



# JAK CHRONIĆ TORFOWISKA W LASACH?

REDAKCJA  
MARIUSZ LAMENTOWICZ  
STEFAN KONCZAL

ARCHAEGRAPH  
*Wydawnictwo Naukowe*

# JAK CHRONIĆ TORFOWISKA W LASACH?

REDAKCJA

MARIUSZ LAMENTOWICZ

STEFAN KONCZAL

Iceland   
Liechtenstein  
Norway grants



**Nadleśnictwo Woziwoda**



**Nadleśnictwo Tuchola**



UNIWERSYTET  
IM. ADAMA MICKIEWICZA  
W POZNANIU



Norwegian Institute for Nature Research

Publikacja powstała dzięki dofinansowaniu ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014–2021 i Budżetu Państwa, przyznanego Nadleśnictwu Woźniewoda na realizację projektu „*Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich*”, złożonego w konkursie *Wdrażanie planów zarządzania ekosystemami*.

Projekt został zrealizowany w ramach Programu Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu, Środowisko naturalne i ekosystemy, którego operatorem jest Ministerstwo Klimatu i Środowiska.

Projekt „*Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich*” korzystał z dofinansowania o wartości 849 681,55 euro otrzymanego od Islandii, Liechtensteinu i Norwegii w ramach Funduszy EOG.

Celem projektu była realizacja zadań ochronnych mających na celu ich restytucję ekologiczną, zwiększenie odporności na skutki zmian klimatycznych, ochronę zagrożonych gatunków i siedlisk.

Fundusze EOG reprezentują wkład Islandii, Liechtensteinu i Norwegii w tworzenie Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.

Istnieją dwa cele ogólne: ograniczenie nierówności ekonomicznych i społecznych w Europie i wzmocnienie relacji dwustronnych pomiędzy państwami-darczyńcami a 15 krajami UE z Europy Środkowej i Południowej i obszaru Morza Bałtyckiego. Trzy Państwa-Darczyńcy ściśle współpracują z UE w ramach Porozumienia o Europejskim Obszarze Gospodarczym (EOG). Darczyńcy przekazali 3,3 miliarda euro w ramach kolejnych programów funduszy w latach 1994–2014. Fundusze EOG na lata 2014–2021 wynoszą 1,55 miliarda euro. Priorytety na ten okres to:

- innowacje, badania naukowe, edukacja i konkurencyjność;
- integracja społeczna, zatrudnienie młodzieży i ograniczenie ubóstwa;
- środowisko, energia, zmiany klimatu i gospodarka niskoemisyjna;
- społeczeństwo obywatelskie, dobre zarządzanie i podstawowe prawa;
- sprawiedliwość i sprawy wewnętrzne.

Fundusze EOG są wspólnie finansowane przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię, których wkład oparty jest na ich PKB.

Kwalifikowalność do Funduszy wynika ze spełnienia kryteriów określonych w ramach Funduszu Spójności UE przeznaczonego dla państw członkowskich, w których dochód krajowy brutto na mieszkańca jest niższy niż 90% średniej unijnej.

REDAKCJA

PROF. DR HAB. MARIUSZ LAMENTOWICZ

PRACOWNIA EKOLOGII ZMIAN KLIMATU - WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH  
I GEOLOGICZNYCH - UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

STEFAN KONCZAL

NADLEŚNICZY NADLEŚNICTWA WOZIWODA

RECENZJA

PROF. DR HAB. INŻ. ANDRZEJ M. JĄGODZIŃSKI

INSTYTUT DENDROLOGII POLSKIEJ AKADEMII NAUK

KOREKTA REDAKTORSKA, SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI

KAROL ŁUKOMIAK

NA OKŁADCE WYKORZYSTANO ZDJĘCIE

PRZEDSTAWIAJĄCE REZERWAT PRZYRODY JEZIORKA KOZIE

© COPYRIGHT BY NADLEŚNICTWO WOZIWODA

ISBN: 978-83-67959-36-0

EISBN: 978-83-67959-37-7

WERSJA ELEKTRONICZNA DOSTĘPNA NA STRONIE INTERNETOWEJ WYDAWCY:

[www.archaeograph.pl](http://www.archaeograph.pl)

ORAZ NA STRONIE INTERNETOWEJ NADLEŚNICTWA WOZIWODA:

[www.woziwoda.torun.lasy.gov.pl](http://www.woziwoda.torun.lasy.gov.pl)

ARCHAEGRAPH  
*Wydawnictwo Naukowe*

ŁÓDŹ, MARZEC 2024

# SPIS TREŚCI

WSTĘP.....	7
MARIUSZ LAMENTOWICZ, STEFAN KONCZAL	
NA MARGINESIE RECENZJI.....	9
ANDRZEJ M. JAGODZIŃSKI	
HISTORIA LASÓW BORÓW TUCHOLSKICH I ICH PRZEKSZTAŁCENIA.....	12
STEFAN KONCZAL	
HISTORIA LASU I MOKRADEŁ ZAPISANA W TORFOWISKACH.....	29
KATARZYNA MARCISZ, MARIUSZ BĄK, PIOTR KOŁACZEK, MARIUSZ LAMENTOWICZ, DARIA WOCHAL	
ZASTOSOWANIE DENDROCHRONOLOGII W BADANIACH KLIMATYCZNYCH I EKOLOGICZNYCH.....	46
PAWEŁ MATULEWSKI, DOMINIKA JASTER	
ROŚLINNOŚĆ I CENNE ELEMENTY FLORY SIEDLISK HYDROGENICZNYCH NADLEŚNICTW WOZIWODA I TUCHOLA – OCENA NATURALNOŚCI I STANU OCHRONY.....	63
MACIEJ GĄBKA, STANISŁAW ROSADZIŃSKI	
TORFOWISKOWE ZASOBY WĘGLA W BORACH TUCHOLSKICH.....	85
MARIUSZ LAMENTOWICZ, DARIA WOCHAL, SAMBOR CZERWIŃSKI, STEFAN KONCZAL, JOANNA LANDOWSKA, JACEK LANDOWSKI	
ZMIANA KLIMATU I GAZY CIEPLARNIANE W TORFOWISKACH.....	109
PATRYK POCZTA, KAMILA M. HARENDA, BOGDAN H. CHOJNICKI	

<b>PLANOWANIE RESTYTUCJI Z WYKORZYSTANIEM TELEDETEKCJI</b> .....	123
DOMINIK KOPEĆ, MARTYNA WIETECHA, JAN NIEDZIELKO, DOMINIK ŻMUDA, JAN JEDLIŃSKI, JUSTYNA WYLAŻŁOWSKA, MARTYNA ŻMUDA	
<b>ODTWARZANIE TORFOWISK NA PRZYKŁADZIE NADLEŚNICTWA WOZIWODA</b> .....	142
STEFAN KONCZAL	
<b>REKOMENDACJE DLA OCHRONY MOKRADEŁ W LASACH</b> .....	161
STEFAN KONCZAL, MARIUSZ LAMENTOWICZ, MARIUSZ BĄK, SAMBOR CZERWIŃSKI, PIOTR KOŁACZEK, DARIA WOCHAŁ, KATARZYNA MARCISZ, BOGDAN H. CHOJNICKI, KAMILA HARENDA, PATRYK POCZTA, MACIEJ GĄBKA, DOMINIKA JASTER, PAWEŁ MATULEWSKI, JAN JEDLIŃSKI, JAN NIEDZIELKO, JUSTYNA WYLAŻŁOWSKA, MARTYNA ŻMUDA, DOMINIK ŻMUDA, DOMINIK KOPEĆ, STANISŁAW ROSADZIŃSKI, MARTYNA WIETECHA, JOANNA LANDOWSKA, JACEK LANDOWSKI	

## WSTĘP

Mokradła (w tym torfowiska) i las współwystępują i przeplatają się ze sobą w Polsce od tysięcy lat, tj. od ustąpienia ostatniego lądolodu. Do wczesnego średniowiecza lasy i mokradła, w tym torfowiska, funkcjonowały w pewnej formie ciągłości. Wraz z rozwojem ekonomicznym rodzącej się Polski presja ze strony człowieka zaczęła rosnąć, najpierw zniknęły lasy naturalne, później zmeliorowane zostały bagna. Obecnie głównym wyzwaniem dla ochrony przyrody jest utrzymanie wartościowych ekosystemów w możliwie najbliższym naturalnemu stanie. Jednakże antropogeniczna zmiana klimatu powoduje, że cenne siedliska i gatunki są pod coraz większą presją oddziaływania człowieka. Pod szczególnie negatywnym wpływem zmian klimatycznych są mokradła, czyli tereny bagien, błot i torfowisk lub zbiorniki wodne, tak naturalne, jak i sztuczne, stałe i okresowe, o wodach stojących lub płynących, słodkich, słonawych lub słonych, łącznie z wodami morskimi, których głębokość podczas odpływu nie przekracza sześciu metrów. Losy mokradeł i ludzi są ze sobą wyjątkowo mocno splątane, choć taka świadomość nie jest szeroko rozpowszechniona w społeczeństwie. Mokradła dostarczają szeregu usług ekosystemowych (korzyści, które ludzie odnoszą z mokradeł) np. wpływają na stan wód powodziowych, uzupełniają wody gruntowe, oczyszczają wodę, determinują stan różnorodności biologicznej, dostarczają żywności, stanowią o wartościach kulturowych regionu, współkształtują warunki do rekreacji i turystyki, łagodzą zmianę klimatu i wpływają na adaptację do niej. Mokradła pełnią ważną rolę w lasach, szczególnie poprzez retencjonowanie wody niezbędnej dla roślin i innych organizmów. W ostatniej dekadzie na nowo odkrywamy mokradła w lasach, dostrzegając ich pozytywny wpływ na środowisko przyrodnicze, gospodarkę człowieka, a także na społeczeństwo. Bez wątplenia najwartościowsze w tym kontekście są torfowiska, które nie tylko są gąbkami nasączonymi wodą, ale także długoterminowymi zbiornikami węgla. Razem ze wzrostem świadomości i wiedzy na temat torfowisk i innych



mokradeł w lasach dążymy w kierunku ich skuteczniejszej ochrony, wyższej jakości edukacji oraz zrównoważonego wykorzystania turystycznego. W niniejszej monografii prezentujemy nowe spojrzenie na walory przyrodnicze Borów Tucholskich, skupiając się głównie na ich historii, różnorodności biologicznej regionu oraz zasobach węgla zgromadzonego w torfowiskach. Naszym pragnieniem jest także zwrócenie szczególnej uwagi na aspekt odtwarzania mokradeł w sensie obecnych i przyszłych działań w tym zakresie. Współpraca Lasów Państwowych z uczelniami i lokalną społecznością może prowadzić do pozytywnych efektów w zakresie poprawy stanu ekosystemów mokradłowych na terenach leśnych oraz świadomości mieszkańców tego regionu. Wierzymy, że niniejsze opracowanie wywrze taki pozytywny wpływ na przyrodę Borów Tucholskich i zamieszkującą je społeczność.

*Mariusz Lamentowicz, Stefan Konczal*

## NA MARGINESIE RECENZJI...

Eksploatacyjna postawa człowieka względem przyrody jest niestety znakiem współczesnych czasów. Postawa ta odnosi się także do unikatowych siedlisk określanych mianem obszarów wodno-błotnych (w języku polskim jednak częściej ujmowanych jako mokradła), które, zgodnie z Konwencją Ramsarską z 1971 roku, definiuje się jako „tereny bagien, błot i torfowisk lub zbiorniki wodne, zarówno naturalne, jak i sztuczne, stałe i okresowe, o wodach stojących lub płynących, słodkich, słonawych lub słonych (łącznie z wodami morskimi, których głębokość podczas odpływu nie przekracza 6 m)”. Obszary te stanowiły i stanowią bezsprzecznie zasoby trudne do przecenienia w kontekście ich wartości przyrodniczej, gospodarczej, a także kulturowej.

Nie budzi wątpliwości fakt, iż mokradła należą do najszybciej ginących układów ekologicznych na Ziemi, z czym wiąże się utrata różnorodności biologicznej z nimi związanej na niespotykaną dotąd skalę i w nienotowanym wcześniej tempie. Zachowanie tych układów w niepogorszonym stanie, a także wszelkie działania mające na celu ich restytucję – przywracanie do stanu naturalnego lub zbliżonego do naturalnego – wpływają pozytywnie nie tylko na ochronę specyficznej dla tych siedlisk bioty, ale i m.in. wpływają korzystnie na zwiększenie retencji zasobów wodnych, redukcję emisji gazów cieplarnianych, wzrost retencji węgla, ograniczenie częstotliwości występowania suszy czy ograniczenie wzrostu temperatury powietrza. Mokradła, w tym także torfowiska, pełnią szereg usług ekosystemowych, wnosząc istotny wkład w dobrobyt człowieka.

Do najważniejszych współczesnych zagrożeń dla mokradeł, wynikających często z historii ich użytkowania, należą: odwadnianie, a niekiedy wręcz całkowite osuszanie, np. poprzez ich zmeliorowanie przeprowadzone w sposób niezgodny z celami prawidłowo rozumianych zabiegów melioracyjnych, oraz ingerencja w hydromorfologię cieków prowadząca do zniweczenia procesu kształtowania

naturalnej rzeźby ich koryt i dolin. W dobie globalnej zmiany klimatu, wynikającej z działalności człowieka, a skutkującej m.in. wzrostem średniej globalnej temperatury, wzrostem częstotliwości fal upałów (skrajnie wysokich temperatur), wzrostem intensywności parowania i ewapotranspiracji, zmianą ilości i częstotliwości opadów atmosferycznych, obniżeniem poziomu wód gruntowych czy wzrostem częstotliwości wystąpienia dotkliwych w skutkach długotrwałych susz – zatrzymanie wody w środowisku staje się jednym z najważniejszych wyzwań stojących przed ludzkością.

Mokradła, w tym także torfowiska, odgrywają istotną rolę również w lasach. Choć w przeszłości wiele takich siedlisk na terenach leśnych odwodniono, uważając je za nieużytki, to dzisiaj, m.in. w związku z rosnącą świadomością ich znaczenia w łagodzeniu negatywnych skutków zmiany klimatu, zachowanie istniejących jeszcze mokradeł oraz restytucja mokradeł zdegradowanych wskazywane jest jako jedna z dróg adaptacji lasów i leśnictwa do zmiany klimatu.

Ochrona siedlisk podmokłych to nie tylko ochrona zasobów wodnych w nich zgromadzonych. Definiując szczegółowy przedmiot ochrony, z uwzględnieniem stopnia naturalności planowanego do ochrony układu ekologicznego, możemy skorzystać z bogatego już katalogu tzw. dobrych praktyk, w tym także wynikających z doświadczeń Lasów Państwowych. Decydując się na ingerencję w tak wyjątkowy układ ekologiczny, celem jego restytucji, musimy jednak pamiętać, iż jej skutki najpewniej dotkną także funkcjonowania ekosystemów współistniejących. Działania takie powinny bazować zatem na rzetelnej wiedzy naukowej oraz jak najlepszym rozpoznaniu zasobów przyrodniczych w planowanym do objęcia ochroną obiekcie i jego otoczeniu.

Monografia pt. „Jak chronić torfowiska w lasach?” pod redakcją Mariusza Lamentowicza i Stefana Konczala, stanowiąca podsumowanie projektu „Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich”, a szczególnie omówione w niej działania obejmujące odtwarzanie cennych torfowisk, nie tylko wzbogaca stale poszerzany katalog dobrych praktyk w zakresie ochrony ekosystemów mokradłowych, ale także stanowi ważne opracowanie, które wnosi wiele ciekawych informacji o przyrodzie Borów Tucholskich.

Na tle historii lasów Borów Tucholskich i ich przekształceń, Autorzy skupili się na historii mokradeł zapisanej w torfowiskach, wskazując także liczne rekomendacje dla ich ochrony, a wynikające z uzyskanych w ramach realizacji ww. projektu doświadczeń. W monografii przedstawiono bardzo szeroki zakres wiedzy podstawowej, która powinna być bazą przy opracowywaniu strategii ochrony tego typu układów ekologicznych. Poza przeglądem danych literaturowych,

w monografii znaleźć można wiele interesujących, oryginalnych wyników badań, stanowiących ważną dokumentację aktualnego stanu chronionych siedlisk, z uwzględnieniem licznych, konkretnych przykładów z terenu Nadleśnictwa Woziwoda i Nadleśnictwa Tuchola. Nie powinno umknąć naszej uwadze, iż przygotowując się do restytucji zdegradowanych torfowisk, można skorzystać z klasycznych metod ich opisu, ale i technik nowoczesnych, np. teledetekcyjnych, których wykorzystanie może także zapewnić szczegółowy monitoring przemian chronionego układu ekologicznego w wyniku podjętych działań.

Na szczególną uwagę zasługują refleksje Autorów monografii, które ujęte zostały w wykazie rekomendacji możliwych do podjęcia działań, skutkiem których powinna być ochrona i restytucja mokradeł, w tym także torfowisk. Rekomendacje te nie odnoszą się jedynie do Borów Tucholskich, ale dalece wykraczają poza te „ramy geograficzne” i z powodzeniem mogą zostać wykorzystane w innych obiektach wymagających ochrony, a także mogą zostać uwzględnione w opracowywanych strategiach ochrony mokradeł na poziomie lokalnym, regionalnym czy krajowym, nie tylko na terenach leśnych i zarządzanych przez Lasy Państwowe.

Treści przedstawione w monografii pt. „Jak chronić torfowiska w lasach?” pod redakcją Mariusza Lamentowicza i Stefana Konczala, zaprezentowane w przystępny sposób, mogą także stanowić ważne wsparcie procesu kształtowania świadomości ekologicznej społeczeństwa opartego na wiedzy, a także wrażliwości na złożoność i piękno rodzimej przyrody, przyczyniając się do zrozumienia istoty zrównoważonego użytkowania i ochrony mokradeł, a także mądrogo i pełnego szacunku dla przyrody zarządzania nimi.

*Andrzej M. Jagodziński*  
Instytut Dendrologii  
Polskiej Akademii Nauk

Kórnik, 28 lutego 2024 roku

# HISTORIA LASÓW BORÓW TUCHOLSKICH I ICH PRZEKSZTAŁCENIA

## WSTĘP

Bory Tucholskie to największy zalesiony obszar w Polsce porośnięty prawie jednolitym borem sosnowym, to kraina o wciąż dobrze zachowanej roślinności, szczególnie wodno-torfowiskowej (Boiński 1985).

Obecny skład gatunkowy lasów Borów Tucholskich to wynik przekształceń spowodowanych działalnością człowieka, szczególnie intensywnych od XVIII wieku. Wcześniej o stanie lasów decydowały w znacznym stopniu warunki klimatyczne i ich zmiany. Lasy pojawiły się na terenie Borów Tucholskich po ustąpieniu lądolodu, mniej więcej 14 000 lat temu. O historii i przekształceniach lasów w odległej historii dowiadujemy się głównie z badań palinologicznych osadów jeziornych i torfowiskowych. Analizy palinologiczne dostarczają istotnych informacji dotyczących warunków przyrodniczych, w tym danych o zasobach leśnych, co pozwala w mniej lub bardziej dokładny sposób zrekonstruować strukturę roślinności lasów i terenów otwartych (Kończal i in. 2021).

## EPOKA PÓŹNEGO GLACJAŁU, WCZESNEGO I ŚREDNIEGO HOLOCENU

Pierwszą formacją leśną, która ukształtowała się zaraz po ustąpieniu lodowca, były subarktyczne lasy brzożowe, przekształcone kilkaset lat później w lasy sosnowo-brzożowe, zbliżone do dzisiejszych lasów porastających północne krańce strefy borealnej. Lasy te poprzedziła sukcesyjna faza krzewiasta z dominacją rokitnika oraz z udziałem wierzb i roślin zielnych. Dominujący udział rokitnika w tym

zbiorowisku został bezsprzecznie potwierdzony na podstawie badań najstarszej części osadów dennych jeziora Mukrz (Tobolski 2003). Kolejne ochłodzenie klimatu przypadające na lata 12,6-11,5 tys. lat temu spowodowało znaczne przeszedzenie ówczesnych lasów typu borealnego, które zostały zastąpione krzewami i krzewinkami, w tym dębikiem ośmiopłatkowym (*Dryas octopetala*), od którego łacińskiej nazwy nazwano ten okres (Tobolski 2003).

O wiele bogatsza skala przemian roślinności drzewiastej przypadła na okres rozpoczynającego się umownie 11,5 tys. lat (kalendarzowych) temu holocenu. Rozmiary tych przemian wywołanych czynnikami klimatycznymi były na tyle wyraźne, że stały się podstawą do wyodrębnienia kilku jednostek niższej rangi jako okresów klimatyczno-roślinnych, zwanych też chronozonami (Tobolski 2006). Etapy rozwoju roślinności w holocenie przedstawia Rycina 1.

Niekwestionowane panowanie sosny w Borach Tucholskich, szczególnie na słabszych glebach, nastąpiło ok. 11,5 tys. lat temu. Choć jej udział w składzie drzewostanów zmieniał się wraz z postępującymi zmianami klimatycznymi, jednak zawsze była ona obecna w krajobrazie tego regionu, o czym świadczą liczne badania:

„W początkowym okresie holocenu w Borach Tucholskich szybko rozprzestrzeniła się sosna i stała się drzewem dominującym w miejscach suchych i na świeżo uformowanych wydmach. Lasy sosnowe były mało zwarte, z dużym udziałem wrzosowatych (*Ericaceae*) w runie. Znaczną domieszkę stanowiły w nich dąb (*Quercus*) i brzoza (*Betula*). Siedliska wilgotniejsze były porośnięte początkowo przez brzozę i leszczynę (*Corylus*) z niewielkim dodatkiem wiązu (*Ulmus*). Wzdłuż brzegów rzek i jezior rozprzestrzeniła się olsza (*Alnus*). Nieco później na bardziej wilgotnych siedliskach dąb konkurował z wiązem, a bardziej żyzne gleby zajęte były zapewne przez lasy wiązowe z domieszką olszy i leszczyny” (Miotk-Szpiganowicz 1993).

W czasie trwania optimum klimatycznego (ok. 8,9-5,7 tys. lat temu), z maksymalną temperaturą wyższą od obecnej o 2-3 °C i z dużą wilgotnością, „w Borach Tucholskich występowanie sosny zostało ograniczone najprawdopodobniej do miejsc wyżej położonych z cienką warstwą gleby. Niezbyt zwarty las sosnowy dominował z pewnością na wydmach. Zasobniejsze tereny piaszczyste porastał las, w skład którego obok sosny wchodziły dąb, brzoza i lipa (*Tilia*). Na żyznych siedliskach ustalił się mieszany las liściasty z wiązem i jesionem (*Fraxinus*), dębem i lipą. Wilgotne tereny wzdłuż rzek i jezior zajęte były przez fitocenozy łąkowe z jesionem, olszą i wiązem” (Miotk-Szpiganowicz 1993).

„Po okresie optimum klimatycznego wraz ze zmianą klimatu nasilił się proces ługowania gleb. Ubożenie siedlisk spowodowało stopniowe zmniejszanie występowania lipy i jesionu w zbiorowiskach leśnych. Wyraźny spadek udziału wiązu

w tych zbiorowiskach nastąpił już około 5 tys. lat temu co było zjawiskiem charakterystycznym dla całej Europy. W kolejnych okresach na siedliska opuszczone przez mieszany las liściasty wkraczały nowe gatunki, głównie grab (*Carpinus*), buk (*Fagus*) i lokalnie świerk (*Picea*). Postępujące zakwaszenie gleb tworzyło dobre warunki dla występowania dębu, który razem z sosną zajmował tereny piaszczyste tworząc zbiorowiska zbliżone do współczesnego acidofilnego *Pino-Quercetum*” (Miotk-Szpiganowicz 1993).

Lata kalendarzowe calendar years	Chronostratygrafia chronostratigraphy		Wiek radiowęglowy radiocarbon age	Szata roślinna plant cover	Stadia sukcesji postglacialnej postglacial succession stages		
0							
1000	SUB ATLANTYCKI Subatlantic		2500	znaczące odlesienia na terenach morenowych	TELOKRATYCZNE TELEOCRATIC		
2000				bory sosnowe		considerable deforestation at the moraine area	
3000							
4000	SUB BOREALNY Subboreal		5000	spadek udziału drzew mezofilnych	MEZOKRATYCZNE MEZOCRATIC		
5000				w okresie wędrówek ludów rozprzestrzenione lasy z udziałem graba		decrease of proportion of mesophilous trees	
6000							
7000	ATLANTYCKI Atlantic		7500	bory mieszane oraz lasy liściaste	MEZOKRATYCZNE MEZOCRATIC		
8000				na siedliskach wilgotnych lasy olszynowe i jesionowe		mixed forest and deciduous forest	
9000							
10000	BOREANY Boreal		8500	wielogatunkowe lasy z dużą obecnością sosny i zróżnicowanym udziałem dębu, wiązu i lipy	MEZOKRATYCZNE MEZOCRATIC		
11000				na siedliskach wilgotnych olsza i jesion		forests with many species and high proportion of pine and various proportion of oak, elm and lime	
12000							
13000	PRE BOREALNY Preboreal		10000	lasososnowe z leszczyną	PROTKRATYCZNE PROTOCRATIC		
14000				lasososnowo-brzozowe		pine forest with hazel	
	PÓŹNY GLACJAŁ Late Glacial		10700	luźne skupienia drzewostanów sosnowo-brzozowych, zarośla jałowcowe,	PROTKRATYCZNE PROTOCRATIC		
						platy roślinności stepowej i tundrowej	scattered pine-birch forest
						zwarte lasy brzozowo-sosnowe	juniper bush
						luźne lasy brzozowe zarośla rokitnika, wierzb i brzoź krzewiastych	patches of steppe and tundra-like vegetation
	NAJSTARSZY DRYAS Oldest Dryas		11800	zwarte lasy brzozowo-sosnowe	PROTKRATYCZNE PROTOCRATIC		
						zwarte lasy brzozowo-sosnowe	dense birch-pine fores
	MŁODSZY DRYAS Younger Dryas		12000	luźne lasy brzozowe zarośla rokitnika, wierzb i brzoź krzewiastych	PROTKRATYCZNE PROTOCRATIC		
						luźne lasy brzozowe zarośla rokitnika, wierzb i brzoź krzewiastych	scattered birch forest bushes of sea buckthorn, willows and dwarf birches
	NAJSTARSZY DRYAS Oldest Dryas		12000	tundra krzewinkowa	PROTKRATYCZNE PROTOCRATIC		
						tundra krzewinkowa	dwarf-shrub tundra

Rycina 1

Etapy rozwoju roślinności w holocenie (Tobolski 2006, zmodyfikowane).

Ostatnia wielka przemiana zbiorowisk leśnych miała miejsce 4 tys. lat temu (Milecka 2006). Wówczas grab z dębem stanowił dość znaczny udział w szacie leśnej Borów Tucholskich.

Przed około 1,5 tys. latami, nie tylko w obrębie wysp morenowych, ale także na powierzchniach sandrowych, duże znaczenie zyskały drzewostany grabowe. Grab mógł wówczas należeć do głównego składnika lasotwórczego, a drzewostany grabowe podczas okresu wędrówek ludów zajmowały od 1/3 do połowy powierzchni drzewostanów (Tobolski 2006). Rosnące znaczenie graba w zbiorowiskach leśnych w tym okresie, przy wyraźnym spadku frekwencji sosny, potwierdzają również analizy palinologiczne przeprowadzone w małych torfowiskach kotłowych na terenie Nadleśnictwa Tuchola (Lamentowicz i in. 2006).

Należy podkreślić fakt dość wyraźnej odrębności szaty roślinnej wschodnich i zachodnich Borów Tucholskich na przestrzeni różnych okresów. Przejawiała się ona między innymi wyższym wskaźnikiem udziału graba i lipy dla części wschodniej czy jałowca dla części zachodniej, co jest wywołane różnicą w żyzności siedlisk tych regionów (Filbrandt-Czaja 2009).

W okresie rzymskim wpływ człowieka na środowisko naturalne zaczął być rozpoznawalny poprzez rodzące się osadnictwo, szczególnie w pobliżu rzek i wysoczyzn morenowych. Świadczą o tym liczne stanowiska archeologiczne z terenów Borów Tucholskich. Uprawę ziemi kosztem karczowanych lasów potwierdzają odkrywane ziarna pyłku zbóż, wśród których dominuje żyto (Woźny 2010).

## ŚREDNIOWIECZE

Wyludnienie trwające bardzo długo (od III wieku n.e. do IX wieku n.e.) na całym Pomorzu, w tym i w Borach Tucholskich, spowodowało znikomy wpływ osadnictwa na obszary leśne (Woźny 2010). Lesistość tych terenów w XII-XIII wieku wynosiła około 80% (BULiGL 1998).

Jak zaznacza Filbrandt-Czaja:

„W okresie przynależności Pomorza Gdańskiego do państwa Piastów wschodnia część Borów Tucholskich nie została objęta trwałymi procesami osadniczymi. W źródłach pisanych nie zachowały się też z tego okresu żadne informacje wskazujące na rozwój w tej części Borów rolnictwa i hodowli oraz wykorzystywanie zasobów leśnych do produkcji przemysłowej. Do początku XIV wieku jedynym stałym czynnikiem mogącym powodować pewne przekształcenia krajobrazu leśnego był szlak komunikacyjny, tzw. droga margrabiów, prowadzący z Marchii Brandenburskiej, przez Chojnice i okolice późniejszego Czerska, do Gdańska” (Filbrandt-Czaja 2009).



Znaczniejsze przekształcenia krajobrazu zachodziły dopiero po włączeniu Pomorza Gdańskiego do państwa zakonu krzyżackiego w latach 1308-1309 (Filbrandt-Czaja 2009). Tereny te od roku 1330 znalazły się w granicach komturstwa tucholskiego i świeckiego (Grzegorz 2010). Wówczas lasy zaczęły ustępować tworzonemu osadom. W pierwszej kolejności karczowano lasy na żyzniejszych siedliskach, a więc porośnięte gatunkami liściastymi, oraz położone w sąsiedztwie jezior, cieków i szlaków komunikacyjnych. Szacuje się, że jeszcze w XII-XIII wieku lasy i tereny podmokłe w Borach Tucholskich stanowiły ok. 80% powierzchni. Do momentu, kiedy Krzyżacy zaczęli panować na opisywanych terenach, lasy i prawo z nich korzystania (w tym polowanie) należały do przywilejów książąt pomorskich. Potem zarząd nad lasami pokrywającymi się z obszarem dzisiejszych Borów Tucholskich przejęli komturowie, w tym tucholski i świecki. Lasy były wówczas eksploatowane relatywnie intensywnie na potrzeby rozwijającego się państwa krzyżackiego. Po odzyskaniu tych terenów przez państwo polskie w 1466 roku w wyniku II Pokoju Toruńskiego, lasy weszły w skład dóbr królewskich, którymi zarządzał tucholski starosta królewski (BULiGL 1998).

Druga połowa XV wieku i XVI wiek były na ogół okresem rozwoju gospodarczego i pokoju (Groth 2010). Nastąpił również wyraźny rozwój gospodarczy na tym obszarze. To czas, gdy Polska stała się potęgą gospodarczą, a jej szczyt zbiegł się z okresem wielkich odkryć geograficznych podejmowanych przez państwa zachodniej Europy. Gospodarka polska bazowała wówczas na eksporcie produktów rolnych i leśnych, w tym smoły, która znajdowała niemal nieograniczony popyt w ówczesnych krajach europejskich. Używano jej między innymi do konserwacji drewna przy budowie i eksploatacji statków. Produkcja smoły, dziegciu i innych produktów powodowała masowe wycinanie lasów sosnowych i brzoźowych. W Borach Tucholskich zawsze istniały doskonałe warunki do produkcji smoły. W zasobnych w drewno sosnowe okolicznych lasach zakładano liczne smolarnie, które przez wieki produkowały słynną na całą Europę smołę. Ostatnie piece smolne zachowały się jeszcze do początków XX wieku. Przykładem jest piec, który zaprzestał produkcji krótko przed I wojną światową i był usytuowany w Laskach koło Śliwic (Manikowski 1999b). Z kolei twarde drewno takich gatunków jak dąb, buk i grab było intensywnie wykorzystywane do wytwarzania węgla drzewnego niezbędnego do produkcji metali z ich rud. Proces wytwarzania węgla drzewnego odbywał się w tzw. mielerzach i koncentrował się w regionach zasobnych w drewno twardych gatunków liściastych. Skala wyrębów lasów związanych z produkcją węgla drzewnego była znaczna i mogła mieć wpływ na zmianę struktury gatunkowej ówczesnych lasów (Lamentowicz i in. 2021).

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na przekształcenie struktury gatunkowej średniowiecznych lasów Borów Tucholskich była produkcja szkła, ściśle powiązana i uzależniona od zasobów surowca drzewnego. Huty szkła powstawały zawsze w pobliżu terenów zasobnych w złoża piasku kwarcowego, lasów liściastych, w tym bukowych (popiół tego gatunku był wykorzystywany w procesie produkcji) i cieków, w których płukano piasek. Huty szkła na Pomorzu pierwotnie lokalizowane były w sąsiedztwie Gdańska, z czasem, gdy wytrzebiono tamtejsze zasoby drzewne, lokalizowano je dalej na południe od Gdańska, gdzie wyodrębniono tzw. tucholską koncentrację hut (Manikowski 1999a).

Warto w tym miejscu wspomnieć o występowaniu cisa w Borach Tucholskich. W literaturze popularnonaukowej nierzadko spotykamy się z tezą, że występował on często na tym terenie i został wycięty ze względu na swoje cenne drewno. Jego obecnie największe stanowisko w rezerwacie „Cisy Staropolskie im. Leona Wyczółkowskiego” ma świadczyć o powszechnym występowaniu tego gatunku w Borach Tucholskich w przeszłości. Pogląd ten jednak nie znajduje potwierdzenia w badaniach naukowych, które dowodzą jego rzadkiego występowania w Borach Tucholskich również w przeszłości (Tobolski 2006).

W efekcie zarysowanych powyżej przyczyn zmian, lesistość obszarów Borów Tucholskich zmniejszyła się do około 60% (BULiGL 1998).

### OKRES ZABORU PRUSKIEGO (1772-1918)

Pomimo wcześniejszych przekształceń terenów leśnych Borów Tucholskich, kluczowe dla obecnego ich kształtu, w zakresie szeroko rozumianych ekosystemów leśnych i współistniejących obszarów podmokłych, były zmiany zachodzące od początku XIX wieku (Lamentowicz i in. 2021). Było to następstwem I rozbioru Polski w 1772 roku, w wyniku którego całe Pomorze Gdańskie i Bory Tucholskie przeszły we władanie Królestwa Pruskiego i polityki pruskiej wywieranej na lasy. W drugiej połowie XVIII wieku Prusy były już właściwie całkowicie wylesione, dlatego „nowy nabytek” króla Fryderyka Wielkiego – Prusy Wschodnie (również Bory Tucholskie) – stały się przedmiotem szczególnej uwagi. Już w roku 1776 wydał on szereg rozporządzeń mających na celu podniesienie stanu gospodarczego tych terenów, w tym polegających na osuszaniu podmokłych terenów i trzęsawisk rowami odwadniającymi, by później, gdy wyschną, zaludnić je (Szwankowski 2023). W roku 1782 król pruski wydaje kolejne zarządzenie „O zagospodarowaniu Puszczy Tucholskiej”, które między innymi tworzy pierwsze podziały administracji leśnej na tzw. rewiry (BULiGL 1998). Stopniowo

przystąpiono do likwidacji serwitutów wiążących się z przywilejami do korzystania z lasów, a polegających między innymi na pozyskiwaniu drewna wykorzystywanego na cele budowlane i opałowe oraz zobowiązaniu do odnawiania powierzchni leśnych polegających na orce, bronowaniu i zbieraniu określonej ilości szyszek sosnowych. Wprowadzono także zakaz wypalania wrzosowisk i zarośli będących podstawowymi czynnościami bartniczymi, które doprowadzały do powstawania pożarów lasów (Szwankowski 2023). Zakazy te w konsekwencji przyczyniły się do upadku tradycyjnych form bartnictwa na tych terenach.

W połowie XIX wieku w zaborze pruskim rozpoczął się proces powiększania obszarów lasów państwowych, głównie poprzez zalesianie nieużytków i gruntów nieprzydatnych dla rolnictwa. Prowadzenie zalesień przybrało szczególnie na sile, gdy rząd pruski przeznaczył na te cele spore fundusze otrzymane z tzw. kontrybucji francuskiej po przegranej wojnie przez Francję w 1871 r. (Broda 2006a).

W hodowli lasu od pierwszej połowy XIX wieku zdecydowanie preferowano gatunki iglaste kosztem liściastych. Wiązało się to z rosnącym zapotrzebowaniem na drewno iglaste ze strony rozwijającego się przemysłu, w tym górnictwa, kolejnictwa, budownictwa itp. Gatunki iglaste najbardziej nadawały się do gospodarki monokulturowej. Nastawienie się wyłącznie na gatunki panujące, takie jak sosna i świerk, doprowadziło do tego, że z czasem gatunki domieszkowe, takie jak np. dęby, zanikły. W ten sposób powstawały drzewostany jednogatunkowe, a później również jednowiekowe, jako rezultat zrębów zupełnych i sztucznych odnowień na dużych powierzchniach (Broda 2006a).

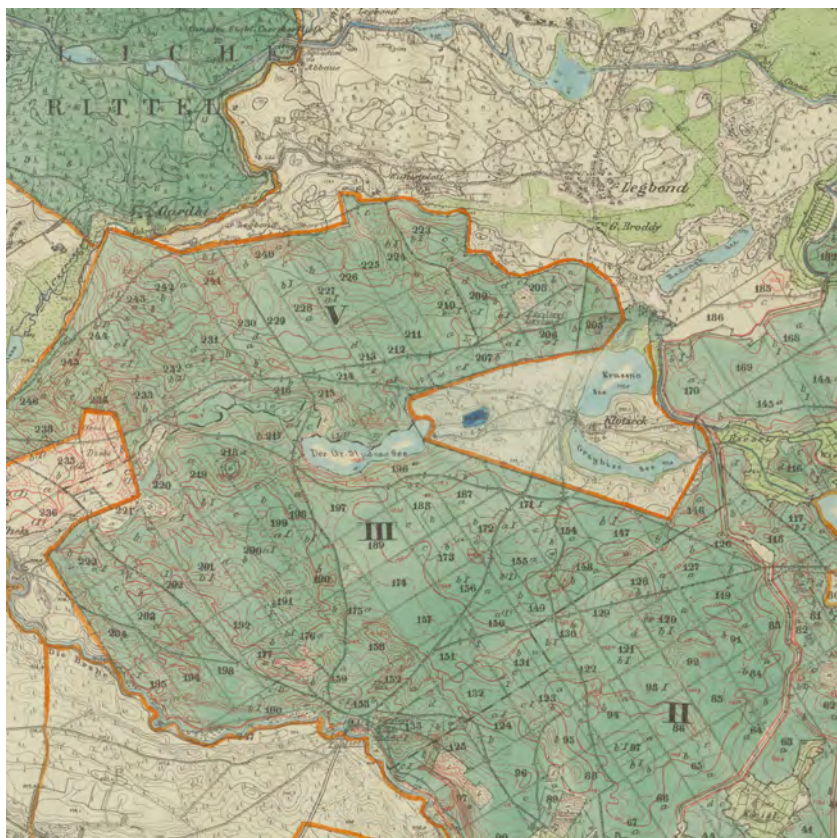
Lasy stały się przedmiotem i narzędziem w gospodarce ówczesnych władz pruskich i to wówczas pojawiła się koncepcja „zrównoważonego rozwoju” (pojęcie wprowadzone przez Carla von Carlowitza), polegająca na tym, aby nie pozyskiwać więcej drewna niż może przyrosnąć na danej powierzchni (Jagodziński 2022). To na tych terenach zaczęto intensywnie stosować bardziej efektywne sposoby zarządzania lasami poprzez sadzenie gatunków drzew, które szybciej przyniosą efekty ekonomiczne, głównie sosnę i świerk, wprowadzono nową instrukcję urządzania lasu, podział powierzchniowy na ostępy i oddziały leśne (początkowo kwadratowe o powierzchni ok. 58 ha, później prostokątne), sposób i następstwo cięć rębnych, przepisy dla miejscowej ludności i strukturę administracji leśnej. Kierunek takiego leśnictwa stał się przedmiotem nauki w nowo powstających szkołach leśnych, w tym w Akademii Leśnej w Berlinie, a następnie w Eberswalde (BULiGL 1998). Przykłady map leśnych z czasów pruskich przedstawiono na Rycinach 2 i 3.

