



Institut Biologii Ssaków
Polskiej Akademii Nauk
Białowieża



Białowieża Stacja Geobotaniczna
Uniwersytetu Warszawskiego

Ekspertyza
Oddziaływanie zapory granicznej na granicy polsko-białoruskiej na
Obiekt Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”

Ssaki i rośliny inwazyjne

AUTORZY:

Instytut Biologii Ssaków Polskiej Akademii Nauk

Prof. dr hab. Krzysztof Schmidt

Prof. dr hab. Rafał Kowalczyk

Dr hab. Marta Kołodziej-Sobocińska

Dr hab. Magdalena Niedziałkowska

Dr hab. Małgorzata Tokarska

Dr hab. Michał Żmihorski

Białowieża Stacja Geobotaniczna Uniwersytetu Warszawskiego

Dr hab. Katarzyna Nowak



Sfinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZU
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ

Materiał został dofinansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Za jego treść odpowiada wyłącznie Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy.

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Słowicza 32, 02-170 Warszawa

tel.: +48 22 37 50 525 (sekretariat)

puszcza@ios.edu.pl

<https://ios.edu.pl/bialowieza-forest/>

SPIS TREŚCI

Streszczenie.....	4
1. Wstęp	5
2. Charakterystyka ssaków Puszczy Białowieskiej	5
3. Ocena stanu zachowania populacji ssaków Puszczy Białowieskiej	6
4. Wpływ bariery na przemieszczanie się ssaków Puszczy Białowieskiej	8
4.1 Metodyka.....	8
4.2 Zmiany aktywności przestrzennej ssaków w latach 2018 – 2023 w skali całego Obiektu	10
4.2.1 Wizualizacja przestrzenna	10
4.2.2 Analiza statystyczna zależności wskaźników zagęszczenia wybranych gatunków ssaków od odległości od granicy	18
4.3 Zmiany aktywności zwierząt względem bariery w pasie granicznym	19
5. Wpływ bariery na łączność ekologiczną i funkcjonowanie populacji ssaków Obiektu	22
6. Wpływ bariery na wprowadzanie i rozprzestrzenianie się gatunków inwazyjnych	27
7. Proponowane działania do uwzględnienia w Planie Zarządzania Obiektem Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest” (część polska)	31
7.1 Działania wspierające populację rysia	32
7.2 Działania związane z inwazyjnymi gatunkami roślin	33
7.3 Działania związane z ryzykiem przenoszenia chorób przez średnie drapieżniki	33
7.4 Działania w celu łagodzenia zanieczyszczenia hałasem i światłem związanym z zaporą	34
7.5 Działania dotyczące zwiększenia zdolności w zakresie monitorowania ekosystemów i zarządzania adaptacyjnego	34
8. Podsumowanie	35
9. Cytowana literatura	36
Definicje terminów zastosowanych w ekspertyzie	38

STRESZCZENIE

Ekspertyza przedstawia próbę oceny wpływu zapory granicznej między Polską i Białorusią na wartość przyrodniczą Obiektu Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”. W tym celu przeanalizowano dane na temat rozmieszczenia wybranych gatunków ssaków w odniesieniu do lokalizacji zapory oraz dane z inwentaryzacji inwazyjnych gatunków roślin w pasie granicznym. Przedstawiono również informacje dotyczące wpływu zapory na zmienność genetyczną wybranych gatunków ssaków. Analizy wskazują, że bariera ma mierzalny wpływ na rozmieszczenie i przemieszczanie się ssaków oraz występowanie inwazyjnych gatunków roślin w Puszczy Białowieskiej. Efekt ten jest zauważalny już w pierwszych dwóch latach po jej skonstruowaniu. Przejawia się on zmianami w rozmieszczeniu żubrów i jeleni, a także koncentracją lisów, jenotów i kotów domowych w pobliżu granicy. Zwiększona aktywność małych drapieżników w bezpośredniej bliskości pasa granicznego jest prawdopodobnie związana z obecnością stałych posterunków wojskowych na granicy, które są źródłem odpadów spożywczych. To zjawisko może sprzyjać rozprzestrzenianiu się chorób przenoszonych przez dzikie i domowe ssaki. Należy przypuszczać, że bariera szczególnie istotnie przyczyni się do pogłębienia izolacji białowieskiej populacji rysia i jej narażenia na dalszą utratę zmienności genetycznej oraz zagrożenia jej trwałości. Zaproponowano działania mające na celu zmniejszenie negatywnego oddziaływania zapory, m.in: specjalne przejścia dla dużych drapieżników, poprawa reżimów sanitarnych w pasie granicznym, monitoring i usuwanie inwazyjnych gatunków roślin.

1. WSTĘP

Ekspertyza została sporządzona na zlecenie Instytutu Ochrony Środowiska - Państwowego Instytutu Badawczego w związku z opracowywaniem *Planu Zarządzania Obiektem Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”*. Jednym z zagrożeń zidentyfikowanych podczas prac przygotowawczych nad Planem jest oddziaływanie zapory, która została wybudowana na granicy polsko-białoruskiej po polskiej stronie Puszczy Białowieskiej w roku 2022, na wartość przyrodniczą Obiektu. Zapora, razem z płotem granicznym istniejącym po stronie Białoruskiej od 1981 roku i modernizowanym w ostatnich latach, przyczyniła się do utworzenia trwałej bariery, dzielącej Obiekt na dwie, izolowane części. Celem ekspertyzy jest próba oszacowania wpływu, jaki budowa oraz istnienie zapory mogą wywierać na wybrane elementy funkcjonowania ekosystemu Puszczy. W opracowaniu oparto się na założeniu, że potencjalnie największe oddziaływanie zapory może występować na zasadzie efektu barierowego, zakłócającego naturalne wędrówki zwierząt, a także efektu związanego z transportem i przekształcaniem siedlisk oraz zwiększonej antropopresji wynikającej z aktywności służb mundurowych w pasie granicznym. W związku z tym przeanalizowano dane na temat rozmieszczenia i przemieszczania się ssaków parzystokopytnych oraz drapieżnych w Puszczy Białowieskiej w odniesieniu do lokalizacji zapory, a także przedyskutowano możliwości wpływu zapory na zmienność genetyczną ważniejszych gatunków ssaków oraz przedstawiono wyniki inwentaryzacji inwazyjnych gatunków roślin w pasie granicznym.

2. CHARAKTERYSTYKA SSAKÓW PUSZCZY BIAŁOWIESKIEJ

Puszcza Białowieska charakteryzuje się niezwykle bogactwem fauny ssaków. Stwierdzono tu występowanie 60 gatunków tych zwierząt, co stanowi ok. 75% wszystkich gatunków ssaków występujących w Polsce. Najliczniejszym rzędem ssaków są gryznie oraz nietoperze, liczące, odpowiednio 18 i 14 gatunków. Ssaki drapieżne reprezentowane są przez 12 gatunków, a owadożerne przez 8 gatunków. Parzystokopytne liczą tylko 5 gatunków, ale w skali europejskiej jest to zespół o unikalnym składzie, gdyż oprócz często spotykanych w innych lasach jeleni *Cervus elaphus*, saren *Capreolus capreolus* i dzików *Sus scrofa* występuje tu również łos *Alces alces*, a przede wszystkim żubr *Bison bonasus*. Listę ssaków zamyka rząd zajęczaki, który w Puszczy Białowieskiej reprezentują dwa gatunki – zając szarak *Lepus europaeus* i (bardzo rzadki w Polsce) zając bielak *Lepus timidus*.

Różnorodność gatunkowa ssaków Puszczy Białowieskiej jest wynikiem między innymi dużego zróżnicowania siedlisk (mozaiki terenów leśnych i otwartych) oraz zachowania dużego stopnia naturalności tego ekosystemu (niezakłócona struktura wiekowa i dynamika etapów rozwoju drzewostanów). Dużą rolę pod tym względem odgrywa również położenie geograficzne tego kompleksu leśnego w obszarze przejściowym między strefą środowisk borealnych (tajga i tundra) a strefą lasów liściastych klimatu umiarkowanego. Dzięki temu spotykają się tu ssaki typowe zarówno dla strefy tajgi (zając bielak, ryjówka średnia *Sorex caecutiens*, łos), strefy lasów liściastych (tchórz *Mustela putorius*, sarna, dzik, borowiec leśny *Nyctalus leisleri*), a także strefy śródziemnomorskiej (rzęsosek mniejszy *Neomys anomalus*).

Puszcza Białowieska jest również miejscem występowania takich gatunków ssaków, które w pozostałej części kraju są bardzo rzadkie lub w ogóle nie występują. Z rzędu owadożernych należą do nich między innymi, rzęsosek mniejszy i zębiek białawy *Crocidura leucodon*, z nietoperzy mopek zachodni *Barbastella barbastellus* i borowiec leśny, z gryzoni smużka leśna *Sicista betulina* i koszatka leśna *Dryomys nitedula*, z drapieżnych ryś eurazjatycki *Lynx lynx*, a z kopytnych oczywiście żubr. Ponadto, jest to jedyne stanowisko w Polsce, zasiedlone przez ryjówkę średnią (białowiecką) – gatunek ssaka owadożernego występujący w Azji i wschodniej Europie.

Na szczególną uwagę zasługuje zespół ssaków drapieżnych, który w Puszczy Białowieskiej jest obecnie reprezentowany przez 12, a być może 13 gatunków (o ile uznać jednostkowe pojawienie się szakala złocistego *Canis aureus* za oznakę osiedlenia się nowego gatunku, Schmidt 2024). Dwa z nich, to gatunki inwazyjne

występujące w Puszczy już od kilkudziesięciu lat – jenot azjatycki *Nyctereutes procyonoides* i wizon amerykański *Neovison vison*. Pozostałe drapieżniki tworzą zespół charakterystyczny dla strefy lasów liściastych i mieszanych, odznaczający się wyjątkowo dużą liczbą gatunków w porównaniu z innymi lasami Europy. Wysoki stopień naturalności i zróżnicowanie siedlisk Puszczy wraz z bogatym zespołem ssaków roślinożernych stanowiących ofiary drapieżników, sprawiają, że obszar ten nosi cechy kompletnego ekosystemu lasu mieszanego strefy umiarkowanej z dobrze zachowanymi poziomami troficznymi oraz zachodzącymi między nimi interakcjami. Te naturalne interakcje mają duży wpływ na kształtowanie struktury i dynamiki demografii populacji zwierząt i roślin Puszczy Białowieskiej (Jędrzejewska i Jędrzejewski 2001).

Ważną rolę w kształtowaniu populacji dużych ssaków roślinożernych oraz ekosystemów leśnych odgrywają duże drapieżniki – wilk *Canis lupus* i ryś (Jędrzejewski i in. 2002, Okarma i in. 1997, Kuijper i in. 2013). Wspólną cechą obu drapieżników jest z jednej strony odżywanie się głównie ssakami parzystokopytnymi (jeleń i sarna), a z drugiej duże wymagania przestrzenne. Pierwsza cecha stawia te zwierzęta na szczycie piramidy troficznej, przez co mogą one mieć wpływ na strukturę populacji ofiar, ich liczebność i kondycję. Z kolei sposób wykorzystywania przestrzeni w przypadku obu drapieżników polega na użytkowaniu przez poszczególne osobniki lub rodziny oddzielnych terytoriów lub areałów osobniczych o bardzo dużej powierzchni sięgającej kilkuset kilometrów kwadratowych. W efekcie, populacje tych drapieżników są niewielkie, co naraża je na niekorzystne oddziaływanie czynników losowych i zaburzeń.

Populacja wilka w Puszczy Białowieskiej składa się zaledwie z kilku (prawdopodobnie 3 do 5) rodzin, z których każda może liczyć 10 – 12 osobników (IBS PAN, dane niepublikowane). Rysie są znacznie mniej liczne, ich populację oszacowano na 7 – 10 osobników, a przypadki rozmnażania obserwuje się bardzo rzadko (IBS PAN, dane niepublikowane). Dlatego, w przypadku tych gatunków bardzo ważna jest ciągłość ekologiczna pozwalająca na migracje długodystansowe i przepływ genów między populacjami, co jest warunkiem utrzymania zmienności genetycznej i przeciwdziałania inbredowi.

3. OCENA STANU ZACHOWANIA POPULACJI SSAKÓW PUSZCZY BIAŁOWIESKIEJ

Z uwagi na cel tego opracowania związany z określeniem oddziaływania zapory granicznej na Obiekt Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest” skupiono się na wybranych gatunkach ssaków, które mają duże znaczenie dla funkcjonowania ekosystemu, wchodzą w interakcje z człowiekiem i dla których istnieją dane o ich rozmieszczeniu w Puszczy Białowieskiej oraz stanie zachowania populacji. Uwzględniono następujące gatunki: ryś, wilk, jeleń, sarna, żubr, łoś, lis *Vulpes vulpes* i jenot, a także kot domowy *Felis catus*.

Ryś jest w Puszczy Białowieskiej najrzadszym gatunkiem drapieżnika. Jego liczebność, monitorowana corocznie od 2015 r. przy pomocy fotopułapek i tropień na śniegu utrzymuje się na poziomie kilku – kilkunastu osobników (IBS PAN, dane niepublikowane). Jest to więc znaczny spadek w porównaniu z latami 1990., gdy populację tę szacowano aż na 29 zwierząt (Jędrzejewski i in. 1996). Co ważne, spadek ten nastąpił w okresie obowiązywania ścisłej ochrony tego gatunku (od 1995 r.). Badania molekularne wykazały, że populacja rysia zamieszkująca północno-wschodnią Polskę, w tym Puszcze Białowieską, wyróżnia się najniższą zmiennością genetyczną wśród innych populacji w całym eurazjatyckim zasięgu gatunku (Lucena-Perez i in. 2020). Jest to najprawdopodobniej skutkiem jej występowania na skraju kontynentalnego zasięgu rysia w Eurazji, fragmentacji środowiska, dużej izolacji zamieszkiwanego przez nią obszaru oraz jej małej liczebności (Schmidt i in. 2011). Niska liczebność rysia na tym obszarze w powiązaniu z ich nadzwyczaj niską zmiennością genetyczną stwarzają duże zagrożenie w wyniku depresji inbredowej oraz innych czynników (efekt Alleego, śmiertelność w wyniku epizoocji lub czynników antropogenicznych), co w konsekwencji stawia tę populację na skraju wyginięcia. Znamienne jest, że mimo trwającej blisko 30 lat ochrony rysia w Polsce, ich rozmieszczenie i liczebność niewiele się zmieniły. W tym samym czasie liczebność wilków wzrosła 4-krotnie i skolonizowały one znaczną część kraju. Wskazuje to na dużą

wrażliwość rysia na fragmentację środowiska i czynniki demograficzne. Populacje tego gatunku charakteryzują się niską przeżywalnością kociąt (w pierwszych 6 miesiącach życia ginie blisko 50% młodych) (Mattison i in. 2022) i wyższą śmiertelnością na obrzeżach obszarów występowania (Kowalczyk i in. 2015).

Populacja **wilka** w Polsce charakteryzuje się ekspansją przestrzenną. Wiąże się z tym również wzrost liczebności. Od roku 1998, gdy wprowadzono ochronę tego drapieżnika na całym terytorium kraju, jego liczebność wzrosła z ok. 500 do ok. 2000 osobników. W Puszczy Białowieskiej również obserwujemy tendencję wzrostową. Podczas gdy w latach 1990. obszar ten zasiedlały 3 – 4 rodziny liczące po 3 – 8 osobników, czyli łącznie do 32 wilków (Jędrzejewski i in. 2007), obecnie ich liczebność może wynosić około 50 zwierząt (IBS PAN, dane niepublikowane). Białowieska populacja wilka wyróżnia się stosunkowo wysoką zmiennością genetyczną zarówno w porównaniu z innymi populacjami na świecie (Jędrzejewski i in. 2005), jak i populacją tych drapieżników, które niedawno zasiedliły obszar zachodniej Polski (Szewczyk i in. 2019). Dlatego nie wydaje się, aby gatunek ten w chwili obecnej znajdował się w stanie zagrożenia związanego z obniżoną zmiennością genetyczną na terenie wschodniej Polski.

Jeleń jest najliczniejszym gatunkiem ssaków parzystokopytnych w Puszczy Białowieskiej. Jego liczebność szacowana jest obecnie na około 2200 osobników (Bank Danych o Lasach) i wydaje się, że w okresie ostatniego dziesięciolecia była stosunkowo stabilna, z lekką tendencją spadkową, choć dane wyjściowe nie są oparte na systematycznym, rygorystycznym monitoringu. Jest to gatunek łowny. W Puszczy Białowieskiej (wg Banku Danych o Lasach), w latach 2016 – 2023 w kategorii „odstrzał, odłów i ubytki” wykazywano od 170 do 220 osobników rocznie (Bank Danych o Lasach). Pod względem genetycznym jelenie zamieszkujące polską i białoruską część Puszczy Białowieskiej do tej pory tworzyły jedną populację (Niedziałkowska i in. 2012).

