



Wizja renaturyzacji hydrologicznej dla Puszczy Białowieskiej

Ekspertyza hydrologiczna

Mateusz Grygoruk

Dimtrij Grummo

Paweł Osuch

Luty, 2022

Zdjęcie na okładce: rz. Narewka w Białowieskim Parku Narodowym (Fot. Paweł Osuch)

Mateusz Grygoruk, Dimtrij Grummo, Paweł Osuch,

Wizja renaturyzacji hydrologicznej dla Puszczy Białowieskiej. Ekspertyza hydrologiczna

Niniejsze opracowanie powstało na zlecenie Ogólnopolskiego Towarzystwa Ochrony Ptaków (OTOP) i zostało zrealizowane w ramach umowy pomiędzy OTOP a Stowarzyszeniem Niezależnych Inicjatyw Nasza Natura w ramach projektu 'Futurescape Białowieża – cracking the stalemate and restoring Europe's last remaining lowland mixed-tree primeval forest' sponsorowanego przez Endangered Landscape Program fundacji Arcadia

Warszawa

2022

Spis treści	
Streszczenie	5
Аннотация	6
Summary	7
Wstęp	8
I. Białoruska część Puszczy Białowieskiej	9
I.1 Wprowadzenie	9
I.2 Tło historyczne	10
I.3 Aktualna sytuacja hydrologiczna	12
I.3.1 Ogólna charakterystyka sieci hydrograficznej	12
I.3.2 Zaburzenia reżimu hydrologicznego Puszczy Białowieskiej w wyniku prac odwodnieniowych	16
I.4 Wpływ na las	21
I.4.1 Informacje wstępne	21
I.4.2 Straty w lasach	21
I.4.3 Dynamika terenów nieleśnych	24
I.4.4 Ogólna ocena dynamiki ekosystemu Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" pod wpływem melioracji	27
I.4.5 Prognoza dynamiki roślinności leśnej do 2120 r.	30
I.5 Mapa i wykaz potencjalnych obszarów interwencji	30
I.6 Priorytetyzacja prac i lista priorytetów	32
I.7 System monitoringu	34
I.8 Opis obszaru pilotażowego "Obszar Zalewowy Rzeki Kolonka"	36
I.9 Podsumowanie i wnioski dotyczące białoruskiej części Puszczy Białowieskiej	40
I.10 Plan renaturyzacji środowiska dla obszaru projektu	40
II. Polska część Puszczy Białowieskiej	42
II.1 Tło historyczne prac hydrotechnicznych	42
II.2 Obecna sytuacja hydrologiczna w Puszczy	50
II.2.1 Warunki klimatyczne	50
II.2.2 Hydrografia	58
II.2.3 Wody powierzchniowe	63
II.2.4 Wody podziemne	70
II.3 Mapa i lista obszarów do potencjalnego odtworzenia	72
II.3.1 Informacje wstępne	72
II.3.2 Materiał i metody	75
II.3.3 Priorytetyzacje podjęcia działań renaturyzacyjnych	94
II.4 Wyniki	95

II.4	Główne etapy prac i ich wykonalność, uwzględniając szacunkowe koszty.....	102
II.5	Wpływ stosunków wodnych na Puszcę jako ekosystem leśny.....	103
II.6	System monitoringu	104
III.	Podsumowanie i wnioski.....	105
IV.	Literatura.....	106

Streszczenie

W dobie zmieniającego się klimatu oraz rosnącej antropopresji, zmiany zasobów wodnych obszarów cennych przyrodniczo warunkują możliwość skutecznej ochrony przyrody. W niniejszym raporcie dokonano syntetycznej oceny możliwości oraz potrzeby renaturyzacji wybranych obiektów oraz procesów hydrologicznych w polskiej i białoruskiej części Obszaru Ochrony Światowego Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. W opracowaniu poddano analizie aktualną sytuację meteorologiczną i hydrologiczną Puszczy Białowieskiej. Na podstawie dostępnych danych określono trendy zmian wybranych wskaźników hydrologicznych i meteorologicznych oraz zinterpretowano ich oddziaływanie na



środowisko puszczy. Dokonano również waloryzacji potrzeb renaturyzacji hydrologicznej obszaru na podstawie zbioru wskaźników: konieczności spowalniania odpływu powierzchniowego, możliwości wynikających z obowiązujących dokumentów strategicznych (w tym Krajowego Programu Renaturyzacji Wód Powierzchniowych) oraz planistycznych (w tym Drugiej Aktualizacji Planów Gospodarowania Wodami Dorzeczy) oraz wykonano priorytetyzację działań osobno dla polskiej i białoruskiej części Puszczy Białowieskiej. Wskazano obszary, na których należy podjąć działania zmierzające do poprawy zasobów wodnych puszczy. Oszacowano, że koszt tych działań w skali polskiej części Obszaru Ochrony Światowego Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska wyniesie około 3,56 MLN EUR.

Аннотация

В эпоху изменения климата и усиления антропопрессии изменения водных ресурсов природно ценных территорий определяют возможность эффективной охраны природы. В данном отчете представлена синтетическая оценка возможностей и необходимости восстановления отдельных объектов и гидрологических процессов в польской и белорусской частях объекта Всемирного природного наследия ЮНЕСКО "Беловежский девственный лес". В исследовании анализируется текущая метеорологическая и гидрологическая ситуация в Беловежском первобытном лесу. На



Rz. Narewka (Fot. P. Osuch)

основе имеющихся данных были определены тенденции изменения отдельных гидрологических и метеорологических показателей и интерпретировано их влияние на окружающую среду леса. Потребности гидрологического восстановления территории также были оценены на основе ряда показателей: необходимости замедления поверхностного стока, возможностей, вытекающих из действующих стратегических документов (включая Национальную программу восстановления поверхностных вод) и документов планирования (включая Второе обновление бассейновых планов управления водными ресурсами), а приоритетность действий была определена отдельно для польской и белорусской частей Беловежского девственного леса. Были определены области, где необходимо принять меры для улучшения состояния водных ресурсов леса. Было подсчитано, что стоимость этих мероприятий в масштабах польской части Беловежского девственного леса, включенного в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, составит приблизительно 3,56 млн. евро.

Summary

In the era of changing climate and increasing anthropopression, changes in the water resources of naturally valuable areas determine the possibility of effective nature conservation. This report synthesizes an assessment of the possibility and need for restoration of selected objects and hydrological processes in the Polish and Belarusian parts of the UNESCO World Natural Heritage Conservation Area Bialowieza Forest. The study analyzed the current meteorological and hydrological situation of the Bialowieza Forest. Based on the available data, the trends of changes in



Rz. Narewka (Fot. P. Osuch)

selected hydrological and meteorological indicators were determined and their impact on the environment of the Pushcha was interpreted. The needs for hydrological restoration of the area were also valorized on the basis of a set of indicators: the need to slow down surface runoff, the possibilities arising from the existing strategic documents (including the National Surface Water Restoration Program) and planning documents (including the Second Update of the Basin Water Management Plans), and prioritization of activities was carried out separately for the Polish and Belarusian parts of the Bialowieza Forest. Areas were identified where measures should be taken to improve the water resources of the Forest. It was estimated that the cost of these activities on the scale of the Polish part of the UNESCO World Natural Heritage Site Bialowieza Forest will amount to about EUR 3.56 MLN.

Wstęp

Puszcza Białowieska stanowi jeden z najcenniejszych obszarów chronionych Europy. Pomimo faktu położenia w intensywnie użytkowanym otoczeniu krajobrazów rolniczych Polski i Białorusi, obszar ten ze względu na swój status ochrony znajduje się w stanie względnej równowagi, gdzie gospodarka człowieka jest – zgodnie z intencjami – równoważona rozmiarami obszaru chronionego stanowiącego ostoję różnorodności przyrodniczej oraz przebiegających tam względnie naturalnie procesów środowiskowych.

Jednym z najważniejszych czynników kształtujących warunki środowiskowe Puszczy Białowieskiej jest woda. Ze względu na wododziałowe położenie Puszczy (rozumianej jako obszar lasów w granicach Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska), jest ona narażona na negatywne konsekwencje zmian zasobów wodnych bardziej niż inne obszary tej części Europy. W skali międzynarodowej, z uwzględnieniem białoruskiej części Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO, wododziałowe położenie Puszczy zaznacza się nawet w skali europejskiej: wody z Puszczy odpływają bowiem w kierunku Wisły (zlewnia Narwi i Bugu) oraz Dniepru (zlewnia Jasiółdy na Białorusi). W przeciwieństwie do innych obszarów chronionych regionu, które są bezpośrednio związane z wodami i mają położenie dolinowe, przez co są raczej odbiornikami wody z większych obszarów zlewni, problematyka zasobów wodnych Puszczy Białowieskiej jest odmienna. Puszcza Białowieska stanowi na przeważającym obszarze miejsce akumulacji wody i zasilania wód podziemnych. Będąc narażoną na oddziaływania płynące ze strony ocieplającego się klimatu oraz skumulowanego oddziaływania antropopresji na rzeki drenujące Puszcę (np. obniżanie bazy erozyjnej Narwi), obszar ten wymaga (i) diagnozy aktualnych warunków hydrologicznych; (ii) walidacji czynników warunkujących możliwość zapewnienia wieloletniej odnawialności zasobów wodnych (popraw warunków infiltracji oraz spowalnianie spływu powierzchniowego) oraz (iii) wytypowania i priorytetyzacji obszarów, na których zgodnie z obowiązującym stanem prawnym można, oraz – zgodnie z przyjętymi kryteriami analizy – należy podjąć działania zmierzające do poprawy zasobów wodnych. Dotychczas, poza pracami odnoszącymi się do terenów Nadleśnictw, Parku Narodowego „Puszcza Białowieska” na Białorusi oraz Białowieskiego Parku Narodowego (BPN), nie powstawały spójne wizje zarządzania wodą oraz restytucji procesów hydrologicznych w skali całego obszaru Puszczy. Wydaje się, że Obszar Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska – rozumiany wspólnie jako polsko-białoruskie, transgraniczne, wspólne dobro przyrodnicze wymaga pewnego usystematyzowania wiedzy w tym zakresie oraz zdiagnozowania jego odpowiedzi hydrologicznej na wewnętrzne i zewnętrzne czynniki wpływające na jego zasoby wodne.

Niniejszy raport powstaje w czasie, w którym dla przyrody Puszczy pojawia się szereg nieznanych dotąd wyzwań spowodowanych pośrednim i bezpośrednim oddziaływaniem człowieka. Oddziaływania pośrednie – zmiany klimatu – warunkują stabilność zasobów wodnych obszaru Puszczy oraz przyspieszają tempo przemian środowiska leśnego i wodnego wymagając dokumentacji naukowej oraz – jeżeli to możliwe – podejmowania działań adaptacyjnych. Oddziaływania bezpośrednie – nadmierna penetracja obszaru Puszczy oraz budowa rozdzielającej Polskę i Białoruś bariery w strefie granicznej – równie silnie oddziałują na przedmioty ochrony tego obszaru stawiając pod znakiem zapytania efektywność przyszłej ochrony przyrody Puszczy Białowieskiej oraz jego stabilności.

Dostrzegając szereg problemów ochrony środowiska Puszczy Białowieskiej rozumianej jako międzynarodową, polsko-białoruską całość i zarządzanej przez wiele zróżnicowanych w celach i możliwościach swego działania podmiotów, w tym raporcie analizujemy wyłącznie część problemów środowiska Puszczy, które (i) pozostają pod wpływem zmieniających się

zasobów wodnych lub (ii) wpływają na zmianę zasobów wodnych. W niniejszym raporcie analizujemy sytuację hydrologiczną Puszczy, przedstawiamy ilościowe kryteria oraz przeprowadzamy waloryzację Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska pod kątem możliwości przeprowadzenia prac renaturyzacyjnych w celu poprawy zasobów wodnych obszaru dokonujemy priorytetyzacji działań oraz przedstawiamy szacunkowe koszty renaturyzacji hydrologicznej analizowanego obszaru. Ze względu na złożoność sytuacji hydrologicznej oraz – częściowo – wykluczające się cele zarządzania puszczą poszczególnych podmiotów, poniższe opracowanie powinno być rozumiane jako strategia działania w zakresie ochrony zasobów wodnych wymagająca szczegółowych analiz technicznych i gospodarczych.

Koncepcja Transgranicznego Odtworzenia Puszczy Białowieskiej będzie pierwszą próbą spojrzenia na odtworzenie hydrologii słynnej puszczy w kontekście transgranicznym. Wizja oceni obecny stan lasu i jego sieci hydrologicznej, zidentyfikuje i zmapuje możliwe obszary interwencji, ustali priorytety działań, określi kamienie milowe i przeprowadzi studium wykonalności (w tym koszty) dla każdego indywidualnego obszaru odnowy. W ramach koncepcji opracowany zostanie również długoterminowy program monitoringu, który następnie zostanie wyposażony (rejestratory danych i inne niezbędne urządzenia) i wdrożony dzięki dotacjom osób trzecich.

Cel ten zostanie osiągnięty poprzez pracę głównie za pośrednictwem grupy roboczej ds. odbudowy oraz zainteresowanych stron i partnerów rządowych: na Białorusi z Państwowym Parkiem Narodowym "Puszcza Białowieska", a w Polsce – z Państwowymi Gospodarstwami Leśnymi Lasy Państwowe Hajnówka, Browsk, Białowieża oraz Białowieskim Parkiem Narodowym oraz ministerstwami i agencjami krajowymi.

W ramach projektu planuje się zaprojektowanie i zaplanowanie rekultywacji w wybranych miejscach pilotażowych w obu krajach. Zgodnie z obecnym stanem wiedzy i zrozumieniem priorytetów restytucji w Puszczy Białowieskiej, potencjalnym modelowym miejscem restytucji jest system kanałów leśnych Zarkauskine w białoruskiej części Puszczy Białowieskiej. Miejsce to jest systemem kanałów leśnych, które zostały zbudowane w latach 30-tych XX wieku do odwadniania i transportu drewna. Powierzchnia terenu wynosi 1.181,9 ha. W wyniku realizacji projektu zostanie przygotowane pełne studium wykonalności dla tego potencjalnego miejsca odbudowy, które będzie podstawą do finansowania odbudowy przez darczyńców zewnętrznych. W polskiej części Puszczy Białowieskiej pierwsze pilotażowe odnowienie planowane jest na terenie zalewowym Narewki, aby wykazać wykonalność, a następnie zainicjować dalsze i bardziej rozległe odnowienia na tym terenie. Pierwsze studium wykonalności zaproponowane przez partnera projektu PTOP, które będzie dalej uszczegóławiane w ramach projektu, zakłada zamknięcie koryta rzeki w czterech miejscach w polskiej części lasu w celu spowolnienia przepływu i erozji koryta rzeki oraz podniesienia poziomu wody na terenie zalewowym.

Niniejsza strategia składa się z dwóch głównych rozdziałów stanowiących szczegółowe rozwinięcie planów działania w Puszczy Białowieskiej po stronie Białoruskiej i Polskiej. Przyjęte metodyki opracowania dla obydwu obszarów, choć nieco odmienne w swych założeniach, prowadzą do priorytetyzacji działań po obydwu stronach granicy oraz wskazania niezbędnych działań, jakie poszczególne podmioty zarządzające środowiskiem tego obszaru mogą podjąć, aby ochrona zasobów wodnych Puszczy Białowieskiej była skutecznym narzędziem ograniczania negatywnych zmian środowiska.

I. Białoruska część Puszczy Białowieskiej

I.1 Wprowadzenie

W przyrodzie tereny podmokłe jako produkt ewolucji biosfery, pełnią różnorodne funkcje biosferyczne i mają istotny wpływ na procesy ekologiczne. Tereny podmokłe i kompleksy terenów podmokłych są bardzo specyficznymi i niezastąpionymi siedliskami naturalnymi dla różnorodności biologicznej. Prawie wszystkie gatunki roślin i zwierząt żyjące na torfowiskach są rzadkie lub wrażliwe, ponieważ mogą zamieszkiwać tylko torfowiska, a zmniejszenie powierzchni torfowisk nieuchronnie prowadzi do zmniejszenia ich liczebności, a czasem do całkowitego wyginięcia wielu unikalnych gatunków i populacji. Krytycznymi cechami ekosystemów mokradłowych jest również zachowanie różnorodności krajobrazowej wśród obszarów zabudowanych, łagodzenie zmian klimatycznych oraz utrzymanie zrównoważonego reżimu wodnego na otaczających obszarach.

Procesy mineralizacji materii organicznej torfu zachodzą intensywnie na odwodnionych torfowiskach i odwodnionych złożach torfowych. Poważnym problemem jest wykorzystanie wyeksploatowanych złóż torfu, których łączna powierzchnia wynosi ponad 220 tys. ha. Obecnie organizacjom przemysłu torfowego przydzielono około 15 tys. ha gruntów pod wydobycie torfu. Wyeksploatowane tereny podlegają rekultywacji w celu ich dalszego wykorzystania. Obecnie tryb i zasady rekultywacji w celu wykorzystania wydobytych torfowisk do celów rolniczych i leśnych określają akty prawne. Jednocześnie do tej pory nie opracowano procedury i zasad rekultywacji terenów na cele ochrony przyrody (ponowne nawadnianie).

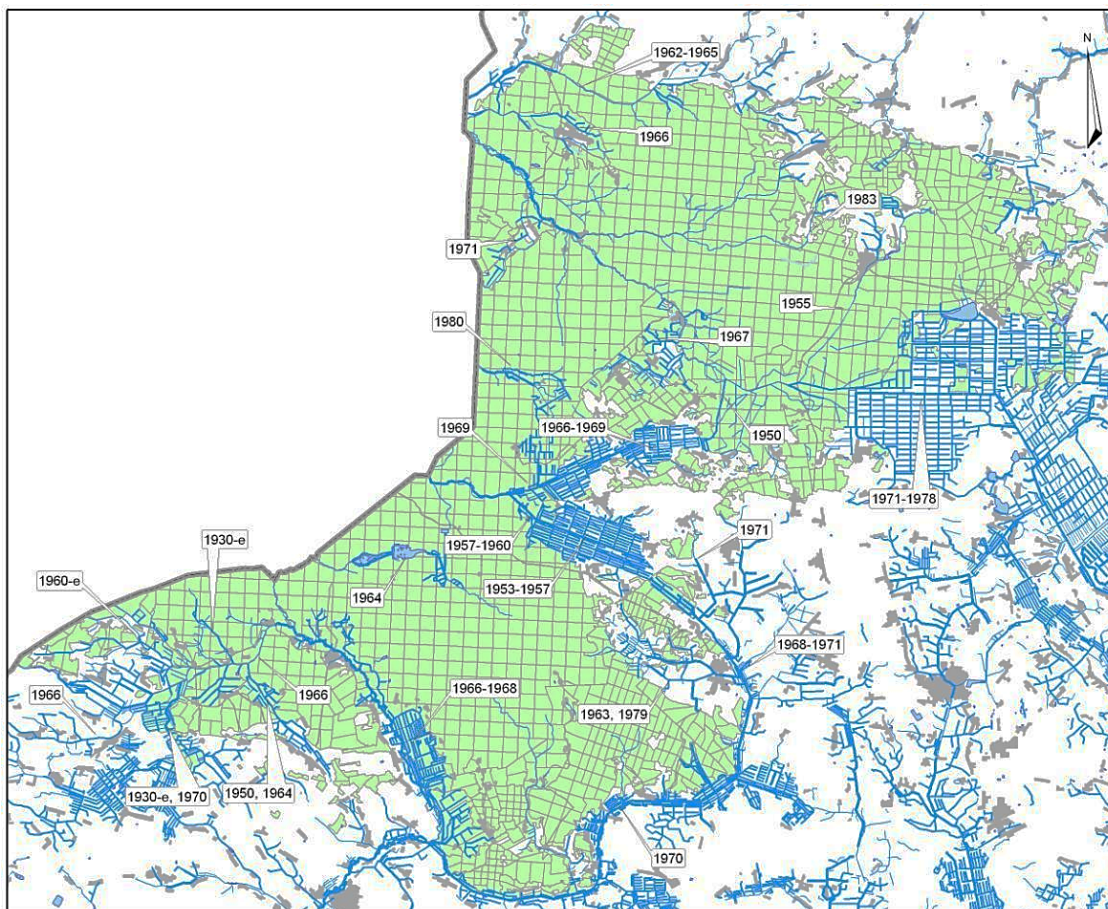
Innym problemem jest zakłócanie reżimu hydrologicznego naturalnych torfowisk podczas wydobywania torfu lub innych prac melioracyjnych w ich zlewni, co również wynika z braku wymogów określonych w przepisach lub regulaminach technicznych, które wymagałyby zastosowania specjalnych środków zapobiegających zakłóceniom reżimu hydrologicznego w zlewniach sąsiadujących z systemami melioracyjnymi. Przywrócenie funkcji przyrodniczych i środowiskotwórczych obszarów naturalnych systemów ekologicznych na podstawie naukowo uzasadnionych kierunków ich użytkowania jest jednym z priorytetowych zadań przeciwdziałania degradacji gruntów. Celem rekultywacji ekologicznej jest właśnie przywrócenie osuszonym złożom torfowym i innym zaburzonym torfowiskom zdolności do pełnienia funkcji biosfery poprzez stworzenie i ustabilizowanie reżimu hydrologicznego sprzyjającego wznowieniu procesów torfotwórczych.

I.2 Tło historyczne

Pod koniec XIX wieku i na początku XX wieku ponad 130 kilometrów kwadratowych (13868,4 ha), czyli około 11% całego obszaru Puszczy Białowieskiej, znajdowało się pod torfowiskami. Należy zaznaczyć, że większość mokradel i torfowisk, takich jak Głębokoje i inne, była własnością miejscowych chłopów i nie wchodziła w skład lasów państwowych. W związku z tym obszar torfowisk był nawet znacznie większy niż podaje Kartsov (1903). Najbardziej bagniste były fragmenty Puszczy, ciągnące się wzdłuż jej wschodnich granic i zajmujące dużą powierzchnię południowej połowy dacz Świsłoczy (Kartsov, 1903). W południowej i zachodniej części Puszczy występowało znacznie mniej torfowisk. Prawie wszystkie torfowiska puszczańskie były bogate w roślinność. Torfowiska wewnątrz Puszczy porośnięte były starą osiką lub stuletnimi świerkami, natomiast torfowiska wschodnie były omszałe z nielicznymi słojami sosny. Doliny puszczańskich rzek były również litymi torfowiskami, w których rzeki występowały jako słabo widoczne koryta. Wszystkie z nich były koszone (Czerkas, 2004).

Pierwsze większe prace melioracyjne w Puszczy przeprowadzono pod kierownictwem podadjutora litewskiego Antoniusa Tyzenhauza pod koniec XVII wieku. Pod jego kierownictwem rzeki zostały wyprostowane i oczyszczone dla spływu drewna, a kanały wykopane dla spływu drewna. Oprócz tego osuszono bagna otaczające koryto Narewki. Drogi wodne, które powstały pod jego kierownictwem, były wykorzystywane jeszcze w następnym

stuleciu. Kiedy w 1888 r. Puszcza Białowieska została przejęta przez rodzinę cesarską, wznowiono prace rekultywacyjne w celu poprawy stanu bagnistych pól sianokosów na całym obszarze Puszczy (Czerkas, 2004).



Rys. 1.1 Lokalizacje i lata głównych robót melioracyjnych - Rekultywacja terenów w Puszczy Białowieskiej i jej otoczeniu (z "Oceny wpływu zmian...", 2008)



1930 r.

2021 r.

Rys. 1.2 Schemat sieci hydrograficznej na obszarze Puszczy Białowieskiej wg stanu na rok 1930 i 2020

W latach 60-tych przeprowadzono znaczące prace rekultywacyjne na terenie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" oraz na terenach gospodarstw kolektywnych graniczących z Puszczą Białowieską. W tym okresie osuszono 49% powierzchni torfowisk (16 torfowisk o łącznej powierzchni 19 983 ha). Całkowicie lub częściowo wyprostowano 12 małych rzek: Narewkę, Solomenkę, Cisówkę, Gwoźną, Tushemlyankę, Nemerchankę, Narew, Olchówkę, Pchelkę, Kolonkę, Medyankę, Jasiołdę (rys. 1.1, 1.2). Obszary osuszone: Dokudowo (130 ha), Zubritza (160 ha), torfowisko Galevo (300 ha), Teplukhi (300 ha). Przeprowadzono radykalną rekonstrukcję prac rekultywacyjnych na granicy naturalnej Nikor (1450 ha). W sumie powierzchnia gruntów zdrenowanych na terenie Puszczy właściwej wynosi 2 340 ha, ale strefa jej oddziaływania jest znacznie większa. Prowadzone na szeroką skalę prace melioracyjne, zarówno na terenie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska", jak i na terenach przyległych, doprowadziły do stałego obniżania się poziomu wód gruntowych, które trwa do dnia dzisiejszego. Ogólnie rzecz biorąc, prowadzone na szeroką skalę prace melioracyjne zmieniły dramatycznie hydrografię Puszczy Białowieskiej.

I.3 Aktualna sytuacja hydrologiczna

I.3.1 Ogólna charakterystyka sieci hydrograficznej

Park Narodowy "Puszcza Białowieska" położony jest we wschodniej części dorzecza Wisły. W pobliżu jej północnych i północno-wschodnich granic znajduje się dział wodny między dorzeczami Wisły, Niemna i Dniepru, a tym samym między dorzeczami Morza Bałtyckiego i Morza Czarnego. Niedaleko od północnego skraju Puszczy swoje źródła biorą Świsłocz i Rossa (29 km w dorzeczu), dopływy Niemna, a na północnym wschodzie do Dniepru wpada Jasiolda (84,1 km²), dopływ Prypeci. Na południowym wschodzie przez Puszcę przebiega dział wodny pomiędzy dorzeczami dwóch dopływów Bugu, Lewej Leśnej i Muchawca. Obszar Puszczy Białowieskiej właściwej obejmuje zlewnie dwóch rzek dorzecza Wisły - Narwi (826,6 km²) i Leśnej (Lewa i Prawa). Główne cechy rzek i zbiorników wodnych Puszczy oraz ich dorzecza podano w tabelach 1.1 i 1.2 oraz przedstawiono na rysunkach 1.3 i 1.4.

Oprócz rzek i potoków wymienionych w tabeli 1.1, przez park narodowy przepływa kilka mniejszych potoków i rzek (Olchowka, Wjunowka, Kulewka, Pererownica, Kalinowiec, Murawka, Cisowka, Pobjjka, Pesiat) o powierzchni do 5 km. oraz 49 mniejszych zbiorników wodnych.

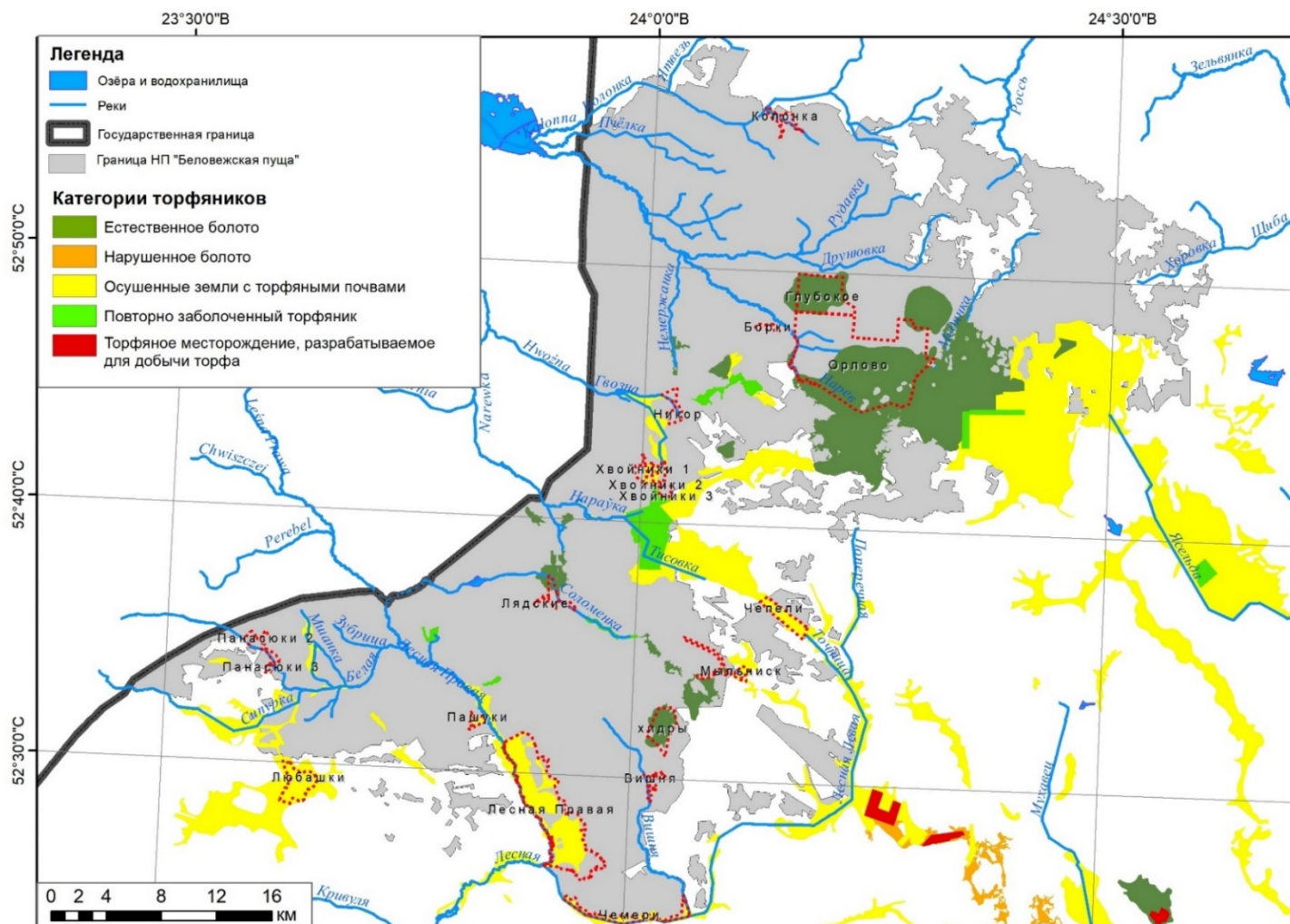
Rzeka Narew, mająca swe źródła w torfowiskach Dikoye, odgrywa niezwykle ważną rolę w regulacji reżimu hydrologicznego w północnej części Puszczy. W południowej części Parku Narodowego głównymi szlakami wodnymi są rzeki Prawda Leśnaja i Lewaja Leśnaja. Rzeka Pravaya Lesnaya bierze swój początek na terytorium Polski, płynie w kierunku południowo-wschodnim przez południową część Parku Narodowego i łączy się z Levą Lesnaya na jego granicy, tworząc rzekę Lesnaya, która wpada do Bugu Zachodniego na północ od Brześcia. Źródła rzeki Leśnaja Leśnaja znajdują się na terenie Parku Narodowego (leśnictwo Szereszewo). Biegając najpierw w kierunku południowo-wschodnim, Leśnaja Lesnaja skręca następnie w kierunku południowo-zachodnim i stanowi południowo-wschodnią granicę Parku Narodowego. Pozostałe rzeki mają swoje źródła głównie na terenie Parku Narodowego i wpadają do Narwi, Leśnej i Prawej Leśnej.

Dział wodny między Narwią a Leśnem stanowi pas wysoczyzn morenowych na linii Hajnówka - Czerenka (Rzeczpospolita Polska) - Krinica (Republika Białorusi). Zlewnie tych rzek mają przeciwne nachylenia: zlewnia Narwi znajduje się na zachodzie i północnym zachodzie, a

zlewnia Leśnej na południowym wschodzie (Prawej Leśnej) i południowym zachodzie (Lewej Leśnej).

Tab. 1.1 Charakterystyka głównych rzek i zbiorników wodnych w Puszczy Białowieskiej.

Nazwy rzek, zbiorników wodnych	Długość, km lub powierzchnia, ha	Wysokość obszaru źródła nad poziomem morza, m	Średnie nachylenie kanału, ‰	Prędkość przepływu, m/s	Obszar zlewni, km ²	Podział obszaru zlewni na strefy, %	Lesistość obszaru zlewni, %.	Podmokłości w obrębie działu wodnego, %.
Biała	13	157	0,6	0,2	366	-	42	4
Vysznia	17	158	0,8	0,1-0,2	121	-	82	28
Gwoźna	9	159	0,6	0,1	-	-	-	-
Gorbach	9	167	1,1	0,3	-	-	-	-
Drunovka	13	169	0,9	0,1-0,2	-	-	-	-
Kolonna	14	179	1,0	0,2-0,3	278	-	45	3,6
Leśnaja Lewaja	38	162	0,4	0,2	-	-	-	-
Lesnaya Prava	29	-	0,5	0,3	-	-	-	-
Lomovka	10	186	2,6	0,1-0,2	-	-	-	-
Medianka	17	179	1,2	0,1	91	-	54	29
Narew	33	159	0,6	0,2-0,3	-	-	-	-
Narewka	8	155	0,4	0,2-0,3	253	0,5	61	14
Nemerzanka	9	160	0,9	0,3-0,4	32	-	99	31
Perevoloka	13	155	0,5	0,2-0,3	127	3	98	33
Plyuskovka	6	162	1,0	0,1	-	-	-	-
Polichna	8	159	1,1	0,2	-	-	-	-
Pszczelka	13	169	1,4	0,1-0,2	55	-	70	20
Ross	4	174	1,4	0,1-0,2	-	-	-	-
Rudavka	14	156	0,8	0,2-0,3	173	-	94	27
Sipurka	11	170	1,5	0,3	-	-	-	-
Tochnica	6	158	0,4	0,1	-	-	-	-
Tushemlanka	12	162	1,0	0,1	40	-	70	29
Chorovka	6	176	2,2	0,2-0,3	-	-	-	-
zbiornik. Lyatskoe	260,4	-	-	-	-	-	-	-
zbiornik. Khmelevskoye	81,4	-	-	-	-	-	-	-
Zlewnia. Sipurka	26,6	-	-	-	-	-	-	-
Dvvvr. Pererovnitsa	20,1	-	-	-	-	-	-	-
Dvvvr. Kolonna	16,9	-	-	-	-	-	-	-



Rys. 1.3 Współczesna sieć hydrograficzna i torfowiska Parku Narodowego "Puszcza Białowieńska" i terenów przyległych.

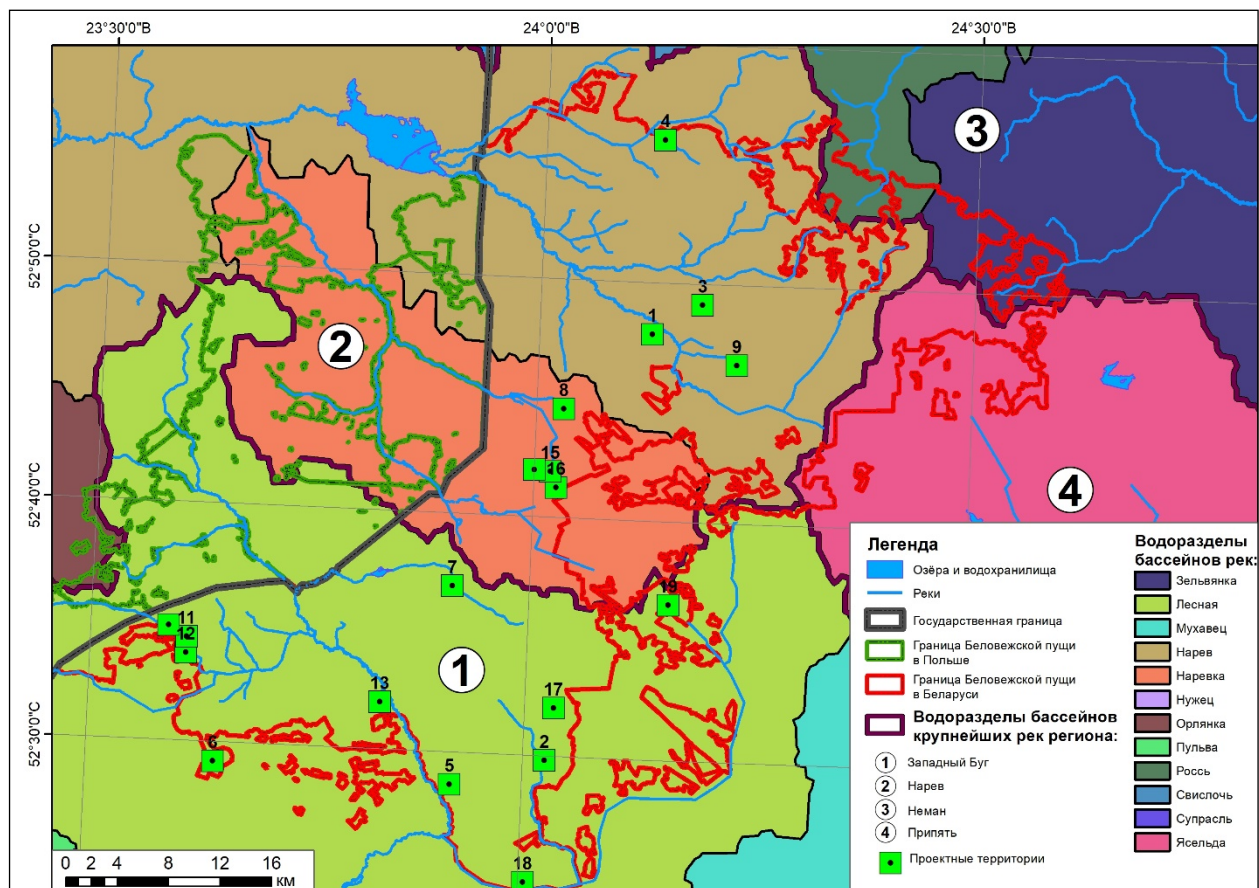


Рис. 1.4 Dorzeczca hydrologiczne Parku Narodowego "Puszcza Białowieška" i terenów przyległych oraz lokalizacja obszarów projektów, na których możliwe jest przywrócenie reżimu hydrologicznego.

Tab. 1.2 Powierzchnie zlewni hydrologicznych i zlewni rzecznych na terenie Puszczy Białowieskiej.

Zlewnia	Obszar (łącznie z białorusko-polską częścią Puszczy Białowieskiej), km ²
Bug Zachodni <i>Lesnaya</i>	850,8 (602,8/248,0) 850,8 (602,8/248,0)
Narew <i>Narew</i>	1100,4 (826,6/273,8) 727,0 (647,8/79,2)
<i>Narewka</i> <i>Orlyanka</i>	445,4 (178,8/266,6) 10,1 (-/10,1)
Neman <i>Ross</i> <i>Zelvianka</i>	75,9 (75,9/-) 29,7 (29,7/-) 46,2 (46,2/-)
<i>Prypeć</i> <i>Yaselda</i>	84,1 (84,1/-) 84,1 (84,1/-)

Na terenie Parku Narodowego nie występują naturalne jeziora. W wyniku prac hydromelioracyjnych w poprzednich dziesięcioleciach powstały dość duże sztuczne jeziora: Łyatskie, Chmelewskie (ćwiartka 677), Sipurka (ćwiartka 1019, osiedle Belyanskoe), Pererovnitsa (ćwiartka 589, 617), Kolonna (ćwiartka 225, osiedle Brovskoe). Dość duże obszary parku narodowego mają dobrze rozwiniętą sieć kanałów irygacyjnych, zwłaszcza tereny przekazane w ostatniej dekadzie do Puszczy Białowieskiej. Całkowita długość sieci nawadniającej i melioracyjnej, według badań leśnych, wynosi około 592 km. Całkowita powierzchnia torfowisk w Puszczy Białowieskiej o głębokości warstwy torfu powyżej 0,3 m wynosi 20 550 ha, z czego 83,2% stanowią torfowiska typu bagiennego, 3,1% - typu przejściowego, a 13,7% - typu torfowiska wysokiego. Głębokość warstwy torfu waha się od 0,3 do 4,5 m, ale najczęściej spotykane są torfowiska z pokładami torfu o miąższości od 1 do 3 m. W obrębie torfowisk niskich torfowiska zalewowe zajmują powierzchnię 657,3 ha, a torfowiska pozalewowe - 16435,3 ha. Powierzchnia torfowisk nieleśnych wynosi 3742,8 ha, co stanowi 18,2% powierzchni wszystkich torfowisk. Duże torfowiska o powierzchni ponad 25 ha należą do rzadkości. Tylko w północno-wschodniej części Puszczy znajdują się torfowiska o powierzchni ponad 100 ha (Dikoje, Dikij Nikor).

1.3.2 Zaburzenia reżimu hydrologicznego Puszczy Białowieskiej w wyniku prac odwodnieniowych

Rozległy masyw leśny Puszczy Białowieskiej rozwinął się w warunkach stabilnego reżimu hydrologicznego, charakteryzującego się stosunkowo wysokim poziomem zwierciadła wód gruntowych (GWL). Stabilności tej sprzyja wysokie zabagnienie samego obszaru leśnego oraz duże kompleksy bagiennie na obrzeżach lasu. Przed pracami odwadniającymi całkowita powierzchnia torfowisk wynosiła 41 015 ha (30% terytorium). Prowadzone w latach 50. i 60. ubiegłego wieku w Puszczy Białowieskiej i jej okolicach intensywne odwadnianie spowodowało stałe obniżanie się poziomu wód gruntowych i proces ten trwa do dnia dzisiejszego. W tym okresie osuszono 49% powierzchni mokradeł (16 mokradeł o łącznej powierzchni 19 983 ha). W stanie naturalnym zachowało się siedem torfowisk o łącznej powierzchni 21 032 ha, z czego ponad 17 000 ha znajduje się na jednym dużym torfowisku Dikoje. W tym samym okresie osuszono tereny zalewowe i wyprostowano rzeki. Całkowicie lub częściowo wyprostowano 12 małych rzek: Narewkę, Solomenkę, Cisówkę, Gwoźną, Tuszamlankę, Nemerczanekę, Narew, Olchówkę, Pczelkę, Kolonkę, Medyjanekę, Jasiołdę.

Reżim hydrologiczny w Puszczy Białowieskiej charakteryzuje się intensywnymi wiosennymi powodziami, stabilnymi okresami letnio-jesiennymi i zimowymi okresami niskiego poziomu wody. Podnoszenie się poziomu podczas wiosennych powodzi rozpoczyna się zwykle w

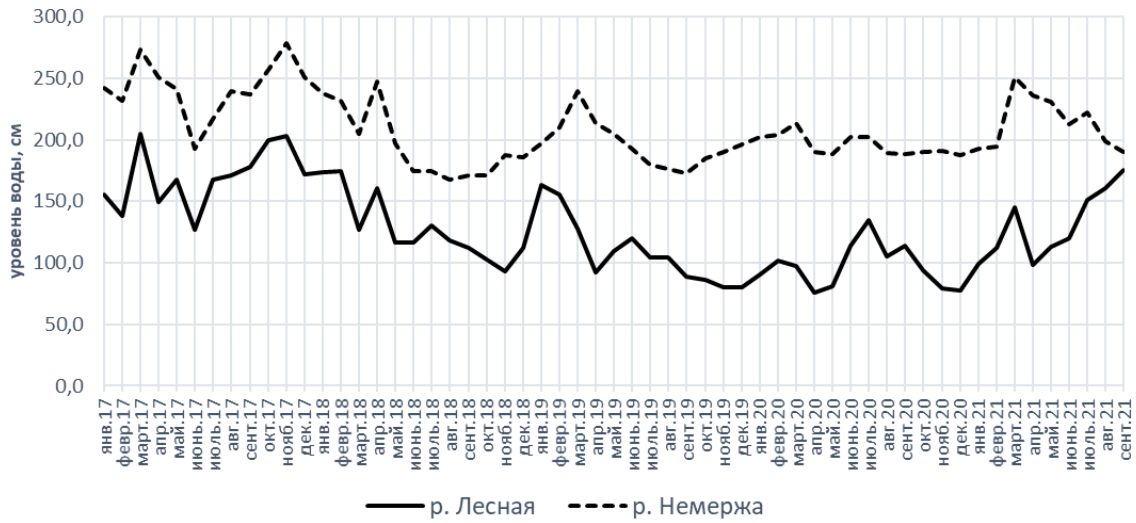
połowie marca i trwa 7-15 dni (we wczesnych wiosnach - w drugiej połowie lutego, w późnych wiosnach - w pierwszej dekadzie kwietnia). Zwykle kończy się na początku maja, a jego średni czas trwania wynosi 60-70 dni. Letni okres niskiego stanu wody rozpoczyna się w pierwszej połowie maja i jest prawie corocznie przerywany przez powodzie deszczowe 1-2 razy w sezonie. Zimowy niski poziom wody jest stosunkowo bardziej stabilny, z wieloletnim zakresem wahań 20-40 cm. Stabilna pokrywa lodowa tworzy się zwykle w trzeciej dekadzie grudnia, z odchyleniami od tego terminu na początku grudnia lub w trzeciej dekadzie stycznia. Rzeki wylewają od połowy lutego do pierwszej dekady kwietnia. Wszystkie rzeki w obrębie Puszczy należą do typu równinnego, zdominowanego przez śnieg i zasilanie atmosferyczne. W ostatnich ciepłych latach śnieg i pokrywa lodowa tworzą się rzadko.