Przepływające przez Bory Tucholskie rzeki, głównie Brda i Czarna Woda, były jedynymi szlakami komunikacyjnymi, którymi transportowano wielkie ilości drewna. Całe dorzecze Brdy było praktycznie pozbawione dróg utwardzonych, dlatego transport drewna w kierunku Bydgoszczy odbywał się poprzez spław tą rzeką (Szwankowski 2007). Taki korzystny układ lasów względem taniej drogi transportu drewna przyczynił się z pewnością do intensywnej eksploatacji zasobów leśnych tych obszarów.

W okresie zaboru pruskiego na terenach Borów Tucholskich w dalszym ciągu trwała, a nawet się rozwijała, produkcja szkła. Po roku 1772 uruchomiono nowe huty szkła m.in. w Lipowej, Szywałdzie k. Czerska, Iwcu i Szklanej Hucie. O ilości zużywanego drewna przy produkcji szkła niech świadczy następująca informacja: „Huta szkła w Lipowej zużyła w 1857 roku 1000 kłaftrów i 1500 szefli popiołu” (Szwankowski 2023). Ówczesne 1000 kłaftrów odpowiada około 3500 m<sup>3</sup> drewna.



**Rycina 2**  
 Fragment mapy Schröttera z 1802 roku przedstawiający część Nadleśnictwa Woziwoda. Ze zbiorów Repozytorium Cyfrowego Instytutów Naukowych.



**Rycina 3**

Fragment mapy Nadleśnictwa Woziwoda z 1904 roku. Mapa ze zbiorów Nadleśnictwa Woziwoda.

Tak intensywnie prowadzona przez dziesięciolecia gospodarka leśna z zastosowaniem zrębów zupełnych, odnawianych sosną i świerkiem, połączona ze skutecznym meliorowaniem i odwadnianiem tych obszarów doprowadziła w konsekwencji do powstania monokultur sosnowych, jak się miało wkrótce okazać mało odpornych na pożary i szkodniki owadzie. W samych tylko latach 1860-1889 spaliło się łącznie 4206 ha lasów (Wilson 2012). Wilson, za którym przytaczam te statystyki (który, z kolei, przytacza je za pruskim nadleśniczym Nadleśnictwa Woziwoda, o nazwisku Schütte), wiązał je z podpaleniami o charakterze niepokojów społecznych i nastrojów antypruskich (Wilson 2012).

Jeden z większych pożarów został opisany następująco:

„...Największy ogień był w r. 1863 koło Woziwody (między Czerskiem a Tucholą), bo spaliło się w jednym dniu około 5 tys. mórg boru. Pożar ten wszczął się w niedzielę 30 sierpnia przed południem, a był w dniu tym upał wielki, bo już z rana

o godz. 6 wskazywał termometr 22 stopnie ciepła. Ogień wybuchł niedaleko Woziwody i szedł na północ. Ludzi do ratowania nie było, bo w dniu tym był wielki odpust w Śliwicach i mieszkańcy bliskich i dalekich wsi z borów byli na odpuscie. Kiedy nareszcie ze Śliwic ludzie nadeszli, już większa część boru była się spaliła...” (Karasiewicz 1920).

Szybko powstające, sztucznie odnawiane, jednogatunkowe i jednowiekowe kompleksy borów sosnowych stały się wkrótce łatwym żerem dla masowo pojawiających się szkodników pierwotnych sosny. Problem ten dostrzegały władze administracji pruskiej, które na różne doraźne i dostępne wówczas sposoby próbowały ograniczyć występowanie tych owadów. I tak np. 5 lipca 1831 roku Królewsko-Pruska rejencja w Kwidzynie wydała komunikat, w którym poleca:

1. „Osoby korzystające z serwitutów leśnych oraz inni osadnicy leśni zamieszkali w odległości do dwóch mil pruskich (15 km) od poszkodowanego lasu, zobowiązani są do niesienia pomocy przy tępieniu szkodników.
2. Zabronione jest zabijanie dzięciołów, drozdów, zięb i pozostałych ptaków żywiących się gąsienicami oraz tępienie mrówek leśnych.
3. W poszkodowanych obrębach leśnych, jesienią, zimą i na wiosnę należy wypasać świnie” (Szwankowski, dane niepublikowane).

W komunikacie tej samej rejencji z 18 lipca 1837 roku wymienia się takie owady jak: *Noctua piniperda*, *Monacha*, *Bombyx pini*, *Tenthredo pini* (strzygonia choinówka, brudnica mniszka, barczatka sosnowka, borecznik sosnowiec) (Szwankowski, dane niepublikowane).

Dane z roku 1866 mówią o masowo występującej sówce choinówce (strzygoni choinówce) w następujących Nadleśnictwach: Świekatowo, Wierzchlas, Osie, Przewodnik, Czersk, Woziwoda oraz Lipowa. W roku 1867 owad ten opłamał dalsze Nadleśnictwa: Osieczna, Drewniaczki, Okonin, Wirty oraz Świt. Informacja z tego okresu mówi: „22 tys. morgów zniszczonych, w tym nawet jałowce. Przed przepoczwarczeniem gąsienice uległy zarażeniu grzybem *Empusa aulicae* i masowo wyginęły” (Szwankowski, dane niepublikowane).

### OKRES MIĘDZYWOJENNY (1918-1939)

Okres I wojny światowej w znaczny sposób wpłynął na obniżenie zasobności lasów II Rzeczypospolitej. Zniszczenia wojenne, grabieże, dewastacja, ale przede wszystkim eksploatacja prowadzona przez okupantów przyczyniły się do znacznych strat w drzewostanach. Kryzys gospodarczy, ekonomiczny i niestabilność

polityczna doprowadziły do okoliczności, w których lasy stały się narzędziem wykorzystywanym do poprawy sytuacji gospodarczej i ulegały masowemu pozyskaniu. Działania te skutkowały wzmożoną i przyspieszoną deforestacją, o skali większej niż zniszczenia w czasie I wojny światowej. W Borach Tucholskich sytuacja w tym zakresie była jednak korzystniejsza niż w innych regionach kraju. Wynikało to głównie z faktu, że na Pomorzu odsetek lasów państwowych przewyższał odsetek lasów prywatnych (w przeciwieństwie do innych regionów Polski). Ubytek lasów państwowej własności był zdecydowanie mniejszy niż własności prywatnej. Pomimo tego, w 1928 roku lesistość województwa pomorskiego (wraz z Borami Tucholskimi) wynosiła zaledwie 26,6% (Broda 2006b).

W tym okresie Bory Tucholskie przeżywały kolejną gradację, tym razem związaną z masowym występowaniem strzygoni choinówki. W latach 1921-1924 olbrzymia gradacja tego szkodnika dotknęła całą środkową Europę, w tym lasy zachodniej i północnej Polski na powierzchni około 400 tys. hektarów. W następstwie żerów tego owada zrębami zupełnymi wycięto około 200 tys. hektarów drzewostanów sosnowych. Odnowienie tak rozległych powierzchni pogradacyjnych wiązało się z wielkim trudem organizacyjnym i finansowym. Niestety nowe nasadzenia zostały wykonane przeważnie ponownie sosną, co w przyszłości skutkowało okresowymi pojawami tego i innych foliofagów sosny (Gądek 2006).

## II WOJNA ŚWIATOWA (1939-1945)

Okres II wojny światowej to kolejny czas dewastacji lasów przez okupantów. Już 8 października 1939 roku Hitler wydał dekret o przyłączeniu m.in. Pomorza Gdańskiego (województwa pomorskiego wraz z Borami Tucholskimi) do Rzeszy. Rozpoczęła się rabunkowa eksploatacja lasów na Pomorzu, która zdaniem badacza historii lasów i leśnictwa w Polsce, Józefa Brody, w okresie sześciu lat wyczerpała zapas drewna, które w normalnych warunkach starczyłoby na kilkadziesiąt lat użytkowania (Broda 2006c). Plany nazistów zakładały prowadzenie zalesień nieużytków i słabych gruntów porolnych. W okręgu Gdańsk-Prusy Zachodnie miały one dotyczyć do 190 tys. hektarów. Plany te jednak nigdy nie zostały zrealizowane (Broda 2006c). Podobnie jak w czasie I wojny światowej tak i w czasie okupacji nazistowskiej lasy Pomorza, w tym Borów Tucholskich, zostały dotknięte relatywnie mniejszymi uszkodzeniami niż pozostałe polskie lasy. Mimo tego straty były olbrzymie. Według przeprowadzonych szacunków, w okręgach Lasów Państwowych w Gdańsku i Toruniu (rok 1946) w czasie II wojny światowej pozyskano łącznie ok. 7,3 mln m<sup>3</sup> drewna (Broda 2006d).

## OKRES POWOJENNY

Okres po II wojnie światowej wraz ze zmianą ustroju politycznego przyniósł zmiany własnościowe. Nacjonalizacja lasów w całym kraju odbywała się głównie na podstawie dekretu PKWN z 12 grudnia 1944 r. o przejęciu niektórych lasów na własność Skarbu Państwa. W jego wyniku udział Lasów Państwowych w roku 1946 wzrósł do 88% (w stosunku do całej powierzchni lasów) wobec 38% w roku 1937. Nowe realia gospodarki stawiały również przed leśnictwem nowe zadania. Jednym z nich był wzrost produktywności. Zalesienia prowadzone na wielką skalę skutkowały powstawaniem nowych upraw, niestety znowu w przewadze sosnowych, nawet na siedliskach żyznych. Szczytowy okres zalesień przypadał na lata 60-te XX w., gdy średniorocznie w Polsce zalesiano po ok. 50 tys. ha (Gorzelać 2006). Zalesienia realizowano również w Borach Tucholskich i to zarówno w lasach prywatnych, jak i lasach Skarbu Państwa. Wzrostowi produktywności miało pomagać również odwadnianie terenów leśnych. Meliorowane i osuszone tereny służyły pod zakładane uprawy sosny i świerka. Jednocześnie prowadzone zręby na siedliskach wilgotnych i bagiennych doprowadzały do degeneracji i osłabienia całych ekosystemów (Lamentowicz i in. 2021).

Po kolejnych zmianach ustrojowych i wprowadzeniu nowej ustawy o lasach w 1991 roku, a także po przyjęciu Polityki Leśnej Państwa (1997), funkcja produkcyjna lasu przestała być jedyną funkcją. Do powszechnego obowiązywania weszło m.in. przygotowywanie operatów glebowo-siedliskowych i opracowań fitosocjologicznych, które dały podstawę do właściwego wykorzystania siedlisk i regeneracji ekosystemów leśnych. Rozpoczął się mozolny i powolny proces zmiany struktury gatunkowej Borów Tucholskich.

Początek XXI wieku to kolejny okres, w którym siły natury dały o sobie znać. W dniu 14 lipca 2012 roku przez Bory Tucholskie przeszło tornado, które osiągnęło siłę wiatru F3 w skali Fujity i zniszczyło ok. 550 ha lasów, a śmierć poniosło 10 osób (Łuców i in. 2021). Następnie potężny huragan, który przeszedł nad Polską w dniu 11 sierpnia 2017 roku, tylko w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu połamał 5,5 mln m<sup>3</sup> drzew. W rezultacie 21,8 tys. ha zaklasyfikowanych zostało do odnowień. Większość tych strat dotyczyła nadleśnictw położonych w Borach Tucholskich. Odnowione powierzchnie w znacznym stopniu obsadzono gatunkami liściastymi, dostosowanymi do warunków siedliskowych, które w odległej perspektywie poprawią zniekształconą w przeszłości strukturę gatunkową tych lasów.



## PODSUMOWANIE

Pomimo tak burzliwej historii i znacznego przekształcenia spowodowanego działalnością człowieka, zwłaszcza w ostatnich 250 latach, Bory Tucholskie zachowały swój urok, piękno krajobrazu i nadal zachwycają odwiedzających je turystów. W pozornej monotonii sosnowych borów skrywają się tutejsze perły – jeziora i torfowiska – świadczące o ciekawej i nieodkrytej wciąż przeszłości (Rycina 4). Po wieloletnich staraniach różnych środowisk, w tym naukowych i samorządowych, na tym terenie w 2010 roku utworzony został Rezerwat Biosfery Bory Tucholskie. Obszar Borów Tucholskich doczekał się międzynarodowego uznania w ramach programu „Człowiek i Biosfera” (MAB) realizowanego przez UNESCO.



### **Rycina 4**

W pozornej monotonii sosnowych borów skrywają się tutejsze perły – jeziora i torfowiska. Rezerwat przyrody „Jeziorka Kozie”. Fotografia z archiwów Nadleśnictwa Woziwoda.

W ostatnich latach z dużym niepokojem obserwowane są negatywne zjawiska wynikające ze zmian klimatycznych, potęgowane innymi antropogenicznymi przekształceniami środowiska, w tym osuszaniem wilgotnych siedlisk

(Jagodziński i in. 2020; Jagodziński 2023). Historyczne przekształcenia sprawiają, że ekosystemy Borów Tucholskich są coraz mniej odporne na współczesne zmiany klimatyczne. Pociąga to za sobą konieczność podejmowania kompleksowych działań ochronnych, szczególnie na obszarach najcenniejszych, jakimi są rezerwy przyrody i tereny podmokłe, w obrębie których swoje stanowiska znajduje wiele rzadkich gatunków roślin, zwierząt czy grzybów. Działania te muszą przybrać charakter ciągły i być przedmiotem troski wszystkich środowisk.

## LITERATURA

- Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. 1998. Plan Urządzenia Gospodarstwa Leśnego dla Nadleśnictwa Woziwoda na okres gospodarczy 1998-2007. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. Gdynia.
- Boiński M. 1985. Szata roślinna Borów Tucholskich. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa-Poznań-Toruń.
- Broda J. 2006a. Leśne dziedzictwo po okresie zaborów i powojenne uwarunkowania. [w:] Szujeccki A. (red.) Z dziejów Lasów Państwowych i leśnictwa polskiego 1924-2004. Tom I. Okres międzywojenny. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ss. 29-62.
- Broda J. 2006b. Lesistość, rodzaje własności i podział administracyjny Lasów Państwowych. [w:] Szujeccki A. (red.) Z dziejów Lasów Państwowych i leśnictwa polskiego 1924-2004. Tom I. Okres międzywojenny. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ss. 63-78.
- Broda J. 2006c. Gospodarka leśna na okupowanych terenach Polski. [w:] Szujeccki A. (red.) Z dziejów Lasów Państwowych i leśnictwa polskiego 1924-2004. Tom II. Lata wojny i okupacji. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ss. 87-101.
- Broda J. 2006d. Próba określenia wielkości strat gospodarczych i osobowych w leśnictwie polskim w wyniku wojny i okupacji. [w:] Szujeccki A. (red.) Z dziejów Lasów Państwowych i leśnictwa polskiego 1924-2004. Tom II. Lata wojny i okupacji. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ss. 297-322.
- Filbrandt-Czaja A. 2009. Studia nad historią szaty roślinnej i krajobrazu Borów Tucholskich. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Toruń.

- Gądek K. 2006. Ochrona lasu. [w:] Szujecki A. (red.) Z dziejów Lasów Państwowych i leśnictwa polskiego 1924-2004. Tom I. Okres międzywojenny. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. ss. 183-207.
- Gorzela A. 2006. Zalesienia i zadrzewienia kraju. [w:] Szujecki A. (red.) Z dziejów Lasów Państwowych i leśnictwa polskiego 1924-2004. Tom III (1). Lata powojenne i współczesność. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ss. 99-115.
- Groth A. 2010. W czasach Rzeczypospolitej (1466-1772) i początku pruskiego panowania (1772-1815). [w:] Jastrzębski W., Szwankowski J. (red.) Tuchola. Od pradziejów do współczesności. Przedsiębiorstwo Marketingowe LOGO. Bydgoszcz-Tuchola. ss. 119-205.
- Grzegorz M. 2010. Tuchola i ziemia tucholska na tle polskiego średniowiecza. [w:] Jastrzębski W., Szwankowski J. (red.) Tuchola. Od pradziejów do współczesności. Przedsiębiorstwo Marketingowe LOGO. Bydgoszcz-Tuchola. ss. 57-118.
- Jagodziński A.M. 2022. Prognozowane problemy z utrzymaniem trwałości lasów wobec postępujących zmian klimatycznych. [w:] Szabla K. (red.) Leśnictwo przyszłości. Polskie Towarzystwo Leśne. Stare Jabłonki. ss. 55-75.
- Jagodziński A.M. 2023. Różnorodność biologiczna ekosystemów leśnych a zmiany klimatyczne. [w:] Skrzecz I., Sikora K. (red.) Wpływ zmian klimatu na środowisko leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary. ss. 19-45.
- Jagodziński A.M., Pietras M., Dyderski M.K. 2020. Migracje drzew i grzybów mykoryzowych w wyniku przesuwania się stref klimatycznych. [w:] Burcharde-Dziubińska M., Prandecki K. (red.) Zmiana klimatu – skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki. Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus” PAN. Warszawa. ss. 75-96.
- Karasiewicz K. 1920. Bory Tucholskie i krótka historia Pomorza. Wydawnictwo „Gazety Toruńskiej”. Toruń.
- Kołaczek P., Karpińska-Kołaczek M., Czerwiński S., Marcisz K., Lamentowicz M. 2021. Palinologia. [w:] Kurzawska A., Sobkowiak-Tabaka I. (red.) Mikroprzeszłość. Badania specjalistyczne w archeologii. Wydział Archeologii Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. ss. 13-28.

- Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Marcisz K., Słowiński M., Kołaczek P., Kotowski W. 2021. Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego. [w:] Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.) *Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku. Materiały konferencyjne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. ss. 35-57.
- Lamentowicz M., Obremska M., Mitchell E.A.D. 2006. Historia rozwoju dwóch torfowisk mszarnych w Borach Tucholskich. *Przegląd Geologiczny* 54 (1): 76-80.
- Łuców D., Lamentowicz M., Kołaczek P., Łokas E., Marcisz K., Obremska M., Theuerkauf M., Tyszkowski S., Słowiński M. 2021. Pine Forest Management and Disturbance in Northern Poland: Combining High-Resolution 100-Year-Old Paleoecological and Remote Sensing Data. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 747976.
- Manikowski S. 1999a. Hutnictwo szkła w Borach Tucholskich. *Echo Borów* 57 (3): 16-18.
- Manikowski S. 1999b. Smolarstwo w Borach Tucholskich. *Echo Borów* 56 (2): 16-18.
- Milecka K. 2006. Historia roślinności Borów Tucholskich na podstawie analizy palinograficznej osadów jeziora Ostrowite. [w:] Kowalewski G., Milecka K. (red.) *Jeziora i torfowiska Parku Narodowego Bory Tucholskie. Przewodnik terenowy. Park Narodowy „Bory Tucholskie”*. Charzykowy. ss. 101-106.
- Miotk-Szpiganowicz G. 1993. Odrębność florystyczna Borów Tucholskich w holocenie w świetle badań palinologicznych. [w:] Rejewski M., Nienartowicz A., Boiński M. (red.) *Bory Tucholskie. Walory przyrodnicze – Problemy ochrony – Przeszłość (materiały pokonferencyjne)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Toruń. ss. 51-56.
- Szwankowski J. 2007. Wykorzystanie wód Brdy i jej dorzecza w gospodarce pruskiej. [w:] Jarzębski W., Woźny J. (red.) *Dziedzictwo kulturowe i przyrodnicze Brdy i jej dorzecza. Przedsiębiorstwo Marketingowe LOGO. Bydgoszcz-Tuchola*. ss. 42-56.
- Szwankowski J. 2023. Bory Tucholskie w nurcie przemian – wybrane problemy w świetle źródeł historycznych. *Zeszyty Chojnickie* 39: 11-23.

- Tobolski K. 2003. Torfowiska na przykładzie Ziemi Świeckiej. Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły. Świecie.
- Tobolski K. 2006. Wprowadzenie do przyrody Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. [w:] Kowalewski G., Milecka K. (red.) Jeziora i torfowiska Parku Narodowego Bory Tucholskie. Przewodnik terenowy. Park Narodowy „Bory Tucholskie”. Charzykowy. ss. 13-42.
- Wilson J.K. 2012. The German Forest. Nature, Identity, and the Contestation of a National Symbol, 1871-1914. University of Toronto Press. Toronto.
- Woźny J. 2010. Tuchola i okolice w najdawniejszych czasach. [w:] Jastrzębski W., Szwanowski J. (red.) Tuchola. Od pradziejów do współczesności. Przedsiębiorstwo Marketingowe LOGO. Bydgoszcz-Tuchola. ss. 17-55.

KATARZYNA MARCISZ, MARIUSZ BĄK, PIOTR KOŁACZEK,  
MARIUSZ LAMENTOWICZ, DARIA WOCHAL  
PRACOWNIA EKOLOGII ZMIAN KLIMATU, INSTYTUT GEOEKOLOGII  
I GEOINFORMACJI, WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH I GEOLOGICZNYCH,  
UNIwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

## HISTORIA LASU I MOKRADEŁ ZAPISANA W TORFOWISKACH

### WSTĘP

Postępujące zmiany klimatu, zmiany administracyjne i polityczne, działalność człowieka, historia lasu oraz zmiany w strukturze i kondycji drzewostanu są ze sobą ściśle powiązane. Naukowcy z różnych zakątków świata pokazują te związki i starają się przeanalizować powiązania pomiędzy działalnością człowieka a stanem ekologicznym ekosystemów. Także na terenie Polski badania historii ekosystemów pokazują istotną ewolucję, jaką przeszły lasy od początków istnienia państwa polskiego do czasów obecnych (Czerwiński i in. 2019). Człowiek gospodarując ekosystemami doprowadził do istotnych zmian w ich funkcjonowaniu. Poprzez rozbudowę grodów i rozwój rolnictwa prowadzone były wycinki lasów (Czerwiński i in. 2022), co znacząco wpływało na kondycję jezior i mokradeł (Lamentowicz i in. 2020). Już pod koniec średniowiecza powierzchnia lasów w Polsce była znacząco mniejsza niż na początku państwowości (Czerwiński i in. 2022), a obecnie większość dużych kompleksów leśnych to nie lasy mieszane, a monokultury sosnowe (Słowiński i in. 2019). Stan mokradeł także uległ pogorszeniu. Z szacunków naukowców wynika, że ok. 85% torfowisk w Polsce zostało osuszonych (Jabłońska i in. 2021). Deficyt wody wpływa negatywnie na torfowiska i lasy, a postępujące antropogeniczne ocieplenie klimatu tylko potęguje te zmiany. Już od prawie stu lat drzewostany są bardziej podatne na gradacje szkodników (np. strzygoni choinówki czy kornika drukarza), a w ostatnich

dziesięcioleciach coraz częściej doświadczają wiatrołomów czy pożarów (Barabach 2015; Łuców i in. 2021).

Według prognoz naukowców kondycja lasów w Polsce ze względu na niedobór wody może ulec zdecydowanemu pogorszeniu w najbliższych kilkudziesięciu latach, co spowoduje istotne zmiany w składzie gatunkowym drzewostanów, takie jak wyeliminowanie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) i przesunięcie się jej optimum występowania na północ (Dyderski i in. 2018). Porównanie danych historycznych, hydrologicznych i klimatycznych w Europie sugeruje, że drzewostany będą narażone w przyszłości na jeszcze większe kryzysy wodne i pożary (Seidl i in. 2014; Słowiński i in. 2019). Z tego względu warto zwrócić szczególną uwagę na torfowiska położone na terenach leśnych, ponieważ to one mogą być kluczem do polepszenia stosunków wodnych. Torfowiska funkcjonują jak gąbka, tworząc magazyny wody korzystne dla funkcjonowania drzewostanów. Ponadto, są jednymi z najważniejszych ekosystemów gromadzących węgiel, który przechowują od wielu tysięcy lat (Harenda i in. 2018). Bory Tucholskie są bogate w różne typy torfowisk, co wpływa korzystnie na kondycję tych kompleksów leśnych. Stąd też ochrona torfowisk tego obszaru pozwoli na zwiększenie retencji wody, a co za tym idzie akumulacji węgla i redukcję emisji dwutlenku węgla. Równocześnie pozwoli na poprawę kondycji gleb i samych drzewostanów (Lamentowicz i in. 2021).

Aby poznać przeszłość danego regionu sięgającą dalej niż doniesienia historyczne (Wilson 2012) i określić plan jego ochrony często wykorzystuje się badania paleoekologiczne (Marcisz i in. 2022).

## PALEOEKOLOGIA – KLUCZ DO REKONSTRUKCJI HISTORII EKOSYSTEMÓW

Dziedziną nauki, która zajmuje się rekonstrukcją historii ekosystemów w ostatnich kilkunastu tysiącach lat, jest paleoekologia. Przedmiotem badań paleoekologicznych są osady biogeniczne – najczęściej osady jeziorne i torf – w których w warunkach beztlenowych akumulowane są wskaźniki zmian ekosystemów, m.in. szczątki roślin, zwierząt (w tym bezkręgowców), ziarna pyłku czy pozostałości mikroorganizmów (Tobolski 2000). W obu tych ekosystemach, dzięki panującym warunkom beztlenowym, szczątki te nie ulegają dekompozycji, a wskaźniki paleoekologiczne są najczęściej dobrze zachowane i wspaniale nadają się do badań historii danego terenu. Wraz z akumulacją osadów na dnie jeziora lub przyrostem torfu w torfowiskach rokrocznie w tych zbiornikach przyrastają

kolejne warstwy osadów. Im więc głębiej sięgniemy, tym starsze osady odnajdziemy. Analiza osadów na różnych głębokościach pozwala na zrekonstruowanie dawniej występujących na danym terenie roślin oraz określenie np. składu gatunkowego lasu. Można także zrekonstruować zwiększającą się presję człowieka na środowisko czy stwierdzić występowanie zjawisk katastrofalnych w przeszłości, takich jak powódzie czy pożary.

W związku z bardzo dużą liczbą torfowisk w Borach Tucholskich, znacząca część badań paleoekologicznych na tym terenie została oparta o analizy rdzeni torfowych. Pierwszym etapem prac paleoekologicznych jest wybór odpowiedniego stanowiska badawczego, a następnie pobór rdzenia torfowego w terenie. Pobór rdzeni odbywa się z użyciem specjalnych próbników, dzięki którym możliwe jest wywiercenie niezaburzonych sekcji torfu z różnych głębokości (Rycina 1).



**Rycina 1**

Pobór prób w terenie odbywa się z pomocą specjalnych próbników torfowych. Na zdjęciach (A i B) przedstawiono pobór rdzenia z torfowiska Okoniny (Nadleśnictwo Woziwoda, Bory Tucholskie) w marcu 2022 r., w czasie warsztatów organizowanych przez Nadleśnictwo Woziwoda. Następnie pobrany rdzeń transportuje się do laboratorium (C), gdzie oprobowuje się go i przygotowuje próby do poszczególnych analiz mikroskopowych (D).



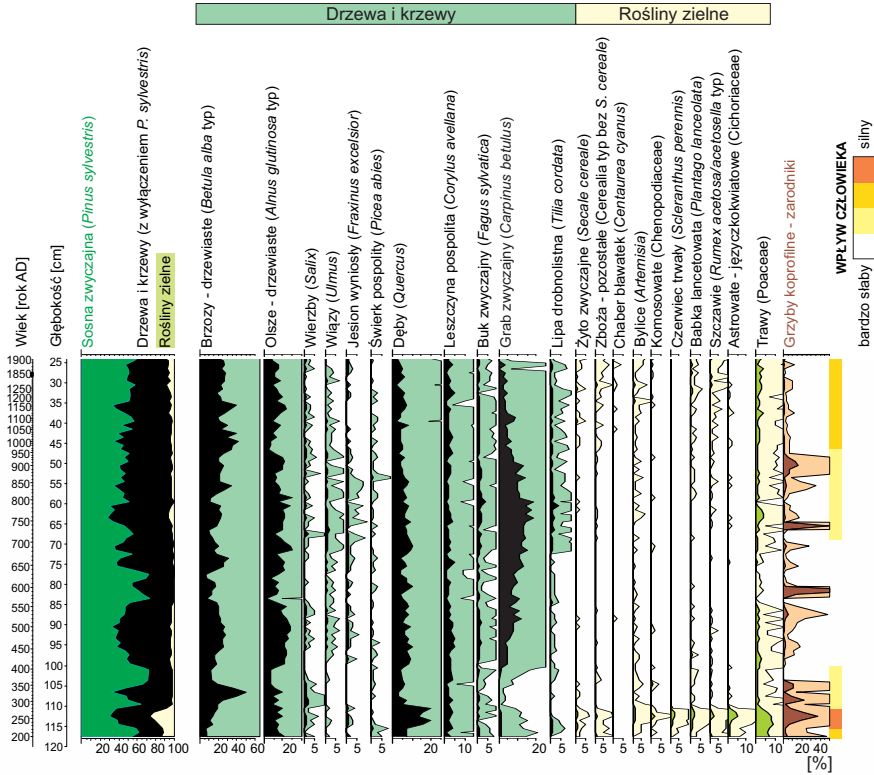
Następnie pobrany materiał jest transportowany do laboratorium, gdzie zostaje pocięty na plastry, na bazie których wykonane zostaną poszczególne analizy.

Pierwszym krokiem w badaniach paleoekologicznych jest określenie wieku torfu na poszczególnych głębokościach. Można to zrobić z wykorzystaniem kilku metod, jednak najczęściej stosowane są metody oparte o połowiczny rozkład izotopów radioaktywnych: datowania radiowęglowe  $^{14}\text{C}$  metodą AMS (Walanus, Goslar 2009) lub ołowiowe  $^{210}\text{Pb}$  (Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernández 2012). Do datowania wybiera się fragmenty szczątków lokalnie występujących roślin obecnych w warstwach torfu na różnych głębokościach. Po określeniu wieku poszczególnych warstw, za pomocą modelowania statystycznego określa się wiek całego pobranego rdzenia (Walanus, Goslar 2009).

Następnym etapem jest analiza mikroskopowa interesujących nas wskaźników paleoekologicznych. Każdy plaster torfu zostaje rozdzielony na mniejsze próbki, a te zostają odpowiednio przygotowane do poszczególnych analiz mikroskopowych w laboratorium. W badaniach torfowisk wykorzystujemy najczęściej następujące wskaźniki:

### **Ziarna pyłku roślin**

Każda z roślin produkujących pyłek wytwarza charakterystyczne dla siebie ziarna pyłku. Pyłek roślin porastających torfowiska, jak również ich bliższe lub dalsze otoczenie, opada na ich powierzchnię i akumuluje się w torfach. Stąd też zmiany roślinności na samych torfowiskach i w ich otoczeniu odzwierciedlają się w składzie kopalnym pyłku (Moore i in. 1991). Analiza składu ziaren pyłku (inaczej analiza palinologiczna) opiera się na rozpoznaniu pyłku poszczególnych taksonów w torfie, dzięki czemu możemy określić zmiany szaty roślinnej na torfowisku i jego otoczeniu (Kołaczek i in. 2021). Ponieważ pyłek może być transportowany na dalekie odległości (na otwartym terenie nawet do 100 km), zakres rekonstrukcji szaty roślinnej na podstawie analizy palinologicznej zależy od wielkości torfowiska, jak również otwartości siedlisk w jego otoczeniu (Berglund, Ralska-Jasiewiczowa 1986). Możemy więc odtworzyć, które gatunki drzew dominowały w danym okresie oraz prześledzić, które rośliny były uprawiane w przeszłości przez człowieka (Rycina 2). Zmniejszanie się udziałów pyłku drzew z jednoczesnym wzrostem udziałów pyłku roślin uprawnych jest wskaźnikiem zwiększonej presji na środowisko i wskazuje na wycinki lasu i zwiększenie areалу pól uprawnych.



## Rycina 2

Diagram palinologiczny z torfowiska Głęboczek (Nadleśnictwo Kaliska) (Lamentowicz i in. 2019), przedstawiający rozwój torfowiska w okresie 200-1900 r. n.e. Poza zmianą frekwencji ziaren pyłku drzew, krzewów i roślin zielnych możemy także zaobserwować zmiany obecności zarodników grzybów koprolifnych. W ostatniej kolumnie kolorami oznaczone zostało natężenie wpływu człowieka na torfowisko – od bardzo słabego (kolor biały), do silnej presji na ekosystem (pomarańczowy).

Często poza ziarnami pyłku oznacza się także inne elementy widoczne w preparacie mikroskopowym. Są to tzw. palinomorfy niepyłkowe, czyli subfosylia należące do różnych grup taksonomicznych, np. zarodniki grzybów, cyjanobakterie czy glony (Shumilovskikh, van Geel 2020). Jednymi z często oznaczanych palinomorf są zarodniki grzybów z rodziny Sporormiaceae czy rzędu Sordariales. Są to grzyby obligatoryjnie lub fakultatywnie koprolifne, czyli występujące na odchodach zwierząt, głównie wszystko- i roślinożernych (udomowionych i dzikich). Obecność zarodników tych grzybów w profilu torfowym może być oznaką obecności zwierząt roślino- i/lub wszystkożernych na torfowisku, a to z kolei może wskazywać, że w danym czasie badany obiekt był na tyle suchy, że pozwalał na swobodne poruszanie się tych zwierząt na jego powierzchni.

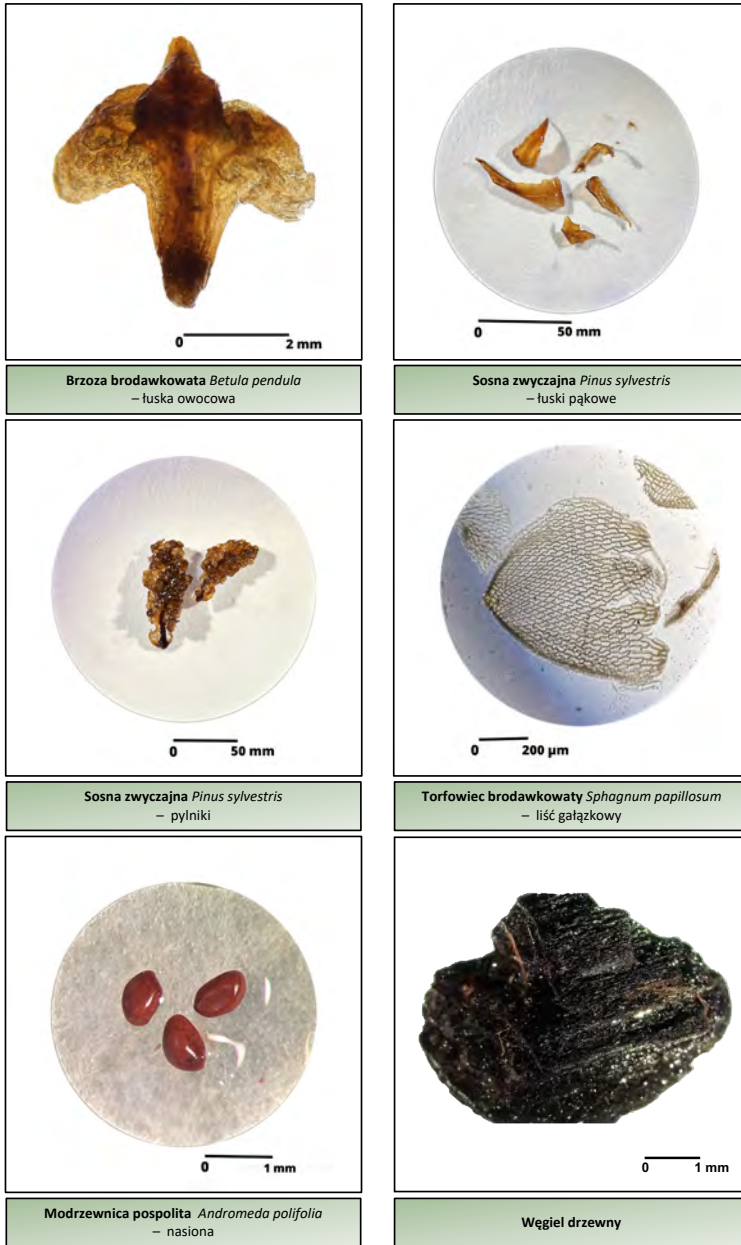
## **Makroskopowe szczątki roślin i węgielki**

Pozostałości roślin występujących na danym terenie pozwalają na określenie, które gatunki torfotwórcze dominowały w danym czasie na torfowisku oraz w jego bliskim otoczeniu. Wśród szczątków roślin torfotwórczych możemy znaleźć fragmenty takie jak listki, gałązki, łodyżki czy puszki zarodnikowe różnych gatunków mchów (mchy torfowce z rodzaju *Sphagnum* oraz mchy brunatne), systemy korzeniowe oraz tkanki roślin zielnych (np. ciborowatych i wiechlinowatych), a także korzenie i gałązki drzew, krzewów i krzewinek (np. wrzosowatych) (Grosse-Brauckmann 1992; Tobolski 2000) (Rycina 3). Ponadto, w torfie w całości lub częściowo zachowują się inne organy i tkanki roślin takie jak owoce, łuski owocowe, nasiona, igły, szyszki lub fragmenty kory drzew (Tobolski 2000). Dominacja szczątków makroskopowych poszczególnych gatunków roślin informuje nas o tym, z jakim typem torfowiska mieliśmy do czynienia w przeszłości. Torf wysoki został zakumulowany w okresie, kiedy funkcjonowało torfowisko wysokie, z dominującymi wśród roślinności torfotwórczej mchami torfowcami z rodzaju *Sphagnum*. W przypadku dominacji roślin zielnych (np. turzyce) czy wodnych (np. rdestnice) możemy stwierdzić występowanie torfu niskiego, czyli funkcjonowanie torfowiska niskiego w danym okresie (Tobolski 2000). Zmiana typu osadu w rdzeniu wskazuje na to, że w danym okresie badany obiekt przeszedł istotne zmiany w swoim funkcjonowaniu, np. nastąpiła zmiana stosunków troficznych czy stosunków wodnych w zlewni tego obiektu (Gałka i in. 2017).

Jeśli w bliskiej okolicy torfowiska lub na samym torfowisku (np. na skutek osuszenia jego powierzchni) doszło do pożaru, możliwe jest znalezienie zakumulowanych w torfie zwęglonych fragmentów roślin i zrekonstruowanie aktywności pożarowej na badanym terenie (Whitlock, Larsen 2001). Jeśli zachowane węgielki są odpowiednio duże, a ich struktura jest dobrze zachowana, możliwe jest określenie typu rośliny, która ulegała spaleni (drzewo, trawa, liść), a nawet określenie jej gatunku (Rycina 3) (Umbanhowar, Mcgrath 1998; Marcisz i in. 2019).

## **Ameby skorupkowe**

W torfie możemy także odnaleźć szczątki mikroorganizmów. Jednymi z najliczniej występujących są skorupki ameb skorupkowych – jednokomórkowych mikroorganizmów o wielkości ok. 15-500  $\mu\text{m}$ , które licznie występują na torfowiskach i innych obszarach podmokłych. Ameby skorupkowe posiadają



**Rycina 3**

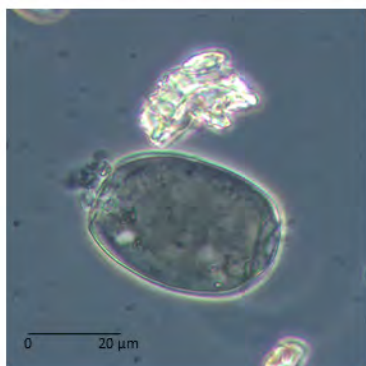
Fotografie makroskopowych szczątków roślin zaobserwowanych w rdzeniu pobranym z torfowiska Okoniny (Nadleśnictwo Woziwoda). Zwęglony fragment drewna sosny zwyczajnej pochodzi z warstwy żarowej z torfowiska Stawek (Nadleśnictwo Przymuszewo).