Liczebność **sarny** wg szacunków prowadzonych przez Lasy Państwowe wynosi obecnie około 760 osobników. Zauważa się pewną tendencję spadkową, gdyż w roku 2016 wykazywano ponad 900 saren. Jednocześnie, podobnie jak jeleń, gatunek ten podlega gospodarce łowieckiej, a jego roczne pozyskanie (oraz ewentualny odłów i ubytki) w Puszczy Białowieskiej wynosiło w latach 2016 – 2023 od 33 do 58 osobników (Bank Danych o Lasach).

Populacja **żubra** wykazuje w Puszczy Białowieskiej tendencję wzrostową, choć jest to gatunek dużo mniej liczny niż jeleń. Obecnie, w polskiej części Puszczy żyje około 900 osobników (dane Białowieskiego Parku Narodowego na koniec 2023 r.). Żubr jest gatunkiem chronionym, jednak okazjonalnie dokonuje się odstrzału pojedynczych chorych zwierząt lub takich, które powodują sytuacje konfliktowe. Pomimo rosnącej liczebności jest to nadal gatunek zagrożony z uwagi na pochodzenie całej populacji od zaledwie kilku osobników, czego efektem jest jej bardzo niska zmienność genetyczna i wysoki stopień inbrodu (Tokarska i in. 2011). Wyniki badań przeprowadzonych przez IBS PAN, we współpracy z Parkiem Narodowym „Puszcza Białowieska” (Białoruś), wykazały, że zgodnie z wcześniejszymi podejrzeniami (Bunevich i in. 2006), żubry z polskiej i białoruskiej części Puszczy różnią się od siebie genetycznie i należą do dwóch różnych linii genetycznych, odpowiednio: nizinnej (białowieskiej) i nizinno-kaukaskiej (Tokarska i in. 2015). Przynależność żubrów białoruskich do linii nizinno-kaukaskiej nie została dotąd zweryfikowana w Księdze Rodowodowej Żubrów.

Transgraniczne wędrówki żubrów, najczęściej krótkie i zwykle o charakterze powrotnym, do roku 1981 notowane były sporadycznie (Kraśnińska i Kraśniński, 2017). Powstanie płotu granicznego na obszarze Puszczy Białowieskiej w 1981 roku uniemożliwiło żubrom przekraczanie granicy.

łoś, mimo wieloletniej, ścisłej ochrony wynikającej z moratorium na odstrzał tych łownych zwierząt jest wciąż gatunkiem nielicznym w Puszczy. Według informacji Banku Danych o Lasach, jego populacja wzrosła w tym kompleksie leśnym z 52 osobników w roku 2016 do 114 w roku 2023.

Lis jest gatunkiem pospolitym w całej Polsce, jak również w Puszczy Białowieskiej. Nie ma jednak wiarygodnych danych, które pozwoliłyby oszacować wielkość jego populacji. Wcześniejsze badania wskazywały na zagęszczenia na poziomie 2,5 – 3,5 osobnika/10 km² (Jędrzejewska i Jędrzejewski 2001). Według danych z monitoringu ssaków drapieżnych prowadzonego przez IBS PAN przy pomocy fotopułapek lis jest najczęściej rejestrowanym gatunkiem ssaka (Tabela 1), ale częstość jego nagrań zmieniła się nawet 4,5-krotnie pomiędzy różnymi latami.

Jenot, to gatunek inwazyjnego drapieżnika pochodzącego z Azji. Został on introdukowany w europejskiej części byłego Związku Radzieckiego i już od lat 50. ubiegłego wieku bytuje w Puszczy Białowieskiej (Kauhala i Kowalczyk 2011). Nie jest znana jego liczebność, ale względne wskaźniki rejestracji monitoringu fotopułapkowego sugerują, że jego populacja może ulegać dużym fluktuacjom. W latach 2018 – 2023 wskaźniki te różniły się nawet 6-krotnie między poszczególnymi latami. Wg badań prowadzonych w latach 1990. zagęszczenie jenota na terenie Puszczy Białowieskiej wynosiło około 5 osobników/10 km² (Jędrzejewska i Jędrzejewski 2001).

Duża zmienność liczby nagrań zarówno jenota, jak i lisa może mieć związek z faktem, że drapieżniki te chorują m. in. na wściekliznę i świerzp, co zapewne przyczynia się do ich zwiększonej śmiertelności, a w konsekwencji może wpływać na dynamikę ich liczebności.

Kot domowy, choć zasadniczo jest zwierzęciem związanym z człowiekiem, może pojawiać się na terenach leśnych (Piontek i in. 2021). Jedyne dostępne dane na temat obecności tego drapieżnika na terenie Puszczy Białowieskiej pochodzą z pracy magisterskiej wykonanej w latach 2002 – 2004, która wykazała, że aktywność kotów koncentrowała się głównie w okolicach miejscowości i osad leśnych (Panfiluk 2005). Zagęszczenie kotów żyjących na obszarze polan osadniczych Puszczy Białowieskiej wynosiło wtedy ok. 11 osobników/km².

4. WPŁYW BARIERY NA PRZEMIESZCZANIE SIĘ SSAKÓW PUSZCZY BIAŁOWIESKIEJ

Według naszej najlepszej wiedzy, bariera wybudowana jest na długości około 187 km polsko-białoruskiej granicy i ma postać wysokiego na ok. 5 metrów stalowego płotu posadowionego na betonowej podmurówce wkopanej w grunt na głębokość 1 metra. Szczyt płotu zabezpieczony jest dodatkowo zwojami drutu żyłkowego, w podmurówce na wysokości gruntu znajdują się niewielkie otwory o średnicy około 10 cm w odstępach kilku metrów. Równoległe do tej zapory, po polskiej stronie, wybudowany jest dodatkowy płot z drutu żyłkowego i siatki leśnej. Jedyne w miejscach podmokłych, gdzie ze względu na niestabilność gruntu budowa wyżej opisanej konstrukcji nie była możliwa, granica zabezpieczona jest przede wszystkim drutem żyłkowym. W zaporze znajdują się bramki różnej wielkości, służące technicznej obsłudze zapory (przechodzenie na drugą stronę), jak również umożliwieniu przechodzenia dużym zwierzętom z jednej strony zapory na drugą. Nie mamy danych odnośnie lokalizacji tych przejść, a według naszej wiedzy wszystkie one są obecnie zamknięte, nie zapewniają zatem ekologicznej łączności populacjom dużych zwierząt. Więcej informacji na temat zapory prezentuje publikacja UNESCO World Heritage Centre - Document - Report of the joint WHC/IUCN Reactive Monitoring mission to Białowieża Forest (Belarus/Poland), 18-27 March 2024.

4.1 Metodyka

Podjęto próbę oceny wpływu bariery na populację ssaków Puszczy Białowieskiej na podstawie wyników wieloletniego monitoringu zwierząt prowadzonego przez IBS PAN przy pomocy fotopułapek. Należy jednak podkreślić, że schemat monitoringu nie był projektowany z myślą o badaniu wpływu strefy granicznej na przemieszczanie się zwierząt, dlatego rozdzielczość przestrzenna uzyskanych danych jest stosunkowo niska względem potrzeb niniejszego raportu. Niemniej jednak jest to jedyne dostępne źródło danych dotyczących przestrzennego rozmieszczenia zespołu ssaków w Puszczy Białowieskiej oparte na systematycznych badaniach prowadzonych na obszarze całego Obiektu w dłuższym okresie przed i po wybudowaniu bariery, pozwalające na obserwowanie reakcji zwierząt na zachodzące zmiany w ich środowisku.

Do analizy wykorzystano dane z lat 2018 – 2023 włączające okres sprzed budowy bariery, okres jej budowy (2022) i rok po jej ukończeniu (2023). W tym okresie fotopułapki były rozmieszczane każdego roku na okres dwóch miesięcy w sezonie wiosenno-letnio-jesiennym na całym obszarze polskiej części Puszczy Białowieskiej. We wszystkich latach monitoringu, fotopułapki rozlokowane były przy drogach leśnych w liczbie od 50 do 60 sztuk. Każdego roku stosowano taki sam układ punktów monitoringowych, ale z powodów losowych (np. przewracania się drzew, działania służb) zachodziła konieczność wprowadzania na bieżąco korekt, dlatego ich liczba ulegała

nieznacznym zmianom. Ponadto, w latach 2018, 2019 i 2021 montowano w pobliżu każdego punktu dodatkowo jedną fotopułapkę wewnątrz lasu (w celu zwiększenia szans wykrycia ssaków parzystokopytnych). W efekcie, łączna liczba punktów monitoringowych wynosiła od 50 do 120 sztuk w różnych latach. W czasie dwumiesięcznych sesji monitoringowych fotopułapki nagrywały pojawiające się w ich pobliżu zwierzęta, głównie ssaki. Nagrania te były następnie klasyfikowane pod względem liczebności i przynależności gatunkowej nagranych zwierząt. Dzięki temu, że fotopułapki były lokalizowane w różnej odległości od granicy (w linii prostej od 47 do 21205 metrów) materiał zebrany w ramach tego monitoringu umożliwił analizę zmienności użytkowania przestrzeni przez wybrane gatunki ssaków w reakcji na budowę zapory granicznej w 2021 roku w gradiencie odległości od niej.

Analizy podzielono na dwa etapy – wizualizacja przestrzenna aktywności zwierząt oraz analiza statystyczna zależności między relatywnym zagęszczeniem zwierząt a odległością od granicy.

Do wizualizacji przestrzennej w celu ujednoczenia map, wykorzystano dane z fotopułapek umieszczonych wyłącznie przy drogach leśnych i obliczono wskaźnik aktywności (częstość rejestracji) zwierząt w poszczególnych punktach, dzieląc liczbę zarejestrowanych osobników przez czas działania fotopułapki w danym punkcie w poszczególnych latach. Ogółem, w okresie 6-letniego monitoringu zarejestrowano ponad 25 000 odrębnych zdarzeń z udziałem dużych i średnich ssaków, w tym 5954 rekordów lisa, 5865 jelenia, 4726 wilka, 2055 jenota, 1490 żubra, 1324 sarny, 308 łosia i 111 rysia oraz 322 kota domowego.

Do analiz statystycznej zależności między zagęszczeniem zwierząt a odległością do granicy wykorzystano dane ok. 170 000 nagrań (z fotopułapek zlokalizowanych zarówno przy drogach jak i w lesie), które w pierwszej kolejności zagregowano do sumy liczby stwierdzeń osobników danego gatunku rejestrowanych w danej lokalizacji w danym roku. W ten sposób uzyskano 4109 rekordów danych (kombinacja rok, gatunek, lokalizacja) dla 9 gatunków ssaków: łosia, żubra, sarny, jelenia, jenota, lisa, wilka, rysia i kota domowego. Następnie analizowano te dane przy pomocy uogólnionych addytywnych modeli mieszanych (GAMM) implementowanych w pakiecie „mgcv” w programie R. W przypadku tych modeli liczbę stwierdzeń każdego gatunku (która może być interpretowana jako relatywny wskaźnik zagęszczenia) uwzględniano jako zmienną zależną, a dwie zmienne – dystans do granicy (zmienna ciągła) oraz okres badań (zmienna kategoryczna przyjmująca dwa stany: przed i po budowie zapory, czyli do roku 2021 włącznie i po tym roku) – uwzględniono jako, odpowiednio, kowariatę i ustalony czynnik kategoryczny pozostający w interakcji. Ponadto, w modelu uwzględniono też lokalizację fotopułapki względem dróg leśnych, jako czynnik ustalony (na drodze vs w lesie), losowy efekt roku, losowy efekt lokalizacji (oba efekty losowe dopasowane przy pomocy splinów „ridge penalty”), interakcję długości i szerokości geograficznej dopasowane splinami typu „thin plate”, by kontrolować potencjalną autokorelację przestrzenną danych (fotopułapki znajdujące się blisko siebie nie są w pełni niezależne) oraz zlogarytmowaną liczbę dni, w ciągu których dana fotopułapka zbierała dane jako offset (co wynika z założenia, że im więcej dni fotopułapka pracuje, tym więcej zwierząt nagrywa). W modelu GAMM przyjęto rozkład błędów ujemny dwumianowy i logarytmiczną funkcję wiążącą. Statystycznie istotną interakcję między dystansem do granicy a okresem badań uznawano i interpretowano za efekt budowy zapory, ponieważ taki wynik sugerował, że wskaźnik zagęszczenia zwierząt wraz z oddalaniem się od granicy był inny przed, a inny po wybudowaniu zapory.

Dodatkowo, wykorzystano dane Białowieskiej Stacji Geobotanicznej Uniwersytetu Warszawskiego uzyskane na podstawie tropień na śniegu (17 km wzdłuż granicy) oraz liczenia odchodów i innych śladów zwierząt na transektach (26 km w pasie 500 m wzdłuż granicy państwowej) przeprowadzonych w latach 2023 i 2024 (rozd. 3.2). Badania te ukierunkowane były na uzyskanie informacji na temat wpływu bezpośredniej bliskości infrastruktury granicznej (bariery, posterunki) na aktywność zwierząt.

4.2 Zmiany aktywności przestrzennej ssaków w latach 2018 – 2023 w skali całego Obiektu

Najczęściej rejestrowanym ssakiem był lis (częstość rejestracji 0,26), a w drugiej kolejności jeleni (0,23) (Tabela 1). Warto zaznaczyć, że trzecim gatunkiem pod względem częstości rekordów był wilk (0,19). Nie oznacza to jednak, że drapieżniki dorównują liczebnością jeleniom. Ponieważ fotopułapki stawiane były przy drogach, powoduje to, że prawdopodobieństwo wykrycia drapieżników przez kamery jest znacznie wyższe, niż w przypadku ssaków roślinożernych, takich jak jeleni, gdyż drogi leśne są intensywniej użytkowane przez drapieżniki, niż roślinożerców. Wynika to zużytkowania przez nie dużych przestrzeni i pokonywania w ciągu doby dużych odległości. Dlatego wskaźniki te tylko w przybliżonym stopniu odzwierciedlają względne proporcje liczebności

zwierząt. Niemniej jednak, wskaźniki rejestracji gatunków ssaków parzystokopytnych przy pomocy fotopułapek są zgodne z proporcjami ich liczebności szacowanymi przez Lasy Państwowe (Bank Danych o Lasach). Najbardziej obserwowanym gatunkiem był ryś (0,005) – zgodnie z danymi z tropień na śniegu, wskazującymi na jego szczególnie niską liczebność w Puszczy (IBS PAN, dane niepublikowane).

Tabela 1. Częstość rejestracji wybranych gatunków ssaków w Puszczy Białowieskiej przy pomocy systemu fotopułapek w latach 2018 – 2023

Gatunek	Częstość rejestracji
Lis rudy	0,26
Jeleń szlachetny	0,23
Wilk szary	0,19
Jenot azjatycki	0,09
Żubr europejski	0,06
Sarna europejska	0,05
Kot domowy	0,02
Łoś eurazjatycki	0,01
Ryś eurazjatycki	0,005