W związku z tym w niektórych latach maksymalne stany wody obserwowane są nie w okresie powodziowym (marzec-kwiecień), lecz w styczniu-lutym. Ponadto w ostatnich latach w Puszczy Białowieskiej brakuje wilgoci, o czym świadczą nie tylko dane ze studni hydrologicznych, ale także poziom wody w rzekach. Dane dotyczące rzek Lesnaja i Nemerzha wskazują na spadek stanów wody przez trzy lata (2018-2020), a następnie odbudowę w 2021 r. Poważny wpływ na zmiany stanów wody w rzece Lesnaja ma sztuczna regulacja spływu z dużych systemów melioracyjnych zlokalizowanych na granicy Puszczy Białowieskiej. Prowadzi to do większej amplitudy wahań poziomów i ma negatywny wpływ na sąsiadujące ekosystemy (rysunki 1.5, 1.6).

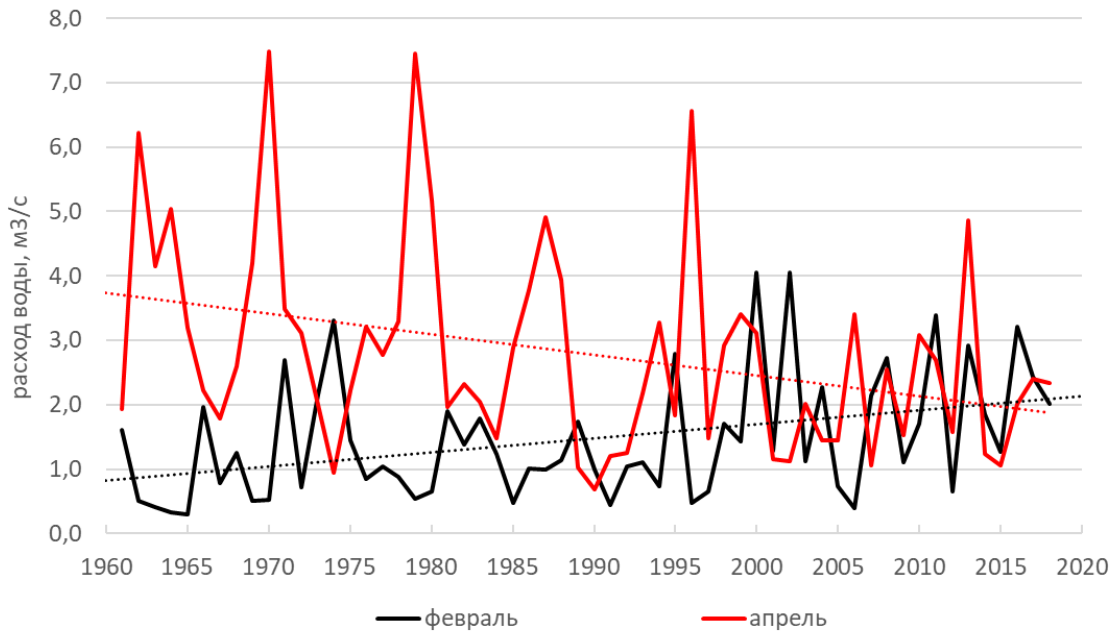
Obecnie na terenie Puszczy Białowieskiej znajduje się około 10-11 systemów odwadniających o łącznej powierzchni 15 000 ha i długości 1200 km. Znaczna liczba małych systemów odwadniających została zbudowana 100 lub więcej lat temu. Największe systemy melioracyjne powstały jednak w latach 1950-1980. Od czasu uruchomienia systemów rekultywacyjnych nie prowadzono żadnych większych prac związanych z ich przebudową. Nie prowadzono budowy nowych rekultywacji terenu. W wyniku tego znaczna część kanałów melioracyjnych jest zarośnięta, ich dno zamulone i zarośnięte roślinnością wodną. Jednocześnie do chwili obecnej można prześledzić negatywny wpływ działalności rekultywacyjnej na kompleksy przyrodnicze Puszczy Białowieskiej. Obserwuje się obniżanie poziomu wody w rzekach, potokach i kanałach melioracyjnych, ich wysychanie, a w konsekwencji zmianę różnorodności gatunkowej flory i fauny (rys. 2.5). W ostatnich latach negatywny wpływ melioracji hydrotechnicznych został w znacznym stopniu złagodzony przez bobry. Tamy bobrowe budowane na potokach wypływających z torfowisk zapobiegają gwałtownemu spływowi wód z nich do większych cieków wodnych, przyczyniając się w ten sposób do normalizacji reżimu hydrologicznego na torfowiskach puszczańskich.

Na reżim hydrologiczny torfowiska Dikoje, największego torfowiska na terytorium Puszczy Białowieskiej, znaczący wpływ miała budowa systemu odwadniającego "Wierchowe Jasioldy". Zgodnie z projektem wybudowano kanał wodociągowy (VP-2), który ma dostarczać wodę do obszaru, który ma być odwadniany w latach suchych ze zbiorników. Kanał biegnie bezpośrednio wzdłuż zlewni rzek Narew i Jasiolda.

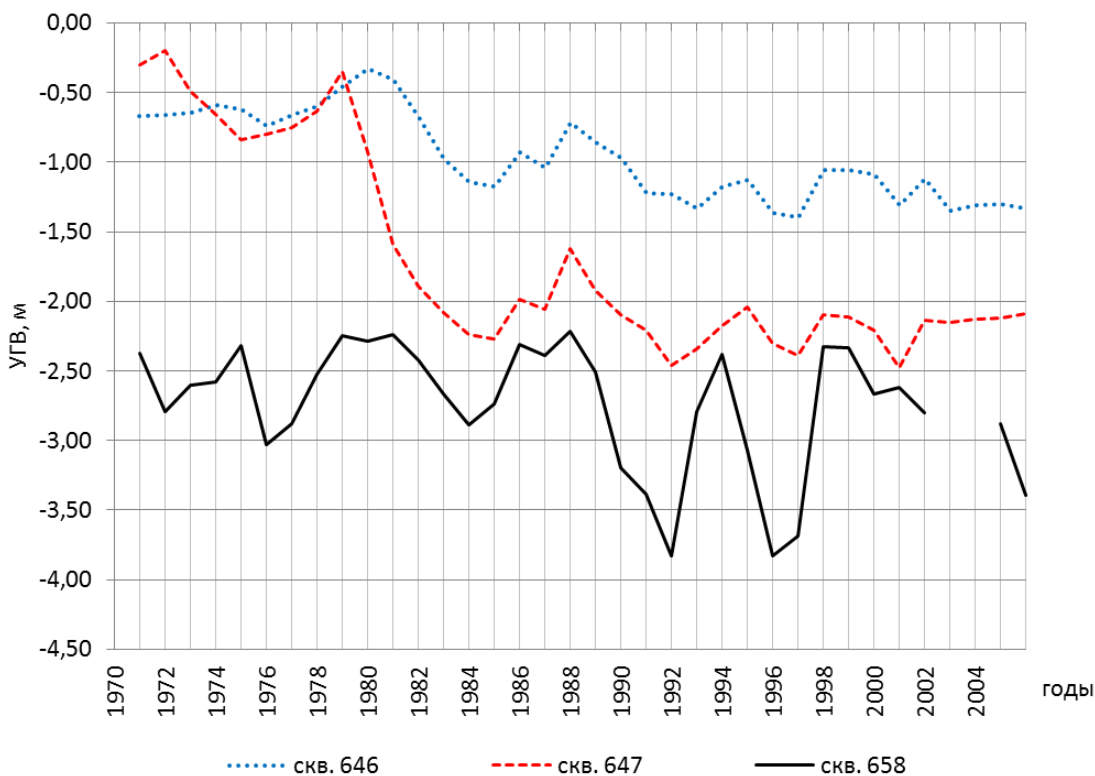
Według obserwacji Prużańskiego Hydrologiczno-Hydrogeologicznego Laboratorium Rekultywacji Terenów, bezwzględna wartość średniego rocznego obniżenia zwierciadła wód gruntowych na terenach przyległych osiąga maksymalne wartości w paśmie 50-100 m (108-153 cm). W odległości od granicy zlewni do 3 km wartość obniżenia zwierciadła wód gruntowych wynosi 2-22 cm.



Rys. 1.5 Dynamika stanów wody w rzekach Lesnaja (Kamieniec) i Nemerzja (sołectwo Nemerzha) na lata 2017-2021. Źródło danych: Belgidromet.



Rys. 1.6 Przepływy Narewki w Białowieży (Polska) w lutym i marcu. Źródło danych: IMGW.



Rys. 1.7 Dynamika poziomu wód gruntowych w niektórych studniach na terenie Puszczy Białowieskiej (głębokość od powierzchni terenu, m) Źródło: "Ocena wpływu zmian...", 2008.

Znaczące oddziaływanie na poziom wód gruntowych mają drogi w obrębie Puszczy, które zaburzyły naturalną łączność hydrologiczną w zlewniach. Wiele dróg jest wyposażonych w rury przejazdowe, ale na niektórych odcinkach dróg konieczne jest ich zagęszczenie. Jest to szczególnie wrażliwe na obszarach, gdzie drogi przecinają linie przepływu wód powierzchniowych i gruntowych. Na przykład, budowa drogi przecinającej torfowisko Dikoye i jego późniejsza przebudowa spowodowały zaburzenie jego drożności: poziom wód gruntowych w części torfowiska na wschód od drogi był znacznie wyższy niż w części zachodniej.

Generalnie, na podstawie wyników analizy danych klimatycznych, poziomu wód gruntowych oraz historii tworzenia systemów odwadniających na terenie Puszczy i terenach przyległych, można wyróżnić kilka okresów o różnych reżimach wilgotnościowych, które zmieniały dynamikę ekosystemów: I - lata 80. i 40. XIX w. - wilgotno; II - lata 40. i 50. XX w. - opady poniżej normy klimatycznej, ale temperatury zbliżone do normy klimatycznej; III - lata 50. i 90. XX w. - masowe działania odwadniające. - I - lata 1880-1940 - wilgotno i dość chłodno; II - lata 1940-1950 - opady poniżej normy klimatycznej, ale temperatury zbliżone do normy klimatycznej; III - lata 1950-1908 - masowa melioracja osuszająca na tle niewielkiego wzrostu opadów (pod koniec okresu gwałtowny, systematyczny spadek poziomu wód gruntowych); IV - lata 1990 - obecne ocieplenie klimatu, przy utrzymywaniu się opadów zbliżonych do normy klimatycznej.

Całkowite obniżenie zwierciadła wód podziemnych w większej części Puszczy Białowieskiej wyniosło 0,5-1,5 m (północno-wschodnia i środkowa część Puszczy). W przypadku osuszania torfowisk lub prostowania rzek, obszar dotknięty obniżeniem zwierciadła wód gruntowych wynosi około 3000 m. Jednak ze względu na wspomniane wcześniej przekształcenia większości terenów hydrologicznych parku narodowego, strefy oddziaływania obniżonych poziomów wód gruntowych nakładają się na siebie i obejmują znaczną część terytorium Puszczy (Ryc. 1.8).

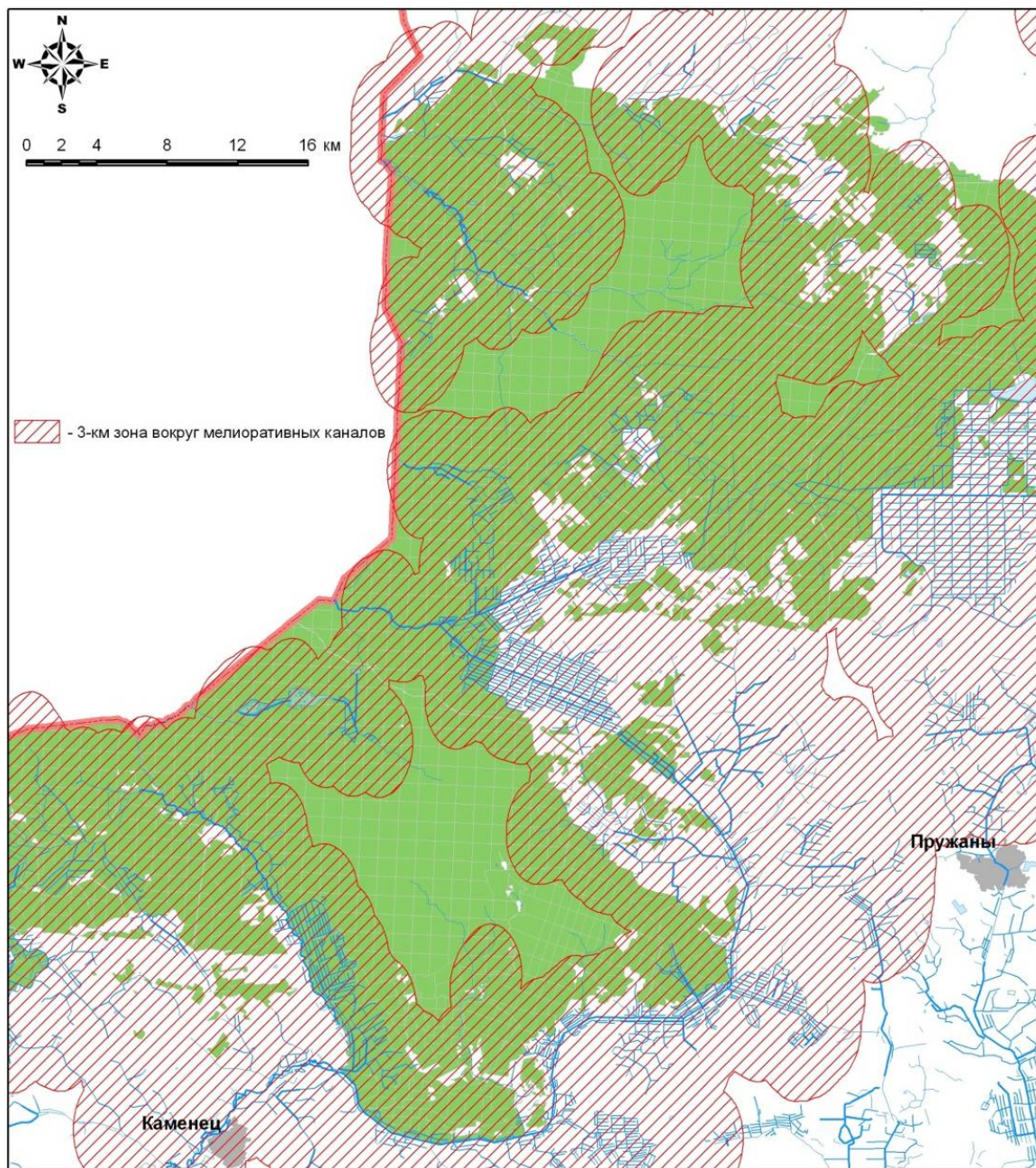


Рис. 1.8 Schemat obszarów potencjalnego wpływu kanałów i systemów melioracyjnych na reżim hydrologiczny obszaru parku (nie pokazano obszarów wokół wyprostowanych i pogłębionych rzek, które również pełnią rolę melioracyjną)
 Źródło danych: "Ocena wpływu zmian...", 2008.

I.4 Wpływ na las

I.4.1 Informacje wstępne

Wpływ rekultywacji na las przejawia się w dwojaki sposób:

- Zmniejszenie odporności lasów i obumieranie lasów;
- Kształtowanie się rekultywacyjnych typów lasu produkcyjnego o nierodzimy dla regionu składzie florystycznym i faunistycznym;
- Ekspansja roślinności leśnej na tereny nie zalesione.

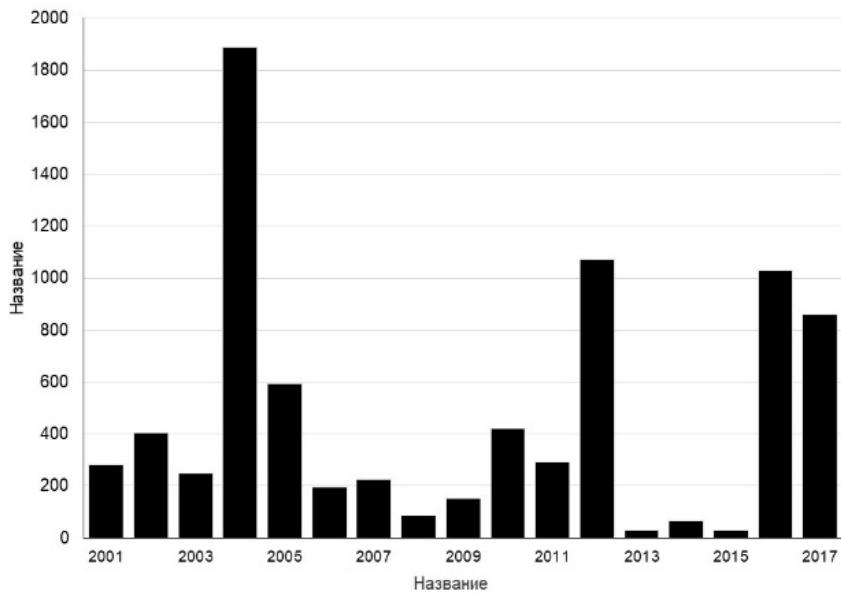
Rekultywacja terenów odwadniających na terenie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" ujawniona (Opracowanie strategii rekultywacji..., 2010):

- Zmniejszenie powierzchni najważniejszych dla kształtowania siedlisk i zachowania bioróżnorodności biotopów - torfowisk (o 49%) i podmokłych łąk w wyniku ich osuszania i prostowania rzek;
- Zmniejszenie o 40% powierzchni sosnowych lasów torfowiskowych w latach 1951-1992;
- Degradacja i zakrzaczenie naturalnych łąk i bagien w strefach zalewowych wyprostowanych rzek i terenów zdrenowanych;
- Osłabienie i przesuszenie lasów świerkowych, zmiany w lasach pierwotnych (olsza, brzoza, lasy liściaste) przylegających do wyprostowanych rozlewisk rzek i systemów melioracyjnych;
- Zmiany w strukturze roślinności na ciekach głuszcowych w wyniku zarastania podszytem i przechodzenia zbiorowisk torfowiskowych w zbiorowiska torfowiskowe i wrzosowiskowe;
- Przyspieszenie zarastania otwartych obszarów torfowisk roślinnością drzewiastą i krzewiastą.

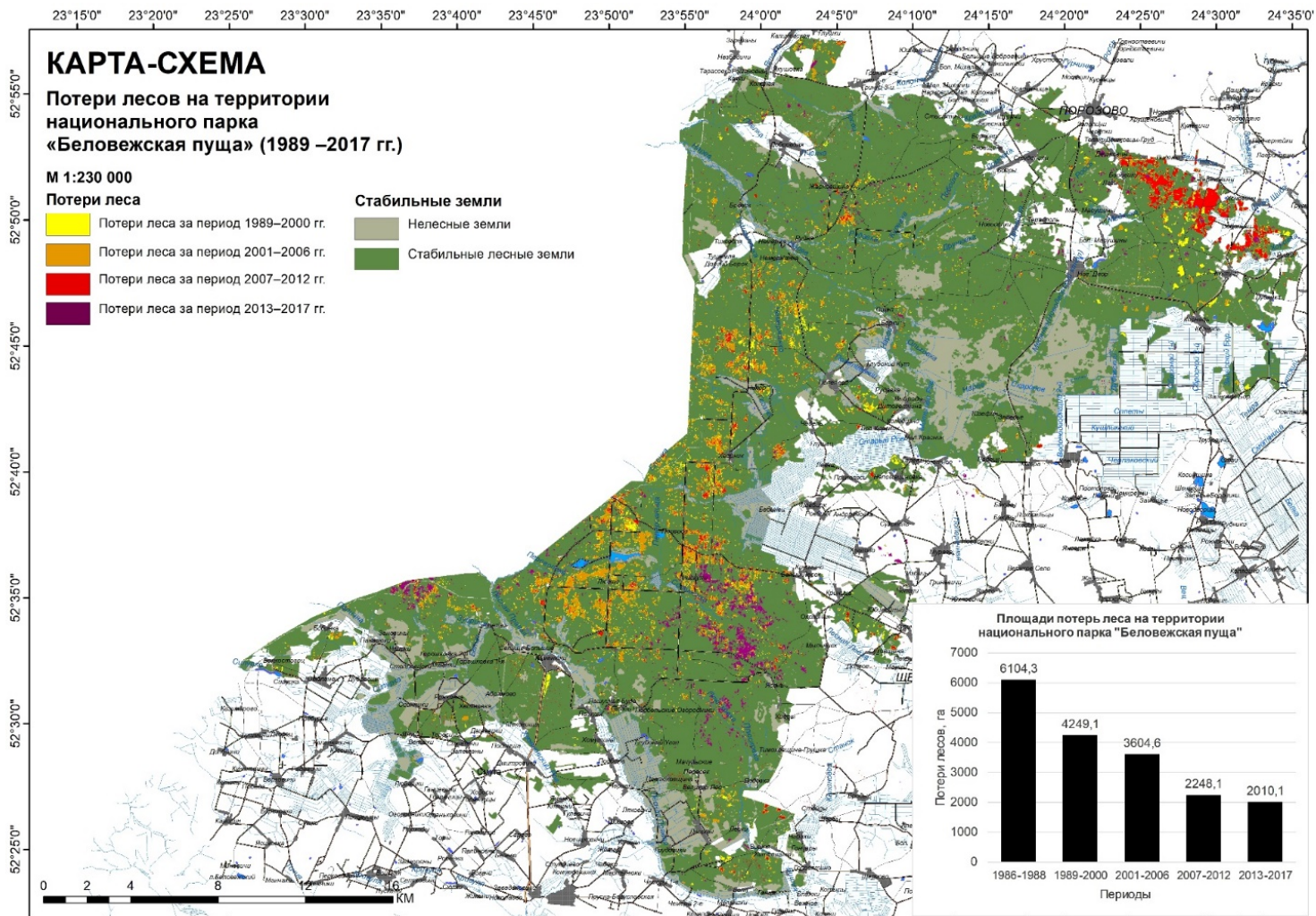
Przyjrzyjmy się bliżej niektórym efektom rekultywacji melioracyjnej na naturalne ekosystemy Parku Narodowego "Puszcza Białowieska".

I.4.2 Straty w lasach

Ubytki drewna na terenie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" według danych archiwalnych (1989-2000) zdjęć satelitarnych Landsat w okresach rewizji wyniosły: 4249,1 ha (1989-2000), 3604,6 ha (2001-2006), 2248,1 ha (2007-2012), 2010,1 ha (2013-2017) (tab. 1.3, ryc.1.9, 1.10). Straty drewna w latach 1989-2017 szacuje się na 3,0 do 3,4 mln m³. Główną przyczyną jest radykalne obniżenie poziomu wód gruntowych w tym regionie.



Rys. 1.9 Roczna dynamika utraty lasów w Parku Narodowym "Puszcza Białowieska" Źródło danych: opracowanie na podstawie Global Land Analysis i badań własnych.



Rys. 1.10 Straty leśne na terenie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" (1989-2017)

Tab. 1.3 Ubytki lasów w Parku Narodowym "Puszcza Białowieska" (1989-2017) Źródło danych: Opracowanie na podstawie Global Land Analysis.

Okres (lata)	Całkowita powierzchnia strat w lasach w danym okresie (ha)	Średnia roczna powierzchnia strat w lasach w tym okresie (ha/rok)
1989-2000	4249,1	354,1
2001-2006	3604,6	600,8
2007-2012	2248,1	374,7
2013-2017	2010,1	402,0
OGÓŁEM	12111,9	417,7

I.4.3 Dynamika terenów nieleśnych

Jako przykład odzwierciedlający katastrofalną skalę degradacji ekosystemów unikalnych dla regionu, rozważmy dynamikę ekosystemów największego torfowiska w parku narodowym (i w całym regionie) - torfowiska Dikoye. W ciągu ostatnich dziesięcioleci, w wyniku zaburzeń reżimu hydrologicznego, zmian w użytkowaniu gruntów (przede wszystkim zaprzestania użytkowania kośnego) oraz procesów naturalnych, na terenie torfowiska Dikoye doszło do znacznego przekształcenia struktury funduszu ziemi.

Tab. 1.4 Zmiana stosunku głównych typów gruntów w kompleksie bagiennym Dikoye według okresu, ha.

Rodzaje gruntów	1949 r.	1965 r.	Zmiana w okresie 1949-1965 (+,-), ha	1985 r.	Zmiana w okresie 1966-1985 (+,-), ha	2018 r.	Zmiana w latach 1986-2018 (+,-), ha	Zmiana w latach 1949-2018 (+,-), ha
Grunty rolne	648,1	403,1	-245,0	190,5	-212,6	104,9	-85,6	-543,2
Grunty antropogeniczne	23,1	74,3	+51,2	15,6	-58,7	91,4	+75,8	+68,3
Lasy	6966,7	10388,8	+3422,1	12857,4	+2468,6	14528,1	+1670,7	+7561,4
Krzewy	324,0	340,5	+16,5	430,5	+90,0	787,6	+357,1	+463,6
Bagno (zarośnięte DKR)	1064,7	803,6	-261,1	1503,6	+700,0	3161,8	+1658,2	+2097,1
Otwarte bagno	14116,5	11132,9	-2983,6	8146,4	-2986,5	4470,6	-3675,8	-9645,9
Zbiorniki wodne	1,9	1,8	-0,1	1,0	-0,8	0,6	-0,4	-1,3

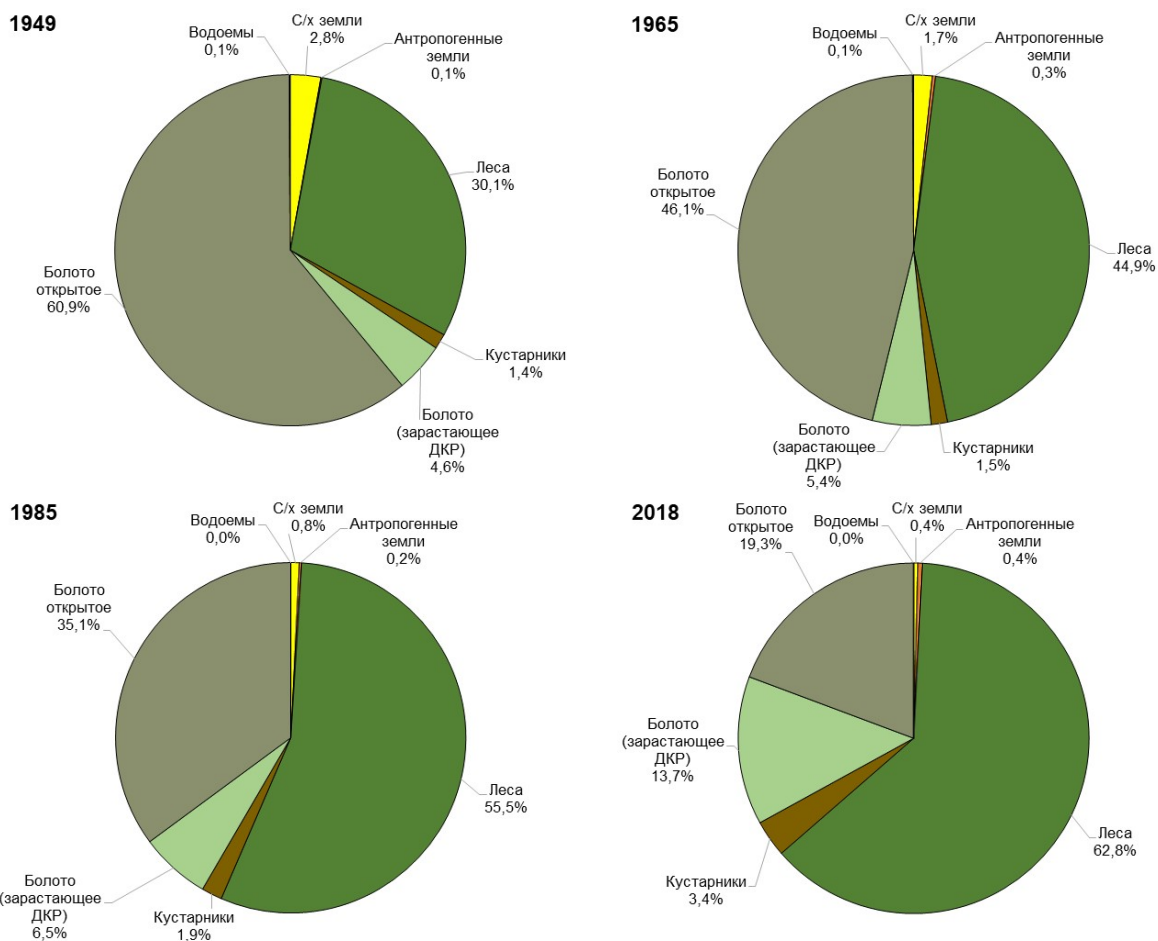
Uwaga. DKR - roślinność drzewiasta i krzewiasta.

Na podstawie opracowania materiałów geodezyjnych gruntów zasobowych i leśnych, analizy wielozasobowych (1949, 1965, 1985-2017) zdjęć lotniczych stwierdzono, że w okresie 1949-2018 w granicach torfowiska (Tab 1.4, Rys. 1.11, 1.12):

- Powierzchnia otwartych (nie zalesionych) obszarów bagiennych zmniejszyła się o 9 645,9 ha: z 14 116,5 ha (60,9%) w 1949 r. do 4 470,6 ha (19,3%) w 2018 r., przy czym

najbardziej znaczące procesy przekształceń siedlisk bagiennych obserwowane są w ostatnich dekadach;

- Powierzchnia gruntów leśnych wzrosła o 7 561,4 ha: z 6 966,7 ha (30,1%) w 1949 r. do 14 528,1 ha (62,8%) w 2018 r;
- W latach 1949-2018 tendencje wzrostu rozmieszczenia charakteryzują tereny zakrzewione (+463,6 ha), skąpe zadrzewienia na terenach podmokłych (+2097,1 ha) oraz grunty antropogenicznie zaburzone (+68,3 ha), a dla kontrastu obserwuje się spadek powierzchni (-543,2 ha) dla gruntów rolnych;
- Stabilne grunty znajdują się w środkowym, północnym i zachodnim sektorze mokradła.



Rys. 1.11. Zmiana w strukturze gruntów torfowiska Dikoye, %.



Rys. 1.12. Zarastanie roślinnością drzewiastą i krzewiastą kluczowych miejsc gniazdowania Siedlisko łęgowe trzciniaka *Vertigo* w obrębie torfowiska Dikoye (2020).

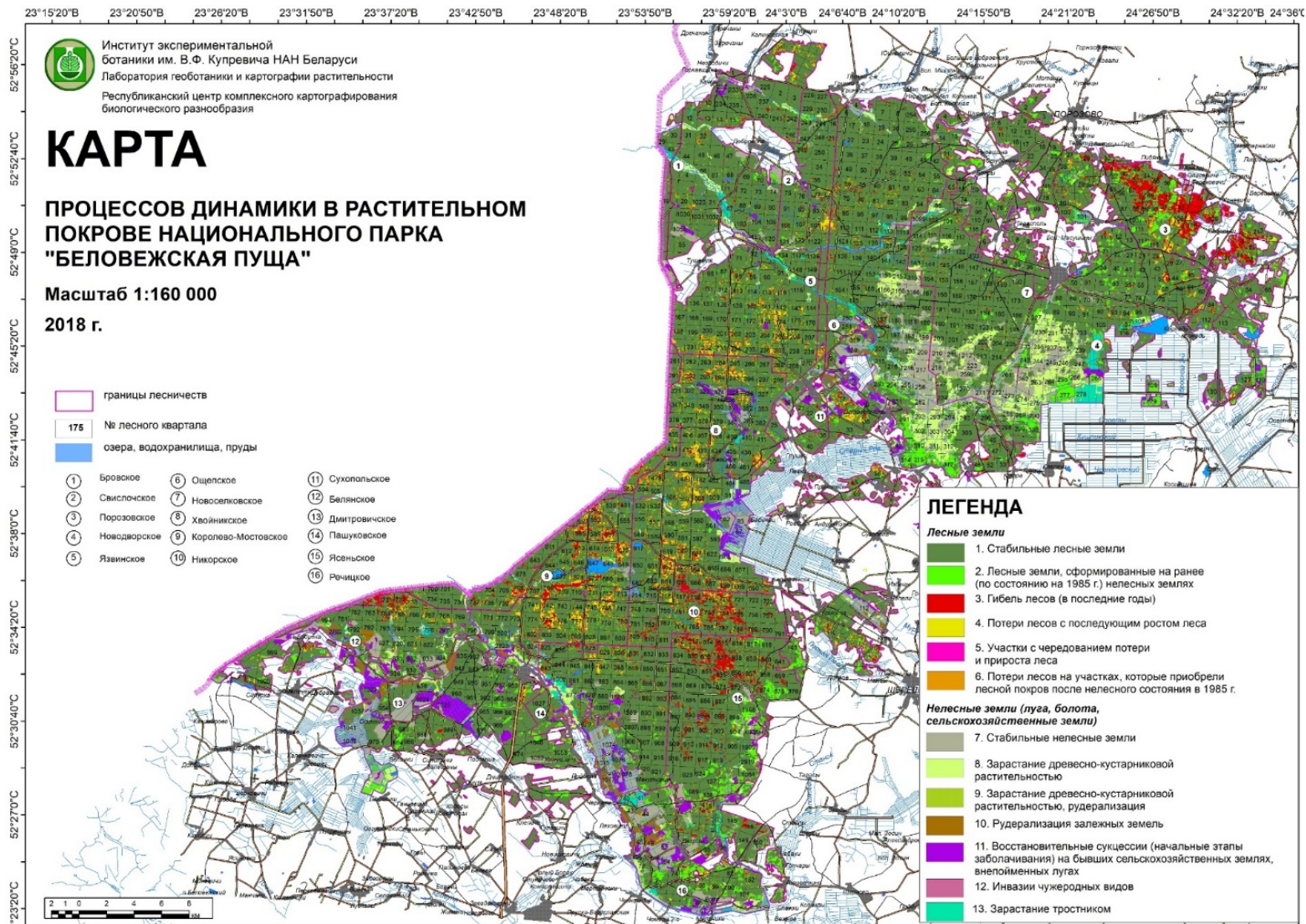
1.4.4 Ogólna ocena dynamiki ekosystemu Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" pod wpływem melioracji.

Oceniając dynamikę ekosystemów Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" (tab. 3.2 i rys. 3.3) należy stwierdzić, że skutki bezpośredniego oddziaływania systemów melioracyjnych widoczne są na obszarze 15,8% powierzchni Parku Narodowego, tj. niszczenie lasów (7545,5 ha, tj. 5,0% powierzchni), degradacja lasów bagiennych w wyniku obniżenia poziomu wód gruntowych w regionie (1368,7 ha, tj. 0,9%), tworzenie struktury leśnej (zarastanie) na gruntach dotychczas nieleśnych (3919,5 ha, tj. 2,6%), ruderalizacja (burzanizacja) na odłogowanych gruntach zdrenowanych (9,3 tys. ha, tj. 6,2%), inwazja gatunków obcych - 108,4 ha (0,1%), zarastanie torfowisk i zalewów w wyniku regulacji przepływu - 1,4 tys. ha (1,0%).

Tab. 1.5 Procesy dynamiczne w szacie roślinnej ekosystemów Parku Narodowego Puszcza Białowieska (stan na rok 2020)

Nr	Kategorie stron	Kwadrat	
		ha	%*
<i>Grunty leśne</i>			
1	Stabilne grunty leśne	99739	66,7
2	Grunty leśne utworzone na gruntach wcześniej (od 1985 r.) nieleśnych	12875,6	8,6
3	Śmiertelność lasów (w ostatnich latach 2011-2017)	7545,5	5,0
4	Utrata lasów, po której następuje wzrost lasów	2745	1,8
5	Działki z naprzemienną utratą i przyrostem lasu	10,4	<0,1
6	Straty leśne na obszarach, które uzyskały lesistość po stanie niezalesionym w 1985 r.	3,4	<0,1
6a	Sukcesja lasu bagiennego związana z oddziaływaniem melioracyjnym w regionie (wzrost roli fitocenotycznej i/lub zasobów sosny, wzrost pokrycia rzutowego (biomasy) krzewów i mchów zielonych, zmniejszenie pokrycia rzutowego (biomasy) torfowców)	1368,7	0,9
<i>Grunty nie zalesione</i>			
7	Stabilne grunty nie zalesione	10617,7	7,1
8	Kształtowanie się struktury leśnej (zarastanie) na terenach dotychczas nieleśnych (torfowiska otwarte, łąki zalewowe)	3919,5	2,6
9	Zastąpienie agrocenoz przez roślinność ruderalną i krzewy wtórne	3357,5	2,2
10	Przesunięcie agrocenoz przez zbiorowiska roślin ruderalnych	2060,8	1,4
11	Początkowe procesy sukcesji regeneracyjnej (podmakanie) na gruntach porolnych, łąki pozalewowe	3856,8	2,6
12	Inwazje obcych gatunków	108,4	0,1
13	Zarastanie trzciną terenów podmokłych i zalewowych	1440,5	1,0
	OGÓLEM	149648,8	100

Uwaga. *Z obszaru opracowania.



Rys. 1.13 Mapa dynamiki roślinności w Parku Narodowym "Puszcza Białowieńska".

I.4.5 Prognoza dynamiki roślinności leśnej do 2120 r.

Na podstawie analizy zmian w kompleksie czynników oddziaływania naturalnego i antropogenicznego (zmiany klimatu, wpływ melioracji, sukcesja naturalna) wykonano prognozę dynamiki roślinności w Parku Narodowym "Puszcza Białowieska" do 2120 roku.

Głównymi obszarami potencjalnego kształtowania się roślinności (2120) na obszarze modelowym przy braku oddziaływania antropogenicznego są:

- rozwój roślinności leśnej (+25,1 tys. ha, osiągając lesistość 98,8% całkowitej powierzchni parku narodowego) w wyniku zarastania terenów dotychczas nieleśnych (rozlewiska, otwarte bagna nieleśne, dawne użytki rolne i pochodne suche łąki);
- degradacja fitocenoz otwartych torfowisk niskich i przejściowych (-8,5 tys. ha - -5,7%) poprzez przejście do typu leśnego;
- zmniejszenie powierzchni pochodnych zbiorowisk roślinnych (-43,9 tys. ha -40,7%), poprzez kształtowanie fitocenoz leśnych.

I.5 Mapa i wykaz potencjalnych obszarów interwencji

Na podstawie wyników badań opracowano wieloletni (2022-2030) Program rekultywacji zaburzonych torfowisk w Parku Narodowym "Puszcza Białowieska", który obejmuje 15 obiektów o łącznej powierzchni 9825,2 ha (tab. 1.6, rys. 1.14).

Tab. 1.6 Obszary priorytetowe dla przywrócenia reżimu hydrologicznego na zaburzonych torfowiskach.

Nazwa obszaru objętego projektem	Powierzchnia, ha	Dominujący typ złoża torfowego	Głębokość złoża torfu, cm	Zlewnie		Priorytet
				największe rzeki w regionie	zlewnia	
Kolonka	122,2	nizinny	35-50	Narew	Narew	1
Orlovo	4988,6	- "-	40-190	Narew	Narewka	1
Chvoniki 1	103,7	- "-	75-100	- "-	- "-	1
Chvoniki 2	104,9	- "-	40-120	- "-	- "-	1
Chvoniki 3	61,2	- "-	40-110	- "-	- "-	1
Vysznya	79,5	- "-	30-80	3. Bug	Lesnaya	2
Lwubaszki	386	- "-	20-180	- "-	- "-	2
Lesnaya Prawa	2573,6	- "-	10-180	- "-	- "-	2
Liadskie	154,7	- "-	30-90	- "-	- "-	2
Paszuki	67,5	- "-	57-200	- "-	- "-	2
Cepeli	270,7	- "-	35-100	- "-	- "-	3
Nikor	158,6	- "-	40-110	Narew	Narewka	3
Borki	52,4	- "-	40-80	Narew	Narew	3
Khidry	423	- "-	40-110	3. Bug	Lesnaya	3
Chemeri	278,6			- "-	- "-	3

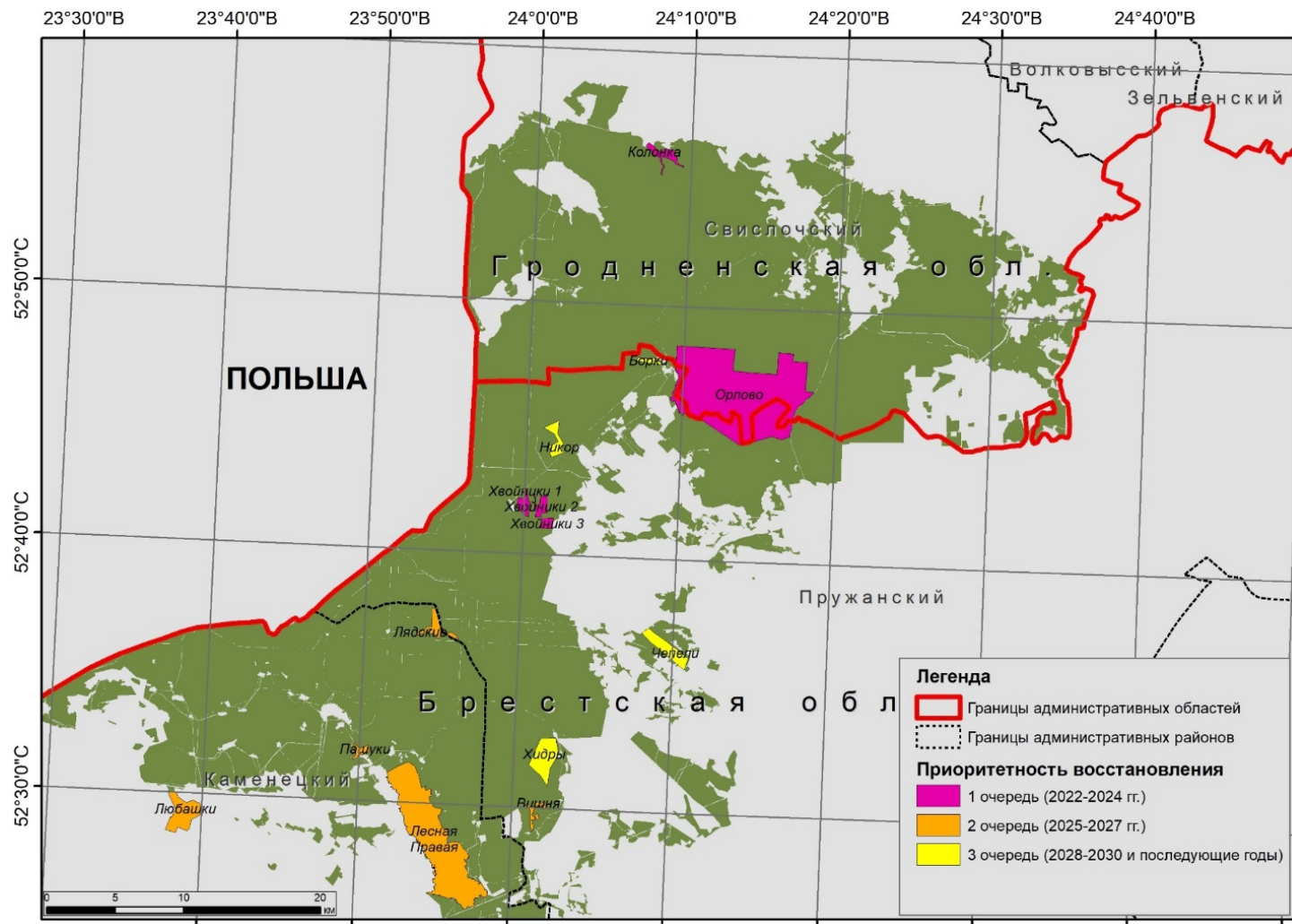


Рис. 1.14 Приоритетизация отбоды забурзых торфосы в Парке Народном "Пусыца Бялосыска".

I.6 Priorytetyzacja prac i lista priorytetów

Obiekty zostały podzielone na 3 grupy priorytetowe (rysunki 1.15, 1.16):

Grupa 1 (najwyższy priorytet) obejmuje zaburzone torfowiska w dorzeczu Narwi (PT "Kolonka", "Orłowo", "Chvoniki 1", "Chvoniki 2", "Chvoniki 3"). Całkowita powierzchnia torfowisk, na których mają być przeprowadzone priorytetowe (2022-2024) działania odtworzeniowe wynosi 5380,6 ha (54,8% całkowitej powierzchni obszarów objętych projektem).