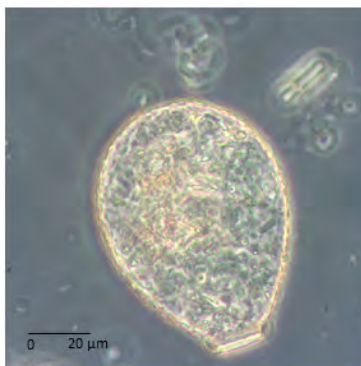
*Alabasta militaris*



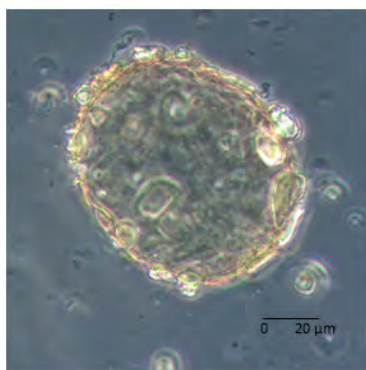
*Galeripora discoides*



*Archerella flavum*



*Nebela tinca*



*Amphitrema wrightianum*



*Hyalosphenia elegans*

#### Rycina 4

Fotografie ameb skorupkowych zaobserwowanych w rdzeniu pobranym z torfowiska Okoniny (Nadleśnictwo Woziwoda).

charakterystyczną dla siebie skorupkę, która po śmierci organizmu nie ulega rozłożeniu i zachowuje się w torfie (Warner 1988; Meisterfeld 2001). Każdy gatunek ameby produkuje inną skorupkę – różnią się one od siebie wielkością, materiałem budulcowym i ornamentacją, stąd możliwe jest rozpoznanie, które gatunki ameb występowały w przeszłości na danym torfowisku (Rycina 4) (Lamentowicz, Mitchell 2005). Ameby skorupkowe są szczególnie wrażliwe na zmiany poziomu wody i zmiany troficzne, przez co są wykorzystywane jako wskaźniki przeszłych zmian hydrologicznych i pH (Mitchell i in. 2008). Każdy z gatunków ameb skorupkowych ma inne optimum występowania (preferowany zakres poziomu wody oraz pH) i dzięki wiedzy na temat ich wymagań ekologicznych możemy zrekonstruować warunki panujące na torfowiskach w przeszłości.

## PRZYKŁADY BADAŃ PALEOEKOLOGICZNYCH Z OBSZARU BORÓW TUCHOLSKICH

O genezie torfowisk w Borach Tucholskich bardzo dużo mówią badania geomorfologiczne tego obszaru. Torfowiska w Borach Tucholskich położone są często albo w dawnych misach jeziornych – powstały wtedy na skutek obniżenia się poziomu wody w jeziorach i powolnego ich zarastania przez rośliny torfotwórcze – albo w bezodpływowych zagłębieniach terenu, które były np. pozostałościami po bryłach martwego lodu pozostawionych przez roztopiający się lodowiec ok. 12 000 lat temu (Marks 2012; Słowiński i in. 2015). Badania paleoekologiczne pozwalają prześledzić historię poszczególnych obiektów, rozpoznać poszczególne etapy ich rozwoju oraz prześledzić jakie działania i w jaki sposób zmieniały te ekosystemy.

W ostatnich dwudziestu latach wiele badań skupiało się na analizie historii poszczególnych obiektów w Borach Tucholskich. Dużo miejsca poświęcono analizie zbiorników jeziorno-torfowiskowych, a zwłaszcza powstawaniu torfowisk na skutek zarastania płem mszarnym jezior. Takie badania udokumentowały powstawanie mszaru na brzegach jeziora Małe Łowne w Zaborskim Parku Krajobrazowym (Kowalewski i in. 2009) czy w rezerwacie „Dury” na terenie Nadleśnictwa Osie (Kowalewski 2003; Milecka, Kowalewski 2008; Kowalewski 2011). Wiele prac wykonano na terenie Nadleśnictwa Woziwoda, gdzie skupiono się na prześledzeniu zmian linii brzegowej i zarastaniu płem jezierek na terenie rezerwatu „Jeziorka Kozie” (Kowalewski 2011) oraz odtworzeniu historii torfowisk w rezerwach „Bagna nad Stążką”, „Źródła rzeki Stążki” i „Bagno Grzybna” (Kowalewski i in. 2002). Dane te pozwoliły na udokumentowanie rozrastania

się mchów na powierzchni zarastających jezior, podkreślając, że sukcesja ta następuje na skutek obniżania się poziomu wody w zbiornikach oraz ich eutrofizacji.

Innymi obiektami badań były często spotykane w Borach Tucholskich torfowiska kotłowe, powstające w małych, bezodpływowych obniżeniach terenu, zasilane jedynie przez wody opadowe (Lamentowicz i in. 2008). Badania prowadzone na torfowiskach Jelenia Wyspa oraz Tuchola (Nadleśnictwo Tuchola) były jednymi z pierwszych doniesień pokazujących, że odlesienia, a następnie zalesienie tego obszaru sosną zwyczajną, doprowadziły najpierw do podwyższenia się poziomu wód gruntowych, a w konsekwencji do zakwaszenia gleb (spadek pH do poziomu ok. 3,5) (Lamentowicz i in. 2006). Procesy te doprowadziły do ekspansji mchów torfowców *Sphagnum* na powierzchni torfowisk, zmieniając charakter tych ekosystemów. Podobna zmiana była widoczna w profilu z torfowiska w rezerwacie „Bagna nad Stążką”, gdzie deforestacja ok. 1890 r. doprowadziła do znacznych wahań poziomu wody i eutrofizacji (Lamentowicz i in. 2013). Badania wykazały duży wpływ gospodarki leśnej na torfowiska, zwracając jednocześnie uwagę na to, że ochrona torfowisk powinna uwzględniać nie tylko ochronę samych obiektów, ale także ich otoczenia (Lamentowicz i in. 2006; Lamentowicz i in. 2007; Lamentowicz i in. 2013).

Poza badaniami nad niedawną historią Borów Tucholskich, obejmującą ostatnie 200-300 lat gospodarowania lasami, powstały też badania skupiające się na dokładniejszym przesłedzeniu historii tych terenów oraz odtworzeniu aktywności człowieka. Obszar Borów Tucholskich był niezwykle ważny dla lokalnych społeczności, które korzystały z bogatych zasobów lasów. Jedne z najnowszych badań były prowadzone na torfowisku Głębozec (Nadleśnictwo Kaliska) (Lamentowicz i in. 2019). Autorzy wykazali silny sygnał kultur z okresu neolitu (kultura pucharów lejkowatych, kultura amfor kulistych i kultura ceramiki sznurowej), epoki brązu (kultura iwieńska, trzciniecka i łużycka), a także z okresu przedrzymskiego i rzymskiego (kultura pomorska i/lub kultura oksywska i kultura wielbarska) (Lamentowicz i in. 2019). Wszystkie te społeczności eksploatowały zasoby naturalne, a także aktywnie korzystały z ognia, co było widoczne poprzez wiele występujących po sobie warstw żarowych zachowanych w torfie. Ponadto, jedną z istotnych aktywności człowieka w Borach Tucholskich była produkcja węgla drzewnego w XVI i XVII wieku. Najnowsze badania wykazały ogromną gęstość występowania mielerzy w północnej i zachodniej Polsce, w tym w Borach Tucholskich, co podkreśla istotną rolę lasów dla ludności na tych terenach (Słowiński i in. 2022).

Torfowiska Borów Tucholskich są także wykorzystywane w badaniach skupiających się na eksploracji nowych metod pomiarowych i wskaźników paleoekologicznych. Jednym z najnowszych badań tego rodzaju była rekonstrukcja przeszłych zaburzeń torfowiska kotłowego Stawek (Nadleśnictwo Przymuszewo) z wykorzystaniem izotopów neodymu (Marcisz i in. 2023). Badania wykazały duży potencjał izotopów neodymu do rekonstrukcji lokalnych zaburzeń torfowisk, takich jak lokalna aktywność pożarowa, która prowadzi do modyfikacji szaty roślinnej i zwiększonego dopływu wód powierzchniowych i materii mineralnej do torfowiska.

W związku z postępującymi antropogenicznymi zmianami klimatu duże kompleksy leśne znajdują się pod coraz większą presją i zdecydowanie częściej doświadczają zdarzeń katastrofalnych, takich jak fale ciepła i susze, pożary, gradacje szkodników czy wiatrołomy. Aby zrozumieć, w jaki sposób katastrofalne wylesienia wpływają na kondycję lasów i torfowisk, w ostatnich latach analizowano wpływ tornada z 2012 roku na ekosystem torfowiska Martwe (Nadleśnictwo Trzebciny) (Łuców i in. 2021). Badania te umożliwiły określenie odporności torfowisk oraz lasów na zdarzenia katastrofalne oraz pozwoliły określić, w jakim tempie dochodzi do regeneracji tych ekosystemów. Pokazały też jak dużym wyzwaniem dla gospodarki leśnej są coraz częściej obserwowane zdarzenia katastrofalne. Analogiczne wyzwania związane z zarządzaniem lasami w dobie zmian klimatu stoją także przed innymi monokulturami sosnowymi w Polsce. Do takich obszarów należy Puszcza Notecka, która ma podobną historię co Bory Tucholskie, mianowicie metody zarządzania lasem zostały ukształtowane jeszcze w czasach pruskich (Barabach 2015; Słowiński i in. 2019).

## AKTUALNIE PROWADZONE BADANIA PALEOEKOLOGICZNE W NADLEŚNICTWIE WOZIWODA

Badania paleoekologiczne prowadzone w Nadleśnictwie Woziwoda obejmują analizę historii rozwoju torfowiska Okoniny w ostatnich 300 latach. Badania rozpoczęły się w marcu 2022 roku od pobrania rdzenia torfowego z torfowiska podczas warsztatów terenowych dla leśników, zorganizowanych przez Nadleśnictwo Woziwoda (Rycina 1). Ponadto, w marcu/kwietniu 2023 roku badania zostały poszerzone o analizy dendrochronologiczne najstarszych osobników sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) rosnących w Nadleśnictwie (szczegóły w rozdziale „Zastosowanie dendrochronologii w badaniach klimatycznych i ekologicznych”). Celem badań jest określenie, w jaki sposób zmiana gospodarowania



lasami w pierwszej połowie XIX wieku wpłynęła na torfowisko Okoniny oraz jego otoczenie. Porównanie wielowskaźnikowych badań paleoekologicznych i dendrochronologii pozwoli uzyskać kompleksowy zapis historii rozwoju torfowiska, jak i terenów Nadleśnictwa Woziwoda, uwzględniając zapis zdarzeń katastrofalnych takich jak gradacje szkodników czy susze.

Badania są realizowane w Pracowni Ekologii Zmian Klimatu Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i finansowane przez Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2020/39/D/ST10/00641).

## LITERATURA

- Barabach J. 2015. Zapis zdarzeń katastrofalnych na obszarze Puszczy Noteckiej w osadach Torfowiska Rzecin. Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Praca doktorska.
- Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. 1986. Pollen analysis and pollen diagrams. [w:] Berglund B.E. (red.) Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons. Chichester. ss. 455-484.
- Czerwiński S., Guzowski P., Karpińska-Kołaczek M., Lamentowicz M., Gałka M., Kołaczek P., Izdebski A., Poniak R. 2019. Znaczenie wspólnych badań historycznych i paleoekologicznych nad wpływem człowieka na środowisko. Przykład ze stanowiska Kazanie we wschodniej Wielkopolsce. *Studia Geohistorica* 7: 56-74.
- Czerwiński S., Marcisz K., Wacnik A., Lamentowicz M. 2022. Synthesis of palaeoecological data from the Polish Lowlands suggests heterogeneous patterns of old-growth forest loss after the Migration Period. *Scientific Reports* 12: 8559.
- Dyderski M.K., Paź S., Frelich L.E., Jagodziński A.M. 2018. How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology* 24: 1150-1163.
- Gałka M., Tobolski K., Lamentowicz Ł., Ersek V., Jassey V.E.J., van der Knaap W.O., Lamentowicz M. 2017. Unveiling exceptional Baltic bog ecohydrology, autogenic succession and climate change during the last 2000 years in CE Europe using replicate cores, multi-proxy data and functional traits of testate amoebae. *Quaternary Science Reviews* 156: 90-106.

- Grosse-Brauckmann G. 1992. Über pflanzliche Makrofossilien mitteleuropäischer Torfe. III. Früchte, Samen und einige Gewebe (Fotos von fossilen Pflanzenresten) - On plant macrofossils in central European peat. III. Fruits, seeds and some tissues (photos of fossil plant remains) (in German). *Telma* 22: 53-102.
- Harenda K.M., Lamentowicz M., Samson M., Chojnicki B.H. 2018. The Role of Peatlands and Their Carbon Storage Function in the Context of Climate Change. [w:] Zielinski T., Sagan I., Surosz W. (red.) *Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals: Economic Growth, Social Inclusion and Environmental Protection*. Springer International Publishing. ss. 169-187.
- Jabłońska E., Kotowski W., Giergiczny M. 2021. Projekt Strategii ochrony mokradeł w Polsce na lata 2022-2032. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Kowalewski G., Schubert T., Tobolski K. 2002. Geologia i historia niektórych torfowisk Tucholskiego Parku Krajobrazowego. [w:] Ławrynowicz M., Różga B. (red.) *Tucholski Park Krajobrazowy 1985-2000*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. ss. 356-367.
- Kowalewski G., Żurek S., Schubert T., Karcz G. 2009. Initial development of floating mat in Małe Łowne Lake (N Poland). *Limnological Review* 9: 175-187.
- Kowalewski G. 2003. Shoreline changes of basins in the mire-lake reserves in S Tuchola Pinewoods. *Limnological Review* 3: 119-126.
- Kowalewski G. 2011. Shoreline and surface area changes induced by floating islands in peatland lakes (Tuchola Pinewood Forest, Poland). *Limnological Review* 11: 175-187.
- Kończak P., Karpińska-Kończak M., Czerwiński S., Marcisz K., Lamentowicz M. 2021. Palinologia. [w:] Kurzawska A., Sobkowiak-Tabaka I. (red.) *Mikroprzeszłość. Badania specjalistyczne w archeologii*. Wydział Archeologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. ss. 13-30.
- Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Marcisz K., Słowiński M., Kończak P., Kotowski W. 2021. Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego. [w:] Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.) *Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku*.

- wisku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. ss. 35-57.
- Lamentowicz M., Gałka M., Milecka K., Tobolski K., Lamentowicz Ł., Fiałkiewicz-Kozieł B., Blaauw M. 2013. A 1300-year multi-proxy, high-resolution record from a rich fen in northern Poland: reconstructing hydrology, land use and climate change. *Journal of Quaternary Science* 28: 582-594.
- Lamentowicz M., Kołaczek P., Mauquoy D., Kittel P., Łokas E., Słowiński M., Jassey V.E.J., Niedziółka K., Kajukało-Drygalska K., Marcisz K. 2019. Always on the tipping point – A search for signals of past societies and related peatland ecosystem critical transitions during the last 6500 years in N Poland. *Quaternary Science Reviews* 225: 105954.
- Lamentowicz M., Marcisz K., Guzowski P., Gałka M., Diaconu A.-C., Kołaczek P. 2020. How Joannites' economy eradicated primeval forest and created anthroecosystems in medieval Central Europe. *Scientific Reports* 10: 18775.
- Lamentowicz M., Mitchell E.A.D. 2005. The ecology of testate amoebae (Protozoists) in *Sphagnum* in north-western Poland in relation to peatland ecology. *Microbial Ecology* 50: 48-63.
- Lamentowicz M., Obremska M., Mitchell E.A.D. 2006. Developmental history of two kettle-hole mires in Tuchola Pinewoods (N Poland). *Przegląd Geologiczny* 54: 76-80.
- Lamentowicz M., Obremska M., Mitchell E.A.D. 2008. Autogenic succession, land-use change, and climatic influences on the Holocene development of a kettle hole mire in Northern Poland. *Review of Palaeobotany and Palynology* 151: 21-40.
- Lamentowicz M., Tobolski K., Mitchell E.A.D. 2007. Palaeoecological evidence for anthropogenic acidification of a kettle-hole peatland in northern Poland. *The Holocene* 17: 1185-1196.
- Łuców D., Lamentowicz M., Kołaczek P., Łokas E., Marcisz K., Obremska M., Theuerkauf M., Tyszkowski S., Słowiński M. 2021. Pine Forest Management and Disturbance in Northern Poland: Combining High-Resolution 100-Year-Old Paleoecological and Remote Sensing Data. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 747976.

- Marcisz K., Belka Z., Dopieralska J., Jakubowicz M., Karpińska-Kończak M., Kończak P., Mauquoy D., Słowiński M., Zieliński M., Lamentowicz M. 2023. Neodymium isotopes in peat reveal past local environmental disturbances. *Science of The Total Environment* 871: 161859.
- Marcisz K., Czerwiński S., Lamentowicz M., Łuców D., Słowiński M. 2022. How paleoecology can support peatland restoration. *Past Global Changes Magazine* 30: 12-13.
- Marcisz K., Lamentowicz M., Gałka M., Colombaroli D., Adolf C., Tinner W. 2019. Responses of vegetation and testate amoeba trait composition to fire disturbances in and around a bog in central European lowlands (northern Poland). *Quaternary Science Reviews* 208: 129-139.
- Marks L. 2012. Timing of the Late Vistulian (Weichselian) glacial phases in Poland. *Quaternary Science Reviews* 44: 81-88.
- Meisterfeld R. 2001. Testate amoebae. [w:] Costello M.J., Emblow C.S., White R. (red.) *Patrimoines Naturels*. Muséum National d'Histoire Naturelle - Institut d'Ecologie et de Gestion de la Biodiversité (I.E.G.B.) - Service du Patrimoine Naturel (S.P.N.). ss. 54-57.
- Milecka K., Kowalewski G. 2008. Development of mires in Dury Reserve, Poland: implications for nature conservation. [w:] Farrell C., Feehann J. (red.) *After Wise Use – The Future of Peatlands*. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Peat Congress: Pristine Mire Landscapes. ss. 68-71.
- Mitchell E.A.D., Payne R.J., Lamentowicz M. 2008. Potential implications of differential preservation of testate amoebae shells for paleoenvironmental reconstruction in peatlands. *Journal of Paleolimnology* 40: 603-618.
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. 1991. *Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C. 2012. 210Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82: 183-200.
- Seidl R., Schelhaas M.-J., Rammer W., Verkerk P.J. 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4: 806.

- Shumilovskikh L.S., van Geel B. 2020. Non-Pollen Palynomorphs. [w:] Henry A.G. (red.) Handbook for the Analysis of Micro-Particles in Archaeological Samples. Springer International Publishing, ss. 65-94.
- Słowiński M., Błaszkiwicz M., Brauer A., Noryskiewicz B., Ott F., Tyszkowski S. 2015. The role of melting dead ice on landscape transformation in the early Holocene in Tuchola Pinewoods, North Poland. *Quaternary International* 388: 64-75.
- Słowiński M., Lamentowicz M., Łuców D., Barabach J., Brykała D., Tyszkowski S., Pieńczewska A., Śnieszko Z., Dietze E., Jażdżewski K., Obremaska M., Ott F., Brauer A., Marcisz K. 2019. Paleoecological and historical data as an important tool in ecosystem management. *Journal of Environmental Management* 236: 755-768.
- Słowiński M., Szewczyk K., Jonczak J., Związek T., Łuców D., Halaś A., Obremaska M., Słowińska S., Róg D., Mroczkowska A., Noryskiewicz A.M., Chojnacka A., Ważny T., Gmińska-Nowak B., Kramkowski M., Barbarino V., Tyszkowski S., Kruczkowska B., Kowalska A., Kołaczowska E., Swoboda P., Kardasz C., Niedzielski M., Konopski M., Brykała D. 2022. A novel multiproxy approach to detect the impact of charcoal production on the natural environment in NW Poland – project concept and preliminary results. *Geographia Polonica* 95: 205-225.
- Tobolski K. 2000. Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych. PWN. Warszawa.
- Umbanhowar C.E., McGrath M.J. 1998. Experimental production and analysis of microscopic charcoal from wood, leaves and grasses. *The Holocene* 8: 341-346.
- Walanus A., Goslar T. 2009. Datowanie radiowęglowe. Wydawnictwa AGH. Kraków.
- Warner B.G. 1988. Testate amoebae (Protozoa). *Methods in Quaternary Ecology* 5. *Geosciences Canada* 15 (4): 251-260.
- Whitlock C., Larsen C. 2001. Charcoal as a fire proxy. [w:] Smol J.P., Birks H.J.B., Last W.M. (red.) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial, algal, and siliceous indicators. Kluwer Academic Publishers. ss. 75-97.

Wilson J.K. 2012. Reforestation as reform: Pomerelia and the Tuchel Heath. [w:] Wittmann R. (red.) The German Forest. Nature, identity, and the contestation of a national symbol, 1871-1914. University of Toronto Press. ss. 132-174.

PAWEŁ MATULEWSKI, DOMINIKA JASTER  
PRACOWNIA BADAŃ ANTROPOCENU, GEOEKOLOGII I GEOINFORMACJI,  
WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH I GEOLOGICZNYCH,  
UNIwersYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

# ZASTOSOWANIE DENDROCHRONOLOGII W BADANIACH KLIMATYCZNYCH I EKOLOGICZNYCH

## WSTĘP

Drzewa stanowią integralną część krajobrazu naturalnego, stanowiąc istotny element ekosystemów leśnych (Kasprzak 2011). Poza pełnionymi przez nie funkcjami przyrodniczymi, odgrywają one również kluczową rolę jako źródło danych geograficznych. Od początków ludzkości stanowiły one stały punkt odniesienia dla człowieka, będąc zarówno schronieniem, pożywieniem, jak i naturalnym źródłem substancji leczniczych (Jalinik 2021; Wodzicki 2021). W dzisiejszych czasach mają także istotny wpływ na jakość życia społeczności lokalnych (Szumacher, Ostaszewska 2010). Ich rozmieszczenie, bogactwo gatunkowe oraz stan zdrowotny są wskaźnikami klimatycznymi, topograficznymi oraz glebowymi. Analiza stanu drzewostanów w konkretnym obszarze może dostarczać kluczowych informacji na temat zasobów naturalnych, różnorodności biologicznej oraz historii przyrodniczej danego regionu (Włosik 2013). Dodatkowo, drzewa pełnią znaczące funkcje zarówno ekologiczne, jak i społeczno-gospodarcze w skali globalnej, regionalnej i lokalnej (Grzywacz 2011).

W kontekście zmian klimatycznych przesunięcia granic występowania gatunków drzew stają się istotnym wskaźnikiem dynamicznych procesów środowiskowych (Dyderski i in. 2018). Badanie stanu drzewostanów jest zatem kluczowym narzędziem w zrozumieniu oraz monitorowaniu przemian środowiska

naturalnego w różnych skalach geograficznych (Wilczyński 2020; Matulewski i in. 2021).

Jednym z istotnych instrumentów umożliwiających głębsze zrozumienie historii życia drzewa oraz jego reakcji na zmieniające się warunki środowiskowe jest dendrochronologia. Ten dział nauki oraz metoda datowania pozwalają określić wiek zjawisk przyrodniczych, ale także zawierających drewno znalezisk archeologicznych i budowli za pomocą analizy słoju rocznych drewna (Zielski, Krąpiec 2004).

## BIOLOGICZNE PODSTAWY DENDROCHRONOLOGII

Aby pełniej zrozumieć przemiany środowiska naturalnego na podstawie reakcji drzew, konieczne jest poznanie struktury i funkcji tkanek drzewa, co stanowi kluczowy element badawczy dla ekologów i biologów. Wszystkie żywe organizmy, włącznie z okazałymi drzewami mającymi wyraźnie wykształcony pęd główny, składają się z wielu tkanek, pełniących różne funkcje (Wojciechowski i in. 2013). Jedną z najważniejszych dla roślin drzewiastych jest tkanka twórcza, czyli kambium, odpowiedzialna za wytwarzanie nowych warstw łyka i komórek drewna wtórnego (Tulik 2001). Kambium, umieszczone wewnątrz w pniu, produkuje nowe komórki drewna wtórnego, służące do transportu wody i soli mineralnych od korzeni poprzez pień i gałęzie do liści lub igieł, oraz komórki łyka wtórnego przewodzące produkty fotosyntezy w przeciwnym kierunku (Kokociński 2001).

Aktywność kambium, rozpoczynająca się zazwyczaj na wiosnę, jest uzależniona od pór roku i różni się w zależności od gatunku drzewa oraz jego lokalizacji geograficznej (Muter 2021). Ta różnica wynika także z genetycznej zmienności drzew w obrębie gatunku oraz warunków środowiskowych, w tym zasobów siedliskowych i dostępu do światła (Bogaciński i in. 1988; Chomicz 2013). Struktura drewna, widoczna na przekroju poprzecznym pnia i korzeni drzew, ukazuje zróżnicowanie w postaci jaśniejszych i ciemniejszych okręgów – rocznych przyrostów drewna wtórnego (Hejnowicz 2012) (Rycina 1). Te jaśniejsze i ciemniejsze okręgi reprezentują warstwy drewna wczesnego i późnego. Drewno wczesne, związane z początkiem okresu wegetacyjnego, charakteryzuje się dużym światłem komórek i cienkimi ścianami. Powstałe naczynia/cewki służą głównie przewodzeniu wody i rozpuszczonych w niej soli mineralnych. Drewno to posiada małą gęstość, co zaznacza się jasnym kolorem. U wielu drzew drewno wczesne powstaje przed rozwojem liści, z uprzednio nagromadzonych materiałów zapasowych. Z kolei



drewno późne powstaje w dalszym stadium okresu wegetacyjnego. Zbudowane jest z elementów grubościennych, przez co na przekroju poprzecznym widoczne jest jako ciemniejsza część słoja (Rycina 1). Światło naczyń i cewek w drewnie późnym jest małe, co nadaje mu funkcję mechaniczną. Różnice te są szczególnie widoczne u drzew iglastych, ale także u niektórych gatunków drzew liściastych, takich jak dęby, wiązy czy jesiony. Drzewa, u których widoczna jest wyraźna różnica pomiędzy drewnem wczesnym a późnym, nazywane są pierścieniowonacyniowymi (Rycina 1) (Wdowiak 2017). Z kolei u drzew rozpierchłonacyniowych nie wykazuje się tak wyraźnego podziału na drewno wczesne i późne, co jest charakterystyczne dla gatunków takich jak brzoza, olcha, grab, topola czy wierzba (Kokociński 2002).

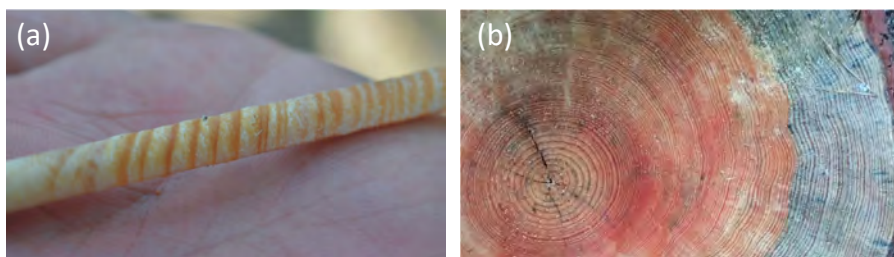
## DENDROCHRONOLOGIA I JEJ ZNACZENIE

Przyrosty roczne i właściwości drewna wczesnego oraz późnego stanowią obszar zainteresowania dendrochronologii, metody datowania zjawisk przyrodniczych i kulturowych (Krapiec, Ważny 1994). Słoje roczne, zależne w dużej mierze od warunków klimatycznych kolejnych lat, tworzą sekwencje o różnych parametrach (Fritts 1976). Drewno zawiera informacje o środowisku z poszczególnych lat życia drzewa, zapisując je w sekwencji przyrostów słoików drzewa o zróżnicowanej szerokości i strukturze anatomicznej (Schweingruber 1996; Schweingruber 2007).

Dendrochronologia, zajmująca się badaniem przyrostów rocznych drzew, interpretuje informacje zawarte w strukturach słoików drzew i stosuje je do rozwiązania zagadnień środowiskowych i historycznych (Zielski, Krapiec 2004). Jej początki sięgają Andrew Ellicota Douglasa, amerykańskiego astronoma (1867-1962) z Uniwersytetu Stanu Arizona w Tucson, który był prekursorem tej dziedziny (Piński 2022). W 1937 roku założył on wybitne laboratorium dendrochronologiczne, The Laboratory of Tree-Ring Research, będące centrum rozwoju technik dendrochronologicznych.

Datowanie wieku drzewa polega na przypisywaniu słoikom kolejnych lat kalendarzowych, licząc je od zewnątrz do wewnątrz rdzenia pnia lub korzenia drzewa w postaci wywiertu (Rycina 1a) lub krążka (Rycina 1b). Przy znanym roku ścięcia, śmierci drzewa lub dacie pobrania próbki, procedura ta jest prostsza. Natomiast dla datowania drewna o nieznanym wieku porównuje się sekwencje słoików rocznych z ustalonymi chronologiami uzyskanymi na podstawie uśrednienia kilku sekwencji słoików rocznych drzew (Zielski, Krapiec 2004). W praktyce buduje się chronologie drzew żyjących oraz historycznych, takich jak

te z wykopalisk archeologicznych, obiektów zabytkowych czy też znalezisk geologicznych (Zielski 1993). Łączenie ich podobnych cech umożliwi stworzenie wielowiekowej chronologii konkretnego gatunku. W ten sposób dopasowywany jest wzór sekwencji słoju rocznych, a podobieństwo analizuje się na wykresach, szczególnie zwracając uwagę na szerokości słoju. Szerokie lub wąskie słoje mogą świadczyć o latach ekstremalnych w okresie wzrostu drzewa, co jest określane jako rok wskaźnikowy (ang. *pointer year*) (Zielski 1993). Rok wskaźnikowy oznacza rok, w którym większość drzew w zbiorowości wykazuje znaczące różnice w szerokości słoju rocznych w porównaniu z latami sąsiednimi (Rymarz 1992; Muter 2004). Pozytywny rok wskaźnikowy to ten, w którym słoje są wyjątkowo szerokie, natomiast wyraźnie węższe słoje określane są jako rok negatywny (Muter 2012).



### Rycina 1

Wywiert sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pobrany za pomocą świdra Presslera (a) oraz ścięty krążek (b) z widocznymi słojami drzewa, tj. na przemian występującym drewnem wczesnym – jasny pas oraz drewnem późnym – ciemny pas. Dodatkowo widoczna zmienność szerokości przyrostu rocznego razem z drewnem reakcyjnym (b) (fot. P. Matulewski).

W dendrochronologii dotychczas główny nacisk kładziono na analizę szerokości przyrostu rocznego. Obecnie jednak wyjątkowe zainteresowanie poświęca się zgłębianiu innych cech przyrostowych i anatomicznych, które uzupełniają dotychczasową wiedzę lub lepiej odzwierciedlają zmienność klimatyczną i środowiskową danego obszaru. Do tej grupy zalicza się m.in. wielkość komórek drewna wczesnego (ang. *earlywood cells*), stosunek udziału drewna wczesnego i późnego (ang. *earlywood/latewood ratio*), maksymalna gęstość drewna późnego (ang. *maximum latewood density*) (Björklund i in. 2020), niebieskie przyrosty (ang. *blue rings*) (Piermattei i in. 2015) czy przyrosty mrozowe (ang. *frost rings*) (Bräuning i in. 2016; Björklund i in. 2021).

Specyficzne zmiany przyrostowe i anatomiczne mogą także stanowić wyzwanie w datowaniu słoju pni i korzeni (Gärtner 2003; Gärtner 2007; Zielonka i in. 2014; Wrońska-Wałach i in. 2016; Matulewski i in. 2021). Te odstępstwa

od normy mogą być zarówno wskaźnikami zmian środowiskowych, jak i trudnością w precyzyjnym ustalaniu wieku drzewa. Należą do nich słoje brakujące (ang. *missing ring*), które nie występują na przekroju poprzecznym w danym roku, słoje wyklinowujące się (ang. *wedging ring*), pojawiające się tylko częściowo w przekroju poprzecznym (Wrońska-Wałach i in. 2016) oraz słoje fałszywe (ang. *false ring*), które sugerują istnienie dwóch warstw przyrostu w ciągu jednego roku. Fluktuacje w gęstości drewna (ang. *intra-annual density fluctuations*, IADF) związane są także z okresami suszy (De Micco i in. 2014). Anomalie anatomiczne, takie jak blizny (ang. *scars*), będące wynikiem uszkodzenia tkanki wskutek nacisku mechanicznego, jak pożary czy ludzka działalność, mogą również komplikować datowanie wieku słoju drewna (Gärtner 2003; Matulewski i in. 2019). Ponadto drewno reakcyjne (ang. *reaction wood*), charakteryzujące się zmienioną budową i zwiększoną wytrzymałością, tworzy się w wyniku oddziaływania zewnętrznych sił i występuje u drzew rosnących w trudnych warunkach terenowych (Heinrich, Gärtner 2008) np. na stokach górskich, szlakach turystycznych lub w krawędziach dolin. Na przekroju poprzecznym zaznacza się szerokimi pasami ciemniejszego drewna (Rycina 1b). Dodatkowo, skutkiem silnego stresu mechanicznego są tzw. traumatyczne kanały żywiczne (ang. *traumatic resin ducts*) obserwowane na przekroju poprzecznym drzew iglastych (Matulewski i in. 2021).

Kompleksowe poznanie zmian przyrostowych i anatomicznych w ramach badań dendrochronologicznych stanowi cenne narzędzie do zrozumienia historii życia drzewa, jego interakcji ze środowiskiem i w rekonstrukcji warunków klimatycznych i pozaklimatycznych (Zielski, Krąpiec 2004).

## ZASTOSOWANIE DENDROCHRONOLOGII W BADANIACH EKOLOGICZNYCH I KLIMATYCZNYCH

Zastosowanie analiz dendrochronologicznych jest ściśle powiązane z dziedziną dendroekologii, która znajduje szerokie zastosowanie w rozwiązywaniu problemów ekologicznych. Analiza relacji pomiędzy wzrostem drewna a środowiskiem jest dokonywana w kontekście narastającego oddziaływania człowieka na środowisko przyrodnicze, nazywanego antropopresją. Istotne jest zaznaczenie, że drzewa reagują na stres wynikający z otoczenia – nagłe zmiany w szerokości słoju są bezpośrednio związane z emisją zanieczyszczeń do atmosfery (Szychowska-Krąpiec, Wiśniowski 1996; Sapieja i in. 2012; Sensuła i Wilczyński 2017; Bijak, Sobajtis 2018; Wilczyński 2020b), pożarami (Zin i in. 2015), a nawet działalnością turystyczną (Zielski i in. 1998; Matulewski i in. 2021).

Dodatkowo, w rocznym przyroście drewna można zaobserwować wpływ żerowania niektórych owadów (Okoński i in. 2014) czy nawożenia rolniczego (Koprowski i in. 2015; Chojnacka-Ożga i in. 2022; Waszak i in. 2024).

Badania dendrochronologiczne umożliwiają nam zrozumienie zmian klimatycznych. Z uwagi na ograniczenia w długoterminowych danych meteorologicznych, drzewa są znakomitym źródłem informacji o wcześniejszych warunkach klimatycznych. Dzięki dendroklimatologii możemy poznać klimat z wielu setek lat wstecz. Poznanie występowania ekstremalnych zjawisk klimatycznych w przeszłości pozwala nam lepiej prognozować podobne zdarzenia w przyszłości. Tym samym analiza pierścieni drzew umożliwia nam odtworzenie historycznych warunków atmosferycznych oraz ich zmiany w czasie i przestrzeni. W skali globalnej istnieje ograniczona ilość źródeł informacji paleoklimatycznych, które pozwalają na precyzyjne datowanie zdarzeń, co czyni badania dendrochronologiczne niezwykle cennymi. Dzięki słojom drzew istnieje możliwość rekonstrukcji okresów suszy, powodzi oraz pojawienia się nagłych i długotrwałych ochłodzeń. Literatura z tej dziedziny potwierdza wpływ temperatury i opadów na roczny przyrost słoju drewna. W Polsce istnieje wiele prac naukowych dotyczących wpływu temperatury i opadów atmosferycznych na wzrost drzew (Okoński, Koprowski 2012; Opała, Mendecki 2012; Wilczyński, Wertz 2012, Wilczyński 2020a), zmienności warunków pogodowych w określonych latach (Muter 2012; Wilczyński 2013) oraz rekonstrukcji klimatu (Zielski, Kamiński 2002; Koprowski i in. 2012; Przybylak i in. 2023).

## **BADANIA DENDROKLIMATYCZNE SOSNY ZWYCZAJNEJ W PÓŁNOCNEJ POLSCE**

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) jest jednym z najbardziej dominujących gatunków drzew iglastych w Europie (Białobok i in. 1993). Jako jeden z niewielu gatunków drzew wyróżnia się szeroką amplitudą wymagań, rosnąc na siedliskach skrajnych pod względem warunków glebowych i wilgotnościowych. Ze względu na swoje powszechne występowanie jest gatunkiem często wykorzystywanym w badaniach dendrochronologicznych. W części Niżu Polskiego badania wpływu warunków klimatycznych na przyrost sosny zwyczajnej prowadzili m.in. Zielski (1993, 1996, 1997), Zielski i Sygit (1998), Wilczyński i in. (2001), Cedro (2001, 2008), Koprowski i in. (2012), Matulewski i in. (2019) czy Wilczyński (2020b). Badania te wykazały, że zapis przyrostowy odzwierciedla wpływ opadów i temperatury na wzrost sosny. Wszyscy wymienieni

autorzy zwracają uwagę, że warunki termiczne początku roku, w tym lutego i marca, mają szczególne znaczenie dla formowania się przyrostów rocznych sosny. Podobne obserwacje widoczne są również w krajach bałtyckich m.in. na Litwie (Vitas 2004; Edvardsson i in. 2015), Łotwie (Elferts 2007) oraz w Estonii (Hordo i in. 2009; Pärn 2009). Jednakże ze względu na zmiany klimatu, w tym występowanie ekstremów klimatycznych, widoczna jest zmienność wpływu poszczególnych czynników klimatycznych na wzrost sosny zwyczajnej w ostatnich dekadach. Coraz częściej powiązane jest to z wpływem okresów suszy, czy nagłych i długotrwałych ochłodzeń, które są odnotowywane w Polsce i krajach bałtyckich.

Z drugiej strony, pomimo rozpoznania reakcji sosny na warunki klimatyczne to wpływ poszczególnych elementów klimatycznych na wielkość przyrostu drewna sosny zwyczajnej rosnącej na skrajnych siedliskach nadal nie jest w pełni poznany, co wynika z faktu, że relacje te są silnie przestrzennie zróżnicowane. Stąd też opinia, że sosna zwyczajna jest lepszym wskaźnikiem warunków klimatycznych w skali lokalnej niż globalnej (Vaganov, Kachaev 1992; Linderholm, Leine 2004; Wilczyński 2020b).

Jednym ze skrajnych siedlisk wzrostu drzew są torfowiska. Drzewa rosnące na torfowiskach to głównie sosna zwyczajna, która zapewnia wyjątkową okazję do śledzenia ostatnich zmian paleośrodowiskowych na torfowiskach (Cedro 2008). Jednakże wnioskowanie o wpływie czynników klimatycznych na podstawie wyłącznie zapisu sosny rosnącej na glebach torfowych może być bardzo trudne, ponieważ zaburzona hydrologia torfowisk utrudnia rozpoznanie sygnału klimatycznego. Dlatego też drzewa rosnące na glebach mineralnych stanowią dobry punkt odniesienia do siedliskowych porównań.

Choć podobieństwo krótkookresowego rytmu przyrostowego sosen rosnących na różnych siedliskach jest faktem (Wilczyński 2013), to w dotychczasowych badaniach zauważono zróżnicowanie zapisu odpowiedzi drzew z torfowiska na działanie czynników klimatycznych. Wykazano stosunkowo niską wrażliwość sosny rosnącej na torfowiskach na temperaturę powietrza oraz opady atmosferyczne (Linderholm 2001; Linderholm i in. 2002; Rydin, Jeglum 2006). Z kolei inne badania wskazują, że sosny na siedlisku boru suchego oraz bagiennego są bardzo wrażliwe na zmieniające się z roku na rok warunki termiczno-pluwialne (Linderholm, Leine 2004; Dauškane i in. 2011; Wilczyński 2013; Edvardsson i in. 2015). Zróżnicowanie otrzymanych informacji może wynikać z faktu, że badania te zostały przeprowadzone w regionach o różniących się warunkach klimatycznych.

