowym, a maksymalną ilością iteracji wynoszącą 500, progmem zbieżności 0,00001 oraz domyślną częstości występowania 0,5. Jak podaje Phillips (2010)

jakość dopasowania skalibrowanego modelu testowano za pomocą ROC (receiver operating characteristic) – krzywej prezentującej współzależności pomiędzy czułością – prawdziwie dodatnimi, a specyficznością – fałszywie dodatnimi wskazaniem obecności w obserwowanych/ przewidywanych danych. Powierzchnia pod krzywą ROC – AUC (Area under the curve) została wykorzystana jako miara dokładności modelu podawana w prostych wartościach liczbowych. Końcową wartość AUC otrzymano poprzez 8-krotną walidację krzyżową.

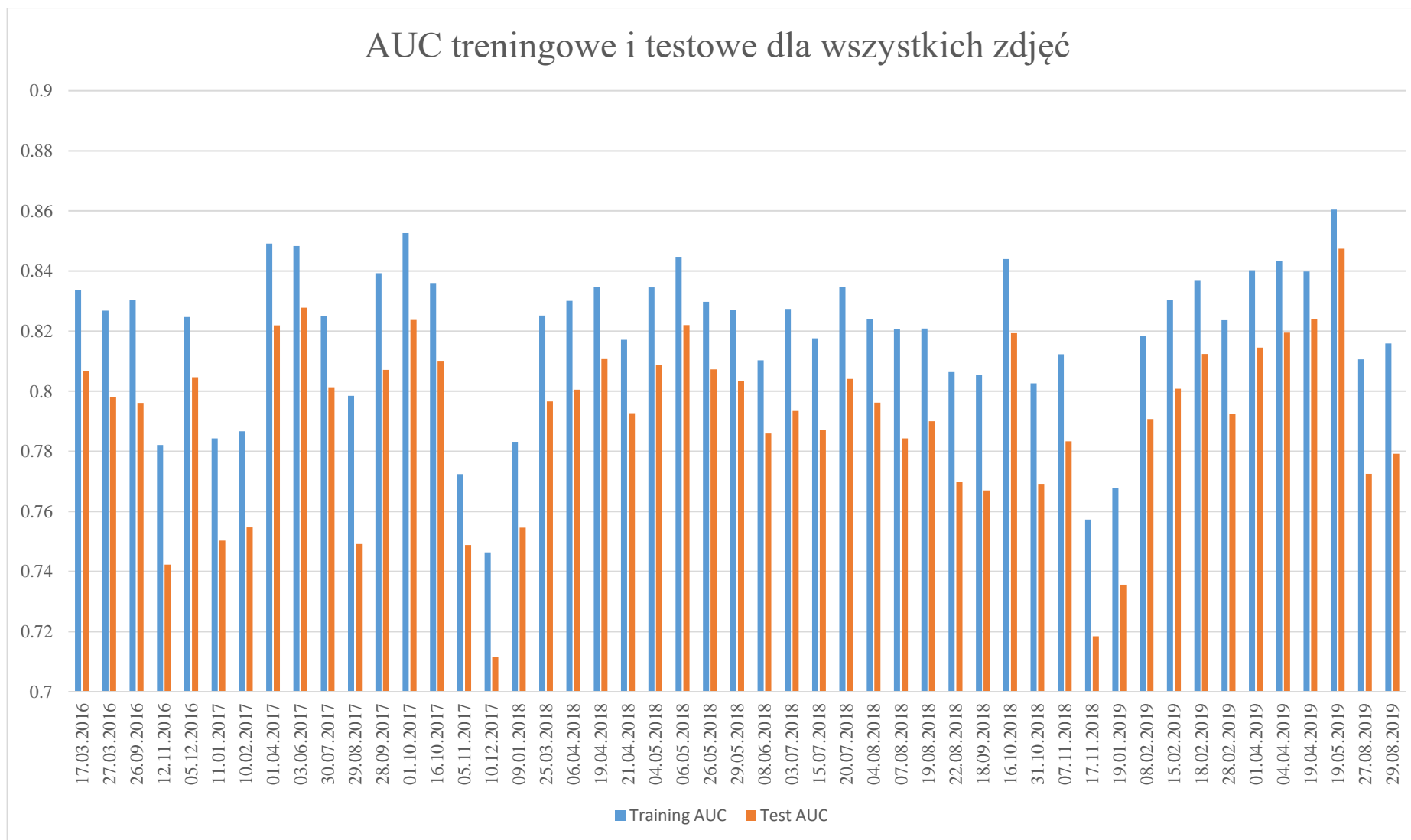
Wskaźnik AUC (Area under the curve) jest miarą dokładności predykcyjnej, która opiera się na klasyfikacji, randze lokalizacji. Interpretuje się go jako prawdopodobieństwo, że dana lokalizacja obecności ma wyższą rangę niż inny losowo wybrany punkt tła. Przy zastosowaniu danych o obecności wysokie wartości AUC wskazują, że model może rozróżnić obecność z lokalizacją potencjalnie niepróbkowanego tła. (Merrow i in. 2013).

Wynikiem modelowania jest test Jackknife określający znaczenie poszczególnych zmiennych środowiskowych. Wynik testu wskazuje zmienną zawierającą najwięcej informacji, których nie posiadają inne zmienne. Jeżeli zmienna ta byłaby pominięta, to wzmocnienie zostałoby zmniejszone bardziej niż pominięcie pozostałych. Test pozwala również określić zmienną, która najbardziej wzmacnia model gdy jest zastosowana samodzielnie, co świadczy o tym, że posiada najbardziej przydatne informacje.

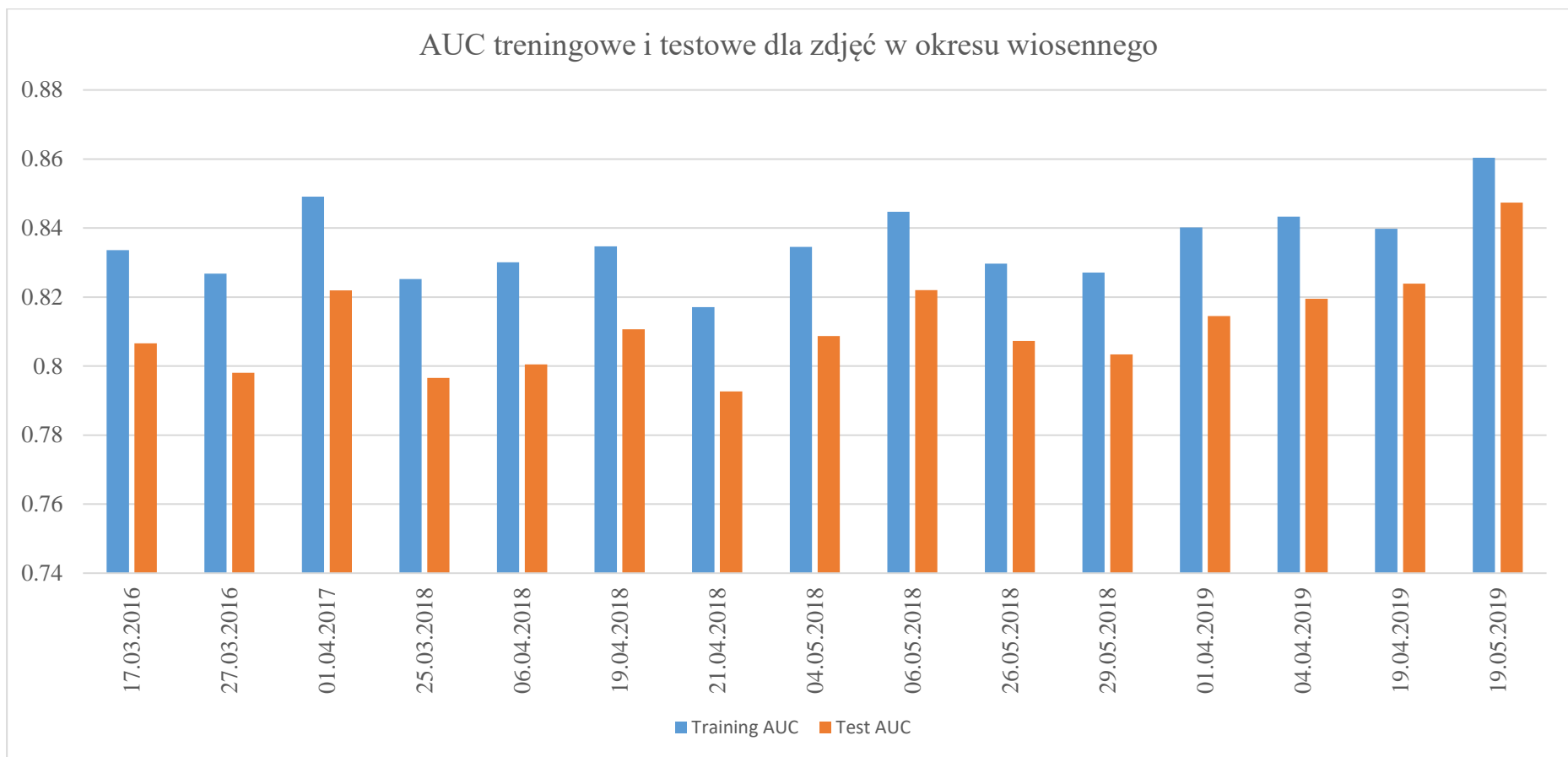
Model pozwala określić również szacunkowe względne udziały zmiennych środowiskowych (permutation importance) wraz z podaniem udziału procentowego i znaczenia permutacji dla każdej zmiennej. Do pierwszego szacowania w każdym powtórzeniu (iteracji) algorytmu uczącego dodaje się udział poszczególnej zmiennej lub odejmuje się, jeżeli zmiana wartości bezwzględnej lambda jest ujemna. Dla każdego następnego szacowania, dla każdej zmiennej środowiskowej po kolei są losowo permutowane wartości tej zmiennej dotyczące obecności treningowej i danych tła. Na podstawie danych permutowanych model jest ponownie oceniany, a spadek treningowego AUC z tego wynikający zaprezentowany jest w tabeli znormalizowanej do wartości procentowych. Należy jednak zwracać uwagę, i zachować ostrożność jeżeli zmienne predyktora są skorelowane. Wartości te są średnimi z przebiegów replikacji (Phillips 2010).

Na rycinie 16 zestawiono wynik AUC testowe i treningowe dla wszystkich dni z badanych obrazów satelitarnych. Prezentuje on czasową różnorodność pomiędzy wynikami testowym i treningowym dla badanych dni. Zauważalna jest tendencja niskich wartości w okresie zimowym (grudzień, styczeń, luty). Minimalny wynik testowego AUC dla tego okresu, a zarazem najniższy wśród wszystkich badanych dni wyniósł 0,7116

(10.12.2017 r.), natomiast najwyższy w zimie osiągnięto dla 18.02.2019 r. – 0,8124. Latem zakres wyników wahał się od 0,7491 z dnia 29.08.2017 r. do 0,8278 otrzymanym 03.06.2017 r. W okresie jesiennym otrzymano największą różnicę pomiędzy wynikami testowego AUC, która wyniosła 0,1053, co wskazuje na największe zróżnicowanie dla tego okresu. Wartości kształtowały się od 0,7184 do 0,8237. W okresie wiosennym uzyskano widoczne lepsze wyniki, różnica pomiędzy nimi była najmniejsza spośród wszystkich okresów i wyniosła 0,0547. Najniższą wartość AUC otrzymano w 21.04.2018 r., natomiast najwyższą dla tego okresu, a zarazem najwyższą ze wszystkich badanych dni osiągnięto 19.05.2019 r., i wyniosła ona 0,8474. Wykresy wynikowe dla każdego zdjęcia zostały zaprezentowane na rycinie 17. Tabele z wartościami wynikowymi dla rycin 16 i 17 umieszczono w suplemencie (Tabela 2).

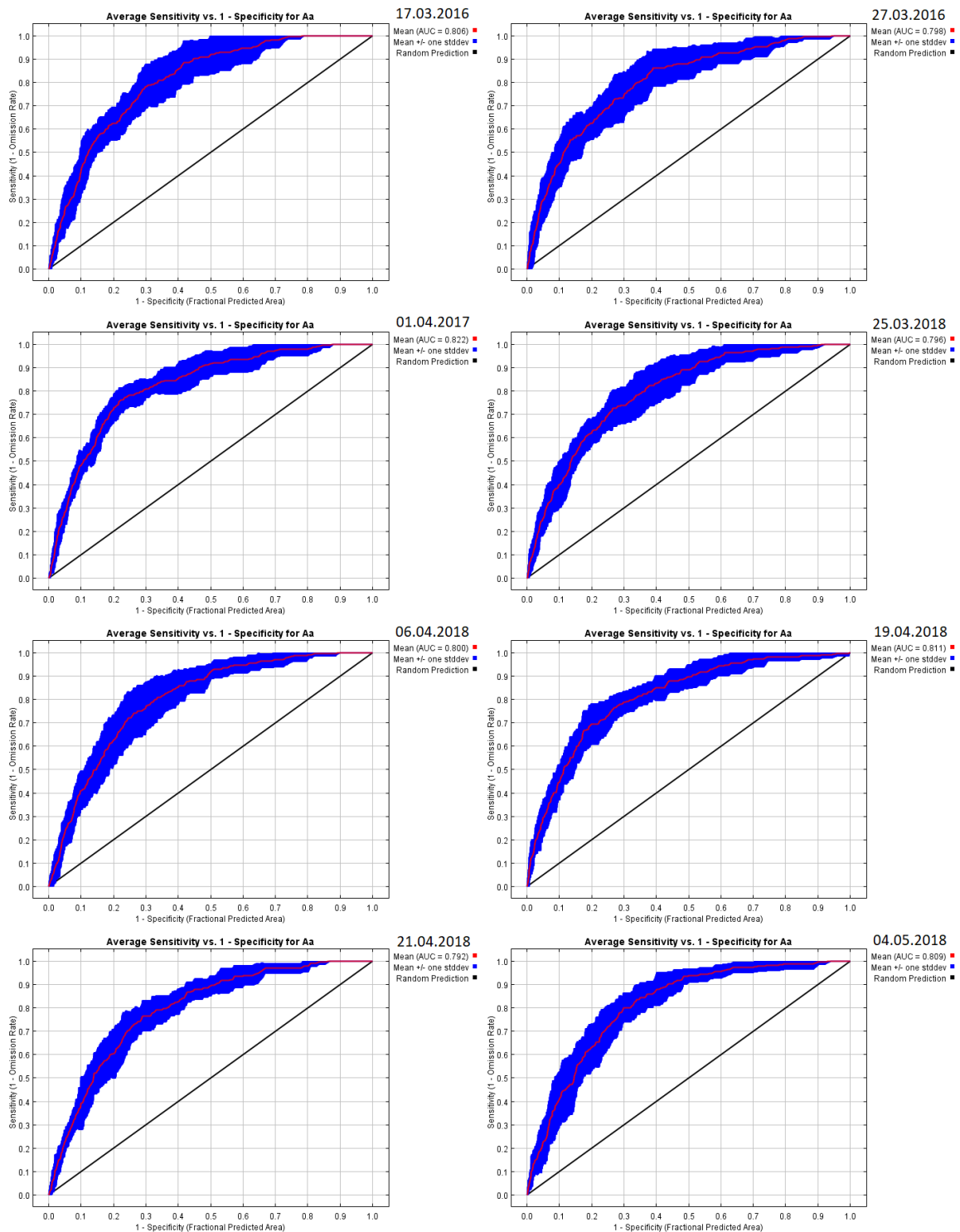


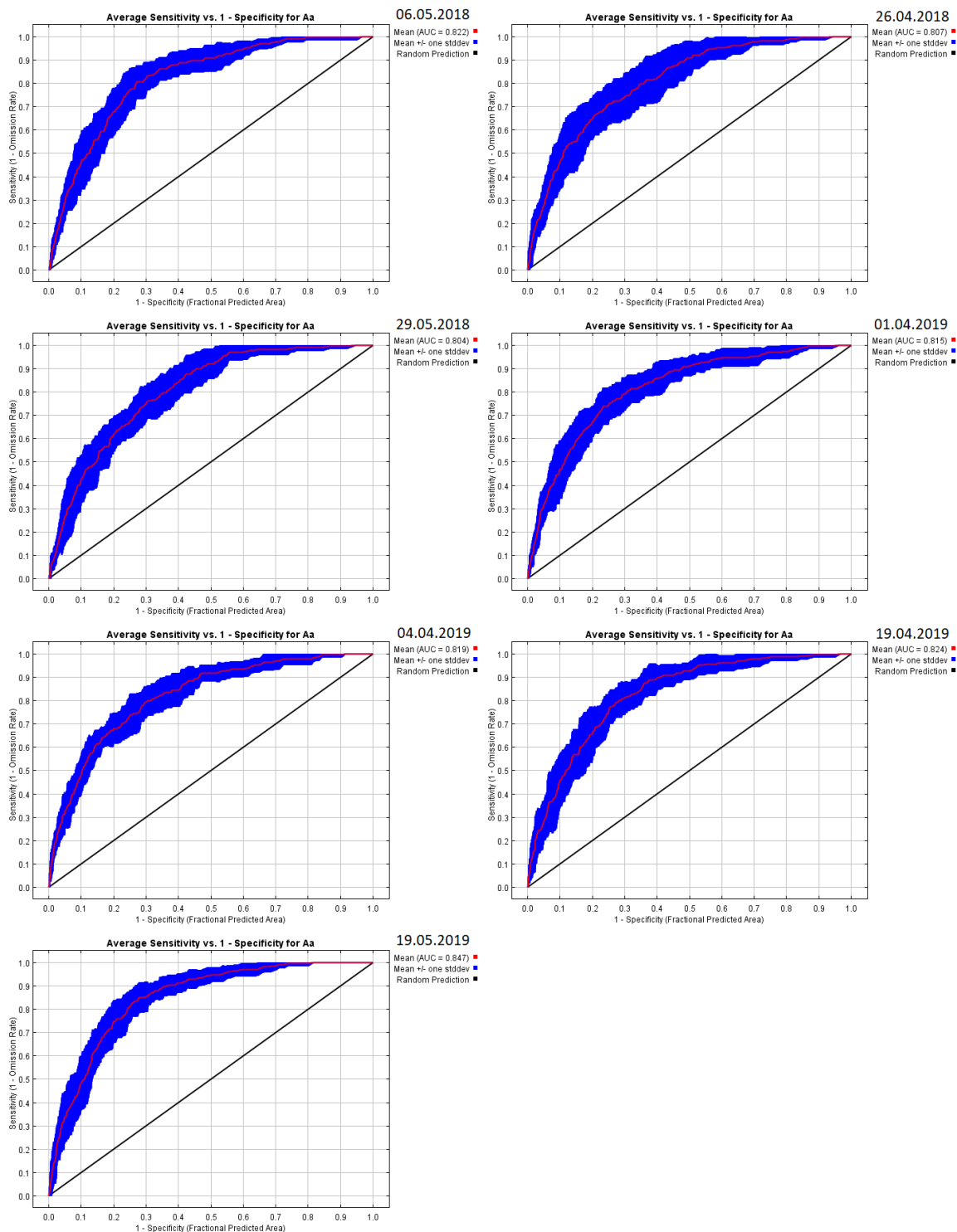
Ryc. 16. Treningowe i testowe AUC dla wszystkich zdjęć w latach 2016-2019



Ryc. 17. Treningowe i testowe AUC dla wszystkich zdjęć 2016-2019 w okresie wiosennym

Szczegółowe zestawienie pomiędzy AUC w miesiącach marcu, kwietniu i maju prezentuje rycina 17. W najniższe wartości otrzymano w 2016 roku, nie przekroczyły one 0,81, natomiast najwyższe wyniki przedstawiła analiza dat z 2019 roku, gdzie osiągnięto wartości dwóch z czterech zdjęć na poziomie powyżej 0,82. W latach 2018 i 2019 zauważalny jest wzrost AUC pomiędzy kwietniem a majem.





Ryc. 18. Zestawienie wyników AUC dla zdjęć z okresu wiosennego

W okresie wiosennym największe wartości wynikowe otrzymano w dniu 19 maja 2019 r. Wartość treningowa powierzchni pod krzywą wyniosła 0,8604. Wartość testowa AUC wyniosła 0,8474 przy odchyleniu standardowym 0,0296. Najmniejsze wartości testowe w tym okresie otrzymano w 0,7927 przy odchyleniu standardowym 0,0367 w dniu 21 kwietnia 2018 r.

Tab. 1. Średnie wartości statystyczne dla analizowanych sezonów

Data	zima	wiosna	lato	jesień
Regularized training gain	0.4788	0.6256	0.5451	0.4812
Unregularized training gain	0.6457	0.8045	0.6933	0.6649
Training AUC	0.8002	0.8358	0.8200	0.8122
Test gain	0.5040	0.6720	0.5586	0.5216
Test AUC	0.7708	0.8116	0.7878	0.7805

W tabeli (Tab. 1) zaprezentowano uśrednione wyniki analizy przy iteracji 500, i ilości prób testowych 28,25 i treningowych 197,75. Średnia wartość testowego AUC była największa dla okresu wiosennego i sięgała 0,8116, natomiast najmniejsza wystąpiła zimą, gdzie AUC wyniosło 0,7708. Dla pozostałych okresów letniego i jesiennego powierzchnia pod krzywą kształtowała się odpowiednio na poziomie 0,7878 oraz 0,7805.

Największe wartości testowego AUC w okresie wiosennym otrzymano w miesiącu maju (0,8178) i były one nieznacznie wyższe niż z kwietnia (0,8120) i marca (0,8004). Różnice pomiędzy miesiącami są nieistotne statystycznie (Tab. 2).

Tab. 2. Średnie wartości statystyczne dla miesięcy wiosennych

Data	marzec	kwiecień	maj
Regularized training gain	0.5263	0.6224	0.6897
Unregularized training gain	0.7396	0.8082	0.8381
Training AUC	0.8285	0.8363	0.8393
Test gain	0.6028	0.6747	0.7098
Test AUC	0.8004	0.8120	0.8178

Dalsze analizy prowadzono dla zdjęcia z dnia 19.05.2019 r., którego model charakteryzował się największym dopasowaniem – wartością AUC.