Grupa 2 obejmuje zaburzone torfowiska dorzecza Zap. Bugu, zlewni rzeki Leśnej (PT "Wyszyny", "Lubaszki", "Leśnaja Prawa", "Liadskie", "Paszuki"). Całkowita powierzchnia torfowisk, na których planowane są działania odtworzeniowe w latach 2025-2027, wynosi 3 261,3 ha (33,2%).

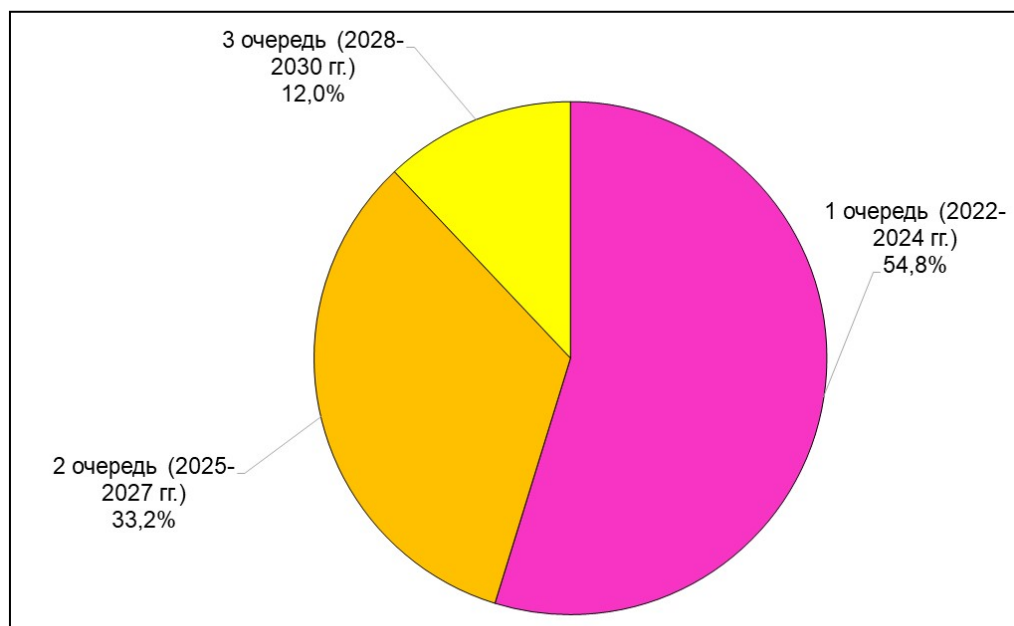
Grupa 3 obszarów (o najniższym priorytecie) obejmuje obszary projektu "Chepeli", "Nikor", "Borki", "Khidry", "Chemeri"). Łączna powierzchnia torfowisk, na których planowane są działania odtworzeniowe w latach 2028-2030 wynosi 1183,3 ha (12,0%).

Kolejnym priorytetem jest wykorzystanie systemów rekultywacyjnych i osuszonych torfowisk w strefie ochronnej Parku Narodowego "Puszcza Białowieska".

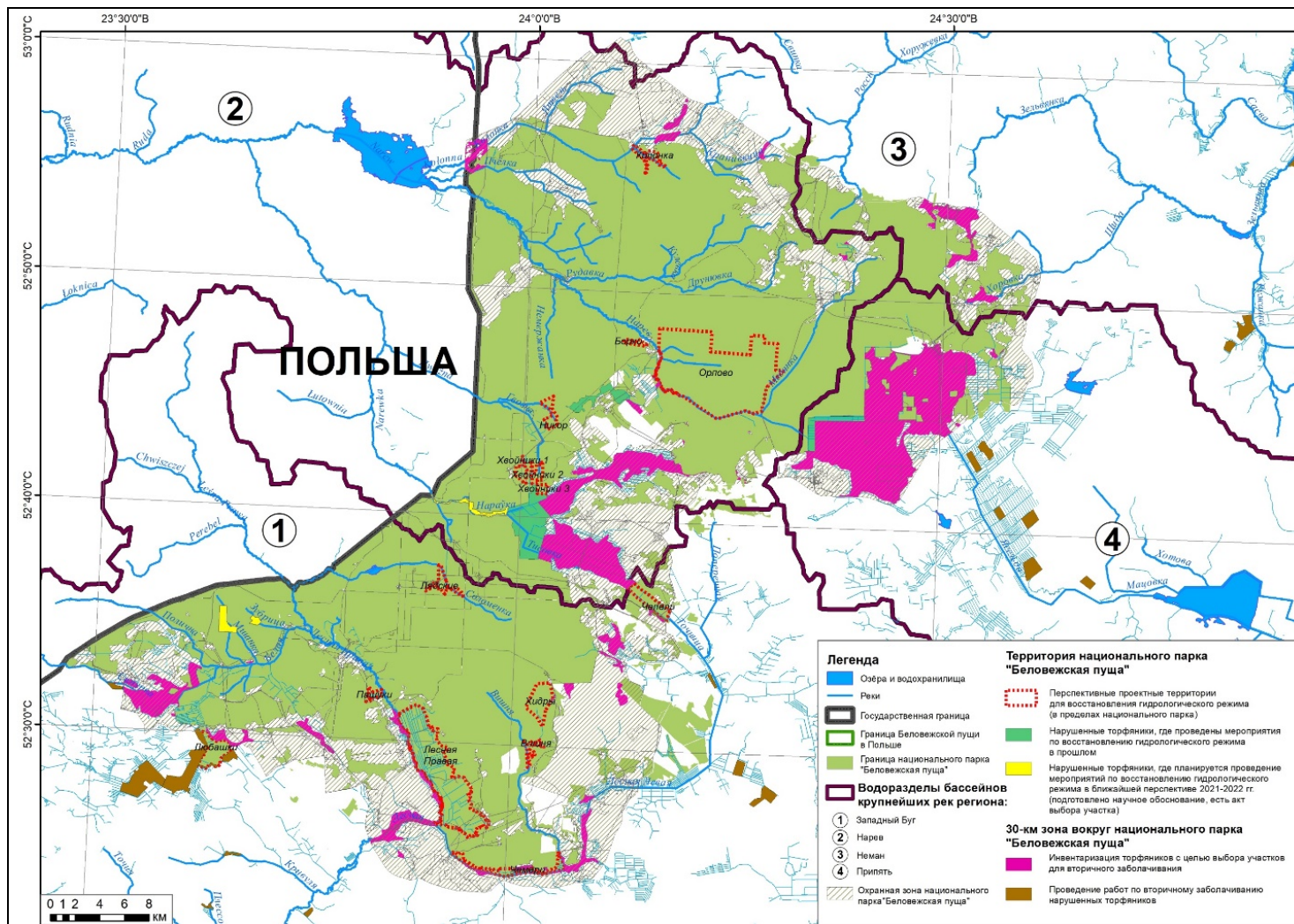
W strefie ochronnej na powierzchni 9,4 tys. ha powinno być prowadzone wtórne nawodnienie torfowisk górniczych i zaburzonych.

Celowe jest przeniesienie nieefektywnie wykorzystywanych zmeliorowanych gruntów rolnych w otulinie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" do innych kategorii gruntów (rezerwaty, grunty leśne) i przeprowadzenie w pierwszej kolejności działań przywracających reżim hydrologiczny, co pozwoli w pewnym stopniu przywrócić reżim hydrologiczny unikalnego kompleksu przyrodniczego Parku Narodowego "Puszcza Białowieska".

Kartograficzne przedstawienie planu rekultywacji ekologicznej zaburzonych torfowisk na terenie Parku Narodowego "Puszcza Białowieska" oraz 30-km strefy buforowej wokół obszaru chronionego pokazano na rysunku 1.16.



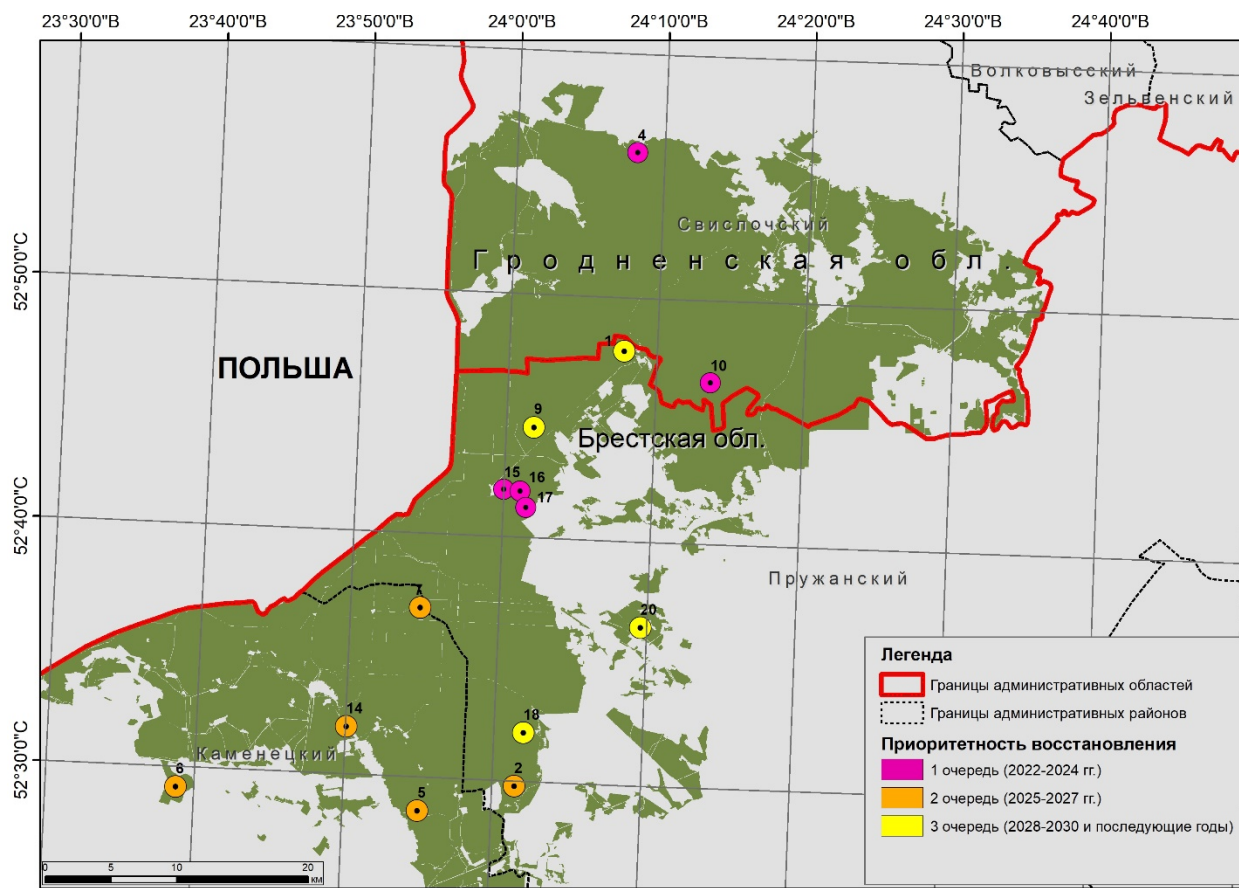
Rys. 1.15 Rozkład udziału zaburzonych obszarów torfowisk według priorytetów.



Rys. 1.16 Strategia rekultywacji ekologicznej zaburzonych torfowisk w obrębie Parku Narodowego "Puszcza Białowiejska" i 30-kilometrowej strefy buforowej wokół obszaru chronione.

I.7 System monitoringu

W miejscach wtórnego zalania wodą ustanawia się system stacjonarnych stanowisk monitorowania (rysunek 1.17).



Rys. 1.17 Rozmieszczenie stacji monitorowania.

W przypadku badań monitorujących obejmujących instrumentalne badanie zestawu wskaźników, należy ustanowić serię stałych powierzchni próbných (SPT). Powierzchnie próbne (o wymiarach 10×10 m) są ograniczone instrumentalnie liniami celowniczymi o szerokości 0,5-1,0 m, a w narożnikach zainstalowano i oznakowano tyczki. Lokalizacja SPT jest ustalana na ziemi za pomocą systemu nawigacji satelitarnej (GPS). Zaleca się umieszczenie obszarów pobierania próbek wzdłuż linii (profil ekologiczny) (rysunek 1.18).



Rys. 1.18 Zalecany układ punktów monitoringu.

I.8 Opis obszaru pilotażowego "Obszar Zalewowy Rzeki Kolonka"

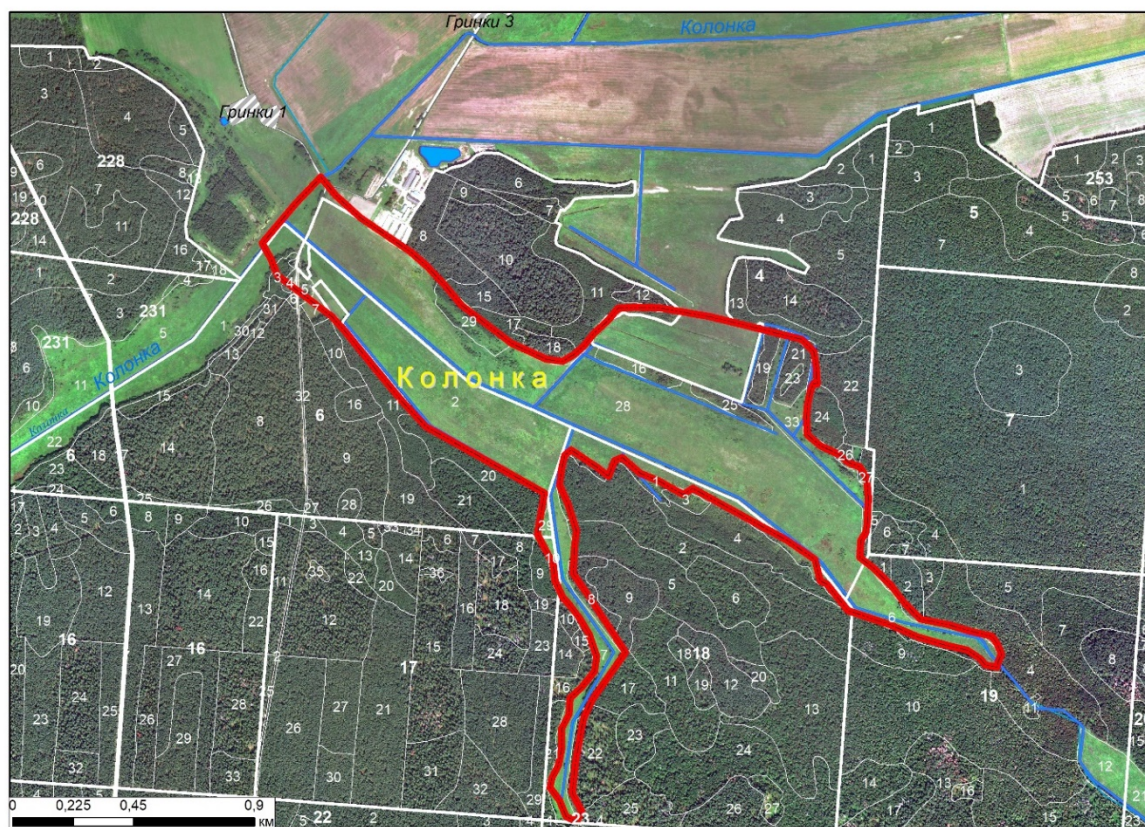
Powierzchnia: 122,2 ha.

Użytkownik gruntów: SNPE "Park Narodowy "Puszcza Białowieńska"", leśnictwo Świsłocz, kwatery 4, 6, 7, 18, 19 (częściowo wszystkie kwatery) (Rysunek 4.16, Tabela 4.14). Rozpatrywany obszar znajduje się w strefie regulowanego użytkowania.

Struktura i skład gruntów. W strukturze funduszu ziemi obszaru objętego projektem, grunty leśne zajmują 48,0 ha (39,3%), w tym grunty leśne produkcyjne - 40,9 ha (33,5%). Grunty nieleśne zajmują 74,2 ha (60,7%), w tym torfowiska 4,3 ha (3,5%), pola kośne 68,5 ha (56,0%). Obszar projektu leży w strefie użytkowania regulowanego i częściowo w strefie ochrony konserwatorskiej (patrz Rysunek 1.19).

Typ torfowiska według przeważającego rodzaju torfu: torfowisko niskie zalewowe powstałe w dolinie rzeki Kolonki. Grubość poziomu torfowego wynosi 35-50 cm, torf jest silnie zmineralizowany.

Hydrologia i hydrografia. Rozpatrywany obszar jest częścią zlewni rzeki Narew.



Rys. 1.19 Schematyczna mapa obszaru projektu "Kolonka Floodplain".

Głównym ciekim wodnym jest rzeka Kolonka, będąca prawym dopływem Narwi. Średnie nachylenie powierzchni wynosi 1%. Obszar zlewni wynosi 247 km². W latach 60. i 70. XX wieku rzekę skanalizowano i wyprostowano na prawie całej długości (25,7 km z 29 km płynących na terenie Białorusi), a bagniste tereny zalewowe osuszono otwartą siecią irygacyjno-melioracyjną. Przepływ rzeki regulowany był przez zbiornik wodny kanałowy o powierzchni około 300 ha, zlokalizowany w dolnym biegu rzeki.

Zgodnie z wynikami wstępnych badań, obszarem zainteresowania z punktu widzenia odtworzenia bioróżnorodności mokradeł jest obszar zalewowy rzeki Kolonki i jej nienazwanego prawego dopływu na odcinku koryta od wsi Grinki-1 do granicy nadleśnictw Borski i Świsłocz. Obszar ten został przyjęty jako miejsce realizacji projektu.

Szerokość koryta rzeki na tym odcinku wynosi 3-8 m, głębokość cieku 1,0-2,5 m. Na zachód od drogi Grinka-1-e-Rudnya, na lewym brzegu, do rzeki Kolonki wpada kanał melioracyjny odwadniający zaburzone torfowisko o powierzchni ok. 200 ha. Kanał ma szerokość do 2 m i głębokość ok. 0,5-1,0 m. W górnym biegu kanał rozwidła się i odwadnia przyległe lasy bagienne.

W źródłach rzeki Kolonki, na wschód od wsi Grinki, znajduje się złożę torfu (nr katastralny 264) o powierzchni 145 ha w granicy zerowej. Obecnie złożę torfowe jest odwadniane i wykorzystywane rolniczo, głównie pod uprawy rządowe. Kanalizacja rzeki Kolonki i jej dopływów, osuszanie przyległych terenów podmokłych doprowadziło do redystrybucji spływu i zakłócenia reżimu hydrologicznego w górnej części zlewni.

Charakterystyka topografii. Zaburzone torfowisko znajduje się na torfowym obszarze zalewowym rzeki Kolonki i jej lewego dopływu - rzeki Pokrzywnicy. Szerokość rozlewiska Kolonki na tym odcinku wynosi 100-300 m, rozlewiska lewego koryta od 300 do 500 m. Dolina rzeki Kolonki ma kształt trapezu, jest wcięta w zbocza i rozszerza się przy ujściach dopływów wpadających do Kolonki. Tereny zalewowe rzeki Pokrzywnicy są szerokie, płaskie i w górnym biegu podmokłe. Nachylenie rzeki nie jest określone.

Stan obecny i użytkowanie terenu: Tereny zalewowe rzeki Kolonki i jej lewego, nienazwanego dopływu były wcześniej wykorzystywane do sianokosów i wypasu bydła. Działki przylegające do wsi Grinka-1-e zostały zaorane. W wyniku intensywnego użytkowania rolniczego torf jest zmineralizowany prawie w całym horyzoncie. Obecnie przedmiotowy obszar jest okresowo wykorzystywany do wypasu bydła na obszarze zalewowym przylegającym do wsi Grinka-1-e. W pobliżu wsi Grinka-1-e znajduje się farma bydła. Tereny zalewowe rzeki Kolonki są miejscem żerowania ssaków kopytnych i dużych ptaków drapieżnych.

Ocena możliwości zapewnienia zaopatrzenia w wodę do ponownego nawadniania. Przywrócenie reżimu hydrologicznego jest możliwe dzięki własnej zlewni, podlegającej akumulacji wilgoci pochodzącej z opadów atmosferycznych, jak również w wyniku przesączania się wód gruntowych.

Opis aktualnych procesów sukcesyjnych. Uzyskane materiały wskazują, że na obszarze projektu zalewowego rzeki Kolonki dominują procesy wielokierunkowe (Rysunek 1.20), a w szczególności:

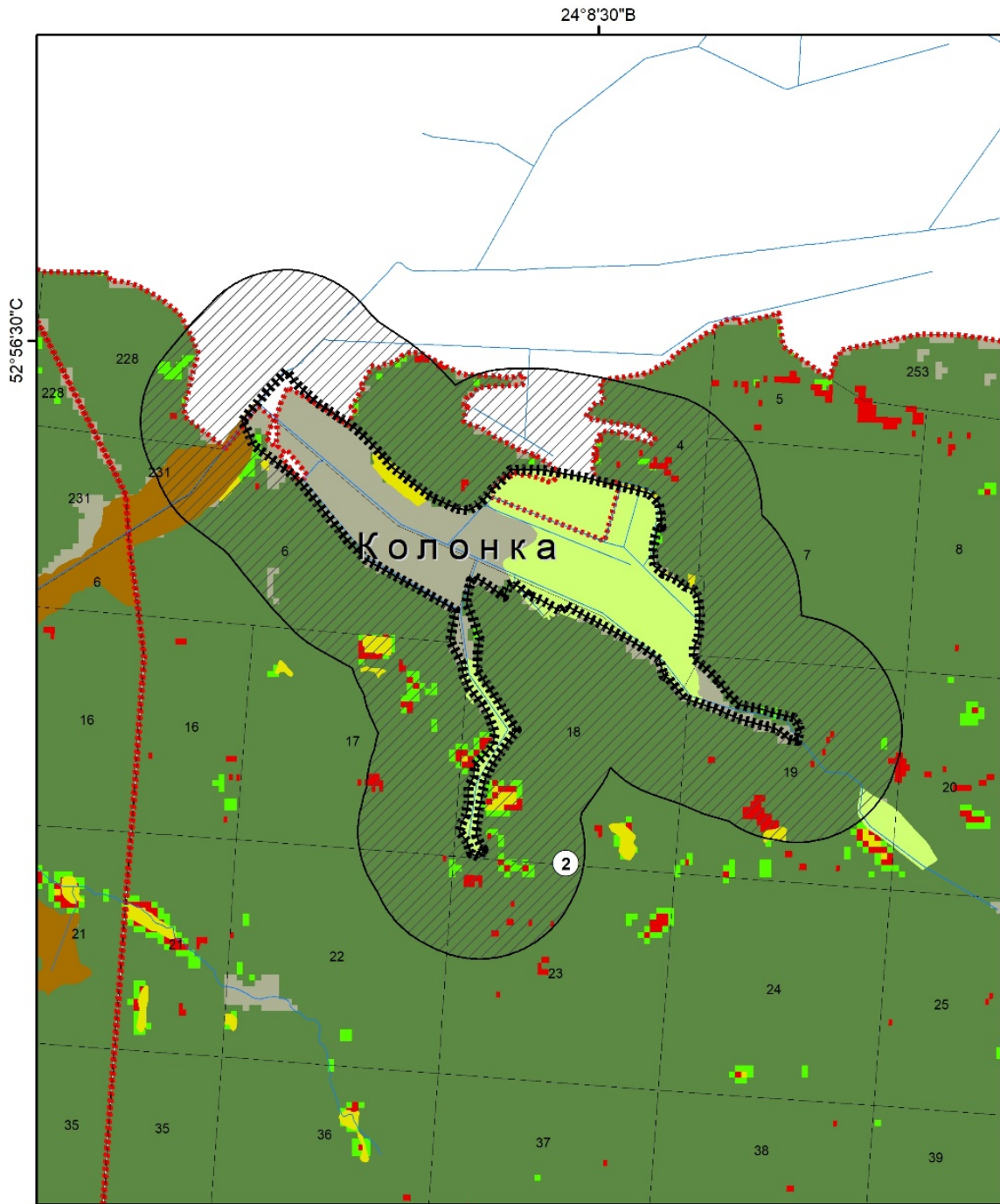
1. *procesy hydrologiczne* (zarastanie krzewami wierzbowymi, zwiększona rola fitocenotyczna turzyc i traw bagiennych);
2. *degradacja roślinności łąkowej* (zastępowanie przez zbiorowiska ruderalne, tworzenie się lasów pierwotnych) w wyniku zaprzestania działalności gospodarczej.

Przestrzennie zmiany te są wyraźnie zróżnicowane. Najbardziej intensywne procesy podtapiania (w tym wynikające z budowy tam bobrowych) obserwowane są we wschodnim sektorze obszaru projektu. W bardziej wyniesionej części zachodniej najsilniej zaznaczają się procesy wypierania roślinności łąkowej przez pochodne zespoły ruderalne. W sektorze południowym aktywnie przejawiają się procesy degradacji łąk pod wpływem czynnika zoogenicznego (korytarz tranzytowy, baza żerowa kopytnych).

Straty w lasach (2011-2019) wynoszą 5,6 ha w promieniu 500 m od strefy buforowej (Rysunek 1.20).



Rys. 1.20 Obszar projektu "teren zalewowy Kolonka".



ЛЕГЕНДА

Лесные земли

- 1. Стабильные лесные земли
- 2. Лесные земли, сформированные на ранее (по состоянию на 1985 г.) нелесных землях
- 3. Гибель лесов (в последние годы)
- 4. Потери лесов с последующим ростом леса
- 5. Участки с чередованием потери и прироста леса
- 6. Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г.
- 6а. Увеличение фитоненной роли и/или запаса древесины фитоненной значимости: кустарников и зеленых мхов, сокращение проективного покрытия опадаемого покрова

Нелесные земли (луга, болота, сельскохозяйственные земли)

- 7. Стабильные нелесные земли
- 8. Зарастание древесно-кустарниковой растительностью
- 9. Зарастание древесно-кустарниковой растительностью, рудерализация
- 10. Рудерализация
- 11. Восстановительные сукцессии на бывших с/х землях, выщипанных лугах
- 12. Инвазии чужеродных видов
- 13. Зарастание тростником

Коды лесничеств

1 Бровское	8 Ощельское	11 Сухопольское
2 Свистячское	9 Новоселковское	12 Бельяское
3 Порозовское	10 Хойничское	13 Дмитровское
4 Новодарское	11 Королево-Мостовское	14 Пауковское
5 Язвинское	12 Никорское	15 Ясенское
		16 Ренчице

Символы:

- Границы лесничеств
- 175 М лесного квартала
- Озера, водохранилища, пруды
- Перспективные территории для восстановления гидрологического режима
- Буферная зона вокруг нарушенного торфяника

Rys. 1.21 Procesy dynamiki roślinności na obszarze projektu Kolonka Floodplain (opracowanie na podstawie archiwum danych satelitarnych Landsat i badań naziemnych).

I.9 Podsumowanie i wnioski dotyczące białoruskiej części Puszczy Białowieskiej

Zlewnia umożliwia przywrócenie zwierciadła wód gruntowych do poziomu sprzed rekultywacji. Akumulacja wód może być zapewniona przez najprostszy typ konstrukcji oporowych, w tym przez regulujące wodę konstrukcje opływowe.

Przywrócenie naturalnego reżimu hydrologicznego spowoduje:

- Przywrócenie naturalnych zbiorowisk łąkowych i łąkowo-mszystych na terenach zalewowych rzeki Kolonki;
- Przywrócenie naturalnych zbiorowisk łąkowo-mszarnych na terenach zalewowych nienazwanego kanału na lewym brzegu rzeki Kolonki na południe od wsi Grinki 1-e;
- Przywrócenie reżimu hydrologicznego do poziomu sprzed rekultywacji;
- Poprawa warunków wzrostu plantacji leśnych w oddziałach 5, 6, 7, 17, 18 i 19 nadleśnictwa Browski Parku Narodowego "Puszcza Białowieska";
- Zmniejszenie stopnia synantropizacji flory na tym obszarze;
- Zmniejszenie ryzyka pożaru w okolicznych lasach;
- Zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery;
- Poprawę stanu siedlisk wielu rzadkich i chronionych gatunków, w tym odtworzenie siedlisk ważnych dla zachowania gatunków zagrożonych w skali globalnej - kobuza (*Acrocephalus paludicola*), perkoza dwuczubego (*Gallinago media*) i orlika grubodziobego (*Aquila clanga*).

Przywrócenie reżimu hydrologicznego do poziomu sprzed rekultywacji nie powinno kolidować z ustalonymi formami rolnictwa i leśnictwa.

Kwestie związane z rozmieszczeniem grodzy i rodzajem ewentualnych budowli regulujących przepływ wody można rozstrzygnąć po przeprowadzeniu szczegółowego badania obszaru kanału zalewowego.

I.10 Plan renaturyzacji środowiska dla obszaru projektu

Głównym celem prac związanych z odbudową hydrologiczną jest zapewnienie równomiernego podnoszenia się poziomu wody na całym odbudowywanym obszarze do powierzchni terenu poprzez kaskadowanie nad korytami zgodnie z nachyleniem powierzchni. Aby osiągnąć ten cel i zapewnić stabilność grodzy, odległość między grodziami powinna być tak zaprojektowana, aby różnica poziomów wody między grodziami wynosiła 0,3-0,4 m.

W związku z tym środki zaradcze w zakresie ochrony środowiska obejmują podniesienie poziomu wody na obszarze objętym projektem poprzez budowę obiektów inżynierskich. Metodami odbudowy poziomu wód gruntowych są konstrukcje oporowe najprostszego typu, w tym regulujące wodę konstrukcje opływowe. Po stronie odpływu z kanału zainstalowano tarasy ślepych grodzy, aby maksymalnie podnieść poziom wód gruntowych. Metoda ponownego zwilżania jest pasywna. Po maksymalnym podniesieniu się poziomu wód gruntowych nie wolno prowadzić na terenie budowy żadnych prac, które mogłyby spowodować obniżenie się poziomu wód gruntowych.

Główne cele specyfikacji istotnych warunków zamówienia na opracowanie środowiskowych środków zaradczych dla obszaru zalewowego Kolonki:

- Zniwelowanie części kanału na terenie zalewowym w celu prawidłowej lokalizacji grodzic na kanale;
- Projekt i budowa kaskadyzacji kanału z grodzicami tak, aby uzyskać różnicę poziomów wody na sąsiednich grodzicach nie większą niż 30 cm;

- Projekt nawodnienia niepowodujący powstawania podtopień i negatywnego wpływu na peryferyjne tereny leśne i rolnicze;
- Główne budowle hydrauliczne, które będą wykorzystywane do ponownego nawadniania i przywracania reżimu hydrologicznego na obszarze projektu, zostaną zaprojektowane zgodnie z Zaleceniami metodycznymi dotyczącymi rekultywacji ekologicznej zaburzonych bagien i zapobiegania zaburzeniom reżimu hydrologicznego ekosystemów bagiennych podczas operacji odwadniania (2010).

Kwestie związane z rozmieszczeniem grodzic i rodzajem ewentualnych budowli regulujących przepływ wody można rozstrzygnąć po szczegółowym rozpoznaniu terenu.

Kanały główne muszą być wypoziomowane, aby zapewnić prawidłowe ułożenie nadproży na kanałach.

II. Polska część Puszczy Białowieskiej

II.1 Tło historyczne prac hydrotechnicznych

Cieki Puszczy Białowieskiej zostały silnie przekształcone do celów gospodarczych pod koniec XVIII wieku. Nawet niewielkie rzeki puszczańskie zostały w latach 1971-1972 uregulowane (przeważnie – wyprostowane) do celów spławu drewna (Sokołowski, 2004). Osuszono również wówczas większość bagien (przeważnie – torfowisk). O skali skutków tych przekształceń niech świadczy porównanie obecnych warunków hydrologicznych rzek Puszczy z warunkami opisanymi w pracy Hedemana (1939), a odnoszącymi się do okresu przedrozbiorowego (a więc końca XVIII wieku). Od tego czasu odpływ rzeczny uległ kilkukrotnemu zmniejszeniu, a rola rzek w krajobrazie puszczy – choć współcześnie wciąż silnie zaznaczona – zdecydowanie zmalała. W XVIII wieku rzeki puszczańskie (m.in., Leśna, Narewka, Łutownia, Przedzielna czy Hwoźna) były ważnymi ekosystemami wodnymi, których znaczenie podkreślano dokumentując występujące w nich i wykorzystywane gospodarczo gatunki ryb i skorupiaków (Tab. 2.1). W tym również czasie gospodarcza rola nawet niewielkich rzek była bardzo znacząca: były one bowiem – od czasu ich uregulowania pod kierunkiem Antoniego Tyzenhauza - wykorzystywane do spławu drewna. Użytkownicy rybacy dokonywali pierwszej prymitywnej zabudowy hydrotechnicznej rzek w formie drewnianych „jazów” – palisad budowanych w poprzek koryt rzek i przeplatanych gałęziami. W palisadach zostawiano otwory, przez które przechodziły płynące pod prąd ryby. W lukach tych umieszczano wiersze lub żaki, co pozwalało efektywnie pozyskiwać ryby z puszczańskich rzek. Nie jest do końca jasne, co przedstawiają podane w Opisaniu Puszczy (1797) za Hedemanem (1939) dane o występowaniu ryb (Tab. 2.1), gdyż mówią one explicite o „*stanie zarybienia rzek i rzeczek puszczańskich*”. Wydaje się jednak, że nie jest to współcześnie rozumiane „zarybianie”, ale raczej jakościowo oceniony aktualny w danym czasie skład ichtiofauny tych rzek. W warunkach obecnych, wynikających z jednej strony z dawnych przekształceń oraz bardziej współczesnych prac regulacyjnych i melioracyjnych w Puszczy, warunki bytowania ichtiofauny w ciekach niegdyś bogatych w ryby (np. Łutowni, gdzie na przełomie XVIII i XIX w. dokumentowano szczupaki, jazie i okonie - Tab. 2.1) uległy zdecydowanemu pogorszeniu (Rys. 2.1). Co ciekawe, Opisanie Puszczy (1797) (za Hedeman, 1939) wskazuje, że już pod koniec XVIII w. niektóre puszczańskie rzeki (wśród nich Łozica, Szewuka, Olszanka, Krynica, Braskołucha, Gnileczyk i Czarna Rzeczka) okresowo wysychały, przez co były uznawane za „nierybne”. Jak zatem widać, o ile wysychanie niektórych puszczańskich rzek mających swe źródła w okolicach wododziału Narwi i Bugu można uznać za proces znany już w XVIII wieku, o tyle obecnie udokumentowane wysychanie niektórych puszczańskich rzek (m. in. Łutowni, za Grygorukiem i in., 2021), jest zjawiskiem wcześniej nieznanym. Może to więc wskazywać stopniowe przesychnianie Puszczy, co z kolei może pociągać za sobą liczne konsekwencje przyrodnicze i gospodarcze. Samo wysychanie natomiast nie może być uznane za zjawisko „naturalne”, skoro z biegiem lat ulega ono rozszerzaniu w przestrzeni Puszczy oraz w czasie.

Druga Wojna Światowa przyniosła podział puszczy na część Polską i ZSRR. Największe bagna Puszczy – Dzikie Nikor i Bagno Kuty – znalazły się na terytorium Białoruskiej SRR, a następnie – w latach 1950-1970 - zostały odwodnione głębokimi kanałami. W polskiej części Puszczy również wskazywano na konieczność przeprowadzenia regulacji stosunków wodnych na powierzchni około 18 000 ha w celu uproduktywienia siedlisk (a więc ich odwodnienia). Zrealizowano jednak jedynie niewielką część planowanych inwestycji. Według Kossak (2001), melioracjami objęto 3371 ha Puszczy. Pierzgałski i in. (2002) podejrzewają, że zmiany te pociągnęły za sobą zmiany reżimów przepływu rzek puszczańskich – Narwi, Narewki i Hwoźnej, których źródła znajdują się właśnie w granicach tych obiektów.

Tab. 2.1 Gatunki ryb występujące w wodach Puszczy Białowieskiej. Źródło danych: Opisanie Puszczy (1797), za Hedemanem (1939).

R z e k a	szczupaki	karasie	plotki	miętusy	raki	jazie	okonie	piskorze
Policzna	o	o	o	o	o			
Leśna	o		o		o	o	o	
Przewłoka	o			o				o
Perebel	o			o				
Narewka	o					o	o	
Łotownia	o					o	o	
Peredelna	o							
Narew	o		o	o		o	o	o
Niemierzanka	o		o	o		o	o	o
Hwoźna	o			o				



Rys. 2.1 Rz. Łotownia na terenie Nadleśnictwa Białowieża w dn. 29.06.2021 r. Fot. P. Osuch.

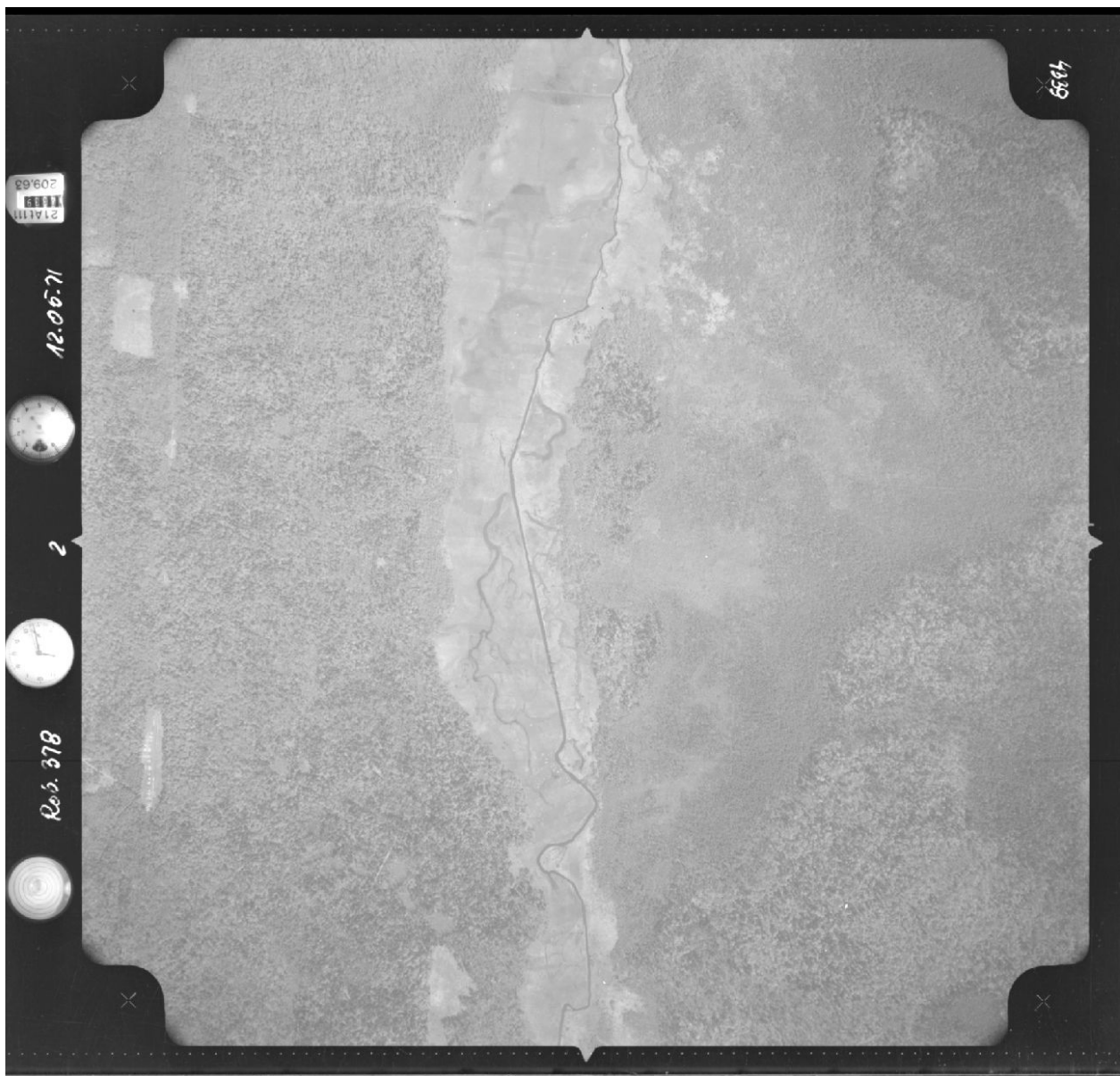
W latach 60' i 70' XX w. dokonano regulacji wielu puszczańskich rzek, w tym Narewki oraz Łotowni. Dowodami regulacji są pozyskane do celów realizacji niniejszego zadania zdjęcia lotnicze obszaru Puszczy wykonane w 1971 r. (Rys. 2.2-2.5). Największym przedsięwzięciem regulacyjnym były roboty prowadzone na rz. Narewce, której koryto ponownie wyprostowano, utrwalając zmiany wprowadzone w ramach robót zarządzanych przez Tyzenhauza w XVIII wieku oraz odcinając część

nowych meandrów od głównego koryta rzeki. Obszary dolinowe zmeliorowano (lub odnowiono dawną meliorację) i przystosowano do produkcji rolnej jako łąki i – gdzieśgdzie – pastwiska. Analiza kartograficzna dowodzi, że w tych latach długość sieci rzecznej Puszczy na odcinkach objętych regulacją uległa skróceniu o około 20%, co pociągnęło za sobą również przyspieszenie odpływu, obniżenie bazy erozyjnej Narewki, przyspieszenie drenażu wód z obszaru Puszczy oraz zmniejszenie retencji korytowej.

W roku 2014, na wspólny wniosek Polski i Białorusi, obszar całej Puszczy został uznany za przyrodniczy obiekt światowego dziedzictwa UNESCO na podstawie kryterium IX i X. W granicach wpisu nie znalazły się jedynie jej obrzeża w bezpośrednim sąsiedztwie Hajnówki i wsi zlokalizowanych wzdłuż zachodniej granicy lasu (Polski Komitet ds. UNESCO, 2016a). W tym też okresie rozpoczęto dialog mający na celu względnie szybkie i możliwie szerokie działania mające na celu poprawę uwodnienia uprzednio odwodnionych terenów bagiennych. W kolejnych latach badania prowadzono w ramach kilkuletnich tematów badawczych prace naukowe poświęcone analizie stosunków wodnych Puszczy zarówno na terenach zarządzanych przez nadleśnictwa jak również BPN (Malzahn i in., 2014; Wróbel i Boczoń 2011).

Jak zauważają Bielecka i in. (2006) oraz Pierzgałski i in. (2002), wszystkie ingerencje w system hydrologiczny Puszczy Białowieskiej na przestrzeni dwóch wieków doprowadziły do obniżania się zwierciadła wód podziemnych – nawet o około 0,4 m. Żeby zatrzymać lub spowolnić ten proces, pod koniec XX wieku zainicjowano szereg działań renaturyzacyjnych, których celem było spowolnienie odpływu podziemnego i powierzchniowego, ochrona zachowanych siedlisk bagiennych oraz powtórne przyłączanie meandrów i odtwarzanie dawnego koryta rzek, m.in. Narewki (Kalski i Stepianiuk, 2005). W celu poprawy odnawialności zasobów wodnych Puszczy Białowieskiej na obszarach położonych poza granicami BPN wybudowano dotychczas kilkadziesiąt piętrzeń (m.in. bystrotoków w korycie Łutowni) oraz niewielkich sztucznych zbiorników wodnych. Zbiorniki w zlewniach zalesionych powstały poprzez przegrodzenie naturalnych cieków bądź rowów progiem – bystrotokiem, natomiast zbiorniki śródpolne wykopano.

