

# **Autoreferat**

dr Dawid Moroń

Instytut Systematyki i Ewolucji Zwierząt  
Polskiej Akademii Nauk

Kraków 2018

**1. Imię i nazwisko.**

Dawid Moroń

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania.**

- 2009           doktor nauk biologicznych, Uniwersytet Jagielloński. Tytuł: „Wpływ zanieczyszczenia metalami ciężkimi na murarkę ogrodową (*Osmia rufa* L.) oraz na różnorodność innych dziko żyjących pszczół”. Promotor: prof. dr hab. Michał Woyciechowski.
- 2003           magister biologii, Uniwersytet Jagielloński. Tytuł: „Wpływ oczekiwanej długości życia na podział pracy u mrówki *Myrmica rubra* L.”. Promotor: prof. dr hab. Michał Woyciechowski.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.**

- X 2013 – III 2016   stażysta (postdoc), Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań.
- I 2008 – obecnie   adiunkt, Instytut Systematyki i Ewolucji Zwierząt PAN, Kraków.
- X 2003 – IX 2007   samodzielny biolog, Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, Kraków.

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.).****4A. Tytuł osiągnięcia naukowego.**

Nowe siedliska: szansa dla owadów zapylających?

**4B. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego. *Impact factor* (IF) jest zgodny z rokiem publikacji (dla publikacji z 2018 roku, IF z 2017), punkty MNiSW obejmują uniwersalny wykaz czasopism naukowych za lata 2013-2016.**

Moroń D., Skórka P., Lenda M., Rozej-Pabijan E., Wantuch M., Kajzer-Bonk J., Celary W., Mielczarek Ł.E., Tryjanowski P. 2014. Railway embankments as new habitat for pollinators

in an agricultural landscape. PLoS ONE 9: e101297. DOI: 10.1371/journal.pone.0101297. (IF<sub>2014</sub> = 3,234; pkt MNiSW = 40)

Moroń D., Skórka P., Lenda M., Celary W., Tryjanowski P. 2017. Railway lines affect spatial turnover of pollinator communities in an agricultural landscape. Diversity and Distributions, 23: 190-197. DOI: 10.1111/ddi.12600 (IF<sub>2017</sub> = 4,614; pkt MNiSW = 45)

Moroń D., Przybyłowicz Ł., Nobis M., Nobis A., Klichowska E., Lenda M., Skórka P., Tryjanowski P. 2017. Do levees support diversity and affect spatial turnover of communities in plant-herbivore systems in an urban landscape? Ecological Engineering, 105: 198-204. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.052. (IF<sub>2017</sub> = 3,023; pkt MNiSW = 35)

Moroń D., Skórka P., Lenda M., Kajzer-Bonk J., Mielczarek Ł., Rozej-Pabijan E., Wantuch M. 2018. Linear and non-linear effects of goldenrod invasions on native pollinator and plant populations. Biological Invasions. DOI: 10.1007/s10530-018-1874-1. (IF<sub>2017</sub> = 3,054; pkt MNiSW = 35)

Moroń D., Skórka P., Lenda M. 2018. Disappearing edge: the flowering period changes the distribution of insect pollinators in invasive goldenrod patches. Insect Conservation and Diversity. DOI: 10.1111/icad.12305. (IF<sub>2017</sub> = 2,091; pkt MNiSW = 40)

#### **4C. Sumaryczny *impact factor* dla roku publikacji.**

16,016

#### **4D. Sumaryczna liczba punktów MNiSW (wg. ujednoliconego wykazu czasopism).**

195

#### **4E. Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

Siedliska różniące się strukturą oraz funkcją od występujących w przeszłości bądź obecnie nazywamy nowymi siedliskami (*novell/emerging/no-analog habitats/ecosystems*)<sup>1</sup>. Nowe siedliska powstają jako konsekwencja, na przykład, przemian zachodzących w krajobrazie, bądź zmian w rozmieszczeniu organizmów. Zmiany w użytkowaniu krajobrazu, obejmujące tworzenie przez ludzi nowych struktur, wynikają głównie z rozbudowy infrastruktury bądź urbanizacji. Zmiany zasięgu gatunków, obejmujące powstawanie jednorodnych zbiorowisk, są efektem globalizacji handlu bądź zmian klimatycznych. Te wielkoskalowe procesy będące bezpośrednim bądź pośrednim efektem działalności człowieka odpowiadają za tworzenie

---

<sup>1</sup> Hobbs R.J., Higgs E.S., Hall C.M. 2014. Novel ecosystems: intervening in the new ecological world order. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

siedlisk o nowych właściwościach. Pomimo że wszystkie siedliska możemy rozpatrywać jako nowe, jeśli umieszczone są w odpowiednim kontekście czasu, to dynamika powstawania nowych siedlisk oraz ich różnorodność w Antropocenie są zdecydowanie większe w porównaniu do okresów poprzednich<sup>1</sup>.

W celu ochrony przyrody w zglobalizowanym świecie najczęściej chronione są najcenniejsze przyrodniczo miejsca, pozostałości naturalnych bądź półnaturalnych siedlisk. Chociaż ochrona obszarów (pół)naturalnych jest nieunikniona, wydaje się być jednocześnie formą ochrony, w praktyce, najtrudniejsza do realizacji. Związane z tym typem ochrony koszty finansowe oraz konflikty z lokalnymi społecznościami bardzo często uniemożliwiają pełną realizację zakładanych celów zachowania gatunków oraz siedlisk. Znalezienie alternatywy do ochrony (pół)naturalnych siedlisk jest więc się kluczowe dla ochrony przyrody. Taką alternatywą może być wykorzystanie siedlisk będących efektem bezpośredniej bądź pośredniej działalności ludzi, zwłaszcza w krajobrazie silnie przekształconym przez człowieka.