Co więcej, odmienność w zapisie reakcji drzew na wpływ czynników klimatycznych wykazano również pomiędzy okazami rosnącymi w bliskiej odległości, ale na innych siedliskach, tj. drzew rosnących na torfowisku oraz na stanowisku z glebą mineralną (Cedro, Lamentowicz 2011). Tak jak dla drzew rosnących na glebie mineralnej, często rosnących wokół torfowiska, widoczny jest szczególny wpływ termiki okresu luty-marzec, tak dla drzew z terenu torfowiska często nie udawało się zidentyfikować ani dominującego czynnika, ani okresu powiązania. Wydaje się, że opady atmosferyczne mają znaczący wpływ w czerwcu czy lipcu bieżącego roku wegetacyjnego na wzrost okazów z torfowiska (Cedro, Lamentowicz 2011; Wilczyński 2020a). Jednakże zapis ten nie jest już tak widoczny w innych badanych miejscach (Cedro, Lamentowicz 2008; Cedro, Sotek 2016), co wskazuje na wpływ pozaklimatycznych czynników na wzrost sosny z torfowiska. Przykładowo eksploatacja torfu czy melioracje odwadniające prowadzone na torfowiskach mogą powodować osłabienie i zakłócenie relacji między klimatem a przyrostem sosen (Pretzsch, Köbel 1988; Cedro, Lamentowicz 2011; Cedro, Sotek 2016).

Istotnym czynnikiem modelującym wpływ poszczególnych elementów klimatycznych na wzrost drzew jest głębokość zwierciadła wody w glebie (Wilczyński 2013). To dotyczy głównie drzew rosnących na torfowiskach, ale również obejmuje to wszystkie typy siedlisk. Niemniej jednak, to warunki termiczno-pluwalne odpowiedzialne są za sezonowe zmiany w głębokości zwierciadła wody, głównie poprzez regulację bilansu wodnego gleby, związanej z ilością opadów atmosferycznych i ewapotranspiracją, która jest kontrolowana przez deficyt wilgotności powietrza. Ten z kolei kształtuje się między innymi pod wpływem temperatury powietrza (Mannerkoski 1991; Vaganov, Kachaev 1992). W związku z tym, wpływy czynników klimatycznych i glebowych na roczną zmienność aktywności przyrostowej drzew są ze sobą ściśle powiązane (Wilczyński 2020a).

Dane dotyczące słoju drzew wyjaśniają historię lasów i dostarczają ważnej wiedzy o przeszłych ekosystemach (Zielski, Krąpiec 2004). Pomimo rozpoznanych lokalnych zależności pomiędzy reakcją drzew z terenu torfowisk oraz spoza torfowiska na zmieniające się warunki klimatyczne i pozaklimatyczne nadal brakuje prac, które nie tylko by poszerzyły zakres badawczy, ale również dostarczyły nowej wiedzy, lepiej wyjaśniającej relacje środowisko-wzrost drzewa. W tej kwestii rozszerzenie analiz szerokości przyrostu rocznego o inne wskaźniki przyrostowe i anatomiczne słoju drzew pozwoliłoby wypełnić tę lukę badawczą. Dobrym rozwiązaniem jest również powiązanie technik dendrochronologicznych z innymi metodami paleośrodowiskowymi, co umożliwiłoby kompleksowe zrozumienie

zależności siedliskowych. Informacje te są potrzebne, aby lepiej zrozumieć funkcjonowanie ekosystemu i sformułować plany ochrony siedlisk (Willis, Birks 2006; Willis i in. 2007; Cedro, Lamentowicz 2011).

## AKTUALNIE PROWADZONE BADANIA DENDROCHRONOLOGICZNE SOSNY ZWYCZAJNEJ W NADLEŚNICTWIE WOZIWODA

Badania dendrochronologiczne obejmują analizę zmian przyrostowych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z maksymalnym wiekiem biologicznym sięgającym do 225 lat. Pobór prób z żyjących okazów sosny zwyczajnej został wykonany w marcu-kwietniu 2023 roku przy współpracy leśników z Nadleśnictwa Woziwoda. Celem badań jest rozpoznanie zmian przyrostowych oraz przeprowadzenie analizy klimat-wzrost, czyli rozpoznanie czynników klimatycznych, jakie wpływają na wzrost z sosny zwyczajnej z Nadleśnictwa Woziwoda, a także udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy wpływ tych czynników jest taki sam w ostatnich 100 latach, a zatem dla okresu z dostępnymi danymi meteorologicznymi. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na identyfikację ekstremów klimatycznych, takich jak susze czy ochłodzenia. Ponadto istotne jest rozpoznanie w sekwencji przyrostowej sosny zapisu innych czynników środowiskowych, w tym gradacji szkodników czy pożarów. W ramach prowadzonych analiz zmian przyrostowych w sośnie zwyczajnej pomocne będzie wyznaczenie pozytywnych i negatywnych lat wskaźnikowych. Ponadto istotne będzie rozpoznanie okresów supresji wzrostu oraz zmienności maksymalnej gęstości drewna późnego. Niniejsze analizy dendrochronologiczne stanowią wysokorozdzielcze tło do szeroko zakrojonych badań paleośrodowiskowych. Badania te są realizowane przez naukowców z Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i finansowane przez Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2020/39/D/ST10/00641).

## LITERATURA

- Białobok S., Boratyński A., Bugała W. 1993. Biologia sosny zwyczajnej. Sorus Press. Poznań-Kórnik.
- Bijak S., Sobajtis K. 2018. Wpływ zanieczyszczeń z fabryki płyt wiórowych w Szczecinku na przyrost radialny sosny zwyczajnej. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 20 (3): 65-74.

- Björklund J., Fonti M.V., Fonti P., Van den Bulcke J., von Arx G. 2021. Cell wall dimensions reign supreme: cell wall composition is irrelevant for the temperature signal of latewood density/blue intensity in Scots pine. *Dendrochronologia* 65: 125785.
- Björklund J., Seftigen K., Fonti P., Nievergelt D., von Arx G. 2020. Dendroclimatic potential of dendroanatomy in temperature-sensitive *Pinus sylvestris*. *Dendrochronologia* 60: 125673.
- Bogaciński B., Zajączkowski S., Wodzicki T.J. 1988. Zmienność inicjacji i kończenia sezonowej aktywności kambium w populacjach drzewostanowych *Pinus sylvestris* L. *Sylwan* 132 (1): 17-26.
- Bräuning A., De Ridder M., Zafirov N., García-González I., Dimitrov D.P., Gärtner H. 2016. Tree-Ring Features: Indicators of Extreme Event Impacts. *IAWA J.* 7: 206-231.
- Cedro A. 2001. Próba oceny oddziaływania temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na przyrost radialny sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na Pomorzu Zachodnim. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio B, Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 55/56: 105-112.
- Cedro A. 2004. Zmiany klimatyczne na Pomorzu Zachodnim w świetle analizy przyrostów rocznych sosny zwyczajnej, daglezi zielonej i rodzimych gatunków dębów (Climatic changes in Western Pomerania in the light of analysis of tree-ring sequences of Scots Pine, Douglas Fir and native species of Oak). Wydawnictwo In Plus. Szczecin.
- Cedro A. 2008. Dendrochronologiczna analiza sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) występującej na obszarze torfowiska "Białe Ługi". [w:] Żurek S. (red.) *Torfowiska gór i wyżyn*. Wydawnictwo Akademii Świętokrzyskiej. ss. 98-104.
- Cedro A., Lamentowicz M. 2008. Last hundred years dendroecology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on a raised bog in northern Poland: human impact and hydrological changes. *Baltic Forestry* 14: 26-33.
- Cedro A., Lamentowicz M. 2011. Contrasting responses to environmental changes by pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on peat and mineral soil: An example from a Polish Baltic bog. *Dendrochronologia* 29: 211-217.
- Cedro A., Sotek Z. 2016. Natural and anthropogenic transformations of a Baltic raised bog (Bagno Kusowo, North West Poland) in the light of dendrochronological analysis of *Pinus sylvestris* L. *Forests* 7 (9): 202.



- Chojnacka-Ożga I., Lenzion J., Ożga W. 2022. The impact of long-term fertilisation of potato starch wastewater on the growth of Scots pines: a retrospective analysis. *Forests* 13: 9-14.
- Chomicz E. 2013. Czynniki kształtujące zmienność genetyczną drzew leśnych. *Kosmos – Problemy Nauk Biologicznych* 62 (301): 597-605.
- Dauškane I., Brūmelis G., Elferts D. 2011. Effect of climate on extreme radial growth of Scots pine growing on bogs in Latvia. *Estonian Journal of Ecology* 60 (3): 236-248.
- De Micco V., Battipaglia G., Cherubini P., Aronne G. 2014. Comparing methods to analyse anatomical features of tree rings with and without intra-annual density fluctuations (IADFs). *Dendrochronologia* 32 (1): 1-6.
- Dyderski M.K., Paż S., Frelich L.E., Jagodziński A.M. 2018. How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology* 24: 1150-1163.
- Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanasienė R., Kažys J., Stoffel M. 2015. Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant and Soil* 392: 345-356.
- Elferts D. 2007. Scots pine pointer years in northwestern Latvia and their relationship with climatic factors. *Acta Universitatis Latviensis* 723: 163-170.
- Fritts H.C. 1976. *Tree ring and climate*. Academic Press. New York.
- Gärtner H. 2003. Holzanatomische Analyse diagnostischer Merkmale einer Freilegungsreaktion in Jahrringen von Koniferenwurzeln zur Rekonstruktion geomorphologischer Prozesse. *Dissertationes Botanicae* 378.
- Gärtner H. 2007. Tree roots-methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology* 86 (3-4): 243-251.
- Grzywacz A. 2011. Drzewa jako obiekty kulturowe. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 13 (4): 45-62.
- Heinrich I., Gärtner H. 2008. Variations in tension wood of two broad-leaved tree species in response to different mechanical treatments: implications for dendrochronology and mass movement studies. *International Journal of Plant Sciences* 169 (7): 928-936.

- Hejnowicz Z. 2012. Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych. Organy wegetatywne (wydanie nowe). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Hordo M., Metslaid S., Kiviste A. 2009. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) radial growth to climate factors in Estonia. *Baltic Forestry* 15 (2): 195-205.
- Jalinik M. 2021. Obszary leśne wieloaspektową atrakcją turystyczną. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. Białystok.
- Kasprzak K. 2011. Drzewa – pomniki przyrody i pamiątki kultury. *Turystyka kulturowa* 4: 17-38.
- Kokociński W. 2002. Anatomia drewna. Wydawnictwo-Drukarnia Prodruk. Poznań.
- Koprowski M., Przybylak K., Zielski A., Pospieszyńska A. 2012. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *International Journal of Biometeorology* 56: 1-10.
- Koprowski M., Robertson I., Wils T.H.G., Kalaji H.M. 2015. The application of potato starch effluent causes a reduction in the photosynthetic efficiency and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees - Structure and Function* 29: 1471-1481.
- Krąpiec M., Ważny T. 1994. Dendrochronologia: podstawy metodyczne i stan zaawansowania badań w Polsce. *Światowit* 39: 193-214.
- Linderholm H.W. 2001. Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian Mountains, interpreted from tree-ring widths. *Silva Fennica* 35: 415-424.
- Linderholm H.W., Leine M. 2004. An assessment of twentieth century tree-cover changes on a southern Swedish peatland combining dendrochronology and aerial photograph analysis. *Wetlands* 24: 357-363.
- Linderholm H.W., Moberg A., Grudd H. 2002. Peatland pine as a climate indicator? A regional comparison of the climatic influence on Scots pine growth in Sweden. *Canadian Journal Forest Research* 32: 1400-1410.
- Mannerkoski H. 1991. Relation between tree roots and soil aeration on drained peatlands. [w]: Jeglum J.K., Overend R.P. (red.) *Peat and Peatlands – Diversification and Innovation*. Canadian Society for Peat and Peatlands. ss. 109-114.

- Matulewski P., Buchwał A., Makohonienko M. 2019. Higher climatic sensitivity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) subjected to tourist pressure on a hiking trail in the Brodnica Lakeland, NE Poland. *Dendrochronologia* 55: 78-86.
- Matulewski P., Buchwał A., Zielonka A., Wrońska-Wałach D., Čufar K., Gärtner H. 2021. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail. *Ecological Indicators* 121: 107095.
- Muter E. 2004. Klimatyczne i pozaklimatyczne czynniki wpływające na przyrost grubości drzew na przykładzie cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) w Górach Bardzkich (Sudety). *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 16 (3): 247-255.
- Muter E. 2012. Zmienność warunków pogodowych w latach wskaźnikowych u sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w Puszczy Niepołomickiej. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14 (1): 37-46.
- Muter E. 2021. Analiza dendrochronologiczna złamanego pędu reliktovej sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. z Sokolicy. [w:] Bodziarczyk A. (red.) *Pieniń – Przyroda i Człowiek. Monografie* 17: 109-146.
- Okoński B., Koprowski M. 2012. Zależności przyrostów promieniowych dębu szypułkowego oraz jesionu wyniosłego od opadów atmosferycznych na stanowisku położonym na terasie zalewowej doliny rzecznej Warty. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14 (1): 47-55.
- Okoński B., Miler A.T., Czerniak A., Grajewski S., Duszyński P. 2014. Oddziaływanie gradacji brudnicy mniszki (*Lymantria monacha* L.) na przyrosty promieniowe sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Puszczy Noteckiej. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 16 (2B): 103-109.
- Opąła M., Mendecki M.J. 2012. Zastosowanie skalowanych modeli dendroklimatycznych do rekonstrukcji rzeczywistych warunków termicznych i opadowych na Górnym Śląsku. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14 (1): 55-66.
- Piermattei A., Crivellaro A., Carrer M., Urbinati C. 2015. The “blue ring”: Anatomy and formation hypothesis of a new tree-ring anomaly in conifers. *Trees* 29 (2): 613-620.

- Pärn H. 2009. Temporal history of relationships between Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and mean monthly temperatures. *Baltic Forestry* 15 (1): 48-57.
- Piński A. 2022. Człowiek i las. Dendrodetektywi w akcji. *Echa Leśne* 1 (647): 46-49.
- Pretzsch H., Köbel M. 1988. Einfluss von Grundwasserabsenkungen auf das Wuchsverhalten der Kiefernbestände im Gebiet des Nürnberg Hafens. *Forstarchiv* 59 (3): 89-96.
- Przybylak R., Oliński P., Koprowski M., Szychowska-Krąpiec E., Krąpiec M., Pospieszynska A., Puchałka R. 2023. The climate in Poland (central Europe) in the first half of the last millennium, revisited. *Climate of the Past* 19: 2389-2408.
- Rydin H., Jørglum J. 2006. *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press. Oxford.
- Rymarz J. 1992. Próba odtworzenia historii drzewostanów na podstawie zmienności szerokości słoja przyrostu rocznego. *Sylwan* 9: 53-58.
- Sapieja E., Kędziora W., Tomusiak R., Zielenkiewicz T., Radomski A., Archanowicz E. 2012. Porównanie zawartości pierwiastków ciężkich w drewnie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w okresie przed i po wybuchu elektrowni w Czarnobylu. Stan i perspektywy badań dendrochronologicznych w Polsce. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14 (1): 212-218.
- Schweingruber F.H. 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Paul Haupt Verlag, Bern.
- Schweingruber F.H. 2007. *Wood structure and Environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sensuła B., Wilczyński S. 2017. Climatic signals in tree-ring width and stable isotopes composition of *Pinus sylvestris* L. growing in the industrialized area nearby Kędzierzyn-Koźle. *Geochronometria* 44: 240-255.
- Szumacher I., Ostaszewska K. 2010. Funkcje parków śródmiejskich w opinii przyrodników i użytkowników – przyczynek do dyskusji. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 27: 491-493.
- Szychowska-Krąpiec E., Wiśniowski Z. 1996. Zastosowanie analiz przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) do oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przykładzie zakładów chemicznych „Police”. *Kwartalnik AGH, Geologia* 22 (3): 281-299.

- Tulik M. 2001. Elementarne procesy rozwojowe występujące w kambium związane z tworzeniem drewna. *Sylwan* 8: 93-108.
- Vaganov E.A., Kachaev A.V. 1992. Dendroclimatic analysis of pine growth in forest-bog phytocenoses of Tomsk province. *Lesovedenie* 6: 3-10.
- Vitas A. 2004. Dendroclimatological research of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Baltic coastal zone of Lithuania. *Baltic Forestry* 10 (1): 65-71.
- Walosik A. 2013. Przez edukację do zrównoważonego rozwoju. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie.
- Waszak N., Campelo F., Robertson I., Puchałka R., El Balghiti F.Z., Gričar J., Boularbah A., Koprowski M. 2024. Fertilisation with potato starch wastewater effect on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest in Poland. *Trees, Forests and People* 15: 100480.
- Wdowiak A. 2017. Struktura drewna konstrukcyjnego. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury* 34 (4/17): 365-380.
- Wilczyński S. 2003. Modele „klimat-przyrost radialny” sosen z Tatr, Pienin i Ojcowa. *Sylwan* 12: 27-35.
- Wilczyński S. 2013. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. *Sylwan* 157 (9): 662-670.
- Wilczyński S. 2020a. Wpływ klimatu na przyrost radialny sosny zwyczajnej na siedliskach suchych oraz bagiennych w trzech regionach Polski. *Sylwan* 164 (11): 896-905.
- Wilczyński S. 2020b. Zapis zmian zachodzących w środowisku przez sosnę zwyczajną oraz sosnę Banksa. *Sylwan* 164 (7): 583-593.
- Wilczyński S., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylwan* 8: 53-61.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych drzew na przykładzie jodły pospolitej i modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14 (1): 66-75.
- Willis K.J., Araujo M.B., Bennett K.D., Figueroa-Rangel B., Froyd C.A., Myers N. 2007. How can a knowledge of the past help to conserve the future? Biodiversity conservation and the relevance of long-term ecological studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 362: 175-186.
- Willis K.J., Birks H.J.B. 2006. What is natural? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation. *Science* 314: 1261-1265.

- Wodzicki T.J. 2021. Potencjał terapeutyczny lasu – badania i gospodarka leśna. *Leśne Prace Badawcze* 82 (2): 69-74.
- Wojciechowski W., Kesyl J., Kopcewicz J. 2013. Mechanizmy powstawania drewna u drzew leśnych. *Zarządzanie Ochroną Przyrody w Lasach* 7: 205-232.
- Wrońska-Wałach D., Sobucki M., Buchwał A., Gorczyca E., Korpak J., Wałdykowski P., Gärtner H. 2016. Quantitative analysis of ring growth in spruce roots and its application towards a more precise dating. *Dendrochronologia* 26: 61-71.
- Zielonka A., Oleszko B., Juszcak E., Wrońska-Wałach D. 2014. Zapis dynamiki procesów osuwiskowych w przyrostach rocznych korzeni jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) – przykład z Pogórza Karpackiego. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 16 (3): 139-148.
- Zielski A. 1993. Lata wskaźnikowe u sosny zwyczajnej rosnącej w rejonie Torunia dziś i w czasach średniowiecznych. *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Biologia* 46 (89): 227-244.
- Zielski A. 1996. Wpływ temperatury i opadów na szerokość słoików rocznych drewna u sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w rejonie Torunia. *Sylwan* 2: 71-80.
- Zielski A. 1997. Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce północnej na podstawie wielowiekowej chronologii. Wydawnictwo UMK. Toruń.
- Zielski A., Błaszczkowski A., Barankiewicz A. 1998. Dynamika przyrostu radialnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na obszarze leśnym eksploatowanym turystycznie nad jeziorem Wielkie Partęczyny (Nadleśnictwo Brodnica). *Sylwan* 3: 69-78.
- Zielski A., Kamiński P. 2002. Możliwości wykorzystania metody dendrochronologicznej do rekonstrukcji klimatu w średniowieczu. *Materiały konferencji naukowej „Pogranicze polsko-pruskie i krzyżackie”*, 1-2.06.2002. Górzno. Maszynopis. Muzeum w Brodnicy i Włocławskie Towarzystwo Naukowe.
- Zielski A., Krąpiec M. 2004. *Dendrochronologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Zielski A., Sygit W. 1998. Wpływ klimatu na przyrost radialny sosny w borach i borach mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12°-32°E) i „śląskim”. [w:] Breymeyer A., Roo-Zielińska E. (red.) *Bory sosnowe w gradiencie kontynentalizmu i zanieczyszczeń*

w Europie Środkowej – badania geoekologiczne. Dokumentacja Geograficzna 13: 161-185.

Zin E., Drobyshv I., Bernacki D., Niklasson M. 2015. Dendrochronological reconstruction reveals a mixed-intensity fire regime in *Pinus sylvestris* dominated stands of Białowieża Forest, Belarus and Poland. Journal of Vegetation Science 26: 934-945.

MACIEJ GĄBKA  
ZAKŁAD HYDROBIOLOGII, WYDZIAŁ BIOLOGII,  
UNIwersYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

STANISŁAW ROSADZIŃSKI  
WYDZIAŁ BIOLOGII, UNIwersYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

# ROŚLINNOŚĆ I CENNE ELEMENTY FLORY SIEDLISK HYDROGENICZNYCH NADLEŚNICTW WOZIWODA I TUCHOLA – OCENA NATURALNOŚCI I STANU OCHRONY

## WSTĘP

Ekosystemy bagienne i mokradłowe uznawane są za ekosystemy o wysokich walorach przyrodniczych i zasadniczo cechują się wysokim stopniem naturalności roślinności (np. Jasnowska i in. 1983; Brzeg, Wojterska 2001; Joosten i in. 2017). Z drugiej strony wskazuje się na ich wysoką wrażliwość na odwodnienie i zmiany poziomu wód gruntowych (Żurek 1993; Łachacz, Olesiński 2000; Wołejko 2001; Hájková, Hájek 2004). Szeroko zakrojone prace melioracyjne, szczególnie prowadzone w drugiej połowie XIX wieku, spowodowały zanik wielu wodnych i torfowiskowych zbiorników akumulacyjnych w kraju.

Roślinność szeroko rozumianych siedlisk bagiennych stanowi ważny obiekt badań ekologicznych skupiających się głównie na indykacji czynników środowiskowych i poszukiwaniu relacji uwarunkowań siedliskowych ze strukturą i dynamiką zbiorowisk. Za najważniejsze gradienty środowiskowe determinujące skład gatunkowy roślinności torfowisk uznaje się: zasobność środowiska w zasady (tzw. ang. *poor-rich gradient*), poziom wód gruntowych (gradient uwodnienia) i w mniejszym stopniu żyzność (gradient żyzności) (np. Wheeler, Proctor



2000; Hájek i in. 2006). Obecnie szeroko rozpowszechnione siedliskowe ujęcie klasyfikacji torfowisk daje podstawy do wyróżnienia różnych typów roślinności, tj. kwaśne mszary ombrotroficzne, kwaśne mszary minerotroficzne, subneutralne mszary, słabo kwaśne lub alkaliczne mechowiska, torfowiska węglanowe czy eutroficzne szuwały. Podejście to też znalazło odzwierciedlenie w klasyfikacji siedlisk przyrodniczych Natura 2000 z głównym podziałem na siedem typów reprezentowanych w Polsce: 7110 – torfowiska wysokie z roślinnością torfotwórczą (żywe), 7120 – torfowiska wysokie zdegradowane, lecz zdolne do naturalnej i stymulowanej regeneracji, 7140 – torfowiska przejściowe i trzęsawiska, 7150 – obniżenia na podłożu torfowym z roślinnością ze związku *Rhynchosporion*, 7210 – torfowiska nakredowe (*Cladietum marisci*, *Caricetum buxbaumii*, *Schoenetum nigricantis*), 7220 – źródłiska wapienne ze zbiorowiskami *Cratoneurion commutati* i 7230 – górskie i nizinne torfowiska zasadowe o charakterze młak, turzycowisk i mechowisk.

Należy podkreślić, że mimo znacznego rozpowszechnienia siedlisk hydrogenicznych uznanych za siedliska przyrodnicze, chronione także prawem Unii Europejskiej, stale ich stan się pogarsza. Zgodnie z wynikami „Monitoringu gatunków i siedlisk przyrodniczych” (wyniki GIOŚ) ze szczególnym uwzględnieniem obszarów ochrony siedlisk Natura 2000 z lat 2016-2018 stan ochrony siedliska 7140 (tzw. torfowiska przejściowe) pod względem struktury i funkcji znacząco się pogorszył: np. z 15% – ocenianych jako zły stan zachowania w latach 2013-2014, do 35%. W przypadku siedlisk 7120, 7150 i 7210 stan zły siedlisk stanowi często około 40% zasobów krajowych. Szczególnie istotne zmiany dotyczą siedliska 7230 (tzw. torfowiska alkaliczne) – ocena parametru „struktura i funkcje” pogorszyła się o połowę, na stan zły zostało ocenionych ponad 59% monitorowanych stanowisk (poprzednio około 25%).

Znajomość uwarunkowań siedliskowych roślinności torfowiskowej daje podstawy do skutecznej ochrony różnych typów torfowisk. Szczegółowe podejście fitosocjologiczne w znacznym stopniu umożliwia określenie różnorodności, dynamiki układów roślinnych (zbiorowisk) i procesów sukcesyjnych. Stąd prawidłowa interpretacja fitocenotyczna torfowisk przekłada się na pragmatyczne planowanie skutecznej ich ochrony, które powinno opierać się na gruntownym rozpoznaniu geobotanicznych wskaźników stanu zachowania i tendencji dynamiczno-rozwojowych roślinności, odpowiednio dla poszczególnych typów mokradel. Należy podkreślić, że badania fitosocjologiczne stanowią podstawę monitoringu torfowiskowych siedlisk przyrodniczych Natura 2000 w kraju i oceny stanu ich zachowania. Prawidłowa diagnoza siedlisk Natura 2000 oraz

rozpoznanie tendencji dynamicznych fitocenoz diagnostycznych, w tym form degeneracji na podstawie wskaźników florystycznych (przede wszystkim na poziomie brioflory), pozwalają na właściwe planowanie działań ochronnych w obrębie basenów wodno-torfowiskowych i ich zlewni.

Głównym celem pracy jest ogólna charakterystyka roślinności torfowisk leśnych i nieleśnych w zarządzie Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola (RDLP Toruń). W niniejszym rozdziale przedstawiono listę zbiorowisk roślinnych z oceną stanu zagrożenia, rozpowszechniania i ocenę stopnia naturalności. Podstawą opracowania były badania własne przeprowadzone w obrębie siedlisk hydrogenicznych w latach 2022-2023 ujętych na potrzeby tego opracowania jako torfowiska leśne i otwarte w kategoriach Planu Urządzenia Lasu.

## MATERIAŁ I METODY

Obszar południowo-zachodniej części Borów Tucholskich, a szczególnie Tucholski Park Krajobrazowy, był przedmiotem licznych badań geobotanicznych (np. Boiński 1985; Ceynowa-Giełdon 1988; Boiński 1992). Z tego terenu pochodzą doniesienia florystyczne o wielu gatunkach arktyczno-alpejskich, borealno-alpejskich i borealnych stwierdzonych na terenach bagiennych (Ceynowa-Giełdon 1988). Należą do nich rzadko spotykane relikty tj. chamedafne północna (*Chamedafne calyculata*), konietlica syberyjska (*Trisetum sibiricum*), skalnica torfowiskowa (*Saxifraga hirculus*), turzyca strunowa (*Carex chordorrhiza*), fiołek torfowy (*Viola epipsila*), żurawina drobnolistkowa (*Oxycoccus microcarpus*), zimoziół północny (*Linnaea borealis*) (Boiński 1992). Badania zbiorowisk roślinności torfowiskowej wykonywane były głównie dla obszarów chronionych, szczególnie rezerwatów przyrody (np. Dysarz 1999a, b; Boiński, Boińska 2003; Boiński, Boińska 2004a, b, c; Nejfeld i in. 2020). Dotychczasowe wyniki wskazują na dużą różnorodność fitocenotyczną całego kompleksu leśnego Borów Tucholskich i za szczególnie cenne uznawane są ekosystemy wodne i bagienne.

Niniejsze opracowanie prezentuje podsumowanie części autorskich wyników będących przedmiotem szczegółowych inwentaryzacji terenów bagiennych Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Toruniu) prowadzonych w latach 2022-2023. Administracyjnie teren położony jest w województwach kujawsko-pomorskim (powiaty tucholski) i pomorskim (powiat chojnicki). Według regionalizacji fizycznogeograficznej obszar ten położony jest w czterech mezoregionach: Borów Tucholskich,

Doliny Brdy, Wysoczyzny Świeckiej i Wysoczyzny Krajeńskiej. Powierzchnia inwentaryzacji terenowej to obszar 33 213 ha, w tym około 900 ha stanowią mokradła.

Badaniami fitosocjologicznymi objęto zbiorowiska wodno-błotne i bagienne, związane z siedliskami silnie uwodnionymi. W zakresie inwentaryzacji terenowej analizowano następujące typy roślinności: (1) zbiorowiska leśne i zaroślowe na siedliskach hydrogenicznych, (2) zbiorowiska wodne i bagienne, (3) zbiorowiska użytków zielonych, psiar i wrzosowisk, (4) krótkotrwałe zbiorowiska mulistych brzegów i okresowo zalewanych zagłębień i (5) wtórne zbiorowiska traworośli na glebach pobagiennych. Na potrzeby dokumentacji wykonano 220 zdjęć fitosocjologicznych oraz 338 spisów florystycznych w ponad 500 punktach pomiarowych. Ewidencjonowano również stanowiska gatunków roślin naczyniowych, mszaków, porostów i glonów makroskopowych. Badania te były podstawą do przygotowania bazy testowej na potrzeby analiz teledetekcyjnych. Lokalizację obszaru badań przedstawiono na Rycinie 1.

Nomenklaturę roślin naczyniowych przyjęto za Mirkiem i in. (2020), mchów za Ochyra i in. (2003), wątrobowców za Klamą i Górskim (2018), a zbiorowisk roślinnych (wraz z przynależnością syntaksonomiczną) za Ratyńską i in. (2010). Status zagrożenia roślin naczyniowych podano zgodnie z opracowaniami Kaźmierczakowej i in. (2014, 2016), mchów zgodnie z wykazem Żarnowca i in. (2004), a wątrobowców wg Klamy i Górskiego (2018). Rozpowszechnienie i stopień zagrożenia zbiorowisk w Polsce podano wg Ratyńskiej i in. (2010). Kategorie te zostały podane w tabelarycznych zestawieniach gatunków i syntaksonów. Rolę człowieka w syngenezie (czyli w spontanicznym procesie kształtowania się utrwalonych kombinacji gatunków) przyjęto zgodnie z propozycjami Ratyńskiej i in. (2010). W niniejszym opracowaniu zaprezentowano również wykaz siedlisk przyrodniczych Natura 2000 w odniesieniu zarówno do powszechnie obowiązującego podejścia fitosocjologicznego, jak i kryterium dominacji ilościowej diagnostycznego typu roślinności w warunkach lokalnych Borów Tucholskich.



**Rycina 1**

Lokalizacja badanych torfowisk (torfowisk leśnych i nieleśnych) w zarządzie Nadleśnictw Woiwoda i Tuchola będących przedmiotem inwentaryzacji. Źródło podkładu ortofotomapy: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, 2024.

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Charakterystyka torfowisk lasów Borów Tucholskich

W urozmaiconym młodoglacjalnym krajobrazie Borów Tucholskich, w licznych misach wytopiskowych i bagiennych odcinkach dolin rzecznych rozwinęły się trzy ekologiczne typy torfowisk: niskie, przejściowe i wysokie. Reprezentują one niemal wszystkie podstawowe typy hydrologiczne torfowisk: torfowiska ombrogeniczne, topogeniczne (w tym limnogeniczne i kotłowe), soligeniczne i fluwiogeniczne. Bezpośrednio w granicach obszarów objętych badaniami teledetekcyjnymi będących w zarządzie Nadleśnictw Woiwoda i Tuchola zinwentaryzowano 46 torfowisk leśnych i nieleśnych zajmujących ponad 900 ha powierzchni.

W obrębie analizowanych torfowisk stwierdzono: 211 taksonów roślin naczyniowych oraz 103 gatunki mszaków i wątrobowców, w tym 22 gatunki torfowców; dodatkowo w obrębie terenów podmokłych stwierdzono 9 gatunków ramienic oraz rzadkiego i chronionego krasnorosta hildenbrandię rzeczną (*Hildenbrandia rivularis*) w wodach płynących. Flora naczyniowa regionalnie wyróżnia się obecnością tzw. reliktywów glacialnych; najcenniejsze wśród gatunków torfowiskowych to chamedafne północna (*Chamaedaphne calyculata*),

lipiennik Loesela (*Liparis loeselii*), fiołek torfowy (*Viola epipsila*) i gwiazdnica grubolistna (*Stellaria crassifolia*).

Ekosystemy wodne i torfowiskowe są ostoją gatunków zagrożonych wyginięciem – trzech gatunków roślin naczyniowych z Polskiej Czerwonej Księgi oraz 24 gatunków z „polskiej czerwonej listy”. Wśród nich jest 8 taksonów o wysokiej kategorii zagrożenia (EN, E) (Tabela 1). Na szczególną uwagę zasługują również gatunki wymagające ochrony w ramach sieci Natura 2000 – *Liparis loeselii* i *Hamatocaulis vernicosus*.

**Tabela 1**

Wykaz chronionych i zagrożonych roślin naczyniowych oraz stopień ich zagrożenia na podstawie Polskiej Czerwonej Księgi Roślin (Kaźmierczakowa i in. 2014) i „polskiej czerwonej listy roślin” (Kaźmierczakowa i in. 2016). Objasnienia: CR (Critically Endangered) – krytycznie zagrożony; EN (Endangered) – zagrożony; VU (Vulnerable) – narażony; LR (Lower Risk) – niższego ryzyka; NT (Near Threatened) – bliski zagrożenia. \* – ochrona ścisła, \*\* – ochrona częściowa (Dz.U. 2014 poz. 1409).

Gatunek	Kategoria wg Polskiej Czerwonej Księgi	Kategoria wg polskiej czerwonej listy
trzcinnik prosty ( <i>Calamagrostis stricta</i> )	-	NT
turzyca dwupienna ( <i>Carex dioica</i> )**	-	VU
turzyca bagienna ( <i>Carex limosa</i> )	LR	NT
turzyca obła ( <i>Carex diandra</i> )	-	NT
chamedafne północna ( <i>Chamaedaphne calyculata</i> )*	-	CR
kukułka krwista ( <i>Dactylorhiza incarnata</i> )**	-	NT
kukułka szerokolistna ( <i>Dactylorhiza majalis</i> )**	-	NT
rosiczka długolistna ( <i>Drosera anglica</i> )*	-	EN
rosiczka pośrednia ( <i>Drosera intermedia</i> )*	-	EN
rosiczka okrągłolistna ( <i>Drosera rotundifolia</i> )*	-	NT
nasieźrzał pospolity ( <i>Ophioglossum vulgatum</i> )*	-	VU
modrzewnica pospolita ( <i>Andromeda polifolia</i> )**	-	-
bażyna czarna ( <i>Empetrum nigrum</i> )**	-	-
kruszczyk błotny ( <i>Epipactis palustris</i> )*	-	NT
lipiennik Loesela ( <i>Liparis loeselii</i> )*	VU	VU
rdestnica trawiasta ( <i>Potamogeton gramineus</i> )	-	VU
przygielka biała ( <i>Rynchospora alba</i> )	-	NT
listera jajowata ( <i>Listera ovata</i> )**	-	-
jaskier olbrzymi ( <i>Ranunculus lingua</i> )**	-	-
bagnica torfowa ( <i>Scheuchzeria palustris</i> )*	-	VU
konopłoch łąkowy ( <i>Silaum silaus</i> )	-	NT
jeżogłówka najmniejsza ( <i>Sparganium minimum</i> )		NT
gwiazdnica grubolistna ( <i>Stellaria crassifolia</i> )*	VU	VU

Gatunek	Kategoria wg Polskiej Czerwonej Księgi	Kategoria wg polskiej czerwonej listy
plywacz pośredni ( <i>Utricularia intermedia</i> )*	-	VU
plywacz drobny ( <i>Utricularia minor</i> )*	-	NT
plywacz <sup>1</sup> ( <i>Utricularia vulgaris/australis</i> *)	-	NT
widłak jałowcowaty ( <i>Lycopodium annotinum</i> )**	-	-
widłak goździsty ( <i>Lycopodium clavatum</i> )**	-	-
fiółek torfowy ( <i>Viola epipsila</i> )*	CR	EN

<sup>1</sup>Taksony o nieokreślonej przynależności do gatunku ze względu na brak osobników kwitnących niezbędnych do prawidłowej identyfikacji.

W trakcie inwentaryzacji stwierdzono 103 taksony mszaków, w tym aż 22 gatunki torfowców *Sphagnum*. Wśród wykazywanych w wielu pracach zasobów i walorów przyrodniczych torfowisk Borów Tucholskich jest występowanie torfowisk alkalicznych tzw. mechowisk. W obrębie tego typu zbiorowisk stwierdzono aż pięć reliktowych gatunków mchów: widłoząb Bergera (*Dicranum bergeri*), błotniszek wełnisty (*Helodium blandowii*), błyszczce włosowate (*Tomentypnum nitens*), skorpionowiec brunatny (*Scorpidium scorpioides*) i mszar krokiewkowaty (*Paludella squarrosa*). Wybrane elementy brioflory torfowisk przedstawiono w Tabeli 2. Wśród mchów brunatnych odnotowano również dwa obce gatunki inwazyjne: krzywoszczęć przywłokę (*Campylopus introflexus*) i prostoząbka równowąską (*Orthodontium lineare*).

**Tabela 2**

Cenne elementy brioflory torfowisk (Żarnowiec i in. 2004) na badanym obszarze Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola. Objasnienia: E (Endangered) – zagrożony; V (Vulnerable) – narażony; I (Indeterminate) – o nieokreślonym zagrożeniu; NT (Near Threatened) – bliski zagrożenia; Ś – ochrona ścisła, C – ochrona częściowa (Dz.U. 2014 poz. 1409).

Gatunek	Kategoria wg polskich czerwonych list (2004)	Ochrona prawna
<i>Fuscocephaloziopsis macrostachya</i>	NT	C
natorfek pływający ( <i>Odontoschisma fluitans</i> )	NT	Ś
widłoząb błotny ( <i>Dicranum bonjeanii</i> )	V	C
błotniszek wełnisty ( <i>Helodium blandowii</i> )	E	C
mszar krokiewkowaty ( <i>Paludella squarrosa</i> )	E	Ś
torfowiec miękki ( <i>Sphagnum molle</i> )	V	C
torfowiec brunatny ( <i>Sphagnum fuscum</i> )	V	C

Gatunek	Kategoria wg polskich czerwonych list (2004)	Ochrona prawna
torfowiec brodawkowaty ( <i>Sphagnum papillosum</i> )	I	C
torfowiec pierzasty ( <i>Sphagnum subnitens</i> )	-	C
torfowiec okazały ( <i>Sphagnum riparium</i> )	-	C
torfowiec skręcony ( <i>Sphagnum contortum</i> )	-	C
torfowiec ząbkowany ( <i>Sphagnum denticulatum</i> )	-	C
torfowiec Warnstorfa ( <i>Sphagnum warnstorffii</i> )	-	C
torfowiec Girgensohna ( <i>Sphagnum girgensohnii</i> )	-	C
torfowiec tępolistny ( <i>Sphagnum obtusum</i> )	-	C
torfowiec Russowa ( <i>Sphagnum russowii</i> )	-	C
błyszczce włosowate ( <i>Tomentypnum nitens</i> )	V	C
skorpionowiec brunatny ( <i>Scorpidium scorpioides</i> )	E	Ś
haczykowiec błyszczący ( <i>Hamatocaulis vernicosus</i> )	-	Ś

Na siedliskach hydrogenicznych Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola w latach 2022-2023 stwierdzono występowanie 55 typów zbiorowisk roślinnych w randze zespołu oraz 3 zbiorowiska niehierarchiczne o bliżej nieustalonej randze syntaksonomicznej. Rozpatrując wyłącznie roślinność torfowiskową (bagienną) stanowi to ponad 34% zespołów bagiennych stwierdzonych dotąd w Polsce niżowej (por. Ratyńska i in. 2010). Najliczniej na badanym obszarze reprezentowane były torfowiska niskie (szuwarowe) i przejściowe. Szczegółowy wykaz zbiorowisk roślinnych ze stopniem ich zagrożenia i naturalnością przedstawiono w Załączniku 1.