Pierwsza analiza dotyczyła określenia szacunkowych względnych udziałów zmiennych środowiskowych (Permutation importance) w MaxEnt, którymi są poszczególne kanały ze zdjęcia satelitarnego z 19.05.2019 r. (Tab. 3). Do każdej iteracji modelu uczącego dodawany lub odejmowany był udział odpowiedniej zmiennej. Przy każdej kolejnej iteracji dla każdej zmiennej środowiskowej dane dotyczące obecności były losowo układane, po

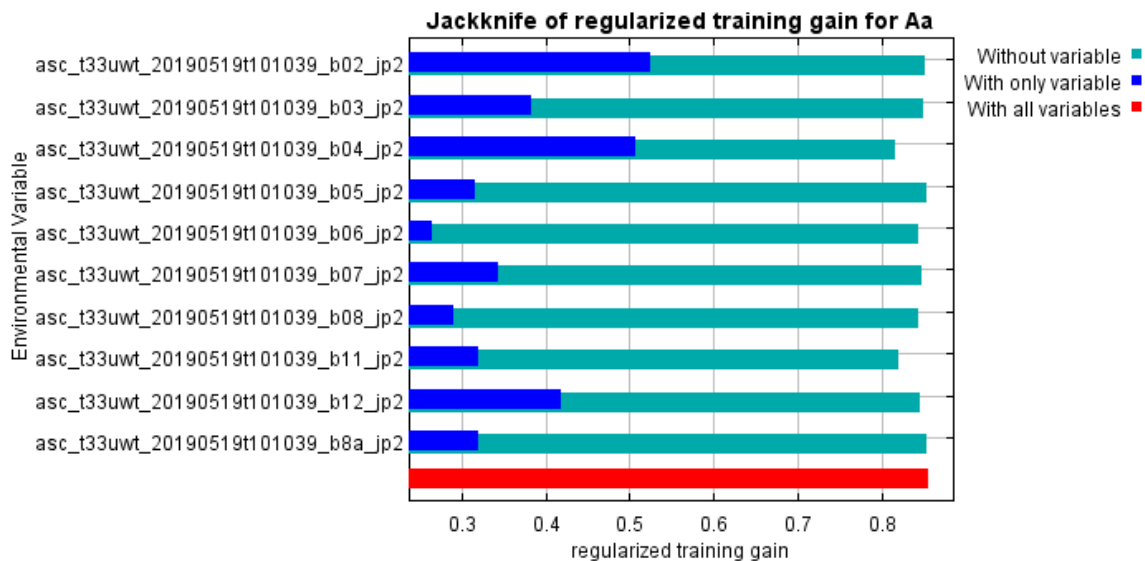
czym model został ponownie oceniony z przedstawieniem wynikającego z niego spadku wartości AUC. Wynik ten określa się jako wartości procentowe.

Największe znacznie permutacji zostało wykazane dla kanału B04 i B11 (odpowiednio 29,9% i 27,8%), co wskazuje, że model jest silnie zależny od tych zmiennych środowiskowych, natomiast największy udział procentowy zawierał kanał B02 – 30,2% – ten kanał był najbardziej wzmacniany w trakcie modelowania.

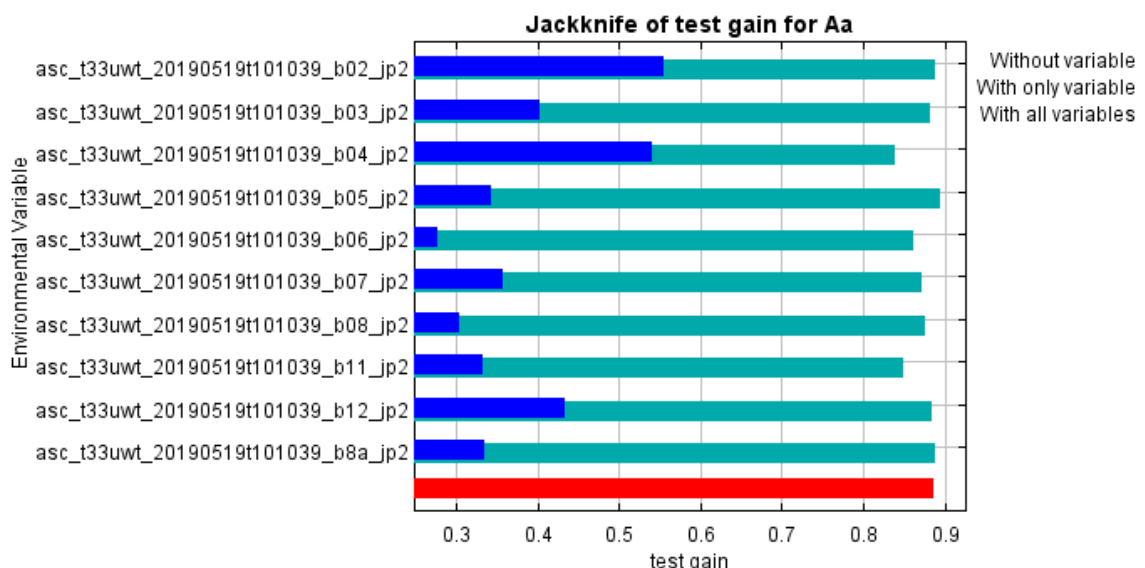
Tab. 3. Wpływ zmiennych na wynik modelu (Permutation importance)

Zmienna	Udział procentowy	Znaczenie permutacji
asc_t33uwt_20190519t101039_B02_jp2	30.2	2.8
asc_t33uwt_20190519t101039_B07_jp2	20.4	6.5
asc_t33uwt_20190519t101039_B04_jp2	19.1	29.9
asc_t33uwt_20190519t101039_B12_jp2	18.8	15.6
asc_t33uwt_20190519t101039_B11_jp2	7	27.8
asc_t33uwt_20190519t101039_B06_jp2	3	4.5
asc_t33uwt_20190519t101039_B08_jp2	0.8	5.1
asc_t33uwt_20190519t101039_B03_jp2	0.4	6.6
asc_t33uwt_20190519t101039_B05_jp2	0.2	0.8
asc_t33uwt_20190519t101039_B8a_jp2	0.1	0.3

Rycina 19 przedstawia wyniki testu Jackknife o znaczeniu zmiennych. Zmienną środowiskową o największym wzmocnieniu, gdy jest używana w samodzielnie, jest kanał B02, która w związku z tym wydaje się sama w sobie zawierać najbardziej użyteczne informacje. Z kolei zmienną środowiskową, która najbardziej zmniejsza wzmocnienie, gdy jest pominięta, jest kanał B04, co świadczy o większej zawartości informacji, które nie są obecne w innych zmiennych. Otrzymana wówczas wartość AUC treningowego wyniesie 0,8159. Wyświetlane wartości na rycinie 19 są średnimi z przebiegów replikacji. Wartości zawarto w tabeli w suplemencie (Tabela 4).



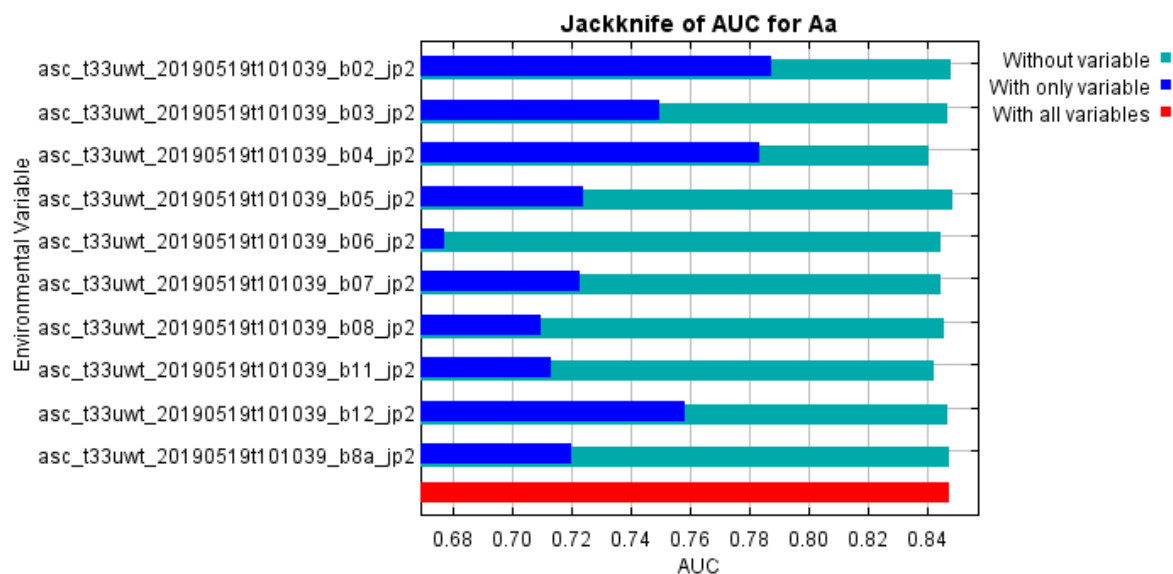
Ryc. 19. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia treningowego dla dnia 19.05.2019



Ryc. 20. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia testowego dla dnia 19.05.2019

Zaprezentowano również test Jackknife (Ryc. 20), który wykorzystuje wzmocnienie testowe zamiast wzmocnienia treningowego. Najbardziej wzmacniająca zmienna, podczas jej samodzielnego zastosowania to również kanał B02 i wówczas AUC osiąga wartość 0,5542. Najbardziej zmniejszającą zmienną jest ponownie kanał B04, gdzie powierzchnia pod krzywą wynosi 0,8392. Należy zwrócić uwagę, że różnice pomiędzy wnioskami dotyczącymi wagi najważniejszych zmiennych mogą ulegać zmianie pomiędzy analizą danych treningowych a testowych (Tabela 5 w suplemencie).

Na rycinie (Ryc. 21) ponownie zaprezentowano test Jackknife, wykorzystujący AUC na danych testowych.



Ryc. 21. Wyniki analizy Jackknife dla AUC

Zmienną środowiskową o największym wzmocnieniu, gdy jest używana w samodzielnie, jest ponownie kanał B02 (wartość 0,7874). Z kolei zmienną środowiskową, która najbardziej zmniejsza wzmocnienie, gdy jest pominięta, jest kanał B04, a otrzymana wówczas wartość AUC testowego wyniesie 0,8479 (Tabela 6 w suplemencie).

4.3.3. Reklasyfikacja wyników MaxEnt

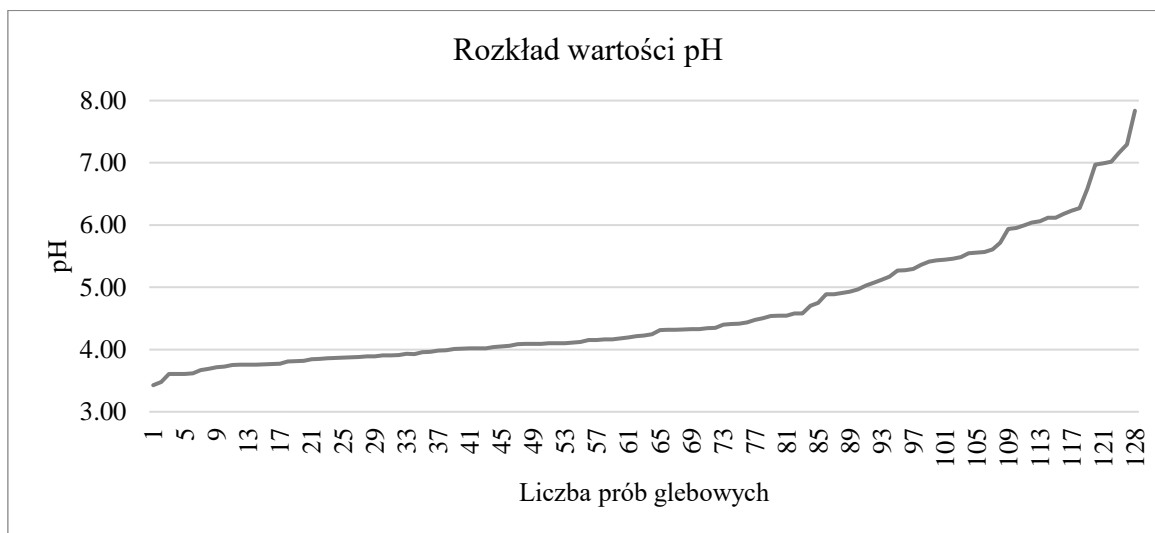
Otrzymane w programie MaxEnt mapy preferencji siedlisk (habitat suitability) z podanymi wartościami AUC dla każdej komórki piksela poddano reklasyfikacji na cztery klasy wykorzystując wskaźnik preferencji siedlisk z wykorzystaniem szablonu: klasa 1 – brak preferencji (0-20%), 2 – niska preferencja (20-40%), 3 – umiarkowana preferencja (40-60%) i 4 – wysoka preferencja (60-100%) (Ansari i Ghoddousi, 2018; Zhang i in. 2019; Yan i in. 2020; Mahatara i in. 2021). Reklasyfikacje przeprowadzono w środowisku Arcgis Pro.

5. Wyniki

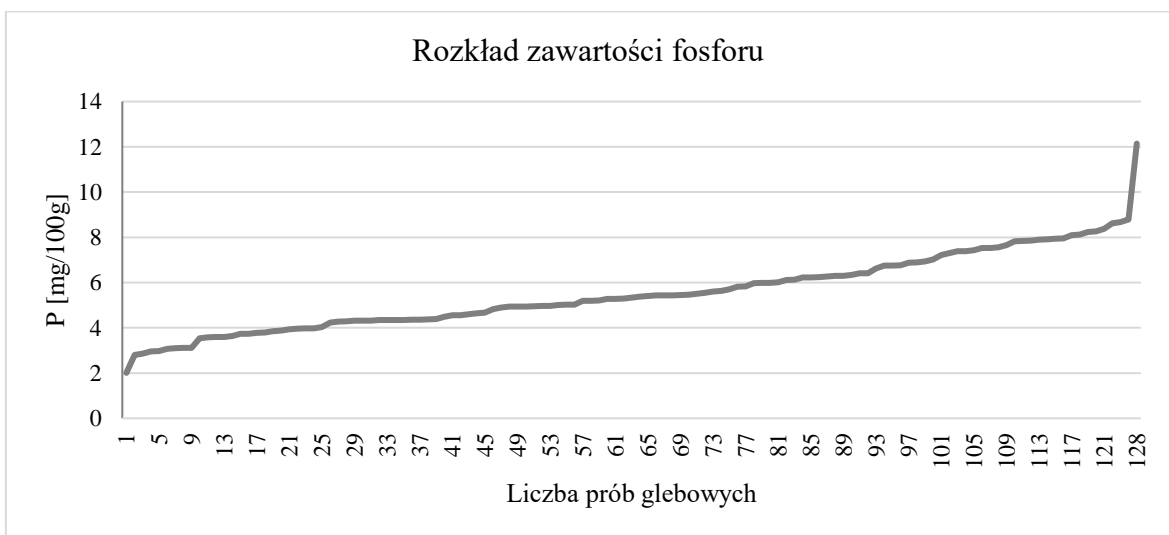
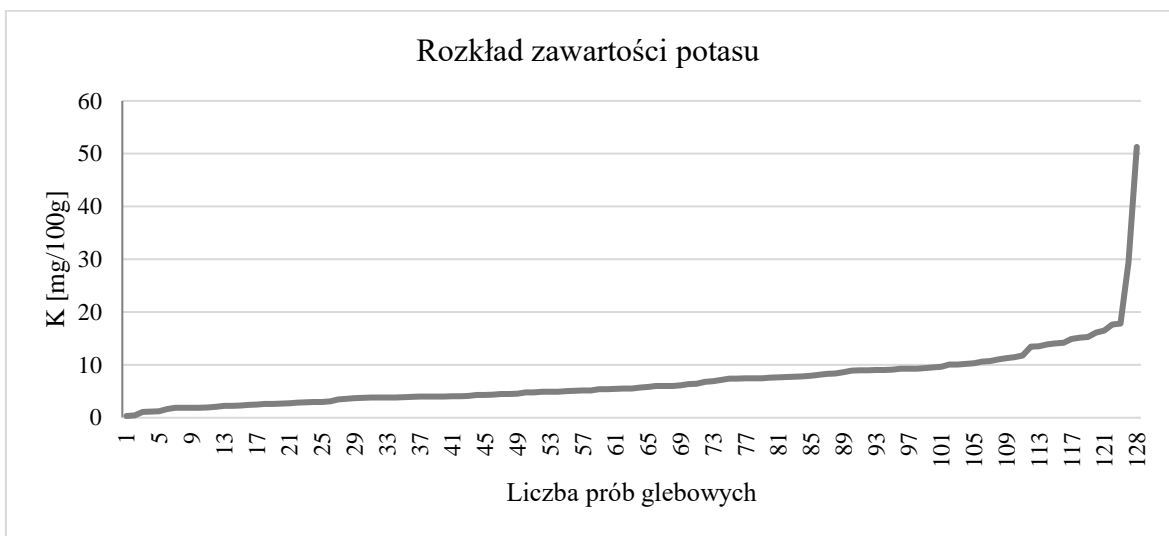
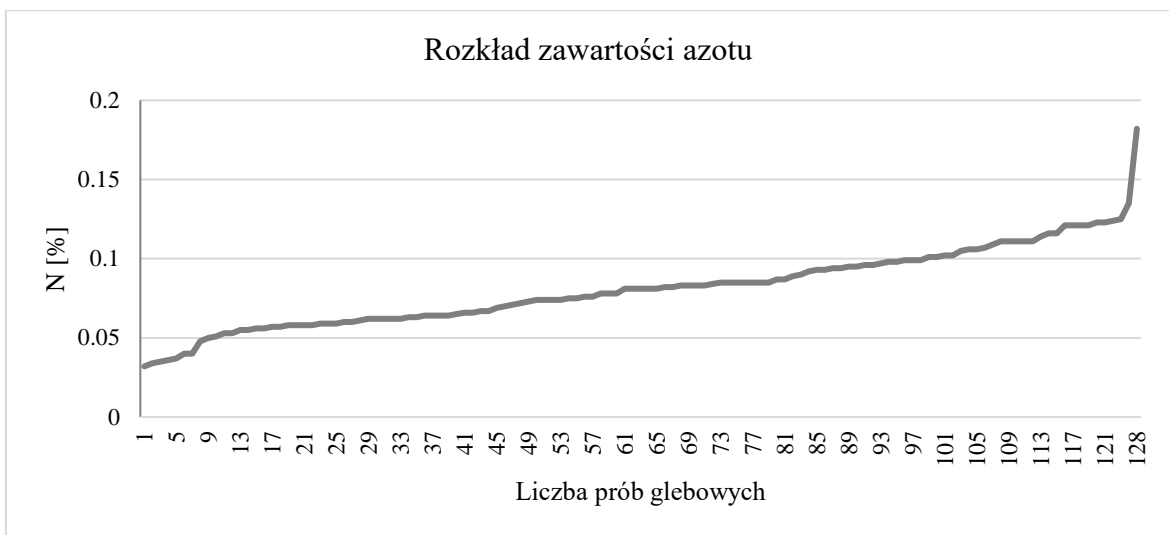
Poniższe wyniki podzielono na dwie części, a mianowicie, pierwsza prezentuje bazowe wyniki analizy gleb, druga część dotyczy potencjalnego rozmieszczenia *A. aristatum*.

5.1. Warunki glebowe stanowisk *A. aristatum*

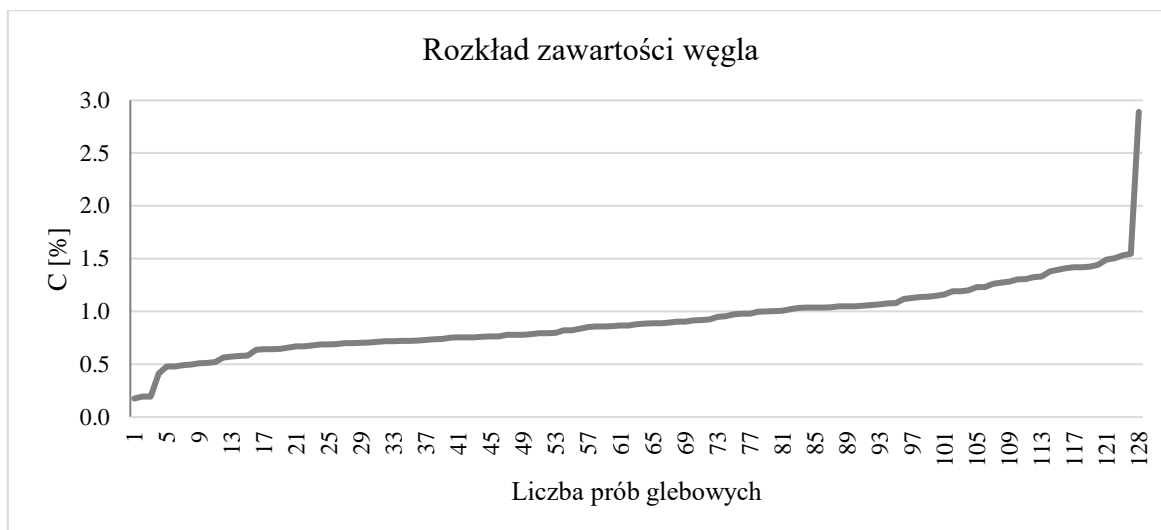
Przeprowadzone analizy parametrów glebowych wykazały, że wartości pH wahały się od 3,43 do 7,84, w tym 70% prób posiadało wartości pH poniżej 5, a łącznie 87% prób poniżej 6. Konduktywność oscylowała w granicach od 0,014 do 0,351 mS/cm. Udział azotu w glebie wynosił od 0,032% do 0,182% (Ryc. 22). Poziom potasu w formie pierwiastka zawierał się w przedziale od 0,33 do 51,29 mg na 100 g gleby, natomiast poziom fosforu również w formie pierwiastka oscylował w granicach od 2,01 do 12,14 mg/100g. Zawartość węgla kształtowała się od 0,176% do 2,89%. (Tabela 1 w suplemencie). Rozkład wyników badań prób glebowych przedstawiono na rycinie (Ryc. 22, 23 i 24).