Zapylenie roślin przez zwierzęta pełni kluczową rolę w utrzymywaniu wysokiej różnorodności biologicznej i jest jednym z najważniejszych świadczeń ekosystemowych. W strefie klimatu umiarkowanego najważniejszymi organizmami zapyłającymi są owady (motyle, muchówki, pszczoły). Szacuje się, że 78% gatunków roślin dzikorosnących strefy umiarkowanej jest zapyłanych przez zwierzęta. Równocześnie zwierzęta zapyłają uprawy, których plony warte są około 14 miliardów euro rocznie, w samej tylko Unii Europejskiej. Można więc uznać organizmy zapyłające za kluczową grupę dla funkcjonowania siedlisk naturalnych jak i silnie zmienionych przez człowieka. Niestety, populacje owadów zapyłających są obecnie poważnie zagrożone, głównie przez zanik siedlisk i ich fragmentację. Stąd też konieczność ochrony owadów zapyłających i ich siedlisk, zwłaszcza w krajobrazie przekształconym przez człowieka, gdzie negatywne czynniki mogą być szczególnie nasilone.

Ważnym staje się więc pytanie czy nowe siedlisk mogą istotnie wspierać ochronę różnorodności biologicznej oraz procesów ekologicznych jak i utrzymania świadczeń ekosystemowych na odpowiednim poziomie. Przedstawione poniżej prace starają się odpowiedzieć na powyższe pytanie.

\*\*\*\*\*

Moroń D., Skórka P., Lenda M., Rożej-Pabijan E., Wantuch M., Kajzer-Bonk J., Celary W., Mielczarek Ł.E., Tryjanowski P. 2014. Railway embankments as new habitat for pollinators in an agricultural landscape. PLoS ONE 9: e101297. DOI: 10.1371/journal.pone.0101297.

Linie kolejowe wraz z nasypami są elementami infrastruktury powszechnie występującymi w krajobrazie silnie zmienionym przez człowieka. W Unii Europejskiej jak i Stanach Zjednoczonych długość linii kolejowych wynosi około 200 tys. km. Poprzez specyficzną strukturę (suchy i dobrze nasłoneczniony wierzchołek oraz wilgotna i chłodna podstawa) nasypom kolejowym towarzyszy silne zróżnicowanie warunków środowiskowych. Może to stwarzać odpowiednie warunki dla wielu gatunków roślin oraz owadów zapyłających. Jednak z drugiej strony trzeba sprawdzić czy ruch kolejowy oraz towarzyszące temu użytkowanie

nasypów kolejowych nie tworzy warunki nieodpowiednich dla wielu gatunków owadów zapylających.

W celu rozstrzygnięcia czy nowe siedlisko tworzone przez nasypy kolejowe w krajobrazie rolniczym jest wartościowe dla owadów zapylających (motyle, muchówki, pszczoły) przeprowadziliśmy badania terenowe. Po pierwsze, sprawdziliśmy czy nasypy kolejowe odznaczają się wyższą różnorodnością biologiczną w porównaniu do siedliska typowego dla owadów zapylających w krajobrazie rolniczym, ekstensywnie użytkowanych łąk. Po drugie, określiliśmy cechy nasypów kolejowych, które wpływają na różnorodność owadów zapylających. Okazało się, że liczba gatunków oraz osobników jest wyższa o około 30 % w przypadku pszczół i 45 % w przypadku motyli na nasypach kolejowych niż na łąkach kontrolnych. Różnice w liczbie gatunków oraz osobników bzygów (najbardziej efektywne zapylacze wśród muchówek) na nasypach kolejowych oraz łąkach były nieistotne. W przypadku nasypów kolejowych, obecność otwartego gruntu, tj. nieporośniętego przez rośliny, wpływała dodatnio na liczbę gatunków i osobników pszczół oraz ujemnie na liczebność gatunków i osobników motyli. Z kolei liczba gatunków rodzimych roślin rosnących na nasypach wpływała dodatnio na liczbę gatunków oraz osobników motyli, podczas gdy liczba roślin obcych dodatnio wpływała na liczbę gatunków pszczół. Wraz ze wzrostem pokrycia nasypów przez krzewy i drzewa malała liczba gatunków oraz osobników pszczół. Liczba gatunków pszczół i bzygów zwiększała się wraz ze wzrostem pokrycia najbliższego otoczenia nasypów (200 m bufor) przez las.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że nasypy kolejowe będące nowym siedliskiem odznaczają się wysoką różnorodnością owadów zapylających. W związku z tym nasypy kolejowe mogą być uznane jako substytut siedlisk (pół)naturalnych, zwłaszcza w krajobrazie silnie zmienionym przez człowieka, np. obszary rolnicze. Co ciekawe, nasypy kolejowe, bez względu na ich wysokość oraz nachylenie, są równie cenne dla owadów zapylających. Również cechy najbliższego krajobrazu otaczającego nasypy nie mają istotnego wpływu na owady zapylające występujące na nasypach kolejowych. Wyniki te wskazują, że większość nasypów kolejowych w krajobrazie rolniczym zwykle pełni funkcje cennych siedlisk dla owadów zapylających.

Moroń D., Skórka P., Lenda M., Celary W., Tryjanowski P. 2017. Railway lines affect spatial turnover of pollinator communities in an agricultural landscape. *Diversity and Distributions*, 23: 190-197. DOI: 10.1111/ddi.12600

Aby nowe siedlisko spełniało funkcję substytutów obszarów (pół)naturalnych w silnie przekształconym przez człowieka krajobrazie, ważne jest nie tylko utrzymywanie wysokiej różnorodności biologicznej, ale również zapewnienie łączności między populacjami. Jest to o tyle istotne, że fragmentacja siedlisk jest jednym z najważniejszych czynników odpowiedzialnych za spadek różnorodności biologicznej na obszarach o krajobrazie znacząco zmienionym w wyniku ludzkiej działalności. Niekorzystne przekształcanie krajobrazu najczęściej zwiększa obszar (*matrix*), który jest nieodpowiedni, przynajmniej dla części gatunków, do skompletowania cyklu życiowego oraz przemieszczania się w porównaniu do

terenów nieprzekształconych przez ludzi<sup>2</sup>. Nowe siedliska występujące często na obszarach o dużym udziale matriksu, na przykład w krajobrazie rolniczym bądź zurbanizowanym, mogą zwiększać łączność między populacjami jednocześnie zmniejszając negatywne skutki fragmentacji siedlisk. Zwłaszcza nowe siedliska o charakterze liniowych elementów krajobrazu, takie jak nasypy kolejowe, mogą pełnić rolę korytarzy ekologicznych łagodzących skutki fragmentacji siedlisk.