4.2.1 Wizualizacja przestrzenna

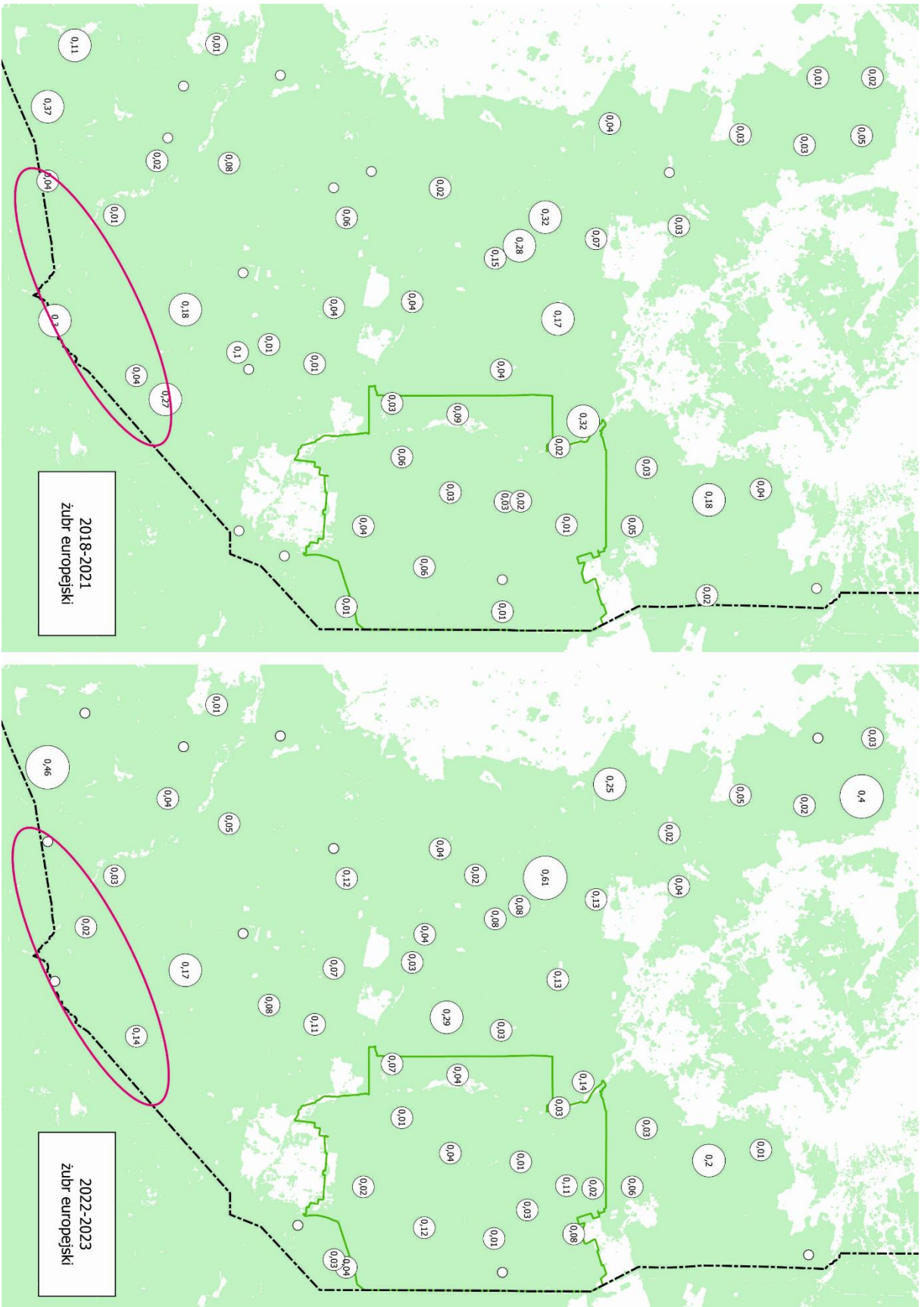
Przeanalizowano zmienność aktywności ssaków w różnych latach monitoringu na obszarze Puszczy Białowieskiej (Ryc. 1-6). Wyniki zwizualizowano na mapach przedstawiających rozmieszczenie poszczególnych punktów monitoringowych wraz z informacją o wysokości uśrednionego wskaźnika częstości rejestracji zwierząt w dwóch okresach: 2018 – 2021 (przed) oraz 2022 – 2023 (w trakcie i po zakończeniu budowy bariery) dla różnych gatunków ssaków. Poniżej zamieszczono mapy czterech gatunków dzikich ssaków o najwyższej częstości rejestracji (**lis, jeleń, wilk i jenot**) oraz kota domowego. Nie analizowano danych dotyczących pozostałych gatunków ssaków pod kątem rozmieszczenia wskaźników ich aktywności z uwagi na zbyt niską częstość rejestracji przez kamery montowane przy drogach. Gatunki poddane analizie są jednocześnie gatunkami istotnymi z punktu widzenia funkcjonowania ekosystemu Puszczy Białowieskiej (wilk i jeleń) i epizoocjologii (lis, jenot i kot domowy). Wilk był stwierdzany na całym obszarze Puszczy we wszystkich latach monitoringu. W okresie po wybudowaniu zapory uwagę zwraca nieznaczny spadek wielkości wskaźnika jego aktywności w trzech punktach przygranicznych oraz wzrost aktywności w centralnej części Puszczy i na obszarze Białowieskiego Parku Narodowego (Ryc. 1). Nie można wykluczyć, że zmiany te zostały wywołane działalnością służb mundurowych obecnych w rejonie pasa granicznego od IV kwartału 2021 r. oraz dodatkowo intensywnymi pracami budowlanymi związanymi z konstrukcją bariery.

Porównanie rozmieszczenia żubra w obu okresach sugeruje, że po wybudowaniu zapory nastąpił również spadek aktywności tego gatunku, notowanej w kilku punktach w pobliżu pasa granicznego w południowej części Puszczy (Ryc. 2). W przypadku jelenia, rozmieszczenie wskaźnika aktywności wykazuje losowy charakter w obu porównywanych okresach, przy czym w latach 2022 – 2023 nie zauważa się istotnych zmian wielkości tego wskaźnika w pobliżu pasa granicznego (Ryc. 3).

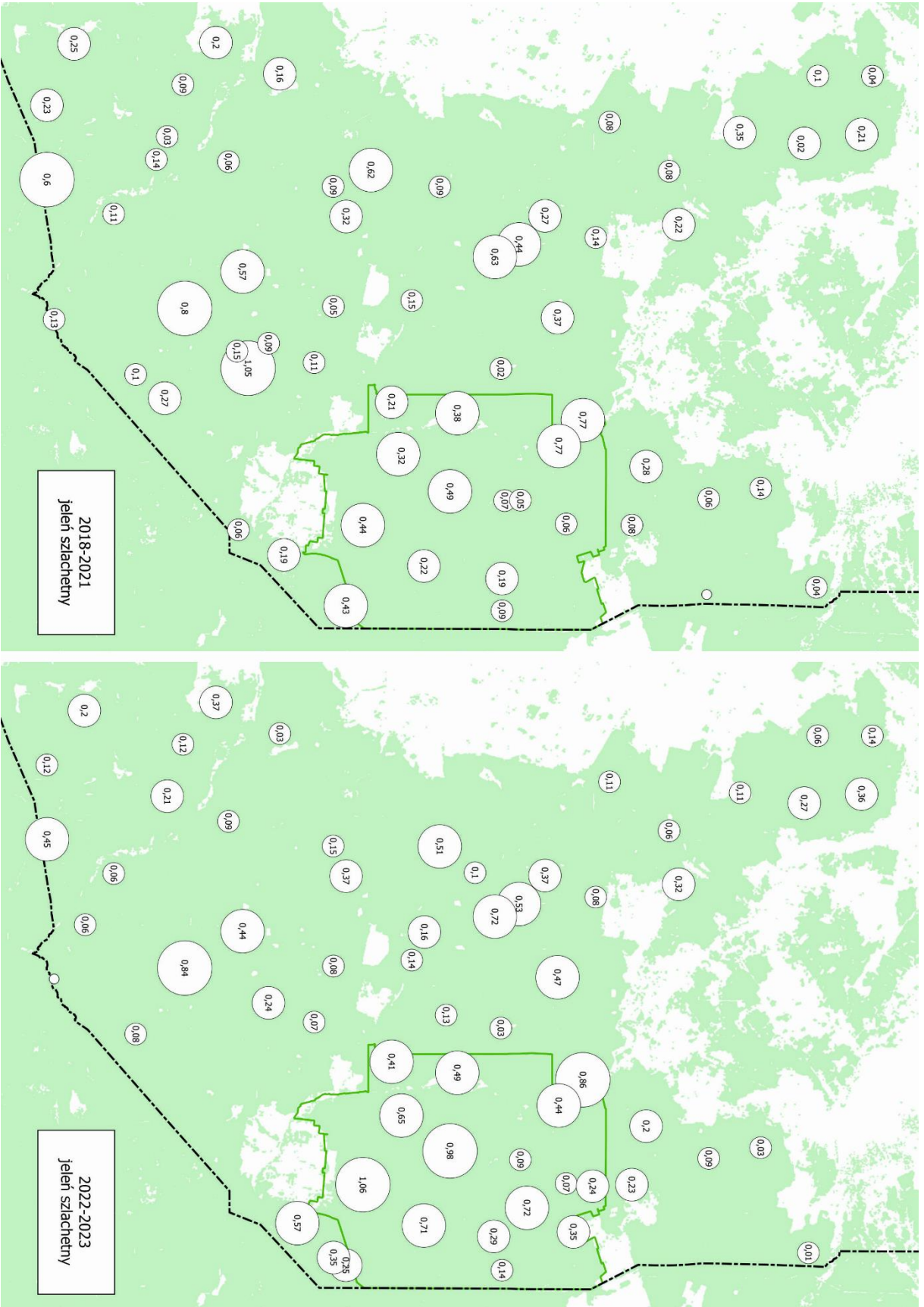
Szczególnie wyraźne zmiany widoczne są w aktywności lisa i jenota (Ryc. 4 i 5). Wskaźniki aktywności obu gatunków wzrosły istotnie w drugim analizowanym okresie w punktach monitoringowych usytuowanych w pobliżu pasa granicznego w południowej i wschodniej części Puszczy. Zarówno lisy jak i jenoty to drapieżniki o szerokich niszach pokarmowych, co sprawia, że chętnie korzystają z pokarmu pochodzenia antropogenicznego, wpływając w ten sposób na zagrożenie epidemiologiczne (Sutor i in. 2010; Panek i Budny 2017). Jest więc wysoce

prawdopodobne, że zwiększona aktywność tych zwierząt w bezpośredniej bliskości pasa granicznego jest związana z obecnością stałych posterunków wojskowych na granicy, które są źródłem odpadów spożywczych (tę obserwację potwierdzają dane BSG UW – rozdz. 4.2).

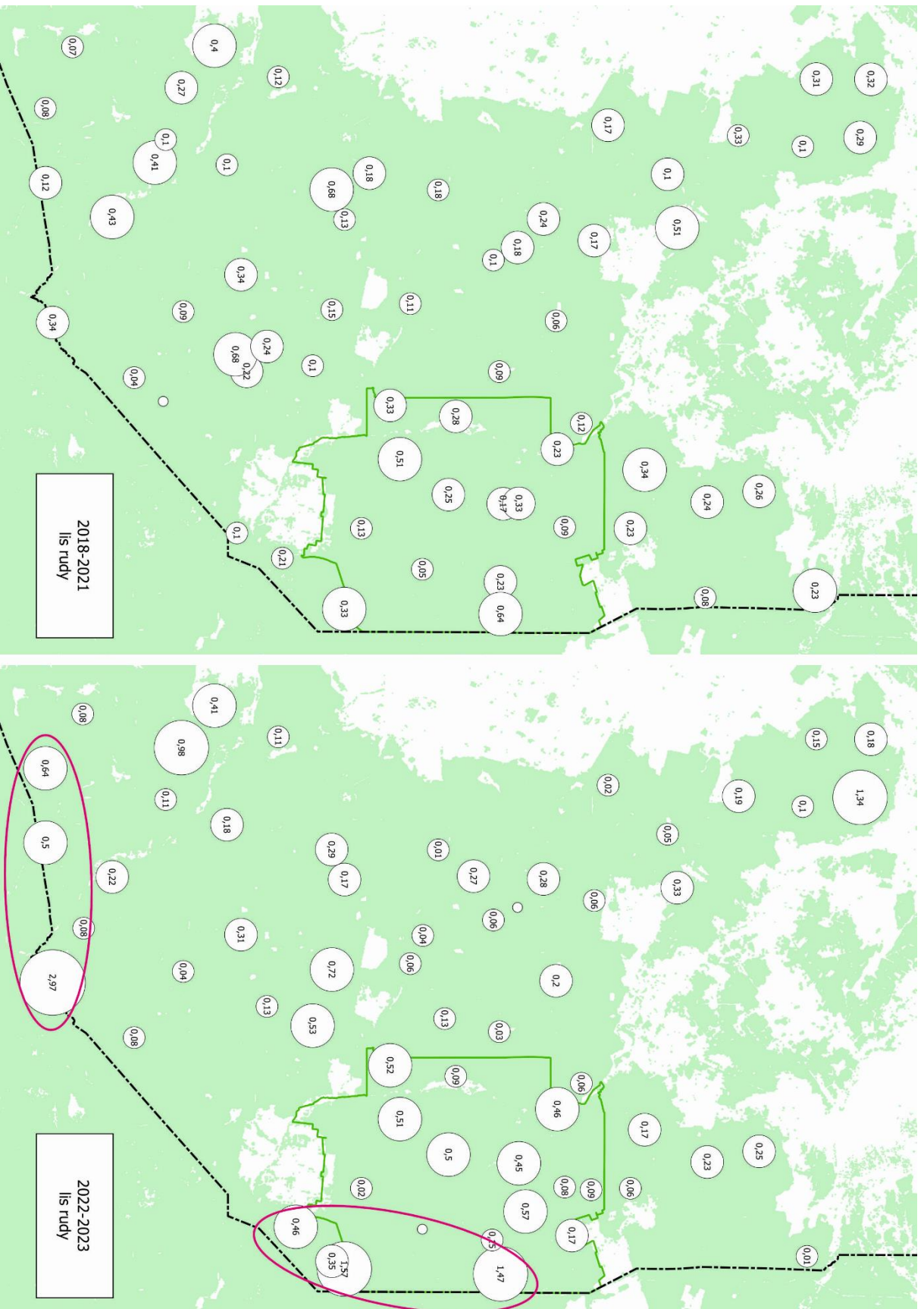
Koty domowe są stosunkowo rzadko stwierdzane wewnątrz kompleksu leśnego Puszczy Białowieskiej (przeciętna wysokość wskaźnika rejestracji wynosiła 0,02; Tabela 1). Jednak porównanie rozmieszczenia ich aktywności w obu okresach wyraźnie wskazuje, że częstość ich rejestracji istotnie wzrosła w południowej części Puszczy w punkcie zlokalizowanym bezpośrednio w sąsiedztwie jednego z posterunków wojskowych (Ryc. 6). Podczas, gdy te domowe drapieżniki pojawiały się wewnątrz lasu zasadniczo w pobliżu zabudowań, a wartość wskaźnika ich aktywności wynosiła średnio od 0,01 do 0,31, to w punkcie znajdującym się na granicy przy posterunku (w odległości 4 i 8 km od najbliższych osad leśnych) częstość rejestrowania kotów wzrosła z 0,02 w okresie 2018 – 2021 do 0,31 w latach 2022 – 2023 i była najwyższym wskaźnikiem aktywności kotów domowych na terenie Puszczy Białowieskiej w czasie 6-letniego monitoringu.



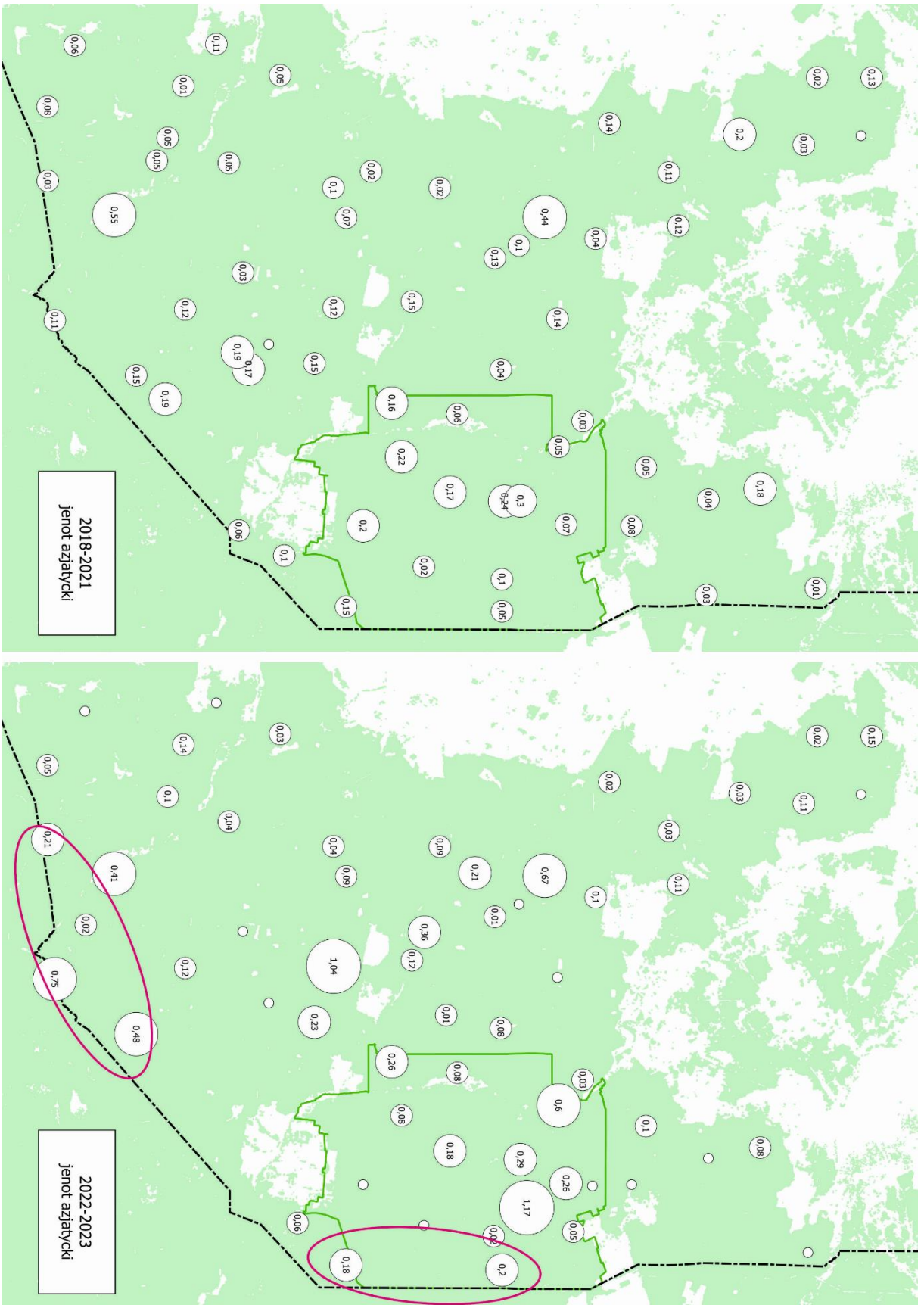
Ryc. 2. Rozmieszczenie wskaźników aktywności zębura w Puszczy Białowieżskiej w latach 2018 – 2021 (przed budową bariery) oraz w latach 2022 – 2023 (po zakończeniu budowy). Kółka oznaczają punkty monitoringu, a ich wielkość ilustruje względną wartość wskaźnika. Kółka puste – zero obserwacji. Zielona linia – granice Białowieżskiego Parku Narodowego. Czerwonymi elipsami zaznaczono obszary o zmniejszonej aktywności tych drapieżników