Ryc. 22. Rozkład wartości pH w próbach glebowych



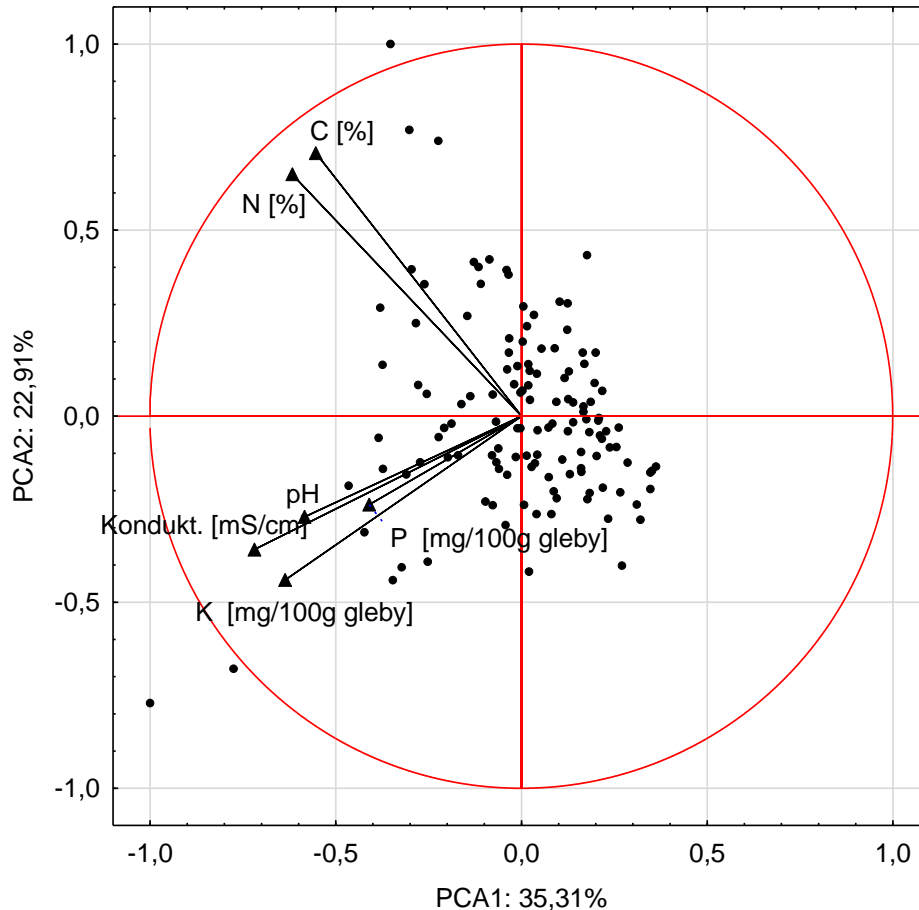
Ryc. 23. Rozkład wartości pH, zawartości azotu, potasu i fosforu w próbach glebowych



Ryc. 24. Rozkład zawartości węgla w próbach glebowych

Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji wykazały, że poszczególne parametry glebowe takie jak pH, przewodność, zawartość azotu, potasu, fosforu i węgla różnią istotnie statystycznie badane stanowiska *A. aristatum*.

Analiza składowych głównych niesie w sumie 58,22% informacji o zmienności badanych cech i gleb na stanowiskach *A. aristatum* (Ryc. 25). Parametry glebowe tworzą dwie grupy, pierwsza z nich to skorelowane ze sobą wartości pH z zawartością P, K oraz przewodnością, drugą stanowią zawartość węgla i azotu w glebie. Natomiast analizując różnice i podobieństwa pomiędzy parametrami gleby na stanowiskach gdzie rosło *A. aristatum*, można stwierdzić, że większość populacji (stanowisk), umiejscowionych w centralnej i prawej części wykresu, wykazuje tendencję do zajmowania stanowisk o niskich wartościach parametrów glebowych, zarówno pH jak i N, C, K. Należy jednak zaznaczyć, że istnieją stanowiska które preferują siedliska o wyższych wartościach parametrów glebowych i wyższym pH.

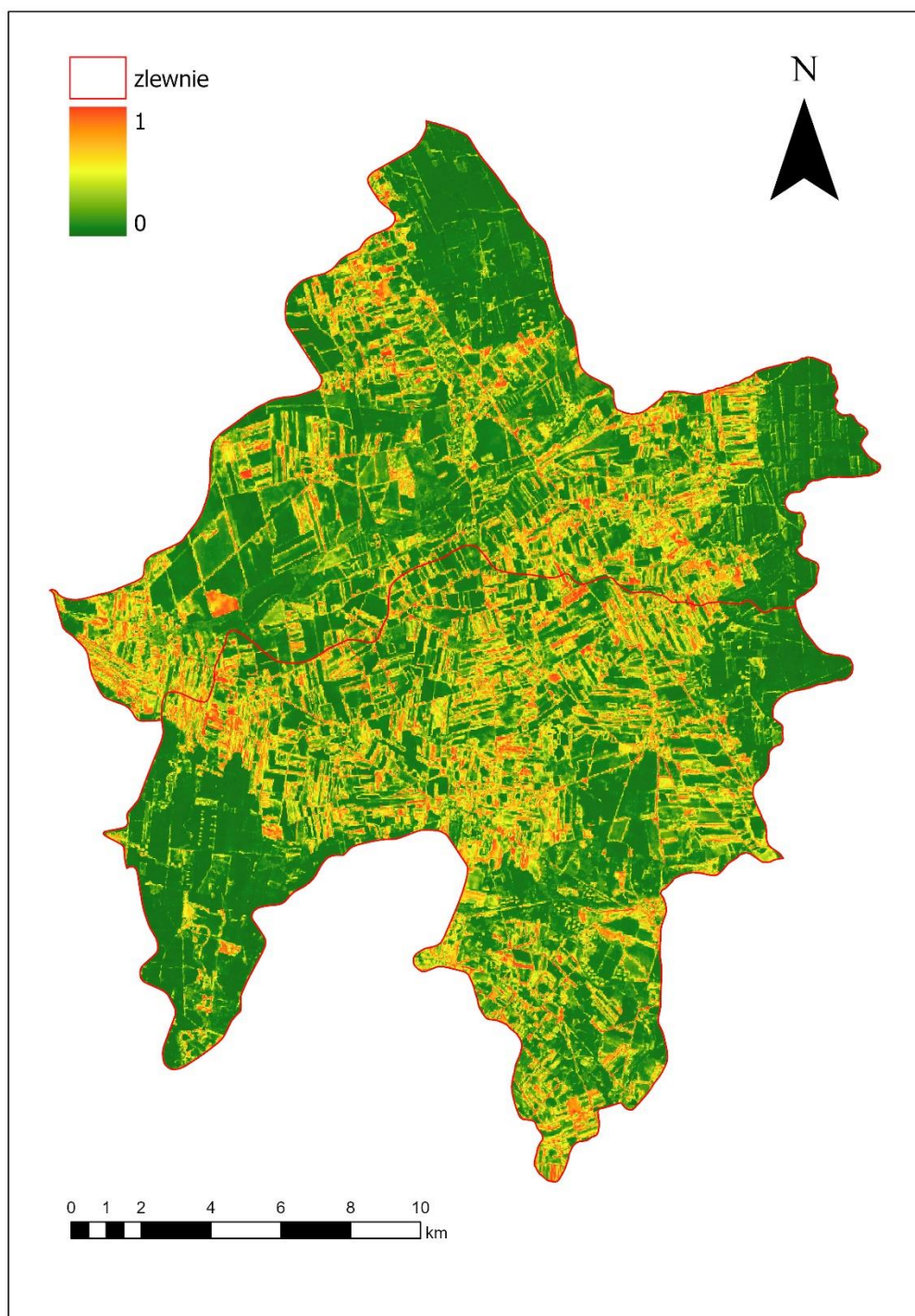


Ryc. 25. Graficzny obraz rozrzutu zmiennych N, P, K, C, pH i konduktywności (strzałki), przeanalizowanych na stanowiskach *A. aristatum* (kropki), w układzie dwóch pierwszych składowych głównych

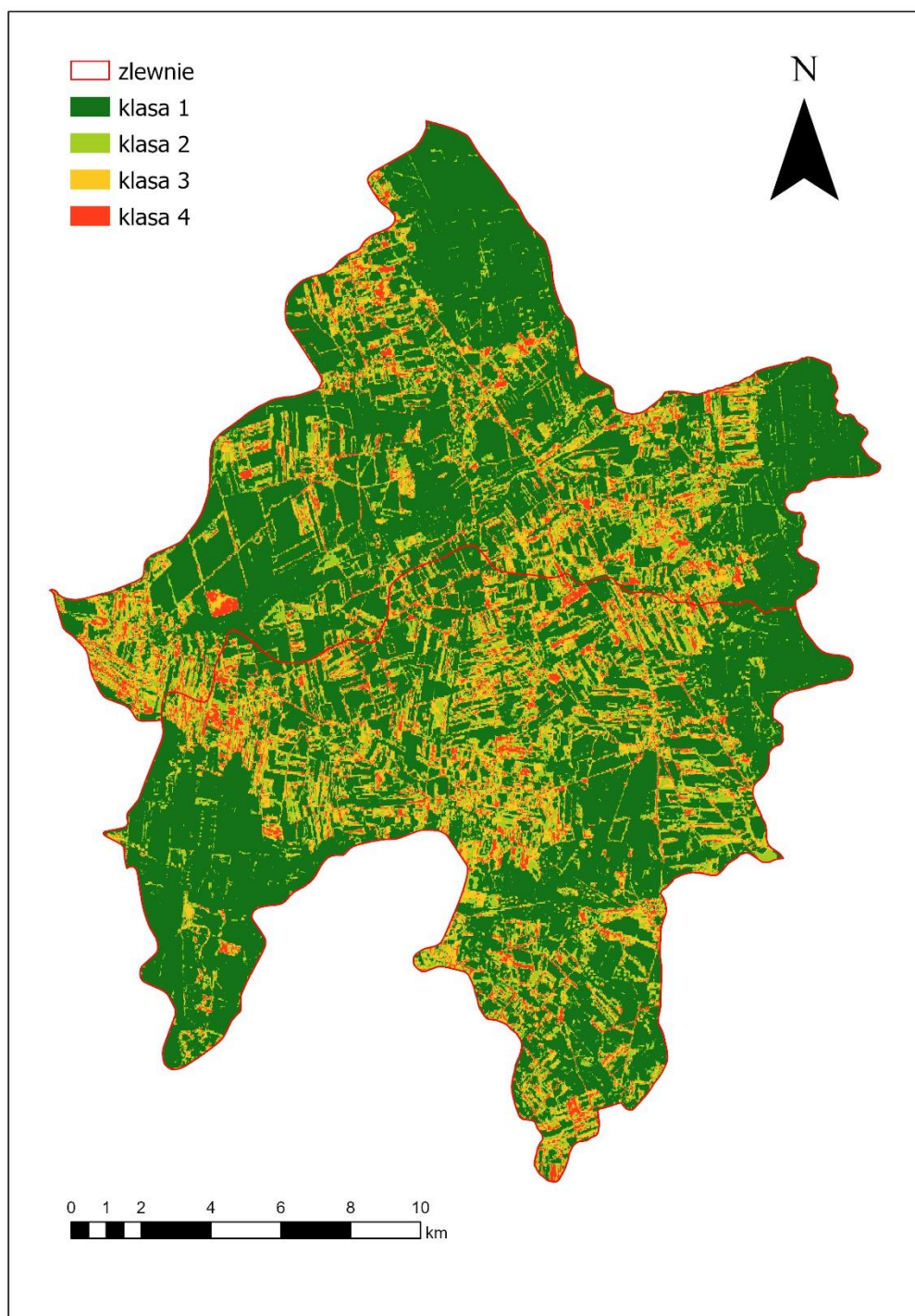
5.2. Wyniki modelowania

5.2.1. Ujęcie przestrzenne i statystyczne prawdopodobieństwa

Wynikiem modelowania w programie MaxEnt jest mapa preferencji siedliskowej. Na rycinie 26 zaprezentowano mapę dla dnia 19.05.2019 r. Wartości kształtują się od 0 do 1, gdzie 0 to brak preferencji, a 1 oznacza miejsca 100% preferowane). Wyraźnie widoczne są wartości równe lub bliskie zeru na obszarach porośniętych lasami na północnych wschodnich i południowo-zachodnich terenach badanych zlewni. Wartości zbliżające się do 1 oznaczano kolorem pomarańczowo-czerwonym, zauważalna jest regionalizacja tych obszarów, wraz z możliwością określenia nawet konkretnych granic. Rycina 26 odzwierciedla preferencje siedlisk w badanym dniu, uwzględniając rodzaje upraw, które były obecne w sezonie wiosennym w 2019 roku.



Ryc. 26. Preferencje siedliskowe z wartościami surowymi AUC przed reklasyfikacją dla dnia 19.05.2019 r.

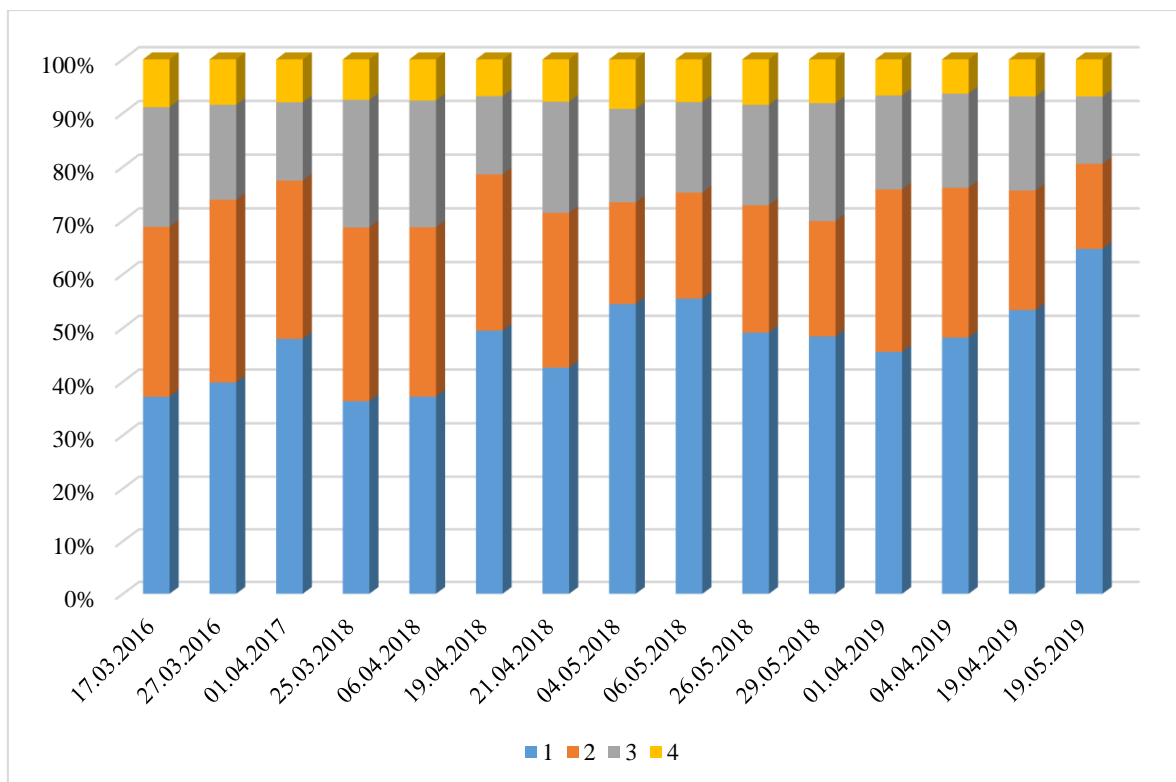


Ryc. 27. Mapa preferencji siedliska po reklasyfikacji na 4 klasy dla dnia 19.05.2019 r.

W tabeli (Tab. 4) przedstawiono stopień preferencji siedliskowej z podziałem na 4 klasy preferencji: 1 – brak, 2 – niska, 3 – umiarkowana i 4 – wysoka wraz z podaniem powierzchni, którą zajmuje dany przedział. Największym brakiem preferencji charakteryzował się dzień 19.05.2019 (powierzchnia ponad 85 km²), jednocześnie wskazując jedną z najmniejszych powierzchni klasy wysokiej – powierzchnia (9,15 km²). Klasy braku i niskiej preferencji siedliskowej stanowiły znacząca większość i zawierały się w przedziale od 68% do blisko 81% natomiast klasa umiarkowana osiągała udziały od 12 do 24% (16 do ponad 31 km²). Najwyższą klasą, z jednocześnie najmniejszymi różnicami pomiędzy dniami, charakteryzowały się najmniejsze powierzchnie począwszy od 8,4 km² dnia 04.04.2019 r. do ponad 12 km² w dniu 04.05.2018 r. co oscyloowało w zakresie 6,38-9,21% całej powierzchni obszaru badawczego (Ryc. 27). Wartości rzeczywiste przedstawiono w suplemencie (Tabela 7).

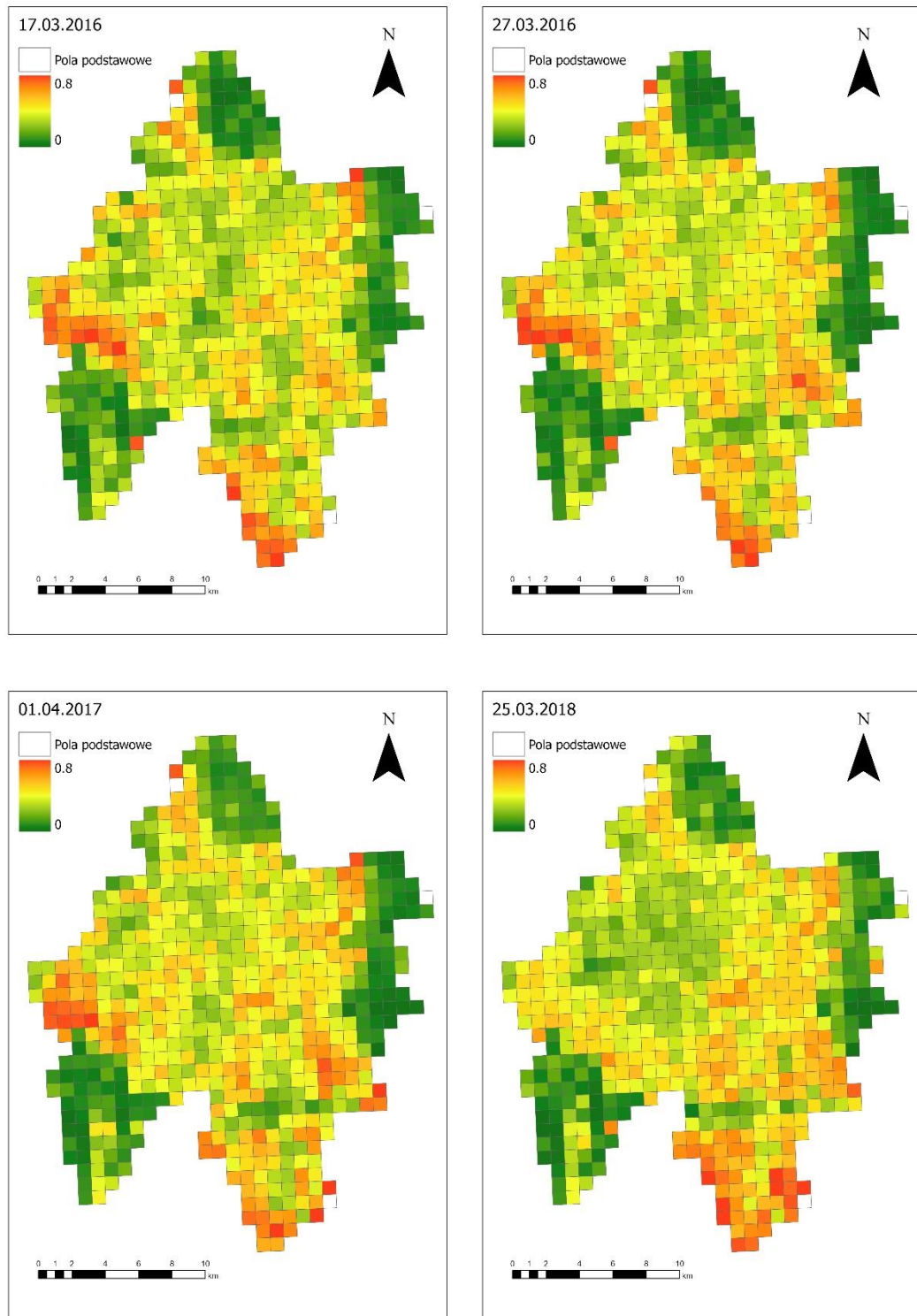
Tab. 4. Udział powierzchniowy klas w czterech przedziałach zdjęć wiosennych [km²]

data	Klasa preferencji siedliskowej [km ²]			
	1 (brak)	2 (niska)	3 (umiarkowana)	4 (wysoka)
17.03.2016	49.0790	41.7836	29.4024	11.7678
27.03.2016	52.5893	44.9346	23.3279	11.1810
01.04.2017	63.3076	38.9188	19.2402	10.5662
25.03.2018	48.0030	42.7127	31.3422	9.9749
06.04.2018	49.1020	41.6609	31.1714	10.0985
19.04.2018	65.3535	38.3907	19.2407	9.0479
21.04.2018	56.2404	38.0429	27.3440	10.4055
04.05.2018	71.8730	25.0295	22.9716	12.1587
06.05.2018	73.2388	26.0359	22.2790	10.4791
26.05.2018	64.8600	31.3103	24.6748	11.1878
29.05.2018	63.9048	28.3714	28.9652	10.7914
01.04.2019	60.1115	39.9396	23.1102	8.8715
04.04.2019	63.6496	36.8048	23.1558	8.4227
19.04.2019	70.4317	29.3683	23.0924	9.1404
19.05.2019	85.4267	20.9289	16.5245	9.1528