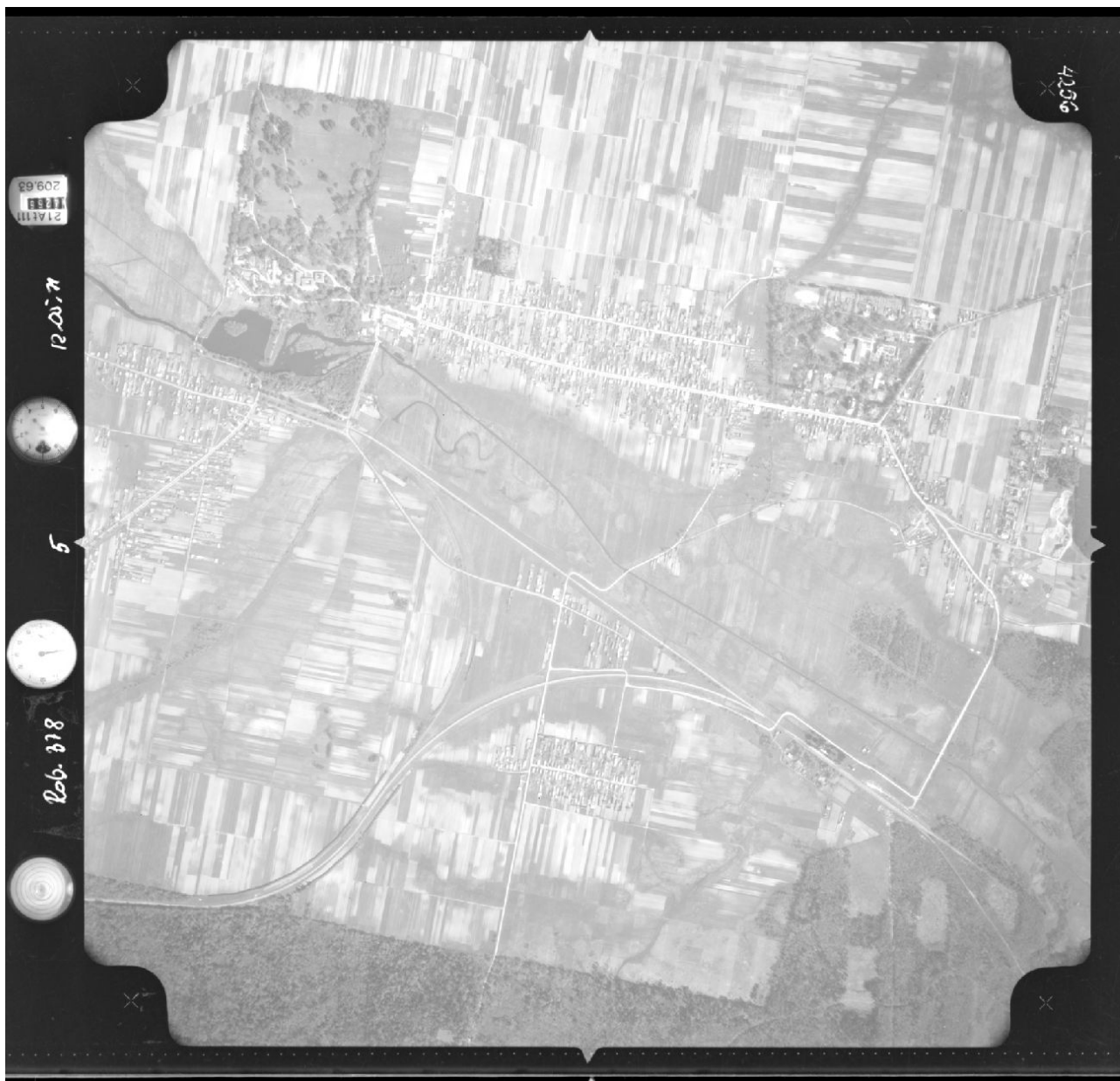
Skutki dotychczas podjętych działań renaturyzacyjnych będą zapewne widoczne za kilka-kilkanaście lat, choć ich skuteczność może być ograniczona przez działania wodnogospodarcze w dolnych częściach zlewni puszczańskich rzek – głównie Narewki, Leśnej i Narwi (po stronie polskiej). Obszary te bowiem są regularnie poddawane pracom utrzymaniowym oraz oddziaływaniu Zbiornika Siemianówka, co prowadzi do obniżania bazy erozyjnej, a w konsekwencji – przyspieszenia drenażu wód z obszaru Puszczy. Istnieje tam również szereg budowli hydrotechnicznych (Rys. 2.6), których nie zawsze pozytywne oddziaływanie może wpływać na zasoby wodne Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska.



Rys. 2.2 Świeżo uregulowane (wyprostowane) koryto rz. Narewki na odcinku BPN z widocznymi, odciętymi meandrami. Zdjęcie wykonane 12.05.1971 r. Źródło danych: CODGiK.



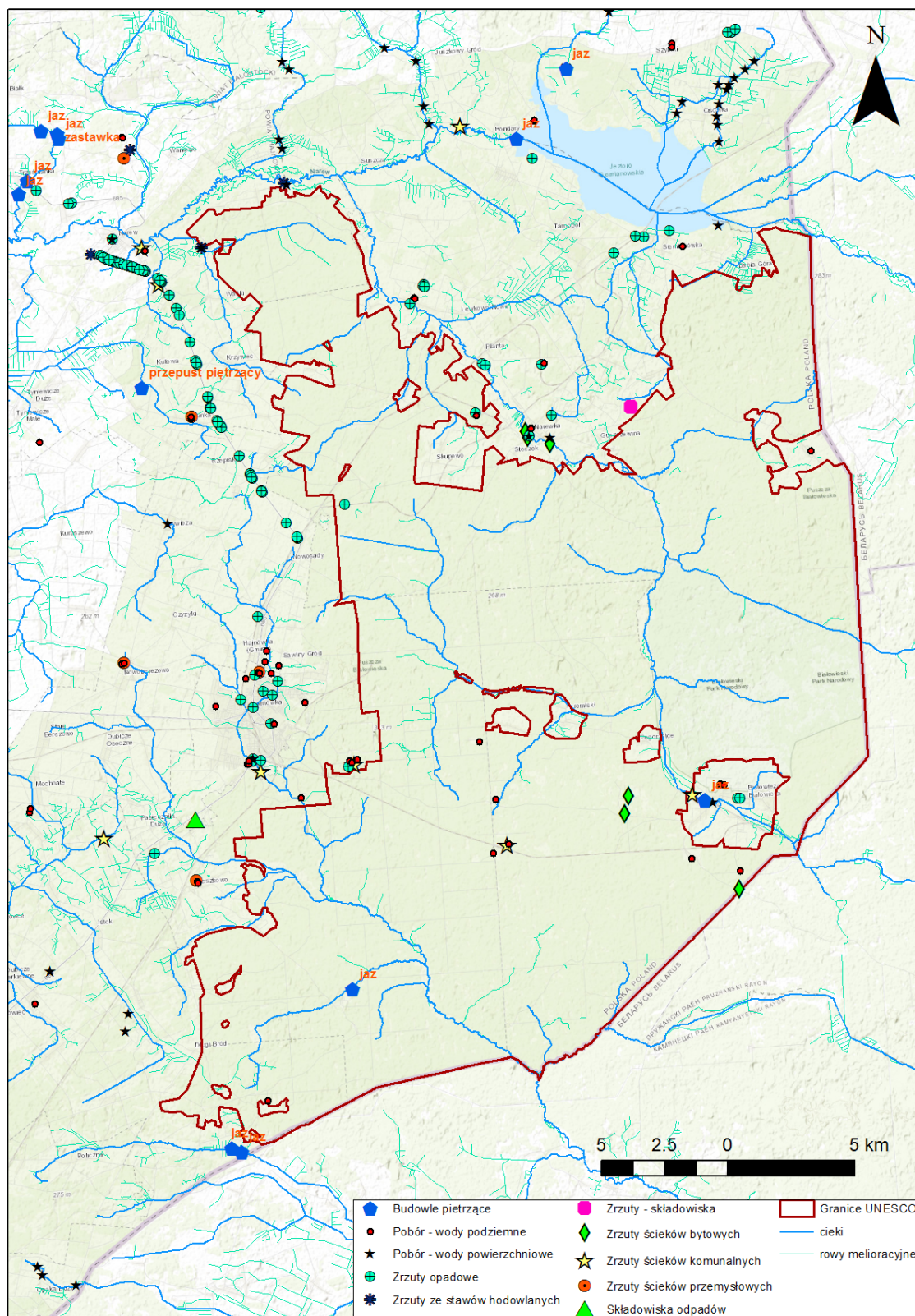
Rys. 2.3 Świeżo uregulowane (wyprostowane) koryto rz. Narewki i Łutowni na terenie Nadleśnictwa Białowieża oraz Białowieżskiego Parku Narodowego z widocznymi, odciętymi meandrami. Zdjęcie wykonano 12.05.1971 r. Źródło danych: CODGiK.



Rys. 2.4 Świeżo uregulowane (wyprostowane) koryto rz. Narewki na Polanie Białowieskiej z widocznymi, odciętymi meandrami oraz elementami nowopowstałej sieci melioracyjnej (NW część mapy). Zdjęcie wykonano 12.05.1971 r. Źródło danych: CODGiK.



Rys. 2.5 Świeżo uregulowane (wyprostowane) koryto rz. Narewki pomiędzy Białowieżą a Budami z widocznymi, odciętymi meandrami oraz elementami doprowadzalników i rowów szczegółowych nowopowstałej sieci melioracyjnej (NW część mapy). Zdjęcie wykonano 12.05.1971 r. Źródło danych: CODGiK.

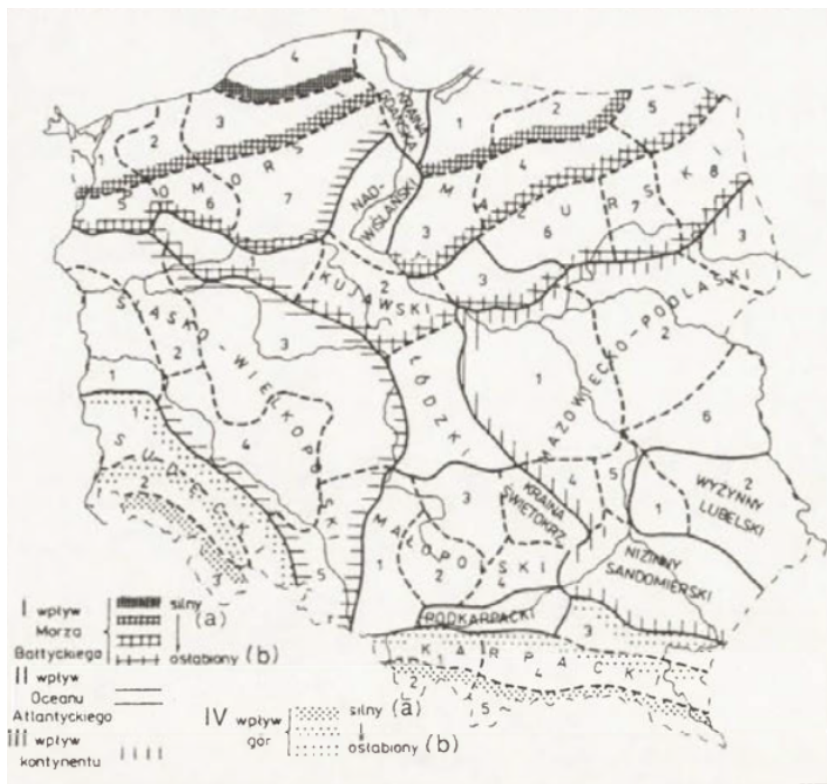


Rys. 2.6. Budowle wodne oraz inne elementy infrastruktury hydrotechnicznej położone na obszarze Puszczy Białowieżskiej oraz w jej sąsiedztwie. Źródło: opracowanie własne na podstawie dokumentów pochodzących z Wody Polskie.

II.2 Obecna sytuacja hydrologiczna w Puszczy

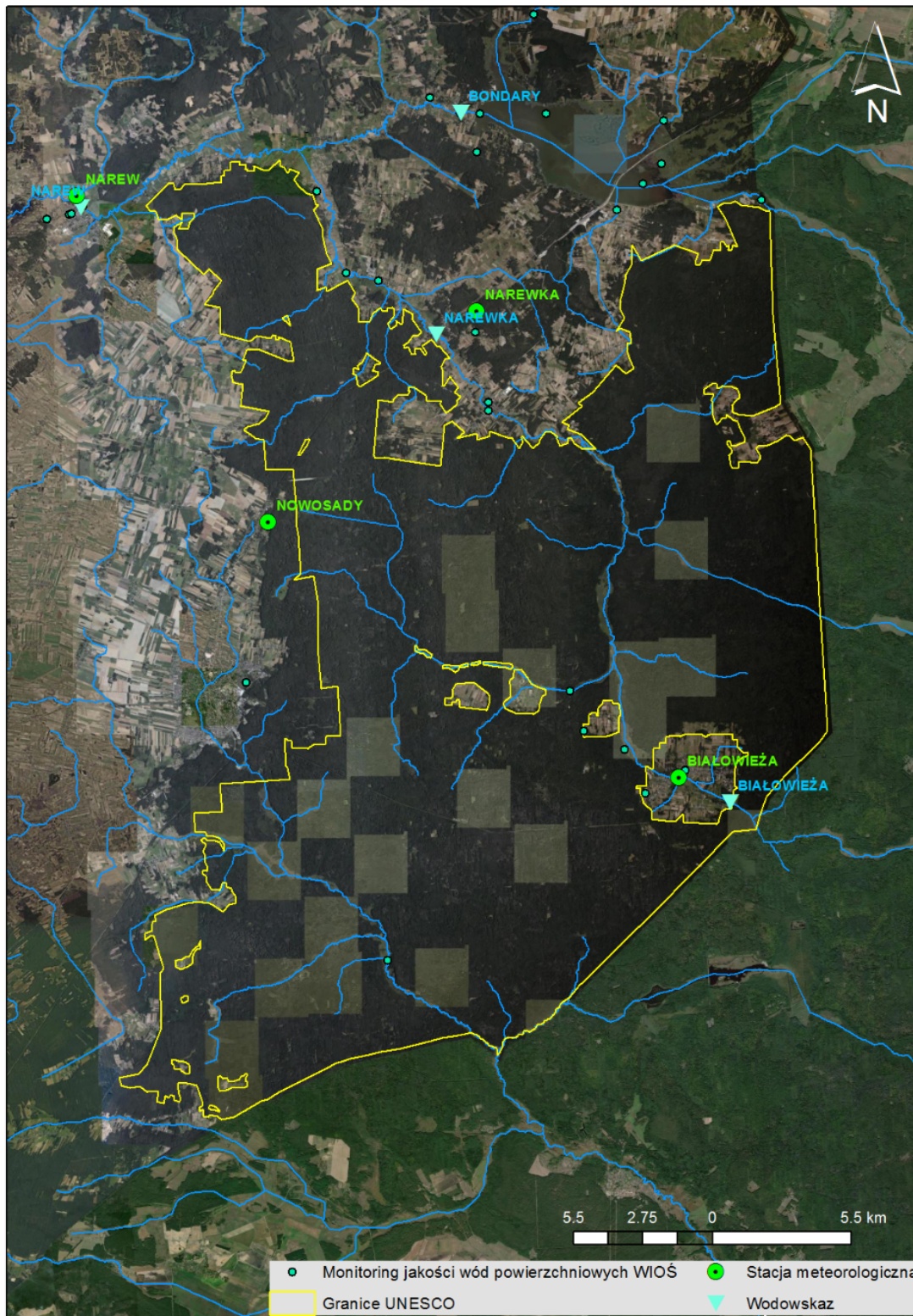
II.2.1 Warunki klimatyczne

Klimat Puszczy Białowieskiej można zakwalifikować do klimatu umiarkowanego kontynentalnego, chłodnego z wpływami klimatu atlantyckiego (Źródło: <https://bpn.com.pl>). Analizowany obszar jest położony w mazowiecko-podlaskim regionie klimatycznym, który charakteryzuje się występowaniem największej ilości dni z pogodą najmroźniejszą, a także najczęstszym występowaniem typu pogody przymrozkowej umiarkowanie zimnej (Rys. 2.7; Okołowicz i Martyn, 1979; za Wosiem, 1993).



Rys. 2.7 Regiony klimatyczne Polski wg Okołowicza i Martyn, 1979 (za Wosiem, 1993).

Obszar jest zaliczany do Dfb zgodnie z klasyfikacją klimatu Köppena-Geigera – klimat wilgotny kontynentalny z łagodnym latem, opady cały rok. Średnia roczna temperatura powietrza (na podstawie danych ze stacji meteorologicznej w Białowieży; Źródło danych: IMGW) wynosi około 7,5°C (dane z lat 1990-2019) i ulega konsekwentnemu wzrostowi na przestrzeni półwiecza (Wróbel, 2017). Najwyższe średnie dobowe temperatury powietrza odnotowuje się w lipcu, średnio 17,9°C. Najzimniejszym miesiącem w roku jest natomiast styczeń ze średnią temperaturą -4,0°C (dla danych ze stacji Białowieża w latach 1950-2020). Średnia, roczna suma opadów na podstawie danych z lat 1990 – 2019 dla stacji Białowieża wyniosła 636 mm. Największa ilość opadów przypada na miesiąc lipiec i wynosi średnio około 83 mm (średnia miesięczna suma z wielolecia 1951 -2020 dla stacji Białowieża). Najsuchszym miesiącem jest natomiast luty – 33 mm opadów. Dominującymi wiatrami nad obszarem Puszczy Białowieskiej są wiatry zachodnie oraz południowo-zachodnie.



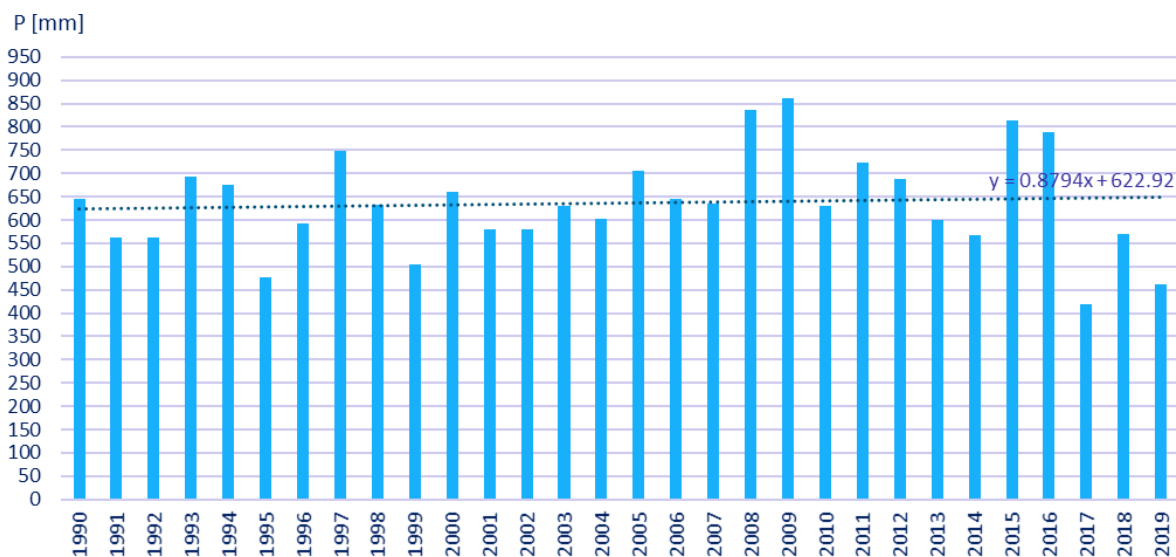
Rys. 2.8 Stacje meteorologiczne, wodowskazy oraz monitoring jakości wód powierzchniowych WIOŚ na analizowanym obszarze.

Na obszarze lub w bezpośrednim sąsiedztwie Puszczy Białowieskiej zlokalizowane są trzy stacje meteorologiczne – opadowe: Narew, Nowosady i Narewka oraz stacja klimatyczna Białowieża. Na

potrzeby niniejszego opracowania wykorzystano dane przede wszystkim ze stacji klimatycznej (monitoringowej IMGW) w Białowieży (Rys. 2.8). Do parametrów rejestrowanych na stacji Białowieża należą: maksymalna/minimalna/średnia temperatura dobowa [°C], temperatura minimalna przy gruncie [°C], suma dobowa opadów [mm] rodzaj opadu [S/W] oraz wysokość pokrywy śnieżnej [cm].

Roczne sumy opadów w Białowieży, które mogą być uznane za reprezentatywny zbiór danych meteorologicznych dla Puszczy Białowieskiej, w wieloleciu 1990-2019 wykazały niewielką tendencję wzrostową (Rys. 2.9). Obliczona na ich podstawie średnia roczna suma opadów w wieloleciu wynosi 636 mm. Zmienność rocznych sum opadów w analizowanym wieloleciu była znaczna, gdyż zmieniała się w zakresie od 66% do 135% (odpowiednio 420 mm i 861 mm) średniej z wielolecia, co potwierdza wpływy klimatu kontynentalnego na analizowanym obszarze (Tab. 2.2). Zaobserwowano średni wzrost rocznych sum opadów o ok. 26 mm w analizowanym trzydziestoleciu (a więc średnio o około 9 mm na dekadę), co odzwierciedla trendy postępujących zmian klimatu w Polsce.

Analiza opadów w okresach letnich (maj-październik) oraz zimowych (listopad-kwiecień) w wieloleciu 1990-2019 wskazuje interesujące, rozbieżne trendy. Sumy opadów w okresie zimowym wzrastają, a w okresach letnich – maleją (Rys. 2.10). O ile trend letnich sum opadów jest malejący, lecz nieistotny statystycznie, o tyle trend wzrostowy opadów zimowych jest zdecydowanie rosnący, co wraz ze wzrostem średniej rocznej temperatury powietrza (wynoszącej w Białowieży 7,5°C; Tab. 2.4.), a w szczególności przy coraz cieplejszych zimach (średni wzrost temperatury powietrza zimą w okresie 1990-2019 wyniósł ok. 2°C) pozwala podejrzewać, że zasoby wód powierzchniowych analizowanego obszaru będą coraz mniejsze. Będzie to spowodowane znacznym ociepleniem zimowym, co spowoduje ograniczenie akumulacji śniegu i doprowadzi w konsekwencji do szybkiego odpływu wody pochodzącej z opadów.

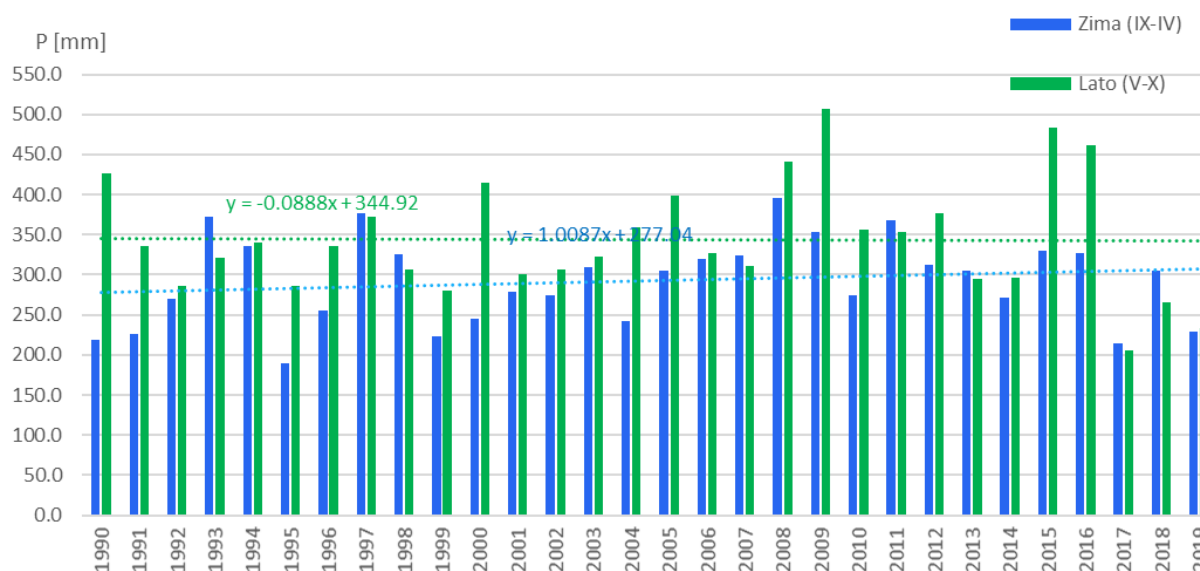


Rys. 2.9 Roczne sumy opadów atmosferycznych na stacji meteorologicznej IMGW w Białowieży w wieloleciu 1990-2019. Źródło danych: IMGW.

Tab. 2.2 Charakterystyki opadowe wielolecia 1990-2019 na stacji meteorologicznej Białowieża. Źródło danych: IMGW.

Charakterystyka	Wartość [mm]
Maksymalna roczna suma opadu	861 (2009r)

Średnia roczna suma opadu	636
Minimalna roczna suma opadu opad	420 (2017r)
Zmiana na przestrzeni lat 1990-2019	26,0



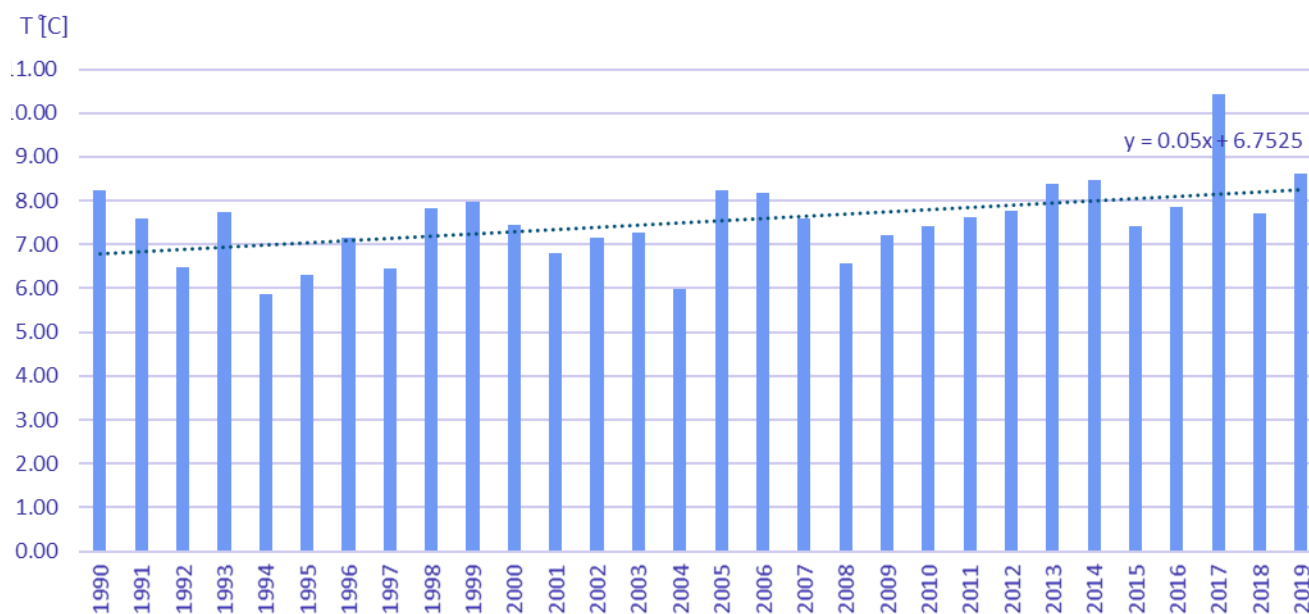
Rys. 2.10 Sumy opadów atmosferycznych w okresach letnich (V-X) oraz zimowych (XI-IV) na stacji meteorologicznej IMGW w Białowieży w wieloleciu 1990-2019. Źródło danych: IMGW.

W połączeniu z regionalnym trendem wzrostu sum opadów w okresie zimowym oraz zdecydowanym wzrostem temperatury powietrza w tym okresie, ograniczenie zasobów wodnych zlewni Narewki może być potęgowane oddziaływaniem Zbiornika Siemianówka: ograniczenie zasobów wodnych Narwi w wyniku ograniczenia potencjału retencjonowania wód roztopowych przez Zb. Siemianówka może spowodować obniżenie bazy erozyjnej rz. Narew, co w konsekwencji doprowadzi do coraz efektywniejszego drenażu wód Narewki. W okresach letnich natomiast należy się spodziewać niższych opadów, co wraz z ograniczoną retencją zimową będzie powodować obniżenie zwierciadła wód rz. Narewki w najbliższej przyszłości. W porównaniu ze średnią sumą opadów w okresie zimowym (293 mm), wzrost sum opadów zimowych w wieloleciu 1990-2019 wynosi około 10% (29,3 mm; Tab. 2.3), co należy uznać za wartość znaczącą.

Tab. 2.3 Charakterystyki opadowe wielolecia 1990-2019 w podziale na półrocze zimowe (miesiące IX-IV) oraz letnie (miesiące V-X) na stacji meteorologicznej Białowieża. Źródło danych: IMGW.

Charakterystyka	Półrocze zimowe (IX-IV) [mm]	Półrocze letnie (V-X) [mm]
Maksymalna suma opadu	395 (2008 r.)	508 (2009 r.)
Średnia suma opadu	293	344
Minimalna suma opadu	190 (1995 r.)	205 (2017 r.)

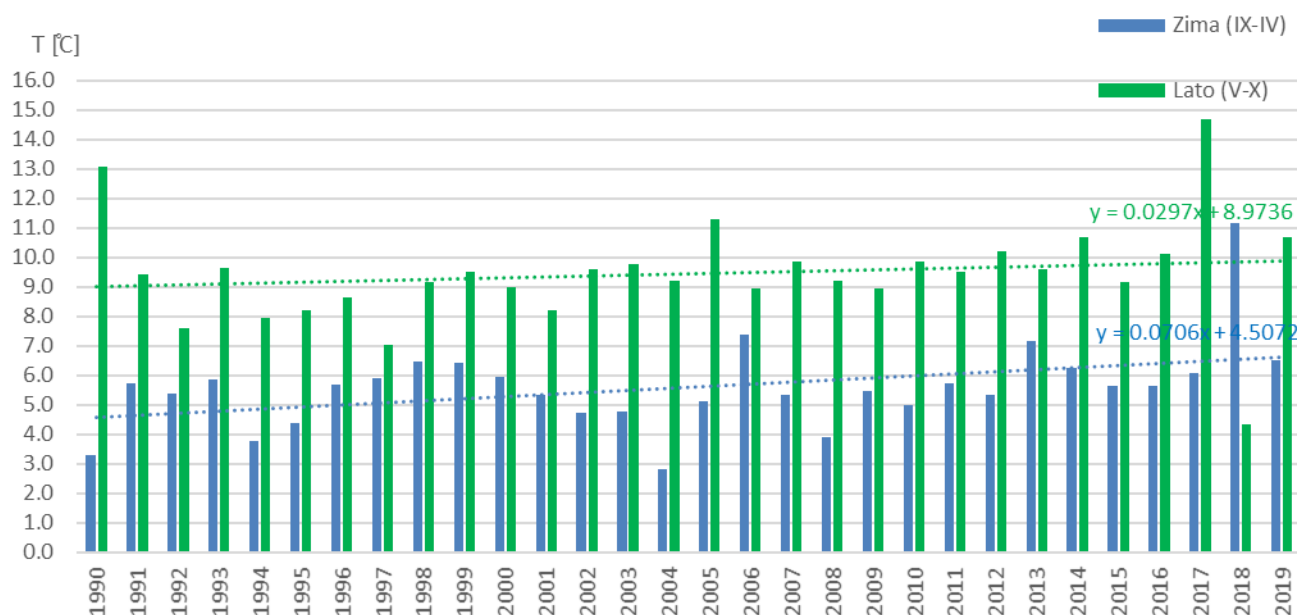
Zmiana w okresie 1990-2019	29,3	-2,6
----------------------------	------	------



Rys. 2.11 Średnie roczne temperatury powietrza w wieloleciu 1990-2019 na stacji meteorologicznej Białowieża. Źródło danych: IMGW.

Tab. 2.4 Charakterystyki średniej rocznej temperatury powietrza w wieloleciu 1990-2019 na stacji meteorologicznej Białowieża. Źródło danych: IMGW.

Charakterystyka	Temperatura [°C]
Maksymalna ze średnich rocznych temperatur powietrza	10,4 (2017 r.)
Średnia roczna temperatura powietrza	7,5
Minimalna ze średnich rocznych temperatur powietrza	5,9 (1994 r.)
Zmiana w okresie 1990-2019	1,5

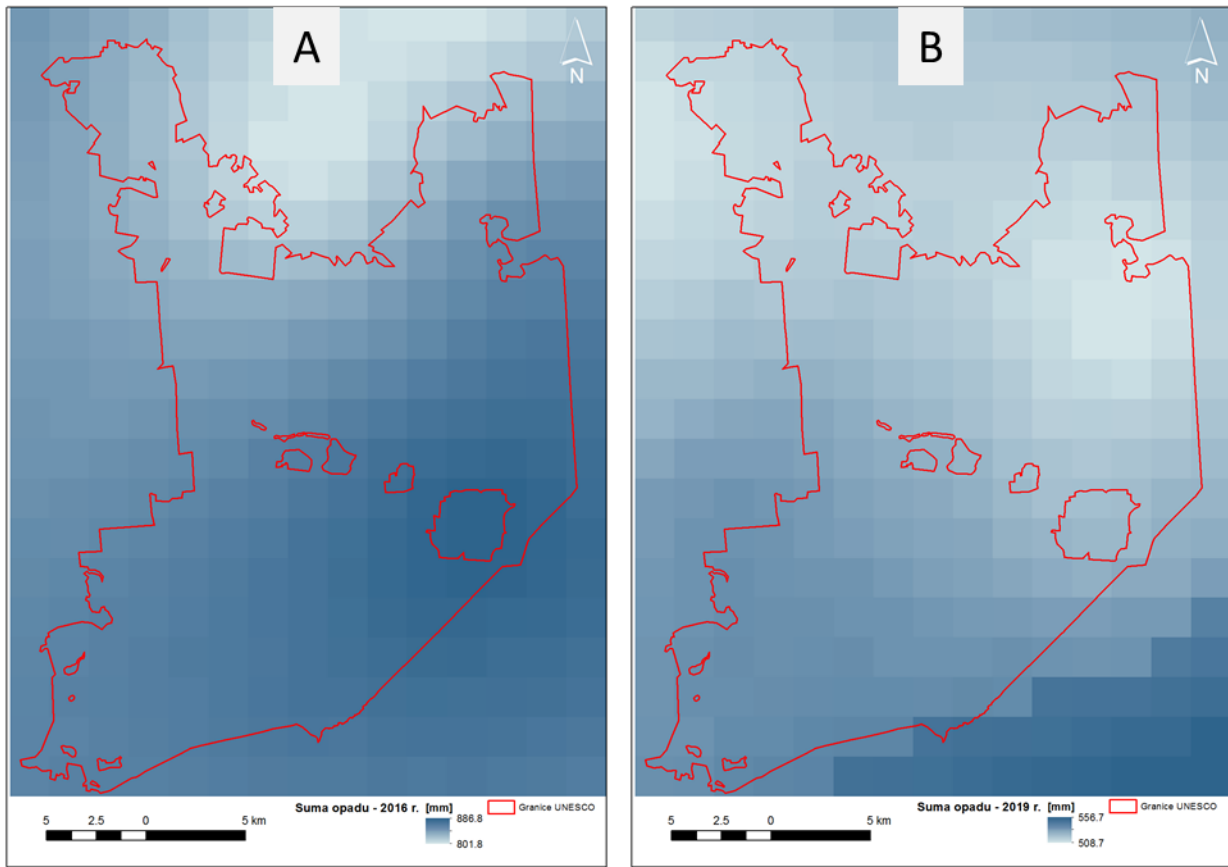


Rys. 2.12 Średnie temperatury powietrza w półroczach zimowych (miesiące IX-IV) oraz letnich (miesiące V-X) na stacji meteorologicznej Białowieża. Źródło danych: IMGW.

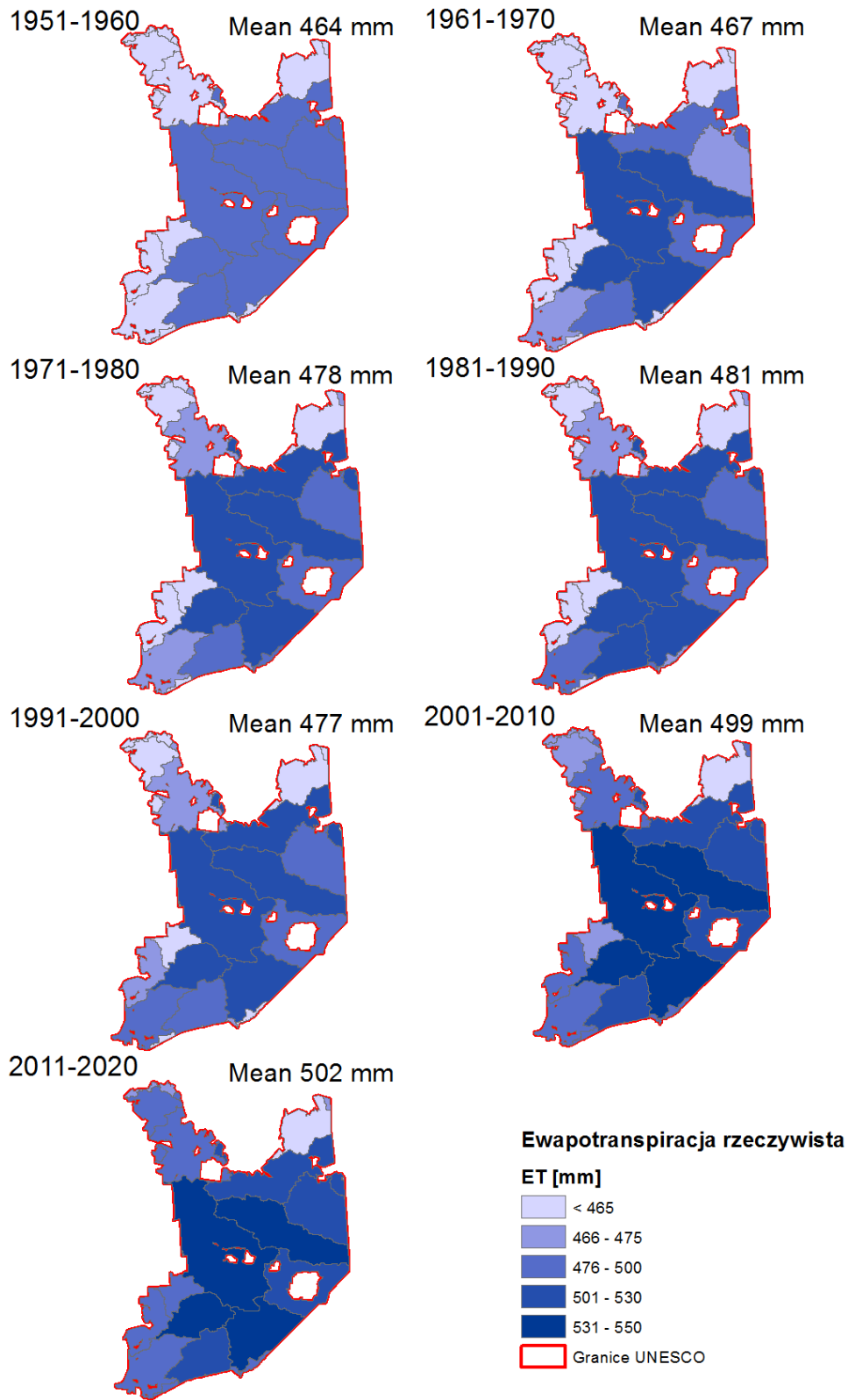
Tab. 2.5 Charakterystyki temperatury średniej dobowej w wieloleciu 1990-2019 w podziale na okresy zimowe i letnie na stacji meteorologicznej Białowieża. Źródło danych: IMGW.

Charakterystyka	Półrocze zimowe (IX-IV)	Półrocze letnie (V-X)
	[°C]	[°C]
Maksymalna ze średnich rocznych temperatur powietrza	11,2 (2018 r.)	14,7 (2017 r.)
Średnia roczna temperatura powietrza	5,6	9,4
Minimalna ze średnich rocznych temperatur powietrza	2,8 (2004 r.)	4,3 (2018 r.)
Zmiana w okresie 1990-2019	2,0	0,9

Analiza średnich rocznych temperatur powietrza wskazuje na znaczące i statystycznie istotne ocieplenie klimatu doliny Narewki i całej Puszczy Białowieskiej. Na przestrzeni analizowanego wielolecia stwierdzono średni wzrost temperatury powietrza o około 1,5°C. (Rys. 2.11, Tab.), przy zdecydowanie silniejszym wzroście temperatury powietrza w okresie zimowym (o około 2,0°C) niż w okresie letnim (0,9°C; Rys. 2.12, Tab 2.5). Zaobserwowane trendy zmian sum opadów i temperatury powietrza wskazują, że zasoby wodne doliny Narewki będą ulegały ograniczeniu z powodu stopniowego ocieplania klimatu w okresie zimowym, co spowoduje brak akumulacji śniegu i regularny odpływ wody w najchłodniejszej porze roku. Na Rys. 2.13 przedstawiono przestrzenny rozkład sum opadów w roku względnie mokrym (2016) oraz suchym (2019). W okresach letnich z kolei, zmniejszanie się sum opadów oraz rosnące temperatury powietrza spowodują zwiększanie się ewapotranspiracji, pogłębiając przy tym deficyty wody. Zmiany średniej ewapotranspiracji rzeczywistej na przestrzeni dekad zostały pokazane na Rys. 2.14 – widoczny jest wyraźny wzrost ewapotranspiracji rzeczywistej (o prawie 40 mm).



Rys. 2.13 Przestrzenny rozkład sum opadów w roku 2016 (mokrym) oraz w roku 2019 (suchym).



Rys. 2.14 Ewapotranspiracja rzeczywista [mm] w ujęciu dekadowym w latach 1951 – 2020 (Marcinkowski i in., 2022).

II.2.2 Hydrografia

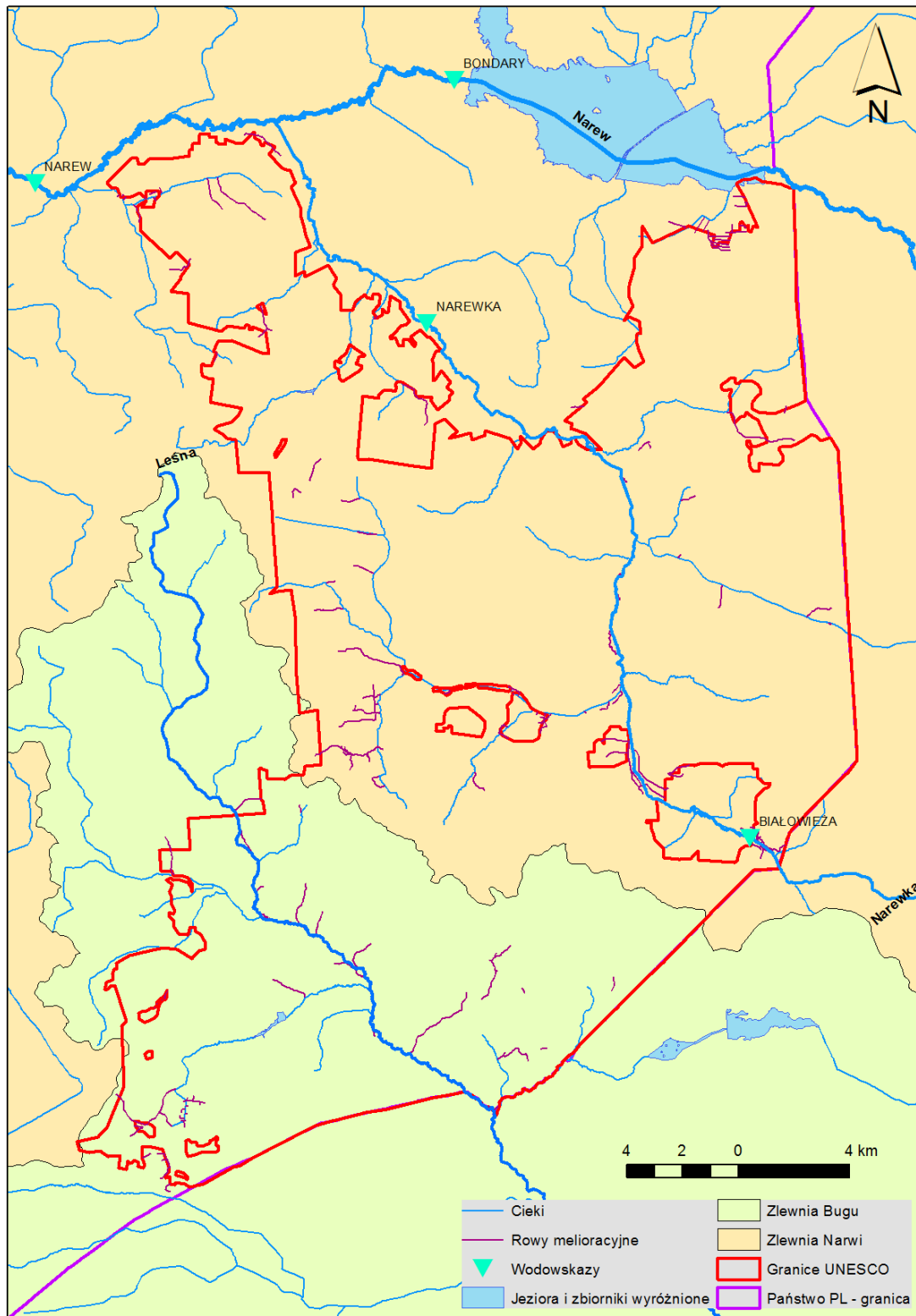
Sieć rzeczna obszaru, z uwagi na dobrą przepuszczalność puszczańskich gleb jest słabo rozwinięta. Główne ciekі przebiegające przez Puszcze Białowieską stanowią rz. Narewka oraz rz. Leśna (prawy dopływ Bugu). Lewym dopływem Narewki przebiegającym przez rejon Białowieskiego Parku Narodowego jest rzeka Łutownia, której powierzchnia zlewni wynosi około 121 km² - 21% powierzchni Puszczy Białowieskiej w granicach Polski (Chomutowska i Wilamowski, 2014). Ponadto dwa większe, prawe dopływy Narewki stanowią ciekі: Hwoźna oraz Orłówka – zlokalizowana w Obrębie Ochronnym Sierchanowo.