Gatunki różnią się cechami historii życiowych, które wpływają na efektywność przemieszczania się. Wielkość ciała jest jedną z takich cech, gdyż większe gatunki z reguły mają większe zdolności do dyspersji i większe pokonują dystanse niż gatunki o mniejszych rozmiarach ciała. Kolejną cechą historii życiowej związaną pośrednio ze zdolnością do dyspersji jest specjalizacja pokarmowa. Uważa się, że dla gatunków o wąskiej specjalizacji pokarmowej, w przypadku owadów zapylających korzystające z kilku gatunków roślin, krajobraz jest bardziej pofragmentowany, tj. udział matriksu jest większy, w porównaniu do gatunków o szerokim spektrum pokarmowym. W przeprowadzonych badaniach terenowych testowaliśmy czy nowe siedliska jakimi są nasypy kolejowe wspomagają łączność między populacjami owadów zapylających (motyle, muchówki, pszczoły) zależnie od wielkości ich ciała oraz specjalizacji pokarmowej. W tym celu porównaliśmy różnice w składzie gatunkowym owadów zapylających występujących na nasypach kolejowych w zależności od odległości geograficznej między nasypami. Dokładnie tak samo porównaliśmy populacje owadów zapylających występujących na łąkach kontrolnych, tj. odległych co najmniej 1 km od najbliższych linii kolejowych. Przewidywaliśmy, że w przypadku istnienia łączności między populacjami zróżnicowanie składu gatunkowego będzie skorelowane dodatnio z odległością między powierzchniami badawczymi, tj. populacje znajdujące się w mniejszej odległości mają skład gatunkowy bardziej podobny w porównaniu do populacji bardziej odległych. Okazało się, że różnice w składzie gatunkowym zależą dodatnio od odległości między powierzchniami badawczymi w przypadku pszczoł o szerokim spektrum pokarmowym. Populacje motyli oraz bzygów o dużych rozmiarach ciała również wykazują dodatnią zależność między zróżnicowaniem składu gatunkowego i odległością między powierzchniami badawczymi. Istotne zależności między zróżnicowaniem składu gatunkowego i odległością między powierzchniami badawczymi nie zostały znalezione w przypadku łąk kontrolnych, co sugeruje, że różnice w składzie gatunkowym populacji między łąkami kontrolnymi wynika z innych czynników niż dyspersja osobników, np. z czynników losowych bądź środowiskowych.

Nasze badania wskazują, że nasypy kolejowe zwiększają łączność między populacjami, przynajmniej w przypadku owadów zapylających o większych rozmiarach ciała i mniejszej specjalizacji pokarmowej. Przy przeciwdziałaniu negatywnym skutkom przekształceń krajobrazu, nasypy kolejowe nie tylko są siedliskiem utrzymującym różnorodną oraz liczebną populację owadów zapylających, ale również powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu korytarzy ekologicznych. Dobrze zaprojektowana sieć korytarzy ekologicznych może istotnie zwiększać intensywność przestrzennych procesów

---

<sup>2</sup> Ricketts T.H. 2001. The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, 158, 87-99.

ekologicznych dotyczących rozmieszczenia owadów zapylających w krajobrazie silnie zmienionym przez człowieka. Z naszych badań wynika, że nasypy kolejowe mogą być przykładem struktur będących dziełem człowieka, które spełniają zarazem potrzeby cywilizacyjne jak i ochrony przyrody.

Moroń D., Przybyłowicz Ł., Nobis M., Nobis A., Klichowska E., Lenda M., Skórka P., Tryjanowski P. 2017. Do levees support diversity and affect spatial turnover of communities in plant-herbivore systems in an urban landscape? *Ecological Engineering*, 105: 198-204. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.052

Według szacunków, do roku 2050 udział ludności żyjącej w miastach w krajach wysokorozwiniętych wzrośnie do ponad 80%, a w krajach rozwijających się do ponad 60 %. Wskazuje to, że urbanizacja będzie nadal jedną z najpoważniejszych zagrożeń dla różnorodności biologicznej na świecie. Jest więc niezwykle istotne tworzenie oraz wspieranie na obszarach zurbanizowanych różnego rodzaju planów ochrony różnorodności biologicznej oraz takie projektowanie stref zielonych w miastach by umożliwić zachodzenie podstawowych procesów ekologicznych<sup>3</sup>. Ponieważ w silnie przekształconym krajobrazie obszarów zurbanizowanych niezwykle trudno odnaleźć siedliska (pół)naturalne w celu ich ochrony konieczne jest podjęcie alternatywnych rozwiązań.

Na obszarach zurbanizowanych wały powodziowe tworzą nowe siedliska, które są częstym elementem krajobrazu. Wynika to z tego, że miasta z reguły były lokowane w bezpośrednim sąsiedztwie rzek. W związku z tym, w celu zabezpieczenia życia oraz dobytku, wiele państw wysokorozwiniętych rozbudowuje sieć wałów przeciwpowodziowych. Dla przykładu w Polsce jest około 8,5 tys. km wałów przeciwpowodziowych, we Francji 10 tys. km, a w USA 40 tys. km. W związku z charakterystyczną budową wałów przeciwpowodziowych odznaczają się one silnym gradientem środowiskowym, z suchym i dobrze nasłonecznionym wierzchołkiem oraz wilgotną i chłodną podstawą. Zróżnicowanie siedlisk na stosunkowo niewielkim obszarze sugeruje występowanie warunków, które są odpowiednie dla wielu gatunków roślin oraz owadów zapylających. Należy jednak pamiętać, że zarówno gospodarka ludzka na wałach przeciwpowodziowych polegająca na koszeniu jak i relatywnie częste zaburzenia powodowane przez wylewy rzek mogą prowadzić do powstania nowego siedliska ubogiego w gatunki. W tym celu przetestowano hipotezę, że nowe siedliska jakimi są wały przeciwpowodziowe mogą być cennym siedliskiem dla różnorodnej populacji owadów zapylających (motyle) oraz roślin w krajobrazie zurbanizowanym. Po pierwsze, sprawdziliśmy czy wały przeciwpowodziowe odznaczają się wysoką różnorodnością biologiczną w porównaniu do siedliska typowego dla owadów zapylających oraz roślin w krajobrazie zurbanizowanym, ekstensywnie użytkowanych łąk. Po drugie, określiliśmy cechy wałów przeciwpowodziowych, które określają różnorodność owadów zapylających oraz roślin. Po trzecie, w celu sprawdzenia czy wały przeciwpowodziowe mogą wspierać łączność między populacjami, porównaliśmy różnice w składzie gatunkowym populacji owadów zapylających oraz roślin występujących wzdłuż wałów przeciwpowodziowych w zależności od odległości między powierzchniami badawczymi. Identycznie porównaliśmy populacje

<sup>3</sup> Harrison T., Winfree R. 2015. Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Functional Ecology*, 29, 879-888.

owadów zapylających występujących na ekstensywnie użytkowanych łąkach, a odległych co najmniej 1 km od najbliższych wałów przeciwpowodziowych jako miarę łączności populacji.