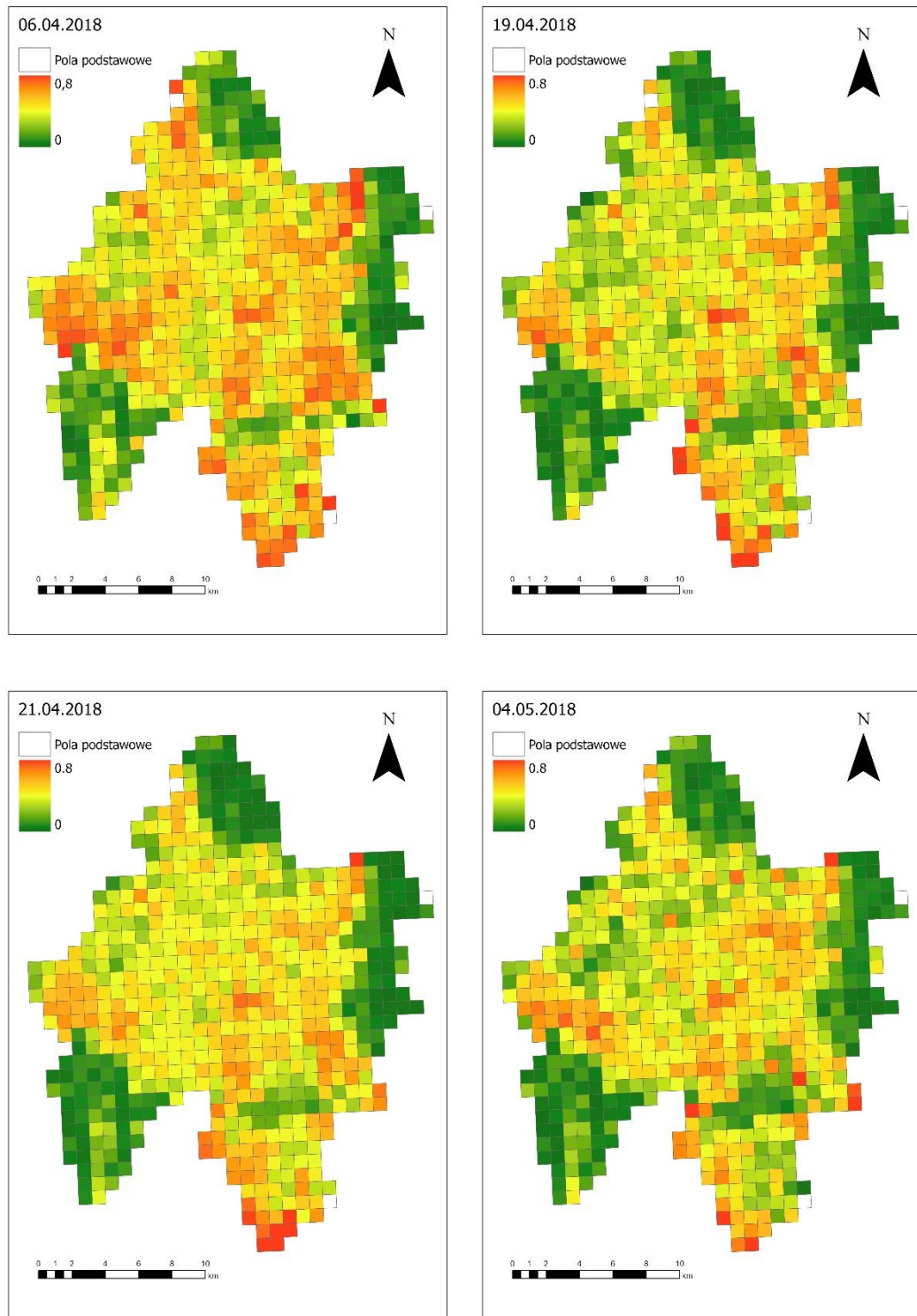


Ryc. 28. Udział procentowy klas w czterech przedziałach zdjęć wiosennych (1 – brak, 2 – niska, 3 – umiarkowana, 4 – wysoka preferencja siedliskowa)

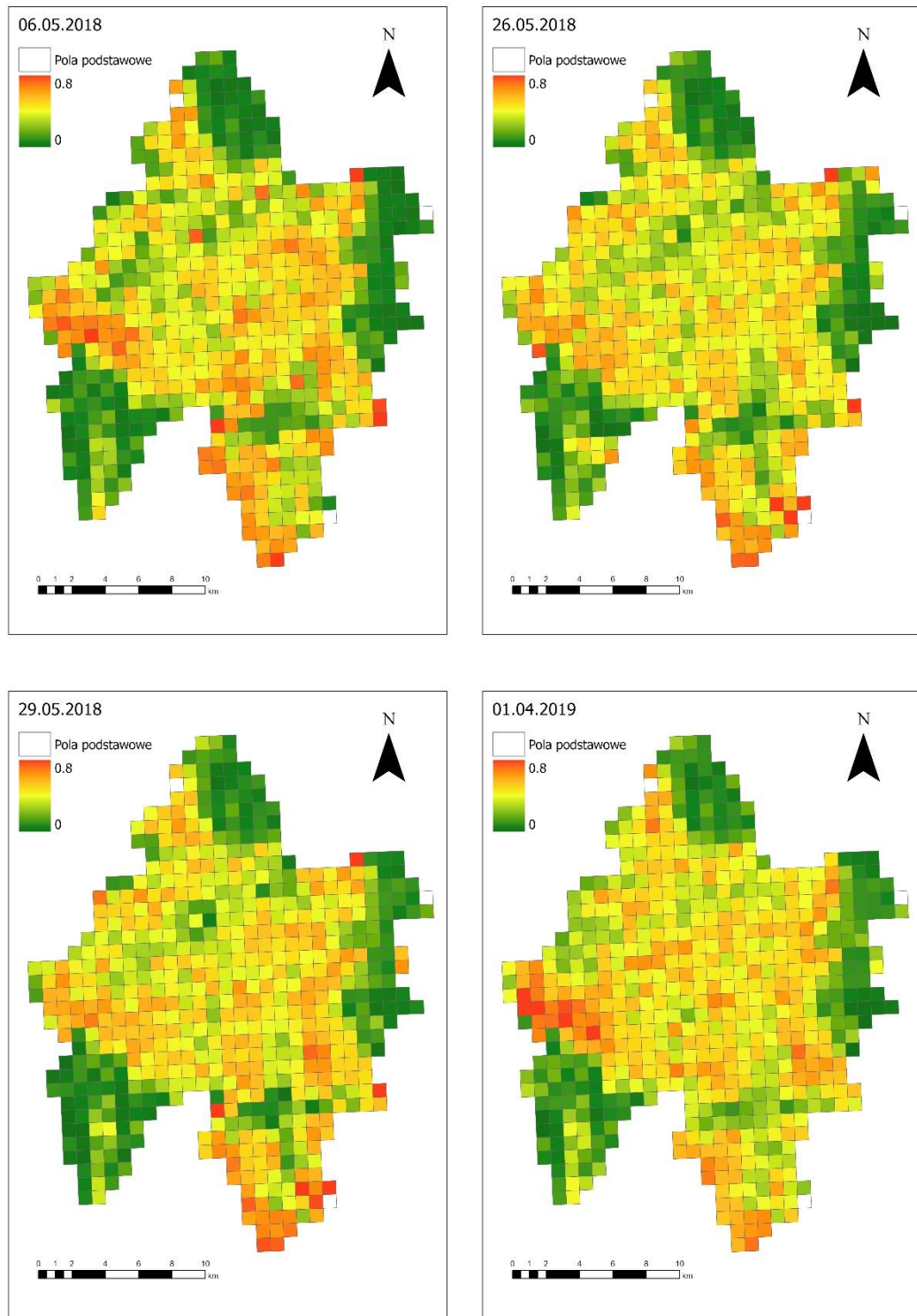
Analizę przestrzenną zmienności rozkładu prawdopodobieństwa pomiędzy poszczególnymi zdjęciami dla jednostek elementarnych jakimi są pola podstawowe 500 x 500 m prezentuje rycina 29. Prezentuje ona wynik modelowania dla każdego z pól podstawowych.



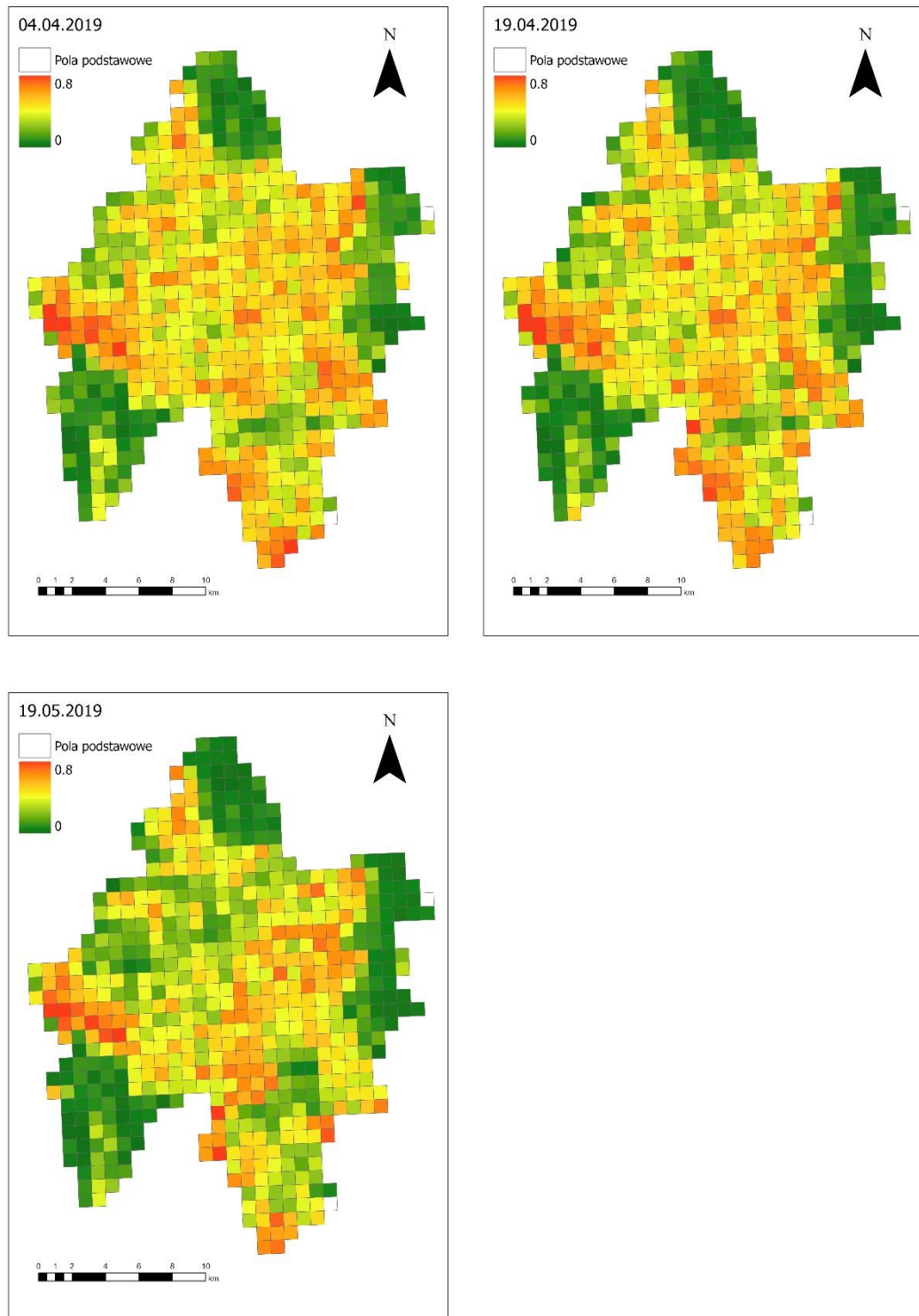
Ryc. 29.a. Zmienność preferencji siedliska z okresu wiosennego w ujęciu przestrzennym w modelach w latach 2016-2019



Ryc. 29.b. Zmienność preferencji siedliska z okresu wiosennego w ujęciu przestrzennym w modelach w latach 2016-2019

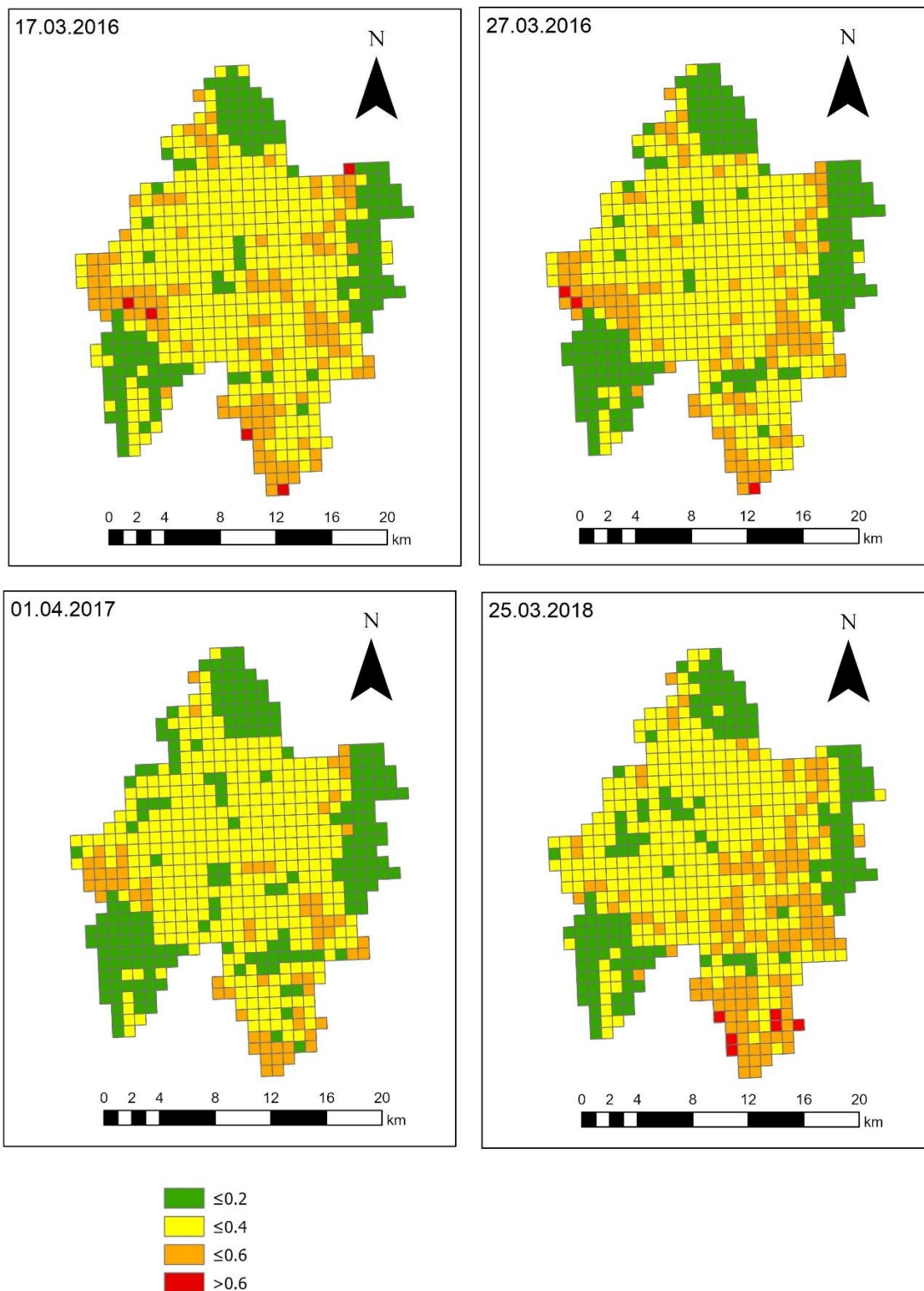


Ryc. 29.c. Zmienność preferencji siedliska z okresu wiosennego w ujęciu przestrzennym w modelach w latach 2016-2019

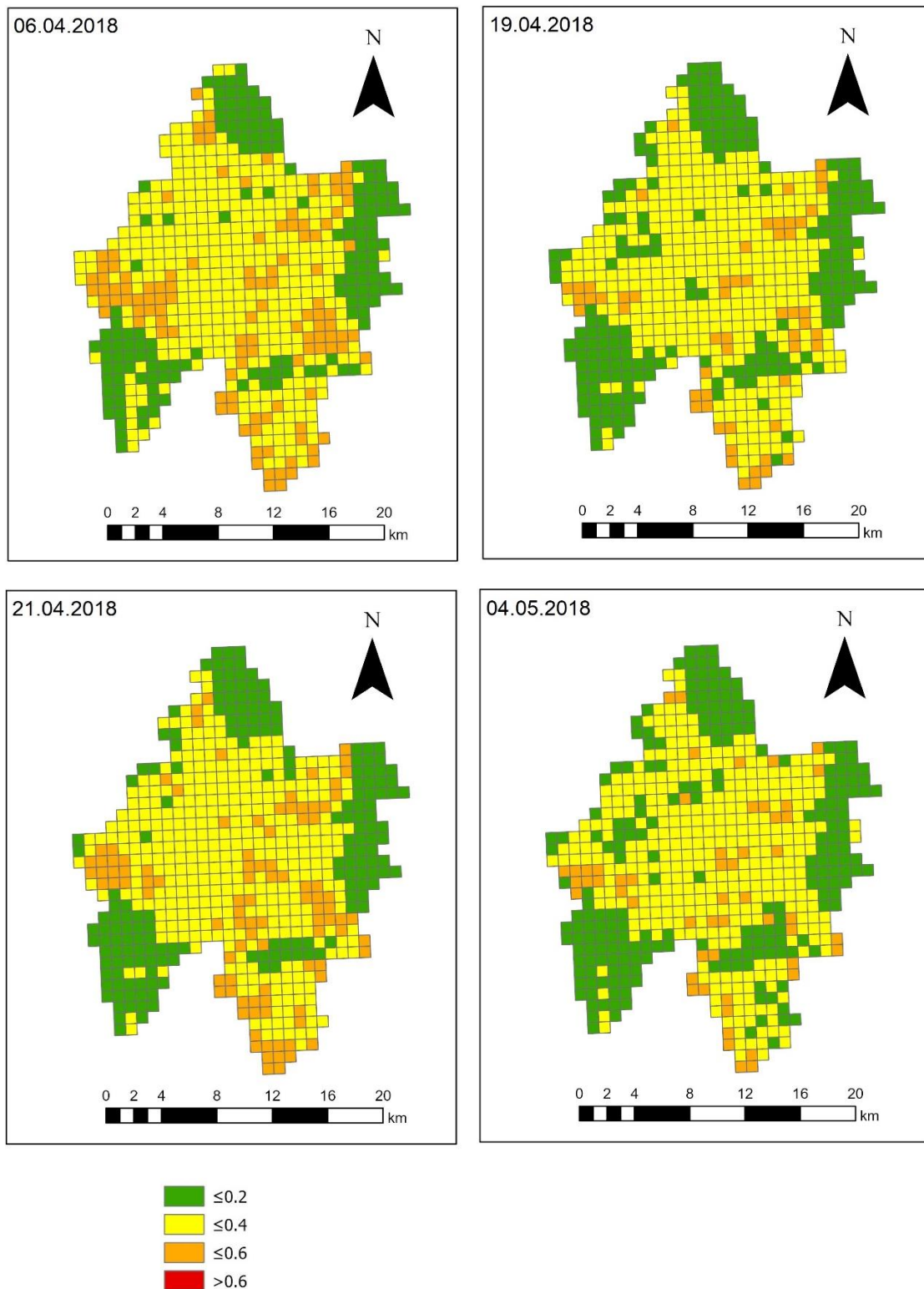


Ryc. 29.d. Zmienność preferencji siedliska z okresu wiosennego w ujęciu przestrzennym w modelach w latach 2016-2019

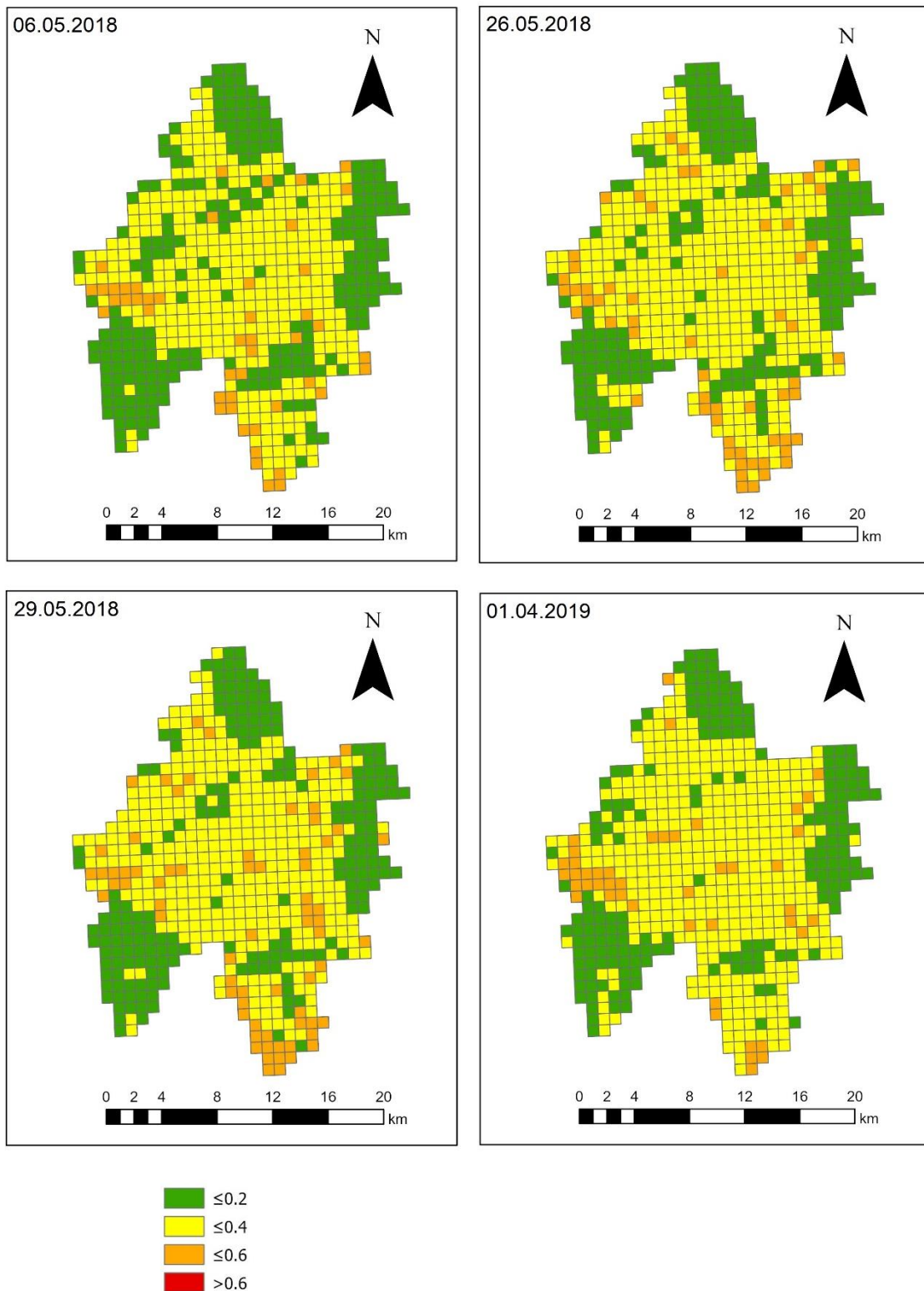
Wyniki AUC dla każdego piksela zostały uśrednione w oparciu o pola podstawowe 500 x 500 metrów i zreklasyfikowane w 4 klasach: 0-20%, 20-40%, 40-60% i powyżej 60%. Dostrzegalne są wyraźne obszary ustabilizowanych klasach, szczególnie na terenach leśnych, tj. na północy, południowym zachodzie i wschodzie. Zauważalna jest enklawa leśna wzdłuż drogi krajowej 92 w południowej części obszaru. Obszary o utrzymującej się największej zaobserwowanej preferencji siedliskowej (klasa 3) znajdują się w okolicach wsi Chobienice, Wojciechowo i Nieborza (tereny zachodnie), w południowej części okolice wsi Powodowo, Kiełkowo i Żodyń. W tych lokalizacjach uśrednione pola podstawowe notują również klasę 4. Ponadto wysoką preferencję posiadają także tereny we wschodniej części układając się w pas wzdłuż terenów leśnych w pobliżu miejscowości Tuchorza, Nowa Tuchorza, Stara Tuchorza oraz Kiełpiny (Ryc. 29).