Puszcza Białowieska zlokalizowana jest w zlewniach dwóch dużych cieków: Narwi oraz Bugu (Rys. 2.15). Wododział przechodzi w południowej części Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska, oddzielając zlewnię Leśnej (należącą do dorzecza Bugu) od zlewni Narewki (należącej do dorzecza Narwi). Wschodni fragment białoruskiej części Puszczy Białowieskiej należy również do zlewni Jasiółdy (dorzecze Dniepru), co sprawia, że całość Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska leży w strefie wododziału zlewiska Morza Bałtyckiego i Morza Czarnego. W granicach regionu nie znajduje się duża ilość zbiorników wodnych (poza zawodnionymi meandrami rzecznyymi oraz mniejszymi oczkami wodnymi). Na północ od Puszczy Białowieskiej, w dolinie górnej Narwi zlokalizowany jest Zbiornik Siemianówka.

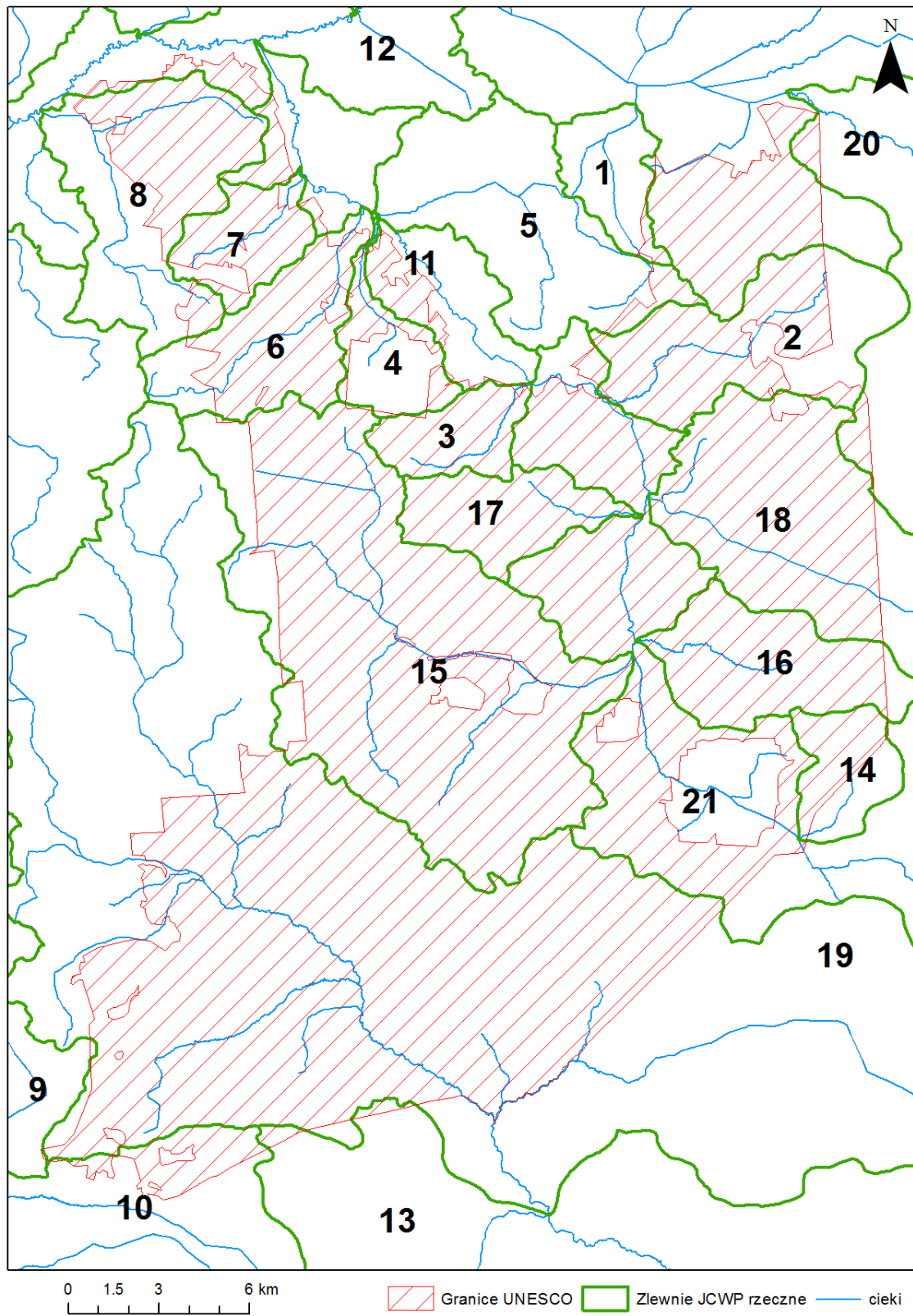
Z perspektywy wodnogospodarczej oraz zarządzania wodami na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska znajduje się 21 Jednolitych Części Wód Powierzchniowych (JCWP; Tab. 2.6; Rys. 2.16)

Tab. 2.6 Zlewnie JCWP - rzeczne Puszczy Białowieskiej.

Numer Id	Kod JCWP	Nazwa JCWP
1	RW20001026113189	Prosty Rów
2	RW200010261252	Braszcza
3	RW200010261254	Jelonka
4	RW200010261256	Okulinka
5	RW200010261269	Bobrówka
6	RW20001026128	Jabłoniówka
7	RW200010261292	Waliczkówka
8	RW200010261329	Krzywczanka
9	RW200010261419	Orlanka do Orlej
10	RW200010267145261	Biała do granicy Państwa
11	RW200011261299	Narewka od Jelonki do ujścia
12	RW200011261539	Narew od zb. Siemianówka do Lizy
13	RW200012267145533	Bug od Włodawki do granicy w Niemirowie
14	RW200015261214	Jelonka
15	RW200015261229	Łutownia
16	RW200015261232	Orłówka
17	RW200015261234	Przedzielna
18	RW200015261249	Hwoźna
19	RW20001526714525	Leśna
20	RW2000162611399	Narew do zb. Siemianówka
21	RW200016261213	Narewka do Jelonki



Rys. 2.15 Mapa hydrograficzna Puszczy Białowieżskiej. Źródło danych: MPHP 1:10000.

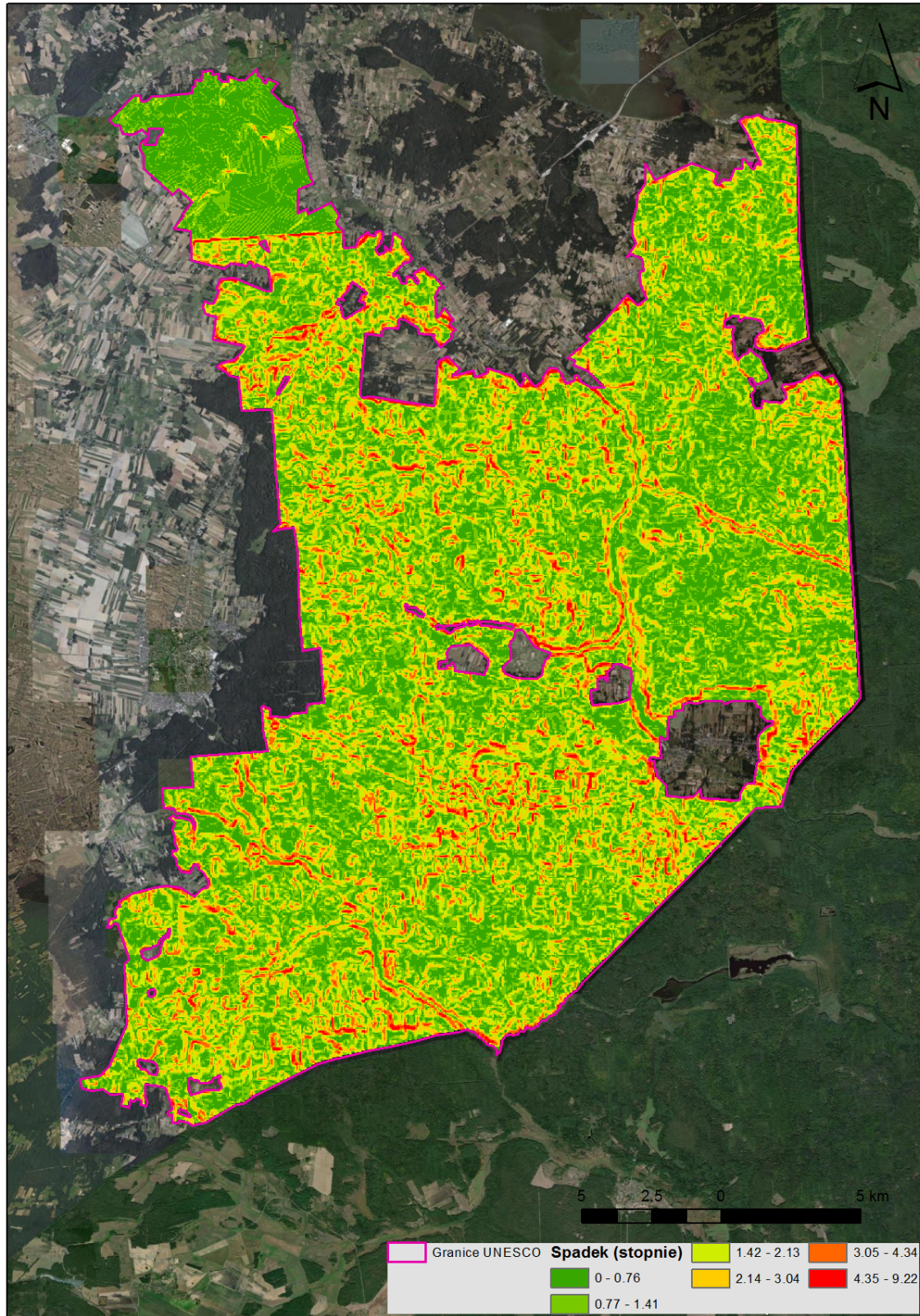


Rys. 2.16 Przestrzenny rozkład zlewni JCWP - rzecznych Puszczy Białowieżskiej. Numeracja na mapie zgodna z numeracją w Tab. 2.6.

Nizinny charakter zlewni puszczańskich rzek (2.17) spowodowany spadkami terenu średnio dochodzącymi do 2°, osiągającego wartości maksymalne na stokach wysoczyzn wzdłuż dolin (Rys. 2.18) wpływają na warunki przepływu rzek. Średnie prędkości przepływu rzek przepływających przez Obszar Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska nie przekraczają 0,2 m/s, co z kolei warunkuje możliwości sedymentacji drobnych frakcji osadów w rzekach powodując uszczelnienie ich dna i ograniczając kontakt hydrauliczny z wodami podziemnymi. Pozwala to również na rozwój roślinności wodnej, dzięki której stany wód rzek Puszczy Białowieskiej w okresach letnich są podpiętrzane, co pozwala częściowo zniwelować skutki letnich deficytów wody oraz ograniczyć głębokość i czas trwania niżówek.



Rys. 2.17 Rzeka Łutownia (28.06.2021) - Fot. P. Osuch.

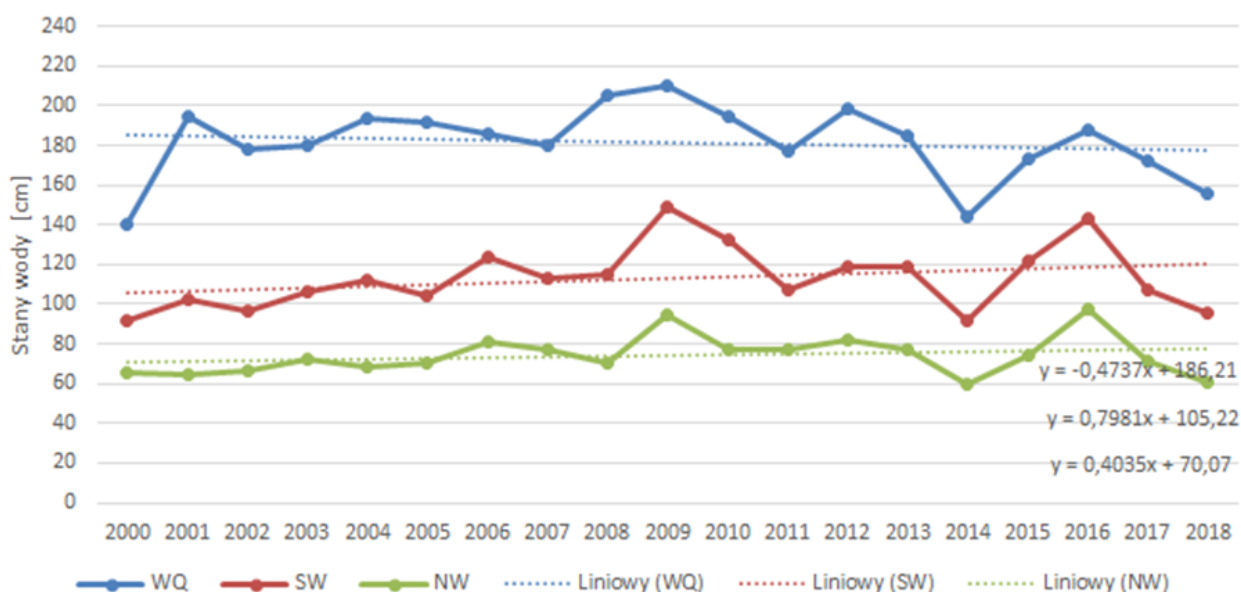


Rys. 2.18 Mapa spadków terenu na Obszarze Światowego Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieńska. Źródło: opracowanie własne na podstawie DEM CODGIK.

II.2.3 Wody powierzchniowe

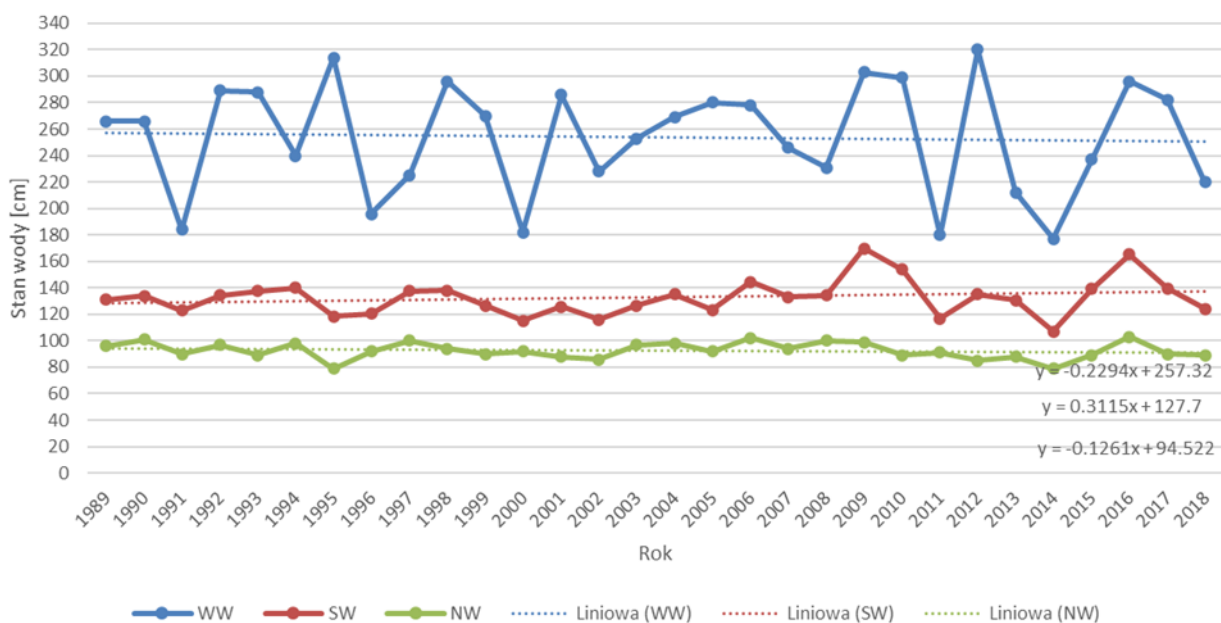
Na analizowanym obszarze znajdują się dwa posterunki pomiarowe Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) oraz sieć monitoringu BPN i Lasów Państwowych. Jakkolwiek, z powodu ograniczonego dostępu do danych BPN i Lasów Państwowych, ilościową charakterystykę hydrologiczną obszaru wykonano na podstawie danych IMGW dla Narewki w profilach Białowieża i Narewka, z najbardziej aktualnego wielolecia.

Dynamika stanów wody rz. Narewki jest podobna w obydwu analizowanych profilach wodowskazowych. Różnica występuje w przypadku trendu wód niskich. W profilu Białowieża, w wieloleciu 2000-2019¹ zaobserwowano trend malejący w przypadku wysokich stanów wód (WW – najwyższy stan wody w danym roku), natomiast wzrostowy dla średnich i niskich stanów wód (NW – najniższy stan wody w danym roku; SW – średni stan wody w danym roku; Rys. 2.19, tab. 2.7). W profilu Narewka stwierdzono, że średnie stany wody Narewki wzrastają, lecz ekstremalne wysokie i niskie stany wód tej rzeki są coraz niższe (Rys. 2.20, tab. 2.7).



Rys. 2.19 Stany charakterystyczne rz. Narewki w profilu Białowieża w wieloleciu 1990-2019. WW – najwyższy stan wody w danym roku, SW – średni stan wody w danym roku, NW – najniższy stan wody w danym roku. Źródło danych: IMGW.

¹ Wobec zmian położenia wodowskazu Białowieża w 2000 roku, do analizy przyjęto krótszy okres jednolitych danych hydrologicznych niż w przypadku analizy elementów meteorologicznych. Analiza porównawcza danych o stanach wody z tego wodowskazu sprzed 2000 r. jest obciążona niepewnością i – w przeciwieństwie do danych o przepływach - nie stanowi z danymi późniejszymi jednorodnego ciągu danych do analiz hydrologicznych.



Rys. 2.20 Stany charakterystyczne rz. Narewki w profilu Narewka w wieloleciu 1990-2019. WW – najwyższy stan wody w danym roku, SW – średni stan wody w danym roku, NW – najniższy stan wody w danym roku. Źródło danych: IMGW.

Tab. 2.7 Charakterystyczne stany Narewki w profilach Białowieża (2000-2019) i Narewka (1990-2019). Źródło danych: IMGW. WWW – najwyższy z najwyższych stanów wody; SSW – średni z wieloletniego stanu wody; NNW – najniższy z najniższych stanów wody.

Stan wody (cm)	Białowieża	Narewka
WWW	210	320
SSW	113	133
NNW	60	79

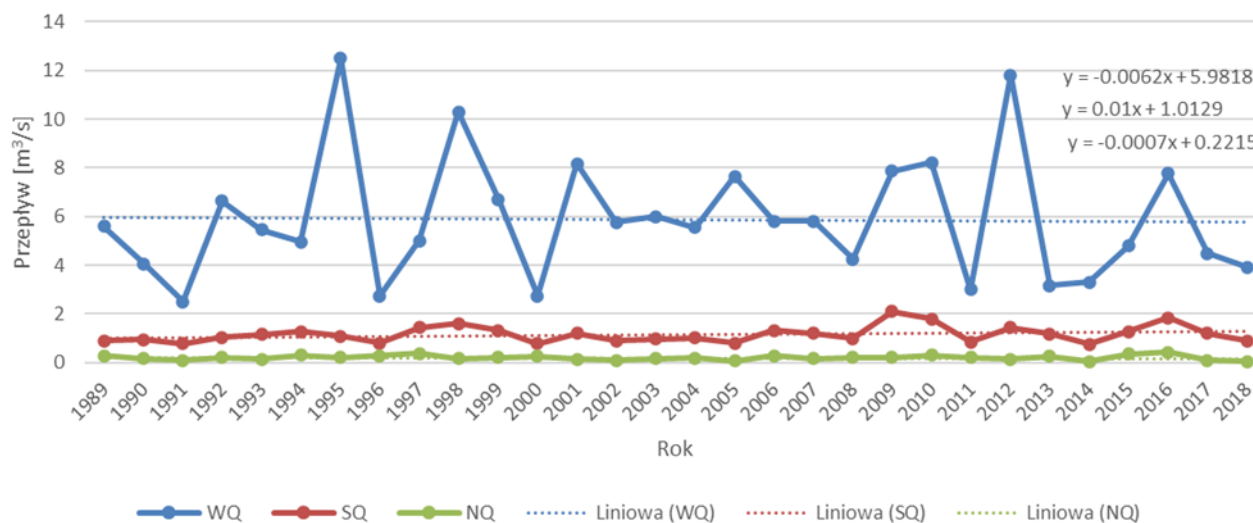
Przepływy Narewki w analizowanym wieloleciu nie ulegały tak znaczącym zmianom jak stany wody. W przypadku profilu Białowieża (Rys. 2.21). Podobnie, jak w przypadku stanów wody stwierdzono nieznacznie rosnący trend przepływów średnich oraz malejące trendy przepływów niskich i wysokich. Podobny trend zaobserwowano na wodowskazie Narewka (Rys. 2.22). Utrzymywanie się podobnego trendu wskazuje na konieczność podejmowania działań renaturyzacyjnych w korycie rz. Narewki głównie z powodu konieczności ograniczania ekstremalnych niżówek.

Niepokojący trend malejący najniższych rocznych przepływów Narewki jest najprawdopodobniej spowodowany spadającym zasilaniem podziemnym, co z kolei można wiązać z polaryzacją opadów (szczególnie w okresach letnich: wielotygodniowe okresy susz są rozdzielane kilkudniowymi epizodami intensywnych opadów) oraz konsekwencją długofalowego procesu odwadniania krajobrazu doliny Narewki w wyniku przeprowadzonej niegdyś regulacji rzeki i regularnie

powtarzanych prac utrzymaniowych, szczególnie na odcinku Narewki poniżej m. Narewka. Najniższe przepływy Narewki stwierdzone w Białowieży (0,042 m³/s) oraz w Narewce (0,23 m³/s); (Tab 2.8) potwierdzają obawę o stabilność przepływu tej rzeki w najbliższych latach oraz wskazują, że prawdopodobieństwo okresowego zaniku przepływu Narewki, szczególnie w jej górnym i środkowym biegu, jest znaczne. W okresie wykonywania prac terenowych prowadzonych w celu opracowania niniejszej strategii (28 czerwca 2021 r.) przepływ Narewki w Białowieży wynosił 0,116 m³/s, a w Narewce – 0,451 m³/s.

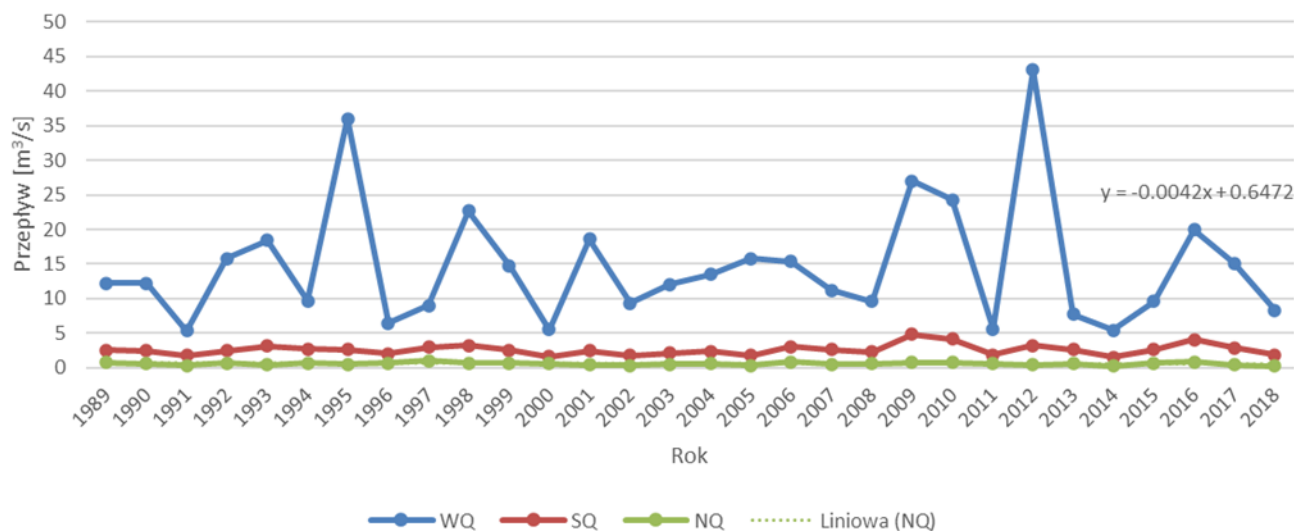
Tab. 2.8 Charakterystyczne przepływy Narewki w profilach Białowieża i Narewka za okres 1990-2019. Źródło danych: IMGW. WWQ – najwyższy z najwyższych przepływów w wieloleciu; SSQ – średni przepływ z wielolecia; NNQ – najniższy z najniższych przepływów w wieloleciu.

Przepływ (m ³ /s)	Białowieża	Narewka
WWQ	12,5	43,1
SSQ	1,17	2,61
NNQ	0,042	0,23



Rys. 2.21 Przepływy charakterystyczne rz. Narewki w profilu Białowieża. WQ – najwyższy przepływ danym roku; SQ – średni przepływ w danym roku; NQ – najniższy przepływ w danym roku. Źródło danych: IMGW.

Na etapie opracowania niniejszego raportu autorzy spotkali się również z interpretacją, że malejące niskie przepływy Narewki mogą wynikać z intensywnie prowadzonych prac powtórnego uwadniania torfowisk Dzikoje i Dziki Nikar na Białorusi – zwiększenie retencji wody na tych mokradłach, szczególnie w okresach suszy, może powodować ograniczenie zasobów wodnych zlewni Narewki w Polsce. Jakkolwiek, gdyby taka hipoteza o przyczynach malejącego trendu najniższych przepływów Narewki była prawdziwa, należy się spodziewać malejącego w czasie oddziaływania tej przyczyny na zasoby wodne Narewki – po uzyskaniu efektu ekologicznego uwodnienia torfowisk Dzikoje i Dziki Nikar, obiekty te mają potencjał by stać się źródłem zasilającym Narewkę w wodę w okresach ekstremalnych niżówek.



Rys. 2.22 Przepływy charakterystyczne rz. Narewki w profilu Narewka. WQ – najwyższy przepływ danym roku; SQ – średni przepływ w danym roku; NQ – najniższy przepływ w danym roku. Źródło danych: IMGW.

Wobec bardzo niskich najniższych przepływów Narewki w obydwu analizowanych profilach wodowskazowych (Rys. 2.21; Rys. 2.22) należy podejmować dalsze działania zmierzające do ustabilizowania odpływu Narewki i poprawy zasilania rzeki w okresach niżówek, co wymaga ograniczenia drenażu wód podziemnych (w okresach niżówek rzeka jest zasilana niemal wyłącznie wodami podziemnymi). Różnice w bezwzględnych wartościach przepływów maksymalnych w Białowieży i w Narewce osiągające w okresach najwyższych wezbrań około $20\text{m}^3/\text{s}$ wskazują, że istnieje możliwość ograniczania odpływu Narewki i zwiększania retencji korytowej i dolinowej tej rzeki. Analiza przepływów niskich Narewki oraz charakterystyki jej niżówek wskazuje bowiem, że okresy deficytu wody stają się coraz dłuższe, a jego objętości – coraz większe (Hejduk i in, 2021).

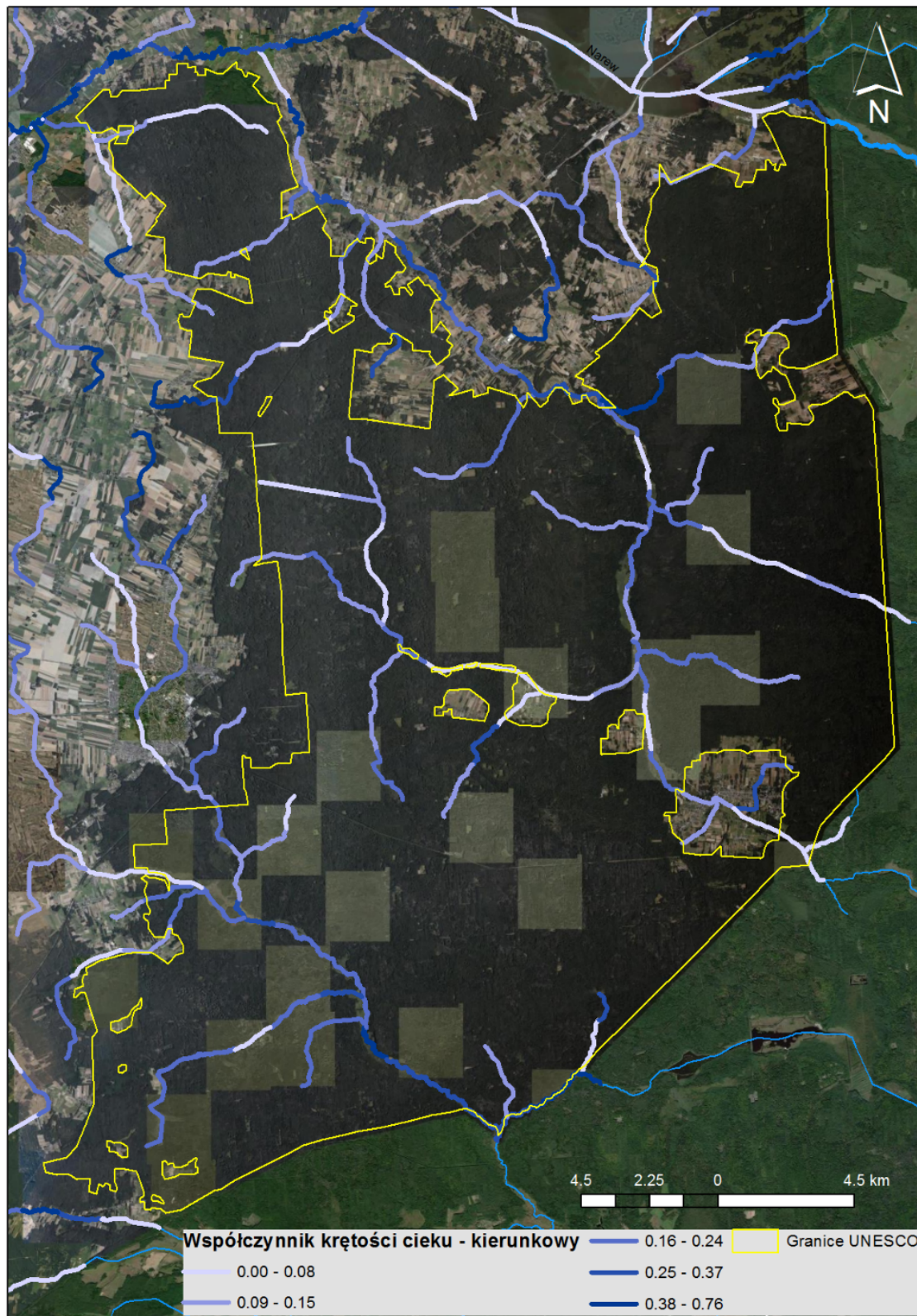
Biorąc pod uwagę brak dostępnych danych hydrologicznych dla innych rzek puszczańskich nie było możliwe wykonanie analizy zmienności ich sytuacji hydrologicznej. Jakkolwiek, analiza dostępnych danych literaturowych (m.in.: Chomutowska i Wilamowski, 2014; Pierzgalski i in., 2010) wskazuje na kilka istotnych czynników, szczególnie w kontekście rz. Łutowni, które należy wziąć pod uwagę przy planowaniu zarządzania wodą zachodniej części Puszczy. Zauważono, że jakość wód Łutowni ulega pogorszeniu m.in. w wyniku mineralizacji gleb organogenicznych położonych w jej dolinie (Chomutowska i Wilamowski, 2014). Mineralizacja ta następuje w wyniku tlenowego rozkładu przesuszonych w wyniku dawnych melioracji gleb torfowych. Proces ten można odwrócić poprzez powtórne uwodnienie przesuszonych torfowisk oraz ograniczenie odpływu ze zlewni Łutowni. Istotnym problemem dostrzeganym uprzednio w literaturze są również okresowe zaniki przepływu Łutowni. Jakkolwiek, w dostępnych materiałach archiwalnych nie podawano częstości występowania zjawiska okresowych zaników przepływu rzeki jak również żadnych charakterystyk hydrologicznych odnoszących się do stanów wody oraz przepływów Łutowni. Pierzgalski i in. (2010) podają średni roczny odpływ ze zlewni Łutowni na poziomie około 100mm , co daje średni przepływ rzeki z wielolecia na poziomie około $0,1475\text{m}^3/\text{s}$.

W ramach prac nad niniejszym operatem wykorzystano wyniki własnych pomiarów przepływu rz. Łutowni zrealizowanych w dwóch profilach pomiarowych, w dn. 28.06.2021 r. Był to okres niżówek, a zmierzony przepływ w dwóch różnych profilach wynosił 0. Co ciekawe, w 35-letnim okresie danych analizowanych w opracowaniu Pierzgalskiego i in. (2010) wskazano, że jedynie w sierpniu notowano zaniki przepływu Łutowni ($\text{NNQ}=0$). W obliczu przedstawionych obserwacji i pomiarów terenowych

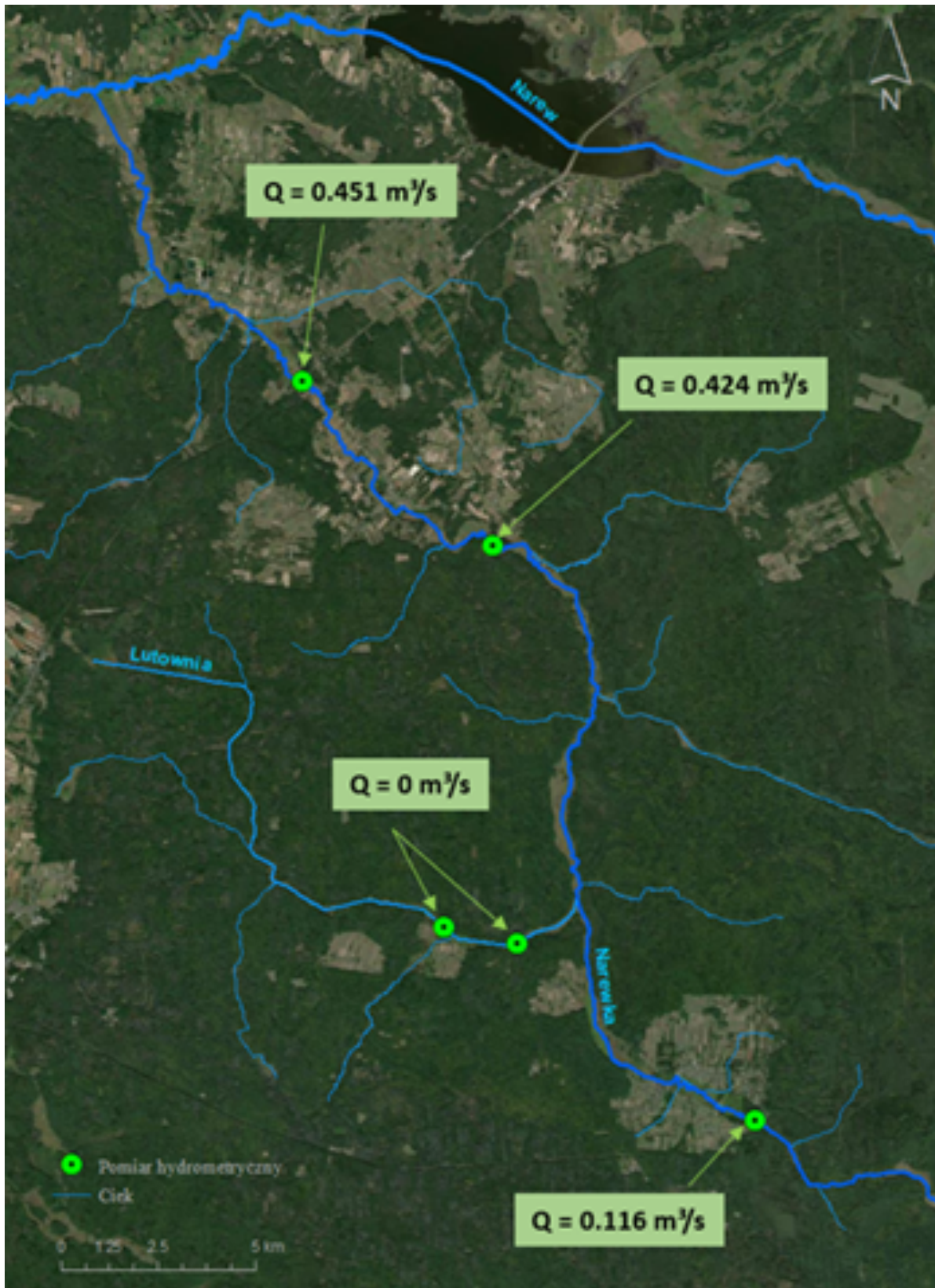
wykonanych w ramach niniejszego opracowania można więc uznać, że od chwili publikacji materiałów Pierzgalskiego i in. (2010) sytuacja hydrologiczna oraz reżim odpływu Łutowni uległy zmianom. Potwierdzają to również obserwacje Wróbla (2017). Celem sprawdzenia, które odcinki cieków w rejonie Puszczy Białowieskiej są najbardziej meandrujące wyznaczono współczynniki krętości w Systemach Informacji Przestrzennej GIS. Wykorzystując narzędzia GIS wyznaczono wskaźniki kierunkowe (określono średni kierunek, długość oraz wariancję kierunku dla zestawu linii). W wyniku wykorzystania odpowiednich narzędzi GIS otrzymuje się atrybut wariancji dla zespołu prostych. Wyniki wariancji otrzymano w zakresie od 0 do 1 przy czym im wyższa wartość, tym większa krętość. Na Rys. 2.23 przedstawiono współczynniki krętości cieków Puszczy Białowieskiej (kolorem jasnym zaznaczono odcinki o najmniejszym współczynniku krętości).

Dokonując rozpoznania obszaru pod kątem hydrologicznym przeanalizowano własne pomiary przepływu rz. Narewki i rz. Łutowni przeprowadzone 28 i 29 czerwca 2021 r. Pomiary hydrometryczne na rzekach: Narewka oraz Łutownia zostały zrealizowane z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu – czujnika elektromagnetycznego OTT MF Pro. Młynek OTT MF pro jest urządzeniem pomiarowym, który wykorzystuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej do pomiarów prędkości punktowej w ciekach. Wykorzystana w czujniku technologia pozwala na dokładny pomiar niezależnie od stopnia zarastania lub zanieczyszczenia. Dokładność urządzenia wynosi: $\pm 2\%$ wartości mierzonej $\pm 0,015$ m/s (w przedziale prędkości 0 - 3 m/s) i $\pm 4\%$ wartości mierzonej $\pm 0,015$ m/s (w przedziale prędkości 3 - 5 m/s). Zakres pomiarowy urządzenia wynosi: 0 - 6 m/s. Na podstawie zmierzonych prędkości składowych na koniec danego pomiaru obliczane są wartości natężenia przepływu (m^3/s) zgodnie z międzynarodowymi standardami.

Warunki hydrologiczne panujące w dniach wykonywania pomiaru były stabilne i niżówkowe, zbliżone do ekstremalnie najniższych stanów wody rz. Narewki i rz. Łutowni w wieloleciu. Pomiary wykonano w trzech przekrojach pomiarowych na rz. Narewce oraz w dwóch profilach pomiarowych na rz. Łutowni (Rys. 2.24). Wyniki pomiarów wskazują na panujące chwilowo warunki wysokiego stresu wodnego i ograniczonych zasobów wodnych zlewni Narewki i Łutowni. Przepływy Narewki przyrastały od $0,116$ m^3/s (wodowskaz Białowieża; Rys. 2.24) poprzez $0,424$ m^3/s (w profilu przy moście drogowym w m. Gruszki) po $0,451$ m^3/s dla wodowskazu Narewka (Rys. 2.24). Co ciekawe, dane o przepływach Narewki w tym dniu w analizowanych profilach wodowskazowych IMGW wskazywały na przepływ na poziomie $0,32$ m^3/s dla wodowskazu Białowieża oraz $0,64$ m^3/s dla wodowskazu Narewka.



Rys. 2.23 Współczynniki kierunkowe krętości cieków na analizowanym obszarze Puszczy Białowieżskiej. Źródło danych: opracowanie własne.



Rys. 2.24 Wyniki pomiarów hydrometrycznych przeprowadzonych w dniach 28 i 29 czerwca 2021 r. Źródło danych: opracowanie własne.

Przyczyną takiego stanu może być fakt podawania przez IMGW wartości nieskorygowanych o współczynniki roślinne, jednak zanotowane różnice (odpowiednio niemal 200% dla wodowskazu Białowieża i o ponad 40% dla wodowskazu Narewka) wskazują na możliwość niestacjonarności krzywej przepływu wykorzystywanej przez IMGW do obliczania przepływów chwilowych Narewki w tych profilach. Pomimo panujących w chwili pomiaru warunków niżówkowych należy stwierdzić, że utrzymujące się zerowe przepływy Łutowni stanowią zagrożenie dla stanu ekologicznego tej rzeki oraz wpływają negatywnie na całkowity bilans wodny Puszczy Białowieskiej.

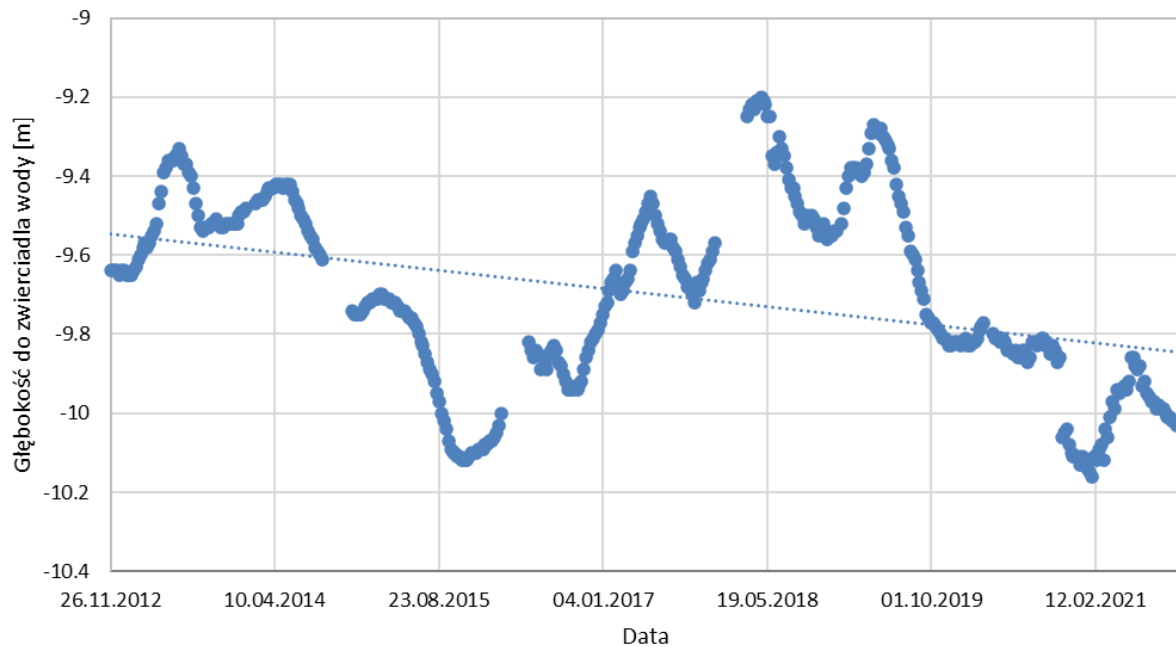
II.2.4 Wody podziemne

Stany wód podziemnych w Puszczy Białowieskiej (w tym również w zlewni Narewki) przejawiają trend malejący (Pierzgalski i in., 2010). Na podstawie informacji podanych w pracach Czerepko i in. (2007), Pierzgalskiego i in. (2000) oraz Pierzgalskiego i in. (2010), oszacowano, że średnia prędkość obniżania się średniorocznego położenia zwierciadła wód podziemnych na analizowanym obszarze wynosi około 1 cm na rok (około 20 cm na 20 lat).