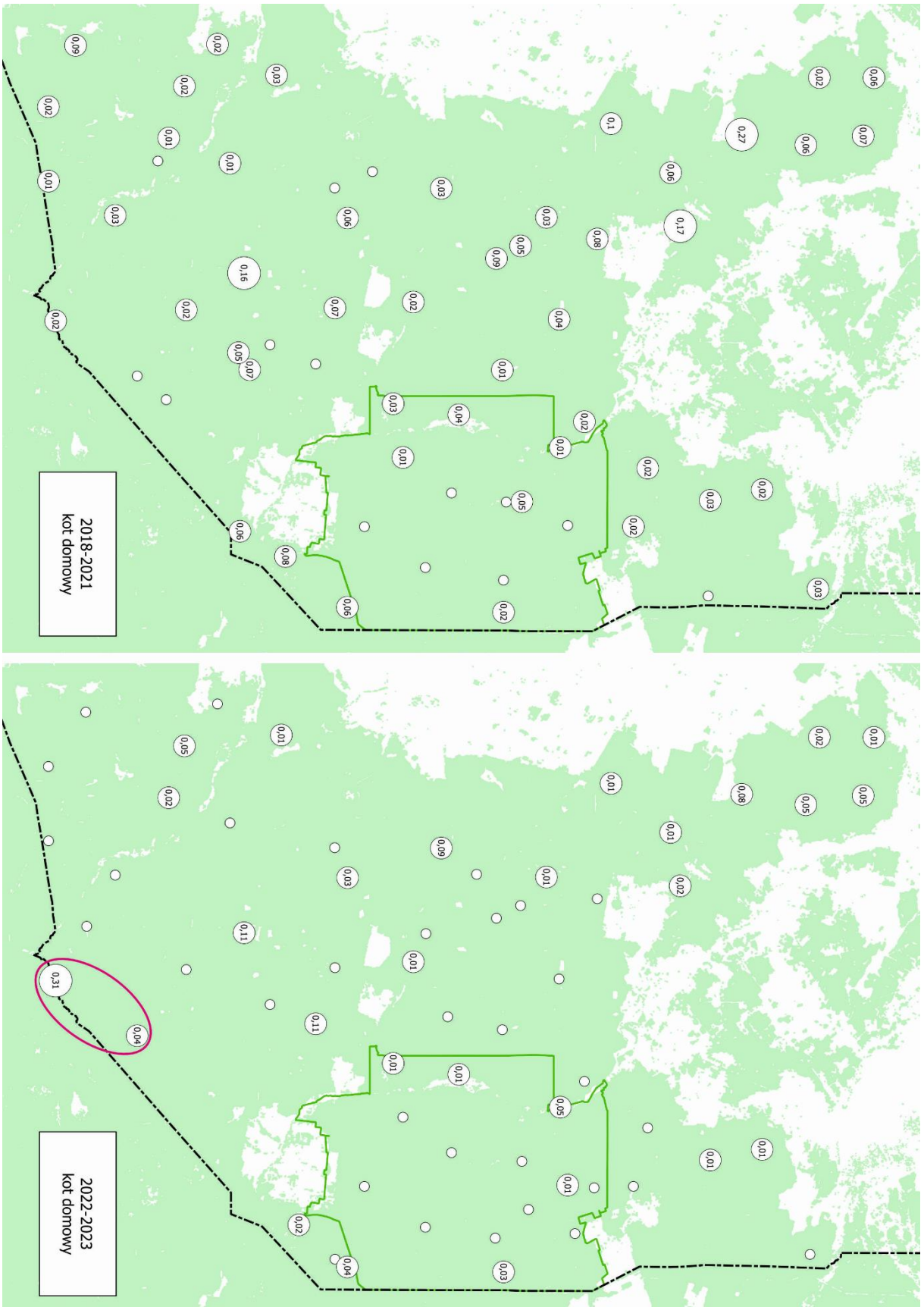
Ryc. 3. Rozmieszczenie wskaźników aktywności jelenia w Puszczy Białowieżskiej w latach 2018 – 2021 (przed budową bariery) oraz w latach 2022 – 2023 (po zakończeniu budowy). Kółka oznaczają punkty monitoringowe, a ich wielkość ilustruje względną wartość wskaźnika. Kółka puste – zero obserwacji. Zielona linia – granice Białowieżskiego Parku Narodowego



Ryc. 4. Rozmieszczenie wskaźników aktywności liśa w Puszczy Białowieżskiej w latach 2018 – 2021 (przed budową bariery) oraz w latach 2022 – 2023 (po zakończeniu budowy). Kółka oznaczają punkty monitoringowe, a ich wielkość ilustruje relatywną wartość wskaźnika. Kółka puste – zero obserwacji. Zielona linia – granice Białowieżskiego Parku Narodowego. Czerwonymi elipsami zaznaczono obszary o zwiększonej aktywności tych drapieżników



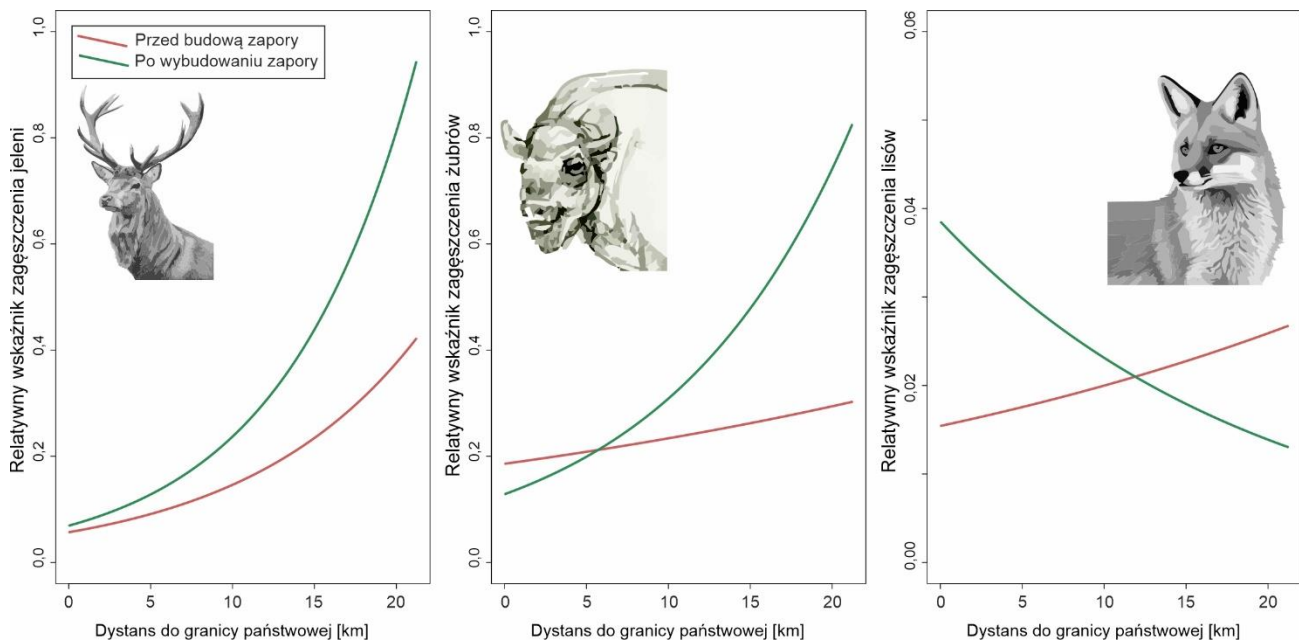
Ryc. 5. Rozmieszczenie wskaźników aktywności jenet w Puszczy Białowiejskiej w latach 2018 – 2021 (przed budową bariery) oraz w latach 2022 – 2023 (po zakończeniu budowy). Kółka oznaczają punkty monitoringu, a ich wielkość ilustruje względną wartość wskaźnika. Kółka puste – zero obserwacji. Zielona linia – granice Białowiejskiego Parku Narodowego. Czerwonymi elipsami zaznaczono obszary o zwiększonej aktywności tych drapieżników



Ryc. 6. Rozmieszczenie wskaźników aktywności kota domowego w Puszczy Białowieskiej w latach 2018 – 2021 (przed budową bariery) oraz w latach 2022 – 2023 (po zakończeniu budowy). Kółka oznaczają punkty monitoringowe, a ich wielkość ilustruje relatywną wartość wskaźnika. Kółka puste – zero obserwacji. Zielona linia – granice Białowieżskiego Parku Narodowego. Czerwonymi elipsami zaznaczono obszary o zwiększonej aktywności tych drapieżników

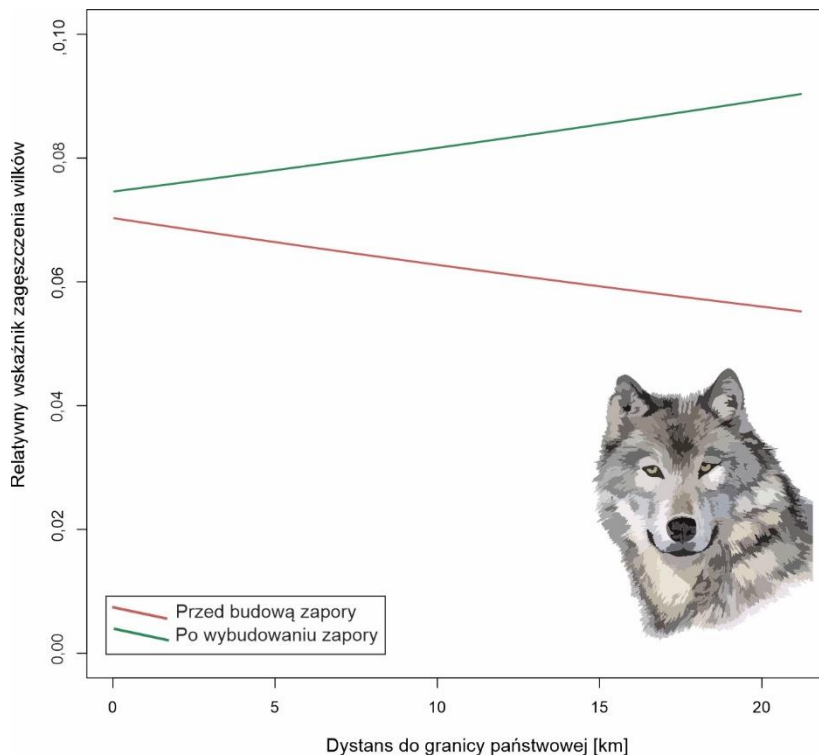
4.2.2 Analiza statystyczna zależności wskaźników zagęszczenia wybranych gatunków ssaków od odległości od granicy

Spośród 9 gatunków ssaków, dla których możliwe było przeprowadzenie modelowania zgodnie z opisanym w metodyce schematem, dwa wykazywały negatywną reakcję na budowę zapory. Były to jeleni i żubr (Ryc. 7 a,b). W przypadku tych gatunków, wybudowanie zapory na granicy koreluje z relatywnym spadkiem ich liczebności blisko granicy (żubr) oraz wzrostem ich liczebności z dala od granicy (jeleni i żubr). Interakcja statystyczna tych czynników jest na granicy istotności w przypadku jelenia ($p=0,079$) i wysoce istotna w przypadku żubra ($p=0,006$). Wynik ten może sugerować występowanie “odpychającego” efektu zapory – gatunki te po wybudowaniu zapory wydają się przemieszczać z lokalizacji w pobliżu zapory w te części Puszczy Białowieskiej, które są zlokalizowane z dala od zapory. W przypadku lisa zaobserwowano efekt odwrotny: po budowie zapory lisy istotnie częściej pojawiały się blisko zapory, w porównaniu do okresu przed budową zapory (Ryc. 7 c, istotność statystyczna $p<0,001$). Może to wskazywać na występowanie w rejonie zapory czynników przywabiających lisy, powodujących przesuwanie się ich aktywności w pobliże tej konstrukcji.



Ryc. 7. Predykcje z modeli GAMM obrazujące oczekiwane relatywny wskaźnik zagęszczenia jeleni (a), żubrów (b) i lisów (c) jako funkcja dystansu do granicy państwa w dwóch okresach: przed i po budowie zapory

Dla pozostałych sześciu gatunków ssaków nie wykazano statystycznie istotnej interakcji między efektem dystansu a efektem okresu badań. Jednak w przypadku wilka, choć interakcja ta jest również statystycznie nieistotna ($p=0,3$), można zauważyć ogólną tendencję, że w okresie przed budową zapory wskaźnik zagęszczenia tego drapieżnika malał wraz z rosnącą odległością od granicy, a po jej wybudowaniu zależność ta była odwrotna (Ryc. 8).



Ryc. 8. Predykcja z modelu GAMM obrazująca oczekiwany relatywny wskaźnik zagęszczenia wilka jako funkcja dystansu do granicy państwa w dwóch okresach: przed i po budowie zapory

Bardziej szczegółowa analiza statystyczna, uwzględniająca m.in. dobową zmienność w aktywności zwierząt, odstraszający efekt ludzi i pojazdów pojawiających się w pobliżu miejsc monitoringu oraz interakcje między gatunkami (np. obniżone prawdopodobieństwo obecności jelenia w lokalizacjach, w których pojawiają się wilki), mogłyby precyzyjniej oszacować efekt budowy zapory na granicy. Rekomendujemy wykonywanie takich analiz w ramach regularnego monitoringu przyrodniczego Obiektu Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”.

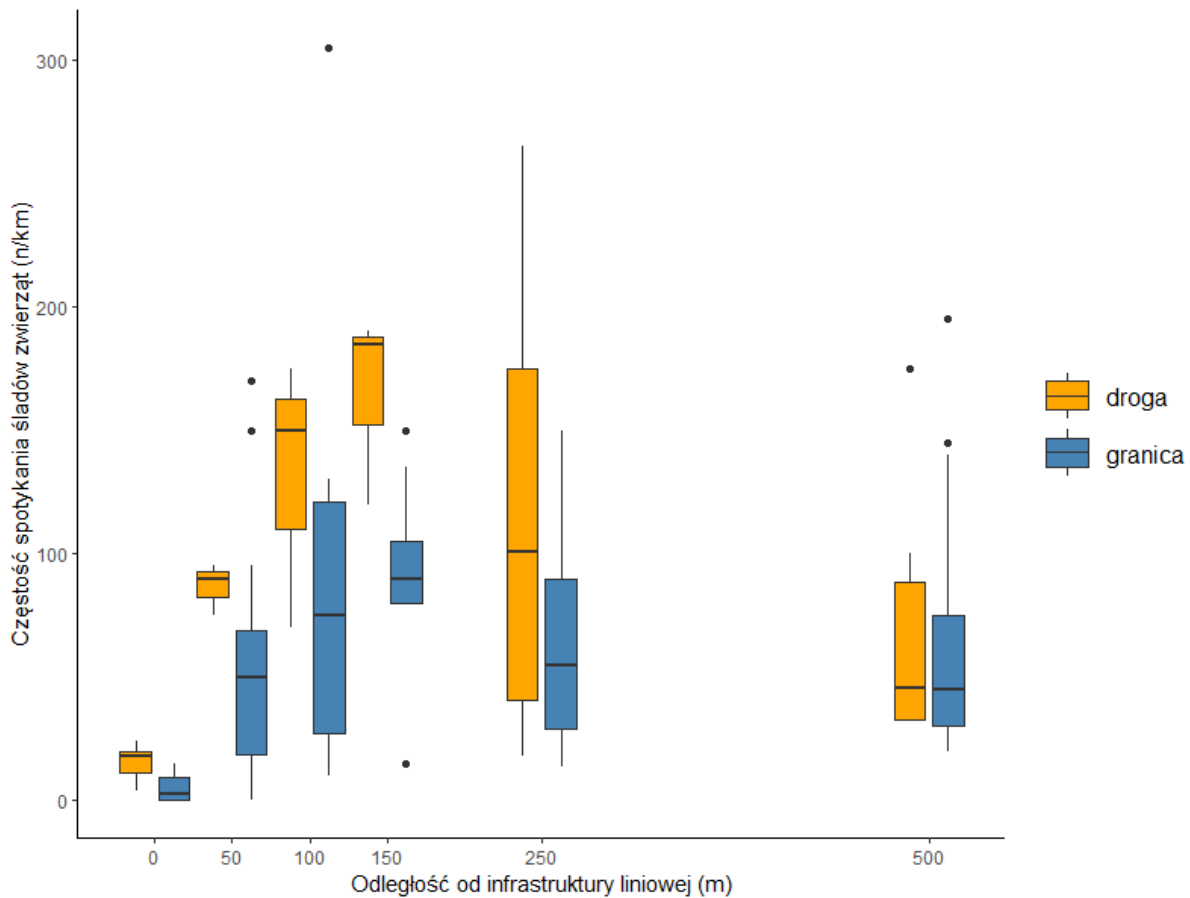
4.3 Zmiany aktywności zwierząt względem bariery w pasie granicznym

Białowieża Stacja Geobotaniczna UW realizuje interdyscyplinarny projekt badawczy pod tytułem „Zrozumienie i łagodzenie ekologicznego śladu barier granicznych” (2023 – 2025 r.). Badania prowadzone są w pasie 500 m wzdłuż granicy oraz referencyjnie wzdłuż dróg leśnych. W tym celu, na podstawie wstępnej lustracji terenu, wyznaczono transekty w odległościach 0, 50, 100, 150, 250 i 500 m od obu rodzajów infrastruktury (dróg i bariery granicznej), na których liczone odchody i inne ślady obecności zwierząt. Wyniki prac z transektów wykazują, że dzikie zwierzęta unikają bliskości dróg oraz bariery granicznej.