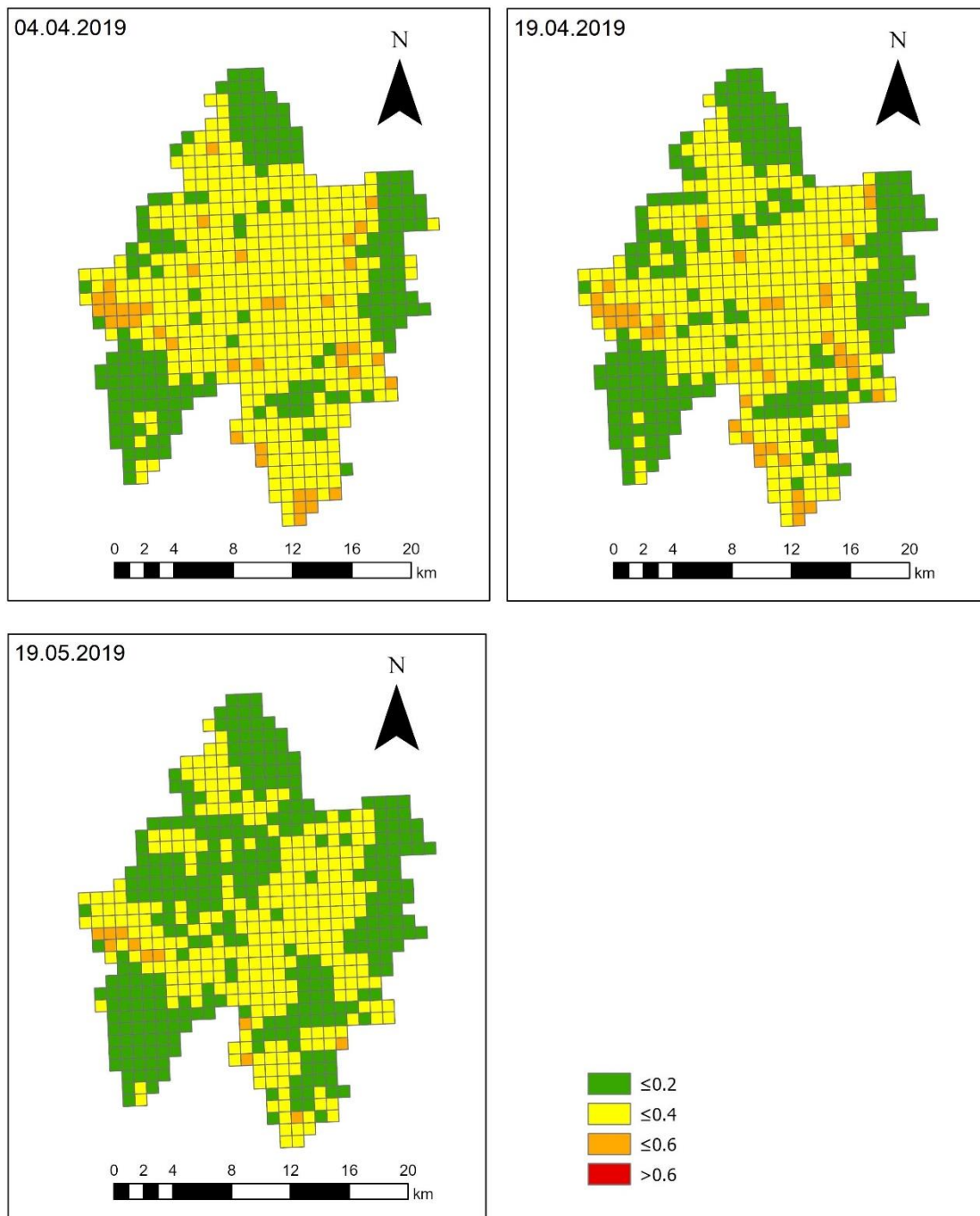
Ryc. 30.a. Wizualizacja kartograficzna map z 15 wiosennych dni (lata 2016-2019) z uśrednionym parametrem AUC w polu podstawowym



Ryc. 30.b. Wizualizacja kartograficzna map z 15 wiosennych dni (lata 2016-2019) z uśrednionym parametrem AUC w polu podstawowym



Ryc. 30.c. Wizualizacja kartograficzna map z 15 wiosennych dni (lata 2016-2019) z uśrednionym parametrem AUC w polu podstawowym



Ryc. 30.d. Wizualizacja kartograficzna map z 15 wiosennych dni (lata 2016-2019) z uśrednionym parametrem AUC w polu podstawowym

Należy zwrócić uwagę, że skrajne kwadraty mogą prezentować niewłaściwe wyniki, ze względu na fakt, iż znajdują się one na granicy zlewni, stąd dane pobrane do uśredniania z nimi nie pokrywają się w całości z mapą wynikową z programu MaxEnt, która zawiera dane w dokładnym zakresie zlewni.

5.2.2. Dane glebowe w oparciu o mapę preferencji siedliskowej

Wartości AUC (Area under the curve) z mapy otrzymanej w wyniku modelowania dnia 19.05.2019 r. zaczytano do lokalizacji, gdzie zostało pobrane 203 prób glebowych. Zaprezentowano relacje pomiędzy zawartością parametrów glebowych a wartościami AUC (Tab. 5).

Wynik pokazuje brak istotnych statystycznie korelacji pomiędzy AUC a parametrami glebowymi. Pozostałe zawartości pierwiastków glebie są skorelowane istotnie statystycznie.

Tab. 5. Korelacja porządku rang Spearmana (korelacje są istotne z $p < 0,500$, w tabeli oznaczone *)

	pH	N	K	P	C	AUC
pH	1	0,28*	0,56*	0,21*	0,25*	-0.1
N	0,28*	1	0,21*	0.09	0,67*	0.005
K	0,56*	0,21*	1	0,169*	0,26*	-0.08
P	0,21*	0.09	0,169*	1	0.06	-0.07
C	0,25*	0,67*	0,26*	0.06	1	-0.05
AUC	-0.1	0.005	-0.08	-0.07	-0.05	1

6. Dyskusja

Anthoxanthum aristatum jest chwastem notowanym na terenie Polski już od połowy XIX wieku. Zaczął się rozprzestrzeniać na szerszą skalę w latach 60 ubiegłego wieku. Jego inwazja podąża w kierunku północno-wschodnich terenów kraju. Już Siciński (1974) wskazywał, że tomka oścista, do ówczesnej pory znajdująca się bardzo rzadko w kraju, jest w stadium ekspansji, a jej zasięgi występowania będą się powiększały. Potwierdziły to badania już sprzed półwiecza (Nowiński 1964, Szafer i in. 1967, Misiewicz 1970, Siciński 1974). Wówczas określano tomkę ościstą jako roślinę piaszkową – pojawiającą się na terenach kwaśnych, bezwapiennych, piaszczystych, gdzie odczyn pH kształtował się w granicach od 4 do 5,5. Zauważono, że roślina sporadycznie pojawia się w ilościach masowych. W latach 90-tych potwierdzono obecność tomki ościstej na wschodnich granicach kraju (Ciosek, Skrzyczyńska 1997, Błocki 2021).

Gatunek ten preferując siedliska oligotroficzne, rozprzestrzenia się obecnie w ubogich uprawach o ekstensywnej gospodarce rolnej, gdzie stanowi poważny problem, blokując między innymi rozwój siewek zbóż. Miklaszewska i Pągowska (2007) zwróciły uwagę, że szczególnie podatne na inwazje są tereny rolnicze z powodu uboższego składu gatunkowego ekosystemu, co przyczynia się do utraty jego równowagi. Jest to wynikiem zasiedlenia tych terenów przez rośliny inne niż naturalnie występujące. Konieczne jest więc szybkie rozpoznanie w jakim kierunku i na jakich siedliskach tomka oścista może się pojawić.

Dotychczasowe badania nad rozprzestrzenianiem się tomki ościstej koncentrowały głównie się na inwentaryzacji terenowej, opisywaniu zbiorowisk roślinnych w których się pojawia (Skrajna, Skrzyczyńska 2007, Misiewicz 1970, Warcholińska, Siciński 1996, Żukowski i in. 1995, Adamczak 2007, Jackowiak i in. 1990, Urbisz 2008). Zwrócono także uwagę na grzyby pojawiające się na roślinie (Pieczul i in. 2018a, 2018b, 2022). Prowadzono również badania zmienności molekularnej i strukturalnej populacji tej ekspansywnej trawy, w gradiencie geograficznym i siedliskowym, obejmującym stanowiska naturalne i antropogeniczne *A. aristatum* (Drapikowska i in. 2020). Badania te wykazały że populacje z tomki ościstej pobrane z przydroży i granic zasięgu charakteryzowały się wysokimi parametrami zmienności genetycznej, co przyczynia się do przekraczania barier ekologicznych i geograficznych, a co zatem idzie rozprzestrzeniania się gatunku na nowe, coraz żyzniejsze siedliska (Skrajna i Skrzyczyńska 2007). Jak podaje Woziwoda (2010) tomka jest notowana w młodych, otwartych lasach czy młodych monokulturach sosnowych

wyrosłych na glebach rolnych. Podczas niniejszych badań terenowych obserwowano występowanie tomki na piaszczystych skrajach lasów i drogach dojazdowych. Planując badania w wyborze terenu pominięto zwarte wieloletnie połacie lasów występujących w północnej zachodniej i południowo-wschodniej części ze względu na charakterystykę występowania *A. aristatum* oraz brak możliwości dotarcia ziarniaków z terenów, gdzie *A. aristatum* występuje. Przeprowadzone analizy wykazały jednak, że w niektórych miejscach, na terenach leśnych, występują siedliska preferowane przez ten gatunek, szczególnie wzdłuż dróg i na pograniczu pól uprawnych i lasu. Sprzyjającym czynnikiem dla rozprzestrzeniania się tomki wewnątrz lasów może być zawleczenie ziarniaków przez człowieka podczas korzystania z dróg leśnych, przy transporcie zanieczyszczonego nasionami chwastów zboża (Ryc. 27).

Obserwacje terenowe wykazały obecność *A. aristatum* w głównej mierze wewnątrz upraw, w okolicach pól uprawnych poza zasięgiem prac polowych, na miedzach, skrajach lasów, poboczach dróg polnych i ugorach. Obecność tomki w uprawie polowej była zależna była od rodzaju uprawy. Z obserwacji własnych wynika, że zawsze występowała w zbożach ozimych. W uprawach innych zbóż, na badanym obszarze nie była spotykana. Należy zaznaczyć, że nie odnotowywano jej obecności wewnątrz upraw np. zbóż jarych czy roślin okopowych, nawet gdy znajdowała się w pobliżu, w dogodnym dla niej miejscu i w dużym zagęszczeniu. Miejsca te pozostawały rezerwuarem nasion na kolejne lata. Występowanie *A. aristatum* w oziminach potwierdziło wielu autorów, m.in. Misiewicz (1970), Kuźniewski (1996), Warcholińska i Siciński (1996), Skrzyczyńska i in. (2010) uznając ją za roślinę zagrażającą tego rodzaju uprawom, szczególnie na glebach lekkich. Stąd tak istotne jest prowadzenie prac nad ekspansją tomki, jej preferencjami siedliskowymi i kierunkami rozprzestrzeniania.

A. aristatum coraz intensywniej rozprzestrzenia się w uprawach stając się chwastem uciążliwym do zwalczania, wymagających dodatkowych zabiegów, niejednorodnie nieopłacalnych z uwagi na niskie plonowanie na słabych glebach. Zauważalne jest jej wkraczanie na nowe siedliska, bardziej zasobne. Dlatego też bardzo ważne jest poznanie biologii tomki, oznaczanie preferencji siedliskowych przy zastosowaniu informacji o jej obecności, również przy wykorzystaniu multispektralnych zdjęć satelitarnych, a także zdjęć wykonanych przy użyciu kamer umieszczonych na dronach obecnie powszechnie stosowanych w biologii środowiska (Nowak i in. 2018).

Do tej pory nie prowadzono prac nad *A. aristatum* na szerszą skalę przy zastosowaniu zautomatyzowanych technik, korzystając z modeli rozmieszczenia gatunków. Wykonywano

głównie na inwentaryzacje terenowe z wykazaniem częstotliwości występowania, charakteru zbiorowisk roślinnych, biologii rośliny, czy badań nad jej genetyką. SDM obecnie jest szeroko wykorzystywane przy modelowaniu zjawisk przyrodniczych, zwierząt jak i roślin, w tym również roślin inwazyjnych (Cuddington i in. 2021, Elith i in. 2010, West i in. 2016, Fitzpatrick i in. 2013, Christiani i in. 2024, Toffa i in. 2022, Rakotonirina 2022).

Dla prac dotyczących rozmieszczenia gatunków w przeszłości, teraźniejszości i przyszłości zastosowanie mają badania klimatu w czasie, które pozwalają na pogłębianie badań reakcji gatunków na zmieniające się warunki klimatyczne (O'Donel, Ignizio 2012). Badania te są jednak oparte o zmienne klimatyczne, które powstały również w procesie modelowania i nie można ich uznać za rzeczywiste zmienne środowiskowe. Modele klimatyczne, jak te z bazy WorldClim, są zmiennymi hipotetycznymi w przeciwieństwie do zmiennych pozyskanych ze zdjęć satelitarnych, będących zmiennymi rzeczywistymi. Wykorzystanie wyłącznie zmiennych klimatycznych jako zmiennych środowiskowych może również stwarzać problemy, z uwagi na fakt, iż pokrycie terenu i użytkowanie gruntów są ważnymi czynnikami determinującymi rozmieszczenie gatunków (Wiens i in. 2009). Pearson i Dawson (2003) zwracają jednak uwagę, że ograniczenia tego typu dotyczą szczególnie badań o mniejszej skali przestrzennej. W przypadku modelowania na dużych obszarach wykorzystuje się warstwy zmiennych, które mają mniejszą dokładność np. rozkład opadów lub temperatury. Przy modelowaniu w mniejszej skali stwarza to bariery z powodu małych rozdzielczości danych przestrzennych uniemożliwiających uchwycenie zmian w krajobrazie czy użytkowaniu terenu (Christian P. i in. 2024).

Dlatego też w prowadzonych badaniach oparto się o dane teledetekcyjne o dużej rozdzielczości przestrzennej, szerokich zakresach widm przy uwzględnieniu zdjęć z rzeczywistego okresu badań terenowych. Niewątpliwie, dostępne obecnie zmienne klimatyczne z modeli WorldClim nie pozwalają na ich wykorzystanie do badań w skali lokalnej na poziomie krajobrazowym. Christian i in. (2024) w swojej pracy wykazali, że połączenie danych teledetekcyjnych z danymi geoprzestrzennymi dotyczącymi środowiska może wzmocnić model. Jak zauważono jednak, zmienne klimatyczne mogą mieć wpływ tylko w dużej skali przestrzennej, a dane satelitarne poprawiają wówczas poprawność modelu opartego na danych geoprzestrzennych.

Badania dotyczące *A. aristatum* były prowadzone w małej skali, na obszarze dwóch zlewni elementarnych o powierzchni 132 km², z tego względu w modelowaniu pominięto wykorzystanie danych klimatycznych. Atutem danych teledetekcyjnych jest ich globalny zasięg, szczegółowość czasowa i przestrzenna, a szczególnie szerokie zakresy widm, które

pozwalają na zaawansowane zdalne analizy roślin pod kątem ilościowym i jakościowym. Ponadto, są powszechnie dostępne i bezpłatne. Zawierają w sobie pośrednio informacje o pokryciu i użytkowaniu terenu (z dokładnością do 97%), roślinności, wilgotności, poziomie wegetacji (Burdun I. i in. 2023, Chasmer L. i in. 2020, Uuemaa E. i Rautiainen M. 2023, Christiani i in. 2024) Przy mniejszych obszarach badawczych dane w tak szczegółowym zakresie i skali są bardzo przydatne do modelowania.

Wstępnej analizie poddano wynik modelowania dla danych teledetekcyjnych z satelitów Landsat i z Sentinel. Analiza statystyczna wykazała większą efektywność danych z satelity Sentinel. Jego kanały cechują się większymi rozdzielczościami przestrzennymi, dzięki czemu analizy są bardziej dokładne. Do badań wykorzystano dane teledetekcyjne – łącznie 49 szt. zdjęć z okresu 4 lat. Modelowanie najlepszego zdjęcia ze wszystkich poddanych analizie wykazało, że największe znaczenie mają kanały B02, B04 i B11. Kanały te charakteryzują się rozdzielczościami: B02 (blue, zakres spektralny 458–523 nm), B04 (red, 650–680 nm) i B11 (SWIR-Short Wave InfraRed, 1565–1655 nm). Podobne badania z wykorzystaniem kanałów spektralnych satelity Sentinel znajdowało zastosowanie w innych badaniach dotyczących rozprzestrzeniania się roślinności (m. in. Makobe B. i in. 2024, Mori i in. 2024, Preston i in. 2023, Christiani i in. 2024).

AUC mierzy zdolność klasyfikatora do prawidłowego przewidywania danych dotyczących wyłącznie obecności gatunków w porównaniu z brakiem poprzez porównanie rzeczywistych i przewidywanych rozmieszczeń gatunków. Osiągnięte w modelowaniu wysokie wyniki w AUC o wartościach powyżej 0,8 przy zastosowaniu danych treningowych i testowych świadczą o bardzo dokładnym dopasowaniu modelu. Pozwala to dobrze przewidzieć rozkład przestrzenny tomki ościstej na badanych obszarze w badanych latach. Najlepszy wynik osiągnięto w dniu 19.05.2019 r., gdzie AUC wyniosło 0,8474, co wskazuje na bardzo dobrą wydajność modelu, szczególnie dla tego dnia, ale również dla pozostałych modeli wykonanych dla zdjęć wiosennych, gdzie wyniki oscylowały między 0,7927 a 0,8474. Średnia wartość AUC ze wszystkich zdjęć dla okresu wiosennego jako jedyna przekroczyła poziom 0,8 i wyniosła 0,8116. Pozostałe wartości średnie z miesięcy kształtowały się poniżej 0,8. Ponadto wyniku modelowania powstała mapa preferencji siedliskowych, gdzie każde miejsce posiadało swoją wartość AUC (Ryc. 26). Wynikiem dla wszystkich otrzymanych map z wiosny jest zestawienie klas preferencji siedliskowej. Jedną z najmniejszych powierzchni klasy 4 (wysokiej przydatności) charakteryzuje się dzień 19.05.2019 r. z najwyższym wynikiem AUC, co może świadczyć o bardzo szczegółowej, wąskiej i dokładnej skali wyniku (Ryc. 28). Dla wizualizacji wyników przestrzennych

modelowania wszystkie mapy dla dni wiosennych zreklasyfikowano, uśredniając wartości AUC w zakresie pól podstawowych.

Dużą wartością przeprowadzonych badań było wykonanie modelowania na danych rzeczywistych o obecności *A. aristatum* stwierdzonych samodzielnie w trakcie badań terenowych, w przeciwieństwie do rozpowszechnionych badań opierających się na danych z baz występowania gatunków. Wykluczyło to możliwość otrzymania potencjalnie błędnych informacji o występowaniu gatunku, co zaburzyłoby proces modelowania.

Otrzymane modele wykazały zauważalną zmienność preferencji siedliskowych pomiędzy kolejnymi latami, co ma związek z coroczną zmiennością upraw. Statystycznie skuteczność modeli zmienia się także na przestrzeni roku. Najlepsze wyniki uzyskano dla zdjęć wiosennych, gdzie także obserwuje się zmienność klas z uśrednionymi wynikami AUC na przestrzeni miesięcy wiosennych. Może to wskazywać pośrednio na zmienność wynikającą z etapu wegetacji oraz rodzaju upraw. Wiosną na polach znajdują się już wykiełkowane i rosnące zboża ozime, dla których *A. aristatum* jest największym zagrożeniem i gdzie w głównej mierze występuje. Pozostałe tereny przeznaczone pod prace agrotechniczne wykonywane wiosną – m. in. przygotowanie gleby przed siewem czy sadzeniem, w trakcie modelowania mogły znaleźć odzwierciedlenie jako gleby nie okryte przez uprawę lub jako rośliny we wcześniejszej fazie wzrostu w porównaniu do ozimin. W odczycie zdjęć satelitarnych z okresu wiosny różnica pomiędzy rosnącymi oziminami i świeżo wysianymi zbożami jarymi jest widoczna przez kilka miesięcy, co pozytywnie przyczynia się do modelowania na podstawie rodzaju uprawy. Jak ustalono w wyniku przeprowadzonych badań, rodzaj gleby ma coraz mniejsze znaczenie dla występowania *A. aristatum*. Należy tu zaznaczyć, że do modelowania wykorzystano informację o obecności tomki, nie wprowadzono do modelu informacji o jej zagęszczeniu. Tym samym model podaje obszary bardziej lub mniej korzystne dla rośliny, wskazując czy można jej się tam spodziewać czy też nie, bez uwzględniania skali jej obecności.

Analiza lokalizacji *A. aristaum* ze zbadanymi parametrami glebowymi (pH, N, P, K, C) wykazała, że na występowanie rośliny nie wpływa odczyn środowiska glebowego (pH). Może ono mieć znaczenie w kontekście intensywności zjawiska, natomiast nie jest już czynnikiem mogącym wykluczać obecność tomki. Świadczy to o coraz lepszym przystosowaniu się rośliny do różnych warunków siedliska (Drapikowska i in. 2020; Ławniczak i in. 2011).