Okazało się, że różnorodność gatunkowa oraz liczebność motyli występujących na wałach przeciwpowodziowych nie różniła się od różnorodności oraz liczebności motyli z łąk kontrolnych. Z kolei różnorodność gatunkowa roślin rosnących na wałach przeciwpowodziowych była o 25% wyższa w porównaniu do roślin łąk kontrolnych. Pośród cech środowiskowych wałów przeciwpowodziowych, to udział obszarów zurbanizowanych w najbliższym otoczeniu (200 m bufor) miał ujemny wpływ na różnorodność roślin. Wzrost pokrycia wałów przeciwpowodziowych przez krzewy i drzewa miał ujemny wpływ na różnorodność gatunkową oraz liczebność motyli, również częstość koszenia wałów przeciwpowodziowych wpływała ujemnie na liczebność motyli. Różnice w składzie gatunkowym roślin rosnących na wałach przeciwpowodziowych były dodatnio skorelowane z odległością między powierzchniami badawczymi, tj. populacje znajdujące się w mniejszej odległości mają skład gatunkowy bardziej podobny w porównaniu do populacji bardziej odległych. Istotne zależności między zróżnicowaniem składu gatunkowego motyli oraz roślin i odległością między powierzchniami badawczymi nie zostały znalezione w przypadku łąk kontrolnych.

Z naszych badań płynie wniosek, że jest możliwe wykorzystanie rozwoju infrastruktury na korzyść różnorodności biologicznej. Dzieje się tak wtedy, gdy nowe siedliska, takie jak wały przeciwpowodziowe i nasypy kolejowe, tworzą udane substytuty, tj. spełniające funkcje, obszarów (pół)naturalnych. Powinniśmy więc starannie identyfikować i zarządzać nowymi siedliskami w celu ochrony różnorodności biologicznej oraz ważnych procesów ekologicznych. Zarządzanie nowymi siedliskami powinno obejmować, na przykład, odpowiednią częstość koszenia oraz zapobieganie zarastaniu przez krzewy i drzewa. Typ ochrony przyrody polegający na wykorzystywaniu nowych siedlisk powinien mieć zwłaszcza znaczenie na obszarach silnie zmienionych przez człowieka, np. na terenach zurbanizowanych i rolniczych.

Moroń D., Skórka P., Lenda M., Kajzer-Bonk J., Mielczarek Ł., Rożej-Pabijan E., Wantuch M. 2018. Linear and non-linear effects of goldenrod invasions on native pollinator and plant populations. *Biological Invasions*. DOI: 10.1007/s10530-018-1874-1.

Nowe siedliska tworzone są nie tylko w wyniku bezpośredniej działalności ludzkiej, np. nasypy kolejowe oraz wały przeciwpowodziowe, ale również powstają pośrednio przez oddziaływanie ludzi na środowisko. Takimi pośrednimi zmianami prowadzącymi do powstania nowych siedlisk są introdukcje nierodzimych gatunków roślin. Część spośród introdukowanych gatunków roślin powiększa zasięg na nowym obszarze, najczęściej znacząco zwiększając swoje zagęszczenie, stając się gatunkami inwazyjnymi. Presja związana z obecnością roślin inwazyjnych wywierana na rodzimą różnorodność biologiczną jest coraz powszechniejszym zjawiskiem na świecie<sup>4</sup>. Siedliska zdominowane przez rośliny inwazyjne stają się nowymi siedliskami o cechach i charakterze niespotykanym wcześniej. Dzieje się tak

<sup>4</sup> Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W.E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25, 345-353.



ponieważ rośliny inwazyjne występujące w dużych zagęszczeniach zmieniają nie tylko różnorodność rodzimych gatunków, ale też podstawowe procesy ekologiczne zachodzące w środowisku, takie jak obieg pierwiastków, produkcję pierwotną czy powiązania troficzne.

Skomplikowane relacje troficzne między roślinami oraz owadami zapylającymi powodują, że obecność nowych i nierodzimych roślin może całkowicie zmienić układ troficzny wpływając na różnorodność biologiczną. Przez to przewidzenie wpływu nowego siedliska, tworzonego przez rośliny inwazyjne, na różnorodność owadów zapylających jest trudne. Dzieje się tak ponieważ inwazyjne gatunki roślin mogą oddziaływać na populacje owadów zapylających zarówno pozytywnie jak i negatywnie. W wielu przypadkach rośliny inwazyjne stanowią dodatkowe źródło pokarmu. Jednocześnie, gatunki inwazyjne mogą zmniejszać bazę pokarmową owadów zapylających poprzez redukcję populacji rodzimych roślin. Te różne oddziaływania powodują, że możemy oczekiwać dwóch typów wpływu roślin inwazyjnych na owady zapylające. Pierwszy, wywołany zależnością liniową (najczęściej zakładana w różnego rodzaju modelach oraz scenariuszach) co sugeruje zdecydowaną przewagę negatywnych bądź pozytywnych, dla owadów zapylających, cech nowych siedlisk tworzonych przez rośliny inwazyjne. W nowych siedliskach różnorodność rodzimych roślin może być mniejsza bądź większa, powodując spadek bądź wzrost zasobności bazy pokarmowej, głównie dla specjalistów pokarmowych. Drugi, wynikający z zależności nieliniowej wskazującej na przewagę negatywnych bądź pozytywnych zmian w siedlisku od pewnego, krytycznego, poziomu zagęszczenia roślin inwazyjnych.