Przeprowadzona analiza statystyczna z wykorzystaniem uogólnionego mieszanego modelu liniowego (GLMM) wykazała, że kilka czynników znacząco wpłynęło na częstość napotkania śladów obecności zwierząt (odchody, oznaczenia terytorium itp. głównie jeleni i saren) na kilometr transektu. W szczególności typ infrastruktury (granica państwa, droga leśna) miał istotny wpływ na częstość napotkania śladów ($Estimate=2,0330$, $SE=0,5461$, $z=3,723$, $p<0,001$), wskazując, że była ona wyższa w pobliżu dróg oddalonych od pasa granicznego w porównaniu do granicy (Ryc. 9). Odległość od infrastruktury miała istotny pozytywny wpływ ($Estimate=0,9969$, $SE=0,1113$, $z=8,956$, $p<0,001$), co oznacza, że liczba śladów wzrastała wraz z odległością od drogi i granicy.

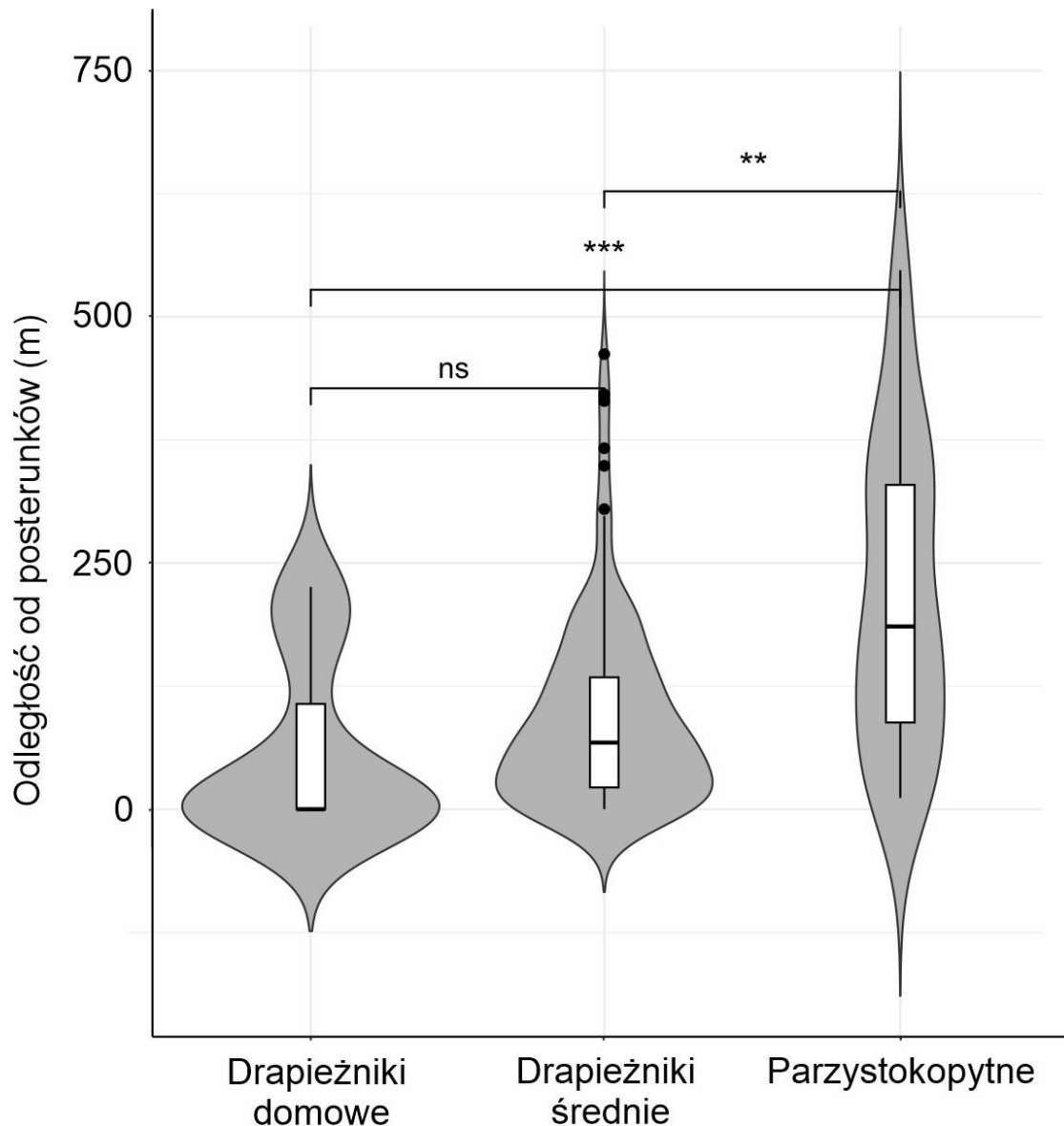
Podsumowując, unikanie infrastruktury przez dzikie zwierzęta różniło się w zależności od jej rodzaju, przy czym bardziej unikały one granicy niż drogi, a odległość od infrastruktury miała pozytywny wpływ na wskaźniki

napotykania ich śladów (Ryc. 9). Inne dane z projektu wskazują na większą aktywność ludzi wzdłuż granicy niż wzdłuż dróg leśnych, co może wyjaśniać tę różnicę.



Ryc. 9. Mediana wskaźników napotkania śladów zwierzęcych w zależności od odległości od granicy państwa i dróg leśnych na podstawie transektów przeprowadzonych w 6 różnych odległościach od infrastruktury. Kropki oznaczają wartości odstające. Źródło: BSG UW

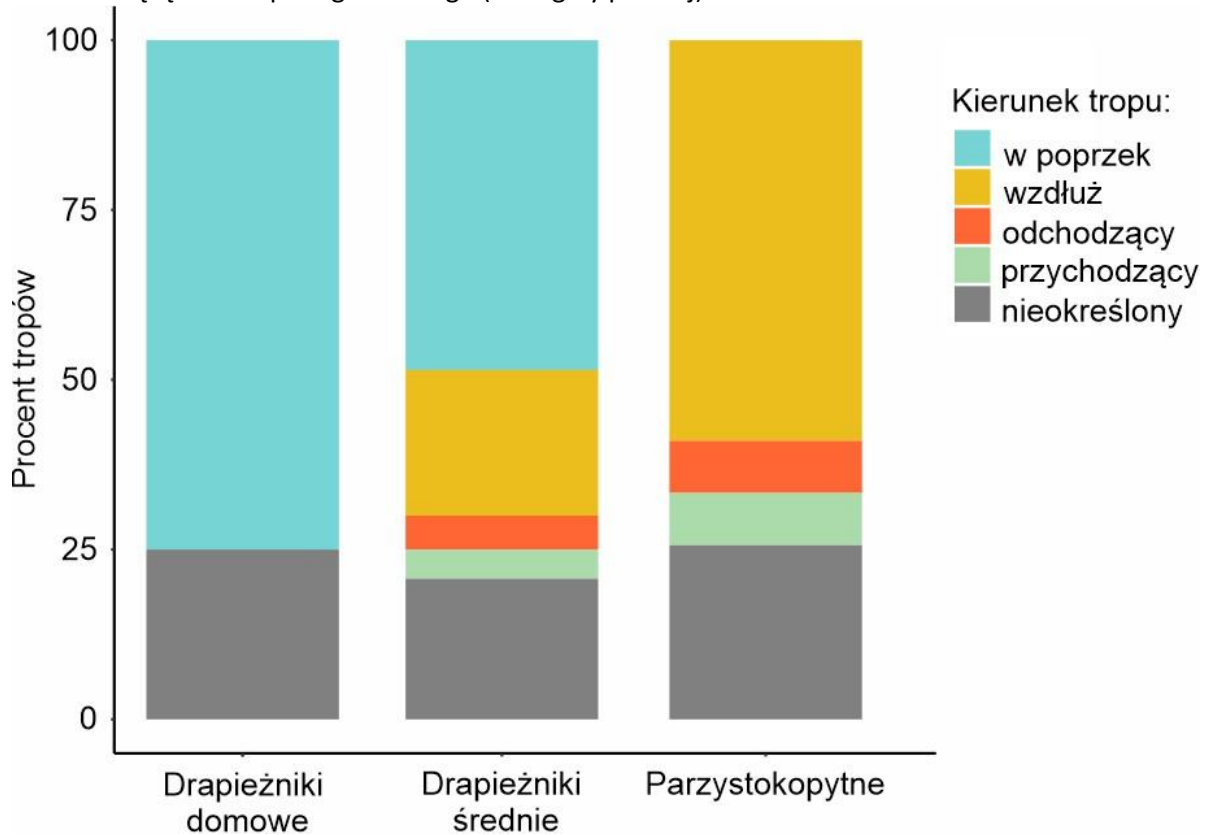
Tropienia zimowe wzdłuż granicy państwowej miały na celu rozpoznanie rozkładu przestrzennego obecności zwierząt w stosunku do miejsc skupienia ludzi (tj. posterunki wojskowe) na granicy i zbadanie, które gatunki zwierząt przenikają przez dodatkowe bariery graniczne (siatka leśna i concertina). Pokazały one, że tzw. średnie drapieżniki (do których należą m.in. lis, jenot, borsuk, kuna leśna itp.) były stwierdzane znacznie bliżej ludzi (tj. posterunków wojskowych; średnio poniżej 100 m), niż ssaki parzystokopytne (Ryc. 10). Ponadto, najbliższej granicy notowano również obecność drapieżników domowych (kotów i psów). Potwierdzają to również wyniki analiz materiałów z monitoringu fotonapływowego w skali całego Obiektu (rozdział 3.1), wskazując na istotny wpływ obecności służb mundurowych stacjonujących wzdłuż granicy na rozmieszczenie średniej wielkości drapieżników. Dotyczy to gatunków, które z uwagi na ich zwyczaje żywieniowe, mogą wykazywać uzależnienie od pokarmu pochodzenia antropogenicznego.



Ryc. 10. Rozkład odległości stwierdzeń drapieżników domowych (koty, psy), dzikich drapieżników średnich (lisy, jenoty, kuny) oraz ssaków parzystokopytnych (jeleni, sarna) od posterunków wojskowych wzdłuż granicy państwowej między Polską i Białorusią na obszarze Obiektu Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest” na podstawie tropień przeprowadzonych w styczniu 2024 r. Kształt wiolinowy oznacza rozrzut danych, prostokąty oznaczają zakres interkwartylowy, gruba linia wewnątrz prostokątów oznacza medianę. *ns* – różnice nieistotne, ** $p < 0,001$, *** - $p < 0,0001$. Źródło: BSG UW

Na podstawie tropów, przeanalizowano również dane dotyczące kierunków przemieszczania się zwierząt względem dodatkowych barier zainstalowanych wzdłuż zapory granicznej (ogrodzenie z siatki leśnej oraz bariera z drutu żyłkowego – concertina) na granicy państwowej w celu zbadania wpływu obecności fizycznych przeszkód na zachowanie się zwierząt (Ryc. 11). Rozpatrywano, czy zwierzęta przemieszczają się w poprzek barier (przekraczają je), wzdłuż oraz, czy kierują się w stronę barier, czy też się od nich oddalają. Analizy te wykazały, że dodatkowe bariery były przekraczane przez średniej wielkości zwierzęta (drapieżniki domowe i średnie drapieżniki), co może wskazywać na ich częste przebywanie w ich pobliżu. W przeciwieństwie do tego, duże ssaki (jelenie i sarny) w większości przypadków przemieszczały się wzdłuż barier, co sugeruje, że przeszkody wymuszały zmianę kierunku marszu i były dla nich niemożliwe do przekroczenia. Przeszkody te w istotny sposób zmieniały

sposób penetracji środowiska przez ssaki parzystokopytne. Może to przyczyniać się do zwiększania nakładów energetycznych na pozyskiwanie pokarmu przez te zwierzęta, a także ryzyka drapieżnictwa, gdyż wilki wykorzystują liniowe struktury (np. ogrodzenia), jako elementy ułatwiające im polowanie. Ma to również wpływ na roślinność rosnącą wzdłuż pasa granicznego (szczegóły poniżej).



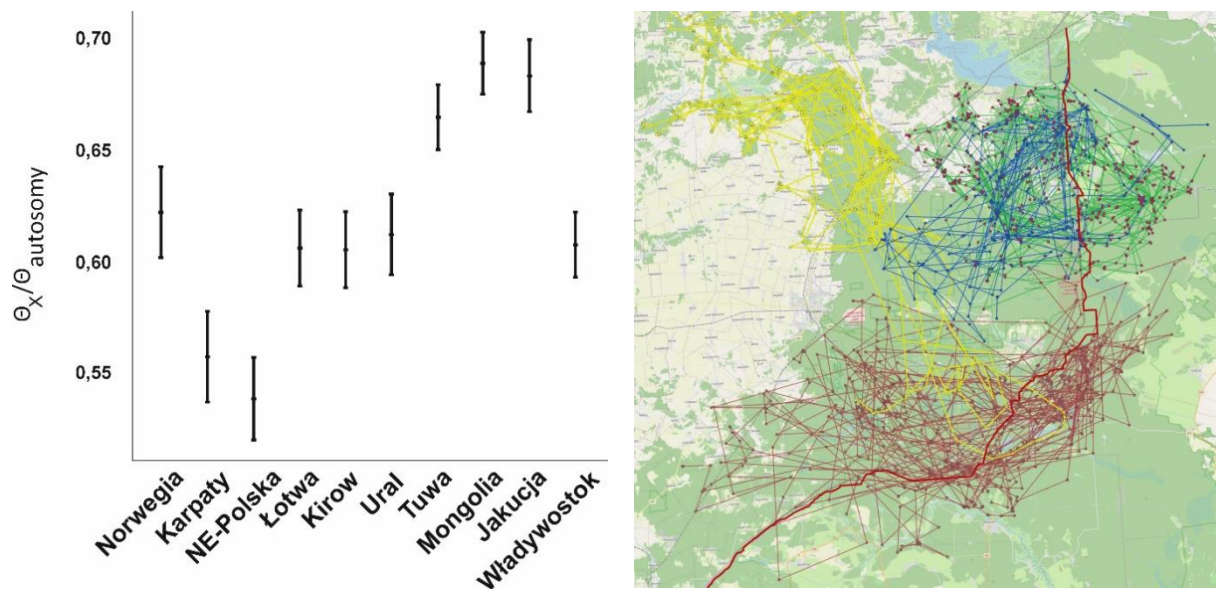
Ryc. 11. Kierunki przemieszczania się drapieżników domowych (koty, psy), dzikich drapieżników średnich (lisy, jenoty, kuny) i ssaków parzystokopytnych (jeleń, sarna) względem dodatkowych barier zainstalowanych wzdłuż zapory granicznej (ogrodzenie z siatki leśnej oraz bariera z drutu żyłkowego – concertina) na granicy państwowej między Polską i Białorusią na obszarze Obiektu Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”, na podstawie tropień przeprowadzonych w styczniu 2024 r. Źródło: BSG UW

5. WPŁYW BARIERY NA ŁĄCZNOŚĆ EKOLOGICZNĄ I FUNKCJONOWANIE POPULACJI SSAKÓW OBIEKTU

Zmiany w przemieszczaniu się wybranych gatunków zwierząt na obszarze Obiektu Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest” oraz zgromadzona wiedza na temat stanu populacji ważnych, zagrożonych gatunków ssaków pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

1) Istnienie bariery na granicy polsko-białoruskiej uniemożliwia przekraczanie jej przez duże zwierzęta. Ten efekt ma z pewnością największe znaczenie dla zachowania populacji rysia, która już teraz wykazuje bardzo obniżoną (najniższą w całym zasięgu gatunku: Lucena-Perez i in. 2020) zmienność genetyczną i niską liczebność (Ryc. 12a). Należy zaznaczyć, że te zagrożone koty zasiedlające Puszcę po obu stronach granicy, przed wybudowaniem zapory oraz uszczelnieniem białoruskiej „sistiemy”, tworzyły jedną populację. Wskazują na to wyniki badań telemetrycznych, które udowodniły, że w latach 2008 - 2012 wszystkie cztery wyposażone w nadajniki GPS osobniki wielokrotnie przekraczały granicę w wielu miejscach (Ryc. 12b).