Obszar badawczy wyznaczono na podstawie powszechnie stosowanych granic zlewni elementarnych, z uwagi na fakt, iż jest to zamknięty obszar obiegu materii i energii, co czyni

je obszarem pełnym i funkcjonalnym . Dotychczas najbardziej powszechne było modelowa w dużej skali, np. globalnej, kontynentalnej, krajowej czy regionalnej. Badania prowadzone w skali najmniejszych jednostek jakimi są zlewnie elementarne są unikatowe.

Parametry glebowe lokalizacji gdzie zaobserwowano występowanie tomki ościstej, utrzymują się głównie w niskich wartościach pH. Są to gleby mało zasobne także w pozostałe składniki pokarmowe. *A. aristatum* preferuje gleby mało zasobne. Jednak zaobserwowano również jej występowanie na glebach lepszych co potwierdzają dane literaturowe (Latowski 2005; Skrajna, Skrzypczyńska 2007). Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że przydatność siedliska dla tomki ościstej na danym obszarze jest stabilna na przestrzeni lat. Pola uprawne o parametrach sprzyjających rozwojowi *A. aristatum* mogą wykazywać w niektórych latach niższe preferencje siedliskowe wynikające z upraw wiosennych, co nie wyklucza intensywnego rozwoju rośliny w latach kolejnych w przypadku upraw jesiennych. Niejednokrotnie, w trakcie badań terenowych obserwowano brak tomki w uprawie ziemniaków czy zbóż jarych, natomiast bardzo intensywnie porastała ona miedze, pobocza dróg w pobliżu tych upraw. Zweryfikowanie tych lokalizacji w latach kolejnych przy zmienionej uprawie *A. aristatum*, pozwoliło wykazać, że pojawiało ono się bardzo licznie intensywnie w uprawach zbóż ozimych. Przyczynia się do tego bank nasion występujący w glebie, który przy sprzyjających warunkach pozwala na kiełkowanie i wzrost rośliny, a należy pamiętać, że ziarna tomki ościstej wykazują zdolności do kiełkowania przez wiele lat (Latowski 2005).

A. aristatum jest silnie konkurencyjnym gatunkiem, wykazując właściwości allelopatyczne w stosunku do siewek innych roślin (Latowski 2005). Podczas badań terenowych obserwowano pola uprawne zdominowane przez roślinę znajdującą się pomiędzy zbożem ozimym. W skrajnej sytuacji w okolicy wsi Powodowo obserwowano nawet brak roślin zbożowych na obszarze kilkudziesięciu metrów kwadratowych, natomiast w pozostałe części uprawy występowała ona jako roślina sąsiadująca.

A. aristatum coraz bardziej rozprzestrzenia się w uprawach stając się chwastem uciążliwym do zwalczania, wymagających dodatkowych zabiegów, niejednorodnie nieopłacalnych z uwagi na niskie plonowanie na słabych glebach. Zauważalne jest jej wkraczanie na nowe siedliska, bardziej zasobne. Dlatego też bardzo ważne jest poznanie jej biologii, oznaczanie preferencji siedliskowych przy zastosowaniu informacji o jej obecności przy wykorzystaniu zdjęć satelitarnych. W przypadku tak intensywnej ekspansji tomki ościstej warta rozważenia może być zmiana wykorzystania terenu. Słabe gleby, gdzie roślina

występuje masowo można przeznaczyć pod uprawę leśną, dzięki której zmniejszone zostanie wykorzystanie herbicydów zwalczających chwasty.

Dalsze analizy otrzymanego modelu wykonano przy wykorzystaniu wyniku dla zdjęcia z dnia 19.05.2019 r., który posiadało najlepsze wyniki AUC, a tym samym otrzymał najlepszą skuteczność. Porównanie go z parametrami glebowymi potwierdziło, że gleba będzie miała coraz mniejszy wpływ na obecność i rozprzestrzenianie się tomki ościstej, co znajduje potwierdzenie we wcześniej przytoczonej literaturze dotyczącej jej poszerzającej się skali ekologicznej.

7. Wnioski

1. *A. aristatum* na obszarze Sandru Nowotomyskiego występuje na siedliskach oligotroficznych.
2. Dostępne dane spektralne z obrazów satelity Sentinel pozwalają na określenie preferencji i przydatności siedliska dla *A. aristatum* na wybranym obszarze z wysoką dokładnością.
3. Możliwe jest określenie najbardziej istotnych kanałów spektralnych dla wyniku modelu, z których kanały B02, B04 i B11 w największym stopniu wpływają na jego skuteczność i efektywność.
4. Najbardziej efektywny model dla *A. aristatum* otrzymuje się przy zastosowaniu danych spektralnych z okresu wiosennego.
5. Wyniki modelowania wskazują, że na obszarze zasięgu wtórnego ekspansja chorologiczna tomki ościstej jest możliwa także poza oligotroficzne siedliska segetalne.

8. Literatura

1. Adamczak A. 2007. *Anthoxanthum aristatum* Boiss. w zbiorowiskach roślinnych odłogów na terenie Poznania. *Acta Botanica Warmiae et Masuriae*. 4:321-332.
2. Affek A. 2016. Dynamika krajobrazu: uwarunkowania i prawidłowości na przykładzie dorzecza Wiary w Karpatach (XVIII–XXI wiek). *Prace Geograficzne*, 251, IGiPZ PAN, Warszawa.
3. Amindin A., Pourghasemi H.R., Safaeian R., Rahmanian S., Tiefenbacher J.P., Naimi B. Predicting Current and Future Habitat Suitability of an Endemic Species Using Data-Fusion Approach: Responses to Climate Change. 2024. *Rangeland Ecology & Management*. Tom 94, s. 149-162.
4. Ansari, M., Ghoddousi, A., 2018. Water availability limits brown bear distribution at the southern edge of its global range. *Ursus* 29(1): 13–24.
5. Błocki K. 2021. Nowe stanowisko *Anthoxanthum aristatum* Boiss. w uprawie zbóż na Pojezierzu Olsztyńskim. *Agra Botanica*. Vol. 54, z 2-2021. S. 141-150.
6. Bogawski P., Damen T., Nowak M., Pędziwiatr K., Wilkin P., Mwachala G., Pierzchalska J., Wiland-Szymańska J. Current and future potential distributions of three *Dracaena* Vand. ex L. species under two contrasting climate change scenarios in Africa. *Ecol Evol*. 2019;9(12):6833–6848.
7. Burdun I, Bechtold M, Aurela M, De Lannoy G, Desai AR, Humphreys E, Kareksela S, Komisarenko V, Liimatainen M, Marttila H, Minkkinen K, Nilsson MB, Ojanen P, Salko S-S, Tuittila E-S, Uuemaa E, Rautiainen M. 2023. Hidden becomes clear: optical remote sensing of vegetation reveals water table dynamics in northern peatlands. *Remote Sens Environ* 296:113736.
8. Burnham, K.P., Anderson, D.R. 1998. *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach*, 2nd edn New York: Springer.
9. Chasmer L., Mahoney C., Millard K., Nelson K., Peters D., Merchant M., Hopkinson C., Brisco B., Niemann O., Montgomery J., Devito K., Cobbaert D. 2020. Remote Sensing of Boreal Wetlands 2: Methods for Evaluating Boreal Wetland Ecosystem State and Drivers of Change. *Remote Sensing*, 12 (8) (2020), p. 1321.
10. Christiani P., Rana P., Räsänen A., Pitkänen T.P, Tolvanen A. 2024. Detecting Spatial Patterns of Peatland Greenhouse Gas Sinks and Sources with Geospatial Environmental and Remote Sensing Data. *Environmental Management* (2024) 74:461.

11. Ciosek M.T., Skrzyczyńska J.Z. 1997. *Anthoxanthum aristatum* (Poaceae) na Nizinie Południowopodlaskiej i w jej sąsiedztwie (Polska). *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 42(2):44–48.
12. Cory Merow, Matthew J. Smith and John A. Silander, Jr. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36: 001–012.
13. Cuddington K., Sobek-Swant S., Drake J., Lee W., Brook M. 2022. Risks of giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*) range increase in North America. *Biological Invasions* (2022) 24:299–314.
14. Drapikowska M. 2013. Variability of *Anthoxanthum* species in Poland in relation to geographical-historical and environmental conditions: isozyme variation. *Biodiversity: Research and Conservation*. 30. 63-93.
15. Drapikowska M., Buczkowska K., Celka Z., Szkudlarz P., Jackowiak B. 2020. Genetic variability of *Anthoxanthum aristatum* Boiss.(Poaceae) at the non-native range limit. *Genet Resour Crop Evol* (2020) 67:163–176.
16. Drapikowska M., Susek K., Hasterok R., Szkudlarz P., Celka Z., Jackowiak B.. 2013. Variability of stomata and 45S and 5S rDNAs loci characteristics in two species of *Anthoxanthum* genus: *A. aristatum* and *A. odoratum* (Poaceae). *Acta biologica Hungarica*. 64. 352-63.
17. Duarte A., Whitlock S. L., Peterson J. T. 2019. Species Distribution Modeling. *Encyclopedia of Ecology*, 2nd edition, Volume 2: 189-198.
18. Elith J., Graham C.H., Valavi R., Abegg M., Bruce C., Ferrier S., Ford A., Guisan A., Hijmans R. J., Huettmann F., Lohmann L., Loiselle B., Moritz C., Overton J., Peterson A.T., Phillips S., Richardson K., Williams S. E., Wiser S. K., Wohlgemuth T., Zimmermann N. E. 2020. Presence-only and Presence-absence Data for Comparing Species Distribution Modeling Methods. *Biodiversity Informatics* 15(2):69-80.
19. Elith J., Phillips S. J., Hastie T., Dudík M., Chee Y. E., Yates C. J. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17(1):43 – 57.
20. Falińska. K. 2012. *Ekologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
21. Faliński J. B. 1972. Synantropizacja szaty roślinnej – próba określenia istoty procesu i głównych kierunków badań. *Phytocoenosis* 1(3): 157-170.
22. Fitzpatrick M. C., Gotelli N. J., Ellison A. M. 2013. MaxEnt versus MaxLike: empirical comparisons with ant species distributions. *Ecosphere* 4(5):1-15.

23. Fitzpatrick, M.C., Gotelli, N.J., Ellison, A.M. 2013. MaxEnt versus MaxLike: Empirical comparisons with ant species distributions. *Ecosphere* 4 (5), 55.
24. Gniazdowska A. 2005. Oddziaływanie allelopatyczne - „nowa broń” roślin inwazyjnych. *Kosmos Problemy Nauk Biologicznych*, 2-3(267-268): 221-226.
25. Jackowiak B. 1999. Modele ekspansji roślin synantropijnych i transgenicznych. *Phytocoenosis* 11 (N.S.), Seminarium Geobotanicum 6: 3-16.
26. Jackowiak B., Chmiel J., Latowski K. 1990. Zbiorowiska segetalne zbóż ozimych Wielkopolski. Cz. I. badania Fizjograficzne nad Polską , ser. B. 40:107-120.
27. Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon B., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska J., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W., Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data, „*Geographia Polonica*” 2018, vol. 91, iss. 2, s.143-170.
28. Kuźniewski E., 1996. Niektóre ekspansywne chwasty segetalne gleb lekkich Opolszczyzny. *Zesz. Nauk. Akad. Tech.-Roln. Bydgoszcz* 196(38), 53–56.
29. Latowski K. 2005. Ekologiczno-biologiczne przyczyny i źródła skłonności inwazyjnej *Anthoxanthum aristatum* Boiss. *Dziennik Botaniki*. 15: 143-152.
30. Ławniczak A. E., Drapikowska M., Celka Z., Szkudlarz P., i Jackowiak B. 2011. Response of *Anthoxanthum odoratum* and *A. aristatum* to different habitat types and nutrient concentrations in soil”, *Fresenius Environmental Bulletin*, t. 20, s. 2465–2474.
31. Mahatara, D., Acharya, A.K., Dhakal, B.P., Sharma, D.K., Ulak, S., Paudel, P., 2021. MaxEnt modelling for habitat suitability of vulnerable tree *Dalbergia latifolia* in Nepal. *Silva Fen.* 55 (4) article id. 10441. 17 pp.
32. Makobe B., Mhangara P., Gidey E., Kganyago M. 2024. Monitoring the invasion of *Campuloclinium macrocephalum* (less) DC plants using a novel MaxEnt and machine learning ensemble in the Cradle Nature Reserve, South Africa. *Environmental Systems Research*. 13:24.
33. Marciniak J., Komisarek J. 2004. Antropogeniczne przekształcenia gleb Pojezierza Poznańskiego na skutek intensywnego ich użytkowania rolniczego. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań.
34. Merow, C., Silander J. 2014. A comparison of Maxlike and Maxent for modeling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 215–225.

35. Merow, C., Smith, M.J. and Silander, J.A. 2013. A Practical Guide to MaxEnt for Modeling Species' Distributions: What It Does, and Why Inputs and Settings Matter. *Ecography*, 36, 1058-1069.
36. Miklaszewska K., Pągowska E. 2007. Problem roślinnych gatunków inwazyjnych w Polsce. *Postępy w ochronie roślin*. 47(1):84-87.
37. Misiewicz J. 1970. Masowe występowanie *Anthoxanthum aristatum* Boiss. w zasiewach żyta ozimego (*Secale sereale* L.). *Kraków. Fragm. Flor. Geobot.* 16: 317-318.
38. Mori N., Yamashita M., Inoue M. 2024. Integration of satellite remote sensing and MaxEnt modeling for improved detection and management of forest pests. *Environmental Monitoring and Assessment*. 196:616.
39. Nielsen Ch., Hartvig P., Kollmann J. 2008. Predicting the distribution of the invasive alien *Heracleum mantegazzianum* at two different spatial scales. *Diversity and Distributions* 14(2):307 – 317.
40. Nowak M., Dziób K., Gogawski P. 2018. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. *European Journal of Ecology*. 2018, 4(2): 56-74.
41. Nowiński M., 1964. Chwasty segetalne wyspy Wolin, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk Wydż. mat.-przyr. Pr. Kom. biol. 22(6): 1-39, Poznań.
42. O'Donnell M.S., Ignizio D.A. 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. Data Ser., 691 (2012), s. 1-10.
43. Pearson, G. R., & Dawson, T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography*, 12, 361–371.
44. Phillips S. 2010. A brief tutorial on Maxent. Exercise, American Museum of Natural History, New York. *Lessons in Conservation*, Vol. 3, 108-135.
45. Phillips S. J., Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31(2):161 – 175.
46. Phillips S., Elith J. 2011. Logistic Methods for Resource Selection Functions and Presence-Only Species Distribution Models.. *Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
47. Pieczul K., Świerczyńska I., Byczkowska K., Drapikowska M. 2022. Preliminary research pn pathogenic fungi colonizing *Anthoxanthum aristatum* Boiss. *Pak. J. Bot.*, 54(4): 1511-1515.

48. Pieczul K., Świerczyńska I., Byczkowska K., Perek A., Drapikowska M. 2018a. First Report of *Fusarium avenaceum* on *Anthoxanthum aristatum* Boiss. in Poland. Plant disease. 103 (1): 156.
49. Pieczul K., Świerczyńska I., Byczkowska K., Perek A., Drapikowska M. 2018b. First Report of *Fusarium cerealis* on *Anthoxanthum aristatum* Boiss. in Poland. Journal of Plant Pathology. 100:601.
50. Preston T., Johnston A., Ebenhoch K., Diehl R. 2023. Beyond presence mapping: predicting fractional cover of non-native vegetation in Sentinel-2 imagery using an ensemble of MaxEnt models. Remote Sensing in Ecology and Conservation. 9.
51. Rakotonirina N., Nowak M., Lowry P., Rakouth H., Rakouth B. 2024. Will Dalbergia species survive climate change? Predicting the potential future distribution of threatened species in Madagascar. Global Ecology and Conservation. 2022. 52.
52. Räsänen A, Tolvanen A, Kareksela S (2022) Monitoring peatland water table depth with optical and radar satellite imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 112:102866.
53. Royle, J.A., Chandler, R.B., Yackulic, C., Nichols, J.D. 2012. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modeling species distributions. Methods in Ecology and Evolution 3, 545–554.
54. Seebens, H., Blackburn, T., Dyer, E. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. Nat Commun 8, 14435.
55. Shen, T., Yu H., Wang, Y.Z. 2021. Assessing the impacts of climate change and habitat suitability on the distribution and quality of medicinal plant using multiple information integration: take *Gentiana rigescens* as an example. Ecol. Indic. 123, 107376.
56. Siciński J. T. 1974. Zbiorowiska segetalne Kotliny Szczercowskiej (Widawskiej). Vol 27, No 2 (1974).
57. Skrajna T, Skrzyczyńska J. 2007. Wybrane cechy biologiczne i występowanie *Anthoxanthum aristatum* Boiss. na Wyżynie Kałuszyskiej. Annales Univrsitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin Polonia 62(2):145–155.
58. Skrzyczyńska J., Skrajna T., Rzymowska Z. 2010. Ekspansja *Anthoxanthum aristatum* Boiss. w uprawach rolniczych na Nizinie Południowopodlaskiej. Fragm. Agron. 27(2): 135–144.
59. Soukopova L., Fratnik T., Jenik J. 2001. Grassrands versus Krummeholz in arctic-alpine tundra of the Giant Mountains. Opera Corcontica 38:67-76.

60. Szafer W., Kulczyński S., Pawłowski B. 1967. Rośliny polskie. s. 1020, PWN, Warszawa.
61. Toffa Y., Idoburnhou R., Fandohan A. B. 2022. Modélisation de la distribution des espèces en Afrique : état de l'art et perspectives - Species distribution modelling in Africa: state of the art and prospects. 17:43-62.
62. Tokarska-Guzik B. 2005. The Establishment and Spread of Alien Plant Species (Kenophytes) in the Flora of Poland. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego 2372, Katowice, s. 1-192.
63. Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Urbisz A., Zajac M., Danielewicz W. 2011. Identyfikacja i kategoryzacja roślin obcego pochodzenia jako podstawa działań praktycznych. Acta Botanica Silesiaca 6: 23-53.
64. Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zajac M., Zajac A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz. 2012. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. s. 1-197. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
65. Urbisz A. 2008. Różnorodność i rozmieszczenie roślin naczyniowych jako podstawa regionalizacji geobotanicznej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
66. Warcholińska A. U., Siciński J. T 1996. Ekspansja *Anthoxanthum aristatum* Boiss, w środkowej Polsce. Zesz. Nauk. AT-R, Bydgoszcz 196: 183-191.
67. West A. M., Kumar S., Brown C. S., Stohlgren T. J., Bromberg J. 2016. Field validation of an invasive species MaxEnt model. Ecological Informatics Volume 36: 126-134.
68. Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A., Snyder, M. A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(Suppl. 2), 19729–19736.
69. Woziwoda B. 2010. Różnorodność gatunkowa flory roślin naczyniowych w różnowiekowych lasach na gruntach porolnych na przykładzie traw. Studia i Materiały CEPL w Rogowie R. 12. Zeszyt 2 (25) / 2010.
70. Yan, H.Y., He J., Zhao, Y.F., Zhang, L., Zhu, C.P., Wu, D., 2020. *Gentiana macrophylla* response to climate change and vulnerability evaluation in China. Glob. Ecol. Conserv. 22, 12 pp.

71. Zhang, J., Jiang, F., Li, G., Qin, W., Li, S., Gao, H., Cai, Z., Lin, G., Zhang, T., 2019. MaxEnt modeling for predicting the spatial distribution of three raptors in the Sanjiangyuan National Park, China. *Ecol. and Ev.* 9 (11), 6643-6654.
72. Żukowski W., Latowski K., Jackowiak B., Chmiel J. 1995. Rośliny naczyniowe Wielkopolskiego Parku Narodowego *Prace Zakł. Taksonomii Roślin UAM*, Poznań 229.

9. Źródła internetowe

1. <https://www.gbif.org>, data dostępu: 23.02.2024 r.
2. <https://siedlec.pl/index.php>, data dostępu: 07.10.2024 r.
3. <https://earthexplorer.usgs.gov/>, data dostępu: 06.04.2019, 09.01.2020, 29.02.2020 r.

10. Akty prawne

1. Ustawa z dnia 11 sierpnia 2021 r. o gatunkach obcych (Dz. U. z 2013, poz. 1589 t.j.).
2. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 1143/2014 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych (Dz. Urz. UE L 317 z 04.11.2014, str. 35, z późn. zm.).