Znaczna liczba stwierdzonych zbiorowisk bagiennych związana jest przede wszystkim z dużą zmiennością warunków środowiskowych w skali mikrosiedlisk, jakie wytworzyły się w głęboko wciętych dolinach rzecznych z zasilaniem wodami źródłiskowymi w szerokich fragmentach dolin czy związanych z zanikającymi (niekiedy sztucznie odwodnionymi) jeziorami. Ważnym elementem kształującym występowanie torfowisk są liczne wododziały z niewielkimi zagłębieniami wytopiskowymi. Należy również podkreślić, że istotnym czynnikiem kształującym zasilanie w wodę wielu obiektów bagiennych i wpływających na ogólne warunki wodne i mikroklimatyczne w makroskali tego terenu jest gęsta sieć rowów melioracyjnych zasilanych wodami Wielkiego i Małego Kanału Brdy wybudowanych w połowie XIX wieku w celu nawadniania użytków zielonych.

Roślinność torfowisk leśnych i nieleśnych pod względem uwarunkowań siedliskowych wykazuje szerokie spektrum gradientów środowiskowych dla ubogich silnie kwaśnych siedlisk ombrotroficznych (*Andromedo-Sphagnetum magellanici*, *Ledo-Sphagnetum magellanici*), kwaśnych mszarów minerotroficznych (*Sphagno tenelli-Rhynchosporium albae*, *Sphagno recurvi-Eriophoretum angustifolii*, *Sphagno apiculati-Caricetum rostratae*) do słabo kwaśnych lub subneutralnych mszarów i mechowisk (np. *Scorpidio-Caricetum diandrae*, *Menyantho-Sphagnetum tereitis*). Najrzadszym typem roślinności bagiennej są zbiorowiska charakterystyczne dla siedlisk zasobnych w związki wapnia, lokalnie reprezentowane przez szuwar kłoci wiechowatej (*Cladietum marisci*).

Do najważniejszych zbiorowisk torfotwórczych lasów Borów Tucholskich z klasy *Scheuchzerio-Caricetea fuscae* należą mszary z turzycą dzióbkwatą (*Sphagno apiculati-Caricetum rostratae*) i wełnianką wąskolistną (*Sphagno recurvi-Eriophoretum angustifolii*). Zbiorowiska te miały postać płaskich dywanów torfowcowych, zazwyczaj mocno uwodnionych, jednak bez horyzontu wodnego na wierzchnicy torfowisk (Rycina 2). Zespoły te były stosunkowo ubogie florystycznie, a zrąb warstwy mszystej stanowiły torfowce, głównie *Sphagnum fallax* i *Sphagnum angustifolium*. Wielkopowierzchniowe płyty tych asocjacji rozwijają się głównie w misach osuszonych jezior (np. kompleks torfowisk Okoniny, rezerwat Jeziora Kozie). Zespołami szczególnie związanymi z misami kwaśnych jezierek dystroficznych czy podtopionymi obniżeniami na torfowiskach mszarowych były stosunkowo często stwierdzane fitocenozy zespołów *Caricetum limosae* i *Caricetum lasiocarpae*.

Ombrotroficzne torfowiska wysokie z roślinnością z klasy *Oxycocco-Sphagnetum* należą do stosunkowo rzadkich na badanym obszarze (np. kotłowe torfowiska w dolinie Stążki, obszar torfowisk koło miejscowości Szlachta). Roślinność ombrofilna reprezentowana jest tam przez trzy jednostki: *Sphagno recurvi-Eriophoretum vaginati*, *Andromedo-Sphagnetum magellanici* i *Ledo-Sphagnetum magellanici*. Najcenniejszą pod względem strukturalno-funkcjonalnym jest roślinność tzw. mszarów czerwonych i brunatnych, ujmowanych w ramach zespołu *Andromedo-Sphagnetum magellanici* (Rycina 3). Mszary zielone o kępkowo-dolinkowej fizjonomii zdominowane przez wełniankę pochwowatą *Eriophorum vaginatum* związane są głównie z siedliskami zaburzonymi (często odwodnionymi) i cechują się wyraźną dekompozycją na poziomie warstwy mszystej oraz dynamiką krzewów i drzew. Wpływ klimatu kontynentalnego na roślinność torfowisk wysokich podkreśla obecność mszarowych, niskich zarośli bagnowo-sosnowych (*Ledo-Sphagnetum magellanici*), charakterystycznych dla kontynentalnych torfowisk



wysokich (Rycina 4). Należy podkreślić stosunkowo częstą obecność tego zbiorowiska w kompleksach wodno-torfowiskowych Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola.



**Rycina 2**

Torfowiska przejściowe i pła mszarne w rezerwacie Jeziorka Kozie (fot. M. Gąbka).

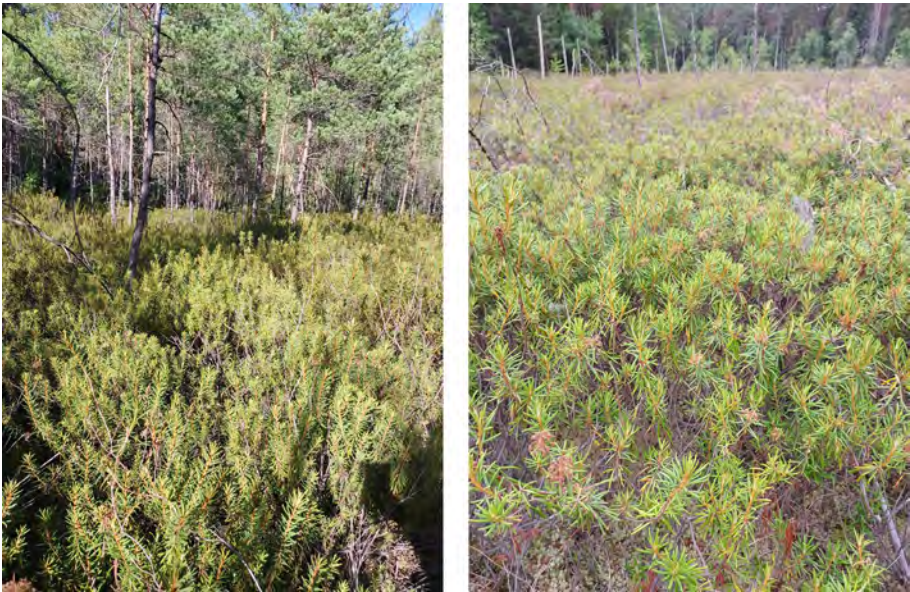


**Rycina 3**

Torfowiska wysokie z dominacją mszarów czerwonych *Andromeda-Sphagnetum magellanici*. Torfowisko Okoniny (fot. M. Gąbka).

Torfowiskom mszarnym często towarzyszą bagiennie zbiorowiska leśne: bór bagienny *Vaccinio uliginosi-Pinetum* (Rycina 5), brzezina bagienna *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* (Rycina 6) i (skrajnie rzadko) ols torfowcowy

*Sphagno-Alnetum* (Rycina 7). Ols torfowcowy stwierdzono na jednym stanowisku w kompleksie z zasobnymi torfowiskami niskimi. Większe kompleksy borów bagiennych występują m.in. w północnej części badanego obszaru. Bór łochyniowy charakteryzuje się dominacją sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w drzewostanie oraz najczęściej obfitym udziałem bagna zwyczajnego (*Ledum palustre*) w podszycie. W dobrze zachowanych płatach warstwa mszysta zdominowana



**Rycina 4**

Fitocenoza zespołu boru bagiennego *Ledo-Sphagnetum magellanici* w rezerwacie przyrody „Bagna nad Stążką” (fot. M. Gąbka).

jest przez torfowce (głównie *Sphagnum magellanicum*, *S. fallax*, *S. capillifolium*, *S. russowii*), jednak najczęściej mamy do czynienia z dekompozycją florystyczną i dominacją pospolitych gatunków mchów borowych (m.in. *Pleurozium schreberi*, *Dicranum scoparium*, *D. polysetum*, *Pseudoscleropodium purum*) w wyniku trwałego odwodnienia siedliska. W zdegenerowanych borach *V.u.-P.* rosnących na złożach w zaawansowanej decesji mamy często do czynienia z procesem neofityzacji w wyniku zasiedlania gleby przez obce gatunki mchów brunatnych: *Campylopus introflexus* i/lub *Orthodontium lineare*. Florystycznie bogatszym i wewnętrznie zróżnicowanym jest zespół brzeziny bagiennnej *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*, reprezentowany w regionie przez fitocenozy czterech podzespołów: *V.u.-B.p. eriophoretosum vaginati* (najbardziej zbliżony do boru bagiennego), *V.u.-B.p. typicum* (najczęściej notowana postać zespołu, z wysoką frekwencją

gatunków diagnostycznych), *V.u.-B.p. polytrichetosum communis* (głównie na suchszych siedliskach, w tym na kwaśnych glebach glejo-bielicowych murszastych) oraz *V.u.-B.p. moebriquetosum* (z udziałem gatunków *Quercus-Fagetea*). Brzezinę od boru bagiennego w skali generalnej oraz na badanym obszarze wyróżniają: dominacja brzozy omszonej *Betula pubescens* w drzewostanie i podszyciu, wierny udział widłaka jałowcowatego *Lycopodium annotinum* i nerecznic (*Dryopteris dilatata*, *D. carthusiana*) w runie oraz florystycznie bogatsza warstwa mszysza z liczniejszym udziałem mchów brunatnych i wątrobowców. Najczęstszym czynnikiem presji jest odwodnienie siedlisk brzeziny bagiennnej i pinetyzacja drzewostanów, co manifestuje się: pauperyzacją fitocenozy, cespityzacją runa (ekspansja trzęślicy modrej *Molinia caerulea*) i neofityzacją. W skrajnych przypadkach degeneracja na poziomie roślinności prowadzi do zaniku brzeziny i powstawania leśnych zbiorowisk zastępczych.

Przedstawiona w niniejszej pracy charakterystyka roślinności bagiennnej lasów Borów Tucholskich wskazuje na jej unikatowy charakter i ścisły związek z różnorodnością warunków abiotycznych.



### Rycina 5

Fitocenoza zespołu boru bagiennego *Vaccinio uliginosi-Pinetum* w rezerwacie Jezioro Kozie (fot. S. Rosadziński).

**Ocena naturalności i stanu ochrony roślinności torfowiskowej**

Analizowany obszar torfowisk leśnych i nieleśnych lasów Borów Tucholskich (Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola) to ważna ostoja wielu rzadkich i zagrożonych zbiorowisk w skali Polski (por. Ratyńska 2010). Na uwagę zasługują zespoły rzadkie (10 syntaksonów) oraz bardzo rzadkie (5 syntaksonów), w tym słabo poznane w skali Polski: *Pellio-Conocephaletum* Maas 1959 i *Ledo-Sphagnetum magellanici* Sukopp 1959 ex Neuhäusl 1969.

**Rycina 6**

Fitocenozą typowej postaci brzeziny *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* z obfitym udziałem widłaka jałowcowatego *Lycopodium annotinum*. (fot. S. Rosadziński).

Rozpatrując stopień zagrożenia badanych zespołów, stwierdzono 7 syntaksonów zagrożonych wyginięciem w skali kraju (kategoria „E”), 22 narażone (kategoria „V”), natomiast 9 zespołów posiada kategorię „I” o nieokreślonym stopniu zagrożenia (por. Ratyńska i in. 2010). Do bezpośrednio zagrożonych wyginięciem należą: *Pellio-Conocephaletum* Maas 1959, *Caricetum limosae* Oswald 1923, *Sphagno tenelli-Rhynchosporium albae* Oswald 1923 nom. invers., *Scorpidio-Caricetum diandrae* Oswald 1923 nom. invers. et nom. mut., *Andromedo-Sphagnetum magellanici* Bogdanowskaja-Gienv 1928, *Sphagno recurvi-Eriophoretum vaginati* Hueck 1925 nom. invers. i *Ledo-Sphagnetum magellanici* Sukopp 1959 ex Neuhäusl 1969.



### Rycina 7

Młociana postać olsu torfowcowego *Sphagno-Alnetum* (fot. S. Rosadziński).

Analizując roślinność badanych ekosystemów pod względem syngenezy rozumianej jako pochodzenie utrwalonych kombinacji gatunkowych i roli człowieka w ich powstaniu, można zauważyć, że większość jednostek należy do zbiorowisk naturalnych, w tym 21 to naturalne perdochoryczne, a 24 – naturalne auksochoryczne (Załącznik 1). Na torfowiskach zdegradowanych oraz na krawędziach basenów akumulacyjnych stwierdzono osiem zbiorowisk półnaturalnych i jedno zbiorowisko synantropijne ruderalne. Obecność tych ostatnich można wiązać z użytkowaniem niektórych torfowisk lub ich części, po wcześniejszym odwodnieniu, jako pastwiska lub łąki kośne.

Na terenie objętym inwentaryzacją stwierdzono osiem typów siedlisk przyrodniczych Natura 2000 związanych z terenami hydrogenicznymi: 7110 – torfowiska wysokie z roślinnością torfotwórczą (żywe), 7120 – torfowiska wysokie zdegradowane, lecz zdolne do naturalnej i stymulowanej regeneracji, 7140 – torfowiska przejściowe i trzęsawiska, 7210 – torfowiska nakredowe (*Cladietum marisci*, *Caricetum buxbaumii*, *Schoenetum nigricantis*), 7230 – górskie i nizinne torfowiska zasadowe o charakterze młak, turzycowisk i mechowisk, 6230 – górskie i niżowe murawy bliźniczkowe (Nardion – płaty bogate florystycznie), 6410 – zmiennowilgotne łąki trzęślicowe (Molinion) i 91D0 –

bory i lasy bagienne (*Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*, *Vaccinio uliginosi-Pinetum*, *Pino mugo-Sphagnetum*, *Sphagno girgensohnii-Piceetum* i brzozowo-sosnowe bagienne lasy borealne). Identyfikatorami fitosocjologicznymi wyżej wymienionych siedlisk przyrodniczych na badanym obszarze są 23 zbiorowiska roślinne (por. Załącznik 1, analiza własna).

Mimo istnienia różnych form ochrony przyrody obejmujących ekosystemy bagienne lasów Borów Tucholskich (SOO „Dolina Brdy i Stążki w Borach Tucholskich” i OSO „Bory Tucholskie” w sieci Natura 2000, Tucholski Park Krajobrazowy, rezerваты przyrody „Dolina Rzeki Brdy”, „Jeziora Kozie”, „Jezioro Zdręczno”, „Bagna Grzybna”, „Bagna nad Stążką”, „Źródła Rzeki Stążki” i „Śliwicki Obszar Chronionego Krajobrazu” i liczne użytki ekologiczne), wymagane jest przygotowanie strategii ochrony rzadkich i zagrożonych gatunków roślin oraz zbiorowisk roślinności emersyjnej na torfowiskach. Do podejmowanych działań ochrony czynnej w ramach planów zadań ochrony i przywrócenia właściwego stanu torfowisk należą m.in. usuwanie drzew i krzewów na torfowiskach mszarnych i mechowiskach, koszenie oraz przywracanie właściwych warunków wodnych przez tworzenie barier odpływu wody i tamowanie rowów melioracyjnych. Większość torfowisk wymaga również podjęcia specyficznych działań polegających na efektywnym usuwaniu obcych ekologicznie i/lub inwazyjnych gatunków roślin (szczególnie drzew i krzewów), wykaszania trzciny i innych ekspansywnych graminoidów (np. trzcinnka piaskowego) oraz usuwaniu z terenów otwartych torfowiska samosiewów drzew i krzewów.

Szczególnie istotna wydaje się też właściwie podjęta współpraca środowisk naukowych, leśników, regionalnego dyrektora ochrony środowiska i administratorów terenu w celu ochrony cennych siedlisk hydrogenicznych, która powinna zapewnić przetrwanie rzadkich i ustępujących elementów organizmów zarodnikowych, flory i roślinności.

## PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują Pracownikom Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Toruniu) za udzieloną pomoc w trakcie badań, a także Konserwatorowi Przyrody województwa kujawsko-pomorskiego za wydanie stosownych pozwoleń.

## LITERATURA

- Boiński M. 1985. Szata roślinna Borów Tucholskich. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa-Poznań-Toruń.
- Boiński M. 1992. Osobliwości szaty roślinnej Borów Tucholskich. Towarzystwo Miłośników Borów Tucholskich. Toruń.
- Boiński M., Boińska U. 2003. Dokumentacja do planu ochrony rezerwatu przyrody Jeziora Kozie. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Bydgoszczy.
- Boiński M., Boińska U. 2004a. Dokumentacja do planu ochrony rezerwatu przyrody Jezioro Zdręczno. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Bydgoszczy.
- Boiński M., Boińska U. 2004b. Dokumentacja do planu ochrony rezerwatu przyrody Bagna nad Stążką. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Bydgoszczy.
- Boiński M., Boińska U. 2004c. Dokumentacja do planu ochrony rezerwatu przyrody Bagno Grzybna. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Bydgoszczy.
- Brzeg A., Wojterska M. 2001. Zespoły roślinne Wielkopolski, ich stan poznania i zagrożenie. [w:] Wojterska M. (red.) Szata roślinna Wielkopolski i Pojezierza Południowopomorskiego. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. ss. 39-110.
- Ceynowa-Giełdon M. 1988. Elementy flory naczyniowej obszarów Borów Tucholskich. [w:] Ochrona przyrody Borów Tucholskich. I Konferencja naukowa. Zakład Taksonomii i Geografii Roślin UMK, Międzywydziałowy Zakład Ochrony Środowiska ATR Bydgoszcz, Bydgoskie Towarzystwo Ekologiczne. Toruń-Bydgoszcz. ss. 82-92.
- Dysarz R. (red.) 1999a. Plan ochrony Tucholskiego Parku Krajobrazowego. Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Bydgoszczy.
- Dysarz R. (red.) 1999b. Dokumentacja do planu ochrony rezerwatu przyrody Źródła Rzeki Stążki. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Bydgoszczy. Tucholski Park Krajobrazowy.

- Hájek M., Horsak M., Hájková P., Dítě D. 2006. Habitat diversity of central European fens in relation to environmental gradients and an effort to standardise fen terminology in ecological studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8: 97-114.
- Hájková P., Hájek M. 2000. Bryophyte and vascular plant responses to base-richness and water level gradients in western Carpathian *Sphagnum*-rich mires. *Folia Geobotanica* 39: 335-351.
- Jasnowska J., Jasnowski M. 1983. Roślinność mszarnych torfowisk wysokich z rzędu *Sphagnetalia magellanici* (Pawł. 1928) Moore 1968 na Pojezierzu Bytowskim. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, Rolnictwo* 104 (32): 89-100.
- Joosten H., Tanneberger F., Moen A. (red.) 2017. Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation. Schweizerbart Science Publishers.
- Kaźmierczakowa R., Bloch-Orłowska J., Celka Z., Cwener A., Dajdok Z., Michalska-Hejduk D., Pawlikowski P., Szczęśniak E., Ziarnek K. 2016. Polska czerwona lista paprotników i roślin kwiatowych. Instytut Ochrony Przyrody PAN. Kraków.
- Kaźmierczakowa R., Zarzycki K., Mirek Z. (red.) 2014. Polska Czerwona Księga Roślin. Paprotniki i rośliny kwiatowe. Wydanie III uaktualnione i rozszerzone. Instytut Ochrony Przyrody PAN. Kraków.
- Klama H., Górski P. 2018. Red List of Liverworts and Hornworts of Poland (4<sup>th</sup> edition). *Cryptogamie Bryologie* 39 (4): 415-441.
- Łachacz A., Olesiński L. 2000. Flora i roślinność trzęsawiskowego torfowiska Jeziorko na Pojezierzu Mazurskim. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica* 7: 129-143.
- Mirek Z., Piekos-Mirkowa H., Zając A., Zając M. 2020. Vascular plants of Poland: an annotated checklist. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. Kraków.
- Nejfeld P., Stebel A., Matuszek-Nejfeld M. 2020. Ekspertyza na potrzeby uzupełnienia stanu wiedzy dla przedmiotów ochrony na obszarze Natura 2000 Doliny Brdy i Stążki w Borach Tucholskich PLH040023 – siedliska i gatunki roślin. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Bydgoszczy.



- Ochyra R., Żarnowiec J., Bednarek-Ochyra H. 2003. Censur catalogue of Polish mosses. Katalog mchów Polski. Biodiversity of Poland 3. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. Kraków.
- Ratyńska H., Wojterska M., Brzeg A. 2010. Multimedialna encyklopedia zbiorowisk roślinnych Polski ver. 1.1. Instytut Edukacyjnych Technologii Informatycznych.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin. Dz.U. 2014 poz. 1409.
- Wheeler B.D., Proctor C.F. 2000. Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. *Journal of Ecology* 88: ss. 187-203.
- Wołejko L. 2001. Stratygrafia torfowisk soligenicznych Polski północnozachodniej. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 1 (1): 83-103.
- Żarnowiec J., Stebel A., Ochyra R. 2004. Threatened moss species in the Polish Carpathians in the light of a new Red list of mosses in Poland. [w:] Stebel A., Ochyra R. (red.) *Bryological studies in the Western Carpathians*. Sorus. Poznań. ss. 9-28.
- Żurek S. 1993. Zmiany paleohydrologiczne w mokradłach. *Przegląd Geograficzny* 65 (1-2): 75-95.

## ZAŁĄCZNIK 1

Wykaz systematyczny i charakterystyka zbiorowisk roślinnych badanych typów roślinności w granicach Nadleśnictw Tuchola i Woziwoda.

Objaśnienia:

1 – stan zagrożenia: Ex – wymarłe lub przypuszczalnie wymarłe; E – bezpośrednio zagrożone wymarciem; V – narażone; I – o nieokreślonym zagrożeniu; – niezagrożone; O – wykazujące ekspansję.

2 – syngeneza: N – zbiorowisko naturalne o braku wyraźnych tendencji dynamicznych; NP – zbiorowisko naturalne perdochoryczne; NA – zbiorowisko naturalne auksochoryczne; SN – zbiorowisko półnaturalne (seminaturalne); X – zbiorowisko ksenospontaniczne; SS – zbiorowisko synantropijne segetalne; SR – zbiorowisko synantropijne ruderalne; SRW – zbiorowisko synantropijne ruderalne wyspecjalizowane.

3 – rozpowszechnienie: P – pospolite; C – częste; R – rzadkie; RR – bardzo rzadkie.

4 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 kwietnia 2010 r. w sprawie siedlisk przyrodniczych oraz gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty, a także kryteriów wyboru obszarów kwalifikujących się do uznania lub wyznaczenia jako obszary Natura 2000.

Syntakson	1	2	3	4
<b>Zbiorowiska leśne i zaroślowe na siedliskach hydrogenicznych</b>				
<b>Kl. <i>Alnetea glutinosae</i> Br.-Bl. et R. Tx. 1943</b>				
Rz. <i>Alnetalia glutinosae</i> R. Tx. 1937				
Zw. <i>Alnion glutinosae</i> (Malcuit 1929) Meijer Drees 1936				
1. <i>Salicetum cinereae</i> Kobendza 1930	-	NA	C	
2. <i>Salicetum auritae</i> Jonas 1935 em. Oberd. 1964	I	NA	R	
3. <i>Sphagno-Alnetum</i> Allorge ex Lemée 1937 nom. invers.	V	NP	R	*91D0
4. <i>Carici elongatae-Alnetum</i> W. Koch 1926 ex Schwickerath 1933	-	N	C	
<b>Kl. <i>Vaccinio-Piceetea</i> Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939</b>				
Rz. <i>Piceetalia excelsae</i> Pawłowski in Pawłowski et al. 1928 em. Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939				
Zw. <i>Dicrano-Pinion</i> (Libbert 1933) W. Mat. 1962				
5. <i>Molinio-Pinetum</i> (Juraszek 1928) W. et J. Mat. 1973 nom. conserv. propos.	I	NA	R	
6. <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i> Kleist 1930 em. W. Mat. 1962	V	NP	R	7120, *91D0
7. <i>Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis</i> Libbert 1933 em. R. Tx. 1937	V	NP	R	*91D0
<b>Zbiorowiska wodne i bagienne</b>				
<b>Kl. <i>Montio-Cardaminetea</i> Br.-Bl. et R. Tx. 1943</b>				
Rz. <i>Montio-Cardaminetalia</i> Pawłowski in Pawłowski et al. 1928				

Syntakson	1	2	3	4
Zw. <i>Caricion remotae</i> Kästner 1941				
8. <i>Pellio-Conocephaletum</i> Maas 1959	E	NP	RR	
9. <i>Caricetum remotae</i> (Kästner 1941) Schwickerath 1944	V	NP	R	
<b>Kl. <i>Phragmitetea australis</i> (Klika in Klika et Novák 1941) R. Tx. et Preising 1942</b>				
Rz. <i>Phragmitetalia australis</i> W. Koch 1926				
Zw. <i>Phragmition communis</i> W. Koch 1926				
10. <i>Scirpetum lacustris</i> (Allorge 1922) Chouard 1924	-	NA	P	
11. <i>Typhetum angustifoliae</i> Soó 1927 ex Pignatti 1953	-	NA	P	
12. <i>Typhetum latifoliae</i> Soó 1927 ex Lang 1973	-	NA	P	
13. <i>Sparganietum ramosi</i> Roll 1938	-	NA	P	
14. <i>Cladietum marisci</i> Allorge 1922 ex Zobrist 1935	V	NP	R	*7210
15. <i>Phragmitetum communis</i> Kaiser 1926	-	NA	P	
16. <i>Glycerietum maximae</i> (Allorge 1922) Hueck 1931	-	NA	P	
17. <i>Scirpetum maritimi</i> Soó 1927 ex Egglar 1933 em. R. Tx. 1937 (incl. <i>Schoenoplectetum tabernaemontani</i> Soó 1927 ex 1947)	I	NA	R	7230
Zw. <i>Magnocaricion elatae</i> W. Koch 1926				
18. <i>Cicuto-Caricetum pseudocyperiperi</i> Boer et Sissingh in Boer 1942	V	NP	C	
19. <i>Thelypterido-Phragmitetum</i> Kuiper 1958	-	NP	C	
20. <i>Iridetum pseudoacori</i> Egglar 1933 ex Brzeg et M. Wojterska 2001	I	NA	P	
21. <i>Caricetum paniculatae</i> Wangerin 1916 ex von Rochow 1951	V	N	C	7230
22. <i>Caricetum paradoxae</i> Soó in Aszód 1935	V	NP	R	7230
23. <i>Caricetum rostratae</i> Rübel 1912 ex Osvald 1923	V	NA	R	
24. <i>Caricetum elatae</i> W. Koch 1926	I	N	C	
25. <i>Caricetum acutiformis</i> Egglar 1933	-	NA	P	
26. <i>Caricetum gracilis</i> Almquist 1929	-	NA	P	
27. <i>Calamagrostietum canescentis</i> Simon 1960	I	NA	C	
Rz. <i>Nasturtio-Glycerietalia</i> Pignatti 1953				
Zw. <i>Oenanthion aquaticae</i> Hejny ex Neuhäusl 1959 (Syn.: <i>Eleocharito-Sagittarion</i> Pass. 1964)				
28. <i>Sagittario-Sparganietum emersi</i> R. Tx. 1953	V	NP	R	
29. <i>Eleocharitetum palustris</i> Schennikov 1919 ex Ubrizsy 1948	-	NA	C	

## ROŚLINNOŚĆ I CENNE ELEMENTY FLORY SIEDLISK HYDROGENICZNYCH...

Syntakson	1	2	3	4
Zw. <i>Sparganio-Glycerion fluitantis</i> Br.-Bl. et Sissingh in Boer 1942 nom. invers.				
30. Zb. <i>Menyanthes trifoliata-Berula erecta</i> s.s.	I	NA	C	7230
Zw. <i>Phalaridion</i> Kopecký 1961				
31. <i>Phalaridetum arundinaceae</i> Libbert 1931	-	NA	P	
<b>Kl. <i>Scheuchzeria-Caricetea fuscae</i> (Nordhagen 1936) R. Tx. 1937</b>				
Rz. <i>Scheuchzerietalia palustris</i> Nordhagen 1936				
Zw. <i>Rhynchosporion albae</i> W. Koch 1926				
32. <i>Caricetum limosae</i> Oswald 1923	E	NP	R	*7110, 7140
33. <i>Sphagno tenelli-Rhynchosporium albae</i> Oswald 1923 nom. invers.	E	NP	R	*7110, 7140
34. <i>Sphagno recurvi-Eriophoretum angustifolii</i> Hueck 1925 nom. invers. et nom. mut.	V	NP	C	7140
Zw. <i>Caricion lasiocarpae</i> Vanden Berghen in Lebrun et al. 1949				
35. <i>Sphagno apiculati-Caricetum rostratae</i> Oswald 1923 em. Steffen 1931	V	NP	R	7140
36. <i>Caricetum lasiocarpae</i> Oswald 1923	V	NP	R	7230, 7140
37. <i>Scorpidio-Caricetum diandrae</i> Oswald 1923 nom. invers. et nom. mut.	E	NP	R	7230
38. <i>Menyantho-Sphagnetum teretis</i> Warén 1926	V	NP	R	7230, 7140
39. Zb. <i>Carex dioica-Paludella squarrosa</i>	V	NP	R	7230
40. Zb. <i>Equisetum palustre-Helodium blandowii</i>	V	N	R	7230
Rz. <i>Caricetalia fuscae</i> W. Koch 1926 em. Nordhagen 1936				
Zw. <i>Caricion fuscae</i> W. Koch 1926 em. Klika 1934				
41. <i>Carici canescentis-Agrostietum caninae</i> R. Tx. 1937	I	NA	C	7140
42. <i>Calamagrostietum neglectae</i> Steffen 1931	V	NA	R	7140, 7230
43. <i>Sphagno-Juncetum effusi</i> Dziubałowski 1928 nom. invers.	I	NA	R	7140
<b>Kl. <i>Oxycocco-Sphagnetea</i> Br.-Bl. et R. Tx. 1943</b>				
Rz. <i>Sphagnetalia magellanici</i> (Pawłowski in Pawłowski et al. 1928) Kästner et Floßner 1933				
Zw. <i>Sphagnion magellanici</i> Kästner et Floßner 1933				
44. <i>Andromedo-Sphagnetum magellanici</i> Bogdanowskaja-Giènev 1928	E	NP	R	*7110
45. <i>Sphagno recurvi-Eriophoretum vaginati</i> Hueck 1925 nom. invers.	E	NP	R	*7110, 7120

Syntakson	1	2	3	4
46. <i>Ledo-Sphagnetum magellanicum</i> Sukopp 1959 ex Neuhäusl 1969	E	NP	RR	*7110
<b>Krótkotrwałe zbiorowiska mulistych brzegów i okresowo zalewanych zagłębiń</b>				
<b>Kl. <i>Bidentetia tripartitae</i> R. Tx. et al. in R. Tx. 1950</b>				
Rz. <i>Bidentetalia tripartitae</i> Br.-Bl. et R. Tx. 1943				
Zw. <i>Bidentetion tripartitae</i> Nordhagen 1940 em. R. Tx. in Poli et J. Tx. 1960				
47. <i>Tephroseridetum palustris</i> Burrichter 1970 ex Pott 1995	V	NA	R	
<b>Zbiorowiska użytków zielonych, psiar i wrzosowisk</b>				
<b>Kl. <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> R. Tx. 1937 em. 1970</b>				
48. Zb. <i>Holcus lanatus</i> (Syn.: <i>Holcetum lanati</i> Issler 1936)	-	SN	P	
49. Zb. <i>Anthoxanthum odoratum</i> (Nie: <i>Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis</i> Sillinger 1933)	-	SN	C	
Rz. <i>Molinietalia</i> W. Koch 1926				
Zw. <i>Filipendulion ulmariae</i> (Duvigneaud 1946) Segal 1966 ex Lohmeyer in Oberd. et al. 1967				
50. <i>Lysimachio vulgaris-Filipenduletum</i> Bal.-Tulačková 1978	-	NA	C	
Zw. <i>Calthion</i> R. Tx. 1937				
51. <i>Scirpetum sylvatici</i> Ralski 1931	V	N	C	
52. <i>Angelico-Cirsietum oleracei</i> R. Tx. 1937 em. 1947	V	SN	C	
53. <i>Stellario palustris-Deschampsietum cespitosae</i> Freitag 1957	-	SN	P	
54. <i>Epilobio-juncetum effusi</i> Oberd. 1957	-	SN	C	
Zw. <i>Molinion</i> W. Koch 1926				
55. <i>Selino carvifoliae-Molinietum caeruleae</i> Kuhn 1937	V	SN	R	6410
56. <i>Junco-Molinietum</i> (R. Tx. 1937) Preising in R. Tx. et Preising 1951 em. Pass. 1964	-	NA	R	.
<b>Kl. <i>Calluno-Ulicetea</i> Br.-Bl. et R. Tx. 1943 em. Preising 1949</b>				
Rz. <i>Nardetalia</i> Oberd. ex Preising 1949				
Zw. <i>Violion caninae</i> Schwickerath 1944				
57. <i>Polygalo-Nardetum</i> Oberd. 1957 nom. conserv.	V	SN	R	*6230
<b>Zbiorowiska ziolo-rośli nitrofilnych</b>				
<b>Kl. <i>Artemisietea vulgaris</i> Lohmeyer et al. in R. Tx. 1950</b>				
Rz. <i>Onopordetalia acanthii</i> Br.-Bl. et R. Tx. 1943				
Zw. <i>Convolvulo-Agropyron</i> Görs 1966				
58. <i>Rubo caesii-Calamagrostietum epigeji</i> Coste 1985	O	SR	C	

**MARIUSZ LAMENTOWICZ, DARIA WOCHAL**  
PRACOWNIA EKOLOGII ZMIAN KLIMATU,  
WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH I GEOLOGICZNYCH,  
UNIwersYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA, POZNAŃ

**SAMBOR CZERWIŃSKI**  
PRACOWNIA EKOLOGII ZMIAN KLIMATU, WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH  
I GEOLOGICZNYCH, UNIwersYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA  
PRACOWNIA BADAŃ PALEOŚRODOWISKOWYCH,  
WYDZIAŁ OCEANOGRAFII I GEOGRAFII, KATEDRA GEOMORFOLOGII  
I GEOLOGII CZWARTORZĘDU, UNIwersYTET GDAŃSKI

**STEFAN KONCZAL**  
NADLEŚNICTWO WOZIWODA

**JOANNA LANDOWSKA, JACEK LANDOWSKI**  
NAUKOWCY NIEZALEŻNI

## **TORFOWISKOWE ZASOBY WĘGLA W BORACH TUCHOLSKICH**

### **WSTĘP**

Torfowiska stanowią wyjątkowe ekosystemy, pełniące funkcje w różnych kontekstach czasowych i przestrzennych (Joosten, Clarke 2002; Joosten 2003). Ich istotną cechą jest obecność warstwy materii organicznej, zwanej torfem, będącej efektem akumulacji nierozłożonych szczątków roślin torfotwórczych (Tobolski 2000; Tobolski 2003b). Proces formowania się współczesnych jezior i torfowisk na Pomorzu rozpoczął się 11 700 lat temu (okres holocenu) (Mojski 2005). Warto jednak pamiętać, że w przeszłości geologicznej podobne procesy miały miejsce także w karbonie (358-298 milionów lat temu). Był to okres, w którym rozległe bagna efektywnie gromadziły materię organiczną, absorbując dwutlenek węgla z atmosfery (Thomas 2012). Po wielu milionach lat torf przekształcił się w węgiel kamienny, jednak najważniejsze złoża węgla brunatnego pojawiły się w miocenie około 20 milionów lat temu (Thomas 2012; Widera 2021).

Torfowiska odgrywały zatem kluczową rolę w ewolucji życia i kształtowaniu klimatu Ziemi (Feulner 2017). Jak na ironię, spalanie tych „kopalnych torfowisk” (tj. paliw kopalnych węgla kamiennego i brunatnego) poprzez podniesienie temperatury globalnej przyczynia się obecnie do degradacji współczesnych torfowisk powodując ich wysychanie.

Obecny kryzys ekologiczny oraz antropogeniczne globalne ocieplenie, głównie spowodowane spalaniem paliw kopalnych oraz zmianami użytkowania terenu (IPCC 2023), negatywnie wpływają na liczne ekosystemy, w tym współczesne torfowiska, które jednocześnie podlegają intensywnemu eksploataowaniu, osuszeniu i zalesianiu (Lawson i in. 2022; Fluet-Chouinard i in. 2023). Choć mechanizm ten historycznie był obecny przez lata, to jego nasilenie ma miejsce szczególnie w okresie industrializacji, a zwłaszcza od drugiej połowy XX wieku (Tanneberger i in. 2021). Pomimo rosnącej społecznej świadomości, torf nadal jest wykorzystywany w ogrodnictwie oraz szkółkach leśnych (Gaudig 2001; Gaudig 2002). To prowadzi do emisji węgla z zakłóconych przez eksploatację torfowisk, wpływając negatywnie na globalny klimat i przyczyniając się do ciągłego wzrostu efektu cieplarnianego (Harenda i in. 2018). Obecna sytuacja zobowiązuje naukowców, przedsiębiorców i instytucje państwowe do poszukiwania alternatywnych rozwiązań, które umożliwią ograniczenie wydobycia torfu (Peatland Atlas 2023). Dążenia te mają na celu również redukcję emisji z torfowisk na skalę globalną (Doelman i in. 2023).

Torfowiska zajmują ogółem około 1,6 mln ha powierzchni Polski (5%), z czego 1,3 mln ha jest odwodniona (Jabłońska i in. 2021). W zależności od rodzaju torfu, 92,4% powierzchni torfowisk stanowią torfowiska niskie, 3,3% torfowiska przejściowe, natomiast torfowiska wysokie stanowią 4,3% powierzchni (Kotowski i in. 2017). Ponieważ 84,6% torfowisk jest odwodniona (Jabłońska i in. 2021), dlatego są emiterami gazów cieplarnianych, głównie CO<sub>2</sub> do atmosfery (Lamentowicz i in. 2021).

Bory Tucholskie posiadają wiele torfowisk na swojej powierzchni (Boiński 1992; Boiński, Boińska 1993; Tobolski 1998; Boińska, Boiński 2002; Tobolski i in. 2003; Tobolski 2003a; Tobolski 2006). Te torfotwórcze mokradła prezentują się często jako zróżnicowane krajobrazy o wysokim stopniu obfitości (Tobolski i in. 2003). W obrębie tego obszaru można zauważyć różnorodne typy torfowisk, zlokalizowane w niewielkiej odległości od siebie. Otoczone lasami, obecnie głównie borami sosnowymi, torfowiska te istnieją od tysięcy lat, początkowo rozwijając się na bryłach martwego lodu, przekształcając się później w jeziora, by po upływie wielu tysięcy lat ponownie przybrać formę torfowisk (Lamentowicz 2005).

Należy zaznaczyć, że monokultura sosny, podobnie jak praktyki melioracyjne, stanowią relatywnie nowe zjawisko w holocenijskim krajobrazie Borów Tucholskich, które zostało w dużej mierze zainicjowane przez pruską gospodarkę leśną i kontynuowane w kolejnych latach (Wilson 2012). Nowoczesna gospodarka leśna na znaczną skalę w stosunkowo niedawnej przeszłości (Broda 2000) istotnie wpłynęła na stan mokradeł (Ilnicki 2002). Odwodnienia przyczyniły się do obniżenia lustra wody gruntowej i degradację torfowisk, które były następnie wykorzystywane rolniczo (Świętochowski 1958). Przebudowa lasów powodowała przekształcenie torfowisk i pojawianie się na nich nowej roślinności (Lamentowicz i in. 2007). Intensywne przekształcenie mokradeł i ich zniszczenia polegające na czynieniu sobie ziemi poddaną i poskromieniu przyrody przez człowieka częściowo powiodło się (<https://theconversation.com/how-medieval-christian-ideology-changed-the-polish-environment-forever-new-study-150324>). Skutkowało to zanikiem lub przekształceniem tych, niegdyś dzikich, krajobrazów bagien i lasów Borów Tucholskich (Miotk-Szpiganowicz 1992).