W celu rozstrzygnięcia, który ze scenariuszy, liniowy vs. nieliniowy, określa różnorodność owadów zapylających *in statu nascendi* nowych siedlisk stworzonych przez rośliny inwazyjne przeprowadzono badania terenowe. Na łąkach o różnym stadium pokrycia przez inwazyjne gatunki nawłoci (pokrycie 0–100%) określano liczbę gatunków i osobników owadów zapylających (motyli, muchówek, pszczół). W wyniku przeprowadzonych badań okazało się, że liczebność i różnorodność gatunkowa pszczół oraz motyli zmniejszyła się nieliniowo wraz ze wzrostem pokrycia powierzchni badawczych przez inwazyjne nawłocie. Ujemna zależność pokrycia oraz różnorodności gatunkowej i liczebności pojawia się przy pokryciu przez nawłoc wynoszącym 50% w przypadku pszczół oraz 35% w przypadku motyli. Nie stwierdzono istotnych zależności między pokryciem siedlisk przez nawłoc oraz różnorodnością oraz liczebnością muchówek. Nasze badania wskazują również, że zmiany składu gatunkowego owadów zapylających wynikają z zanikania kolejnych gatunków wraz ze wzrostem pokrycia nawłocią niż z tworzenia się nowych jakościowo zbiorowisk owadów zapylających na siedliskach zajętych przez nawłoc.

W pracy zademonstrowaliśmy, że nowe siedliska będące wynikiem inwazji obcych gatunków roślin odznaczają się niższą różnorodnością biologiczną owadów zapylających w porównaniu do łąk niezajętych przez rośliny inwazyjne. Co więcej, proces przekształcania siedlisk (pół)naturalnych przez rośliny inwazyjne w nowe siedliska może powodować nieliniowe zmiany w różnorodności i liczebności owadów zapylających. Nieliniowość charakteru tych zmian wynika zapewne z bezpośredniego (rośliny inwazyjne mogą być źródłem pokarmu) jak i pośredniego (spadek różnorodności rodzimych roślin) wpływu roślin inwazyjnych na populacje owadów zapylających. Podczas identyfikacji oraz zarządzania nowymi siedliskami

powinno się brać pod uwagę możliwy nieliniowy charakter wpływu pewnych cech tych siedliska na różnorodność biologiczną – ujemne skutki istnienia nowych siedlisk mogą pojawić się gwałtownie dopiero po przekroczeniu pewnego krytycznego punktu.

Moroń D., Skórka P., Lenda M. 2018. Disappearing edge: the flowering period changes the distribution of insect pollinators in invasive goldenrod patches. *Insect Conservation and Diversity*. DOI: 10.1111/icad.12305

Aby nowe siedliska, w tym powstałe poprzez introdukcję nowych gatunków, spełniały funkcję substytutów obszarów (pół)naturalnych powinny zapewniać łączności między populacjami. Jak już wcześniej pisałem, jest to istotne, ponieważ fragmentacja siedlisk jest jednym z najistotniejszych czynników odpowiedzialnych za spadek różnorodności biologicznej w krajobrazie silnie zmienionym przez człowieka. W wyniku działalności człowieka duże obszary krajobrazu przekształcane są, w niesprzyjających warunkach, w obszary nieodpowiednie do skompletowania cyklu życiowego oraz przemieszczania się (*matrix*). Nowe siedliska występujące na obszarach o dużym udziale matriksu, np. w krajobrazie rolniczym bądź zurbanizowanym, mogą zwiększać łączność między populacjami zmniejszając negatywne skutki fragmentacji siedlisk. Z drugiej strony, nowe siedliska mogą stanowić barierę potęgującą efekt fragmentacji krajobrazu. Efekt izolujący może być wynikiem sposobu w jaki dana grupa organizmów wykorzystuje nowe siedliska, np. jako źródło pokarmu<sup>5</sup>. Co więcej efekt izolujący może być zmienny w czasie w zależności od dostępu do zasobów występujących w nowym siedlisku.

W badaniach testowano czy nowe siedliska utworzone przez zdominowanie otwartych obszarów przez inwazyjne gatunki nawłoci mogą tworzyć bariery dla przemieszczania się owadów zapylających w krajobrazie rolniczym. W tym celu sprawdziliśmy rozmieszczenie owadów zapylających w poprzek granicy między dwoma siedliskami: łąką oraz nawłociowiskiem, czyli siedliskiem zdominowanego przez inwazyjne nawłocie. Jako kontrolę wybraliśmy granicę między łąką oraz polem uprawnym. W badaniach wzięliśmy również pod uwagę możliwość zmian w rozmieszczeniu owadów zapylających w poprzek granic w zależności od dostępności pokarmu dla owadów zapylających, tj. okresu kwitnienia nawłoci. W wyniku przeprowadzonych badań okazało się, że w okresie przed kwitnieniem nawłoci liczebność oraz różnorodność owadów zapylających rosła od nawłociowiska, przez granicę, do środka łąki. Z kolei w okresie kwitnienia nawłoci liczba gatunków oraz osobników pszczoł była równo rozmieszczona między łąką oraz nawłociowiskiem. W przypadku motyli okres kwitnienia nawłoci nie modyfikował rozmieszczenia gatunków oraz osobników między łąką a nawłociowiskiem. Liczba gatunków i osobników muchówek w okresie kwitnienia nawłoci wzrastała od środka łąki, przez granicę, do środka nawłociowiska. W przypadku kontrolnej granicy okres kwitnienia nawłoci nie miał wpływu na zmiany w rozmieszczeniu owadów zapylających. Warto nadmienić, że efekt izolujący wytwarzany przez nawłociowiska, zwłaszcza w okresie, gdy nawłoc nie kwitnie, jest równie silny co efekt izolujący powodowany przez pola uprawne – różnorodność oraz liczebność owadów zapylających spadał już na dystansie do 50 m od granic nawłociowisk oraz pól.

<sup>5</sup> Ries L., Sisk T.D. 2004. A predictive model of edge effects. *Ecology*, 85, 2917-2926.