11. Spis Tabel

Tab. 1. Średnie wartości statystyczne dla analizowanych sezonów	38
Tab. 2. Średnie wartości statystyczne dla miesięcy wiosennych	38
Tab. 3. Wpływ zmiennych na wynik modelu (Permutation importance).....	39
Tab. 4. Udział powierzchniowy klas w czterech przedziałach zdjęć wiosennych [km ²]	48
Tab. 5. Korelacja porządku rang Spearmana (korelacje są istotne z $p < 0,500$, w tabeli oznaczone *).....	59

12. Spis Rysunków

Ryc. 1. Wykres liczby stanowisk <i>A. aristatum</i> w czasie w Polsce (źródło: https://www.gbif.org/ , data dostępu 23.02.2024 r.).....	11
Ryc. 2. Wykres liczby stanowisk <i>A. aristatum</i> w czasie w Europie (źródło: https://www.gbif.org/ , data dostępu 23.02.2024 r.).....	12
Ryc. 3. Rozprzestrzenianie się <i>A. aristatum</i> na terenie Polski. (Tokarska-Guzik 2005).....	12
Ryc. 4. Ilustracja kolejnych elementów w opracowywaniu modeli rozmieszczenia gatunków (Duarte i in. 2019)	15
Ryc. 5. Lokalizacja obszaru badań	21
Ryc. 6. Bory sosnowe na terenach Sandru Nowotomyskiego	22
Ryc. 7. Teren badań na podkładzie ortofotomapy satelitarnej	23
Ryc. 8. Obszar wybranych zlewni podzielony pola podstawowe 500 x 500 metrów wraz z zaznaczeniem pól zbadanych.....	24
Ryc. 9. Lokalizacja punktów poboru prób (A) Lokalizacja punktów poboru prób ze stwierdzeniem występowania <i>A. aristatum</i> (B).....	25
Ryc. 10. <i>A. aristatum</i> na badanym obszarze.....	27
Ryc. 11. Miejsce największej ekspansji <i>A. aristatum</i> w uprawie w okolicach wsi Powodowo	28
Ryc. 12. Porównanie AUC testowego i treningowego satelitów Sentinel 2 i Landsat 8.....	29
Ryc. 13. Porównanie AUC testowego i treningowego z podziałem na sezony (winter – zima, spring – wiosna, summer – lato, autumn – jesień)	30
Ryc. 14. Porównanie AUC testowego i treningowego z podziałem na miesiące wiosenne (3 – marzec, 4 – kwiecień, 5 – maj).....	30
Ryc. 15. Porównanie wartości AUC treningowego i testowego pomiędzy zdjęciami z wiosny 2016-2019. (1 – 17.03.2016, 2 – 27.03.2016, 3 – 01.04.2017, 4 – 25.03.2018, 5 – 06.04.2018, 6 – 19.04.2018, 7 – 21.04.2018, 8 – 04.05.2018, 9 – 06.05.2018, 10 – 26.05.2018, 11 – 29.05.2018, 12 – 01.04.2019, 13 – 04.04.2019, 14 – 19.04.2019, 15 – 19.05.2019).....	31
Ryc. 16. Treningowe i testowe AUC dla wszystkich zdjęć w latach 2016-2019.....	34
Ryc. 17. Treningowe i testowe AUC dla wszystkich zdjęć 2016-2019 w okresie wiosennym	35
Ryc. 18. Zestawienie wyników AUC dla zdjęć z okresu wiosennego	37
Ryc. 19. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia treningowego dla dnia 19.05.2019 ..	40

Ryc. 20. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia testowego dla dnia 19.05.2019.....	40
Ryc. 21. Wyniki analizy Jackknife dla AUC	41
Ryc. 22. Rozkład wartości pH w próbach glebowych.....	42
Ryc. 23. Rozkład wartości pH, zawartości azotu, potasu i fosforu w próbach glebowych.	43
Ryc. 24. Rozkład zawartości węgla w próbach glebowych	44
Ryc. 25. Graficzny obraz rozrzutu zmiennych N, P, K, C, pH i konduktywności (strzałki), przeanalizowanych na stanowiskach <i>A. aristatum</i> (kropki), w układzie dwóch pierwszych składowych głównych	45
Ryc. 26. Preferencje siedliskowe z wartościami surowymi AUC przed reklasyfikacją dla dnia 19.05.2019 r.	46
Ryc. 27. Mapa preferencji siedliska po reklasyfikacji na 4 klasy dla dnia 19.05.2019 r. ...	47
Ryc. 28. Udział procentowy klas w czterech przedziałach zdjęć wiosennych (1 – brak, 2 – niska, 3 – umiarkowana, 4 – wysoka preferencja siedliskowa).....	49
Ryc. 29.d. Zmienność preferencji siedliska z okresu wiosennego w ujęciu przestrzennym w modelach w latach 2016-2019	53
Ryc. 30.d. Wizualizacja kartograficzna map z 15 wiosennych dni (lata 2016-2019) z uśrednionym parametrem AUC w polu podstawowym.....	58

13. Streszczenie

Zrozumienie procesu inwazji biologicznej jest niezbędne do podejmowania działań w celu ochrony przed nadmiernym rozprzestrzenianiem się gatunku. Jednym z nich jest Tomka oścista *A. aristatum* Boiss. pochodząca z obszarów Europy atlantycko-śródziemnomorskiej oraz Afryki północno-zachodniej i rozprzestrzeniająca się w całej Europie na coraz większą skalę. Wykazuje się zmiennością genetyczną pozwalającą na przystosowanie się do innych siedlisk, co w połączeniu z jej masowym wkraczaniem do Polski powoduje coraz większe zagrożenie dla upraw. Celem niniejszych badań było sprawdzenie preferencji siedliskowych i prawdopodobieństwa inwazji tomki ościstej *A. aristatum* Boiss. przy zastosowaniu zarówno konwencjonalnych metod badań siedliskowych, jak i stosując modelowanie predyktywne rozmieszczenia gatunków oparte o teorię maksymalnej entropii. Do modelowania zastosowano dane o obecności gatunku wraz z warstwami zmiennych środowiskowych opartych o multispektralne obrazy satelitarne. Teren badań został wyznaczony przez granice dwóch zlewni elementarnych: Szarka od Jastrzębskiego Rowu do ujścia oraz Rów Grabarski o powierzchni 132 km², gdzie rozciągają się obszary głównie borów sosnowych i niezbyt żyznych pól. Teren podzielono na pola podstawowe o wymiarach 500 x 500 m. W ciągu 4-letnich (2016-2019) prac terenowych zbadano 323 pola podstawowe, gdzie pobrano informacje o 233 lokalizacjach tomki ościstej spośród 759 zbadanych miejsc. Pobrano również 203 próby glebowe i zbadano pH oraz zawartość N, P, K i C. Niniejsze badania wykazały, że na obszarze Sandru Nowotomyskiego stanowiska *A. aristaum* występują głównie na glebach oligotroficznych. Ponadto stwierdzono, że na podstawie dostępnych danych spektralnych z obrazów satelity Sentinel 2, można w wysoką dokładnością określić preferencje i przydatność siedliska dla *A. aristatum* na wybranym obszarze. Określono również najbardziej istotne kanały spektralne dla wyniku modelu: kanały B02 (blue, zakres spektralny 458–523 nm), B04 (red, 650–680 nm) i B11 (SWIR-Short Wave InfraRed, 1565–1655 nm), które w największym stopniu wpływają na jego skuteczność i efektywność. Kolejno stwierdzono, że najbardziej efektywne modele dla *A. aristatum* otrzymuje się przy zastosowaniu danych spektralnych z okresu wiosennego. Wyniki modelowania wskazują, że na obszarze zasięgu wtórnego ekspansja *A. aristatum* jest możliwa także poza oligotroficzne siedliska segetalne. Należy podkreślić, że są to pierwsze badania nad inwazją tego gatunku przy użyciu wybranego modelu i w skali krajobrazowej.

14. Summary

Understanding the process of biological invasion is essential for taking action to protect against excessive spread of the species. One of them is the *A. aristatum* Boiss., native to the Atlantic-Mediterranean areas of Europe and north-west Africa and spreading throughout Europe on an increasingly large scale. This species shows genetic variability allowing it to adapt to other habitats, which, combined with its mass invasion into Poland, causes an increasing threat to crops. The aim of this study was to examine the habitat preferences and the probability of invasion of the *A. aristatum* Boiss. using both conventional methods of habitat studies and using predictive modeling of species distribution based on the maximum entropy theory. Data on the presence of the species together with layers of environmental variables based on multispectral satellite images were used for modeling. The study area was marked by the boundaries of two elementary catchments: Szarka from Jastrzębski Rów to the mouth and Rów Grabarski with an area of 132 km², where areas of mainly pine forests and not very fertile fields extend. The area was divided into basic fields with dimensions of 500 x 500 m. During 4 years (2016-2019) of field work, 323 basic fields were examined, where information on 233 locations of the *A. aristatum* was collected from 759 examined locations. 203 soil samples were also collected and pH and N, P, K and C content were examined. This study showed that in the area of Sandr Nowotomyski, *A. aristaum* sites occur mainly on oligotrophic soils. Moreover, it was found that on the basis of available spectral data from Sentinel 2 satellite images, it is possible to determine with high accuracy the preferences and suitability of the habitat for *A. aristatum* in the selected area. The most important spectral channels for the model output were also determined: channels B02 (blue, spectral range 458–523 nm), B04 (red, 650–680 nm) and B11 (SWIR-Short Wave InfraRed, 1565–1655 nm), which have the greatest impact on its effectiveness and efficiency. It was found that the most effective models for *A. aristatum* are obtained using spectral data from the spring period. The modeling results indicate that in the secondary range area, the expansion of *A. aristatum* is also possible beyond oligotrophic segetal habitats. It should be emphasized that these are the first studies on the invasion of this species using the selected model and at a landscape scale.

15. Supplement

Tabela 1. Wyniki badań glebowych	81
Tabela 2. Wyniki treningowego i testowego AUC dla wszystkich zdjęć 2016-2019	87
Tabela 3. Wyniki treningowego i testowego AUC dla wszystkich zdjęć 2016-2019 w okresie wiosennym.....	88
Tabela 4. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia treningowego dla dnia 19.05.2019	89
Tabela 5. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia testowego dla dnia 19.05.2019	90
Tabela 6. Wyniki analizy Jackknife dla AUC dla 19.05.2019	91
Tabela 7. Udział procentowy klas w czterech przedziałach zdjęć wiosennych [%]	92
Tabela 8. Wyniki badań glebowych wraz z wartościami AUC pól podstawowych mapy z dnia 19.05.2019 r.....	93

Tabela 1. Wyniki badań glebowych

Numer próby	Lokalizacja		pH	Konduktywność	N	K ₂ O	K	P ₂ O ₅	P	C	próchnica
	N	E		[mS/cm]	[%]	[mg/100g gleby]	[mg/100g gleby]	[mg/100g gleby]	[mg/100g gleby]	[%]	[%]
1	52.20669	16.07728	3.93	0.015	0.066	0.50	0.42	16.10	7.02	0.521	0.889
2	52.21089	16.02747	4.34	0.021	0.151	9.30	7.72	11.93	5.20	1.929	3.331
3	52.21200	16.02694	3.69	0.029	0.095	4.60	3.82	10.02	4.37	1.200	2.111
4	52.18300	16.02294	4.35	0.015	0.076	4.50	3.74	9.12	3.98	0.754	1.300
5	52.18144	16.01925	3.67	0.043	0.124	12.30	10.21	8.56	3.73	1.231	2.121
6	52.22322	15.97656	4.19	0.018	0.097	6.10	5.06	7.05	3.07	1.119	1.929
7	52.22386	15.97928	4.06	0.015	0.106	0.40	0.33	4.61	2.01	1.136	1.958
8	52.14747	16.01275	5.94	0.026	0.116	5.00	4.15	8.24	3.59	0.701	1.211
9	52.16097	16.01597	4.04	0.040	0.076	18.40	15.27	19.75	8.61	1.036	1.786
10	52.16142	16.01561	5.99	0.025	0.111	4.80	3.98	8.66	3.78	0.725	1.251
11	52.16181	16.01542	4.51	0.054	0.09	8.60	7.14	19.23	8.38	0.954	1.644
12	52.16283	16.01456	5.41	0.089	0.099	9.00	7.47	17.26	7.53	1.035	1.784
13	52.16825	16.02028	5.95	0.019	0.04	2.70	2.24	12.33	5.38	0.176	0.303
14	52.15478	15.94719	4.89	0.049	0.101	11.30	9.38	9.97	4.35	0.904	1.558
15	52.14747	15.95372	4.10	0.045	0.087	10.40	8.63	10.08	4.39	0.578	0.996
16	52.14008	15.96947	4.15	0.102	0.116	14.20	11.79	27.85	12.14	0.796	1.371
17	52.13400	15.98272	3.99	0.054	0.109	4.80	3.98	10.28	4.48	0.837	1.442
18	52.20978	15.99347	6.23	0.056	0.073	7.70	6.39	18.95	8.26	0.778	1.341
19	52.16603	16.01242	6.12	0.051	0.111	13.60	11.29	9.95	4.34	0.915	1.581
20	52.16408	16.01369	4.97	0.042	0.078	8.90	7.39	14.45	6.30	0.721	1.237

21	52.16369	16.01389	5.03	0.060	0.066	13.80	11.45	14.27	6.22	0.693	1.194
22	52.16181	16.01539	4.33	0.037	0.075	7.20	5.98	11.07	4.83	0.754	1.299
23	52.15772	15.92558	6.99	0.101	0.101	17.10	14.19	23.46	10.23	0.861	1.484
24	52.15700	15.92725	4.70	0.077	0.096	16.30	13.53	12.23	5.33	0.719	1.241
25	52.15664	15.92836	3.48	0.069	0.087	6.90	5.73	19.89	8.67	0.857	1.477
26	52.15631	15.92897	3.81	0.058	0.093	8.20	6.81	18.56	8.09	0.761	1.313
27	52.15581	15.93033	4.41	0.014	0.082	4.80	3.98	14.53	6.34	0.765	1.321
28	52.15458	15.93067	4.54	0.059	0.125	12.40	10.29	11.50	5.01	1.192	2.054
29	52.15358	15.93072	3.76	0.060	0.182	11.60	9.63	6.56	2.86	2.270	3.914
30	52.15225	15.93053	5.56	0.052	0.107	21.30	17.68	9.96	4.34	1.008	1.738
31	52.15022	15.93047	3.93	0.041	0.105	4.60	3.82	17.96	7.83	1.128	1.945
32	52.15556	15.93106	4.91	0.047	0.099	7.00	5.81	17.58	7.66	0.981	1.689
33	52.15108	15.94250	3.71	0.026	0.094	8.90	7.39	20.37	8.88	0.867	1.495
34	52.12251	16.03252	3.91	0.035	0.058	2.76	2.29	12.64	5.51	0.658	1.134
35	52.12194	16.03226	3.75	0.033	0.036	1.95	1.62	16.56	7.22	0.669	1.136
36	52.12345	16.04959	3.87	0.032	0.037	2.27	1.88	10.45	4.56	0.511	0.881
37	52.11071	16.04907	3.61	0.091	0.05	2.27	1.88	20.13	8.78	0.702	1.210
38	52.10654	16.04842	3.89	0.035	0.075	4.29	3.56	13.70	5.97	1.036	1.786
39	52.10690	16.05144	5.36	0.054	0.078	6.51	5.40	10.46	4.56	1.308	2.266
40	52.10724	16.05228	4.18	0.038	0.064	5.19	4.31	10.70	4.67	0.903	1.556
41	52.10446	16.04652	4.10	0.036	0.083	3.71	3.08	8.35	3.64	1.160	2.000
42	52.10308	16.03827	5.43	0.041	0.055	5.93	4.92	10.65	4.64	0.740	1.276
43	52.10298	16.03724	4.22	0.033	0.069	4.87	4.04	11.54	5.03	0.780	1.345
44	52.10932	16.03633	4.54	0.068	0.081	4.47	3.71	12.48	5.44	1.080	1.862
45	52.10936	16.03633	4.10	0.033	0.064	3.49	2.90	6.43	2.80	1.150	1.983

46	52.11058	16.02743	4.93	0.082	0.081	6.58	5.46	21.48	9.37	1.275	2.198
47	52.11161	16.02889	4.55	0.038	0.085	4.17	3.46	10.00	4.36	1.380	2.379
48	52.11041	16.03137	4.16	0.039	0.059	12.94	10.74	17.03	7.43	0.730	1.259
49	52.11217	16.02971	4.58	0.044	0.084	12.78	10.61	9.97	4.35	1.230	2.121
50	52.11230	16.02996	3.96	0.034	0.081	5.19	4.31	13.74	5.99	0.823	1.418
51	52.11480	16.02368	3.73	0.061	0.085	2.27	1.88	15.50	6.76	1.055	1.819
52	52.11509	16.02116	4.44	0.065	0.121	3.18	2.64	11.32	4.94	1.420	2.448
53	52.11631	16.01492	5.72	0.052	0.067	6.63	5.50	12.49	5.45	0.895	1.543
54	52.11307	16.01582	3.76	0.035	0.074	2.35	1.95	14.39	6.27	1.060	1.828
55	52.09780	16.03772	3.96	0.048	0.07	3.58	2.97	17.28	7.53	0.920	1.587
56	52.09586	16.04667	4.02	0.033	0.059	5.50	4.57	11.35	4.95	0.765	1.319
57	52.09481	16.02722	4.09	0.038	0.085	3.29	2.73	16.92	7.38	1.305	2.250
58	52.09615	16.02504	3.76	0.048	0.102	5.24	4.35	12.39	5.40	1.545	2.664
59	52.09701	16.02340	4.02	0.048	0.121	9.12	7.57	13.07	5.70	1.505	2.595
60	52.10202	16.01906	3.88	0.070	0.085	8.99	7.46	11.93	5.20	1.325	2.285
61	52.10500	16.02333	5.17	0.351	0.106	56.80	47.14	13.38	5.83	1.048	1.811
62	52.09350	16.03399	4.11	0.023	0.063	1.41	1.17	11.33	4.94	0.644	1.109
63	52.09190	16.02878	5.08	0.043	0.063	7.78	6.46	15.92	6.94	0.887	1.531
64	52.08898	16.03007	4.09	0.046	0.083	12.12	10.06	17.98	7.84	0.644	1.109
65	52.10820	16.00902	3.85	0.050	0.121	1.30	1.08	15.81	6.89	1.418	2.443
66	52.10991	16.01417	6.12	0.051	0.136	4.62	3.83	15.49	6.75	1.531	2.639
67	52.12137	16.01085	5.12	0.051	0.035	4.79	3.98	8.57	3.74	0.572	0.996
68	52.11249	16.00706	5.44	0.046	0.093	5.77	4.79	9.91	4.32	2.890	4.982
69	52.11318	16.00228	6.06	0.049	0.111	6.68	5.54	18.89	8.24	1.575	2.715
70	52.10603	15.93637	4.15	0.032	0.067	3.58	2.97	12.52	5.46	0.890	1.534

71	52.11188	15.93807	4.48	0.054	0.062	5.45	4.52	17.33	7.56	0.755	1.302
72	52.13504	15.95080	5.27	0.035	0.065	7.42	6.16	11.41	4.97	0.974	1.689
73	52.13856	15.95041	4.01	0.099	0.111	16.72	13.88	18.63	8.12	1.283	2.211
74	52.13919	15.95038	4.02	0.121	0.135	4.88	4.05	12.87	5.61	1.411	2.432
75	52.14222	15.95026	3.82	0.042	0.082	5.38	4.47	6.81	2.97	0.979	1.687
76	52.14557	15.95114	3.62	0.048	0.062	1.44	1.20	11.95	5.21	0.703	1.212
77	52.14849	15.94962	5.30	0.019	0.078	50.40	41.83	16.94	7.39	0.851	1.458
78	52.15036	15.94468	4.12	0.035	0.058	8.98	7.45	14.04	6.12	0.713	1.228
79	52.15195	15.94250	4.58	0.061	0.06	11.19	9.29	12.13	5.29	0.637	1.097
80	52.13125	16.02094	4.33	0.040	0.062	2.26	1.88	12.10	5.28	0.779	1.343
81	52.13005	16.00851	4.32	0.067	0.074	61.00	50.63	14.31	6.24	1.021	1.761
82	52.14415	16.05883	4.75	0.109	0.085	17.99	14.93	11.40	4.97	1.036	1.785
83	52.14011	16.06425	3.99	0.044	0.062	7.25	6.02	12.91	5.63	0.737	1.271
84	52.13755	16.06793	5.49	0.085	0.099	35.50	29.47	7.14	3.11	1.050	1.811
85	52.13355	16.06343	4.32	0.056	0.083	5.95	4.94	13.36	5.82	1.066	1.837
86	52.15347	16.06971	4.31	0.093	0.071	9.43	7.83	15.49	6.75	0.859	1.463
87	52.17251	16.06536	7.35	0.107	0.102	8.32	6.91	18.22	7.94	1.050	1.810
88	52.16960	16.06718	7.16	0.072	0.123	6.17	5.12	18.13	7.90	1.330	2.293
89	52.17946	16.05812	6.58	0.085	0.098	7.27	6.03	14.70	6.41	1.000	1.724
90	52.19879	16.05071	7.30	0.079	0.111	13.32	11.06	18.15	7.91	1.141	1.968
91	52.19936	16.05514	3.81	0.057	0.057	2.46	2.04	12.46	5.43	0.687	1.184
92	52.18922	16.03899	5.27	0.077	0.121	18.25	15.15	13.81	6.02	1.040	1.794
93	52.14337	15.98427	7.84	0.115	0.081	10.11	8.39	18.01	7.85	0.707	1.221
94	52.15082	15.94243	4.05	0.029	0.072	6.22	5.16	9.88	4.31	0.687	1.184
95	52.14826	15.94175	3.77	0.036	0.074	3.03	2.51	12.47	5.44	0.646	1.114

96	52.13631	15.95008	3.61	0.032	0.064	11.19	9.29	8.83	3.85	0.949	1.641
97	52.13621	15.95230	4.09	0.184	0.048	4.65	3.86	8.12	3.54	0.491	0.845
98	52.19255	16.00222	4.24	0.034	0.061	10.84	9.00	12.71	5.54	0.498	0.869
99	52.20869	15.98152	6.18	0.055	0.083	10.82	8.98	12.12	5.28	0.799	1.361
100	52.20743	15.98497	5.61	0.030	0.055	4.72	3.92	11.32	4.94	0.512	0.883
101	52.20963	15.99332	5.55	0.043	0.081	9.36	7.77	8.91	3.88	0.794	1.369
102	52.21857	15.97650	6.97	0.054	0.096	10.91	9.06	15.78	6.88	0.889	1.515
103	52.21922	15.98191	4.89	0.025	0.057	3.14	2.61	7.12	3.10	0.479	0.837
104	52.22368	15.98033	3.87	0.020	0.051	2.96	2.46	10.01	4.36	0.412	0.710
105	52.18774	16.06088	5.46	0.041	0.092	21.46	17.81	11.21	4.89	0.679	1.171
106	52.18987	16.06963	7.02	0.078	0.152	12.17	10.10	9.09	3.96	1.261	2.174
107	52.19289	16.07494	4.42	0.028	0.098	6.20	5.15	9.70	4.23	0.926	1.597
108	52.19257	16.07039	4.22	0.022	0.06	6.52	5.41	10.56	4.60	0.194	0.334
109	52.19471	16.06930	3.85	0.041	0.123	10.77	8.94	9.81	4.28	0.868	1.497
110	52.19805	16.06884	5.57	0.040	0.095	10.89	9.04	13.73	5.99	0.582	1.003
111	52.20115	16.06838	4.02	0.023	0.094	5.76	4.78	9.12	3.98	0.752	1.296
112	52.20142	16.07235	4.40	0.020	0.053	9.56	7.93	8.69	3.79	0.194	0.335
113	52.11360	16.04216	3.43	0.065	0.114	4.61	3.83	16.75	7.30	1.442	2.486
114	52.11071	16.04534	3.86	0.043	0.085	3.21	2.66	14.44	6.30	1.491	2.568
115	52.10316	16.04585	3.78	0.066	0.089	9.24	7.67	14.01	6.11	1.003	1.731
116	52.09834	16.04404	3.91	0.022	0.04	3.45	2.86	9.90	4.32	0.564	0.971
117	52.16243	15.91266	7.30	0.128	0.085	19.43	16.13	15.19	6.62	1.394	2.404
118	52.16531	15.90489	3.76	0.040	0.074	9.82	8.15	14.29	6.23	0.480	0.828
119	52.16328	16.03278	4.09	0.040	0.056	10.05	8.34	6.78	2.96	0.784	1.351
120	52.16697	16.04342	6.27	0.069	0.062	19.85	16.48	7.14	3.11	0.721	1.237