Zbiorniki akumulacji biogenicznej reprezentowane przez torfowiska stanowią kluczowy element węglowego bilansu atmosferycznego, efektywnie „wychytując” węgiel z atmosfery i składując go w postaci torfu (Belyea, Malmer 2004; Baird i in. 2009). Do niedawna badania torfowisk Borów Tucholskich koncentrowały się głównie na ich paleoekologii i strukturze roślinności (Boiński 1993; Tobolski i in. 2004), jednakże w ostatniej dekadzie w perspektywie globalnego ocieplenia oraz utraty wody torfowiska zaczęły być inaczej postrzegane, stały się ważnymi zasobami przyrody, w zupełnie nowym kontekście. Jednocześnie ich znaczenie dla lasów w kontekście retencjonowania wody i węgla znacznie wzrosło (Lamentowicz i in. 2021). Znaczenie mokradeł w Lasach Państwowych manifestuje się obecnie w coraz większym zainteresowaniu ochroną tych obszarów, poprzez inicjowanie projektów skoncentrowanych na odbudowie torfowisk. Niemniej jednak wszelkie przedsięwzięcia związane z restytucją torfowisk wymagają wstępnego, gruntownego zbadania ich zasobów i obecnego stanu zachowania. Jednym z aspektów, który wciąż pozostaje słabo rozpoznany, jest miąższość torfu, odgrywająca kluczową rolę nie tylko w kwestii zawartości węgla pierwiastkowego, lecz także w kontekście potencjału retencjonowania wody (Lindsay 2010; Lamentowicz i in. 2021). Miąższość torfu ma kluczowe znaczenie dla odporności torfowiska na różnorodne zaburzenia oraz stres wilgotnościowy w trakcie sezonowych susz (Moore i in. 2021). Dane o geologii torfowisk wraz ze szczegółowym rozpoznaniem roślinności ze wsparciem teledetekcyjnym są niezwykle istotne dla sukcesu w realizacji przedsięwzięć nawadniania torfowisk i ich ochrony.



Celem niniejszego opracowania jest: a) podsumowanie dostępnej wiedzy dotyczącej rozmieszczenia i miąższości torfowisk w Nadleśnictwie Woziwoda, b) estymacja zasobów węgla w torfowiskach w skali Nadleśnictwa w relacji do powierzchni Polski, c) wskazanie konieczności wprowadzenia informacji dotyczących miąższości torfu do krajowej bazy danych o lasach.

## OBSZAR BADAŃ I TYPY TORFOWISK

Na terenie Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola wyróżniają się trzy główne typy torfowisk spotykane w Polsce. **Torfowiska niskie** są powszechne w dolinach wolno płynących cieków, szczególnie w zarastających starorzeczach oraz na brzegach jezior, gdzie ich występowanie jest ściśle związane z obecnością wód gruntowych i powierzchniowych (Rycina 1). Charakteryzują się znacznym bogactwem florystycznym, szczególnie pod względem obecności roślin naczyniowych, takich jak turzyce, oraz mchów brunatnych. Torfowiska te występują w dolinie rzeki Brdy oraz innych rzek i jezior, co jest rezultatem procesu przekształcania doliny rzecznej w jej środkowym biegu. Ten proces obejmuje kształtowanie się starorzeczy jako naturalnej konsekwencji zarastania tych obszarów lub wynika z działalności antropogenicznej, takiej jak sztuczne odcinanie meandrów rzeki czy tworzenie płytkich krótkotrwałych jezior. **Torfowiska wysokie** zdominowane są zwykle przez określone gatunki mchów torfowców i rośliny naczyniowe. W rzeczywistości na obszarze Borów Tucholskich brak jest torfowisk wysokich posiadających kopułę, większość obiektów to kwaśne torfowiska przejściowe często posiadające w swoim składzie botanicznym roślinność wysokotorfowiskową, często są to kwaśne torfowiska kotłowe. **Torfowiska przejściowe** tworzą się wokół jezior lub są efektem zarastania zbiorników wodnych, stanowią formę przejściową między torfowiskiem niskim i wysokim. Obserwuje się na nich proces zamykania oczka wodnego przez narastające pło zbudowane głównie z mchów torfowców (Rycina 2). Powstawanie tych torfowisk związane jest także z końcowym etapem zarastania śródleśnych oczek wodnych, większych obiektów jeziornych i zakwaszaniem związanym z ekspansją mchów torfowców.



**Rycina 1**

Torfowisko niskie w Dolinie Stążki posiada niewielką miąższość torfu (fot. M. Lamentowicz). Obszar ten był jeszcze jeziorem ok. 1500 lat temu (Lamentowicz i in. 2013).

Z punktu widzenia genezy, torfowiska na obszarze badań dzielą się na:

- torfowiska limnogeniczne powstające w wyniku procesu zarastania zbiorników wodnych (zwłaszcza jezior),
- torfowiska paludyfikacyjne powstające bezpośrednio na podłożu mineralnym,
- torfowiska źródłiskowe powstające przy źródłiskach, często w otoczeniu wysokich krawędzi zboczy, z których następuje proces podsiąkania wód podziemnych,
- torfowiska kotłowe powstające w zagłębieniach o znacznej głębokości, w których wysokość krawędzi przekracza nawet 10 metrów,
- torfowiska w obniżeniach międzywydmowych, powstające w wyniku łądowienia małych zbiorników wodnych tworzących się na przedpolu obszarów wydmych.



**Rycina 2**

Jedno z jeziorzek Kozich z otaczającym płem mszarnym i pływającymi wyspami zbudowanymi z mchów torfowców (fot. R. Piątkowski).

Torfowiska paludyfikacyjne są spotykane w dolinach rzecznych Brdy, Czerskiej Strugi oraz Zwierzynki. Powstały w wyniku ich zabagnienia, co wyjaśnia również przewagę torfowisk niskich o tej genezie w tych dolinach. W niektórych przypadkach możliwa jest geneza mieszana paludyfikacyjno-źródłiskowa. Taki typ jest obecny w obiekcie Dziekcz, gdzie z otaczających krawędzi doliny następuje podsiąkanie wód podziemnych. Torfowiska kotłowe występują w miejscach bardzo głębokich obniżen, tworząc odizolowane torfowiska często o dużej miąższości osadów i zróżnicowanej roślinności. Torfowiska w obniżeniach międzywymowych charakteryzują się stosunkowo małą powierzchnią, otoczone są wzniesieniami wymowymi o zróżnicowanej wysokości i położone są w miejscach większych skupień wydm na terenie sandru Brdy (pomiędzy Czerską Strugą a Bielską Strugą, aż po Lińsk i Małe Gacno na południe). W osadzie ich geneza manifestuje się przewarstwieniami piasku pochodzącego z nawiewania. Niezależnie od genezy, torfowiska charakteryzują się zróżnicowaną miąższością torfu biogenicznego, co jest zależne zarówno od warunków hydrologicznych, jak i morfologicznych terenu.

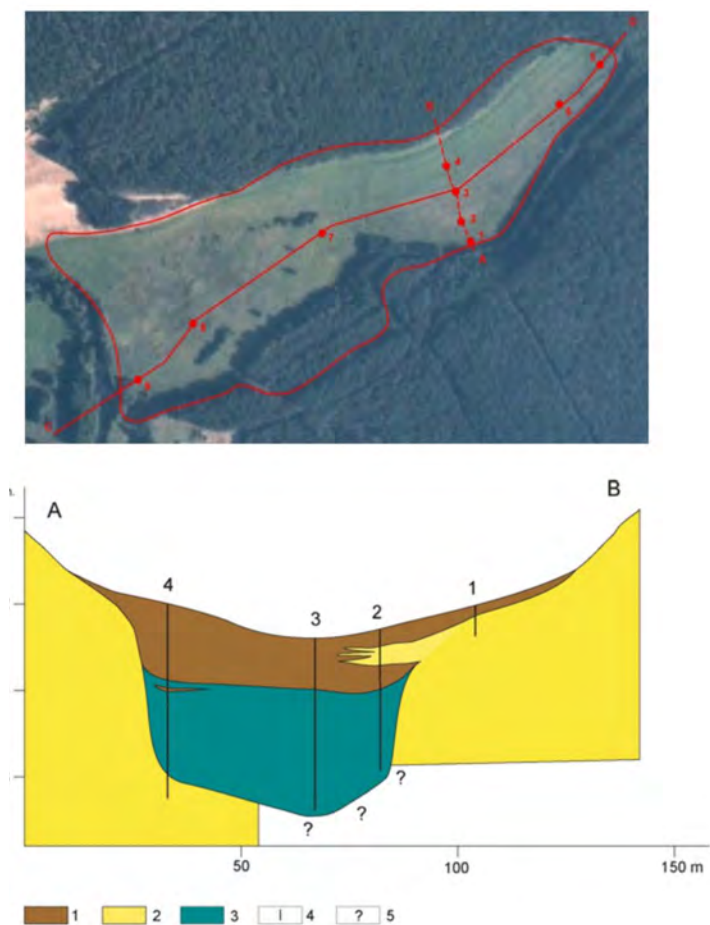
## OSADY BIOGENICZNE TORFOWISK NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH

### Torfowisko Dziekcz

Przez torfowisko przepływa mały ciek wypływający z jego wschodniego krańca, który w ujściu tworzy rozlewisko o głębokości ok. 1 m, oznaczane na mapach jako jezioro. Torfowisko to otoczone jest lasem iglastym rosnącym na glebie mineralnej. Całość położona jest w obniżeniu otoczonym wysokimi krawędziami (ponad 10 metrów). Łączna powierzchnia torfowiska wynosi 9,406 ha. Profil poprzeczny wykazał, że pod warstwą średnio rozłożonego torfu mszysto-zielnego o miąższości 1,4-1,7 m zalega warstwa gytii wapiennej o miąższości dochodzącej do 5,5 m w centrum obiektu. Na szczególną uwagę zwraca warstwa 0,6 m średnioziarnistego piasku rozdzielająca osady średnio rozłożonego torfu w odwiercie nr 2, zalegający tu piasek może być efektem postępujących procesów stokowych (Rycina 3).

W odwiercie nr 3 wykonano badania zawartości węglanów w osadzie. Tak duże nagromadzenie węglanu wapnia w osadzie to efekt wyługowania węglanów z otaczających osadów polodowcowych. Duża jego zawartość w spągowej warstwie jest spowodowana występowaniem nagromadzeń drobnej malakofauny potwierdzonej również w odwiercie nr 4. W odwiercie nr 2 i 3 nie osiągnięto rzeczywistego dna zbiornika ze względu na napotkanie silnie zbitej szarej gytii wapiennej; występowanie w niej śladowych frakcji piaszczystych pozwala przypuszczać bliskość dna zbiornika. Jedynie w odwiercie nr 4 udało się osiągnąć dno zbiornika. Dno zbiornika wyściela jasnoszary piasek drobnoziarnisty, zaś bezpośrednio na nim stwierdzono kilkucentymetrową warstwę węgla drzewnych, świadczące o pożarach we wczesnych etapach historii zbiornika. Profil podłużny przez torfowisko Dziekcz potwierdził przypuszczenie o źródłiskowym charakterze torfowiska oraz o bardzo dużej miąższości osadów wapiennych. W części wschodniej torfowiska w niedalekiej bliskości źródła ciek zalega 2,5-metrowa warstwa silnie rozłożonego torfu zielnego; wraz z przesuwaniem się ku ujściu miąższość i stopień rozłożenia torfu zmniejsza się. Charakterystyczną cechą jest bardzo wyraźne przejście między warstwą torfu i gytią wapienną. Osad gytii wapiennej cechuje się dużą zmiennością kolorystyczną, mimo że nie zmieniają się jej parametry fizykochemiczne – elastyczność czy zawartość węglanu wapnia. Charakterystyczna jest również warstwa spągowa (odwiert nr 7), którą buduje stalowoszary piasek o zróżnicowanej ziarnistości z dosyć dużymi ziarnami kwarcu,

warstwowany węglanem wapnia. Torfowisko Dziekcz posiada bardzo bogatą florę mchów (zawierających gatunki reliktowe) i roślin naczyniowych.



### Rycina 3

Torfowisko Dziekcz z profilem geologicznym: 1 – torf niski, 2 – piasek, 3 – gytia (osad jeziorny), 4 – wiercenie, 5 – niedostępne, mięjsze osady biogeniczne.

### Kozie Jeziorka

Fragment rezerwatu położony na zachód od Jeziora Koziego, stanowiący kompleks trzech śródlęśnych dystroficznych jezior. Położone w rynnie będącej przedłużeniem kompleksu Jeziora Zdręczno. O rynnowym charakterze świadczą

wysokie krawędzie okalające (ponad 10 metrów). W jeziorach tych obserwuje się duże wahania poziomu wody w ciągu roku, jednakże dominuje aktywny proces wypłykania (średnia głębokość jeziorek nie przekracza 1 m). Linia brzegowa jeziorek jest nieregularna z często nasuwającym się na taflę wody płem mszarnym. W obiekcie tym wykonano przekrój geologiczny podłużny. Osad torfowy wykazuje zróżnicowaną miąższość od 4,5 m na południu do 2,45 m na północy. Torf mszysty zachowany w osadzie po południowej stronie zalega na głębokości 0-1,25 m, wraz ze zbliżaniem się do krawędzi jeziora miąższość torfu mszystego wzrasta i wynosi 2,4 m, po północnej stronie osiąga maksymalną miąższość do 2,2 m. Podtorfowy osad gytii detrytusowej manifestuje się we wszystkich odwiertach, ale o zróżnicowanej miąższości, większej po stronie południowej, wskazując wyraźnie na wypłykanie się rynnny ku północy. Po południowej stronie stwierdzono w osadzie na głębokości 1,1-1,12 m wkładkę węgla drzewnego, wskazującą na pożary mające miejsce w przeszłości oraz potwierdzając podobne obserwacje na Jeziorze Kozim. O limnogenicznym charakterze zbiornika w przeszłości mogą świadczyć ślady muszli znalezione w osadzie gytii wapiennej na głębokości 6,35-6,39 m oraz nasiona *Najas marina* na głębokości 5,30 m.

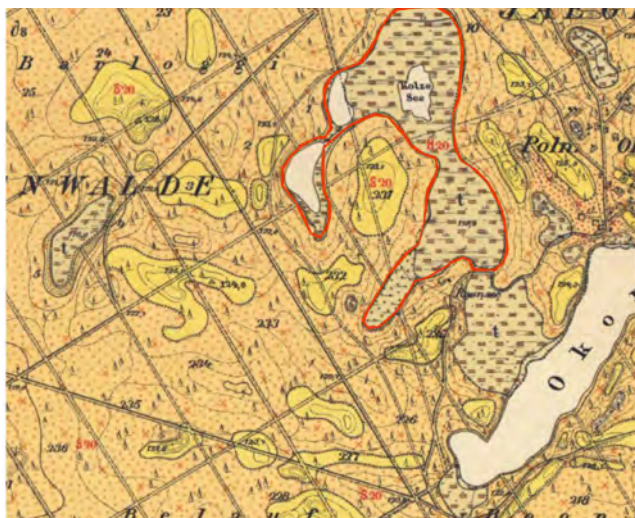
### **Jezioro Kozie**

Obejmuje naturalne śródlądne jezioro wytopiskowe, o charakterze dystroficznym. Charakteryzuje się niewielką głębokością (do 4 m) i owalnym zarysem linii brzegowej oraz zaawansowanym procesem zarastania. Na torfowisku wykształcił się typowy mszar kępkowo-dolinkowy. W wielu miejscach mszar swobodnie unosi się na wodzie, wraz ze skarłymi sosnami tworzy rzadko obserwowane zjawisko pływających wysp. Przeciętnie na Jeziorze Kozim obserwuje się około 9 wysp pływających. Jezioro to morfologicznie nie wykazuje cech połączenia z pozostałymi jeziorami rezerwatu Jeziorka Kozie. Posiada cechy izolowanego zagłębienia, otoczonego krawędziami do 5 m wysokości. W obiekcie tym wykonano przekrój geologiczny w linii N-S. Zaobserwowano zaleganie osadu torfowego do głębokości 2 m na południu i 1,78 m na północy. W miarę zbliżania się do zbiornika wodnego osad torfowy wypłyca się i następuje wzrost osadów limnicznych, których miąższość dochodzi do 4 m. W osadzie gytii detrytusowej znaleziono nasiona przedstawiciela roślinności wodnej *Najas marina*. Wyodrębniono również poziomy występowania węgla drzewnych po stronie południowej na głębokości 1,93-1,95 m, a po stronie północnej na głębokościach 1,43, 1,53 i 3,47 m,

co może świadczyć o pożarach występujących na tym obszarze w różnych okresach historii tego zbiornika.

### Jezierzba (Okoniny)

Torfowisko w fazie przekształcania się z przejściowego w wysokie położone jest na granicy leśnictw Wilcze Doły i Biała. Obiekt zlokalizowany jest w obniżeniu międzywymowym stanowiącym jeden ciąg z dawnym Jeziorem Kloce i Jeziorem Okonińskim (Rycina 4). Melioracja terenu doprowadziła do odwodnienia i całkowitego zaniku Jeziora Kloce, bagno w swej centralnej części zachowuje seminaturalny charakter, natomiast część południowa została silnie przekształcona. Osady świadczą o limnogenicznym pochodzeniu tego obiektu. Dowodem na jeziorne pochodzenie obiektu są również zachowane w osadzie nasiona jeziorzy *Najas*. Zmiana warunków hydrologicznych musiała nastąpić w tym rejonie bardzo szybko, zwłaszcza w zachodniej części kompleksu w rejonie Jeziora Kloce, które w wyniku odwodnienia i nadmiernej eksploatacji lasu wyschło i pokryło się powierzchniowymi osadami piaszczystymi; podobne zjawisko obserwuje się w położonym bardziej na zachód Bagnie Grzybna. Szybkość zachodzących procesów hydrologicznych potwierdzają również mapy geologiczne z XIX wieku, przedstawiając cały kompleks jako zwarte żywe torfowisko, z trzema oczkami wodnymi. Obecnie pokrywa mszarnego pła torfowego cechuje się bardzo małą miąższością (Rycina 4).



**Rycina 4**

Torfowisko Jezierzba, Jezioro Kloce i Bagno Grzybna na pruskiej mapie geologicznej z 1874 roku.



**Rycina 5**

Rezerwat torfowiskowy Bagno Grzybna. Torfowisko przejściowe o niewielkiej średniej miąższości torfu – ok. 1,4 m. Jeszcze ok. 200 lat temu w tym miejscu znajdowało się jezioro. Obecnie poziom wody w torfowisku stopniowo się obniża, co powoduje sukcesję drzew, wycinanych w ramach ochrony czynnej rezerwatu. Na zdjęciu widać otaczające torfowisko drzewostany sosnowe zaatakowane przez borecznika sosnowca (fot. M. Lamentowicz).

## MIĄŻSZOŚĆ TORFU I ZAWARTOŚĆ WĘGLA W TORFOWISKACH NADLEŚNICTWA WOZIWODA I TUCHOLA

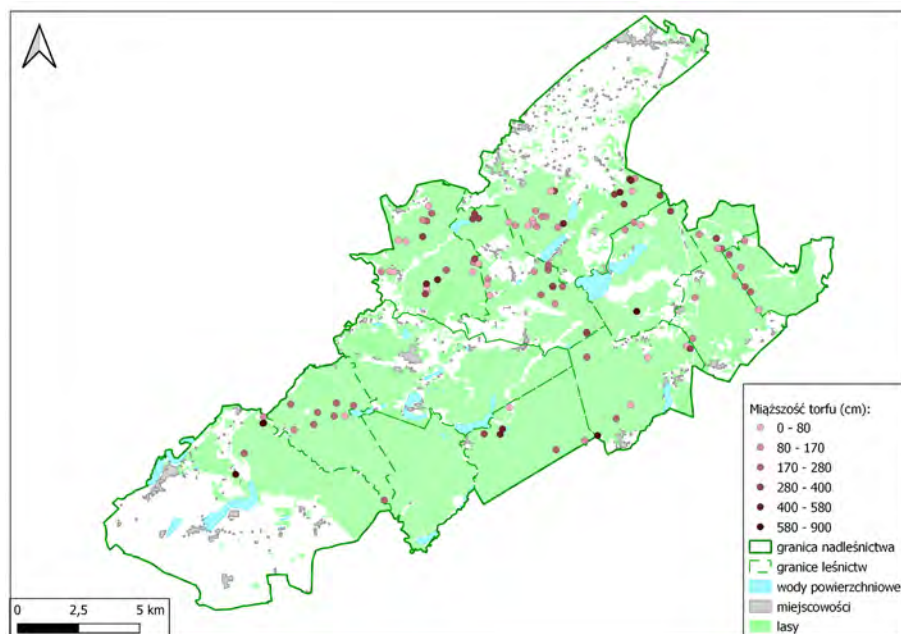
Dokładne określenie miąższości torfu w Nadleśnictwach Woziwoda i Tuchola były możliwe dzięki licznym wierceniom geologicznym w 138 torfowiskach. Zaowocowało to stworzeniem map przedstawiających rozmieszczenie torfowisk wraz z ich szczegółową miąższością. Jest to pierwsze tego typu przedsięwzięcie w tej skali w Lasach Państwowych, ponieważ pomimo tego, że wiercenia już były wykonywane od dawna, to jednak nie były osiągalne w postaci ogólnie dostępnych materiałów.

Na terenie Nadleśnictwa Woziwoda przeprowadzono 110 geologicznych wierceń w torfowiskach. Najwięcej z nich znajduje się w jego północnej części. Wstępna analiza przedziałów miąższości wykazała, że największa ich liczebność występuje w przedziałach 50-100 cm oraz 100-150 cm. Są to głównie torfowiska spotykane w przekształconych obszarach dolin rzecznych bądź byłej strefy



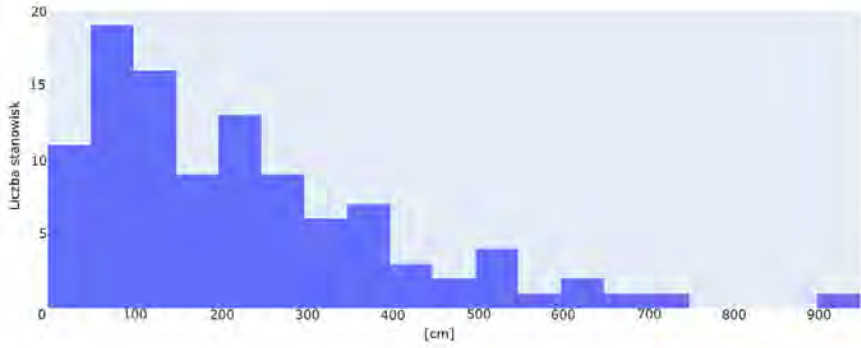
krawędziowej jezior. Mała miąższość torfu większości torfowisk również wynika z prowadzonych melioracji w celu umożliwienia prowadzenia upraw leśnych. Z kolei największe miąższości torfu występują w torfowiskach kotłowych, które powstały w małych, głębokich i bezodpływowych obniżeniach terenu. Wiercenia ujawniły imponującą miąższość w niektórych tego typu stanowiskach. Jednym z nich jest stanowisko Kociołek Dziekcz, gdzie miąższość torfu osiąga aż 900 cm. Średnia miąższość torfu w całym Nadleśnictwie wynosi 227,5 cm, przy średniej powierzchni torfowisk wynoszącej 2,88 ha (Rycina 6 i 7).

Na terenie Nadleśnictwa Tuchola przeprowadzono badania na łącznie 28 stanowiskach (Rycina 8 i 9). Do podsumowania wykorzystano zarówno dane z literatury, jak i wiercenia wykonane w latach 2022-2023. Podobnie jak w przypadku Nadleśnictwa Woziwoda, najwięcej torfowisk występuje w przedziałach miąższości 50-100 cm oraz 100-150 cm. Najmniejsze miąższości torfu występują w Dolinie Rzeki Stążki, natomiast największą miąższość torfu odnotowano na stanowisku rezerwatu przyrody chamedafne północnej, gdzie wyniosła 850 cm. Również na terenie Nadleśnictwa Tuchola największe miąższości torfu można stwierdzić w torfowiskach kotłowych. Średnia miąższość torfu wśród badanych stanowisk wynosi 239 cm.

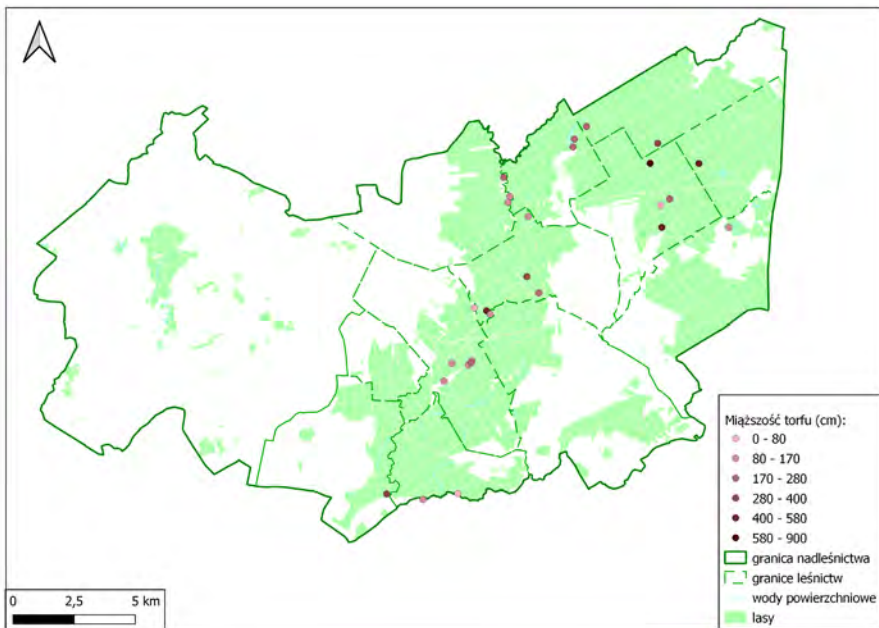


**Rycina 6**

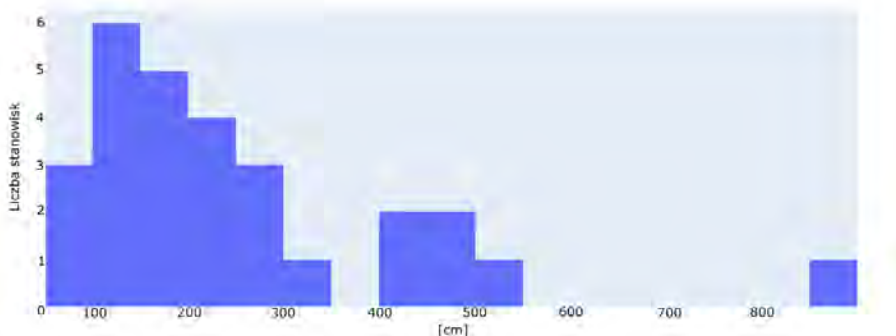
Rozmieszczenie miąższości torfu w badanych torfowiskach Nadleśnictwa Woziwoda.



**Rycina 7**  
Histogram miąższości torfu w Nadleśnictwie Woziwoda.



**Rycina 8**  
Rozmieszczenie miąższości torfu w badanych torfowiskach Nadleśnictwa Tuchola.



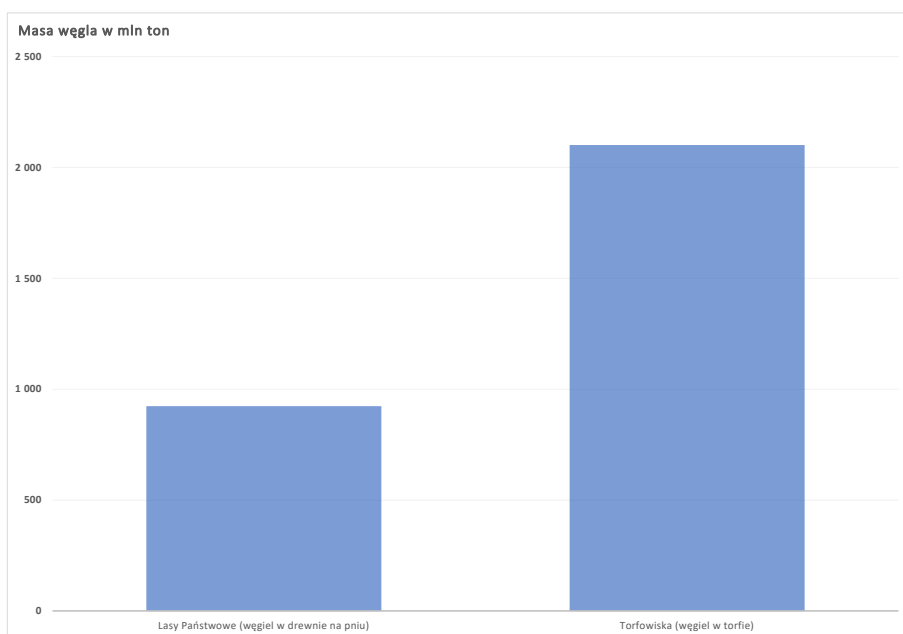
**Rycina 9**  
Histogram miąższości torfu w Nadleśnictwie Tuchola.

## WĘGIEL W TORFOWISKACH NADLEŚNICTWA WOZIWODA W RELACJI DO ZASOBÓW POLSKI I ŚWIATA

Wysokie emisje gazów cieplarnianych, wynoszące około 34,6 Mt ekwiwalentu CO<sub>2</sub> rocznie, pochodzą głównie z osuszonych i eksploatowanych torfowisk, co odzwierciedla ich obecny stan (Jabłońska i in. 2021; Kotowski 2021). Estymacje węgla w torfowiskach Polski nigdy nie były przeprowadzone, choć już w latach 50. XX wieku dokonano wstępnej estymacji objętości torfu w Polsce (Bitner 1958). W praktyce, poza szeroko zakrojonymi pracami w latach 50. i 60., wykonano niewiele szczegółowych badań miąższości torfowisk Polski, poza wyjątkami w małej skali. Ten brak szczegółowej eksploracji odnosi się również do problemu kartowania torfowisk w Lasach Państwowych, gdzie temat torfowisk pozostaje jedynie częściowo zbadany. Dużym wyzwaniem jest określenie gęstości objętościowej torfu, która jest podstawą do obliczenia zawartości węgla w określonej objętości torfu (Lindsay 2010). W przypadku stosunkowo jednolitych w określony typ torfowisk obszarów, czyli tych z dominacją torfowisk wysokich, oszacowania mogą być stosunkowo precyzyjne. Ponieważ 92,4% torfowisk w Polsce to torfowiska wysokie, to kalkulacje gęstości powinny brać pod uwagę dominację torfu niskiego, który zwykle posiada większy stopień rozkładu, a przez to większą gęstość objętościową.

Zakładając, że średnia miąższość torfu w Polsce wynosi ok. 1,7347 m (Bitner 1958), a szacowana gęstość 75 kgC/m<sup>3</sup> dla torfu niskiego (Lindsay 2010), możemy przyjąć poniższe estymacje oparte o niepublikowane dane o powierzchni torfowisk (Jabłońska i in. 2021). Dla Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola

średnia miąższość torfu wynosi ok. 2 m, dlatego estymowane objętości węgla pierwiastkowego będą bardziej precyzyjne. Zasoby węgla pierwiastkowego zgromadzonego w torfie w Polsce szacuje się na 2,1 Gt. To oszacowanie opiera się na przybliżeniu zawartości węgla pierwiastkowego w 1 m<sup>3</sup> torfu, co wynosi około 75 kg węgla pierwiastkowego. Dane te bazują na dostępnych informacjach dotyczących powierzchni i objętości torfu w Polsce (Bitner 1958; Jabłońska i in. 2021). Jednocześnie jesteśmy świadomi, że 2,1 Gt C może być wartością niedoszacowaną z powodu braku szczegółowego rozpoznania miąższości torfu w Polsce. W kontekście badanego terenu masa węgla zbadanych torfowisk przedstawia się następująco: Woziwoda 680 000 ton, w relacji do estymacji w RDLP Toruń 25 000 000 ton, Lasach Państwowych 495 000 000 ton, Ziemia ok. 600 mld ton (Yu i in. 2010).



**Rycina 10**

Zasoby węgla w drewnie na pniu (Lasy Państwowe 2022) i w torfowiskach Polski.

Te wartości ukazują, że torfowiska zawierają ponad dwukrotnie więcej węgla pierwiastkowego niż biomasa drzewna na pniu w Lasach Państwowych, która wynosi około 923 Mt C (Lasy Państwowe 2022) (Rycina 10).

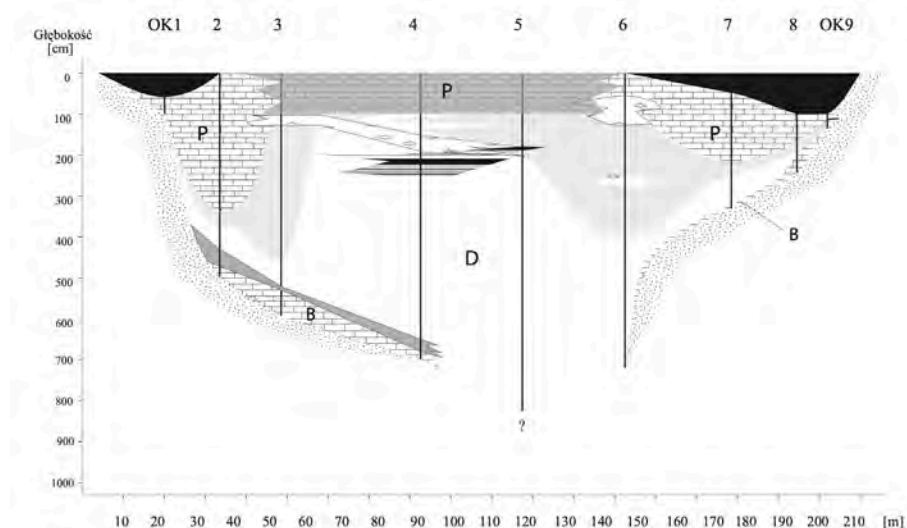
## DYSKUSJA

Mokradła retencjonują wodę w swojej biomase i osadach biogenicznych. Materia organiczna zgromadzona w torfowiskach w ciągu ostatnich 11 700 lat pozostawała zabezpieczona przez wysoki poziom wody utrzymujący warunki beztlenowe powodujące ograniczenie dekompozycji (Rydin, Jeglum 2013). Jednocześnie w tychże siedliskach następował efektywny przyrost osadów, które przekształciły się z czasem w torf (Tobolski 2000). Torfowiska, poprzez tą fantastyczną umiejętność, stały się najważniejszymi zbiornikami węgla na lądach w skali globalnej. Zgromadzony węgiel (ok. 600 Gt) odpowiada 30% węgla zgromadzonego w glebie i 75% węgla atmosferycznego (Yu i in. 2010). Torfowiska zgromadziły i ustabilizowały wiele ton atmosferycznego węgla w skali tysięcy lat. Emitują 34,6 Mt ekw. CO<sub>2</sub>/rok (Kotowski 2021). Zasoby węgla pierwiastkowego zgromadzonego w torfie w Polsce szacujemy na ok. 2,1 Gt C. Takie wartości pokazują, iż torfowiska zawierają ponad dwa razy więcej węgla pierwiastkowego od tego związanego w biomase drzewnej na pniu na obszarze Lasów Państwowych (ok. 923 Mt C) (Lasy Państwowe 2022). Jednocześnie węgiel zawarty w torfowiskach narażony jest na zwiększone emisje związane z odwodnieniami i ociepleniem klimatu (Peatland Atlas 2023).



**Rycina 11**

Przykłady osadów biogenicznych stwierdzonych w torfowiskach w Nadleśnictwach Woziwoda i Tuchola. Pod torfem bardzo wielu torfowisk znajdują się osady jeziorne (fot. M. Lamentowicz).



**Rycina 12**

Przekrój geologiczny torfowiska to podstawowa informacja o jego zasobach węgla oraz historii rozwoju; przykład torfowiska kotłowego zlokalizowanego na prawym brzegu Jeziora Okonińskiego. Torfowisko to posiada w swoim profilu tzw. torf bazalny znajdujący się pod osadami jeziornymi, który dokumentuje rozwój torfowiska na powolnie wytapiających się bryłach martwego lodu.

Torfowiska w Polsce (nie tylko na obszarach leśnych) wymagają pogłębionego kartowania geologicznego i botanicznego. Wyniki będą przydatne nie tylko do określenia zasobów torfowisk, ale także do estymacji emisji gazów cieplarnianych (Kotowski 2021). Szczególnie istotne jest wykonanie kartowania i estymacji zgodnie z przyjętymi międzynarodowymi standardami oraz w oparciu o kompetencje naukowe (Minasny i in. 2023). W tym świetle określenie miąższości torfu wydaje się trywialnym celem, choć w rzeczywistości takie dane albo nie są dostępne, albo spoczywają w cieniu archiwów. Szczególnie dotyczy to badań torfowisk w latach 50. i 60. (Bitner 1958), których wyniki są ciągle niedostępne w formie cyfrowej, a często już nieaktualne z powodu postępującej decesji lub eksploatacji torfu.

Nasze pionierskie w skali całego kraju zestawienie, wydawać by się mogło jedynie surowych danych na temat miąższości torfu, ujawniło skalę zasobów węgla pierwiastkowego w Nadleśnictwie Woziwoda. Część danych istniała głównie na papierze, ale dzięki ostatnim projektom naukowym wyniki wieloletnich badań geologii torfowisk są dostępne w postaci cyfrowej, dzięki czemu mogą być wykorzystane w praktyce. Nadleśnictwa Woziwoda i Tuchola wyróżniają się jako jedne z nielicznych, które posiadają szczegółowo opracowane mapy

torfowisk, zarówno pod kątem ich rozmieszczenia, jak i miąższości torfu oraz ich roślinności. Z uwagi na dostępność takich danych jest to odpowiedni obszar do prób estymacji zasobów węgla w torfie, a także stanowi punkt odniesienia dla szerszych skal przestrzennych. Nasze doświadczenia pokazują, że bez kluczowych i czasochłonnych analiz geologicznych wiedza nt. stanu zachowania i sytuacji hydrologicznej torfowisk byłaby o wiele uboższa. Do odpowiedniego rozpoznania zasobów węgla w torfowiskach nie wystarczą wiercenia do 2 m. Żeby mieć pełny obraz potencjału torfowiska w gromadzeniu węgla i wody potrzebujemy wiedzy o całkowitej miąższości torfu (Rycina 11 i 12). W perspektywie coraz większego zainteresowania torfowiskami na obszarach leśnych, wiedza o miąższości torfu pogłębiona bardziej szczegółowymi badaniami paleoekologicznymi pozwala na kompetentne planowanie ich ochrony (Lamentowicz i in. 2017; Tobolski 2007). Działanie bez wsparcia nauki może prowadzić do wielu błędów i ograniczonych estymacji. Warto podkreślić, że nawadnianie torfowisk jest niezwykle istotne dla lasu i klimatu, jednak najważniejsza funkcja torfowisk związana jest z istnieniem procesu torfotwórczego, prowadzącego do akumulacji węgla. Zalanie torfowiska lub wykopanie w nim zbiornika prowadzi do jego degradacji i emisji metanu oraz dwutlenku węgla z wydobytego torfu. Takie błędy ciągle popełniane są tak w lasach, miastach, jak i na obszarach rolniczych. Im większa miąższość torfu, tym większa wartość torfowiska i jego znaczenie dla klimatu. W latach 50. i 60. wiercenia miały dostarczyć informacji niezbędnych do eksploatacji torfowisk, czym zajmowało się torfoznawstwo (Ilnicki 2002). Współcześnie taka wiedza powinna nam służyć głównie do lepszej ochrony torfowisk i profesjonalnego planowania ich nawadniania oraz hodowli lasu (Jabłońska i in. 2021).