Wyniki pracy wskazują na potencjalny izolujący, modyfikujący rozmieszczenie owadów zapylających, efekt siedlisk zdominowanych przez inwazyjne gatunki nawłoci. Ten izolujący efekt jest zależny od rozmieszczenia zasobów pokarmowych dostępnych dla owadów zapylających. Zademonstrowany efekt izolujący jest prawdopodobnie wynikiem behawioralnego unikania płatów nawłoci, zwłaszcza w okresie przed kwitnięciem niż niemożności penetrowania nawłociowisk przez owady zapylające. Tak więc, dostępność zasobów może wyjaśniać czy nowe siedliska mają potencjał do zwiększania fragmentacji krajobrazu dla przemieszczających się organizmów (nawłociowiska) czy też potencjał do zwiększania łączności między populacjami (nasypy kolejowe, wały przeciwpowodziowe) w krajobrazie silnie zmienionym przez człowieka.

\*\*\*\*\*

Podsumowując, dotychczasowe badania nad różnorodnością biologiczną nowych siedlisk jakimi są nasypy kolejowe oraz wały przeciwpowodziowe ograniczały się w zasadzie do spisów gatunków, a jednostkowe badania procesów ekologicznych, takich jak przemieszczanie się organizmów, dotyczyły wyłącznie roślin. Zaprezentowane prace wskazują nie tylko na to, że tory i wały są cennymi nowymi siedliskami dla owadów zapylających oraz roślin, ale wskazują, z wykorzystaniem technik GIS, jakie cechy tych konstrukcji i ich najbliższego otoczenia dodatkowo wpływają na różnorodność biologiczną. Co bardzo ważne nasypy jak i wały wspierają przemieszczanie owadów zapylających i roślin w terenie silnie przekształconym przez człowieka.

Bardzo mało jest badań wskazujących na mechanizm odpowiedzialny za rozmieszczenie relatywnie mobilnych gatunków, jakimi są owady, w nowym siedlisku tworzonym przez rośliny inwazyjne. Okazało się, że dostępność pokarmu w czasie oraz w przestrzeni jest głównym czynnikiem wpływającym na rozmieszczenie owadów zapylających w siedliskach tworzonych przez rośliny inwazyjne. Ponadto, w badaniach nad gatunkami inwazyjnymi zakładana jest najczęściej liniowa zależność między zagęszczeniem gatunków inwazyjnych a ich wpływem na gatunki rodzime. Jednakże, biorąc po uwagę skomplikowane interakcje między gatunkami, powinniśmy raczej oczekiwać zależności nieliniowych. Przedstawione badania wskazują, że to właśnie zależności nieliniowe opisują zmiany różnorodności biologicznej owadów zapylających wraz z tworzeniem się nowego siedliska zdominowanego przez rośliny inwazyjne. Ma to duże implikacje praktyczne, gdyż umożliwia restytucję siedlisk wraz z dużym poziomem różnorodności biologicznej nawet przy znacznie zaawansowanym procesie inwazji w siedlisku.

Zmiany cywilizacyjne pociągają za sobą często nieprzewidziane zmiany w krajobrazie, z których część, można wykorzystać w celu zachowania różnorodności biologicznej oraz ważnych procesów ekologicznych. Zaprezentowane prace wskazują, że w przypadku niektórych nowych siedlisk jest to możliwe (nasypy kolejowe i wały przeciwpowodziowe), a w przypadku innych nie (nawłociowiska). I tak, odpowiednio zarządzana infrastruktura może stanowić substytut cennych (pół)naturalnych siedlisk, których brak jest w krajobrazie krajów wysokorozwiniętych. Z kolei siedliska tworzone przez gatunki inwazyjne odznaczają się cechami (izolacja, brak pokarmu) uniemożliwiającymi rozpatrywanie ich jako substytutu

naturalnych siedlisk. Wydaje się, że rozważanie potencjału nowych siedlisk w utrzymaniu różnorodności i procesów ekologicznych powinno być podejmowane osobno w przypadku każdego typu takich siedlisk.

## 5. Opis pozostałej działalności naukowej.

### 5A. Okres przed doktoratem.

Przed doktoratem moje zainteresowania naukowe skupiały się nad biologią owadów, co zaowocowało badaniami ekologii behawioralnej owadów społecznych. Badania te dotyczyły podziału pracy u mrówek z rodzaju *Myrmica* (praca [P18]) oraz pszczoły miodnej [20]. Podejmowanie różnych zadań przez robotnice owadów społecznych w ciągu swojego życia, od opieki nad potomstwem do zbierania pokarmu, nazywamy niereprodukcyjnym podziałem pracy. Zadania podejmowane przez robotnice różnią się ryzykiem, od bezpiecznych zadań wewnątrz gniazda do ryzykownych na zewnątrz kolonii. Z reguły zadania bezpieczne wykonywane są przez młode robotnice, natomiast starsze wykonują ryzykowne prace związane ze zdobywaniem pokarmu. Mimo powszechności opisanego wzorca zachowań nie znane były ultimatywne przyczyny tego rodzaju podziału pracy u owadów społecznych. W wyniku przeprowadzonych badań okazało się, że to bardziej oczekiwana długość życia niż bezwzględny wiek robotnic decyduje o podejmowaniu ryzykownych prac, czym krótszy oczekiwany czas życia tym większa skłonność robotnic do podejmowania ryzykownych prac. Podejmowanie przez robotnice o krótszej oczekiwanej długości życia ryzykownych prac zwiększa średnią długość życia robotnic w kolonii, co daje przewagę ewolucyjną.

Po zdaniu egzaminu na studia doktoranckie na Uniwersytecie Jagiellońskim zostałem włączony w prace projektu „ALARM” finansowanego przez Unię Europejską. Projekt ten dotyczył, między innymi, biologii i ekologii organizmów zapylających (w naszej strefie klimatycznej są to głównie owady). Zapylenie roślin przez zwierzęta pełni kluczową rolę w utrzymywaniu wysokiej różnorodności biologicznej i jest jednym z najważniejszych świadczeń ekosystemowych. Można więc uznać organizmy zapylające za grupę kluczową dla funkcjonowania siedlisk naturalnych jak i silnie zmienionych przez człowieka. Badania nad owadami zapylającymi są o tyle ważne, że populacje tych owadów są obecnie poważnie zagrożone spadkiem różnorodności i liczebności. W wyniku przeprowadzonych badań udało się zidentyfikować siedlisko – zmiennowilgotne łąki – jako centrum różnorodności pszczół w krajobrazie rolniczym [19]. Do tej pory uważano, że centrami różnorodności biologicznej pszczół są głównie obszary kserotermiczne. W trakcie realizacji projektu stwierdzono, że rośliny inwazyjne, które dominują w siedlisku mogą stanowić zagrożenie dla różnorodności rodzimych owadów zapylających [P21]. Inwazyjne gatunki północnoamerykańskich nawłoci przekształcając siedlisko, głównie poprzez akumulację martwej materii organicznej oraz redukcję różnorodności rodzimych roślin, znacznie zmniejszają różnorodność populacji owadów zapylających. Badania nad owadami zapylającymi, w ramach projektu ALARM,

były również inspiracją do podjęcia szerszych prac nad ekologią owadów zapylających i procesu zapylania w okresie po doktoracie.