Niska zmienność genetyczna białowieskiej populacji rysia wynika z jej izolacji, która jest efektem dużej fragmentacji środowiska leśnego w rejonie północno-wschodniej Polski, ale również Litwy i Białorusi. Bariera graniczna zbudowana w 2022 r. wzdłuż granicy z Białorusią przyczyni się do znacznego pogłębienia tej izolacji oraz wpłynie ograniczająco na efektywną wielkość populacji rysia. Podczas, gdy przed budową bariery, polska i białoruska część Puszczy Białowieskiej stanowiły łączne siedlisko rysia rozciągające się na obszarze całego kompleksu leśnego o wielkości 1500 km², obecnie zostało ono ograniczone do połowy. Jednocześnie, zapora całkowicie zablokowała przemieszczanie się tych zwierząt między obiema częściami Puszczy. Dodatkowo, najprawdopodobniej spowodowała zaburzenie organizacji przestrzennej i socjalnej populacji rysia, poprzez utratę części terytoriów niektórych osobników oraz ograniczyła możliwości kojarzenia się między osobnikami po obu stronach bariery. Ma to ogromne znaczenie dla reprodukcji rysia, gdyż samice zajmują wyłączne terytoria o wielkości zapewniającej dostęp do odpowiedniej ilości pokarmu. Bariera uniemożliwia swobodne wykorzystanie obszaru Puszczy, zmuszając drapieżniki do poszukiwania pokarmu na jej obrzeżach lub poza nią, gdzie ryzyko śmiertelności jest większe niż w jej granicach (Kowalczyk i in. 2015). Może to obniżyć sukces łowiecki i przeżywalność kociąt, ale także zwiększać śmiertelność dorosłych osobników. Biorąc pod uwagę już i tak bardzo niską liczebność tych kotów, wpłynie to z pewnością w jeszcze większym stopniu ograniczająco na wielkość tej populacji i jej różnorodność genetyczną, a w konsekwencji istotnie obniży szansę jej dalszego istnienia.



Ryc. 12. Wpływ fragmentacji środowiska i barier migracyjnych na zmienność genetyczną rysia: a – współczynniki różnorodności genetycznej (proporcja wskaźnika zmienności Wattersona (Θ) na chromosomie X i autosomach) w różnych populacjach rysia w Eurazji (Lucena-Perez i in. 2020); b – przemieszczanie się czterech osobników rysia oznakowanych nadajnikami GPS w latach 2008 – 2012 w polskiej części w Puszczy Białowieskiej (dane IBS PAN) (czerwona linia oznacza barierę po stronie białoruskiej). Niska zmienność genetyczna populacji utrzymywała się pomimo występowania możliwości przekraczania granicy między obiema częściami Puszczy

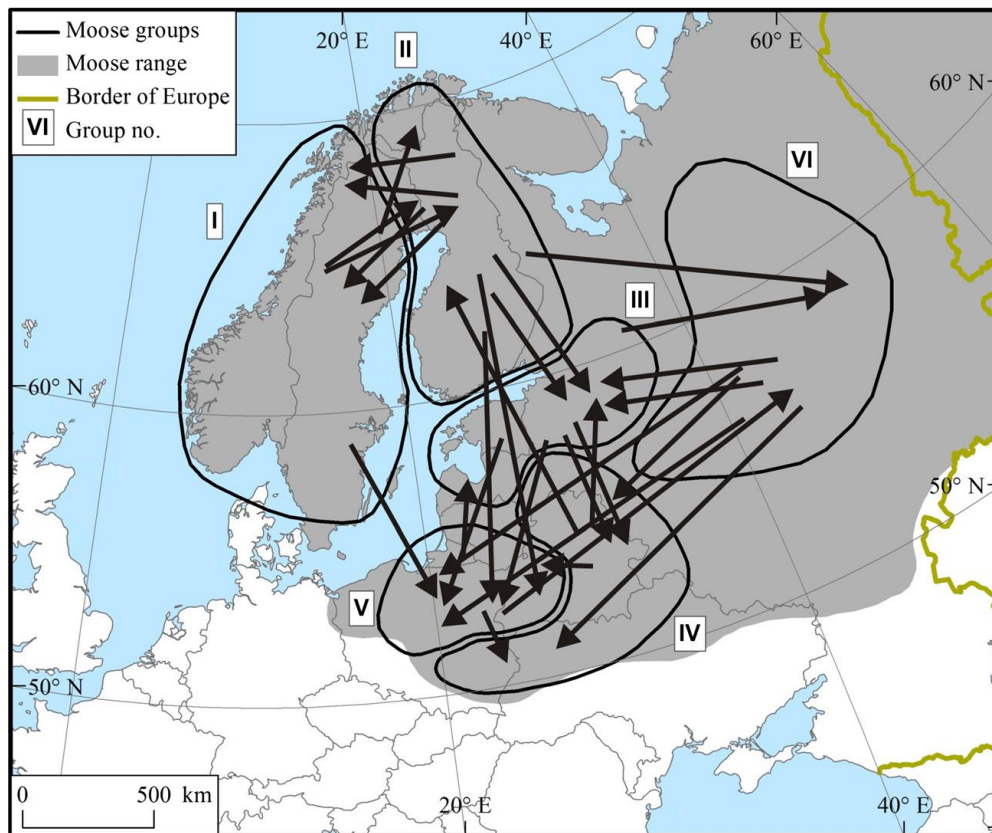
Blokujące oddziaływanie bariery na wędrówki dużych zwierząt może mieć również ogromne znaczenie w przypadku największych i najrzadszych gatunków parzystokopytnych – żubra i łosia. Pomimo rosnącej liczebności, żubr ma bardzo niski wskaźnik tzw. efektywnej wielkości populacji, wynoszący w polskiej części Puszczy Białowieskiej 23,5, a w białoruskiej 32. Jest on konsekwencją bardzo nielicznej grupy założycieli i skrajnie niskiej zmienności genetycznej. Wskaźnik ten oznacza, że z genetycznego punktu widzenia, efekt jest taki, jakby w rozrodzie co roku brało udział nie kilkaset, co ma miejsce, a zaledwie 23 (a 32 po stronie białoruskiej) osobniki (Tokarska i in. 2011). Ta sytuacja sama w sobie stanowi potencjalne zagrożenie demograficzne i epizootyczne dla tych zwierząt (Tokarska i in. 2011). Żubry żyjące po obu stronach granicy polsko-białoruskiej nie mają ze sobą kontaktu już od 1981 r. w wyniku zbudowania bariery po białoruskiej stronie. Sama budowa dodatkowej zapory

po polskiej stronie granicy w regionie Puszczy Białowieskiej w ostatnim czasie nie zmieniła zatem drastycznie możliwości migracyjnych dużych kopytnych. Natomiast realnym i wyjątkowo brutalnym elementem zapory, nie tylko dla tej grupy zwierząt, są towarzyszące jej zwoje drutu żyłkowego, które już wielokrotnie okazały się śmiertelnym zagrożeniem dla wielu zwierząt (<https://oko.press/najdluzsze-polskie-wnyki-zabijaja-setki-dzikich-zwierzat>).

Fakt, że żyjące obok siebie dwie różne populacje żubra nie mają możliwości kontaktu, można rozpatrywać z dwóch perspektyw. Z jednej strony, zapobiega to mieszaniu się dwóch linii genetycznych, które na początku restytucji gatunku zostały celowo odizolowane. Na obecnym etapie ochrony żubra, nie tyle jest to korzystne dla zachowania „czystości genetycznej” żubra linii nizinnej (pochodzącej od 7 założycieli), co zachowanie rzadkich wariantów genetycznych żubra linii nizinno-kaukaskiej (pochodzących od wspomnianych 7 założycieli i dodatkowych 5 żubrów, nieobecnych w rodowodach linii nizinnej). Poza tym dwie odizolowane populacje dają większe bezpieczeństwo epizootyczne dla większej liczby zwierząt.

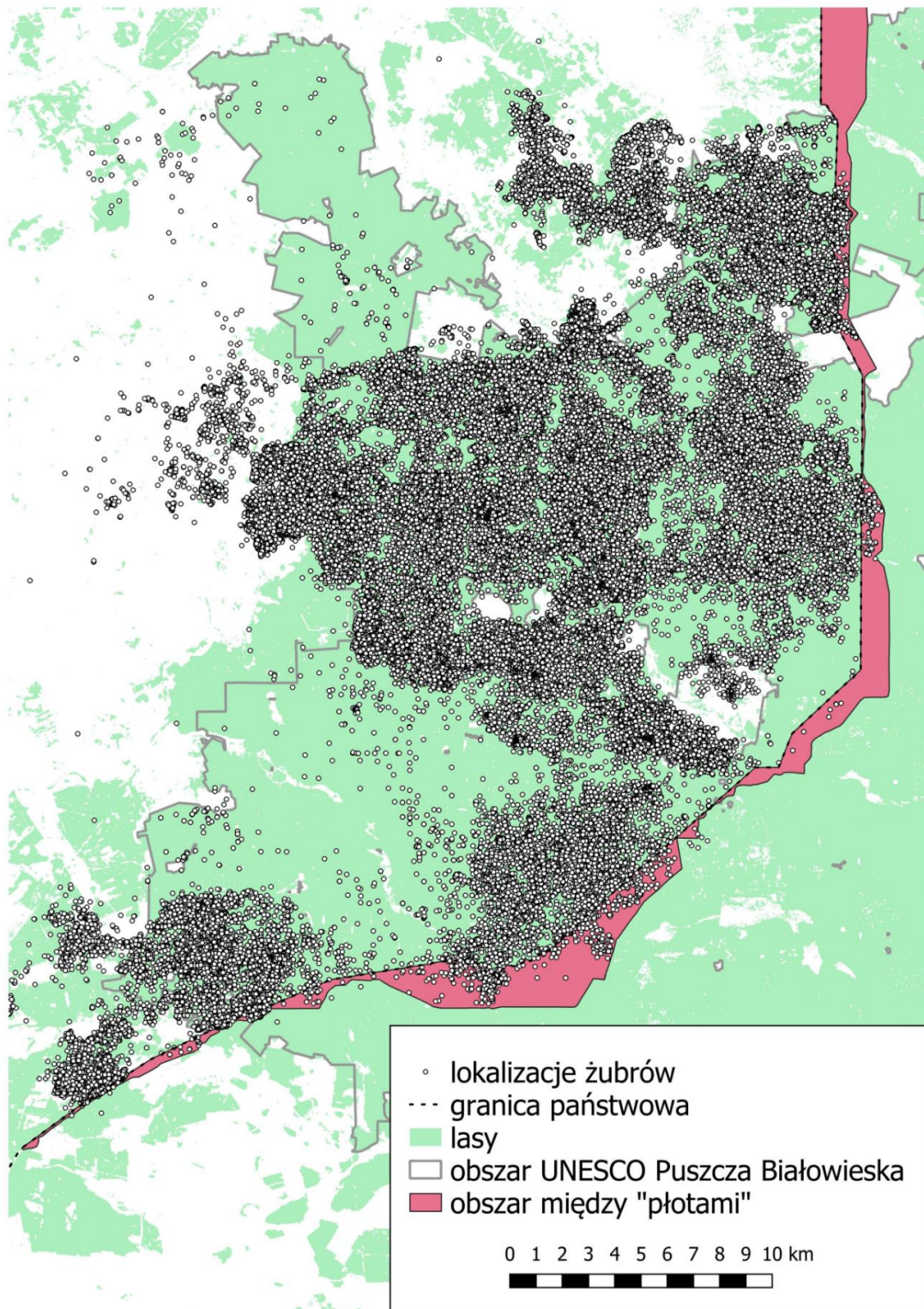
Patrząc z drugiej strony, możliwość połączenia obu populacji, prawdopodobnie i tak nieuchronna w przyszłości, niesłaby dla gatunku niewątpliwie korzyści w postaci powiększenia przez linię nizinną swojego potencjału genetycznego. Sztuczne utrzymywanie izolacji, zwłaszcza w obrębie jednego kompleksu leśnego, jest niekoniecznie zasadne i docelowo trudne do utrzymania.

Natomiast łosie, które w Puszczy Białowieskiej są najmniej licznym gatunkiem parzystokopytnych, w północno-wschodniej Polsce tworzą genetycznie jedną populację z osobnikami z zachodniej Białorusi. Jest ona jedną z najbardziej zróżnicowanych pod tym względem populacji w Europie. Łosie zasiedlające ten region kontynentu posiadają unikalne warianty genetyczne, niewystępujące w innych częściach zasięgu tego gatunku (Niedziałkowska i in. 2014, 2016a). Do tej pory istniał intensywny przepływ genów między osobnikami zamieszkującymi obszar naszego kraju, w tym Puszcze Białowieską, z łosiami występującymi na obszarach Europy wschodniej (Niedziałkowska i in. 2016a,b), mimo istniejącej bariery, tzw. „sistiemy” na granicy polsko-białoruskiej. Być może wynikało to z mniejszej szczelności tej bariery i wykorzystywania przez łosie do migracji dolin rzecznych i rzek, które nie były do tej pory grodzone. Osobniki tego gatunku często przemieszczają się na znaczne odległości, nawet do ok. 1000 km. Wykazano, że znaczący przepływ genów w populacji łosia w kontynentalnej części Europy zachodzi na dystansie 500-600 km (Niedziałkowska i in. 2016a,b). Przez nasz kraj przebiega południowo-zachodnia granica zasięgu tego gatunku, a jego zagęszczenia są tu najniższe w Europie (Jensen i in. 2020) i populacja na tym obszarze jest zasilana osobnikami migrującymi wyłącznie ze wschodniej i północno-wschodniej części kontynentu (Ryc. 13; Niedziałkowska i in. 2016a,b). Dlatego wzrost szczelności bariery granicznej w wyniku zbudowania zapory po polskiej stronie będzie oddziaływać negatywnie na możliwość przepływu genów między populacjami, co może w dłuższej perspektywie czasu spowodować spadek zróżnicowania genetycznego tego gatunku w Polsce i wpływać negatywnie na możliwości rozwoju populacji łosia i adaptacji do zmieniających się warunków środowiskowych.



Ryc. 13. Migracje łosi w Europie między populacjami wyróżnionymi na podstawie analiz mikrosatelitarnego DNA. Strzałki oznaczają migrujące osobniki (Niedziałkowska i in. 2016b)

Dodatkowym, potencjalnie negatywnym efektem skonstruowania bariery po polskiej stronie jest zamknięcie znacznej części Puszczy Białowieskiej między dwoma barierami – polską i białoruską. Obszar ten wynosi około 37 km², co stanowi dużą utratę obszaru swobodnie wykorzystywanego przez niektóre zwierzęta przed budową bariery (Ryc. 14). Jest całkiem prawdopodobne, że pewna liczba dużych zwierząt (żubry, łosie, wilki, rysie) mogła pozostać w tej zamkniętej strefie. Dlatego odizolowanie tego obszaru od pozostałej części Obiektu, a wraz z nim zwierząt, może przyczynić się do ograniczenia puli genetycznej populacji rzadkich gatunków zamieszkujących ten obszar. W okresie stawiania na granicy zapory z concertyny, z obszarów tych uwolniono kilka żubrów, a co najmniej dwa żubry padły.



Ryc. 14. Lokalizacje telemetryczne żubrów w Puszczy Białowieżskiej w latach 2005 – 2012 (dane IBS PAN) pokazujące użytkowanie przez te zwierzęta strefy między granicą Polski a białoruską „sistiemą”

2) Obecność fizycznej bariery wymusza zmiany kierunków przemieszczania się dużych zwierząt. Trudno oszacować skalę tego oddziaływania na biologię zwierząt, zwłaszcza w dłuższej perspektywie czasowej, w przypadku gatunków ssaków zamieszkujących Puszcę Białowieżską. Dotychczasowa wiedza wskazuje, że długie, nieprzepuszczalne bariery liniowe powodują gromadzenie się wzdłuż nich zwierząt, wpływając na wzrost ich zagęszczenia oraz wywołując zaburzenia struktury socjalnej i genetycznej (Riley i in. 2006). Udowodniono

również, że rozwój infrastruktury liniowej, takiej jak drogi, ropociągi, gazociągi powoduje nawet 70% wzrost wydatków energetycznych jeleni, które szukając możliwości ich przekroczenia przemieszczają się równoległe do nich (Chambers i in. 2022). Dlatego należy oczekiwać, że również w przypadku bariery dzielącej Puszcę Białowieską, jej wpływ będzie w istotny sposób odkształcał sposób penetracji środowiska przez duże ssaki, co może skutkować m.in. zwiększaniem nakładów energetycznych na pozyskiwanie pokarmu, a w dalszej konsekwencji niekorzystnie oddziaływać na kondycję osobników i ich potencjał rozrodczy.