Dane o obecności i miąższości torfu pomocne są w podejmowaniu decyzji, na których obszarach (także wokół torfowisk) gospodarka leśna powinna być ograniczona. Szczególnej uwagi wymagają lasy bagienne (olsy, bory bagienne) na głębokim torfie, gdzie nie powinien pojawiać się ciężki sprzęt. Także niewielkie rozrzucone na sandrze torfowiska kotłowe, powstające na skutek wytapiania się brył lodu, z uwagi na swoje rozmiary są szczególnie wrażliwe na wszelką ingerencję w ich hydrologię (Karpińska-Kołaczek i in. 2024). Torfowiska zlokalizowane wzdłuż rzek i potoków są wyjątkowo wrażliwe na zniszczenia, lasy bagienne rosnące w takich lokalizacjach powinny być objęte ochroną wraz z torfem. Jak ujawniają trwające obecnie badania naukowców, ich zachowanie, nie tylko samego zbiornika, ale także otaczającego lasu, jest kluczowe w utrzymaniu korzystnego bilansu hydrologicznego torfowisk pomagających utrzymać wilgotny mikroklimat, jak i uniknięciu katastroficznych z punktu widzenia gospodarki

leśnej wydarzeń (inwazja szkodników, pożary, susze). Ponadto odpowiedni stan zachowania torfowisk jest niezwykle korzystny dla otaczających obszarów leśnych, a także kluczowy dla różnorodności biologicznej Borów Tucholskich, które na pierwszy rzut oka wydają się dobrze zbadane. Jednakże, jak pokazują nasze wyniki, jest tutaj ciągle wiele do odkrycia (Rycina 13).



**Rycina 13**

Rozległy kompleks zdrowych torfowisk w północnej części Nadleśnictwa Woziwoda (fot. M. Lamentowicz).

## PODZIĘKOWANIA

Autorzy bardzo dziękują za pomoc w pracach terenowych: Maciejowi Gąbce, Łukaszowi Lamentowiczowi, Katarzynie Marcisz, Jayowi Tiptonowi, Ignacemu Lamentowiczowi, Patrykowi Fiutkowi i Stanisławowi Rosadzińskiemu.

## LITERATURA

- Baird A.J., Belyea L.R., Comas X., Reeve A.S., Slater L.D. (red.) 2009. Carbon Cycling in Northern Peatlands. Geophysical Monograph 184. American Geophysical Union. Washington.
- Belyea L.R., Malmer N. 2004. Carbon sequestration in peatland: patterns and mechanisms of response to climate change. *Global Change Biology* 10: 1043-1052.
- Bitner K. 1958. Torfowiska w Polsce, ich ilość, powierzchnia i zasoby. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 15: 77-90.



- Boińska U., Boiński M. 2002. Roślinność torfowiskowa Tucholskiego Parku Krajobrazowego. [w:] Ławrynowicz M., Rózga B. (red.) Tucholski Park Krajobrazowy 1985-2000. Stan poznania. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. Łódź. ss. 187-244.
- Boiński M. 1992. Osobliwości szaty roślinnej Borów Tucholskich (Przewodnik). Towarzystwo Miłośników Borów Tucholskich. Toruń.
- Boiński M. 1993. Szata leśna Borów Tucholskich. Chrońmy Przyrodę Ojczyzną 49 (5): 21-31.
- Broda J. 2000. Historia leśnictwa w Polsce. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. Poznań.
- Doelman J.C., Verhagen W., Stehfest E., van Vuuren D.P. 2023. The role of peatland degradation, protection and restoration for climate change mitigation in the SSP scenarios. Environmental Research: Climate 2: 035002.
- Feulner G. 2017. Formation of most of our coal brought Earth close to global glaciation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114: 11333-11337.
- Fluet-Chouinard E., Stocker B.D., Zhang Z., Malhotra A., Melton J.R., Poulter B., Kaplan J.O., Goldewijk K.K., Siebert S., Minayeva T., Hugelius G., Joosten H., Barthelmes A., Prigent C., Aires F., Hoyt A.M., Davidson N., Finlayson C.M., Lehner B., Jackson R.B., McIntyre P.B. 2023. Extensive global wetland loss over the past three centuries. Nature 614 (7947): 281-286.
- Gaudig G. 2001. *Sphagnum* als nachwachsender Rohstoff. Etablierung von Sphagnen – Optimierung der Wuchsbedingungen. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.
- Gaudig G. 2002. Das Forschungsprojekt: „Torfmoose (*Sphagnum*) als nachwachsender Rohstoff: Etablierung von Torfmoosen – Optimierung der Wuchsbedingungen”. TELMA – Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde 32: 227-242.
- Harenda K.M., Lamentowicz M., Samson M., Chojnicki B.H. 2018. The Role of Peatlands and Their Carbon Storage Function in the Context of Climate Change. [w:] Zielinski T., Sagan I., Surosz W. (red.) Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals. Economic Growth, Social

Inclusion and Environmental Protection. *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*. ss. 169-187.

Ilnicki P. 2002. *Torfowiska i torf*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. Poznań.

IPCC 2023. *Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*.

Jabłońska E., Kotowski W., Giergiczny M. 2021. *Projekt Strategii ochrony mokradeł w Polsce na lata 2022-2032*. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. Warszawa.

Joosten H. 2003. *Wise use of mires: background and principles*. *Wise use von Mooren: Hintergrunde und Prinzipien*.

Joosten H., Clarke D. 2002. *Wise use of mires and peatlands – background and principles including a framework for decision-making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society.

Karpińska-Kończek M., Kończek P., Marcisz K., Gałka M., Kajukało-Drygalska K., Mauquoy D., Lamentowicz M. 2024. *Kettle-hole peatlands as carbon hot spots: Unveiling controls of carbon accumulation rates during the last two millennia*. *CATENA* 237: 107764.

Kotowski W. 2021. *Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z użytkowania gleb organicznych w Polsce oraz potencjału ich redukcji*. Fundacja WWF Polska.

Kotowski W., Dembek W., Pawlikowski P. 2017. *Poland*. [w:] Joosten H., Tanneberger F., Moen A. (red.) *Mires and peatlands of Europe. Status, distribution and conservation*. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart. ss. 549-671.

Lamentowicz M. 2005. *Geneza torfowisk naturalnych i seminaturalnych w Nadleśnictwie Tuchola*. *Prace Zakładu Biogeografii i Paleoekologii UAM* 5. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań.

Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Marcisz K., Słowiński M., Kończek P., Kotowski W. 2021. *Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego*. [w:] Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.) *Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku*. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. ss. 35-57.

- Lamentowicz M., Gałka M., Milecka K., Tobolski K., Lamentowicz Ł., Fiałkiewicz-Kozieł B., Blaauw M. 2013. A 1300-year multi-proxy, high-resolution record from a rich fen in northern Poland: reconstructing hydrology, land use and climate change. *Journal of Quaternary Science* 28: 582-594.
- Lamentowicz M., Słowińska S., Słowiński M., Marcisz K., Buttler A., Chojnicki B.H., Jassey V.E.J., Juszczak R., Kajukało K., Kołaczek P., Lamentowicz Ł., Łuców D., Reczuga M.K., Samson M., Zielińska M., Harenda K., Barabach J., Tobolski K., Gałka M. 2017. Znaczenie badań interdyscyplinarnych dla zrozumienia zaburzeń torfowisk w lasach. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 19 (2): 77-92.
- Lamentowicz M., Tobolski K., Mitchell E.A.D. 2007. Palaeoecological evidence for anthropogenic acidification of a kettle-hole peatland in northern Poland. *The Holocene* 17: 1185-1196.
- Lasy Państwowe 2022. Raport o stanie lasów w Polsce 2021. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa.
- Lawson I.T., Honorio Coronado E.N., Andueza L., Cole L., Dargie G.C., Davies A.L., Laurie N., Okafor-Yarwood I., Roucoux K.H., Simpson M. 2022. The vulnerability of tropical peatlands to oil and gas exploration and extraction. *Progress in Environmental Geography* 1: 84-114.
- Lindsay R. 2010. Peatbogs and carbon: a critical synthesis to inform policy development in oceanic peat bog conservation and restoration in the context of climate change. Technical report. University of East London. London.
- Minasny B., Adetsu D.V., Aitkenhead M., Artz R.R.E., Baggaley N., Barthelmes A., Beucher A., Caron J., Conchedda G., Connolly J., Deragon R., Evans C., Fadnes K., Fiantis D., Gagkas Z., Gilet L., Gimona A., Glatzel S., Greve M.H., Habib W., Hergoualc'h K., Hermansen C., Kidd D.B., Koganti T., Kopansky D., Large D.J., Larmola T., Lilly A., Liu H., Marcus M., Middleton M., Morrison K., Petersen R.J., Quaife T., Rochefort L., Rudiyanto, Toca L., Tubiello F.N., Weber P.L., Weldon S., Widyatmanti W., Williamson J., Zak D. 2023. Mapping and monitoring peatland conditions from global to field scale. *Biogeochemistry*, <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01084-1>.

- Miotk-Szpiganowicz G. 1992. The history of the vegetation of Bory Tucholskie and the role of man in the in the light of palynological investigations. *Acta Paleobotanica* 32: 39-122.
- Mojski J.E. 2005. Ziemia Polski w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.
- Moore P.A., Didemus B.D., Furukawa A.K., Waddington J.M. 2021. Peat depth as a control on *Sphagnum* moisture stress during seasonal drought. *Hydrological Processes* 35: e14117.
- Peatland Atlas 2023. Facts and figures about wet climate guardians. Heinrich-Böll-Stiftung. Berlin.
- Rydin H., Jeglum J.K. 2013. The biology of peatlands. Oxford University Press. Oxford.
- Świętochowski B. 1958. Rolnicze użytkowanie torfowisk. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 15: 41-48.
- Tanneberger F., Moen A., Barthelmes A., Lewis E., Miles L., Sirin A., Tegetmeyer C., Joosten H. 2021. Mires in Europe – Regional Diversity, Condition and Protection. *Diversity* 13 (8): 381.
- Thomas L. 2012. Coal Geology. John Wiley & Sons.
- Tobolski K., Kowalewska G., Kowalewski G., Lamentowicz M. 2003. Krajobraz torfowiskowy na przykładzie rezerwatu „Bagna nad Stążką”. [w:] Udostępnianie zasobów przyrodniczych Borów Tucholskich poprzez aktywną edukację ekologiczną. Park Narodowy „Bory Tucholskie”. Charzykowy. ss. 91-105.
- Tobolski K. 1998. Stan poznania historii lasów, jezior i torfowisk Borów Tucholskich. [w:] Banaszak J., Tobolski K. (red.) Park Narodowy Bory Tucholskie. Stan poznania przyrody na tle kompleksu leśnego Bory Tucholskie. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Pedagogicznej. Bydgoszcz. ss. 19-47.
- Tobolski K. 2000. Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych. *Vademecum Geobotanicum*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Tobolski K. 2003a. Stan badań paleoekologicznych w Borach Tucholskich. *Botanical Guidebooks* 26: 95-103.

- Tobolski K. 2003b. Torfowiska na przykładzie Ziemi Świeckiej. Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły. Świecie.
- Tobolski K. 2006. Torfowiska Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Park Narodowy „Bory Tucholskie”. Charzykowy.
- Tobolski K. 2007. Problematyka torfowisk na obszarach leśnych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 9 (2/3): 541-549.
- Tobolski K., Noryskiewicz B., Fildbrandt-Czaja A., Kloss M., Lamentowicz M., Milecka K., Noryskiewicz A.M., Obremska M., Pająkowski J., Żurek S. 2004. Postglacialna historia lasów, jezior i torfowisk na wybranych przykładach Ziemi Chełmińskiej i Borów Tucholskich. [w:] Krasicka-Korczyńska E., Krasicki M. (red.) *Wycieczki geobotaniczne, region kujawsko-pomorski*. Toruń-Bydgoszcz. ss. 33-54.
- Widera M. 2021. Geologia polskich złóż węgla brunatnego. *Studia i Prace z Geologii* 3. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań.
- Wilson J.K. 2012. *The German Forest: Nature, Identity, and the Contestation of a National Symbol, 1871-1914*. University of Toronto Press.
- Yu Z.C., Loisel J., Brosseau D.P., Beilman D.W., Hunt S.J. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37: L13402.

## ZMIANA KLIMATU I GAZY CIEPLARNIANE W TORFOWISKACH

### WSTĘP

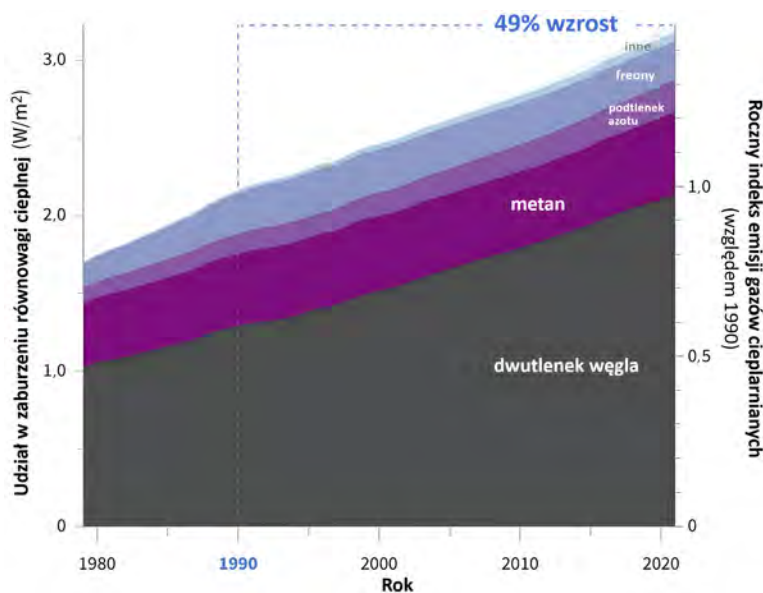
Torfowiska są niezwykle ciekawymi ekosystemami na pograniczu hydro- i litosfery. W dobie zmiany klimatu mogą być naszymi sprzymierzeńcami łagodzącymi jej negatywne skutki, ale mogą być także znaczącymi emiterami węgla w postaci  $\text{CO}_2$  lub  $\text{CH}_4$  do atmosfery (Main Report 2007; Harenda i in. 2018). Dlaczego? Otóż, dopóki torfowiska rozwijają się w optymalnych warunkach i dochodzi do procesów torfotwórczych, gromadzą one ogromne ilości węgla w strukturze torfu. Dzięki temu w ciągu tysięcy lat zgromadziły  $\frac{1}{3}$  ilości węgla glebowego (Mäkilä, Saarnisto 2008), pomimo zajmowania zaledwie 3% lądów na całej Ziemi (Clymo 1984; Keddy 2010). Zatem w warunkach zmiany klimatu, która w Polsce przejawia się wyższą temperaturą powietrza i zmianą rozkładów opadów, oraz działalnością antropogeniczną polegającą głównie na osuszaniu torfowisk czy wykopywaniu zasobów torfu, z tego ogromnego magazynu zaczyna być emitowany węgiel z powrotem do atmosfery (Main Report 2007; Harenda i in. 2018).

Poza wycofywaniem węgla w postaci  $\text{CO}_2$  z atmosfery w procesie fotosyntezy i długotrwałego wiązania tego pierwiastka w torfie (Blodau 2002), torfowiska są również ogromnym rezerwuarem wody. Zawierają one w swojej strukturze 17 000 km<sup>3</sup> wody, czyli tyle, ile pozostałe tereny lądowe na świecie. Są więc zatem sprzymierzeńcami w łagodzeniu susz, ale i powodzi (Main Report 2007; Harenda i in. 2018). Ponadto, regulują mikroklimat terenów przyległych, ponieważ zwiększają wilgotność powietrza, a tym samym zmniejszają intensywność

ewapotranspiracji. Jest to szczególnie korzystne latem, gdzie podczas upałów obniża się lokalnie temperatura powietrza (parowanie jest procesem endoenergetycznym), a dodatkowo przy wyższej wilgotności również tereny otaczające torfowiska nie będą tak intensywnie wysychać. Miejsca podmokłe są również ostoją różnorodności biologicznej. Tylko tam można spotkać niektóre gatunki roślin, zwierząt czy grzybów.

## GAZY SZKLARNIOWE I ICH WPŁYW NA BILANS CIEPLNY ZIEMI

System klimatyczny Ziemi składa się z różnych wzajemnie oddziałujących na siebie elementów powodujących, iż jego parametry, np. temperatura, są relatywnie stałe. To sprawia, iż cały system znajduje się w stanie dynamicznej równowagi, której zaburzenie może doprowadzić do radykalnych zmian w funkcjonowaniu całego układu. Głównym elementem systemu klimatycznego jest oczywiście atmosfera, dzięki której średnia temperatura powierzchni naszej planety wynosi ok. 15°C i wynika ona m.in. z obecności w atmosferze tzw. gazów szklarniowych np. dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), metanu ( $\text{CH}_4$ ) czy podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Wzrost stężenia tych gazów w powietrzu, wywołany działalnością człowieka, wywołuje tzw. dodatnie wymuszenie radiacyjne w systemie klimatycznym, co skutkuje ogólnym wzrostem temperatury całego układu (Rycina 1).



**Rycina 1**

Wzrost emisji gazów cieplarnianych na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci oraz ich udział w zaburzeniu równowagi cieplnej Ziemi (tzw. nierównowaga radiacyjna; za NOAA 2023).

Spektakularnym, widocznym nawet z przestrzeni kosmicznej, efektem ocieplenia jest redukcja wielkości mas lodu znajdujących się zarówno na terenach polarnych, jak i w górach. Jednak wzrost temperatury jest obserwowany na całej planecie, co zmienia warunki funkcjonowania zarówno ekosystemów morskich, jak i lądowych. Przed pojawieniem się człowieka stężenie tych gazów w atmosferze było regulowane poprzez naturalne procesy, a wielką rolę w kształtowaniu się globalnych zasobów CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> w atmosferze odegrały właśnie mokradła. W Europie były one przez lata traktowane jako przeszkody w rozwoju i wynikało to m.in. z przekonania, że zawarta w nich woda stanowi problem w użytkowaniu terenu. Z tego powodu działania melioracyjne polegające głównie na osuszaniu mokradeł, wpisujące się w kulturowo uwarunkowaną ideę czynienia sobie ziemi poddaną, stanowiły przez lata objaw postępu. Dodatkowo, tereny torfowiskowe były traktowane jako źródło opału – torf zawiera stosunkowo dużą (ok. 50% suchej masy) zawartość węgla, dlatego też po osuszeniu spalany był w piecach. Było to działanie szkodliwe przyrodniczo, albowiem torfowiska mają do zaoferowania sporo innych usług ekosystemowych. Są one niezwykle cenne na różnych poziomach organizacji przyrody, stanowiąc ważny element krajobrazu, który oddziałuje stabilizująco zarówno na bilans wody, jak i węgla w środowisku.

## PROCESY WYMIANY GAZÓW MIĘDZY TORFOWISKAMI A ATMOSFERĄ

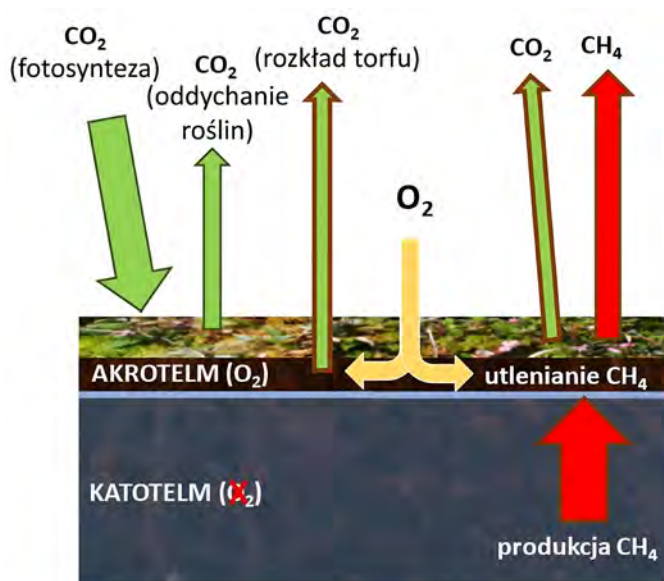
W miejscach, w których trwale gromadzi się woda, występują organizmy, które w drodze ewolucji dostosowały i uzależniły swoje funkcjonowanie od wysokiego uwilgotnienia otoczenia. Rośliny rosnące na torfowiskach charakteryzują się często słabymi zdolnościami do pochłaniania CO<sub>2</sub> (Rycina 2, „fotosynteza”). Wynika to z faktu, iż tereny podmokłe charakteryzuje często niska żyzność (trofia). Innymi słowy, typowe torfowisko pochłania stosunkowo mało CO<sub>2</sub> w porównaniu z bogatszymi ekosystemami, takimi jak lasy czy tereny rolnicze, jednocześnie zdeponowany w nich węgiel może zalegać poza atmosferą przez nawet tysiące lat (Tabela 1).



**Tabela 1**Zdolność ekosystemów lądowych do pochłaniania CO<sub>2</sub> netto.

Ekosystem	Produkcja ekosystemu netto (NEP; kgCO <sub>2</sub> ·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	Czas zalegania poza atmosferą (lata)	Źródło
Lasy sosnowe (42-114 lat)	10 840 ± 8830	100-150 (500)	Ziemblińska i in. (2016)
Tereny uprawne	8800 ± 4147	1-3	Kutsch i in. (2010)
Torfowisko przejściowe	4037 ± 3046	1000-12000	Poczta i in. (2023)

Jednak należy pamiętać, że żywe rośliny, z uwagi na własne procesy fizjologiczne, są także emiterami dwutlenku węgla do atmosfery (Rycina 2, „oddychanie roślin”). Skutkiem rozkładu martwych szczątków roślin w warunkach beztlenowych (katotelm) jest produkcja metanu (Rycina 2, „produkcja CH<sub>4</sub>”), jednak nim CH<sub>4</sub> dotrze do atmosfery, jest częściowo pochłaniany (Rycina 2, „utlenianie CH<sub>4</sub>”) przez organizmy żyjące w natlenionej części profilu torfowego – akrotelmie. Organizmy te, dzięki dostępowi do tlenu, wykorzystują energię z metanu, a produktem tej syntezy jest CO<sub>2</sub>. Dodatkowo w akrotelmie dochodzi do tlenowego rozkładu materii organicznej, co skutkuje dodatkową emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery (Rycina 2, „rozkład torfu”).

**Rycina 2**

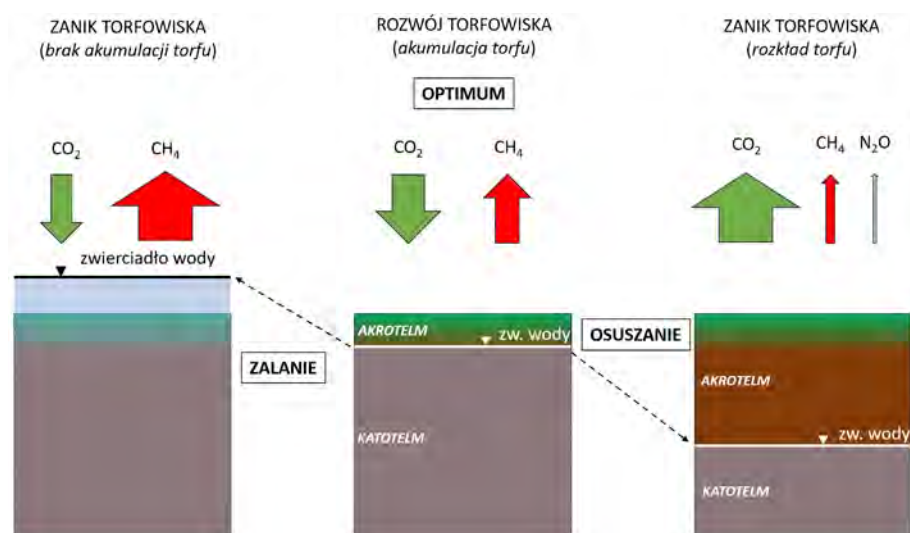
Wymiana dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) oraz emisja metanu (CH<sub>4</sub>) z torfowiska funkcjonującego w optymalnych warunkach termiczno-wilgotnościowych.

Wysoka wilgotność podłoża sprawia, iż tempo rozkładu powstających co roku szczątków roślin stosunkowo szybko spowalnia. Dzięki temu zgromadzona w torfowisku materia organiczna ulega długoterminowej konserwacji. To prowadzi do sytuacji, w której torfowisko funkcjonujące w optymalnych warunkach potrafi skutecznie gromadzić w torfie węgiel organiczny i temu procesowi towarzyszy stosunkowo mała emisja metanu. Warto pamiętać, iż ten proces, trwający przez tysiące lat, sprawił, iż globalnie torfowiska stały się drugim co do wielkości, po oceanach, zbiornikiem węgla organicznego w biosferze (Harenda i in. 2018).

### WPŁYW POZIOMU WODY NA FUNKCJONOWANIE TORFOWISKA

Ekosystemy torfowiskowe podlegają zasadzie optimum, co oznacza, iż ich stabilne funkcjonowanie zależy od zachowania odpowiednich parametrów środowiska, których wartości znajdują się w zakresach optymalnych dla określonego ekosystemu.

Jak wcześniej wspomniano, istnienie torfowiska wynika z odpowiednio stałego nawodnienia podłoża. Jednak należy pamiętać, że w zasadzie poziom wody w profilu torfu ma decydujący wpływ na ogólną kondycję ekosystemu i decyduje o jego wzroście lub zaniku. Opisano trzy stany uwodnienia torfowiska, których długoterminowe oddziaływanie ma fundamentalne znaczenie dla tych ekosystemów (Rycina 3).



**Rycina 3**

Wpływ wysokości zwierciadła wody na wartości emisji lub pochłaniania netto gazów szklarniowych.

## **Warunki optymalne**

W optymalnie nawodnionym torfowisku obserwuje się nie tylko przyrost martwych szczątków, ale także powolną akumulację masy torfowej w profilu. Wynika to z faktu, iż część obumarłych szczątków roślin ulega procesowi konserwacji w nasyconej wodą warstwie profilu glebowego – katotelmie. Torfowisko w takim stanie charakteryzuje się zwykle relatywnie niedużym pochłanianiem netto dwutlenku węgla, ale też stosunkowo niską emisją netto metanu, albowiem produkowany w katotelmie  $\text{CH}_4$  jest w dużej części pochłaniany przez żyjące w akrotelmie metanotrofy.

## **Przesuszenie torfowiska**

Długotrwałe obniżenie poziomu wody w sytuacji, gdy mamy do czynienia z już istniejącym zasobem torfu, prowadzi do mocnego natlenienia osadu. W takich warunkach silny rozkład nagromadzonej biomasy skutkuje potężną, mimo pochłaniania roślin, emisją netto dwutlenku węgla do atmosfery. Jednocześnie, zwiększenie grubości natlenionej strefy torfu sprawia, iż wyprodukowany w katotelmie metan jest znacznie skuteczniej redukowany poprzez żyjące w akrotelmie metanotrofy. To prowadzi do wyraźnej redukcji emisji netto  $\text{CH}_4$  z torfowiska (Fortuniak i in. 2017). W warunkach silnego natlenienia profilu torfowego rozkład nagromadzonej biomasy powoduje uwalnianie podtlenku azotu – trzeciego najważniejszego gazu szklarniowego w atmosferze. Emisja tego gazu z uwodnionego torfowiska w zasadzie nie występuje.

## **Nadmierne uwilgotnienie (zalanie) torfowiska**

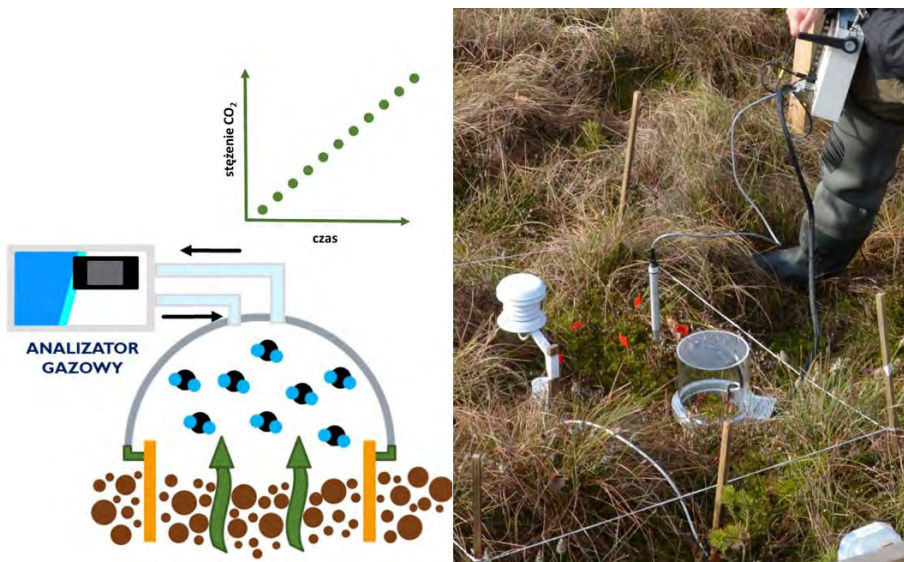
Długotrwałe podniesienie poziomu wody redukuje dostępność tlenu w torfowisku. Skutkuje to zauważalną redukcją zdolności do pochłaniania netto  $\text{CO}_2$ , ponieważ to ogranicza rozwój roślin wcześniej rosnących na powierzchni torfowiska. Jednocześnie, w beztlenowym środowisku dochodzi do intensywnego rozkładu materii organicznej, co prowadzi często do wyraźnego wzrostu emisji metanu (Moore i in. 2011). Zdarza się, że wysiłki zmierzające w kierunku ochrony czy też odbudowy osuszonych torfowisk skupiają się na maksymalnym podwyższeniu poziomu zwierciadła wody gruntowej, prowadzącym czasami do zalania torfowiska. Jednak powyższy opis wskazuje, iż kluczem do właściwego funkcjonowania tych ekosystemów jest długoterminowe utrzymanie optymalnego poziomu wody,

ponieważ zarówno obniżone, jak i nadmiernie podwyższone zwierciadło wody gruntowej (ZWG) może spowodować zakłócenia, a także całkowitą degradację funkcjonowania ekosystemu.

## METODY POMIARÓW GAZÓW SZKLARNIOWYCH

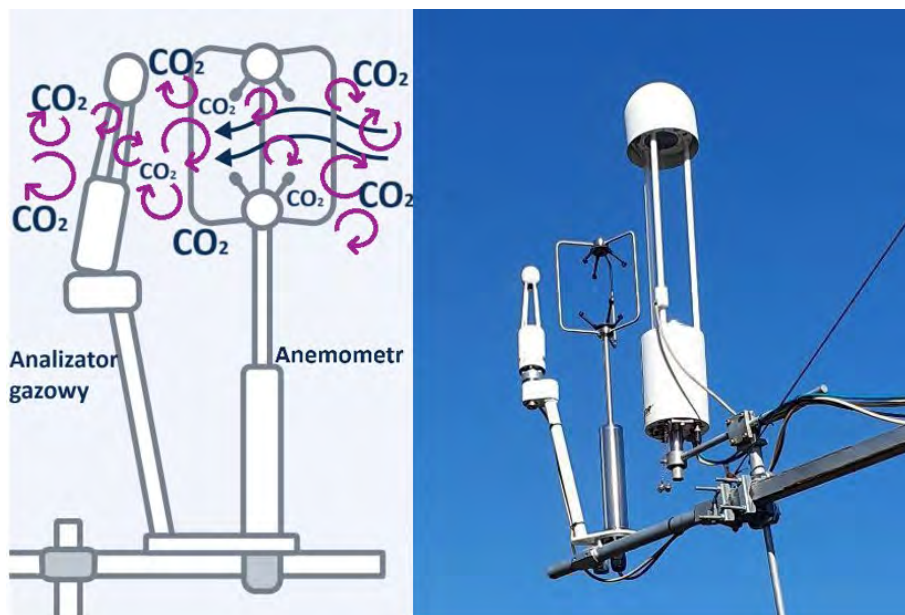
Określenie wpływu torfowisk na stężenie gazów szklarniowych w powietrzu wymaga ilościowego określenia wymiany gazowej między ekosystemem a atmosferą. Naukowcy stosują różne metody pomiarowe strumieni gazów w atmosferze, jednak prym tutaj wiodą dwie techniki: metoda komorowa (ang. *chamber method*) oraz metoda kowariancji wirów (ang. *eddy covariance* – EC).

Metoda komorowa polega na pomiarze wzrostu lub redukcji stężenia gazu (za pomocą odpowiedniego analizatora gazowego) w komorze, która uprzednio została umiejscowiona na powierzchni, która odpowiednio, emituje lub pochłania badany gaz (Rycina 4, z lewej). Znając powierzchnię obszaru, na którym wykonywany jest pomiar, objętość komory oraz czas w jakim realizowano pomiar, możliwe jest oszacowanie tzw. strumienia, czyli ilości pochłoniętego lub wyemitowanego gazu z jednostki powierzchni w jednostce czasu (Chojnicki i in. 2010). Zwykle, z uwagi na niższą cenę aparatury pomiarowej, używane są manualne systemy komorowe (Rycina 4, z prawej).



**Rycina 4**  
Schemat działania metody komorowej (z lewej) oraz pomiary metodą komorową na torfowisku Linje (z prawej).

Pomiary metodą kowariancji wirów polegają na oszacowaniu wymiany gazowej między powierzchnią ekosystemu a atmosferą poprzez szybkie i dokładne pomiary fluktuacji pionowej składowej prędkości wiatru i stężeń badanego gazu (np.  $\text{CO}_2$ ; Rycina 5, z lewej). Metoda ta umożliwia precyzyjne określenie strumienia netto gazu między powierzchnią a atmosferą, tzn. oszacowanie, czy w danym momencie powierzchnia emituje bądź pochłania konkretny gaz (Chojnicki i in. 2007).



**Rycina 5**

Schemat przepływu wirów powietrza zawierającego  $\text{CO}_2$  przez system kowariancji wirów (z lewej; za Burba 2022) oraz system kowariancji wirów  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$  na torfowisku Bagno Kusowo (z prawej).

Wymaganie wysokich częstotliwości ( $\geq 10$  Hz) i dokładności pomiaru jest jednym z głównych czynników ograniczających liczbę gazów, których wymiana może być obecnie oszacowywana za pomocą tej metody. Wybór stosowanej w określonym obiekcie metody pomiarowej zależy od trzech grup czynników: zasobów ludzkich, warunków lokalnych oraz ekonomicznych (Tabela 2).

**Tabela 2**

Zestawienie wymagań metod kowariancji wirów i komorowej obsługiwanej manualnie.

	Metoda kowariancja wirów	Metoda komorowa
<b>Warunki lokalne</b>	<b>Wymagania</b>	
Powierzchnia pomiarowa	wyższe (odpowiednio duża, płaska i homogeniczna powierzchnia badawcza)	niższe (odpowiednio niska roślinność, max. 50 cm)
Infrastruktura	wyższe (wieża, stały dostęp do energii elektrycznej)	niższe
<b>Zasoby ludzkie</b>	<b>Wymagania</b>	
Prace terenowe	niższe	wyższe (wymóg pracy operatora)
Organizacja prac	niższe	wyższe
Kwalifikacje personelu	wysokie	wysokie
<b>Warunki ekonomiczne</b>	<b>Wymagania</b>	
Koszty zakupu pojedynczego systemu pomiarowego	wyższe	niższe
Koszty personalne	niższe	wyższe

Dobór odpowiedniej metody pomiarów wymiany gazów szklarniowych zależy od cech badanych obiektów. Metodę kowariancji wirów możemy zastosować, jeśli mamy do czynienia z odpowiednio dużym, płaskim torfowiskiem, które jest pokryte relatywnie homogeniczną roślinnością. Metoda komorowa może być stosowana na mniejszych obiektach, a jedynym ograniczeniem jej zastosowania jest wysokość roślin, które muszą się zmieścić w komorze (standardowa wysokość komory nie przekracza 50 cm). Zastosowanie ustalonej metodyki pomiarowej w warunkach terenowych wymaga zaangażowania profesjonalnego personelu, jednak metoda komorowa, w odróżnieniu od kowariancji wirów, wymaga więcej prac terenowych. W ten sposób badania komorowe stanowią także spore wyzwanie organizacyjne dla jednostek badawczych. Zakup systemu kowariancyjnego oraz budowa infrastruktury zasilającej aparaturę pomiarową to spory wydatek w porównaniu do metody komorowej. Koszty personalne związane z obsługą aparatury wykorzystywanej w metodzie kowariancji wirów, z uwagi na wysoką automatyzację procesu, są mniejsze w porównaniu badaniami komorowymi.

## PODSUMOWANIE

Istnienie mokradeł ściśle zależy od uwilgotnienia środowiska, a obserwowana w naszym regionie wzrastająca temperatura, powodująca wzrost parowania, może prowadzić do obniżenia poziomu wód gruntowych wpływając negatywnie na funkcjonowanie tych ekosystemów (Lamentowicz i in. 2019). Podwyższona temperatura prowadzi również do wzrostu tempa rozkładu materii organicznej, a to z kolei powoduje zwiększone emisje gazów cieplarnianych z odwodnionego torfu. Uwalnianie tych gazów jest intensyfikowane przez działania człowieka polegające m.in. na osuszaniu mokradeł, a to może dodatkowo prowadzić do częstszych pożarów torfu. Dodatkowo, zmiana klimatu będzie zmieniać również zbiorowiska roślinne występujące w tych ekosystemach, ostatecznie również modyfikować ich produktywność czy mikroklimat terenu, w których mokradła występują. Wzrost temperatury oraz częstsze występowanie niskich stanów wody gruntowej zwiększają ryzyko sukcesji roślin nietypowych dla ekosystemów mokradłowych. Dodatkowa transpiracja spowodowana korzeniami się roślinami może z kolei pogłębiać niedobory wody, a tym samym stwarzać większe zagrożenie dla właściwego funkcjonowania torfowisk.

Torfowiska występujące w lasach mają wysoki potencjał do pochłaniania CO<sub>2</sub>. Dzięki okapowi drzew panują na nich znacznie stabilniejsze warunki termiczno-wilgotnościowe, aniżeli na torfowiskach terenów otwartych. Dodatkowo poprzez większy dopływ materii organicznej w postaci np. opadających liści czy gałęzi tworzą się miększe warstwy osadów biogenicznych (Lamentowicz i in. 2021).

Potencjał do wychwytywania CO<sub>2</sub> z atmosfery przez ekosystemy torfowiskowe warunkowany jest m.in. składem gatunkowym roślin, a także trofią tychże obszarów. Dlatego różne typy torfowisk charakteryzują się innymi zdolnościami do akumulacji dwutlenku węgla. Przykładowo, torfowisko przejściowe w Rzecinie pochłaniało średnio 4037±3046 kgCO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> w latach 2004-2011 (Poczta i in. 2023). Dla kontrastu, na podstawie pomiarów w Kopytkowie na terenie środkowego basenu Biebrzy w latach 2013-2018 oszacowano pochłanianie na poziomie 1800±3500 kgCO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> (Fortuniak i in. 2021), z kolei na terenie torfowiska bałtyckiego wysokiego „Bagno Kusowo” w latach 2020-2021 średni roczny bilans CO<sub>2</sub> wahał się od około -1651 do +1468 kgCO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup> (dane nieopublikowane).

Torfowiska, dzięki znacznemu potencjałowi do retencjonowania wody, mają ogromne znaczenie z punktu widzenia regulacji przepływu wód i ochrony przed powodzią. Rośliny zasiedlające te ekosystemy, takie jak mchy torfowce, mogą

absorbować wodę z otoczenia. Natomiast tworzony torf działa jak gąbka magazynująca wodę. Należy pamiętać, że torf składa się nawet w 95% z wody (Holden 2005). Dlatego też w czasie, w którym pojawia się nadwyżka wody w krajobrazie, mokradła mogą z powodzeniem zatrzymać i magazynować jej nadmiar minimalizując ryzyko gwałtownych wzrostów poziomu wód, aby później stopniowo ją uwalniać, łagodząc coraz częściej występujące niedobory wody (susze). Należy też zauważyć, że lasy, zwłaszcza te zdominowane przez sosnę pospolitą (*Pinus sylvestris*), mogą w perspektywie długoterminowej wpływać na stan troficzny torfowisk (Lamentowicz i in. 2007; Milecka i in. 2016), jako że stanowią naturalny filtr/barierę dla spływających substancji biogenicznych (np. nawozów) z okolicznych terenów uprawnych. Mokradła w lasach, poza zdolnością do pochłaniania i magazynowania węgla czy retencji wody, stanowią także unikatowe ostoje różnorodności biologicznej, a na ich obszarach znajdują schronienie gatunki nie tylko rzadkie, ale też i zagrożone wyginięciem (Minayeva, Sirin 2012).