## 5B. Okres po doktoracie.

Po obronie pracy doktorskiej zostałem zatrudniony w Instytucie Systematyki i Ewolucji Zwierząt PAN w Krakowie. W okresie tym kontynuowałem badania dotyczące niereprodukcyjnego podziału pracy u mrówek w ramach otrzymanego grantu z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Dotąd najczęściej uważano, że robotnice ze skróconą oczekiwaną długością życia podejmują ryzykowne prace na zewnątrz gniazda. W wyniku przeprowadzonych badań okazało się, że oczekiwana długość życia robotnic ma bardziej subtelny wpływ na podejmowanie prac o różnym ryzyku [P30]. Zadania na zewnątrz gniazda a różniące się poziomem ryzyka są podejmowane przez robotnice o różnej oczekiwanej długości życia. Wskazuje to na kluczowy wpływ oczekiwanej długości życia na rozmieszczenie robotnic w kolonii oraz na większość podejmowanych przez nie zadań. Sugerujemy, że tworzenie społeczności przez osobniki o różnej oczekiwanej długości życia mogło mieć duże znaczenie dla ewolucji układów eusocjalnych.

Rozpocząłem również intensywne badania nad wpływem wysokich stężeń metali ciężkich w środowisku na populacje owadów zapylających oraz na efektywność procesu zapylania. Część przeprowadzonych badań realizowana była w czasie stażu podoktorskiego odbywającego się na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu (grant Narodowego Centrum Nauki). Metale ciężkie powodują zmiany w funkcjonowaniu wielu podstawowych procesów ekologicznych. Najczęściej badanymi procesami, modyfikowanymi przez obecność metali w środowisku, są produkcja pierwotna oraz dekompozycja. Do tej pory nie poświęcano uwagi różnorodności owadów zapylających oraz procesowi zapylania na obszarach narażonych na wysokie stężenia metali ciężkich. Jest to o tyle ważne, że takich obszarów jest, przynajmniej w krajach wysokorozwiniętych, relatywnie dużo. W wyniku przeprowadzonych badań okazało się, że liczba gatunków oraz osobników pszczół, głównej grupa gatunków zapylających strefy umiarkowanej, gwałtownie spada wraz ze wzrostem zanieczyszczenia gleby oraz pyłku kwiatowego metalami ciężkimi [P16, P25]. Również parametry dostosowania samic pszczoły murarki ogrodowej (jeden z najważniejszych gatunków pszczół samotnic wykorzystywany w rolnictwie), takie jak liczba potomstwa oraz jego przeżycie, zmniejszały się wraz ze wzrostem stężenia metali ciężkich w środowisku [P34].

Zauważyliśmy również, że proporcja płci na obszarach skażonych jest przechylona na korzyść samic. Obniżenie parametrów dostosowania samic ma odzwierciedlenie w wyraźnym spadku współczynnika przyrostu populacji na obszarach skażonych metalami ciężkimi. Nasze badania wskazują na bezpośredni – toksyczny – wpływ metali ciężkich w środowisku na owady zapylające niż pośredni, np. poprzez ujemny wpływ skażenia środowiska na rośliny. Z drugiej strony, nie znaleźliśmy dowodów na istnienie większej asymetrii skrzydeł murarek ogrodowych pochodzących z terenów skażonych [P41]. Asymetria ciała jest postulowana jako jeden z negatywnych objawów działania, na poziomie rozwojowym organizmu, skażenia środowiska metalami ciężkimi. Nasze prace wskazują na konieczność uwzględnienia spadku

różnorodności owadów zapylających oraz efektywności zapyłania na obszarach narażonych na skażenie metalami ciężkimi, co może mieć znaczenie przy fitoremediacji obszarów zdegradowanych. Kolejne prace dotyczące obecności metali ciężkich w środowisku na efektywność procesu zapyłania są w trakcie realizacji.

Kontynuowałem również szersze badania związku biologii owadów z przemianami krajobrazu rolniczego, zwłaszcza towarzyszącymi temu inwazjami obcych gatunków roślin [P17]. W kolejnych badaniach wykazaliśmy, że inwazyjne rośliny mają silny negatywny wpływ praktycznie na cały ekosystem, począwszy od mrówek [P32; P39; P43; P44], a skończywszy na ptakach [P27; P42]. W przypadku mrówek wykazano, że inwazja obcych nawłoci oraz niecierpków ma negatywny wpływ na występowanie kolonii oraz ich wielkość. Obecność roślin inwazyjnych modyfikuje również inwestycje kolonii. Na obszarach z roślinami inwazyjnymi kolonie mrówek inwestują mniej we wzrost, a więcej w produkcję płodnego potomstwa. Nasze badania wskazują, że negatywny wpływ roślin inwazyjnych wynika głównie ze zmniejszenia dostępności pokarmu i związanego z tym wzorca zdobywania pokarmu, np. konieczność dłuższych wypraw po zasoby. Rośliny inwazyjne oddziałują również na występowanie mrówek poprzez zmianę warunków mikroklimatycznych w siedlisku. Niezwykle interesujący jest mechanizm rozprzestrzeniania się orzecha włoskiego, stającego się gatunkiem inwazyjnym. Kolonizacja terenów porolnych była możliwa dzięki rodzimym ptakom krukowatym, które wносиły nasiona orzechów z ogrodów i chowały je w gruntach ornych, jako długoterminowy zapas pokarmu. Część z tych orzechów nie jest odnajdywana ponownie, przez co orzechy mogą kiełkować, jednak siewki są niszczone przez orkę, co hamuje rozprzestrzenianie tej rośliny. Z drugiej strony, jeśli prace gospodarcze na danym polu zostaną zaprzestane, wówczas siewki mogą swobodnie rosnać. Takie wielkoskalowe zaprzestanie gospodarowania miało miejsce po przemianach polityczno-gospodarczych w 1989. Nasze badania ukazały szczególny związek między występowaniem inwazji, a przemianami politycznymi. Ponadto, uczestniczyłem w badaniach pokazujących, jak przemiany socjologiczne, zwłaszcza rozwój Internetu, wpływają na powstawanie nowych wzorców dyspersji inwazyjnych gatunków roślin [P35].