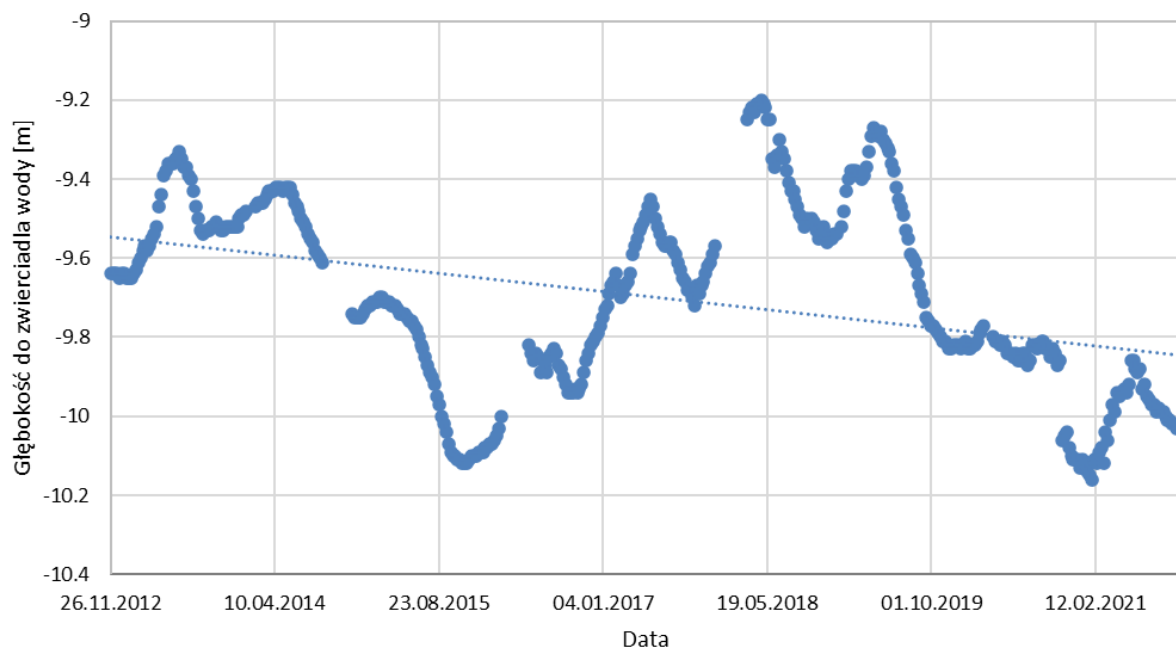
Analizę zmienności stanów wód podziemnych Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska wykonano na podstawie danych pozyskanych do celów opracowania niniejszej strategii z Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG). Dane pochodziły ze studni monitoringowych w Białowieży oraz w Budach. Choć długość serii danych nie pozwala na pełną analizę wieloletniej zmienności stanów wody, to ich interpretacja wraz z interpretacją danych pochodzących z innych źródeł (m.in. Wróbel, 2017 oraz Pierzgalski in., 2010), ze szczególnym uwzględnieniem danych omówionych przez Grummo (2021) dla białoruskiej części Puszczy Białowieskiej pozwala na potwierdzenie trendu obniżania się stanów wód podziemnych na całym, transgranicznym obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska.

Na podstawie analizy serii danych PIG ze studni w Białowieży stwierdzono malejący trend stanów wód podziemnych (Rys. 2.25). Średnie tempo spadku stanów wód podziemnych wynosi w tym przypadku 3 cm/rok. Podobny trend pokazują dane ze studni PIG w Budach (odpowiednio – średnie tempo obniżania się stanów wód podziemnych wynosi 12 cm/rok). Dane te jednak nie obrazują w pełni sytuacji hydrologicznej Puszczy Białowieskiej w wieloleciu, gdyż obejmują jedynie okres około 10 lat. Jakkolwiek, interpretacja danych przedstawionych przez Pierzgalskiego i in. (2010) wskazuje, że w wieloleciu 1985-2005 średnie tempo obniżania się stanów wód podziemnych w Puszczy Białowieskiej na obszarze Białowieskiego Parku Narodowego wynosi około 1 cm/rok. Podobne wnioski, z nieco szybszym spadkiem przedstawia w swojej pracy Grummo (2021) analizując położenie zwierciadła wód podziemnych w białoruskiej części Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. Podaje on, że w latach 1971-2006 średni spadek poziomu zwierciadła wód podziemnych wynosił około 2-3 cm na rok. Na podstawie przytoczonych danych można więc stwierdzić, że średnie tempo obniżania się zwierciadła wód podziemnych w Puszczy Białowieskiej wynosi obecnie około 4-5 cm na rok, w zależności od lokalizacji.

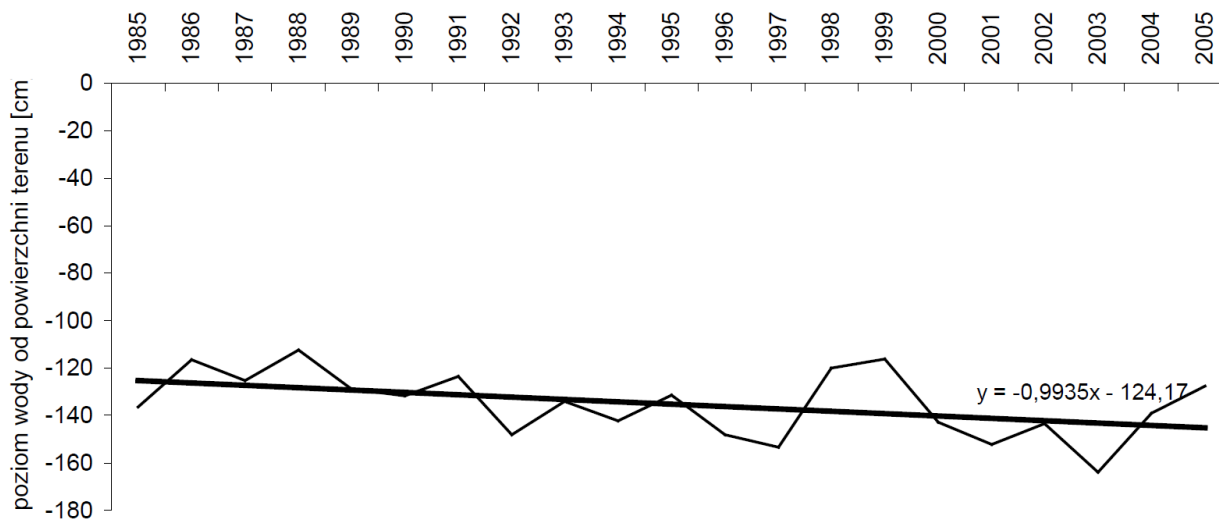
Trend obniżania się wód podziemnych w Puszczy Białowieskiej obserwowany w okresie 1985 – 2005 utrzymywał się do roku 2010. Po wyjątkowo mokrych latach 2010 i 2012 zasoby wodne po kilkunastu latach przesychania zwiększały się do 2013 roku. Po bardzo suchych latach 2014 i 2015 zwierciadło wody ponownie uległo głębokiemu obniżeniu osiągając najniższe wartości na tle średnich z wielolecia (Pierzgalski i in. 2016).



Rys. 2.25 Stany wód podziemnych w Białowieży. Źródło danych: PIG.



Rys. 2.26 Stany wód podziemnych w Budach. Źródło danych: PIG.



Rys. 2.27 Stany wód podziemnych w Białowieżskim Parku Narodowym. Źródło danych: Pierzgałski i in., 2010.

Przyczyn obniżających się zasobów wodnych Puszczy Białowieżskiej należy upatrywać w zmianach klimatu (ocieplenie, zwiększająca się ewapotranspiracja), postępującym potencjalnie drenującym rzek (w tym głównie Łutowni i Narewki), jaki zwiększa się w wyniku regionalnych zmian systemu hydrologicznego (m.in. budowa zbiornika Siemianówka, która powoduje ograniczenie czasów trwania wysokich przepływów Narwi przy jednoczesnym braku oddziaływania na wypłaszczenie niżówek tej rzeki; Marcinkowski i Grygoruk, 2017) oraz kontynuacji reakcji systemu hydrologicznego zlewni Leśnej, Narewki i Narwi na prace regulacyjne i melioracyjne wykonane w latach '60 i '70 XX wieku.

Wobec postępującego obniżania się niskich stanów wód w rzekach oraz – będącego ich główną przyczyną – obniżającego się zwierciadła wód podziemnych na całym analizowanym obszarze należy wskazać, że głównymi celami strategii poprawy zasobów wodnych Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża powinny być: zwiększanie możliwości infiltracji wody co pozwoli na zwiększenie zasobów wód podziemnych (działanie obszarowe), spowalnianie odpływu powierzchniowego szczególnie w okresach niżówkowych (działanie punktowe) oraz renaturyzacja rzek w celu wydłużenia czasu przepływu wody w krajobrazie (działanie liniowe).

II.3 Mapa i lista obszarów do potencjalnego odtworzenia

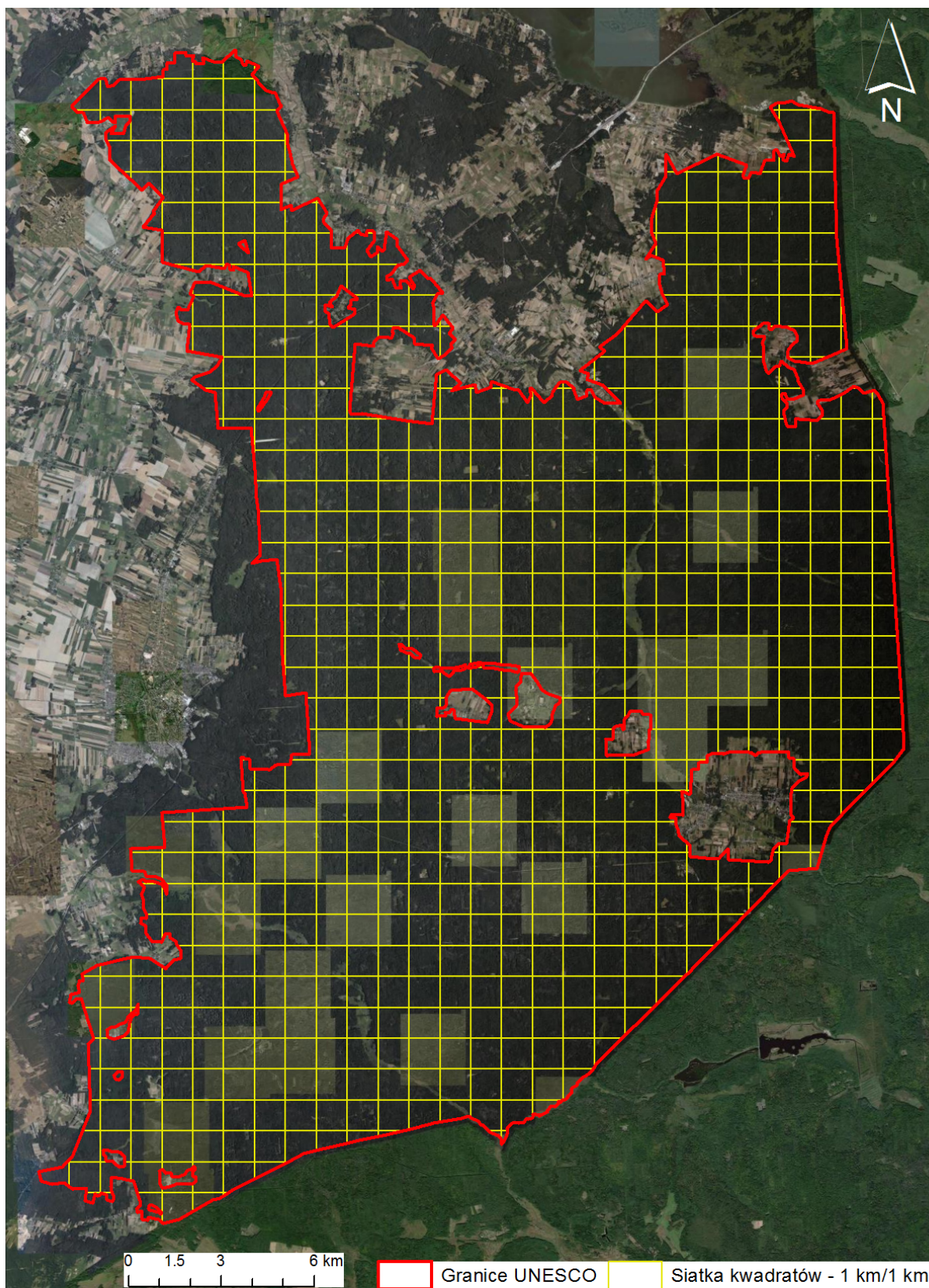
II.3.1 Informacje wstępne

Głównym celem strategii jest określenie ilościowych kryteriów mogących posłużyć do wyznaczenia miejsc w granicach Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża wymagających renaturyzacji w celu poprawy warunków hydrologicznych rozumianych jako zwiększenie zasobów wód podziemnych, spowalnianie odpływu powierzchniowego szczególnie w okresach niżówkowych oraz renaturyzację i odpowiednie zarządzanie rzekami obszaru w celu wydłużenia czasu przepływu wody w krajobrazie. W celu wyznaczenia miejsc (obszarów), na których

należy przeprowadzić działania zwiększające zasoby wodne oraz ustalenia priorytetyzacji tych obszarów przeprowadzono szczegółową analizę wielokryterialną obejmującą następujące kryteria:

1. Występowanie zagłębień bezodpływowych jako miejsc predestynowanych do zatrzymywania wody,
2. Potrzeby renaturyzacji rzek wskazane w Krajowym Programie Renaturyzacji Wód Powierzchniowych (KPRWP),
3. Gęstość sieci melioracyjnej,
4. Powierzchnia torfowisk,
5. Wartość parametru CN metody SCS, który obrazuje potencjał obszaru do formowania odpływu powierzchniowego,
6. Topograficzne możliwości akumulacji wód,
7. Występowanie obszarów zagrożonych suszą na podstawie Programu Przeciwdziałania Skutkom Suszy,
8. Działania opracowane dla rzek obszary w ramach II Aktualizacji Planów Gospodarowania Wodami na Obszarach Dorzeczy (aPGW),
9. Szacunkowe koszty działań renaturyzacyjnych.

Wartości liczbowe dla każdego z wymienionych elementów przyporządkowano do 6 klas (od 0 – w przypadku braku oddziaływania na pogorszenie zasobów wodnych zgodnie z ustalonymi kryteriami do 5 – w przypadku znaczącej potrzeby/możliwości przeprowadzenia działań poprawiających zasoby wodne obszaru). Następnie wykonano priorytetyzację uwzględniając wszystkie lub wybrane kryteria. Założenie metody polega więc na tym, że obszary, którym została przypisana wyższa klasa mają większy priorytet działania niż obszary, którym przypisano niższe klasy. Kompleksowa analiza wielokryterialna pozwoli wytypować kluczowe obszary do realizacji prac renaturyzacyjnych oraz przyporządkować priorytet działań. Analizy przeprowadzono z wykorzystaniem Systemów Informacji Przestrzennej GIS w oparciu o dostępne dane. W tym celu na obszarze Puszczy Białowieskiej wygenerowano siatkę pól podstawowych, w których opisane kryteria zostały ilościowo ocenione. Siatka ta składa się z kwadratów o boku 1 km, w których realizowano dalsze prace badawcze i obliczenia (Rys. 2.28). Kwadraty położone przy granicach obszaru zostały docięte do granic Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska

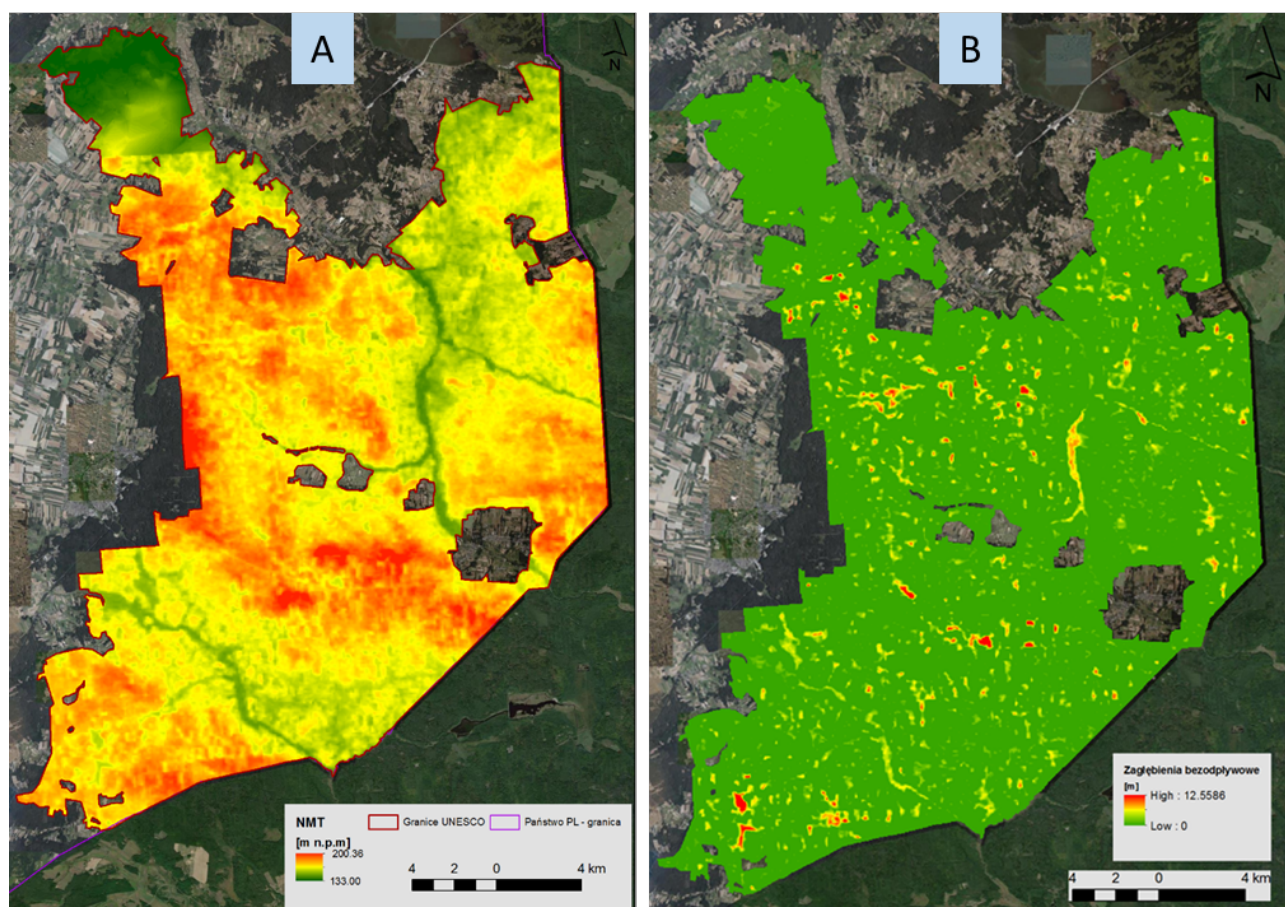


Rys. 2.28 Siatka kwadratów o boku 1 km do wygenerowana na potrzeby analizy wielokryterialnej.
Źródło danych: opracowanie własne.

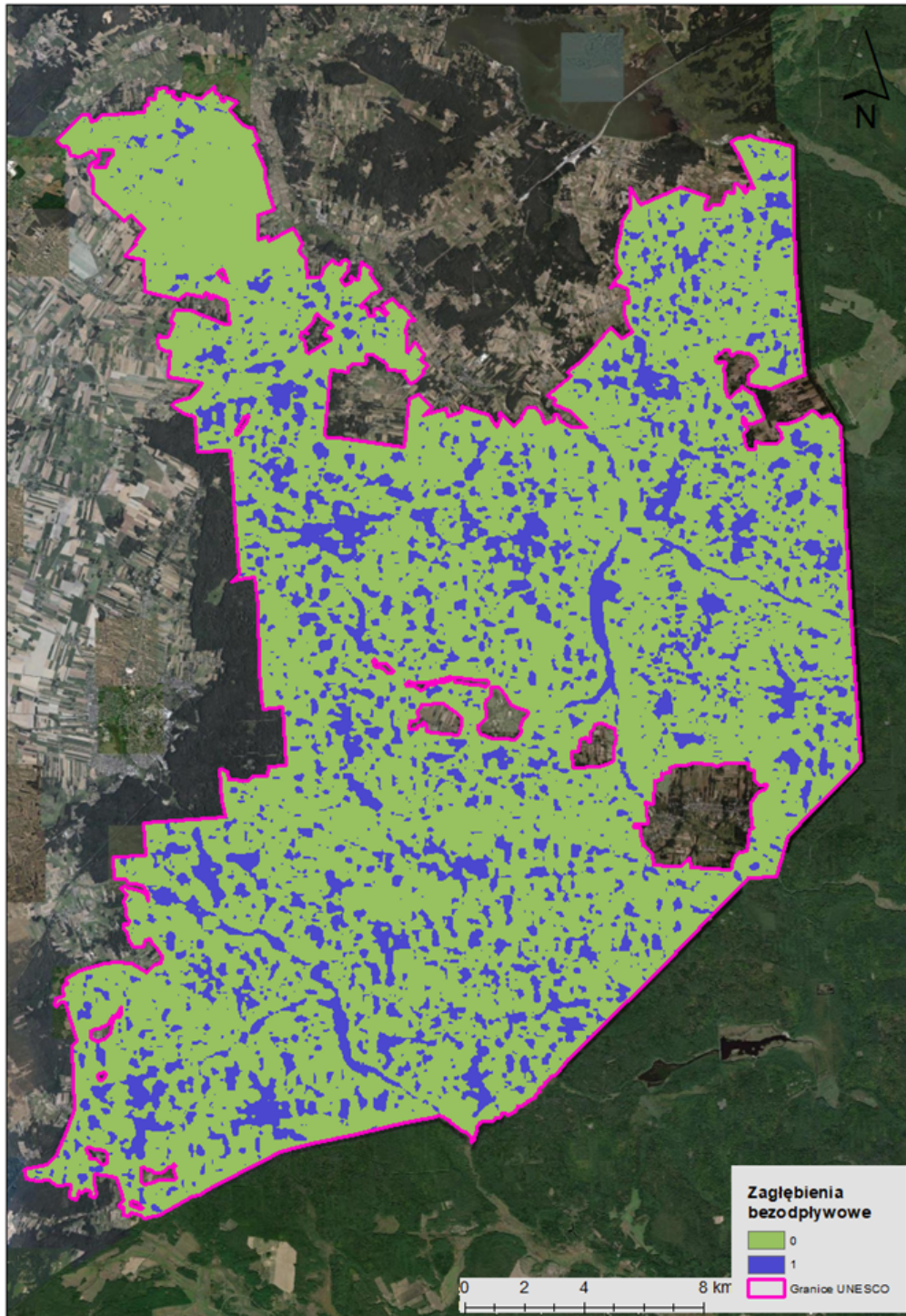
II.3.2 Materiał i metody

II.3.2.1 Wyznaczanie zagłębień bezodpływowych

Zagłębienia bezodpływowe są zbiorami komórek rastra, które są otoczone przez komórki charakteryzujące się większymi wartościami wysokości. W celu przygotowania mapy zagłębień bezodpływowych przeprowadzono wstępne przetwarzanie Numerycznego Modelu Terenu (pre-processing) – korekcję, która polega przede wszystkim na wypełnieniu błędnych zagłębień bezodpływowych, które mogą przerwać modelowany spływ wody, osuszając wybrane obszary w sposób sztuczny. W kolejnym etapie poprzez analizy rastrowe (odejmowanie rastrów) przygotowano mapę zagłębień bezodpływowych (Rys. 2.29) oraz przypisano klasę „1” do wyznaczonych obszarów (Rys. 2.30). Następnie na podstawie procentowego udziału powierzchni zajmowanej przez zagłębienia bezodpływowe w każdej kratce o powierzchni 1 km² dokonano podziału obszaru na 6 klas (Tab. 2.9), gdzie najwyższą klasę (5) przypisywano obszarom z największym udziałem zagłębień bezodpływowych.



Rys. 2.29 Numeryczny Model Terenu (NMT) Puszczy Białowieskiej (A) oraz mapa zagłębień bezodpływowych otrzymana w wyniku przeprowadzonych analiz GIS (B). Źródło danych: opracowanie własne.



Rys. 2.30 Mapa zreklasyfikowana zagłębień bezodpływowych na analizowanym obszarze (1 - zagłębienie bezodpływowe/o - brak). Źródło danych: opracowanie własne.

Tab. 2.9 Stosunek powierzchni zajmowanej przez zagłębienia terenowe do powierzchni oczka siatki (1 km²) w podziale na klasy.

Przedziały wartości – zagłębienia bezodpływowe [%]	Klasa
0	0
0,1 - 20	1
21 - 40	2
41 - 60	3
61 - 80	4
81 - 100	5

II.3.2.2 Krajowy program renaturyzacji wód powierzchniowych (KPRWP)

Najważniejszym dokumentem strategicznym zawierającym informacje o konieczności podjęcia działań renaturyzacyjnych na wodach w Polsce jest Krajowy Program Renaturyzacji Wód Powierzchniowych (Biedroń i in., 2020; Tab. 2.10). Dokument ten, wypracowując kryteria renaturyzacji wód w całym kraju dzieli je (w tym rzeki) na kategorie priorytetów konieczności podjęcia renaturyzacji na podstawie sześciu osobnych kryteriów. Kryteria te (m.in. potrzeba renaturyzacji ze względu na wymagania przedmiotów ochrony obszarów chronionych, stopień przekształcenia hydromorfologicznego rzek, czy społecznie wskazane potrzeby renaturyzacji) dla każdej JCWP zostały zsumowane, a na podstawie rankingu tych kryteriów wyznaczono ciekli kluczowe dla podjęcia działań renaturyzacyjnych, ważne oraz istotne (Rys. 2.31). Następnie, dla każdej z rzek, odpowiednio do ich aktualnego stanu ekologicznego i hydromorfologicznego, zaproponowano zestaw działań naprawczych mający doprowadzić do poprawy stanu ekologicznego oraz zwiększenia ich odporności na presje zewnętrzne i wewnętrzne (Tab. 2.11). Należy więc uznać, że istnieją podstawy merytoryczne do wdrożenia działań renaturyzacyjnych na rzekach Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska, co powinno być elementem strategii restytucji przebiegu procesów hydrologicznych oraz poprawy zasobów wodnych tego obszaru.

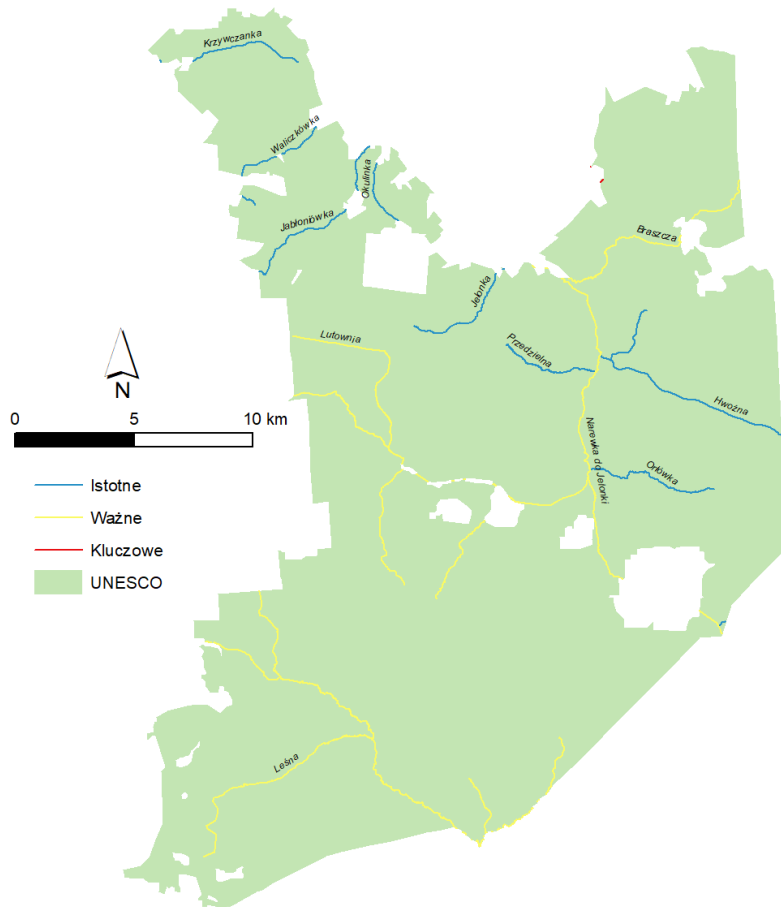
Tab. 2.10 Wskaźnik priorytetu dla renaturyzacji oraz odpowiadające mu klasy przypisane w celu przeprowadzenia analizy wielokryterialnej.

Wskaźnik priorytetu dla renaturyzacji	Klasa
Brak	0
Istotne	1
Kluczowe	3
Ważne	5

Tab. 2.11 Działania renaturyzacyjne przewidziane do przeprowadzenia w poszczególnych puszczańskich JCWP.

Nazwa JCWP	Długość ciek [km]	Powierzchnia zlewni [km ²]	Koszty renaturyzacji [EUR]	U0	U4	U5	Z1	Z2	Z3	D1	D2	D3	D4	D5	D6	T1	T2	T3	T4	T5	T10	T11
Bobrówka	14.1	42.4	1096911							X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
Braszcza	12.4	36.1	1414	X		X	X	X														
Hwoźna	12.2	101.9	1389			X																
Jabłoniówka	12.8	25.7	2916			X							X		X							
Jelonka	6.0	11.5	684			X																
Jelonka	0.4	12.3	684																			
Krzywczanka	17.8	40.5	10125			X							X	X	X	X	X	X			X	X
Leśna	81.3	423.2	30246	X		X				X	X		X		X							
Łutownia	38.2	120.2	5531	X		X	X	X		X	X					X			X			
Narewka do Jelonki	24.3	271.4	2769	X	X	X	X	X	X							X	X		X			
Okulinka	6.2	12.2	1404			X							X		X							
Orłówka	6.3	26.3	721			X																
Przedzielna	4.5	16.9	512			X																
Walkiczkówka	6.0	13.1	678			X																

U0 Pozostawienie procesom naturalnym; U4 Aktywne kształtowanie mozaiki warunków świetlnych, struktury brzegów i stref buforowych; U5 Ograniczenie usuwania z jezior przeszkód naturalnych (w tym rumoszu drzewnego); D1 Nasadzanie zgodnych z siedliskiem gatunków drzew i/lub krzewów w strefie brzegowej; D2 Zastosowanie fitobariery (stref sedymentacyjno-biofiltracyjnych) w obrębie misy jeziornej i na odcinkach ujściowych cieków do jeziora; D3 Kształtowanie stref buforowych z roślinności strefy litoralnej; D4 Bariery denitryfikacyjne; D5 Modyfikacje zarządzania wodą, w celu eliminacji antropogenicznych zniekształceń przepływu; D6 Wykluczenie użytkowania rekreacyjnego brzegów o podłożu organicznym ; T1 Likwidacja umocnień brzegów; T2 Przebudowa umocnień brzegów na bardziej naturalne; T3 Likwidacja lub odsuwanie wałów przeciwpowodziowych i przywracanie terenów zalewowych; T4 Likwidacja przegród poprzecznych; T5 Przebudowa przegród poprzecznych; T10 Zastąpienie schodami zejść po skarpie do stref rekreacyjnych nad jeziorem; T11 Likwidacja punktowych źródeł zanieczyszczeń; Z1 Działania w zlewni - Renaturyzacja mokradeł w zlewni przez blokowanie lub likwidowanie rowów odwadniających mokradła; Z2 Ograniczanie dostawy biogenów oraz zawiesin ze spływem powierzchniowym; Z3 Kanalizowanie ruchu turystycznego i rekreacyjnego w obrębie strefy przybrzeżnej jezior.



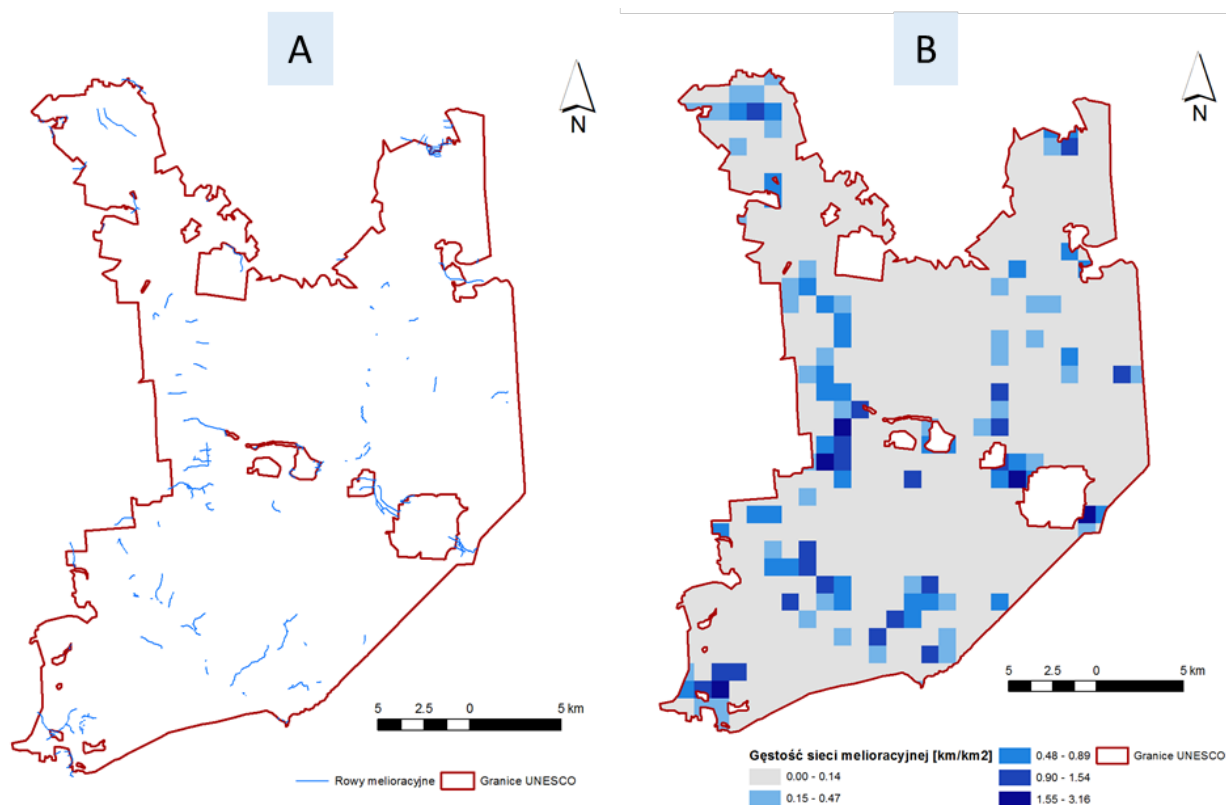
Rys. 2.31 Stopień konieczności podjęcia działań renaturyzacyjnych na rzekach Puszczy Białowieżskiej w świetle wyników analiz KPRWP. Źródło danych: opracowanie własne na podstawie KPRWP.

W analizie wielokryterialnej przyjęto, że dla cieków kluczowych (rz. Bobrówka w północnej części analizowanego obszaru) zostanie przypisana klasa 5 (najważniejsze ciek do podjęcia renaturyzacji). Ciekom oznaczonym w klasyfikacji KPRWP jako „ważne” (m.in. Narewka i Braszczka) zostanie przypisana klasa 3. Ciek sklasyfikowane w KPRWP jako „istotne” otrzymają klasę 1, a pozostałe ciek – klasę 0 (Tab. 2.10). Następnie, klasy te zostaną dopisane do pól podstawowych i zostaną uwzględnione w końcowej priorytetyzacji.

II.3.2.3 Sieć melioracyjna

W świetle badań związanych z zasobami wodnymi obszaru istotne znaczenie ma gęstość sieci melioracyjnej. W związku z tym zweryfikowano ilość rowów melioracyjnych na obszarze Puszczy Białowieżskiej na podstawie danych z Mapy Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 (MPHP10). Na analizowanym terenie znajduje się łącznie 103,4 km rowów melioracyjnych, co przy założeniu średniego promienia oddziaływania rowu na obszary przyległe na poziomie 50 m, daje łącznie około 10,3 km² obszarów pozostających pod wpływem drenowania/nawadniania podsiąkowego.

Na podstawie warstwy liniowej rowów przygotowano mapę gęstości sieci melioracyjnej (km/km²) sumując w każdej kratce o powierzchni 1 km² długość rowów (Rys. 2.32). Następnie do dalszych prac podzielono obszary zdrenowane na 6 klas (przyporządkowano wyższą klasę wraz ze wzrostem gęstości sieci melioracyjnej) – Tab. 2.12.



Rys. 2.32 Rowy melioracyjne na obszarze Puszczy Białowieskiej (A) oraz gęstość sieci melioracyjnej (B).

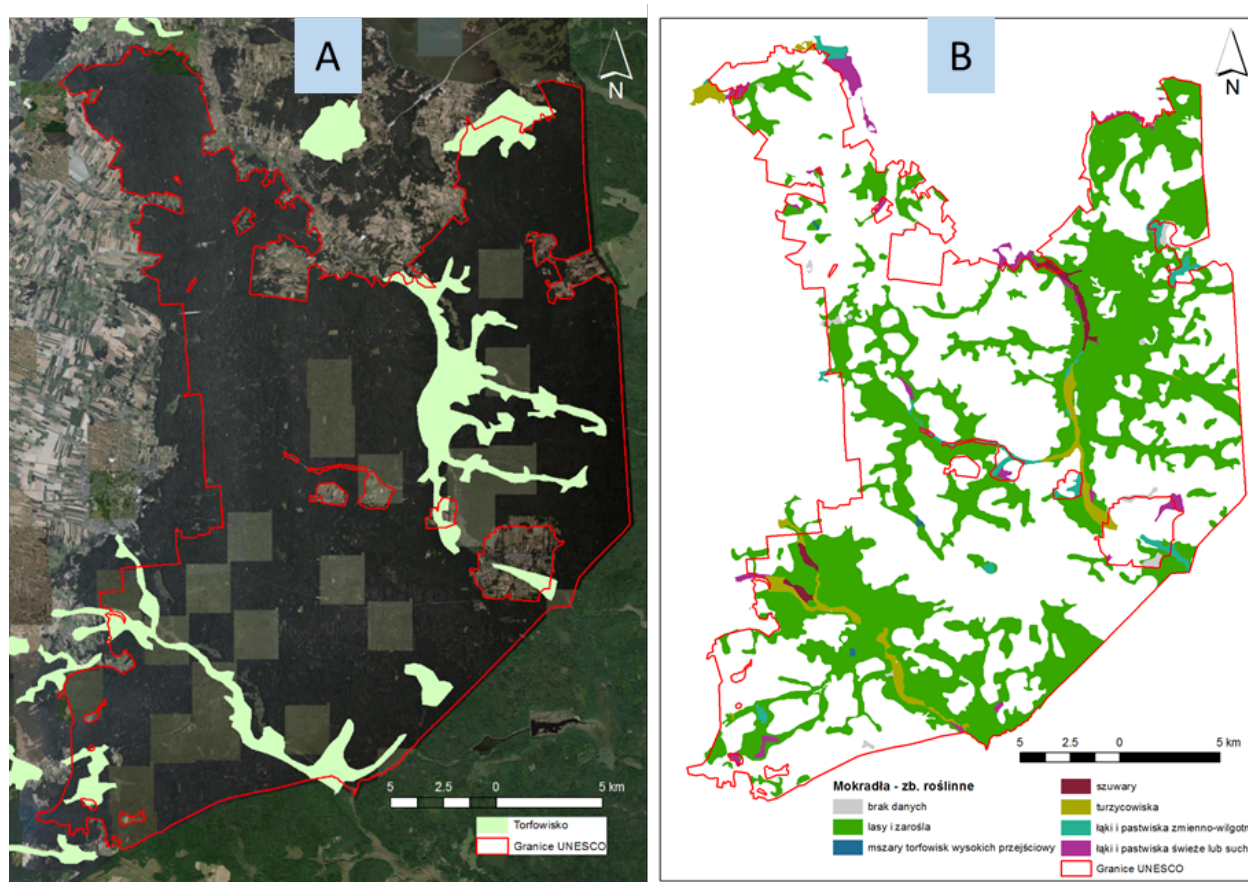
Tab. 2.12 Klasy gęstości sieci melioracyjnej.

Przedziały wartości – gęstość sieci melioracyjnej [km/km ²]	Klasa
0	0
0 – 0,5	1
0,51 – 1,0	2
1,01 – 1,5	3
1,51 – 2,0	4
2,01 – 3,2	5

II.3.2.4 Torfowiska

Kolejnym parametrem, który został wzięty pod uwagę w analizie wielokryterialnej jest powierzchnia torfowisk Puszczy Białowieskiej. Z uwagi na to, iż torfowiska pełnią wiele istotnych funkcji środowiskowych (retencja wody, „filtrowanie wód” czy regulacja klimatu) powierzchnia torfowisk stanowi istotny czynnik, który należy wziąć pod uwagę przy analizie dotyczącej renaturyzacji obszaru. Na podstawie bazy danych Gismokradła oceniono, że w granicach Puszczy powierzchnia

zajmowana przez torfowiska stanowi około 48,12 km² (Rys. 2.33). Na potrzeby analizy w każdej kratce modelowej o boku 1 km² zsumowano powierzchnię torfowisk oraz przypisano klasę w zależności od procentowego udziału w całkowitej powierzchni pola podstawowego – im większy udział torfowisk tym wyższa klasa (Tab. 2.13).



Rys. 2.33 Powierzchnie torfowisk (A) oraz zbiorowiska roślinne na mokradłach Puszczy Białowieżskiej (B). Źródło danych: GISMOKRADŁA.

Tab. 2.13 Klasy powierzchni torfowisk (% powierzchni zajmowanej przez torfowiska w kratce 1 km²) - Puszcza Białowieża.

Przedziały wartości – powierzchnia torfowisk [%]	Klasa
0	0
0,1 - 20	1
21 - 40	2
41 - 60	3
61 - 80	4
81 - 100	5

II.3.2.5 CN-SCS

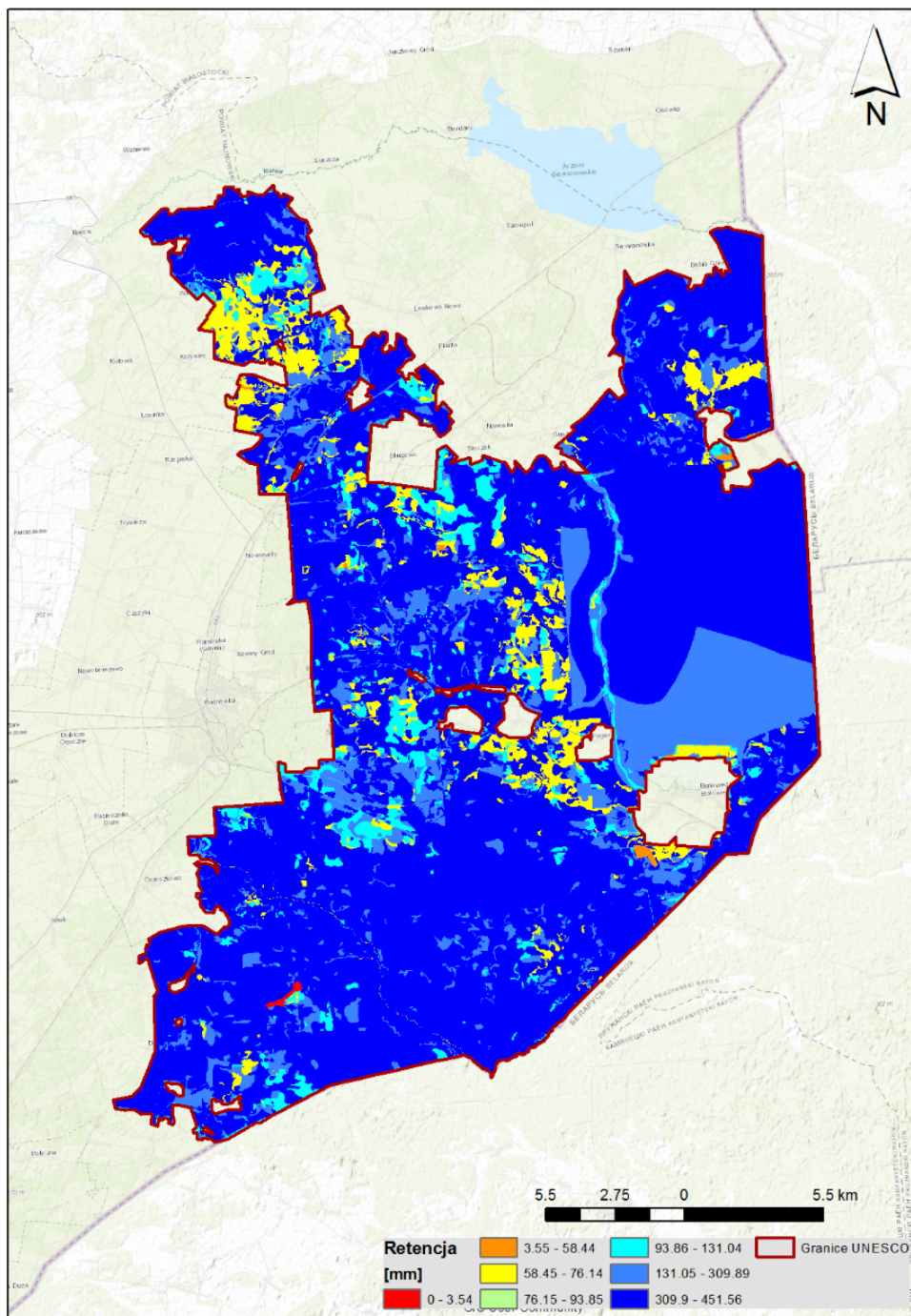
Złożona próba oceny potencjału powodziowego i pośrednio - potencjału pojemnościowego zlewni została opisana, między innymi, przez metodologię SCS (Soil Conservation Survey, Hawkins, 1979, United States Dept. of Agriculture, 1986). Podejście to służy kwantyfikacji spływu powierzchniowego generowanego przez efektywne opady w zależności od różnych typów użytkowania gruntów/pokrycia terenu, przepuszczalności gleb i pośrednio spadków terenu. Zmienność tych aspektów fizjograficznych w przestrzeni jest zintegrowana z parametrem CN (CN - numer krzywej).