3) Aktywność służb mundurowych w pasie granicznym powoduje wzrost użytkowania tej strefy przez średniej wielkości drapieżniki – lisy, jenoty oraz koty domowe. Jest to zjawisko bardzo niekorzystne zarówno przyrodniczo, jak i z punktu widzenia epizoocjologii i epidemiologii. Drapieżniki te, wabione przez pozostawiane przez służby odpady spożywcze, gromadzą się w nienaturalnych zagęszczeniach w pobliżu posterunków wojskowych, przez co może dochodzić do wzrostu interakcji zarówno wewnątrz jak i międzygatunkowych. Lisy i jenoty są częstymi przenosicielami chorób zakaźnych, takich jak wścieklizna (Singer i in. 2009), świerzb (Kołodziej-Sobocińska i in. 2014), bąblowica (Karamon i in. 2014), trichinelloza (Malone i in. 2024), toksoplazmoza (Kornacka-Stackonis 2022); natomiast koty domowe są również przenosicielami różnych chorób, m. in. takich zoonoz jak toksoplazmoza, czy toksokaroza (Turliewicz-Podbielska i in. 2023; Bonilla-Aldana i in. 2024).

Jenot, jako gatunek inwazyjny, może mieć istotny negatywny wpływ na rodzimą faunę zarówno przez drapieżnictwo, jak i konkurencję z innymi gatunkami drapieżników (Kauhala i Kowalczyk 2011). Ponieważ drapieżniki te chętnie zasiedlają nory borsuków i lisów, może to sprzyjać przenoszeniu chorób na te rodzime gatunki. Stworzenie dodatkowego źródła pokarmu w lesie wzdłuż granicy państwowej będzie więc w sztuczny sposób wywoływać wzrost zagęszczenia tego niepożądanego gatunku w Puszczy Białowieskiej.

W związku z powyższym, istnieje poważne ryzyko, że funkcjonowanie służb mundurowych na tym obszarze przyczyni się do zwiększonej transmisji chorób pomiędzy dzikimi i domowymi zwierzętami poprzez ich częstszy kontakt np. przy wojskowych posterunkach, wzrostu zachorowań wśród zwierząt, przenoszenia patogenów na inne tereny, ale również (np. za pośrednictwem kotów domowych) ich transmisji na ludzi.

6. WPŁYW BARIERY NA WPROWADZENIE I ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ GATUNKÓW INWAZYJNYCH

W odniesieniu do ssaków, kwestię wpływu bariery na rozmieszczenie inwazyjnego gatunku – jenota, omówiono w punkcie 4. Informacje na temat wpływu bariery na rozprzestrzenianie się inwazyjnych gatunków roślin opracowano na podstawie badań przeprowadzonych przez Białowieską Stację Geobotaniczną Uniwersytetu Warszawskiego w okresie od sierpnia do września 2024 r. Inwentaryzację roślin przeprowadzono na 48 transektach o długości 100 m (łącznie 4,8 km) zlokalizowanych wzdłuż granicy państwowej. Występowanie gatunków inwazyjnych przypisywano do jednej z 4 stref wzdłuż granicy: 1) skraj lasu, 2) pomiędzy dwoma dodatkowymi barierami – ogrodzeniem z siatki leśnej i pasem concertyny, 3) wzdłuż drogi granicznej po stronie leśnej, 4) wzdłuż drogi granicznej po stronie głównej bariery.

Inwentaryzacja przeprowadzona do tej pory wykazała obecność 13 potencjalnie inwazyjnych gatunków roślin (czyli takich, których inwazji nie wykazano, ale jest ona możliwa) w pasie granicznym (Tabela 2). Do najczęstszych gatunków należały: przymiotno kanadyjskie *Conyza canadensis*, nawłóć kanadyjska *Solidago canadensis*, uczepek amerykański *Bidens frondosa* i włośnica sina *Setaria pumila*. Przymiotno kanadyjskie (Ryc. 15) jest gatunkiem, który występował na 43 z 48 transektów i był reprezentowany przez największą liczbę osobników. Na 16 transektach naliczono do 100 osobników, a na 16 innych stwierdzono do 1000 osobników tego gatunku. Łącznie

na około 39% transektów występowało do 10 osobników różnych gatunków inwazyjnych, a na 20% transektów stwierdzono nawet do 100 osobników.

Tabela 2. Gatunki roślin o potencjale inwazyjnym zinwetaryzowane na 48 100-metrowych transektach wzdłuż granicy państwowej między Polską a Białorusią. Kategorie liczebności odnoszą się do 100-m transektów

Gatunek	Typ	Nazwa polska	Liczebność (osobniki)					RAZEM
			1	<10	<100	<1000	>1000	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	lokalnie kenofit	Klon jawor	2	4	3	-	-	9
<i>Bidens frondosa</i>	kenofit	Uczep amerykański	4	9	-	7	2	22
<i>Conyza canadensis</i>	kenofit	Przymiotno kanadyjskie	2	7	16	16	2	43
<i>Echinochloa crus-galli</i>	archofit	Chwastnica jednostronna	2	2	-	-	-	4
<i>Erigeron sp.</i>	kenofit	Przymiotno	9	8	1	-	-	18
<i>Galinsoga ciliata</i>	kenofit	Żółtlica owłosiona	-	1	1	-	-	2
<i>Lupinus polyphyllus</i>	kenofit	Łubin trwały	-	1	-	-	-	1
<i>Malus domestica</i>	kenofit	Jabłoń domowa	1	-	-	-	-	1
<i>Oxalis sp.</i>	kenofit	Szczawik	-	1	-	-	-	1
<i>Sambucus racemosa</i>	lokalnie kenofit	Dziki bez koralowy	1	-	-	-	-	1
<i>Sarothamnus scoparius</i>	lokalnie kenofit	Żarnowiec miotlasty	2	2	1	-	-	5
<i>Setaria pumila</i>	archofit	Włośnica sina	4	13	4	-	-	21
<i>Solidago canadensis</i>	kenofit	Nawłóć kanadyjska	14	16	7	-	-	37
RAZEM			41	64	33	23	4	165
%			24,85	38,79	20,00	13,94	2,42	100

Rośliny inwazyjne występowały najczęściej (36% stwierdzeń) w strefie między ogrodzeniem z siatki leśnej a zasiekami z drutu żyłkowego (Tabela 3, Ryc. 15). Stosunkowo często znajdowano je również w strefie leśnej sąsiadującej z pasem granicznym. Najrzadziej spotykano te gatunki na granicy drogi i bariery głównej (na co mogły mieć wpływ ruch pojazdów oraz ograniczona widoczność, gdy badacze szli wzdłuż skraju lasu). Częstsze występowanie tych roślin w pasie dodatkowych barier może mieć związek z wyłączeniem tej strefy spod presji dużych ssaków roślinożernych. Oznacza to jednocześnie, że stosowanie tych dodatkowych zabezpieczeń sprzyja rozwojowi i ekspansji gatunków inwazyjnych. Natomiast obecność tych gatunków w strefie leśnej wskazuje, że proces ich ekspansji zaczął się już rozszerzać poza obszar pasa granicznego na teren ekosystemu leśnego.

W strefie pasa granicznego stwierdzono łącznie ponad 100 gatunków roślin nieleśnych, ciepłolubnych, pionierskich i obcych (w tym wymienionych gatunków potencjalnie inwazyjnych). Warunki środowiskowe panujące w obszarze pasa granicznego (duże naświetlenie, wyższa temperatura, niż pod okapem lasu oraz brak presji ze strony ssaków parzystokopytnych, a także materiały budowlane, posterunki i ogniska) sprzyjają rozwojowi tych roślin. Powoduje to, że zawleczone przypadkowo wraz z materiałem budowlanym i na kołach pojazdów inwazyjne gatunki roślin mają bardzo duże szanse na szybki rozwój i ekspansję na znaczne obszary Obiektu.

Tabela 3. Frekwencja stwierdzania gatunków roślin o potencjale inwazyjnym w czterech strefach pasa granicznego wzdłuż granicy państwowej między Polską a Białorusią. Uwaga: niska frekwencja stwierdzeń w pasie między drogą i barierą może wynikać z ograniczonej widoczności

Gatunek	Skraj lasu	Między barierami	Droga/las	Droga/bariera	RAZEM
Klon jawor	8	5	1	0	14
Uczep amerykański	16	17	9	0	42
Przymiotno kanadyjskie	26	30	30	9	95
Chwastnica jednostronna	0	2	1	0	3
Chwastnica sp.	0	0	1	0	1
Przymiotno	6	10	3	4	23
Żóttlica owłosiona	0	0	2	0	2
Łubin trwały	1	0	0	0	1
Jabłoń domowa	0	1	0	0	1
Szczawik	0	1	0	0	1
Dziki bez koralowy	0	1	1	0	2
Żarnowiec miotlasty	5	2	0	0	7
Włośnica sina	8	13	11	3	35
Nawłoc kanadyjska	18	21	16	5	60
RAZEM	88	103	75	21	287
%	30,66	35,89	26,13	7,32	100



Ryc. 15. Przymiotno kanadyjskie (po lewej) i nawłóć kanadyjska (po prawej) rosnące pomiędzy barierami dodatkowymi. Zdjęcia z sierpnia/września 2024 r.

7. PROPONOWANE DZIAŁANIA DO UWZGLĘDNIENIA W PLANIE ZARZĄDZANIA OBIEKTEM ŚWIATOWEGO DZIEDZICTWA „BIAŁOWIEŻA FOREST” (część polska)

Wyniki wstępnych badań wskazują, że bariera wybudowana na granicy polsko-białoruskiej ma mierzalny wpływ na rozmieszczenie i przemieszczanie się ssaków oraz występowanie inwazyjnych gatunków roślin w transgranicznym Obiekcie Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”. Co ważne, wpływ ten jest zauważalny już w pierwszych dwóch latach po jej skonstruowaniu, a należy oczekiwać, że w długiej perspektywie czasowej będzie się nasilał. Choć w obecnej sytuacji politycznej i w obliczu kryzysu migracyjnego likwidacja bariery w najbliższym czasie jest niemożliwa, to strategicznym celem *Planu Zarządzania Obiektem* powinno być jej usunięcie w przyszłości, lub istotne obniżenie jej negatywnego oddziaływania na ekosystem. Dotyczy to zarówno bariery zbudowanej w 2022 r. po polskiej stronie jak i zapory białoruskiej, tzw. „sistiemy”. W okresie przejściowym (w przypadku poprawy sytuacji polityczno-migracyjnej, przed ewentualnym usunięciem obu barier), przejścia dla zwierząt wbudowane w zaporze powinny zostać otwarte. Oczywiście, samo otwarcie bram w polskiej zaporze w przypadku niektórych gatunków nie rozwiąże problemu izolacji polskich i białoruskich populacji zwierząt, z uwagi na znajdującą się po stronie białoruskiej „sistiemę”. Jedynie równoczesne istotne zwiększenie przepuszczalności (poprzez otwarcie bram lub częściową likwidację) obu barier (polskiej i białoruskiej) może trwale poprawić przemieszczanie się osobników przez granicę. Inicjowanie jakichkolwiek działań minimalizujących wpływ bariery musi być szczegółowo monitorowane, by na bieżąco oceniać ich efektywność i ewentualnie korygować podejmowane kroki.

7.1 Działania wspierające populację rysia

Z uwagi na fakt, iż najbardziej zagrożonym gatunkiem zamieszkującym Obiekt jest ryś eurazjatycki, proponujemy następujące działania mające na celu poprawę warunków bytowania tych drapieżników:

- 1) Dopóki nie zostaną otwarte przejścia dla zwierząt, należy rozważyć możliwość wprowadzenia dodatkowych udogodnień umożliwiających przekraczanie przez zwierzęta zapory (np. dodatkowe, odpowiednio zabezpieczone otwory o rozmiarach dostosowanych do rysia lub wilka) o średnicy ok. 30 cm (Ryc. 16).



Ryc. 16. Przykład przejścia dla zwierząt, które pomimo niedużej średnicy (30 cm), uniemożliwiającej wykorzystanie go przez dorosłego człowieka, pozwala na przejście zwierzęcia wielkości dorosłego wilka. Przejście takie spełniałoby również rolę w stosunku do rysia, które mają mniejsze rozmiary ciała niż wilki (źródło: Naturmonumenten, <https://www.zoogdierverseniging.nl/actueel/nieuws/een-wolf-heeft-maar-een-klein-gaatje-nodig>)

- 2) Ochrona bazy pokarmowej dużych drapieżników – jeleniowatych poprzez:
 - odstąpienie od pozyskania łowieckiego saren na obszarze Puszczy Białowieskiej oraz znaczne ograniczenie (lub również całkowite zaniechanie) odstrzału jeleni, by zagęszczenie populacji tych gatunków zapewniało wysoki sukces łowiecki drapieżnikom,
 - monitorowanie stanu populacji ssaków kopytnych, by z wyprzedzeniem móc reagować na obniżenie się dostępności ofiar rysia,
 - zaniechanie stosowania nowych i likwidacja istniejących grodzień z siatki leśnej związanych z ochroną sztucznych i naturalnych odnowień lasu. Młode fazy rozwoju lasu, w tym także uprawy leśne, są

istotnym miejscem żerowiskowym dla ssaków kopytnych, a ze względu na zwartą strukturę roślinności, mogą być preferowanym miejscem polowań drapieżników; ich ogrodzenie znacznie ogranicza te funkcje.

- 3) Ochrona naturalnego zróżnicowania struktury lasu, w tym:
 - martwych, przewróconych drzew,
 - naturalnej, różnorodnej struktury wiekowej drzewostanów,
 - w przypadku przebudowy drzewostanów zmienionych w wyniku wcześniejszej gospodarki leśnej, dbałość o przywrócenie naturalnego składu gatunkowego i wiekowego lasu oraz stosowanie cięć możliwie małoskalowych, o charakterze przerębowym.
- 4) Regularny (coroczny) monitoring populacji dużych drapieżników (przy pomocy fotopułapek i/lub tropień na śniegu).
- 5) Przeprowadzenie badań na temat wpływu bariery na organizację przestrzenną populacji i przeżywalność rysia oraz możliwości przekraczania strefy granicznej (na odcinkach zabagnionych, gdzie stała bariera zastąpiona jest concertiną).

7.2 Działania związane z inwazyjnymi gatunkami roślin

W celu zapobiegania rozprzestrzenianiu się inwazyjnych gatunków roślin w wyniku budowy bariery i użytkowania pasa granicznego należy podjąć następujące działania:

- 1) Usunięcie dodatkowych barier (ogrodzenia z siatki leśnej i zasieków z drutu żyłkowego umiejscowionych wzdłuż głównej zapory) – umożliwi to zwierzętom roślinożernym żerowanie w pasie granicznym i ograniczenie rozwoju inwazyjnych gatunków roślin.
- 2) Regularne kontrolowanie i mechaniczne usuwanie (poprzez wrywanie z bryłą korzeniową) gatunków roślin inwazyjnych z pasa granicznego przez służby leśne (Nadleśnictwa: Białowieża, Hajnówka i Browsk) oraz Białowiecki Park Narodowy.
- 3) Inwentaryzacja roślin na transektach wzdłuż granicy do 50 m w głąb lasu w celu wczesnego wykrywania gatunków inwazyjnych i zapobiegania ich dalszemu rozprzestrzenianiu oraz monitorowania efektywności działań związanych z ich usuwaniem.
- 4) Zakaz stosowania środków chemicznych (takich jak glifosat) do zwalczania roślin.

7.3 Działania związane z ryzykiem przenoszenia chorób przez średnie drapieżniki

W związku z dużym zagrożeniem związanym z wpływem obecności służb mundurowych w pasie granicznym na koncentrację i współwystępowanie średnich ssaków drapieżnych (lis, jenot, kot domowy) oraz jednocześnie z ryzykiem transmisji przenoszonych przez nie niebezpiecznych patogenów należy wprowadzić następujące środki prewencyjne:

- 1) Zakaz dokarmiania zwierząt (dzikich i domowych) przez służby mundurowe i kontrola jego przestrzegania.
- 2) Wyposażenie granicznych posterunków wojskowych w zamknięte kontenery umożliwiające skuteczne zabezpieczenie odpadów spożywczych przed dostępem zwierząt oraz zapewnienie ich regularnego opróżniania.
- 3) Wydanie rozkazów służbom mundurowym zobowiązujących do ścisłego przestrzegania reżimów

sanitarnych podczas służby w pasie granicznym.

- 4) Edukacja służb mundurowych na temat Obiektu Światowego Dziedzictwa „Puszcza Białowieska” i zasad przebywania na jego terenie.