121	52.13211	16.00595	3.91	0.056	0.034	11.48	9.53	8.26	3.60	0.822	1.417
122	52.11344	16.00028	4.33	0.043	0.058	11.18	9.28	9.24	4.03	1.191	2.053
123	52.13582	15.99234	3.88	0.028	0.032	2.75	2.28	8.22	3.58	0.671	1.157
124	52.13460	15.97293	3.61	0.039	0.059	5.89	4.89	9.04	3.94	1.077	1.857
125	52.14419	16.00587	7.60	0.142	0.064	61.80	51.29	18.23	7.95	1.426	2.469
126	52.15669	15.91917	4.17	0.095	0.056	16.20	13.45	9.84	4.29	0.720	1.242
127	52.16537	15.99968	6.04	0.071	0.053	10.95	9.09	14.71	6.41	0.999	1.723
128	52.20921	16.02966	3.89	0.041	0.058	16.95	14.07	11.54	5.03	0.880	1.517

Tabela 2. Wyniki treningowego i testowego AUC dla wszystkich zdjęć 2016-2019

Data	17.03.2016	27.03.2016	26.09.2016	12.11.2016	05.12.2016	11.01.2017	10.02.2017	01.04.2017	03.06.2017	30.07.2017
Training AUC	0.8336	0.8268	0.8302	0.7821	0.8247	0.7843	0.7867	0.8491	0.8483	0.8249
Test AUC	0.8066	0.7981	0.7961	0.7423	0.8047	0.7503	0.7547	0.8219	0.8278	0.8013
Data	29.08.2017	28.09.2017	01.10.2017	16.10.2017	05.11.2017	10.12.2017	09.01.2018	25.03.2018	06.04.2018	19.04.2018
Training AUC	0.7985	0.8393	0.8526	0.8360	0.7724	0.7464	0.7832	0.8252	0.8301	0.8347
Test AUC	0.7491	0.8071	0.8237	0.8101	0.7488	0.7116	0.7546	0.7966	0.8005	0.8107
Data	21.04.2018	04.05.2018	06.05.2018	26.05.2018	29.05.2018	08.06.2018	03.07.2018	15.07.2018	20.07.2018	04.08.2018
Training AUC	0.8171	0.8345	0.8447	0.8297	0.8271	0.8103	0.8274	0.8176	0.8347	0.824
Test AUC	0.7927	0.8087	0.822	0.8073	0.8034	0.7859	0.7934	0.7872	0.8041	0.7962
Data	07.08.2018	19.08.2018	22.08.2018	18.09.2018	16.10.2018	31.10.2018	07.11.2018	17.11.2018	19.01.2019	08.02.2019
Training AUC	0.8207	0.8209	0.8064	0.8054	0.844	0.8026	0.8123	0.7573	0.7678	0.8183
Test AUC	0.7843	0.79	0.7699	0.767	0.8193	0.7692	0.7833	0.7184	0.7356	0.7907
Data	15.02.2019	18.02.2019	28.02.2019	01.04.2019	04.04.2019	19.04.2019	19.04.2019	27.08.2019	29.08.2019	
Training AUC	0.8302	0.837	0.8236	0.8402	0.8433	0.8398	0.8604	0.8106	0.8159	
Test AUC	0.8008	0.8124	0.7924	0.8145	0.8195	0.8239	0.8474	0.7725	0.7792	

Tabela 3. Wyniki treningowego i testowego AUC dla wszystkich zdjęć 2016-2019 w okresie wiosennym

Data	17.03.2016	27.03.2016	01.04.2017	25.03.2018	06.04.2018	19.04.2018	21.04.2018	04.05.2018
Training AUC	0.8336	0.8268	0.8491	0.8252	0.8301	0.8347	0.8171	0.8345
Test AUC	0.8066	0.7981	0.8219	0.7966	0.8005	0.8107	0.7927	0.8087
Data	06.05.2018	26.05.2018	29.05.2018	01.04.2019	04.04.2019	19.04.2019	19.05.2019	
Training AUC	0.8447	0.8297	0.8271	0.8402	0.8433	0.8398	0.8604	
Test AUC	0.8220	0.8073	0.8034	0.8145	0.8195	0.8239	0.8474	

Wyniki modelowania w MaxEnt dla dnia 19.05.2019.

Tabela 4. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia treningowego dla dnia 19.05.2019

Parametr	AUC
Training gain without asc_20190519_b02_jp2	0.8514
Training gain without asc_20190519_b03_jp2	0.8506
Training gain without asc_20190519_b04_jp2	0.8159
Training gain without asc_20190519_b05_jp2	0.8550
Training gain without asc_20190519_b06_jp2	0.8449
Training gain without asc_20190519_b07_jp2	0.8478
Training gain without asc_20190519_b08_jp2	0.8443
Training gain without asc_20190519_b11_jp2	0.8199
Training gain without asc_20190519_b12_jp2	0.8463
Training gain without asc_20190519_b8a_jp2	0.8552
Training gain with only asc_20190519_b02_jp2	0.5245
Training gain with only asc_20190519_b03_jp2	0.3828
Training gain with only asc_20190519_b04_jp2	0.5074
Training gain with only asc_20190519_b05_jp2	0.3165
Training gain with only asc_20190519_b06_jp2	0.2652
Training gain with only asc_20190519_b07_jp2	0.3432
Training gain with only asc_20190519_b08_jp2	0.2896
Training gain with only asc_20190519_b11_jp2	0.3200
Training gain with only asc_20190519_b12_jp2	0.4178
Training gain with only asc_20190519_b8a_jp2	0.3198

Tabela 5. Wyniki analizy Jackknife dla wzmocnienia testowego dla dnia 19.05.2019

Parametr	AUC
Test gain without asc_20190519_b02_jp2	0.8875
Test gain without asc_20190519_b03_jp2	0.8817
Test gain without asc_20190519_b04_jp2	0.8392
Test gain without asc_20190519_b05_jp2	0.8937
Test gain without asc_20190519_b06_jp2	0.8626
Test gain without asc_20190519_b07_jp2	0.8720
Test gain without asc_20190519_b08_jp2	0.8763
Test gain without asc_20190519_b11_jp2	0.8489
Test gain without asc_20190519_b12_jp2	0.8851
Test gain without asc_20190519_b8a_jp2	0.8882
Test gain with only asc_20190519_b02_jp2	0.5542
Test gain with only asc_20190519_b03_jp2	0.4029
Test gain with only asc_20190519_b04_jp2	0.5405
Test gain with only asc_20190519_b05_jp2	0.3420
Test gain with only asc_20190519_b06_jp2	0.2780
Test gain with only asc_20190519_b07_jp2	0.3570
Test gain with only asc_20190519_b08_jp2	0.3036
Test gain with only asc_20190519_b11_jp2	0.3324
Test gain with only asc_20190519_b12_jp2	0.4345
Test gain with only asc_20190519_b8a_jp2	0.3343

Tabela 6. Wyniki analizy Jackknife dla AUC dla 19.05.2019

Parametr	AUC
AUC without asc_20190519_b02_jp2	0.8479
AUC without asc_20190519_b03_jp2	0.8468
AUC without asc_20190519_b04_jp2	0.8408
AUC without asc_20190519_b05_jp2	0.8484
AUC without asc_20190519_b06_jp2	0.8444
AUC without asc_20190519_b07_jp2	0.8449
AUC without asc_20190519_b08_jp2	0.8458
AUC without asc_20190519_b11_jp2	0.8421
AUC without asc_20190519_b12_jp2	0.8470
AUC without asc_20190519_b8a_jp2	0.8476
AUC with only asc_20190519_b02_jp2	0.7874
AUC with only asc_20190519_b03_jp2	0.7496
AUC with only asc_20190519_b04_jp2	0.7835
AUC with only asc_20190519_b05_jp2	0.7241
AUC with only asc_20190519_b06_jp2	0.6774
AUC with only asc_20190519_b07_jp2	0.7230
AUC with only asc_20190519_b08_jp2	0.7094
AUC with only asc_20190519_b11_jp2	0.7131
AUC with only asc_20190519_b12_jp2	0.7584
AUC with only asc_20190519_b8a_jp2	0.7199

Tabela 7. Udział procentowy klas w czterech przedziałach zdjęć wiosennych [%]

Data	Klasa preferencji			
	1 (brak)	2 (niska)	3 (umiarkowana)	4 (wysoka)
17.03.2016	37.17	31.65	22.27	8.91
27.03.2016	39.83	34.03	17.67	8.47
01.04.2017	47.95	29.48	14.57	8.00
25.03.2018	36.36	32.35	23.74	7.55
06.04.2018	37.19	31.55	23.61	7.65
19.04.2018	49.50	29.08	14.57	6.85
21.04.2018	42.60	28.81	20.71	7.88
04.05.2018	54.44	18.96	17.40	9.21
06.05.2018	55.47	19.72	16.87	7.94
26.05.2018	49.12	23.71	18.69	8.47
29.05.2018	48.40	21.49	21.94	8.17
01.04.2019	45.53	30.25	17.50	6.72
04.04.2019	48.21	27.88	17.54	6.38
19.04.2019	53.34	22.24	17.49	6.92
19.05.2019	64.70	15.85	12.52	6.93

Tabela 8. Wyniki badań glebowych wraz z wartościami AUC pól podstawowych mapy z dnia 19.05.2019 r.

Numer próby	pH	N [%]	P [mg/100g gleby]	K [mg/100g gleby]	C [%]	Wartość AUC
1	3.93	0.066	7.02	0.42	0.52	0.461
2	4.34	0.151	5.20	7.72	1.93	0.184
3	3.69	0.095	4.37	3.82	1.20	0.066
4	6.80	0.112	10.79	5.31	0.89	0.428
5	4.35	0.076	3.98	3.74	0.75	0.623
6	4.05	0.072	4.80	0.91	0.79	0.389
7	5.31	0.073	4.97	5.73	0.76	0.212
8	3.67	0.124	3.73	10.21	1.23	0.638
9	4.67	0.122	7.74	17.76	1.56	0.591
10	4.19	0.097	3.07	5.06	1.12	0.693
11	3.98	0.103	4.40	13.28	1.24	0.657
12	4.06	0.106	2.01	0.33	1.14	0.483
13	5.94	0.116	3.59	4.15	0.70	0.661
14	4.04	0.076	8.61	15.27	1.04	0.213
15	5.99	0.111	3.78	3.98	0.73	0.603
16	4.51	0.090	8.38	7.14	0.95	0.754
17	6.01	0.096	5.98	9.46	0.80	0.337
18	5.41	0.099	7.53	7.47	1.04	0.371
19	3.57	0.106	4.88	3.24	1.11	0.727
20	6.66	0.072	9.48	6.06	0.48	0.713
21	5.95	0.040	5.38	2.24	0.18	0.647
22	7.34	0.103	12.34	13.20	0.75	0.495
23	4.89	0.101	4.35	9.38	0.90	0.275
24	4.10	0.087	4.39	8.63	0.58	0.277
25	4.15	0.116	12.14	11.79	0.80	0.717
26	3.99	0.109	4.48	3.98	0.84	0.680
27	7.38	0.132	12.10	9.38	1.12	0.727
28	7.36	0.138	12.01	8.30	1.07	0.525
29	7.35	0.160	11.44	8.96	1.25	0.540
30	6.23	0.073	8.26	6.39	0.78	0.134
31	6.12	0.111	4.34	11.29	0.92	0.785
32	4.97	0.078	6.30	7.39	0.72	0.156
33	5.03	0.066	6.22	11.45	0.69	0.522
34	4.33	0.075	4.83	5.98	0.75	0.754
35	6.99	0.101	10.23	14.19	0.86	0.110
36	4.70	0.096	5.33	13.53	0.72	0.770
37	3.48	0.087	8.67	5.73	0.86	0.553
38	3.81	0.093	8.09	6.81	0.76	0.478
39	4.41	0.082	6.34	3.98	0.77	0.690
40	4.54	0.125	5.01	10.29	1.19	0.707

41	3.76	0.182	2.86	9.63	2.27	0.692
42	5.56	0.107	4.34	17.68	1.01	0.214
43	3.93	0.105	7.83	3.82	1.13	0.627
44	4.91	0.099	7.66	5.81	0.98	0.685
45	3.71	0.094	8.88	7.39	0.87	0.750
46	3.91	0.058	5.51	2.29	0.66	0.321
47	3.75	0.036	7.22	1.62	0.67	0.566
48	4.52	0.051	7.30	12.21	0.84	0.130
49	3.87	0.037	4.56	1.88	0.51	0.195
50	3.61	0.050	8.78	1.88	0.70	0.011
51	3.89	0.075	5.97	3.56	1.04	0.348
52	5.36	0.078	4.56	5.40	1.31	0.739
53	4.18	0.064	4.67	4.31	0.90	0.427
54	4.10	0.083	3.64	3.08	1.16	0.713
55	5.43	0.055	4.64	4.92	0.74	0.803
56	4.22	0.069	5.03	4.04	0.78	0.303
57	4.54	0.081	5.44	3.71	1.08	0.110
58	7.12	0.077	6.83	2.81	0.88	0.084
59	4.10	0.064	2.80	2.90	1.15	0.493
60	4.93	0.081	9.37	5.46	1.28	0.707
61	4.55	0.085	4.36	3.46	1.38	0.755
62	4.16	0.059	7.43	10.74	0.73	0.083
63	4.58	0.084	4.35	10.61	1.23	0.062
64	3.96	0.081	5.99	4.31	0.82	0.026
65	3.73	0.085	6.76	1.88	1.06	0.637
66	4.44	0.121	4.94	2.64	1.42	0.400
67	5.72	0.067	5.45	5.50	0.90	0.489
68	3.76	0.074	6.27	1.95	1.06	0.748
69	3.96	0.070	7.53	2.97	0.92	0.210
70	4.02	0.059	4.95	4.57	0.77	0.038
71	4.09	0.085	7.38	2.73	1.31	0.757
72	3.76	0.102	5.40	4.35	1.55	0.035
73	4.02	0.121	5.70	7.57	1.51	0.586
74	3.88	0.085	5.20	7.46	1.33	0.631
75	5.17	0.106	5.83	47.14	1.05	0.734
76	4.11	0.063	4.94	1.17	0.64	0.714
77	5.46	0.076	7.94	5.69	0.62	0.345
78	5.08	0.063	6.94	6.46	0.89	0.366
79	4.09	0.083	7.84	10.06	0.64	0.481
80	5.11	0.132	4.01	2.66	1.56	0.619
81	3.85	0.121	6.89	1.08	1.42	0.617
82	6.12	0.136	6.75	3.83	1.53	0.768
83	5.12	0.035	3.74	3.98	0.57	0.139
84	5.44	0.093	4.32	4.79	2.89	0.798
85	6.06	0.111	8.24	5.54	1.58	0.778
86	7.70	0.088	8.00	2.96	1.20	0.345
87	4.15	0.067	5.46	2.97	0.89	0.752

88	4.48	0.062	7.56	4.52	0.76	0.519
89	5.27	0.065	4.97	6.16	0.97	0.666
90	4.01	0.111	8.12	13.88	1.28	0.589
91	4.02	0.135	5.61	4.05	1.41	0.552
92	3.82	0.082	2.97	4.47	0.98	0.265
93	3.62	0.062	5.21	1.20	0.70	0.427
94	5.30	0.078	7.39	41.83	0.85	0.542
95	4.12	0.058	6.12	7.45	0.71	0.734
96	4.58	0.060	5.29	9.29	0.64	0.699
97	4.33	0.062	5.28	1.88	0.78	0.551
98	7.23	0.111	7.15	7.77	1.20	0.642
99	4.32	0.074	6.24	50.63	1.02	0.542
100	4.75	0.085	4.97	14.93	1.04	0.512
101	3.99	0.062	5.63	6.02	0.74	0.697
102	5.49	0.099	3.11	29.47	1.05	0.758
103	4.32	0.083	5.82	4.94	1.07	0.322
104	6.67	0.048	7.69	9.75	0.58	0.084
105	6.03	0.101	7.32	7.01	1.09	0.653
106	4.31	0.071	6.75	7.83	0.86	0.471
107	7.35	0.102	7.94	6.91	1.05	0.301
108	7.16	0.123	7.90	5.12	1.33	0.471
109	6.58	0.098	6.41	6.03	1.00	0.497
110	7.03	0.125	7.52	10.44	1.37	0.627
111	7.30	0.111	7.91	11.06	1.14	0.800
112	3.81	0.057	5.43	2.04	0.69	0.383
113	5.27	0.121	6.02	15.15	1.04	0.348
114	7.84	0.081	7.85	8.39	0.71	0.579
115	4.05	0.072	4.31	5.16	0.69	0.694
116	3.77	0.074	5.44	2.51	0.65	0.812
117	3.61	0.064	3.85	9.29	0.95	0.032
118	4.09	0.048	3.54	3.86	0.49	0.514
119	7.59	0.265	6.98	48.06	3.13	0.024
120	7.23	0.085	6.34	7.43	0.71	0.187
121	7.77	0.218	4.76	8.47	1.87	0.443
122	4.24	0.061	5.54	9.00	0.50	0.721
123	7.31	0.111	5.73	10.68	0.93	0.502
124	7.81	0.240	1.65	3.27	2.11	0.258
125	7.78	0.232	6.54	50.71	1.92	0.365
126	6.18	0.083	5.28	8.98	0.80	0.805
127	5.61	0.055	4.94	3.92	0.51	0.463
128	5.55	0.081	3.88	7.77	0.79	0.077
129	6.97	0.096	6.88	9.06	0.89	0.409
130	4.89	0.057	3.10	2.61	0.48	0.497
131	7.15	0.062	6.35	4.63	0.54	0.298
132	3.87	0.051	4.36	2.46	0.41	0.417
133	7.15	0.095	5.58	10.46	0.77	0.103
134	7.49	0.092	5.70	6.42	0.72	0.632

135	7.78	0.139	5.71	15.28	1.11	0.562
136	7.30	0.111	5.82	11.38	0.93	0.670
137	4.77	0.058	4.07	5.27	0.25	0.595
138	7.02	0.286	4.86	86.74	2.53	0.234
139	5.37	0.099	6.06	8.42	0.76	0.546
140	5.46	0.092	4.89	17.81	0.68	0.699
141	7.02	0.152	3.96	10.10	1.26	0.172
142	4.42	0.098	4.23	5.15	0.93	0.504
143	4.22	0.060	4.60	5.41	0.19	0.587
144	3.85	0.123	4.28	8.94	0.87	0.561
145	5.57	0.095	5.99	9.04	0.58	0.354
146	4.02	0.094	3.98	4.78	0.75	0.374
147	4.40	0.053	3.79	7.93	0.19	0.562
148	3.43	0.114	7.30	3.83	1.44	0.330
149	3.86	0.085	6.30	2.66	1.49	0.094
150	3.78	0.089	6.11	7.67	1.00	0.373
151	3.91	0.040	4.32	2.86	0.56	0.708
152	6.47	0.072	5.95	22.37	1.20	0.627
153	6.93	0.071	6.31	31.87	1.00	0.278
154	7.58	0.250	4.56	39.63	2.53	0.045
155	6.51	0.091	6.51	22.47	1.18	0.491
156	7.30	0.085	6.62	16.13	1.39	0.663
157	3.76	0.074	6.23	8.15	0.48	0.804
158	4.99	0.051	3.61	10.13	0.14	0.804
159	5.00	0.061	4.45	26.52	0.14	0.079
160	6.79	0.144	5.59	12.96	1.03	0.139
161	7.16	0.139	6.18	14.88	0.80	0.310
162	4.09	0.056	2.96	8.34	0.78	0.756
163	6.27	0.062	3.11	16.48	0.72	0.693
164	7.30	0.060	2.72	12.23	0.82	0.160
165	7.40	0.046	3.85	14.98	0.78	0.154
166	5.98	0.033	4.10	10.84	0.46	0.680
167	7.45	0.084	3.21	34.07	1.23	0.627
168	7.69	0.219	1.71	14.94	2.44	0.158
169	7.27	0.069	3.80	15.60	1.17	0.751
170	7.71	0.185	3.77	21.07	2.07	0.623
171	7.40	0.103	4.05	25.56	1.50	0.612
172	3.91	0.034	3.60	9.53	0.82	0.477
173	4.33	0.058	4.03	9.28	1.19	0.669
174	3.88	0.032	3.58	2.28	0.67	0.687
175	3.61	0.059	3.94	4.89	1.08	0.286
176	7.76	0.087	5.87	41.32	1.76	0.693
177	7.45	0.229	6.65	90.35	2.66	0.016
178	7.61	0.186	2.34	9.61	2.10	0.606
179	7.17	0.063	8.47	19.35	1.33	0.128
180	7.60	0.064	7.95	51.29	1.43	0.465
181	7.50	0.089	7.84	57.23	1.42	0.065

182	7.32	0.071	8.07	69.43	1.25	0.140
183	7.40	0.044	7.59	39.30	0.79	0.634
184	7.00	0.049	7.25	16.10	0.82	0.581
185	4.69	0.032	5.01	12.37	0.52	0.313
186	4.17	0.056	4.29	13.45	0.72	0.397
187	5.84	0.082	6.06	33.32	1.34	0.578
188	7.38	0.095	8.25	32.99	1.41	0.687
189	7.24	0.131	6.84	31.79	1.96	0.102
190	6.04	0.053	6.41	9.09	1.00	0.210
191	7.21	0.243	7.61	65.65	2.31	0.347
192	7.30	0.195	2.94	16.23	2.05	0.636
193	7.30	0.118	9.00	64.33	1.26	0.280
194	7.44	0.092	4.45	6.13	1.03	0.103
195	7.43	0.065	7.84	36.27	0.84	0.109
196	7.48	0.059	8.09	16.21	0.57	0.511
197	7.59	0.072	8.67	9.68	0.77	0.743
198	7.45	0.096	6.98	11.69	1.21	0.478
199	7.51	0.081	8.09	8.91	0.99	0.535
200	6.49	0.056	7.83	15.38	0.92	0.412
201	6.12	0.046	7.03	16.17	0.62	0.773
202	3.89	0.058	5.03	14.07	0.88	0.667
203	7.37	0.072	9.32	17.89	1.03	0.309