Parametr CN przyjmuje wartości od 0 do 100 i może być określany ilościowo na podstawie przestrzennej zmienności pokrycia terenu i rodzajów gleb (warstwy powierzchniowe). Niskie wartości CN (40-50) są typowe dla obszarów gruntów przepuszczalnych (np. uformowanych na piaskach) umożliwiających skuteczną infiltrację opadów i typów pokrycia terenu, które zwiększają akumulację wody i zmniejszają spływ powierzchniowy (łąki i pastwiska, parki, lasy itp.). Wysokie wartości CN (80-100) są typowe dla obszarów o niskiej przepuszczalności gruntów (np. uformowanych na glinach, glebach gliniastych) lub nieprzepuszczalnych (np. beton), a użytkowanie gruntów pozwala na szybki spływ powierzchniowy (skoncentrowane osady, drogi, koleje, przemysł). Metodologia SCS i parametr CN, jako klasyczne podejście hydrologiczne pozwalające na modelowanie opadu i odpływu (Mishra i Singh, 2003), zostały uznane za użyteczne pod względem wytyczenia obszarów generujących powódź i klasyfikacji zlewni. Klasyfikacja zlewni elementarnych pod względem generowania powodzi i potencjału magazynowania wody dostarcza ważnych informacji przy podejmowaniu decyzji, gdy rozważa się działania ukierunkowane na efektywne magazynowanie wody i systematyczne środki ograniczające powódź.

W niniejszym raporcie przyjęto, iż różne możliwości magazynowania wody można opisać za pomocą ilościowych wartości retencji wody (S) w poszczególnych rejonach, które w metodologii SCS opisano jako maksymalną początkową zdolność zatrzymywania wody. Przestrzenny rozkład retencji wody S dla analizowanego obszaru przedstawiono na Rys. 2.34. Wartość tego parametru opisuje prędkość odpowiedzi spływu powierzchniowego na pojawienie się określonej, jednostkowej wartości opadów. Obliczeń dokonano zgodnie z poniższym wzorem:

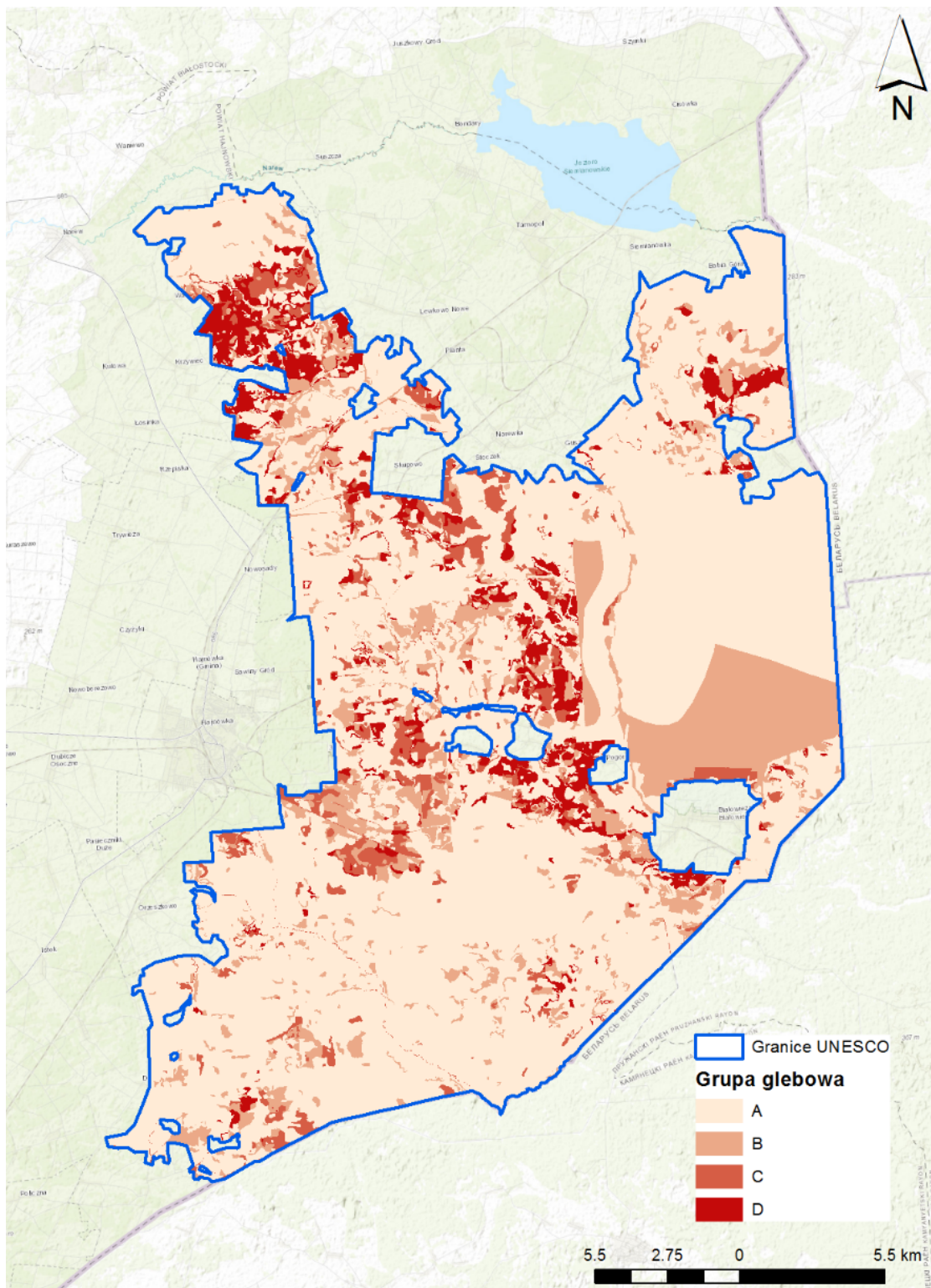
$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [\text{mm}] \quad (\text{Równ. 1})$$

Wartości CN zostały przypisane do poszczególnych pól jednostek (komórek siatki przestrzeni obszaru) w oparciu o jednorodne typy użytkowania gruntów, zgodnie z metodologią opracowaną przez Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (1986). Narzędzia do analizy przestrzennej wykorzystano do zapewnienia siatki mapy pokrycia terenu. Założono, że dla skali analizy obejmującej obszar Puszczy Białowieskiej dane z Corine Land Cover (2012) są reprezentatywne (Rys. 2.36). Wykorzystanie danych ze źródeł Corine Land Cover zostało już określone jako odpowiednie do obliczania parametrów CN w dużych zlewniach (np. Banach, 2012).

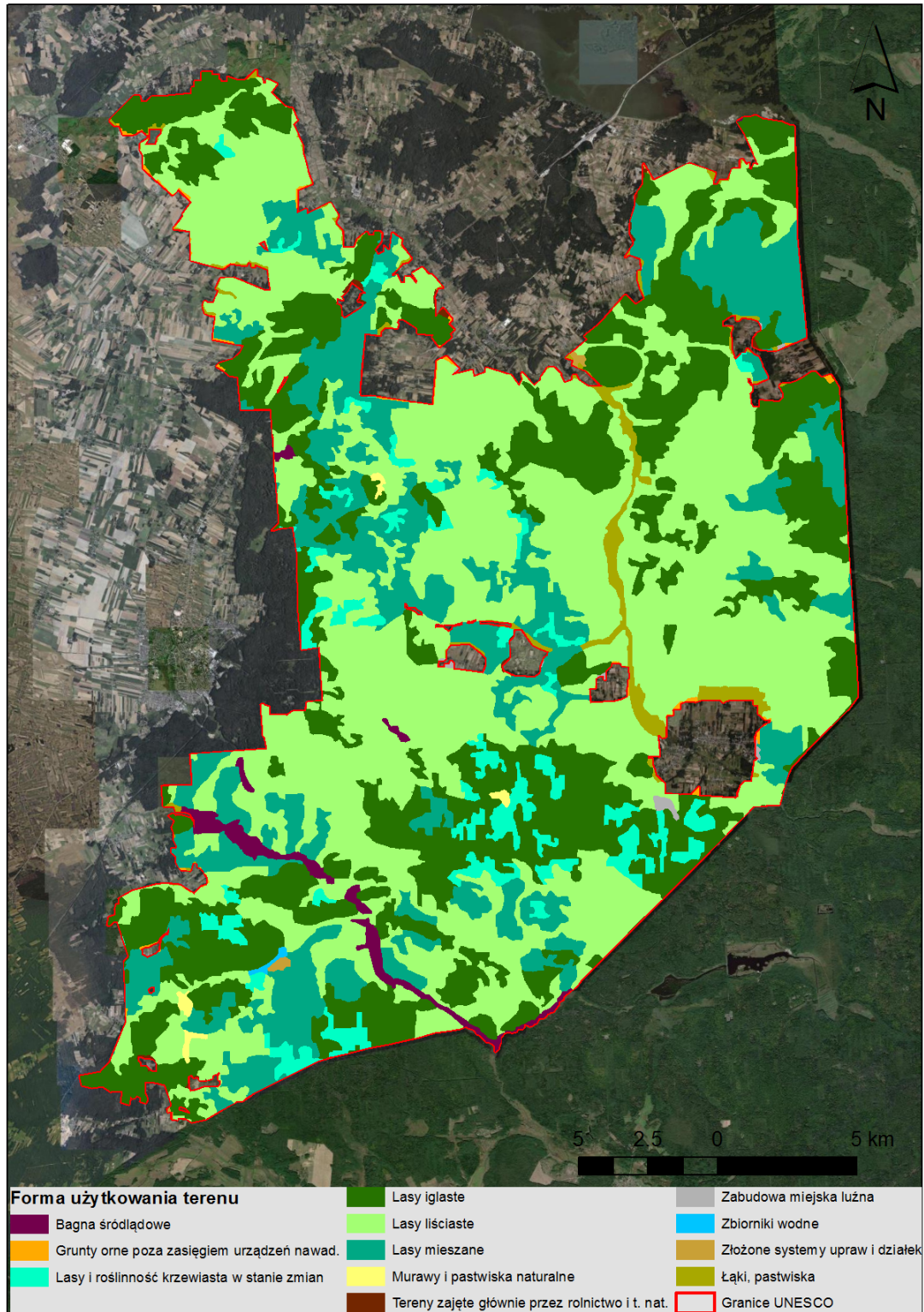


Rys. 2.34 Retencja [mm] na obszarze Puszczy Białowieskiej. Źródło danych: opracowanie własne na podstawie Corine Land Cover 2012.

Zgodnie z instrukcją metodologiczną SCS-CN (Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych, 1986) dla poszczególnych typów gleb przypisano odpowiednią klasę. Klasy gleb (od A do D) reprezentują stopniowo zmieniające się warunki przepuszczalności od najwyższego (A) do pośredniego (B-C) do najniższej (D) przepuszczalności (Rys. 2.35).



Rys. 2.35 Grupy glebowe wykorzystane w metodzie SCS-CN - dla obszaru Puszczy Białowieżskiej.
 Źródło danych: Mapa Glebowa Polski w skali 1;50000.



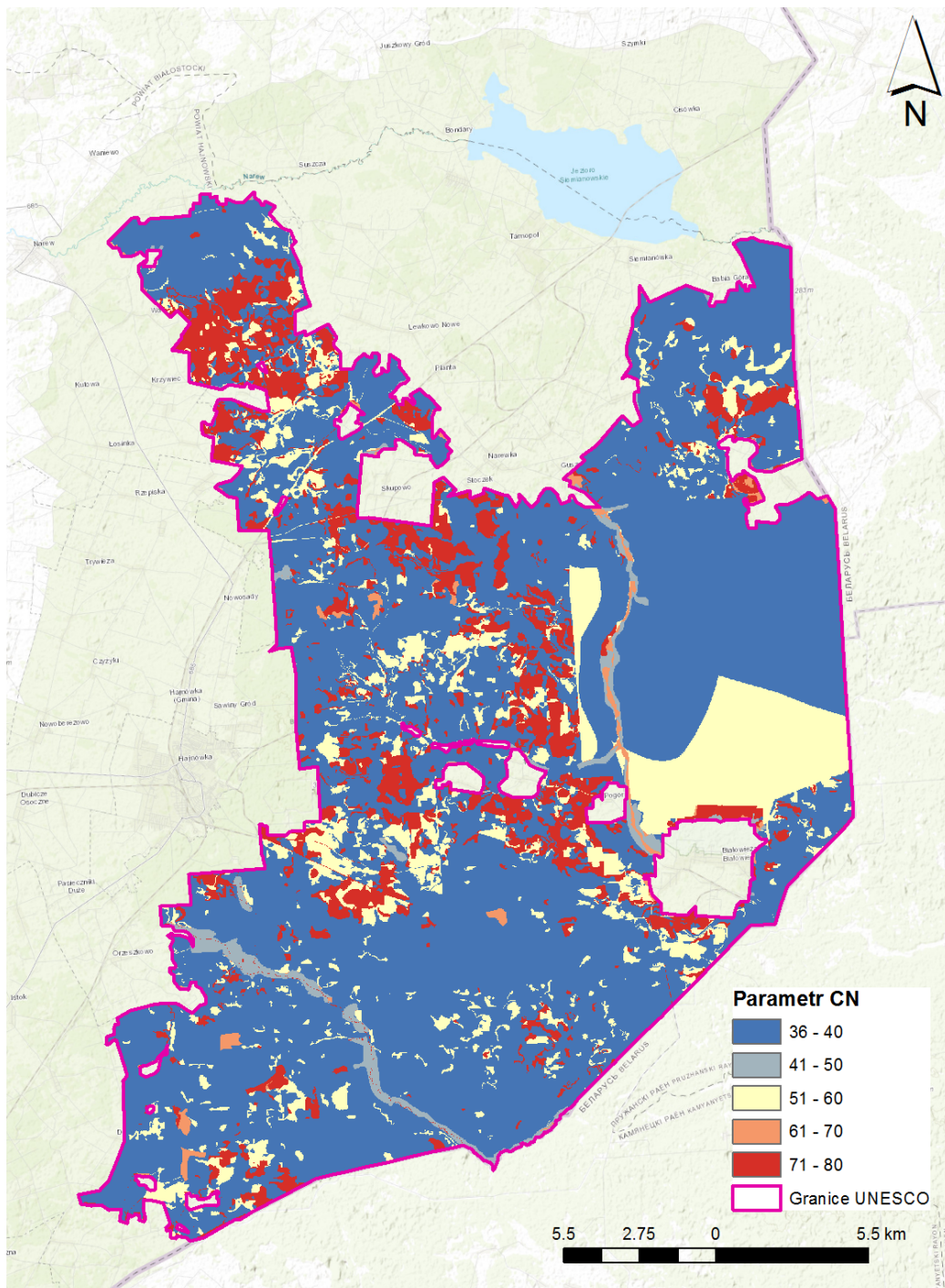
Rys. 2.36 Formy pokrycia terenu Puszczy Białowieskiej. Źródło danych: Corine Land Cover 2012.

Tab. 2.14 Wartości parametru CN dla poszczególnych typów gleb i rodzajów pokrycia terenu.

Lp.	Kod pokrycia terenu CLC2012	Klasa pokrycia terenu	Parametr CN metody SCS-CN			
			A	B	C	D
1	242	Złożone systemy upraw i działek	62	73	81	85
2	231	Pastwiska	49	69	78	84
3	313	Lasy mieszane	36	60	73	79
4	243	Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych	62	73	81	85
5	211	Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających	67	77	83	87
6	121	Tereny przemysłowe lub handlowe	89	92	94	95
7	132	Zwałowiska i hałdy	89	92	94	95
8	312	Lasy iglaste	36	60	73	79
9	112	Zabudowa miejska luźna	98	98	98	98
10	324	Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian	62	73	81	85
11	111	Zabudowa miejska zwarta	98	98	98	98
12	311	Lasy liściaste	36	60	73	79
13	142	Tereny sportowe i wypoczynkowe	68	79	86	89
14	122	Tereny komunikacyjne oraz tereny związane z komunikacją drogową i kolejową	89	92	94	95
15	511	Cieki	100	100	100	100
16	131	Miejsca eksploatacji odkrywkowej	89	92	94	95
17	321	Murawy i pastwiska naturalne	62	73	81	85
18	512	Zbiorniki wodne	100	100	100	100
19	141	Tereny zielone	68	79	86	89
20	411	Bagna śródlądowe	45	66	77	83
21	124	Lotniska	89	92	94	95
22	133	Budowy	89	92	94	95
23	222	Sady i plantacje	45	66	77	83
24	412	Torfowiska	45	66	77	83
26	322	Wrzosowiska i zakrzaczenia	45	66	77	83
27	333	Roślinność rozproszona	68	79	86	89

29	331	Plaże, wydmy, piaski	68	79	86	89
30	521	Laguny	100	100	100	100

Obliczenia przeprowadzono w procedurze opartej na Systemach Informacji Przestrzennej (GIS), z wykorzystaniem klasyfikacji wartości CN dla poszczególnych typów gleb i rodzajów pokrycia terenu (Tab. 2.14). W ostatnim etapie prac dokonano przyporządkowania przedziałów wartości parametru CN do poszczególnych klas (większa klasa wraz ze wzrastającymi wartościami parametru CN) – Rys. 2.37, Tab. 2.15.



Rys. 2.37 Rozkład przestrzenny parametru CN - Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.

Tab. 2.15. Klasy wartości parametru CN na potrzeby analizy wielokryterialnej – Puszcza Białowieża.

Przedziały wartości CN [-]	Klasa
0	0
36 – 40	1

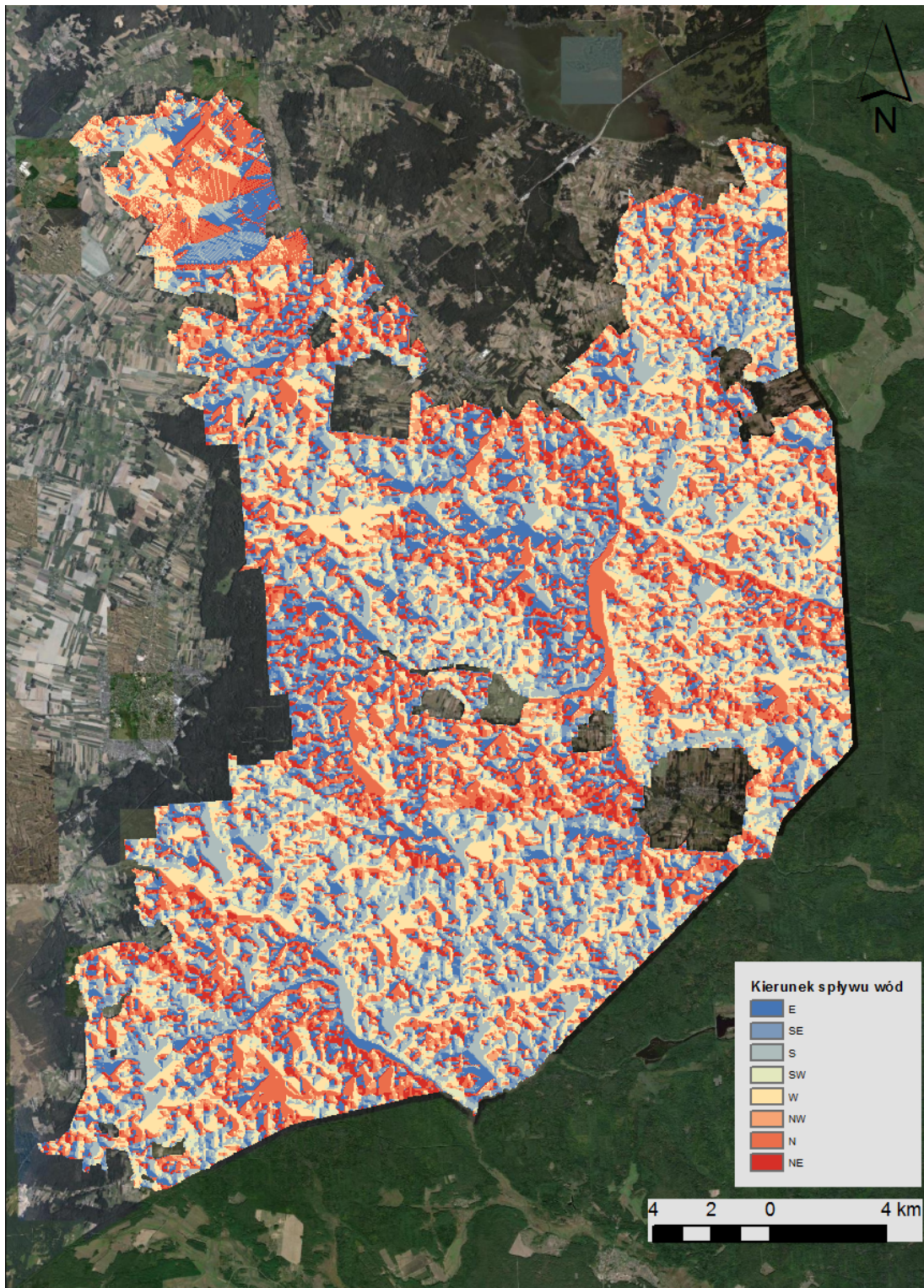
41 – 50	2
51 – 60	3
61 – 70	4
71 – 80	5

II.3.2.6 Akumulacja spływu wód

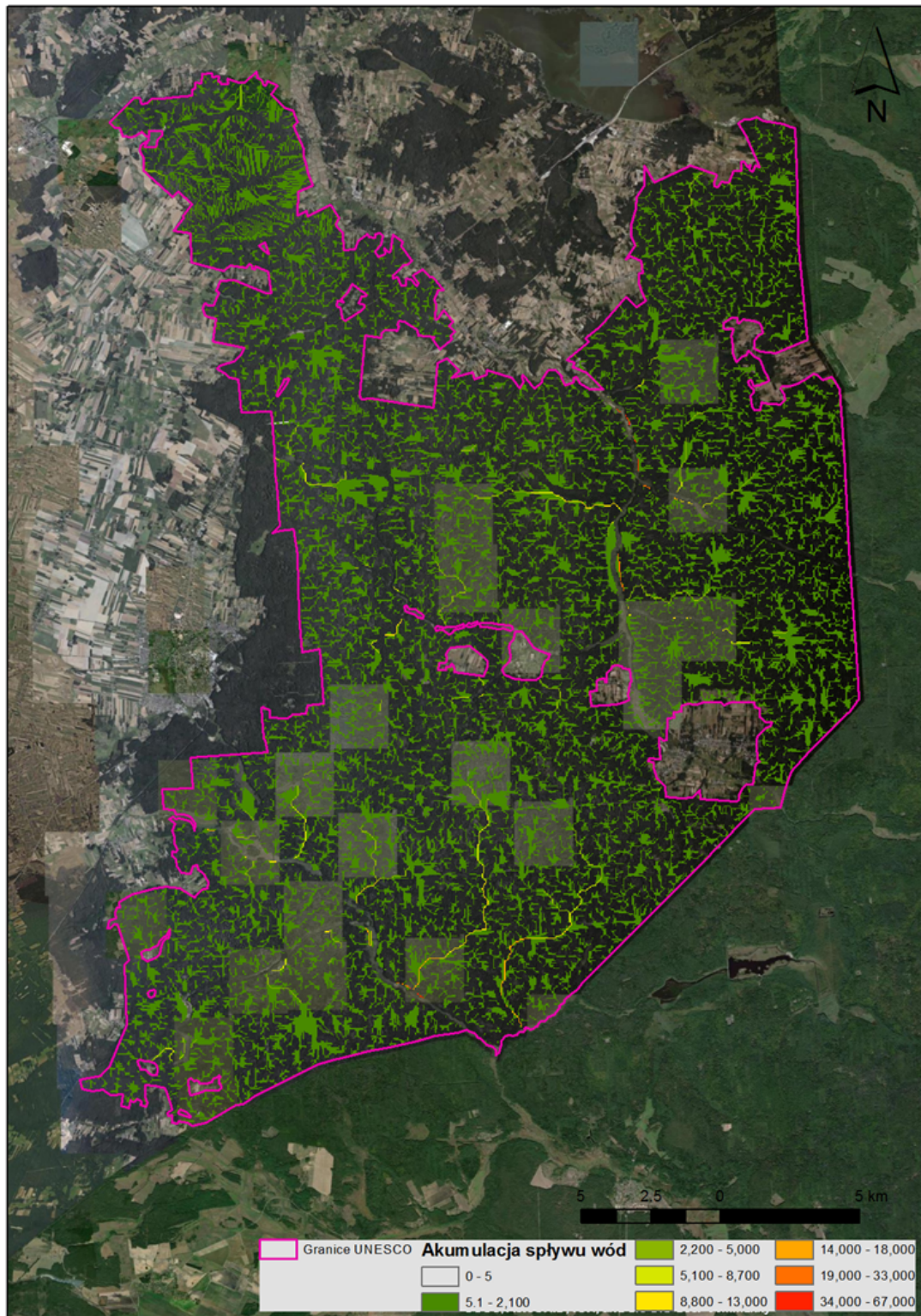
Kolejnym zagadnieniem uwzględnionym w analizie wielokryterialnej jest akumulacja spływu wód. Mapa akumulacji spływu (flow accumulation) jest kompozycją, w której każdej komórce przypisana jest liczba komórek, z jakich spływa do niej woda (tzw. komórek zasilających). Celem stworzenia mapy akumulacji spływu w pierwszej kolejności należy przygotować mapę kierunków spływu, która umożliwia określenie, w jaki sposób woda spływa po terenie. W systemach informacji przestrzennej GIS wygenerowano mapę kierunków spływu dla obszaru Puszczy Białowieskiej na podstawie Numerycznego Modelu Terenu CODGIK w rozdzielczości 5 m. Na podstawie wysokości komórek sąsiednich przypisano komórkom mapy rastrowej identyfikator, odpowiadający kierunkowi spływu. Zastosowano ośmiokierunkowy punktowy model spływu – D8. Mapę kierunków spływu dla obszaru Puszczy Białowieskiej przedstawiono na Rys. 2.38. W kolejnym kroku przygotowano mapę akumulacji spływu wód (Rys. 2.39) oraz sklasyfikowano przedziały wartości akumulacji spływu przy założeniach, że im większa wartość wskaźnika akumulacji spływu wód tym wyższa klasa (Tab. 2.16).

Tab. 2.16 Klasy akumulacji spływu wód w poszczególnych przedziałach.

Przedziały wartości akumulacji spływu wód [-]	Klasa
0 – 5	0
6 - 30	1
31 – 100	2
101 – 300	3
301 – 500	4
501 – 2000	5



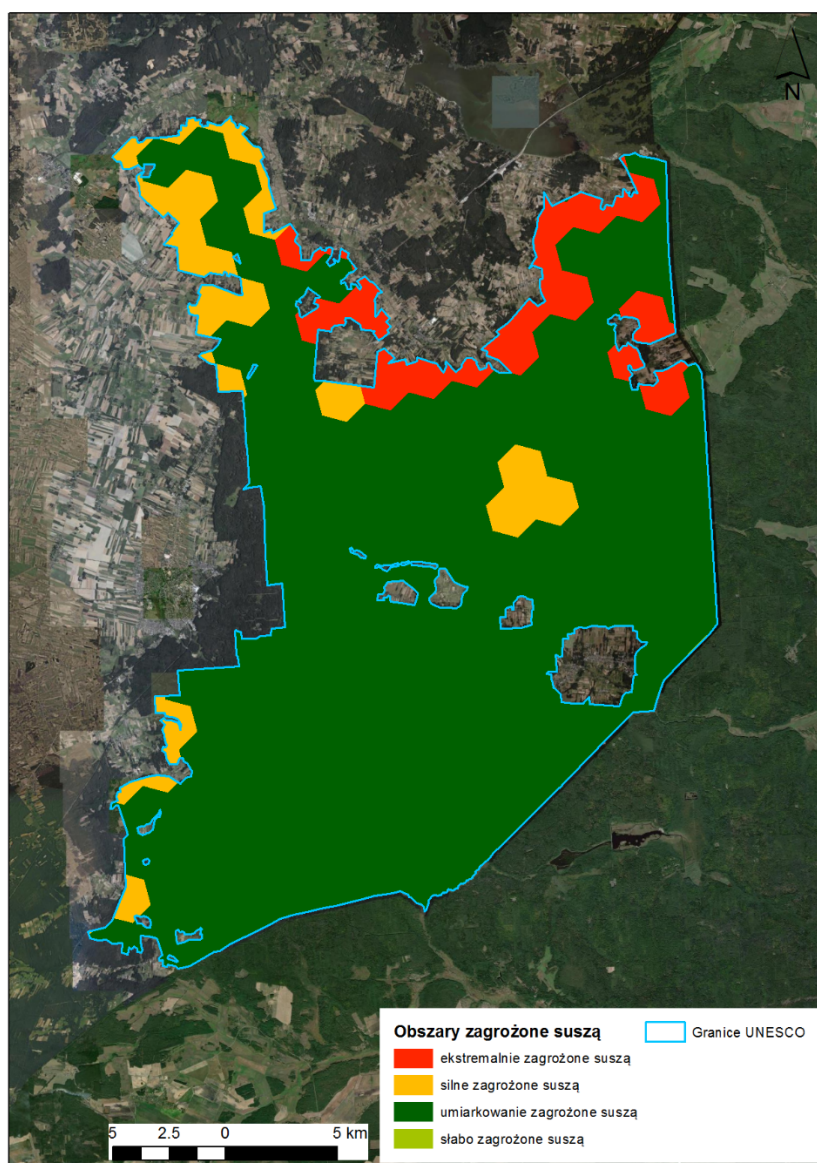
Rys. 2.38 Mapa kierunków spływu wód - Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.



Rys. 2.39 Mapa akumulacji spływu wód - Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.

II.3.2.7 Zagrożenie suszą

Niemal cały obszar Puszczy Białowieskiej w podobnie umiarkowanym lub wysokim stopniu jest narażony na suszę hydrologiczną (Rys. 2.40). Wynika to z faktu postępujących zmian klimatu: polaryzacji opadów i cieplejszych zim, przez co wiosenna retencja zlewni nie jest w dostatecznym stopniu wypełniana. Prowadzi to nawet do okresowego wysychania źródłowych partii rzek. Podczas analiz w systemach informacji przestrzennej, wykorzystano dane dotyczące obszarów zagrożonych suszą hydrologiczną, atmosferyczną, rolniczą, hydrogeologiczną a także sumaryczny wskaźnik zagrożenia suszą dla całego obszaru. Na Rys. 2.40 przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie sumarycznego wskaźnika zagrożenia suszą dla Puszczy Białowieskiej. Najbardziej narażona na występowanie suszy oraz jej negatywne skutki jest północna część analizowanego obszaru (ekstremalne zagrożenie suszą). Do potrzeb analizy wielokryterialnej wykorzystano łączny wskaźnik zagrożenia suszą i dokonano podziału wartości wskaźnika suszy na poszczególne klasy – im większe zagrożenie suszą tym wyższa klasa (Tab. 2.17).



Rys. 2.40 Obszary zagrożone suszą - Puszcza Białowieska.

Tab. 2.17 Klasy wskaźnika suszy - Puszcza Białowieska.

Przedziały wartości wskaźnika suszy [-]	Klasa
0	0
1 – 5	1
5,1 – 6	2
6,2 – 7	3
7,1 – 8	4
8,1 – 9	5

II.3.2.8 Kryterium wynikające z aktualizacji Planów Gospodarowania Wodami w Obszarach Dorzeczy (aPGW)

Ostatnim kryterium wziętym pod uwagę w priorytetyzacji strategicznych obszarów do renaturyzacji warunków hydrologicznych Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska była skala projektowanych działań, jakie zgodnie z aPGW mają mieć miejsce na ciekach znajdujących się na analizowanym obszarze. W tym celu, z najbardziej aktualnych materiałów będących wynikiem opracowania aPGW dla obszaru dorzecza Wisły wyselekcjonowano JCWP położone w zasięgu Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska oraz działania, które zostały zaplanowane do przeprowadzenia na tych ciekach. Spośród szeregu informacji wskazujących na planowane zadania wodnogospodarcze wybrano cztery kryteria, które powinny zostać wzięte pod uwagę w wyznaczaniu priorytetów działań:

- ocena ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych – aCWP, w których w aPGW stwierdzono zagrożenie osiągnięcia celów środowiskowych uzyskały punktację 5. JCWP, w których w aPGW nie stwierdzono zagrożenia osiągnięcia celów środowiskowych uzyskały punktację 0.
- zasięg oddziaływania działania - JCWP, w których w aPGW stwierdzono lokalny zakres oddziaływania (w domyśle – niskie oddziaływanie na środowisko cieków) uzyskały punktację 1. JCWP, w których w aPGW stwierdzono zlewniowy zakres oddziaływania (w domyśle – średnie oddziaływanie na środowisko cieków) uzyskały punktację 2. JCWP, w których w aPGW stwierdzono ponadzlewniowy zakres oddziaływania (w domyśle – wysokie oddziaływanie na środowisko cieków) uzyskały punktację 3.
- analiza efektywności kosztowej – w zależności od braku danych o efektywności kosztowej, bardzo niskiej, niskiej, średniej, wysokiej i bardzo wysokiej efektywności kosztowej poszczególnym puszczańskim JCWP przypisano odpowiednio od 0 do 5 punktów.
- skuteczność w osiągnięciu celów środowiskowych – w zależności od braku danych o skuteczności osiągnięcia w planowanych działaniach celów środowiskowych poprzez bardzo niską, niską, średnią, wysoką i bardzo wysoką skuteczność osiągnięcia celów środowiskowych, poszczególnym puszczańskim JCWP przypisano odpowiednio od 0 do 5 punktów. Punktację wynikającą z powyższego rankingu zsumowano, a wartość podzielono przez 5 otrzymując wartość wskaźnika skuteczności aPGW dla wszystkich analizowanych JCWP (Tab. 2.18).

Tab. 2.18 Klasy wskaźnika aPGW - Puszcza Białowieska.

JCWP	Wskaźnik aPGW
-------------	----------------------

Biała do granicy Państwa	2.68
Braszcza	2.55
Hwoźna	2.60
Jabłoniówka	2.53
Jelonka	2.40
Jelonka	2.60
Krzywczanka	2.56
Leśna	2.63
Lutownia	2.54
Narewka do Jelonki	1.53
Narewka od Jelonki do ujścia	2.90
Okulinka	2.60
Orlanka do Orlej	2.68
Prosty Rów	2.60
Przedzielna	2.76
Waliczkówka	2.60

II.3.2.9 Kryterium wykonalności

Ze względu na charakterystykę własności gruntów położonych w granicach Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska (własność prywatna, własność Lasów Państwowych, BPN) przyjęto oraz mając na uwadze idące za tym uwarunkowania prawne i społeczne przyjęto, że wykonanie i wdrożenie działań zwiększających zasoby wodne Puszczy jest formalnie najprostsze na obszarach zarządzanych przez Nadleśnictwa a najtrudniejsze – w granicach BPN, gdzie zapisy planu ochrony znacząco utrudniają możliwość przeprowadzenia działań renaturyzacyjnych.

Tab. 2.19 Klasy wskaźnika wykonalności - Puszcza Białowieska.

Przedziały wartości wskaźnika suszy [-]	Klasa
Białowieski Park Narodowy	1
Lasy Państwowe	2

Wartość ilościową tego kryterium zastosowano jako mnożnik sumarycznej wartości kryteriów ilościowych w celu lepszego zobrazowania rzeczywistej możliwości wprowadzenia działań renaturyzacyjnych.

II.3.3 Priorytetyzacje podjęcia działań renaturyzacyjnych

Na podstawie opisanych założeń oraz ilościowych kryteriów przyjęto, że priorytetyzacja działań na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska powinna wynikać z trzech odmiennych z założeń.

- **Ranking 1 - ogólny** – najważniejsze obszary dla zachowania zasobów wodnych Puszczy Białowieskiej charakteryzują się najwyższym miejscem w rankingu sumarycznym wszystkich przedstawionych kryteriów ilościowych oraz najprostszą wykonalnością. Priorytetyzację

przeprowadzono na podstawie wartości wskaźnika sumy kryteriów ilościowych pomnożonej przez wartość kryterium wykonalności.

- **Ranking 2 - hydrologiczny** – najważniejsze obszary dla zachowania zasobów wodnych Puszczy Białowieskiej są te, w których można prowadzić działania zmierzające do spowolnienia spływu powierzchniowego. Priorytetyzację przeprowadzono na podstawie wartości wskaźnika sumy kryteriów ilościowych gęstości zagłębień bezodpływowych, gęstości sieci melioracyjnej, parametru CN oraz koncentracji spływu powierzchniowego pomnożonej przez wartość kryterium wykonalności.

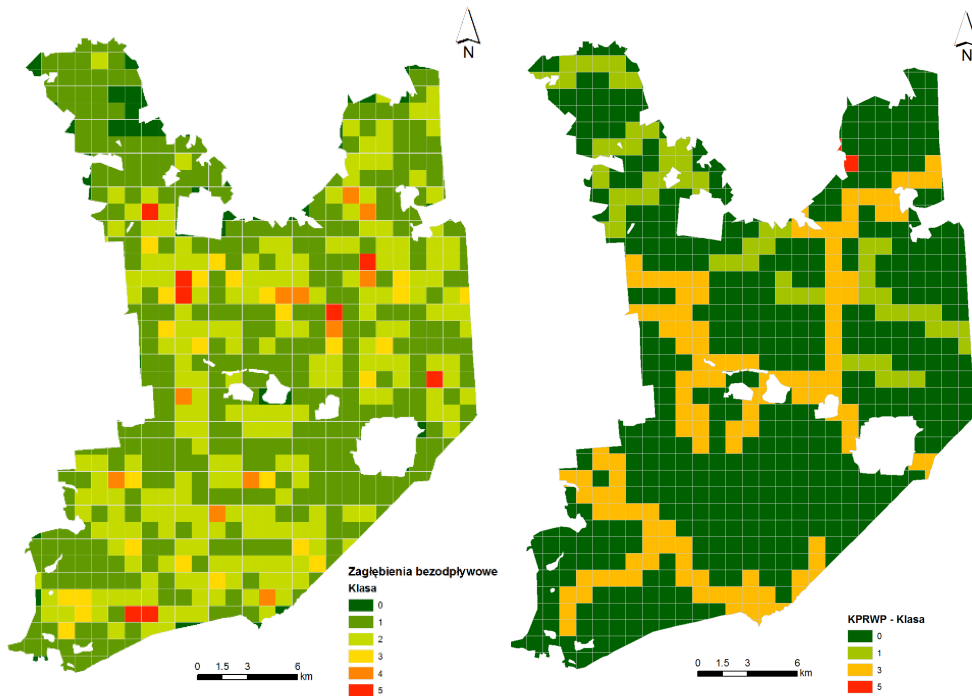
- **Ranking 3 - węglowy** – obszarami priorytetowymi dla renaturyzacji są te, na których działania mogą poprawić warunki sekwestracji węgla w glebach. Priorytetyzację przeprowadzono na podstawie wartości wskaźnika sumy kryteriów ilościowych występowania torfowisk i gęstości sieci melioracyjnej pomnożonej przez wartość kryterium wykonalności.

II.4 Wyniki

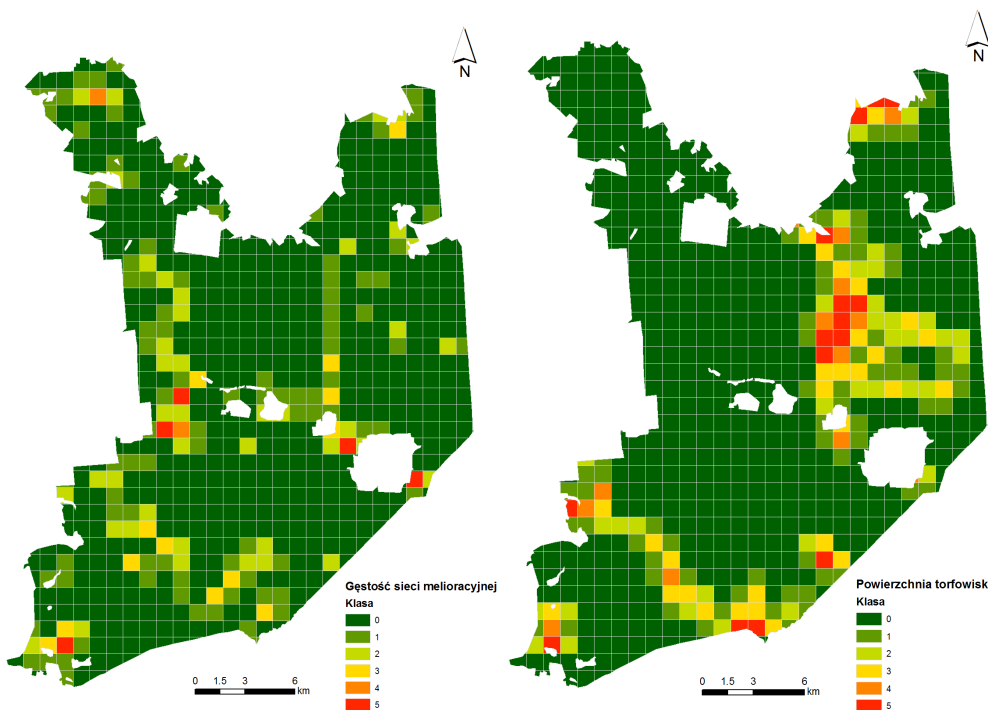
Zgodnie z przyjętymi założeniami metodycznymi, w każdym z pól podstawowych obszaru analizy zdefiniowano ilościowe wartości poszczególnych wskaźników (Rys. 2.41-2.45) a następnie dokonano ich przeliczenia w zakresie trzech rankingów (Rys. 2.46-2.48).

Wyniki rankingu 1 (ogólnego) pokazują, że obszary o najwyższym priorytecie renaturyzacji procesów hydrologicznych znajdują się w południowej oraz zachodniej części Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. Swym zasięgiem obejmują dolinę Leśnej oraz Łutowni jak również część strefy wododziałowej Narwi Bugu (Rys. 2.46). Wysokie priorytety stwierdzono również w północnej części Puszczy, w okolicach Masiewa, co ma związek z relatywnie dużym udziałem torfowisk w powierzchni pól podstawowych tego terenu oraz relatywnie wysokiego zagrożenia suszą, pomimo bliskości Zbiornika Siemianówka. Wyniki rankingu 2 (hydrologicznego) znacząco nie odbiegają od wyników rankingu ogólnego, pozostawiając najwyższe priorytety działania w celu poprawy zasobów wodnych Puszczy Białowieskiej w jej południowej i zachodniej części. Zgodnie z wynikami rankingu 3 (węglowego) obszary priorytetowe, na których należy podjąć działania zmierzające do poprawy uwodnienia gleb torfowych w celu poprawy warunków sekwestracji węgla znajdują się w dolinie rzeki Leśnej, Narewki (blisko granicy Państwa), Masiewa oraz w okolicach m. Krągle i Wygon w południowo-zachodniej części analizowanego obszaru.