7.4 Działania w celu łagodzenia zanieczyszczenia hałasem i światłem związanym z zaporą

W związku z intensywnym użytkowaniem dróg leśnych znajdujących się na terenie Obiektu oraz drogi zbudowanej wzdłuż pasa granicznego przez pojazdy wojskowe, Straży Granicznej i Policji w ramach ochrony granicy państwowej, nastąpił gwałtowny wzrost ruchu samochodowego, a tym samym poziomu hałasu i oświetlenia w Obiekcie. Powoduje to również wzrost ryzyka kolizji drogowych z udziałem zwierząt i uszkodzenia przydrożnych drzew. W celu ograniczenia w możliwie największym stopniu negatywnego oddziaływania tego zjawiska na Obiekt proponujemy:

- 1) Nie wprowadzać stałego oświetlenia pasa granicznego. W przypadku konieczności doraźnego doświetlenia bariery, oświetlenie powinno się uruchamiać czasowo, przy pomocy czujników ruchu, najlepiej połączonych z systemami automatycznego odróżniania ludzi od zwierząt, które aktywowałyby oświetlenie wyłącznie w przypadku detekcji ludzi.
- 2) Ograniczenie ruchu pojazdów wzdłuż drogi granicznej i wszystkich dróg leśnych, zwłaszcza w porze nocnej, do niezbędnego minimum.
- 3) Ograniczenie dostępności niektórych odcinków dróg leśnych na terenie Obiektu.
- 4) Wytypowanie niektórych fragmentów dróg, nieistotnych z perspektywy pracy służb granicznych i utrzymania obiektu, do ewentualnej likwidacji (pozostawienie bez utrzymywania do naturalnej sukcesji).

7.5 Działania dotyczące zwiększenia zdolności w zakresie monitorowania ekosystemów i zarządzania adaptacyjnego

Przedstawione w niniejszej ekspertyzie wnioski mają charakter wstępny i pozwalają jedynie przewidywać możliwe efekty. Pełna ocena wpływu bariery na funkcjonowanie ekosystemu Puszczy Białowieskiej mogłaby zostać dokonana dopiero po wielu latach od jej wybudowania. Monitoring prowadzony przez IBS PAN przy pomocy fotonułek w okresie poprzedzającym budowę bariery, w czasie jej budowy oraz w pierwszym roku po zakończeniu budowy jest tylko jednym z przykładów wieloletniego monitoringu, jaki powinien być zaimplementowany w *Planie Zarządzania Obiektem Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”* w celu zapewnienia kontroli wskaźników stanów i trendów liczebności w populacjach wybranych gatunków ssaków.

Proponujemy następujące działania mające na celu zwiększenie zdolności w zakresie monitorowania ekosystemów i zarządzania adaptacyjnego Obiektem:

- 1) Utworzenie lub wyznaczenie jednostki odpowiedzialnej za planowanie i prowadzenie monitoringu oraz analizę i interpretację danych.
- 2) Zagwarantowanie w budżecie Państwa odpowiedniej kwoty na pokrycie kosztów monitoringu (koszt fotonułek, sprzęt komputerowy, nośniki pamięci, koszty przechowywania próbek biologicznych do badań genetycznych, koszty analiz genetycznych, koszty personelu).
- 3) Utworzenie stałych punktów monitoringu fotonułkowego na terenie całego Obiektu, bazując na wzorcach wypracowanych przez Instytut Biologii Ssaków PAN oraz Białowieską Stację Geobotaniczną UW, gwarantujących wiarygodny materiał referencyjny.
- 4) Sporządzenie szczegółowego planu monitoringu, który powinien zapewniać gromadzenie danych umożliwiających wieloletnie śledzenie wskaźników stanu populacji różnych gatunków zwierząt (gatunków rzadkich i zagrożonych, jak ryś, żubr, łoś, a także gatunków obecnie pospolitych, jak jeleń, lis, jenot):

relatywna częstość występowania, struktura płciowa i wiekowa, obecność osobników rozmnażających się, przeżywalność, czynniki śmiertelności, różnorodność genetyczna.

- 5) Zbieranie danych dotyczących zwierząt pojawiających się na pasie granicznym i w bezpośrednim sąsiedztwie bariery, podczas prób jej przekraczania lub wykorzystujących ją w inny sposób. Zbieranie na bieżąco takich danych pozwoliłoby docelowo minimalizować wpływ zapory na faunę Obiektu. Taki monitoring nie jest łatwy do organizacji, jednak mógłby być realizowany we współpracy z odpowiednimi służbami, które obsługują graniczny monitoring wideo, a zatem gromadzą również znaczne ilości danych biologicznych.
- 6) Utworzenie centralnego rejestru i monitoring śmiertelności ssaków rzadkich i zagrożonych gatunków, w celu analizowania przyczyny ich śmierci. Tkanki padłych zwierząt (ewentualnie odchody, bądź włosy znajdowane przez służby terenowe) należy deponować w banku/ach tkanek w celu kontrolowania statusu genetycznego osobników i późniejszej oceny różnorodności genetycznej populacji.
- 7) Prowadzenie regularnych inwentaryzacji inwazyjnych gatunków roślin w pasie granicznym.

8. PODSUMOWANIE

Przedstawione analizy i dane wskazują, że zaporę na granicy polsko-białoruskiej na obszarze Obiektu światowego Dziedzictwa UNESCO „Białowieża Forest” ma istotny wpływ na ekosystem i może przyczyniać się do pogorszenia wartości przyrodniczej Obiektu. Jej negatywne oddziaływanie może przejawiać się poprzez następujące formy:

- 1) Izolacja populacji i blokowanie wędrówek dużych zwierząt - powoduje to ograniczanie liczebności, przepływu genów i zmienności genetycznej populacji rzadkich gatunków, co zagraża trwałości ich istnienia.
- 2) Wymuszanie zmian kierunków i zasięgów przemieszczania się dużych ssaków w środowisku, co przyczynia się do wzrostu nakładów energetycznych na pozyskiwanie pokarmu i może wpływać na kondycję osobników i ich potencjał rozrodczy.
- 3) Wzrost użytkowania strefy granicznej przez średniej wielkości drapieżniki, jako potencjalne źródło rozprzestrzeniania chorób zakaźnych wśród zwierząt i ludzi.
- 4) Rozprzestrzenianie inwazyjnych gatunków roślin wzdłuż pasa granicznego stwarzające zagrożenie dla gatunków rodzimych, a przez to również dla odżywiających się nimi zwierząt.
- 5) Zanieczyszczenie hałasem i światłem związanym z zaporą i aktywnością służb na terenie Obiektu.

Konkludując, należy podkreślić, że wieloletni monitoring ssaków prowadzony w IBS PAN nie był planowany i realizowany w związku z budową bariery na granicy polsko-białoruskiej, a mimo to pochodzące z niego i użyte w niniejszym opracowaniu dane wskazują na istotny wpływ budowy stałej zapory na populacje ssaków Puszczy Białowiejskiej. Kompleksowo zaplanowana metodyka i wykonywanie monitoringu pod kątem oddziaływania zapory na zwierzęta zapewne pozwoliłaby na dokładniejsze przeanalizowanie procesów i zmian zachodzących w populacjach na terenie Obiektu po wystąpieniu tego znaczącego zaburzenia. Podobna konkluzja nasuwa się, jeśli chodzi o monitoring inwazyjnych gatunków roślin. W związku z powyższym autorzy podkreślają konieczność kontynuacji oraz dostosowania monitoringu przyrodniczego na terenie Obiektu, oraz jego rozszerzenie na inne grupy taksonomiczne potencjalnie zagrożone w wyniku budowy bariery, co pozwoli na uzyskanie kompleksowych danych i wyników pozwalających oceniać na bieżąco skutki przyrodnicze zapory na granicy polsko-białoruskiej na Obiekt Światowego Dziedzictwa „Białowieża Forest”.

9. CYTOWANA LITERATURA

- Bonilla-Aldana, J.L., Espinosa-Nuñez, A.C., Bonilla-Aldana, D.K., Rodriguez-Morales, A.J. 2024. *Toxocara cati* Infection in Cats (*Felis catus*): A Systematic Review and Meta-Analysis. *Animals*, 14, 1022.
- Bunevich A.N., Krasieńska M., Daleszczyk K. 2006. Powstanie i rozwój wolno żyjącej populacji żubra nizinnego *Bison bonasus bonasus* (L.) w białoruskiej części Puszczy Białowieskiej. *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody* 25, 4, 101 – 118.
- Chambers, S., Villarreal, M.L., Duane, O. i in. 2022. Conflict of energies: spatially modeling mule deer caloric expenditure in response to oil and gas development. *Landscape Ecology* 37, 2947–2961
- Jensen W.F., Rea R.V., Penner C.E., i in. 2020. A review of circumpolar moose populations with emphasis on Eurasian moose distributions and densities. *Alces: A Journal Devoted to the Biology and Management of Moose*, 56, 63-78.
- Jędrzejewska B., Jędrzejewski W. 2001. *Ekologia ssaków drapieżnych Puszczy Białowieskiej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1-461.
- Jędrzejewski W., Jędrzejewska B., Okarma H., Schmidt K. i in. 1996. Population dynamics (1869-1994), demography and home ranges of the lynx in Białowieża Primeval Forest (Poland and Belaruss). *Ecography*, 19, 122-138.
- Jędrzejewski W., Schmidt K., Theuerkauf J., Jędrzejewska B. i in. 2002. Kill rates and predation by wolves on ungulate populations in Białowieża Primeval Forest (Poland). *Ecology* 83, 1341-1356.
- Jędrzejewski W., Branicki W., Veit C. i in. 2005. Genetic diversity and relatedness within packs in an intensely hunted population of wolves *Canis lupus*. *Acta Theriologica* 50, 1-22.
- Jędrzejewski W., Schmidt K., Theuerkauf J., Jędrzejewska B., Kowalczyk R. 2007. Territory size of wolves *Canis lupus*: linking local (Białowieża Primeval Forest, Poland) and Holarctic-scale patterns. *Ecography* 30, 66-76.
- Karamon, J., Kochanowski, M., Sroka, J. i in. 2014. The prevalence of *Echinococcus multilocularis* in red foxes in Poland—current results (2009–2013). *Parasitology Research* 113, 317–322.
- Kauhala K., Kowalczyk R. 2011. Invasion of the raccoon dog *Nyctereutes procyonoides* in Europe: history of colonization, features behind its success, and threats to native fauna. *Current Zoology* 57, 584-598.
- Kołodziej-Sobocińska M., Zalewski A., Kowalczyk R. 2014. Sarcoptic mange vulnerability in carnivores of the Białowieża Primeval Forest, Poland: underlying determinant factors. *Ecological Research* 29, 237-244.
- Kornacka-Stackonis, A. 2022. *Toxoplasma gondii* infection in wild omnivorous and carnivorous animals in Central Europe – A brief overview. *Veterinary Parasitology*, Volume 304, 109701.
- Kowalczyk, R., Górny M., Schmidt K. 2015. Edge effect and influence of economic growth on Eurasian lynx mortality in the Białowieża Primeval Forest, Poland. *Mammal Research* 60, 3-8.
- Krasieńska M., Krasieński Z.A. 2017. *Żubr*. Monografia przyrodnicza. Chyra.pl, 1- 448.
- Kuijper D.P.J., de Kleine C., Churski M. i in. 2013. Landscape of fear in Europe: wolves affect spatial patterns of ungulate browsing in Białowieża Primeval Forest, Poland. *Ecography* 36, 1263-1275.
- Lucena-Perez M., Marmesat E., Kleinman-Ruiz D. i in. 2020. Genomic patterns in the widespread Eurasian lynx shaped by Late Quaternary climatic fluctuations and anthropogenic impacts. *Molecular Ecology* 29, 4, 812-828.
- Malone C.J., Oksanen A., Mukaratirwa S., Sharma R., Jenkins E. 2024. From wildlife to humans: The global distribution of *Trichinella* species and genotypes in wildlife and wildlife-associated human trichinellosis. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 24, 100934.

- Mattisson J., Linnell J.D.C., Anders O. i in. 2022. Timing and synchrony of birth in Eurasian lynx across Europe. *Ecology and Evolution* 12 (8) e9147
- Niedziałkowska M., Jędrzejewska B., Wójcik J.M., Goodman S.J. 2012. Genetic structure of red deer population in northeastern Poland in relation to the history of human interventions. *The Journal of Wildlife Management* 76, 1264-1276.
- Niedziałkowska M., Hundertmark K.J., Jędrzejewska B. i in. 2014. Spatial structure in European moose (*Alces alces*): genetic data reveal a complex population history. *Journal of Biogeography* 41, 2173-2184.
- Niedziałkowska M., Hundertmark K.J., Jędrzejewska B. i in. 2016a. The contemporary genetic pattern of European moose is shaped by postglacial recolonization, bottlenecks, and the geographical barrier of the Baltic Sea. *Biological Journal of the Linnean Society* 117, 879-894.
- Niedziałkowska M., Jędrzejewska B., Danyłow J., Niedziałkowski K. 2016b. Diverse rates of gene flow and long-distance migration in two moose *Alces alces* subpopulations in Europe. *Mammal Research* 61, 171-178.
- Okarma H., Jędrzejewski W., Schmidt K., Kowalczyk R., Jędrzejewska B. 1997. Predation of Eurasian lynx on roe deer and red deer in Białowieża Primeval Forest, Poland. *Acta Theriologica* 42, 203-224.
- Panek, M., Budny, M. 2017. Variation in the feeding pattern of red foxes in relation to changes in anthropogenic resource availability in a rural habitat of western Poland. *Mammalian Biology* 82, 1–7.
- Panfiluk A.A. 2005. Rola kota domowego (*Felis silvestris f. catus*) jako drapieżnika w Puszczy Białowieskiej. Praca magisterska. Zakład Badania Ssaków PAN w Białowieży.
- Piontek A.M., Wojtylak-Jurkiewicz E., Schmidt K., i in. 2021. Analysis of cat diet across an urbanisation gradient. *Urban Ecosystems* 24, 59–69.
- Riley S.P., Pollinger J.P., Sauvajot R.M. i in. 2006. A southern California freeway is a physical and social barrier to gene flow in carnivores. *Molecular Ecology* 15, 1733-41.
- Schmidt K., Ratkiewicz M., Konopiński M.K. 2011. The importance of genetic variability and population differentiation in the Eurasian lynx *Lynx lynx* for conservation, in the context of habitat and climate change. *Mammal Review* 41, 112-124.
- Schmidt K. 2024. Szakal złocisty (*Canis aureus*) – nowy gatunek drapieżnika w Puszczy Białowieskiej? *Parki Nar. Rez. Przyr.* 43, 2, 69 – 73.
- Singer S., Kauhala K., Holmala K., Smith G.C. 2009. Rabies in northeastern Europe—the threat from invasive raccoon dogs. *Journal of Wildlife Diseases* 45, 1121–1137.
- Sutor, A., Kauhala, K. & Ansorge, H. 2010. Diet of the raccoon dog *Nyctereutes procyonoides* — a canid with an opportunistic foraging strategy. *Acta Theriologica*, 55, 165–176.
- Szewczyk, M., Nowak, S., Niedźwiecka, N. i in. 2019. Dynamic range expansion leads to establishment of a new, genetically distinct wolf population in Central Europe. *Scientific Reports* 9, 19003.
- Tokarska M., Pertoldi C., Kowalczyk R., Perzanowski K. 2011. Genetic status of the European bison *Bison bonasus* after extinction in the wild and subsequent recovery. *Mammal Review* 2, 41, 151-162.
- Tokarska M., Bunevich A.N., Demontis D. i in. 2015. Genes of the extinct Caucasian bison still roam the Białowieża Forest and are the source of genetic discrepancies between Polish and Belarusian populations of the European bison, *Bison bonasus*. *Biological Journal Of The Linnean Society*, 114 (4), 752-763.
- Turlewicz-Podbielska, H., Ruszkowski, J.J., Gogulski, M. i in. 2023. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in domestic cats, dogs and rabbits from Poland. *Veterinary Research Communications* 47, 1753–1758.

Definicje terminów zastosowanych w ekspertyzie

Archeofit – gatunek rośliny obcego pochodzenia, który przybył na dany obszar z innych rejonów geograficznych w czasach wczesnohistorycznych lub przedhistorycznych i występuje najczęściej w siedliskach synantropijnych

Concertina – drut żyletkowy, ostrzowy – udoskonalona wersja drutu kolczastego. Specjalistyczny drut ostrzowy, do tworzenia zasieków przestrzennych. Zasieki concertina najczęściej są używane przez wojsko, jednostki państwowe, ale również jako bariery więzienne. Jest to jedna z najskuteczniejszych form zabezpieczania miejsc, które są pod szczególną ochroną.

Efekt Allego – zjawisko w biologii polegające na zależności między wielkością populacji a jej kondycją (mierzona np. jako wskaźnik wzrostu populacji). Jednym z mechanizmów tego zjawiska jest utrudnione znajdowanie partnera, gdy w małych populacjach jedna z płci znajduje się w niedoborze, co powoduje obniżanie poziomu reprodukcji.

Epizoocjologia – nauka zajmująca się występowaniem chorób zakaźnych wśród zwierząt domowych i dzikich

Inbred – (kojarzenie krewniacze, chów wsobny) – kojarzenie się zwierząt blisko spokrewnionych, pochodzących od wspólnych przodków. Zjawisko to powoduje zmniejszanie się zmienności genetycznej w populacji, przez co prowadzi do ujawnienia niekorzystnych alleli recesywnych.

Kenofit – gatunek rośliny obcego pochodzenia, nienależący do flory rodzimej, który zadomowił się w ostatnich czasach. Za graniczną datę przyjmuje się wyprawę Krzysztofa Kolumba do Ameryki (1492), co zapoczątkowało migrację gatunków na niespotykaną dawniej skalę.