Przemiany krajobrazu nie polegają tylko na pojawianiu się obcych gatunków, ale związane są z szeregiem zjawisk, takich jak intensyfikacja rolnictwa oraz urbanizacją. Szereg naszych badań dotyczył stosowania nowych metod produkcji rolniczej, takich jak osłony zasiewów z polietylenowych materiałów i ich wpływu na funkcjonowanie ekosystemów rolniczych. Stosowanie osłon foliowych działa jak wielkoskalowe zaburzenia w siedliskach ptaków polnych w kluczowym dla nich okresie rozrodu [P33]. Skutkowało to znacznym zmniejszeniem liczby gatunków, a efekt utrzymywał się po usunięciu folii z upraw. Nasilenie działalności rolniczej skutkuje, między innymi, zmniejszeniem siedlisk dostępnych dla owadów zapylających. Otrzymane wyniki wskazują, że w celu ochrony owadów zapylających w krajobrazie rolniczym najważniejsze jest zachowanie płatów siedlisk o odpowiedniej wielkości [P22, P26]. Dodatkowo płaty powinny być od siebie w odległości, która zapewni łączność między populacjami. Przemiany gospodarcze w krajobrazie rolniczym mogą pociągać ze sobą wzrastający udział nowej zabudowy, związanej z produkcją rolniczą, prowadzącej do szeregu nowych zagrożeń dla różnorodności biologicznej. Przykładem

nowego typu zabudowań są wielkoobszarowe szklarnie. Do zapylenia upraw rosnących w szklarniach powszechnie sprowadza się kolonie trzmieli pochodzących z różnych obszarów świata. Odbywający się na tak dużą skalę transport pszczoł może pociągać za sobą nowe zagrożenia [P15, P23, P28]. Nasze badania umożliwiły stwierdzenie odbywającej się introgresji genetycznej, wydostające się ze szklarni samce wzbogacały pulę genową lokalnej populacji. Ponieważ trzmiele szklarniowe pochodzą z cieplejszych stref klimatycznych istnieje obawa o zmniejszenie przeżywania okresu zimy przez lokalną populację samic. Szklarniowe kolonie trzmieli mogą być również źródłem pasożytów takich jak pierwotniaki bądź roztocze.

Kolejnym tematem, w który się zaangażowałem jest ekologia dróg. W ramach przeprowadzonych badań wykazano, że śmiertelność owadów zapyłających na drogach jest procesem nielosowym w przestrzeni i istnieją miejsca, gdzie skupia się większość takich przypadków [P37, P47]. Są to tzw. „czarne punkty”, które przestrzennie zajmują jedynie kilka procent długości dróg, ale skupiają prawie 50 % wszystkich martwych owadów. Pokazano również, że na śmiertelność na drogach narażone są przede wszystkim gatunki o niewielkich rozmiarach ciała, przelatujące nisko nad drogą [P31]. Śmiertelność na drogach można zmniejszyć poprzez utrzymanie odpowiedniej roślinności i reżimu koszenia poboczy.

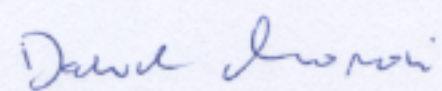
Badając biologię owadów zapyłających zainteresowała mnie również tematyka obszarów przemysłowych. Wbrew pozorom, takie mocno przekształcone środowiska, np. zwirownie, osadniki, kopalnie, posiadają cechy, które sprawiają, że mogą pełnić ważną funkcję w utrzymaniu lokalnego bogactwa gatunkowego [P29]. Jest to ważne z punktu widzenia ochrony przyrody ponieważ nie wszystkie naturalne ekosystemy da się ochronić. Sugeruje to zastosowanie innego podejścia, które stara się wykorzystywać możliwości ochrony bogactwa gatunkowego stwarzane przez rozwój przemysłu. Daje to również narzędzia do niwelowania konfliktów środowiskowych i gospodarczych.

Angażowałem się również w badania nad specyficznością układu pasożyt – gospodarz u motyla modraszka telejusa oraz mrówek z rodzaju wścieklica [P24]. Badania wskazały, że modraszek telejus jest w stanie wykorzystywać różne gatunki wścieklic jako gospodarza zapewniającego rozwój dla larw. Stąd wniosek, że modraszek telejus nie jest ewolucyjnie zaadaptowany do wyboru tylko jednego z gatunków mrówek.

### **5C. Plany na przyszłość.**

W najbliższym czasie planuję kontynuację badań nad ekologią krajobrazu w świetle zagrożeń dla populacji owadów zapyłających. Obecnie prowadzę szeroko zakrojone prace badawcze nad wpływem zwiększonego skażenia środowiska metalami ciężkimi na populacje owadów zapyłających w kontekście zmian klimatycznych. Szczególnie będę się starał zbadać czy skrajne, coraz częściej występujące, zjawiska atmosferyczne, takie jak fale gorąca (*hot wave*) i zimna (*cold snap*) w połączeniu z dodatkowym czynnikiem ryzyka, jakim jest zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi, wpływają na efektywność procesu zapylenia. Planuję też rozwinąć swój warsztat analityczny, zwłaszcza poprzez naukę

zaawansowanych technik programowania w środowiskach R i Python oraz ciągle doskonalenie narzędzi analiz obrazów satelitarnych w GIS. Metody te planuję wykorzystać w uwzględnieniu oraz analizie procesów ekologicznych w skali krajobrazu.



Kraków, 6.12.2018

Dawid Moroń