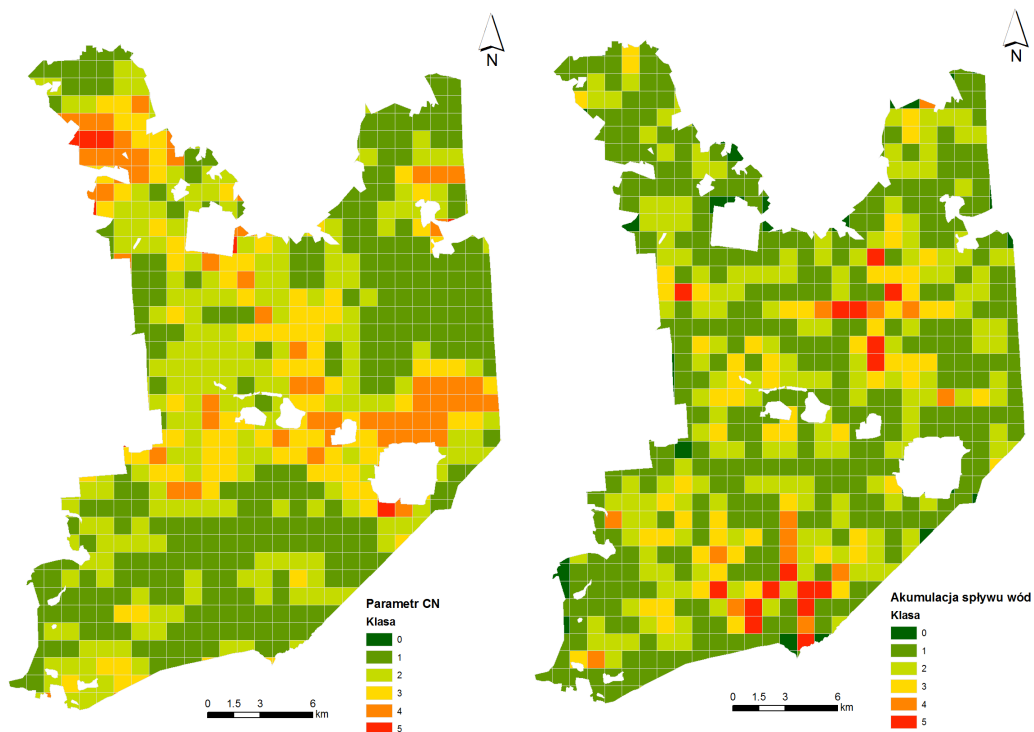
Bez względu na kryteria rankingowe, biorąc pod uwagę poszczególne mapy przedstawionych ilościowo zjawisk warunkujących przebieg procesów hydrologicznych, w każdej części Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska występują możliwości podejmowania określonych działań renaturyzacyjnych.



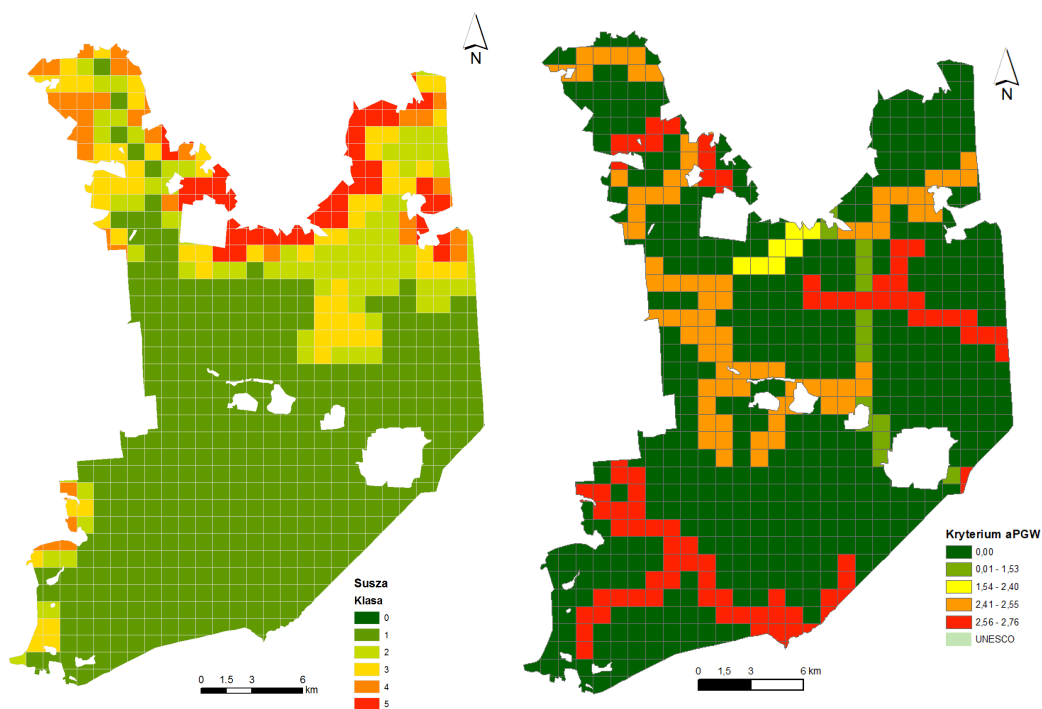
Rys. 2.41 Wskaźnik gęstości zagłębień bezodpływowych oraz wskaźnik istotności renaturyzacji rzek na przestrzenne zróżnicowanie na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.



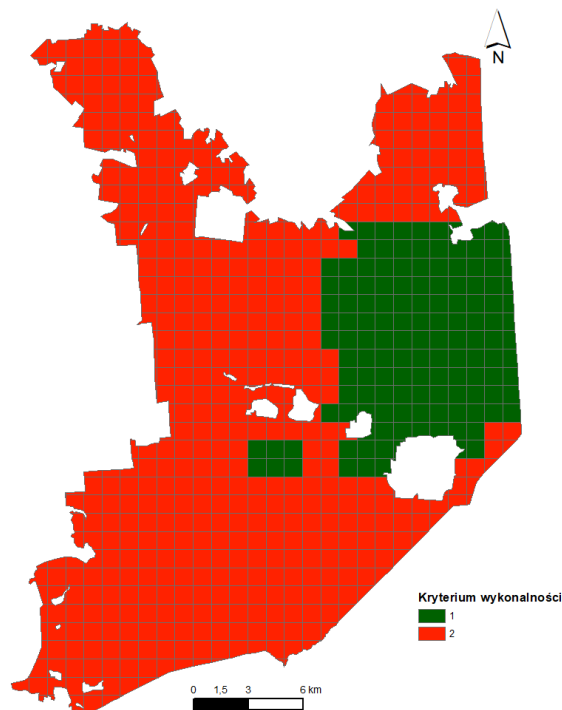
Rys. 2.42 Wskaźnik gęstości sieci melioracyjnej oraz udziału torfowisk na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.



Rys. 2.43 Wskaźnik parametru CN oraz miejsc koncentracji spływu powierzchniowego na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.



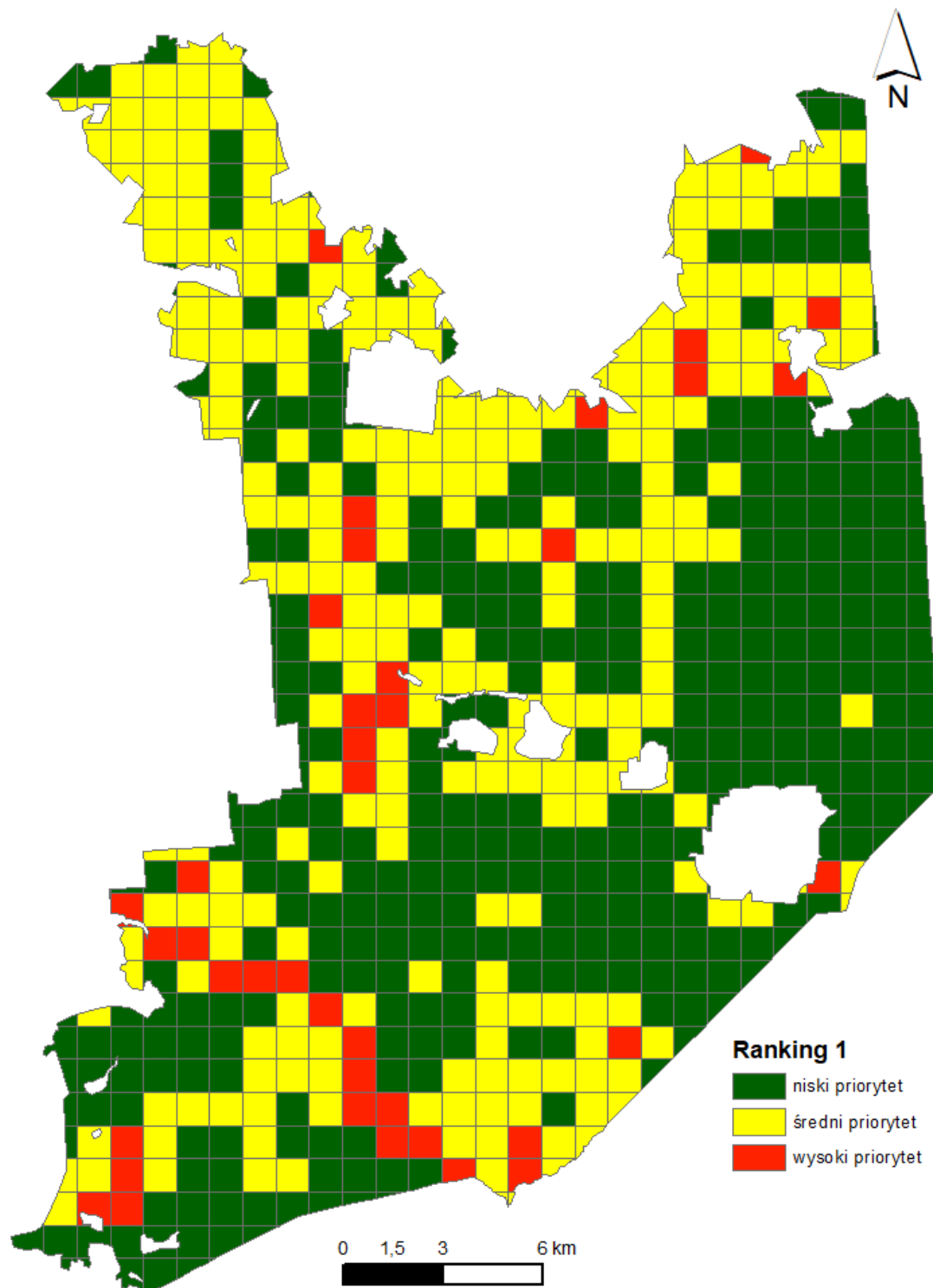
Rys. 2.44 Wskaźnik parametru zagrożenia suszą oraz kryterium aPGW na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.



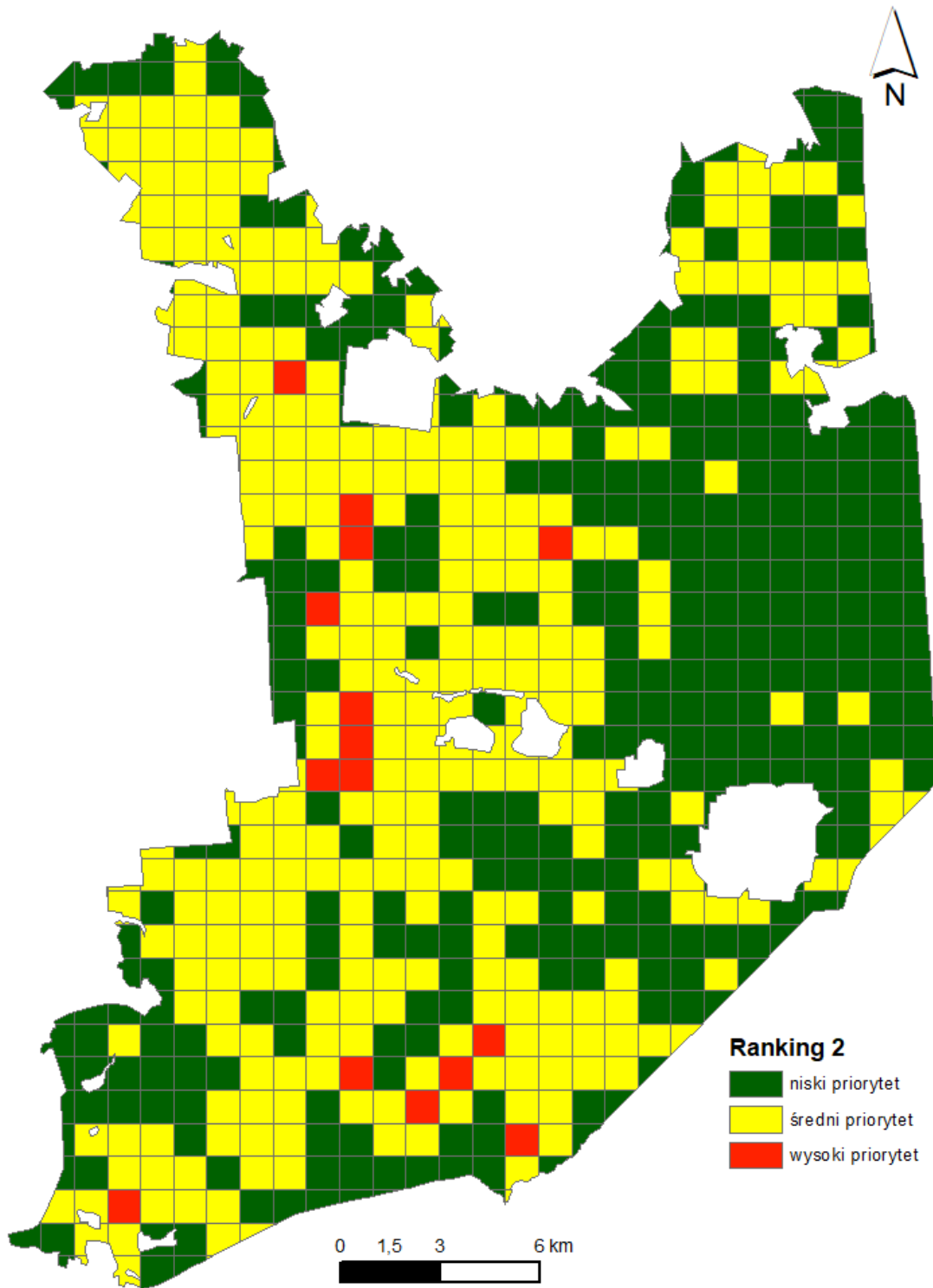
Rys. 2.45 Wskaźnik kryterium wykonalności działań renaturyzacyjnych na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża. Źródło danych: opracowanie własne.

Końcowy wynik priorytetyzacji wynika z wartości przypisanych poszczególnym kryteriom ilościowym oraz założeniom wynikającym z wykonalności. Wyniki mogłyby ulec zmianie, gdyby np. w Białowieżskim Parku Narodowym zaszła potrzeba wyczerpująca zapisy Planu Ochrony mówiące o pojawieniu się możliwości prowadzenia działań technicznych (w tym renaturyzacji hydrologicznej) gdyby przedmioty ochrony BPN uległyby zagrożeniu. Jakkolwiek, w świetle wartości większości poszczególnych kryteriów najważniejsze obszary, na których należałoby podjąć działania zmierzające do poprawy i odnawialności zasobów wodnych znajdują się poza granicami BPN. Pozwala to więc domniemywać, że podjęcie działań renaturyzacyjnych na obszarze Puszczy poza BPN mogą zostać podjęte w relatywnie krótkim czasie pod warunkiem właściwej oceny ich oddziaływania na ekosystemy Puszczy Białowieżskiej wykluczającej oddziaływanie prac zmieniających lokalne stosunki wodne na przedmioty ochrony BPN, w tym – głównie – na obszar ochrony ścisłej.

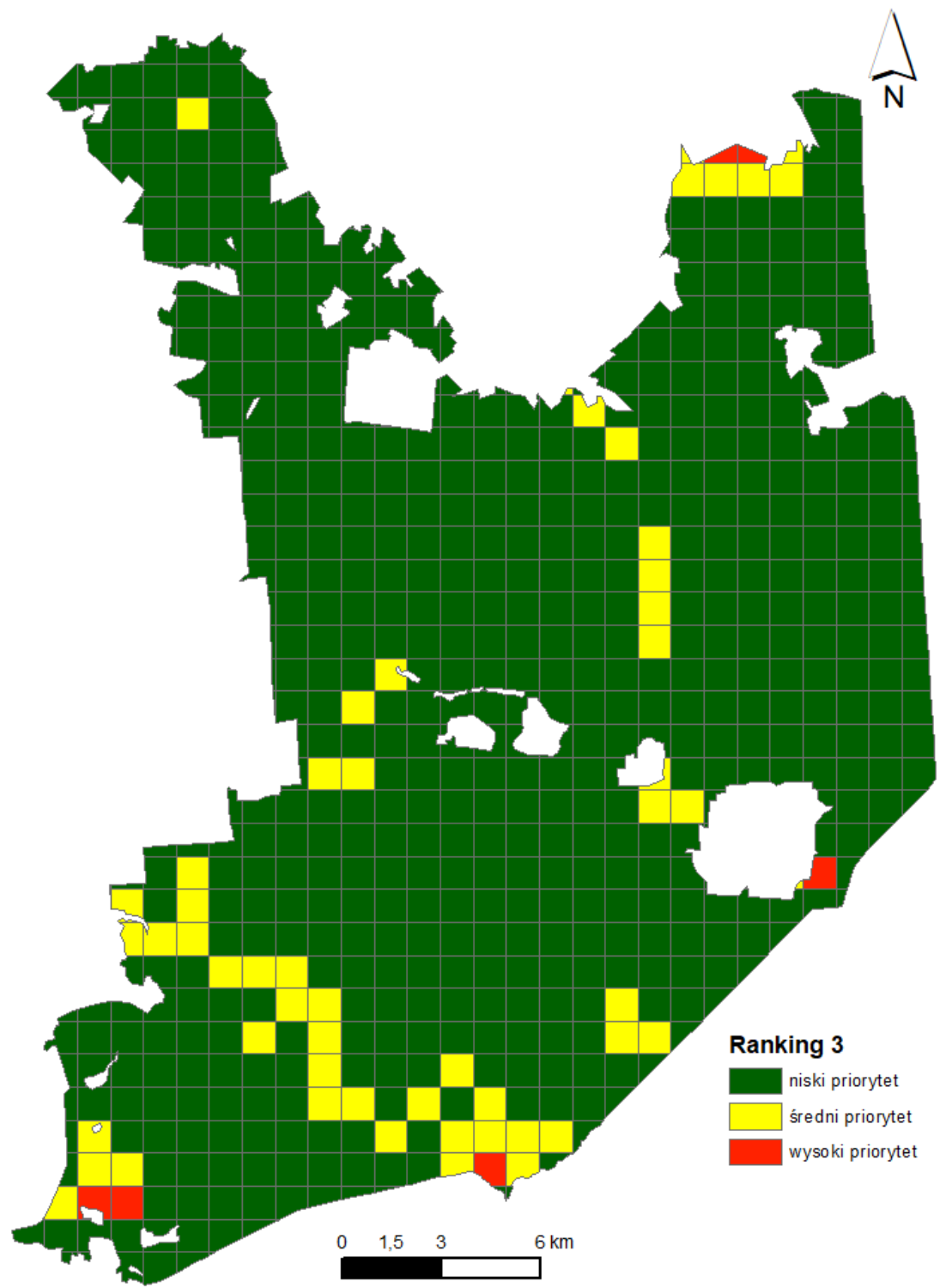
Przedstawiona wizja strategii i priorytetyzacji obszarów wymagających podjęcia działań renaturyzacyjnych, pomimo wykorzystania nieco innych kryteriów oceny, jest zbieżna z wynikami prac Ksepko i in. (2021). Wskazywane przez nich zmienne środowiska (m.in. zawartość wody w glebie oraz stan i lokalizacja urządzeń piętrzących) oraz wykonane na ich podstawie analizy hydrologiczne również wskazują potrzebę poprawy warunków infiltracji wód na obszarach wysoczyznowych oraz intensyfikację działań spowalniania odpływu powierzchniowego. Co ciekawe, w podobny sposób interpretują wykonalność działań, kładąc nacisk na działania rozproszone w zlewni w celu możliwie szybkiego ich podjęcia (głównie na obszarach zarządzanych przez Lasy Państwowe) bez konieczności ich harmonizacji z zapisami Planów Gospodarowania Wodami Obszarów Dorzeczy (a więc – podejmowanie działań nie bezpośrednio w ciekach, ale głównie na obszarze ich zlewni). Pozwoli to na zwiększenie zasilania wód podziemnych w obszarze wododziałowym Narwi i Bugu oraz wpłynie na poprawę wielkości i odnawialności zasobów wodnych.



Rys. 2.46 Priorytetyzacja Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża pod kątem konieczności prowadzenia działań renaturyzacyjnych dążących do poprawy oraz zwiększenia odnawialności zasobów wodnych. Ranking 1. Źródło danych: opracowanie własne.



Rys. 2.47 Priorytetyzacja Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża pod kątem konieczności prowadzenia działań renaturyzacyjnych dążących do poprawy oraz zwiększenia odnawialności zasobów wodnych. Ranking 2. Źródło danych: opracowanie własne.



Rys. 2.48 Priorytetyzacja Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża pod kątem konieczności prowadzenia działań renaturyzacyjnych dążących do poprawy oraz zwiększenia odnawialności zasobów wodnych. Ranking 3. Źródło danych: opracowanie własne.

II.4 Główne etapy prac i ich wykonalność, uwzględniając szacunkowe koszty

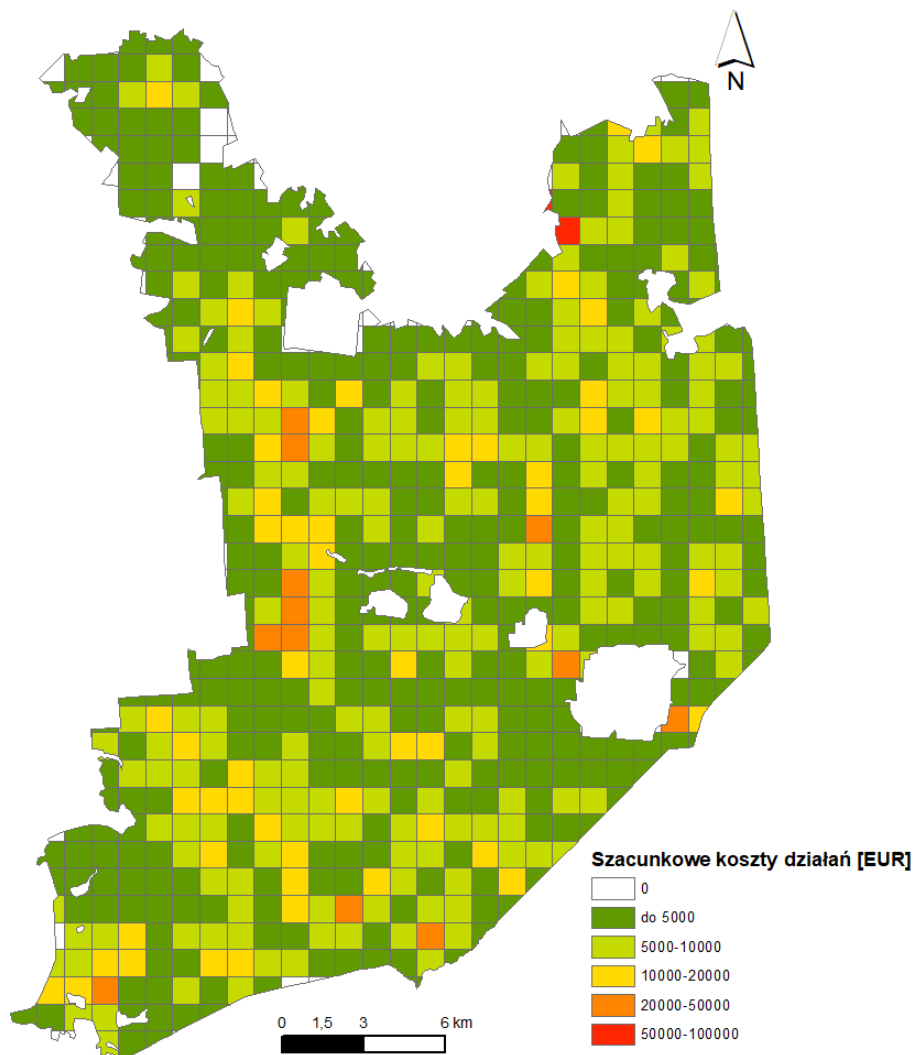
Wycena działań renaturyzacyjnych jest ściśle uzależniona od miejsca ich prowadzenia oraz prac koniecznych do wykonania przed podjęciem renaturyzacji (np. pomiary terenowe, obliczenia, wykupy gruntów, monitoring). Z tego względu, każda wycena renaturyzacji na poziomie strategii jest obciążona dużym błędem. W przypadku szacunkowej wyceny działań renaturyzacyjnych Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska przyjęto szereg założeń, a ostateczna wycena obejmuje swym zakresem jedynie prace, dla których można było przyjąć szacunkowe koszty jednostkowe lub pozyskać je z innych publikowanych źródeł. Wyceniane działania obejmowały blokowanie odpływu z rowów melioracyjnych, odtwarzania zagłębień bezodpływowych poprzez blokowanie przepływu powierzchniowego w miejscach topograficznie wyznaczonej kumulacji przepływu (poza korytami cieków, na terenie) oraz wycenę renaturyzacji rzek pozyskaną z KPRWP (Biedroń i in., 2020).

Przy wycenie blokowania odpływu z systemów melioracyjnych posłużono się algorytmem SEVIPEAT (Grygoruk i in., 2022)² pozwalającym na planowanie powtórnego uwadniania torfowisk. Na podstawie mapy spadków oraz przyjętych umownie danych o geometrii rowów melioracyjnych (głębokość 1,5 m, szerokość w dnie 1,0 m, szerokość w koronie 3,0 m) obliczono, że średnio na 1 km rowu melioracyjnego należy zbudować 4 piętrzenia o wysokości około 1,2 m. Za jednostkowy koszt piętrzenia przyjęto 2000 EUR, co jest zgodne z przeglądem kosztów blokowania odpływu z systemów melioracyjnych dokonanego przez Stachowicz i in. (2022). Znając gęstość sieci melioracyjnej na analizowanym obszarze (por. Rys. 2.32) możliwe więc było szacunkowe obliczenie całkowitego kosztu odtworzenia odpowiednich dla zachowania procesu torfotwórczego warunków hydrologicznych przy założeniu możliwości odtworzenia wszystkich przesuszonych systemów melioracyjnych. Łączny koszt budowy piętrzeń na rowach melioracyjnych w celu spowolnienia odpływu powierzchniowego z obszaru przesuszonych mokradeł na analizowanym obszarze wyniósł około 0,22 mln EUR.

Przy wycenie odtwarzania zagłębień bezodpływowych przyjęto, że w celu spowolnienia odpływu powierzchniowego z 1 ha obszaru zagłębienia bezodpływowego w krajobrazie leśnym należy ponieść koszty rzędu 1000 EUR, co pokrywa materiał (np. rumosz drzewny, który można układać w miejscach koncentracji spływu powierzchniowego) oraz doraźne prace ziemne i robociznę. Znając powierzchnię zagłębień bezodpływowych, w których takie działanie jest możliwe, było więc można określić łączny koszt tego działania w skali całego poziomu strategii jest obciążona dużym błędem. W przypadku szacunkowej wyceny działań renaturyzacyjnych Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. Łączny koszt odtworzenia dobrych warunków infiltracji w zagłębieniach bezodpływowych na analizowanym obszarze wyniósł około 2,64 mln EUR.

Przy wycenie kosztów renaturyzacji rzek posłużono się danymi podanymi w KPRWP (Biedroń i in., 2020). Całkowity koszt renaturyzacji dla danej JCWP podzielono na długość rzek w danej JCWP a następnie pomnożono przez długość tej rzeki w granicach Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. Łączny koszt renaturyzacji rzek na analizowanym obszarze wyniósł około 0,7 mln EUR.

² Servepeat.sggw.edu.pl



Rys. 2.49 Szacunkowe, sumaryczne koszty działań odtwarzania zagłębi bezodpływowych, renaturyzacji rzek oraz spowalniania odpływu z systemów melioracyjnych. Źródło danych: opracowanie własne.

Łączny szacunkowy koszt działań renaturyzacyjnych (bez uwzględnienia kosztów ich szczegółowego planowania oraz sprawozdawczości i monitoringu skuteczności) zgodnie z przyjętymi założeniami oszacowano na około 3,56 mln EUR. Wartość tą należy uznać za obarczoną niedoszacowaniem. Należałoby do niej dodać koszty sporządzenia projektów działań oraz monitoringu, które są uzależnione od cech fizjograficznych renaturyzowanych/przebudowywanych obiektów, jak również koszty innych potencjalnych działań renaturyzacyjnych, które mogłyby być wprowadzone w innej formie. Takie uszczegółowienie nie było możliwe na etapie opracowania strategii.

II.5 Wpływ stosunków wodnych na Puszcę jako ekosystem leśny

Postępujące zmiany klimatu oraz reakcja zlewni rzek płynących na Obszarze Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieża mają znaczący wpływ na ekosystemy leśne. Przede wszystkim, obniżające się dno puszczańskich rzek wraz z obniżającymi się stanami wód podziemnych powodują zwiększenie drenażu zlewni leśnych i przesuszenie siedlisk. Boczoń i in. (2018) szacują, że w wyniku pogłębiających się niżówek puszczańskich rzek przesuszeniu ulegają siedliska świerka. Pomimo wielu naturalnych cech obserwowanych w ostatnich latach gradacji kornika drukarza można podejrzewać, że niskie stany wód podziemnych oraz niedostateczna wilgotność gleb może

wspomagać gradacje i osłabiać drzewostany świerkowe. Zlewniowe oddziaływania hydrologiczne na transgraniczną zlewnię rz. Narewki (funkcjonowanie Zbiornika Siemianówka powodujące obniżenie bazy erozyjnej Narwi poniżej zapory oraz przyspieszony drenaż wód Narewki przez Narew; okresowe deficyty odpływu mogące być spowodowane rozruchową fazą powtórnego uwadniania torfowisk w białoruskiej części Puszczy Białowieskiej) mogą doprowadzić do stopniowego zaniku odpływu Narewki (Grygoruk i in., 2021). To z kolei może mieć negatywne konsekwencje nie tylko dla siedlisk leśnych, ale również zaburzać prowadzone obserwacje przyrodnicze, w tym również te na terenie obszaru ochrony ścisłej BPN. Pogłębiające się niżówki Narewki na przestrzeni ostatnich 70 lat oddziałują bowiem na całą zlewnię tej rzeki, a wododziałowe położenie lewobrzeżnych dopływów Narewki będzie powodować coraz dłuższe i coraz głębsze deficyty ich odpływu.

W świetle przedstawionych i udokumentowanych oddziaływań ograniczonych zasobów wodnych na stan siedlisk Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska zarówno na terenie Polski jak i Białorusi należy dążyć do wspólnych działań pozwalających na (1) wspomaganie zasilania wód podziemnych na obszarze Puszczy, (2) spowalnianie odpływu powierzchniowego zarówno w korytach cieków (rzek i rowów melioracyjnych) jak również w miejscach topograficznej koncentracji spływu powierzchniowego, (3) ograniczania obniżenia się bazy erozyjnej rzek poprzez ich renaturyzację jak również działania zlewniowe mogące ograniczyć zewnętrzne oddziaływania hydrologiczne na ekosystemy leśne Puszczy Białowieskiej. W szczególności istotny wydaje się dialog interesariuszy (w tym z PGW Wody Polskie), którzy poprzez stosowanie dobrych praktyk w zarządzaniu rzekami mogą ograniczyć negatywne oddziaływania pogarszających się zasobów wodnych na siedliska leśne analizowanego obszaru.

II.6 System monitoringu

Oczekiwaną miarą skuteczności działań renaturyzacji hydrologicznej Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska byłoby spowolnienie lub odwrócenie malejącego trendu stanów wód podziemnych oraz zmniejszenie czasów trwania i objętości deficytów niżówek najważniejszych puszczańskich rzek. Ustabilizowanie i podniesienie najniższych stanów wody tych rzek oraz zapobieżenie zanikom przepływu. Osiągnięcie skuteczności działań renaturyzacyjnych, nawet w warunkach istniejących oraz jeszcze nieznanego ryzyka niepowodzenia projektu, jest możliwe (Grygoruk i in., 2021). Zaleca się, by już na etapie planowania projektu renaturyzacji zaproponować monitoring stanów wód powierzchniowych i podziemnych. W przypadku wód powierzchniowych zaleca się prowadzenie regularnych pomiarów stanów wody wszystkich puszczańskich rzek, ze szczególnym uwzględnieniem zapewnienia możliwości kontynuacji (ciągłości) już istniejącego monitoringu, w tym w BPN oraz Nadleśnictwach. Wydaje się, że rozbudowa systemu monitoringu stanów wód podziemnych w Puszczy (np. w sąsiedztwie miejsc często odwiedzanych przez pracowników Lasów Państwowych lub Białowieskiego Parku Narodowego) mogłaby z jednej strony znacząco rozszerzyć wiedzę o zasobach wodnych Puszczy Białowieskiej, a z drugiej – być elementem edukacji przyrodniczej podkreślającej rolę wody w środowisku lasu. Zaleca się, by monitoring był technicznie jak najprostszy (np. rzadsze, lecz regularne i niezależne od pory roku standardowe pomiary stanów wody w piezometrach/studzienkach monitoringowych zamiast ciągłego monitoringu automatycznego wymagającego przetwarzania danych).

Równocześnie zaleca się rozpoczęcie monitoringu hydrologicznego wód podziemnych oraz cieków referencyjnych, położonych poza zasięgiem oddziaływania ewentualnie podejmowanych działań renaturyzacyjnych. Celem pomiarów referencyjnych jest określenie, czy wychwycone trendy zmian położenia zwierciadła wody/przepływów/wód podziemnych wynikają z przeprowadzonych działań renaturyzacyjnych, czy też odzwierciedlają regionalny trend zmian hydrologicznych.

System monitoringu prowadzony przez poszczególne podmioty odpowiedzialne za zarządzanie Puszcą oraz za ochronę jej przyrody powinny umożliwiać spójną interpretację ich wyników w celu uzyskania pełnego obrazu sytuacji hydrologicznej obszaru. Niestety, pomiary wykonywane przez Służbę Hydrologiczno-Meteorologiczną oraz Państwową Służbę Hydrogeologiczną obejmują swym zasięgiem jedynie niewielkie obszary Puszczy. O ile zatem jakość tych danych jest na odpowiednim i umożliwiającym syntetyczną analizę poziomie, o tyle ich uzupełnienie o monitoring mniejszych cieków oraz siedlisk leśnych może pozwolić na wychwycenie swoistych reakcji tych obiektów na renaturyzację lub ich odpowiedzi na zmieniające się wymuszenia zewnętrzne i wewnętrzne. W zakresie monitoringu ekosystemów zależnych od wód wydaje się, że należy prowadzić regularne (co kilka lat) kompleksowe analizy zmian zasięgów występowania roślin (np. zakrzaczeń na łąkach, gdzie nie jest prowadzona gospodarka rolna) oraz hydromorfologii rzek, w celu zdobywania materiału referencyjnego. Jego wartość za kilkadziesiąt lat może być porównywalna z jakością i wagą dostępnych materiałów publikowanych w czasach historycznych (np. Hedeman, 1939). Jest to szczególnie istotne w warunkach ocieplającego się klimatu oraz znaczących, malejących trendów położenia zwierciadła wody. Może to bowiem sprawić, że dziś jeszcze istniejące cieki stałe staną się w nieodległej przyszłości okresowymi zbiornikami wodnymi. Istnieje nadzieja, że na podstawie prowadzonego monitoringu skuteczności ewentualnych działań restytucji zbliżonych do naturalnych procesów hydrologicznych uda się dobrać je tak, by mogły adaptacyjnie przeciwdziałać ryzykom hydrologicznym, które na obecnym etapie wiedzy mogą być trudne do przewidzenia.

III. Podsumowanie i wnioski

Renaturyzacja hydrologiczna Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska już na etapie jej planowania jest zadaniem niezwykle złożonym. Sytuacja hydrologiczna Puszczy wymaga podjęcia działań zmierzających do spowolnienia, lub – o ile to możliwe w warunkach presji wodnogospodarczych na obszarach sąsiadujących z Puszcą oraz wynikających ze zmieniającego się klimatu – odwrócenia trendów obniżania się zwierciadła wód powierzchniowych i podziemnych. Analiza niezależnych danych hydrologicznych potwierdza bowiem konsekwentne obniżanie się stanów wód podziemnych na obszarze Puszczy Białowieskiej o około 3-4 cm na rok. Rzeki, które niegdyś stale prowadziły wodę stają się obecnie rzekami okresowymi (m.in. Łutownia), a przesuszone torfowiska ulegają mineralizacji. Wszystkie te zjawiska mają miejsce w wielu lokalizacjach, zarówno w polskiej jak i w białoruskiej części Puszczy. Z tego względu, niniejsza wizja odtwarzania zasobów wodnych oraz zwiększania ich odporności na postępujące zmiany klimatu wskazuje na konieczność podjęcia szeregu działań na całym obszarze puszczy, zgodnie z obowiązującym prawem. Działania te, obok klasycznych prac budowlanych spowalniających odpływ w korytach rzek i rowów powinny również uwzględniać działania zlewniowe, takie jak identyfikację miejsc akumulacji odpływu powierzchniowego oraz zatrzymywanie wody w lesie, najbliższej miejsca, w którym się pojawiła w drodze opadu atmosferycznego lub roztopów. Działania zlewniowe (tj. na terenach leśnych) powinny być podjęte najszybciej jak to możliwe. Nie mają bowiem ograniczeń formalnych, nie są kosztowne, a ich potencjalny negatywny wpływ na interesariuszy jest znikomy.

Najważniejsze obszary predestynowane do prowadzenia działań zmierzających do poprawy warunków wodnych znajdują się w granicach obszarów Kolonka, Dziki Nikor i Dikoje w Białorusi oraz w południowej i zachodniej części polskiego fragmentu Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. Analizując obowiązujące dokumenty strategiczne wydaje się również, że zarówno administracja Parku Narodowego „Puszcza Białowieska” na Białorusi oraz Lasów Państwowych jak i Białowieskiego Parku Narodowego powinny pozostawać w stałym kontakcie z podmiotami zarządzającymi wodą. Działania wodnogospodarcze prowadzone poza Puszcą, w dolnych partiach zlewni Narewki, Narwi i Leśnej (w przypadku części białoruskiej – także i Jasiółdy) mają bowiem silny wpływ na kształtowanie się zasobów wodnych Obszaru Ochrony Dziedzictwa Przyrodniczego UNESCO Puszcza Białowieska. Taki dialog, na równi z możliwymi do

podjęcia działaniami technicznymi na obszarze Puszczy byłyby skutecznym uzupełnieniem działań zorientowanych na poprawę warunków wodnych Puszczy oraz wymiernym elementem realizacji założeń niniejszej strategii.

IV. Literatura

- Biedroń I. (red.), Pawlaczyk P., Brzóska P., Dondajewska-Pielka R., Furdyna A., Gołdyn R., Grygoruk M., Grześkowiak A., Horska-Schwarz S., Jusik Sz., Klósek K., Krzymiński W., Ligieża J., Łapuszek M., Okrański K., Przesmycki M., Popek Z., Szalkiewicz E., Suska K., Żak J. 2020. Podręcznik dobrych praktyk renaturyzacji wód powierzchniowych. Oprac. w ramach przedsięwzięcia „Opracowanie krajowego programu renaturyzacji wód powierzchniowych”. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Bielecka, J., Hardej, M., Kozłowska, E., Stepaniuk, W., 2006. Walory przyrodnicze i hydrologiczne małych zbiorników wodnych wybudowanych w Puszczy Białowieskiej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 6, 17-27.
- Boczoń, A., Kowalska, A., Ksepko, M., Sokołowski, K., 2018. Climate Warming and drought in Białowieża Forest from 1950-2015 and their impact on the dieback of Norway Spruce stands. *Water* 19, 1502, <https://doi.org/10.3390/w10111502>.
- Chomutowska, H., Wilamowski, K., 2014. Analiza czystości wód rzek Łutownia na terenie Puszczy Białowieskiej. *Inżynieria Ekologiczna* 38, 117-128.
- Czerepko, J., Boczoń, A., Pierzgalski, E., Sokołowski, W.A., Wróbel, M., 2007. Habitat diversity and spontaneous succession of forest wetlands in the Białowieża primeval forest. W *Wetlands: Monitoring, Modelling and Management – Okruszko et al. (eds) Taylor & Francis Group, London*.
- Grygoruk, M., Pusłowska-Tyszewska, D., Banaszuk, P., 2022. Strategia gospodarowania wodą w zbiorniku Siemianówka w celu poprawy warunków wilgotnościowych siedlisk dubelta i innych ptaków siewkowych w Dolinie Górnej Narwi z uwzględnieniem ograniczeń wodno-gospodarczych. *Towarzystwo Przyrodnicze Dubelt. Białystok*, 70 pp.
- Grygoruk, M., Michałowski, R., Osuch, P., Stachowicz, M., Trandziuk, P., 2021. Propozycja działań renaturyzacyjnych w korycie rzeki Narewki na odcinku Białowieża (granica państwa)-Narewka oraz rzeki Łutowni. *Polskie Towarzystwo Ochrony Ptaków*. 103 pp.
- Grummo, D., 2021. Wizja hydrologiczna Puszczy Białowieskiej. *Manuskrypt. Frankfurt Zoological Society*.
- Hedeman, O., 1939. *Dzieje Puszczy Białowieskiej w Polsce Przedrozbiorowej (do roku 1798)*. Rozprawy i Sprawozdania Instytutu Badawczego Lasów Państwowych Seria A nr 41, Warszawa.
- Hejduk, L., Kaznowska, E., Wasilewicz, M., Hejduk, A., 2021. Hydrological droughts in the Białowieża Primeval forest, Poland, in the years 1951-2020. *Forests* 12, 1744.
- Kawecka, A., 2002. Puszczańskie rzeki i bagna. *Echa Leśne* 8, 28-30.
- Kozieł M., 2010. Ochrona walorów przyrodniczo-krajobrazowych na pograniczu polsko-białoruskim na przykładzie Puszczy Białowieskiej. *Problemy Ekologii Krajobrazu*, T. XXVI. 271-284.
- Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW), 2020. Program Przeciwdziałania Skutkom Suszy.
- Ksepko, M., Kolendo, Ł., Boczoń, A., Koźniewski, M., Chmur, S., Wojtas, K. i in., 2021. Opracowanie hydrologiczne dla zlewni leśnych Puszczy Białowieskiej. *Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. Maszynopis*.
- Marcinkowski P., Kardel I., Płaczkowska E., Gielczewski M., Osuch P., Okruszko T., Venegas-Cordero N., Ignar S., Piniewski M., 2022. A high-resolution simulated water balance and streamflow data set for 1951-2020 for the territory of Poland
- Pierzgalski, E., Boczoń, A., Tyszka, J., 2002. Zmienność opadów i położenia wód gruntowych w Białowieżskim Parku Narodowym. *Kosmos* 51 (4), s. 415-425
- Pierzgalski, E., Tyszka, J., Boczoń, A., Janek, M., Wróbel, M., Stolarek, A., Pachuta, K., Oglęcki, P., Frąk, M., Sikorski, P., Komecka, L., Czachorowski, S., Pietrzak, L., Ksepko, M., 2010. Operat zarządzania wodami i ochrony ekosystemów wodnych do planu ochrony Białowieżskiego Parku Narodowego. *Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary*. 163 pp.

- Sokołowski, A.W., 2004. Lasy Puszczy Białowieskiej, Warszawa. 363 pp.
- Stachowicz, M., Manton, M., Abramchuk, M., Banaszuk, P., Jarašius, L., Kamocki, A., Samerkhanova, A., Schäfer, A., Wichtmann, W., Zableckis, N., Povilaitis, A., Sendzikaite, J., Grygoruk, M., 2022. To store or to drain – to lose or to gain? Rewetting peatlands in the Neman Basin as a tool for water retention increase. *Science of the Total Environment* (in press).
- Urbański J., 2012. GIS w badaniach przyrodniczych.
- Woś, A., 1993. Regiony klimatyczne Polski w świetle częstości występowania różnych typów pogody. Prace Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN.
- Wróbel, M., 2018. Zmiany warunków wodnych wskutek zmniejszenia odpływu w zlewni rzeki Łutowni w Puszczy Białowieskiej. Praca Doktorska. SGGW w Warszawie.
- Wróbel, M., Boczoń, A., Gawryś, R., Kowalska, A. 2016. The Effect of Beaver Activity on Artificial Impoundment on the Braszcza River in the Białowieza Primeval Forest.. *Baltic Forestry* 22, 5.