Realizacja zrównoważonej gospodarki leśnej powinna odbywać się z uwzględnieniem wyżej opisanych strategicznych funkcji torfowisk w zakresie ochrony różnorodności biologicznej, ale także magazynowania węgla i retencji wodnej w krajobrazie. Dodatkowym wsparciem tych działań może być rozwój paludikultury, dzięki której możliwe jest produkcyjne wykorzystanie terenów podmokłych (Jurasinski i in. 2016), a efektami zastosowania tego typu gospodarki są:

- zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych,
- ograniczenie wydobycia torfu,
- odtwarzanie i efektywna ochrona mokradeł,
- produkcja żywności,
- nowe miejsca pracy,
- zwiększenie świadomości ekologicznej oraz edukacja lokalnych społeczności.

Torfowisko, jak każdy ekosystem, posiada określoną odporność na ekstremalne wartości parametrów środowiska warunkujących ich funkcjonowanie, jednak będzie ono rozwijać się prawidłowo w warunkach, gdy jego parametry wilgotnościowe i termiczne będą relatywnie stabilne w czasie. Z tego powodu działania w kierunku restytucji i ochrony tych środowisk powinny mieć na celu optymalne i stabilne w czasie sterowanie zasobami wodnymi krajobrazu. Dzięki temu możliwe będzie nie tylko ograniczenie emisji gazów szklarniowych z wcześniej osuszonych mokradeł, ale także wykorzystanie torfowisk jako skutecznych pochłaniaczy CO<sub>2</sub> z atmosfery oraz stabilnych magazynów



węgla w krajobrazie. Podczas tych działań niezbędny jest też monitoring działań ochronnych i restytucyjnych w celu ilościowej oceny skutków tych działań. Do tego celu powinny służyć wyżej opisane metody pomiarowe, które w powiązaniu z monitoringiem parametrów biologicznych środowiska będą stanowić skuteczne narzędzie służące do ilościowej oceny skutków działań zmierzających w kierunku przywrócenia funkcjonalności mokradła. W warunkach handlu oraz przeniesienia emisji mogą się one okazać niezbędne do wiarygodnej wyceny usług, jakie oferują nam mokradła.

## LITERATURA

- Blodau C. 2002. Carbon cycling in peatlands – A review of processes and controls. *Environmental Reviews* 10 (2): 111-134.
- Burba G. 2022. *Eddy Covariance Method for Scientific, Regulatory, and Commercial Applications*. LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA.
- Chojnicki B.H., Michalak M., Acosta M., Juszcak R., Augustin J., Drösler M., Olejnik J. 2010. Measurements of carbon dioxide fluxes by chamber method at the Rzecin Wetland Ecosystem, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 19 (2): 283-291.
- Chojnicki B.H., Urbaniak M., Józefczyk D., Augustin J., Olejnik J. 2007. Measurements of Gas and Heat Fluxes at Rzecin Wetland. [w:] Okruszko T., Maltby E., Szatylowicz J., Świątek D., Kotowski W. (red.) *Monitoring, Modeling and Management*. Taylor & Francis Group. London. ss. 125-131.
- Clymo R.S. 1984. The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 303 (1117): 605-654.
- Fortuniak K., Pawlak W., Bednorz L., Grygoruk M. 2017. Methane and Carbon Dioxide Fluxes of a Temperate Mire in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 306-318.
- Fortuniak K., Pawlak W., Siedlecki M., Chambers S., Bednorz L. 2021. Temperate mire fluctuations from carbon sink to carbon source following changes in water table. *Science of The Total Environment* 756: 144071.

- Harenda K.M., Lamentowicz M., Samson M., Chojnicki B.H. 2018. The Role of Peatlands and Their Carbon Storage Function in the Context of Climate Change. [w:] Zielinski T., Sagan I., Surosz W. (red.) Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals. GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences. Springer. ss. 169-187.
- Holden J. 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. Philosophical Transactions of the Royal Society. Series A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences 363: 2891-2913.
- Jurasinski G., Günther A., Huth V., Couwenberg J., Glatzel S. 2016. Ecosystem Services provided by Paludiculture – Greenhouse Gas Emissions. [w:] Wichtmann W., Schröder C., Joosten H. (red.) Paludiculture – Productive Use of Wet Peatlands. Schweizerbart Scientific Publishers. ss. 79-93.
- Keddy P.A. 2010. Wetland Ecology: Principles and Conservation. Cambridge University Press. Cambridge.
- Kutsch W.L., Aubinet M., Buchmann N., Smith P., Osborne B., Eugster W., Wattenbach M., Schrumpf M., Schulze E.D., Tomelleri E., Ceschia E., Bernhofer C., Béziat P., Carrara A., Di Tommasi P., Grünwald T., Jones M., Magliulo V., Marloie O., Moureaux C., Olioso A., Sanz M.J., Saunders M., Søgaard H., Ziegler W. 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems & Environment 139 (3): 336-345.
- Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Marcisz K., Słowiński M., Kołaczek P., Kotowski W. 2021. Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego. [w:] Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.) Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. ss. 35-57.
- Lamentowicz M., Gałka M., Marcisz K., Słowiński M., Kajukało-Drygalska K., Druguet Dayras M., Jassey V.E.J. 2019. Unveiling tipping points in long-term ecological records from *Sphagnum*-dominated peatlands. Biology Letters 15: 20190043.
- Lamentowicz M., Tobolski K., Mitchell E.A.D. 2007. Palaeoecological evidence for anthropogenic acidification of a kettle-hole peatland in northern Poland. The Holocene 17 (8): 1185-1196.

- Main Report 2007. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate change. Main Report. [w:] Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (red.) Global Environment Centre, Kuala Lumpur & Wetlands International, Wageningen.
- Mäkilä M., Saarnisto M. 2008. Carbon Accumulation in Boreal Peatlands during the Holocene – Impacts of Climate Variations. [w:] Strack M. (red.) Peatlands and Climate Change. International Peat Society. Jyväskylä. ss. 24-43.
- Milecka K., Kowalewski G., Fiałkiewicz-Kozieł B., Gałka M., Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Goslar T., Barabach J. 2017. Hydrological changes in the Rzecin peatland (Central Europe) induced by anthropogenic factors: implications for carbon sequestration. *The Holocene* 27: 651-664.
- Minayeva T.Y., Sirin A.A. 2012. Peatland biodiversity and climate change. *Biology Bulletin Reviews* 2: 164-175.
- Moore T.R., De Young A., Bubier J.L., Humphreys E.R., Laffleur P.M., Roulet N.T. 2011. A Multi-Year Record of Methane Flux at the Mer Bleue Bog, Southern Canada. *Ecosystems* 14: 646-657.
- NOAA 2023. NOAA Climate: Science & information for a climate-smart nation. <https://www.climate.gov/>
- Poczta P., Urbaniak M, Sachs T., Harenda K.M., Klarzyńska A., Juszcak R., Schüttemeyer D., Czernecki B., Kryszak A., Chojnicki B.H. 2023. A multi-year study of ecosystem production and its relation to biophysical factors over a temperate peatland. *Agricultural and Forest Meteorology* 338: 109529.
- Ziemblińska K., Urbaniak M., Chojnicki B.H., Black T.A., Niu S., Olejnik J. 2016. Net ecosystem productivity and its environmental controls in a mature Scots pine stand in north-western Poland. *Agricultural and Forest Meteorology* 228-229: 60-72.

DOMINIK KOPEĆ  
UNIwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,  
Katedra Biogeografii, Paleoeologii i Ochrony Przyrody

MARTYNA WIETECHA  
UNIwersytet Łódzki, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych

JAN NIEDZIELKO, DOMINIK ŻMUDA, JAN JEDLIŃSKI,  
JUSTYNA WYLAZŁOWSKA, MARTYNA ŻMUDA  
MGGP AERO SP. Z O. O.

## PLANOWANIE RESTYTUCJI Z WYKORZYSTANIEM TELEDETEKCJI

### WSTĘP

Teledetekcja uznawana jest obecnie za jedną z najbardziej użytecznych metod badania stanu mokradł i znajduje swoje zastosowanie w tym obszarze już od ponad 50 lat (Guo i in. 2017; FAO 2020). Jest to dziedzina nauki zajmująca się zdalnymi metodami badawczymi, które można wykorzystać do monitorowania zjawisk zachodzących w przestrzeni. W kontekście badań obszarów podmokłych, metody teledetekcyjne stanowią efektywne narzędzie do bezinwazyjnego pozyskania informacji o rozmieszczeniu, zróżnicowaniu i stanie torfowisk, nawet w przypadku obiektów rozległych i trudno dostępnych lokalizacji. W celu pozyskania danych wykorzystuje się specjalistyczne urządzenia (sensory), które montowane są najczęściej na pokładzie satelit, samolotów lub bezzałogowych statków powietrznych (ang. *unmanned aerial vehicle*, UAV).

Wykorzystywane w teledetekcji sensory zalicza się do dwóch grup: pasywnych lub aktywnych. Systemy pasywne wykorzystują elektromagnetyczne promieniowanie słoneczne lub promieniowanie emitowane przez objekty. Zalicza się do nich kamery wielospektralne, skanery hiperspektralne i kamery termalne. Kamery wielospektralne rejestrują odbicie promieniowania słonecznego

w kilku lub kilkunastu zakresach spektralnych (kanałach), co oznacza, że wykonują od kilku do kilkunastu zdjęć tego samego obszaru. Na obrazach o określonej rozdzielczości przestrzennej, czyli terenowej wielkości piksela (ang. *Ground Sampling Distance*, GSD), rejestrowane jest odbicie światła widzialnego, a nierzadko także promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni. Rozdzielczość przestrzenna zdjęć wielospektralnych wynosi najczęściej od kilku centymetrów do kilkadziesiątu metrów, w zależności od pułapu pozyskiwania danych. Na podstawie zdjęć wykonanych z zastosowaniem kamery wielospektralnej możliwe jest opracowanie ortofotomapy, czyli cyfrowego, fotograficznego obrazu powierzchni terenu, który posiada cechy kartometryczne właściwe mapie. Ortofotomapa może być opracowana w kompozycji barw rzeczywistych (ang. *red, green, blue*, RGB) lub nierzeczywistych z zastosowaniem bliskiej podczerwieni (ang. *color infrared*, CIR). Innym przykładem sensorów pasywnych są kamery hiperspektralne. Za ich pomocą otrzymujemy kilkadziesiąt lub nawet kilkaset obrazów tego samego obszaru. Na każdym z nich rejestrowane jest odbicie wąskiego zakresu promieniowania słonecznego najczęściej w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni, a także średniej podczerwieni. Obrazy hiperspektralne cechują się zazwyczaj niższą rozdzielczością przestrzenną w porównaniu do obrazów wielospektralnych. Rozdzielczość przestrzenna tych danych wynosi przeważnie od metra do kilkadziesiątu metrów, w zależności od pułapu pozyskiwania danych. W kontekście nauk związanych z ochroną środowiska i leśnictwem dane te mogą być wykorzystane m.in. do opracowania mapy gatunków drzew (Fassnacht i in. 2016), mapowania roślinności nieleśnej (Jarocińska i in. 2023a), identyfikacji gatunków inwazyjnych (Kopeć i in. 2019; Kopeć i in. 2020), a także monitorowania obszarów podmokłych i analizy przesuszenia roślinności mokradłowej (Harris i in. 2006; Lees i in. 2020). Warto dodać, iż w kontekście badań roślinności, zarówno na podstawie danych wielospektralnych, jak i hiperspektralnych, obliczane są często tzw. teledetekcyjne wskaźniki roślinności. Są to matematyczne formuły, które umożliwiają jednoczesną analizę więcej niż jednego zakresu spektralnego. Ostatnim z omawianych rodzajów systemów pasywnych są kamery termalne, które na zdjęciach rejestrują emitowane przez obiekty promieniowanie w zakresie podczerwieni termalnej. Intensywność promieniowania termalnego jest ściśle związana z temperaturą obiektu. Im wyższa temperatura, tym intensywniejsze promieniowanie termalne. W przypadku oceny stanu torfowisk, dane te pełnią istotne źródło informacji o właściwościach termicznych roślinności, pozwalając tym samym na identyfikację stresu termicznego, który może wynikać z przesuszenia lub innych czynników wpływających na stan roślin (Neinavaz i in. 2021).

W odróżnieniu od metod pasywnych, aktywne systemy teledetekcyjne wykorzystują własne źródło promieniowania. Przykładem takiej technologii są systemy LiDAR (ang. *Light Detection and Ranging*), które wysyłają wiązkę lasera w kierunku obiektu i mierzą czas, jaki upływa od wysłania wiązki do jej powrotu do czujnika. Pomiar ten umożliwia powstanie tzw. chmury punktów o znanych współrzędnych  $x$ ,  $y$  i  $z$ . Dane te pozwalają na opracowanie Numerycznego Modelu Terenu (NMT), Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) i wysokościowego modelu roślinności (ang. *Canopy Height Model*, CHM). Najczęściej stosowanym rodzajem danych LiDAR są dane ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*), czyli dane z lotniczego skanowania laserowego. Dane ALS w zależności od tego, czy zostały pozyskane poza okresem wegetacyjnym (ang. *leaf-off*), czy w okresie wegetacyjnym (ang. *leaf-on*), mogą mieć różne zastosowanie. Dane *leaf-off* służą najczęściej do analizy ukształtowania terenu bądź badania obiektów, które w sezonie wegetacyjnym są przysłonięte przez korony drzew liściastych. Przykładem takiego zastosowania może być precyzyjna identyfikacja zasięgu mokradła i sieci hydrograficznej (Millard, Richardson 2013; Rapinel i in. 2023). Dane *leaf-on* mają natomiast szerokie zastosowanie w analizach struktury roślinności, np. w określeniu dokładnych parametrów drzew (Stereńczak 2010; Parkitna i in. 2021) oraz identyfikacji siedlisk przyrodniczych i gatunków roślin (Jarocińska i in. 2023b).

Do analizy danych teledetekcyjnych stosuje się różne metody, w tym: fotointerpretację, analizy geoprzestrzenne, metody oparte na uczeniu maszynowym (ang. *machine learning*) lub różnego rodzaju modelowanie (np. hydrologiczne). Pierwsza z metod, czyli fotointerpretacja, stanowi tradycyjną technikę, która umożliwia ekspertom precyzyjną identyfikację obiektów i zjawisk na obrazach, na podstawie takich cech jak np. kształt, wielkość i barwa. Analizy geoprzestrzenne umożliwiają wykonanie bardziej zaawansowanych i złożonych analiz obszaru badawczego z wykorzystaniem systemu informacji geograficznej (ang. *Geographical Information System*, GIS). Metody oparte na uczeniu maszynowym mogą natomiast posłużyć do identyfikacji i mapowania obszarów o różnych właściwościach. Przykładem może być proces nadzorowanej klasyfikacji obrazu (czyli przypisanie pikselom określonych kategorii na podstawie ich właściwości) lub modelowanie statystyczne, które pozwala na głębsze zrozumienie zależności i relacji między badanymi zmiennymi. Cechą wspólną dla różnych metod uczenia maszynowego jest wykorzystanie danych referencyjnych. Służą one do uczenia algorytmów oraz walidacji otrzymanych wyników. Ostatnią z omawianych metod

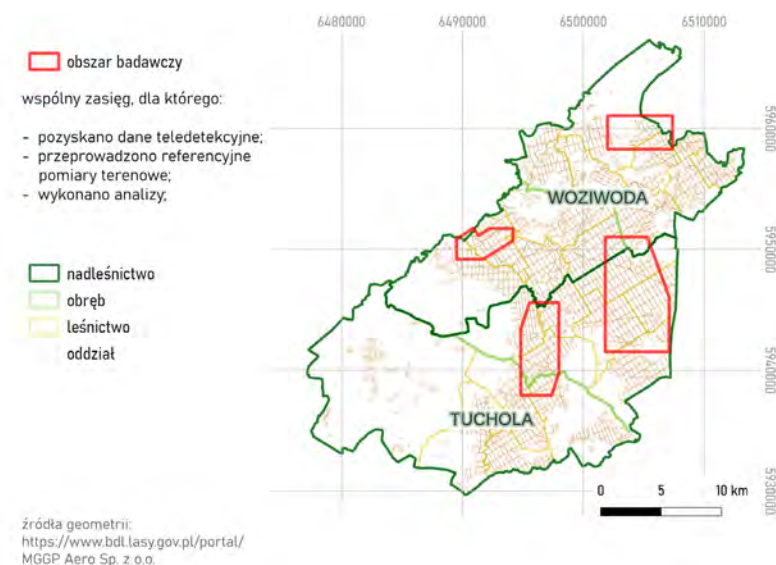
jest modelowanie hydrologiczne z wykorzystaniem narzędzi GIS i numerycznego modelu terenu, jako danych wejściowych.

Biorąc pod uwagę rozwój sensorów i narzędzi analitycznych, teledetekcja staje się dzisiaj narzędziem realnie wspierającym ochronę przyrody. Celem badań prowadzonych na terenach Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola były:

- identyfikacja, poznanie zróżnicowania oraz analiza stanu zachowania torfowisk na czterech wybranych obszarach badawczych,
- ocena użyteczności lotniczych danych teledetekcyjnych do planowania restytucji torfowisk.

## DANE I OBSZAR BADAWCZY

Obszar badawczy obejmował fragmenty Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola. Wyznaczone zostały cztery lokalizacje, dla których pozyskano teledetekcyjne dane lotnicze, przeprowadzono referencyjne pomiary terenowe oraz wykonano analizy (Rycina 1). Wybrane lokalizacje uwzględniały największe zagęszczenie torfowisk w obrębie wymienionych Nadleśnictw oraz ich pełną zmienność pod kątem typu i stanu zachowania. Łączna powierzchnia całego obszaru badawczego to 92,58 km<sup>2</sup>.



**Rycina 1**

Zasięg obszaru badawczego na terenie Nadleśnictwa Woziwoda i Nadleśnictwa Tuchola, z podziałem na cztery lokalizacje.

W celu pozyskania danych teledetekcyjnych dla obszaru badawczego wykorzystano wielosensorową platformę lotniczą. Pozwoliła ona na równoczesne pozyskiwanie kilku rodzajów danych teledetekcyjnych w czasie jednego lotu. Wykonano sześć kolekcji danych podczas trzech nalotów zrealizowanych w 2022 roku (Tabela 1). Pierwszy nalot miał miejsce jeszcze przed rozpoczęciem sezonu wegetacyjnego (tzw. kolekcje *leaf-off*), kolejne dwa odbyły się w okresie wegetacyjnym (tzw. kolekcje *leaf-on*). Warto odnotować, iż dzień, w którym odbył się drugi nalot, był jednym z najcieplejszych dni 2022 roku (maksymalna temperatura powietrza w trakcie pozyskiwania danych wynosiła na badanym obszarze ok. 34°C). Trzeci nalot odbył się w nocy i miał na celu pozyskanie tylko danych termalnych. Dodatkowe źródło informacji w analizach stanowiły także bazy danych, takie jak Mapa Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP), Bank Danych o Lasach (BDL) i Open Street Map (OSM).

**Tabela 1**

Charakterystyka pozyskania danych teledetekcyjnych i opracowane na ich podstawie produkty informacyjne.

Numer nalotu	Data nalotu	Kolekcja	Rodzaj danych	Produkty informacyjne
1	25.03.2022 ( <i>leaf-off</i> )	1	Dane wielospektralne (kamera IXM-100)	Ortofotomapa RGB (GSD = 10 cm)
		2	Skanowanie laserowe (skaner Riegl VQ780-II)	Chmura punktów NMT (GSD = 50 cm) NMPT (GSD = 50 cm) CHM (GSD = 50 cm)
2	20.07.2022 ( <i>leaf-on</i> )	3	Skanowanie laserowe (skaner Riegl VQ780-II)	Chmura punktów NMT (GSD = 1 m) NMPT (GSD = 1 m) CHM (GSD = 1 m)
		4	Dane hiperspektralne (skaner HySpex VS-725)	Mozaika hiperspektralna, 430 kanałów spektralnych w zakresie 400-2500 nm (GSD = 1 m)
		5	Dane termalne (kamera InfraTEC 9400)	Mozaika termalna dzienna (GSD = 1 m)
3	20/21.07.2022	6	Dane termalne (kamera InfraTEC 9400)	Mozaika termalna nocna (GSD = 1 m)



Niezbędnym elementem umożliwiającym przeprowadzenie zaplanowanych analiz było wykonanie terenowych pomiarów referencyjnych. Pomiaru te polegały na odnalezieniu w terenie, zarejestrowaniu lokalizacji oraz odnotowanie określonych cech osobników wybranych gatunków drzew i krzewów oraz płatów zbiorowisk reprezentujących typy roślinności obecne na badanych torfowiskach. Liczba i rozmieszczenie pomiarów referencyjnych odpowiadały rzeczywistemu rozmieszczeniu analizowanych gatunków drzew i krzewów oraz zbiorowisk roślinnych z uwzględnieniem ich wewnętrznej zmienności.

Główną kampanię pomiarową na potrzeby opracowania mapy rozmieszczenia gatunków drzew i krzewów oraz mapy rozmieszczenia hydrogenicznych zbiorowisk roślinnych realizowano w terminie czerwiec-sierpień 2022 roku. Do opracowania mapy drzew i krzewów z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego użyto łącznie 1488 poligonów referencyjnych. Zbiór referencyjny wykorzystany do klasyfikacji zbiorowisk roślinnych liczył natomiast 983 obiekty.

Referencyjne pomiary terenowe potrzebne do przeprowadzenia analizy przesuszenia torfowisk wykonano 20 i 21 lipca 2022 roku, w trakcie trwania nalotu nr 2 (Tabela 1). Zebrano informację dla 100 poligonów referencyjnych. Każdemu z nich przypisano podstawowe informacje dotyczące lokalizacji oraz składu gatunkowego, a także czterech cech określających stopień przesuszenia torfowiska (Tabela 2), tj. przesuszenie mszaków, przesuszenie roślin naczyniowych, uwodnienie i wilgotność gruntu.

**Tabela 2**

Sposób określania stopnia przesuszenia torfowisk podczas prowadzenia terenowych pomiarów referencyjnych.

Stopień przesuszenia	Przesuszenie roślin naczyniowych i mszaków	Uwodnienie	Wilgotność gruntu
1	brak (wysoki wigor roślin, mszaki dobrze nasączone wodą, brak przebarwień)	woda na powierzchni	wysoka wilgotność (75-100%)
2	niewielkie (umiarkowany wigor, mszaki słabo nasączone wodą, brak przebarwień)	woda widoczna po nadeptnięciu	umiarkowana wilgotność (60-75%)
3	duże (obniżony wigor roślin, przebarwienia zajmują <50% rośliny)	wilgotne (po nadeptnięciu woda się nie pojawia, ale torf jest wilgotny)	mała wilgotność (40-60%)

Stopień przesuszenia	Przesuszenie roślin naczyniowych i mszaków	Uwodnienie	Wilgotność gruntu
4	całkowite (część liści zasycha, przebarwienia zajmują >50% rośliny)	przesuszone (torf jest przesuszony, obecne procesy murszenia)	przesuszenie (<40%)

## WYNIKI

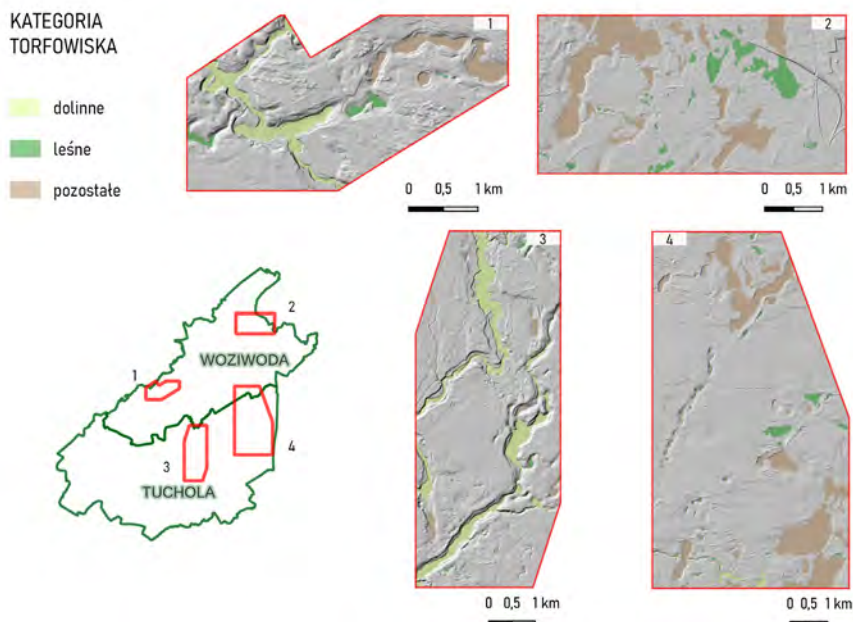
Pozyskanie komplementarnego i bogatego zestawu danych teledetekcyjnych i referencyjnych pozwoliło na przeprowadzenie kompleksowej inwentaryzacji stanu torfowisk na wyznaczonym obszarze badawczym. Zgromadzone dane wykorzystano do przeprowadzenia następujących analiz: identyfikacja zasięgu torfowisk i ich zlewni bezpośrednich, identyfikacja sieci hydrograficznej, opracowanie mapy wybranych gatunków drzew i krzewów, opracowanie mapy wybranych hydrogenicznych zbiorowisk roślinnych oraz analiza stopnia przesuszenia torfowisk. Podsumowaniem przeprowadzonych prac było przygotowanie rankingu torfowisk przedstawiającego stan zachowania poszczególnych obiektów pod kątem udziału cennych zbiorowisk roślinnych oraz stopień zagrożenia przesuszeniem.

W celu opisu i interpretacji otrzymanych wyników zidentyfikowane torfowiska podzielono na trzy grupy: dolinne, tj. torfowiska, które rozwinęły się w dolinach rzek i innych cieków (14 obiektów), leśne, tj. torfowiska położone poza dolinami rzecznyymi, w których udział powierzchni pod koronami drzew wynosi  $\geq 75\%$  (143 obiekty) i pozostałe, czyli torfowiska położone poza dolinami rzecznyymi i których udział powierzchni pod koronami drzew jest  $< 75\%$  (91 obiektów), zasilanych głównie wodami opadowymi (Rycina 2).

### Identyfikacja zasięgu torfowisk i ich zlewni bezpośrednich

Zasięg torfowisk został wyznaczony metodą fotointerpretacji dwóch podstawowych materiałów teledetekcyjnych, tj. ortofotomapy RGB oraz cieniowanego Numerycznego Modelu Terenu, dzięki którym dysponowano zarówno informacją o pokryciu terenu, jak i jego rzeźbie (Rycina 3). Uzupełniająco skorzystano z bazy MPHP, OSM oraz danych terenowych, które posłużyły weryfikacji obiektów trudnych do jednoznacznego określenia w ramach pracy kameralnej. Ponad połowę zidentyfikowanych obiektów stanowią torfowiska leśne (143),

których powierzchnia najczęściej nie przekracza 0,5 ha (Tabela 3). Udział powierzchni torfowisk leśnych w odniesieniu do całkowitej powierzchni wszystkich torfowisk wynosi około 11%. Torfowiska dolinne posiadają charakterystykę

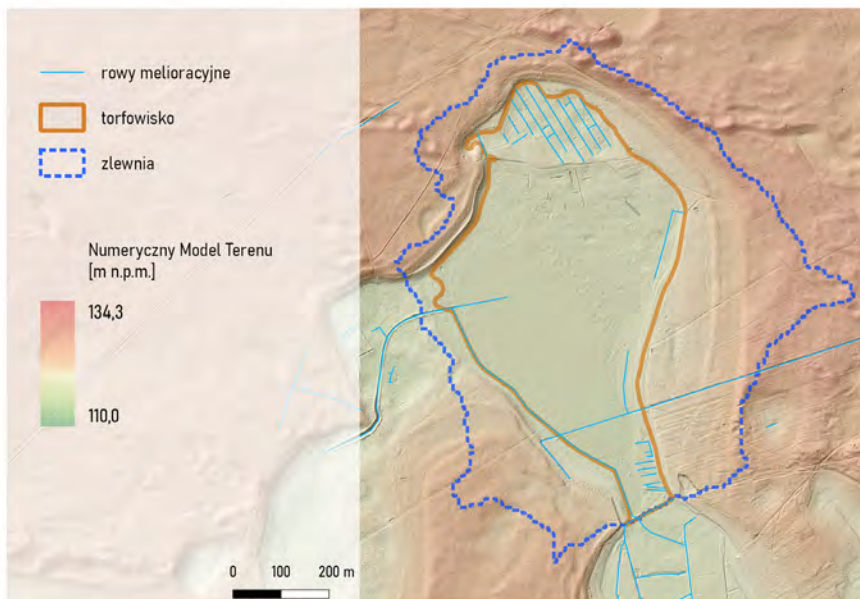


### Rycina 2

Cztery lokalizacje obszaru badawczego z wyznaczonymi na ich terenie torfowiskami, w podziale na trzy kategorie – dolinne, leśne i pozostałe (podkład NMT).

odmienną od leśnych – liczbowo jest ich niewiele (zaledwie około 5%), jednak ich powierzchnia jest większa (dominują obiekty o powierzchni większej niż 0,5 ha, udział powierzchni w stosunku do wszystkich torfowisk – 24%). Także ich kształt jest inny od pozostałych obiektów – ma charakter liniowy, rozciągający się na znacznym terenie. Pozostałe torfowiska stanowią około jednej trzeciej liczby wszystkich torfowisk. Ich powierzchnia stanowi 64% powierzchni wszystkich zidentyfikowanych torfowisk. Większość z nich porośnięta jest roślinnością łąkową (torfowiska przesuszone) lub są to torfowiska na obrzeżach akwenów.

Dysponując wyznaczonym zasięgiem torfowisk możliwe było wygenerowanie zlewni bezpośrednich (Rycina 3). Proces ten przeprowadzono z wykorzystaniem metod modelowania hydrologicznego opartego o analizy zlewniowe. Materiałem wejściowym do wykonania analiz był przygotowany w odpowiedni sposób Numeryczny Model Terenu.


**Rycina 3**

Torfowisko Okoniny – przykład identyfikacji zasięgu torfowiska, jego zlewni bezpośredniej i sieci hydrograficznej (podkład NMT).

**Tabela 3**

Charakterystyka torfowisk i ich zlewni bezpośrednich.

Kategoria torfowiska	Liczba obiektów			Powierzchnia torfowisk [ha]	Powierzchnia zlewni torfowisk [ha]
Leśne	do 0,5 ha	99	143	127,28	565,76
	0,5-10 ha	42			
	powyżej 10 ha	2			
Dolinne	do 0,5 ha	0	14	274,26	736,06
	0,5-10 ha	7			
	powyżej 10 ha	7			
Pozostałe	do 0,5 ha	35	91	729,17	1099,16
	0,5-10 ha	40			
	powyżej 10 ha	16			
			248	1130,71	2400,98

## Sieć hydrograficzna

Zasięg sieci hydrograficznej, podobnie jak torfowisk, został wyznaczony metodą fotointerpretacji dwóch podstawowych materiałów teledetekcyjnych, tj. cieniowanego Numerycznego Modelu Terenu oraz ortofotomapy RGB, dzięki którym dysponowano zarówno informacją o rzeźbie terenu, jak i pokryciu terenu. Uzupełniająco skorzystano z bazy MPHP, OSM oraz danych terenowych, które posłużyły do weryfikacji obiektów trudnych do jednoznacznego określenia w ramach pracy kameralnej. W ramach analiz zidentyfikowano: ciekły naturalne, jeziora, rowy melioracyjne oraz zbiorniki antropogeniczne w postaci liniowej lub powierzchniowej, w zależności od charakteru i kształtu analizowanego obiektu. W poniższej analizie wyników skupiono uwagę na rowach melioracyjnych, których obecność jest szczególnie istotna w procesie planowania restytucji (Tabela 4).

**Tabela 4**

Charakterystyka torfowisk z uwzględnieniem obecności rowów melioracyjnych.

Kategoria torfowiska	Obecność rowów melioracyjnych		Suma
	TAK	NIE	
Leśne	41	102	143
Dolinne	7	7	14
Pozostałe	45	46	91

Na torfowiskach leśnych dominują rowy melioracyjne o długości do 50 m – ich sumaryczna długość wynosi blisko 15 km (Tabela 5).

**Tabela 5**

Charakterystyka rowów melioracyjnych występujących na terenie torfowisk i ich zlewni bezpośrednich (T – torfowisko; Z – zlewnia).

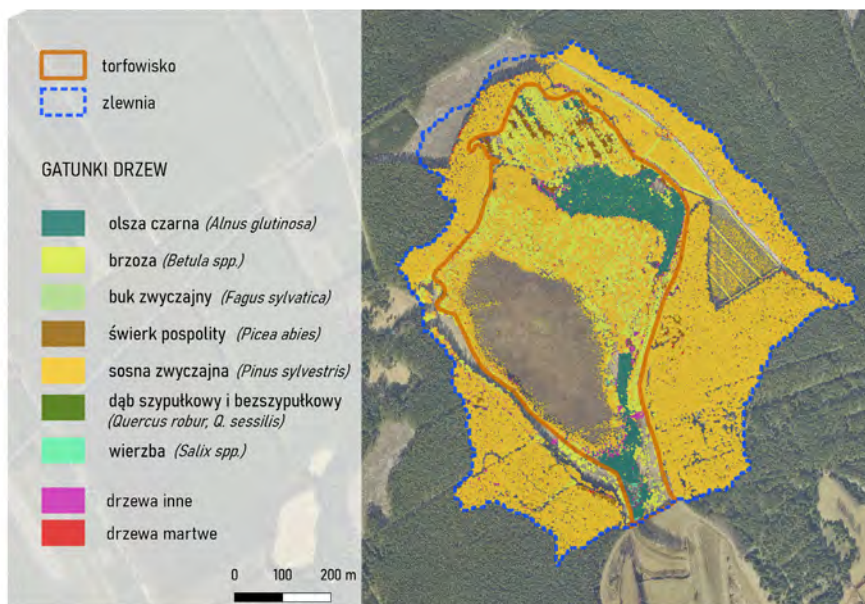
Kategoria torfowiska		Liczba obiektów		Długość [km]	
		T	Z	T	Z
Leśne	do 50 m	191	86	14,67	7,86
	50 - 150 m	67	37		
	> 150 m	19	13		
	suma	277	136		

Kategoria torfowiska		Liczba obiektów		Długość [km]	
		T	Z	T	Z
Dolinne	do 50 m	34	39	7,81	4,67
	50 - 150 m	27	26		
	> 150 m	18	7		
	suma	79	72		
Pozostałe	do 50 m	149	99	49,44	15,22
	50 - 150 m	139	77		
	> 150 m	106	22		
	suma	394	198		
				71,92	27,74

### Mapa rozmieszczenia wybranych gatunków drzew i krzewów

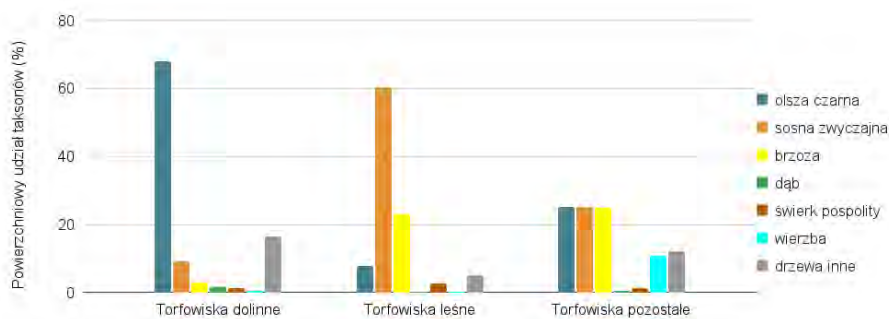
Mapę rozmieszczenia wybranych gatunków drzew i krzewów wykonano metodami uczenia maszynowego. Wykorzystano przetworzone dane hiperspektralne oraz produkty wytworzone z chmury punktów skanowania laserowego. Połączenie tych dwóch źródeł danych pozwoliło na pozyskanie informacji zarówno o cechach biochemicznych drzew i krzewów, wpływających na zróżnicowane odbicie spektralne, charakterystyczna dla poszczególnych gatunków, jak i o cechach struktury przestrzennej, takich jak wysokość czy gęstość korony. Do wytrenowania modelu użyto terenowych danych referencyjnych, wskazujących lokalizację osobników poszczególnych gatunków. W klasyfikacji wyróżniono podstawowe gatunki lasotwórcze, dla których zebrano najliczniejszą próbę referencyjną, natomiast pozostałe gatunki sklasyfikowano do wspólnej klasy „drzewa inne”. Jako osobną klasę wyodrębniono również „drzewa martwe”. Ostateczna legenda mapy gatunków drzew i krzewów objęła dziewięć klas (Rycina 4). Mapa wynikowa pozwoliła przeanalizować skład gatunkowy drzew i krzewów rosnących na obszarze torfowisk oraz w ich zlewniach. Uzyskane wyniki wskazują, że rośliny drzewiaste zajmują łącznie 31,54% powierzchni wszystkich analizowanych torfowisk, z czego największą powierzchnię zajmują olsza czarna *Alnus glutinosa* (10,44%), sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* (9,70%) i brzoza *Betula spp.* (5,55%). Analizując indywidualnie poszczególne torfowiska można natomiast zauważyć, że dla 155 z 248 obiektów dominującym gatunkiem jest sosna zwyczajna, a jedynie dla 35 olsza czarna i dla 42 brzoza.

Stosując podział na trzy kategorie torfowisk (dolinne, leśne i pozostałe) widoczne jest znaczne zróżnicowanie udziału analizowanych gatunków (Rycina 5). Na torfowiskach dolinnych wyraźnie dominuje olsza czarna, na torfowiskach leśnych sosna zwyczajna, natomiast torfowiska pozostałe posiadają wyrównany udział trzech głównych gatunków drzew.



**Rycina 4**

Mapa rozmieszczenia gatunków drzew i krzewów – przykład dla torfowiska Okoniny i jego zlewni bezpośredniej.



**Rycina 5**

Udział badanych taksosów drzew i krzewów w powierzchni trzech kategorii torfowisk (dolinnych, leśnych i pozostałych).

Większość zlewni badanych torfowisk ma charakter typowo leśny. Łącznie aż 77,84% ich powierzchni zajmują drzewa. Dominującym gatunkiem drzewa w zlewniach wszystkich typów torfowisk jest sosna zwyczajna, której udział w łącznej powierzchni zlewni wynosi 68,25%.

### Mapa rozmieszczenia wybranych hydrogeniczných zbiorowisk roślinnych

Do wytworzenia mapy zbiorowisk roślinnych wykorzystano dane hiperspektralne oraz produkty wytworzone z chmury punktów skanowania laserowego, w tym pokazujące zmienność ukształtowania terenu. Użyto również danych termalnych. Do wytrenowania modelu uczenia maszynowego wykorzystano dane referencyjne pozyskane w terenie. Podczas pomiarów wyznaczono lokalizację przykładowych płatów zbiorowisk roślinnych występujących na badanym terenie. Zastosowano metodę klasyfikacji nadzorowanej. Wynikowa mapa dzieli obszar na 22 jednostki legendy (Rycina 6 i 7), w tym podstawowe zbiorowiska roślinne oraz klasy wody, pól uprawnych oraz klasę „pozostałe zbiorowiska”. Mapa pozwoliła przeanalizować udział poszczególnych jednostek w różnych typach torfowisk, w tym szczególnie cennych zbiorowisk roślinnych.

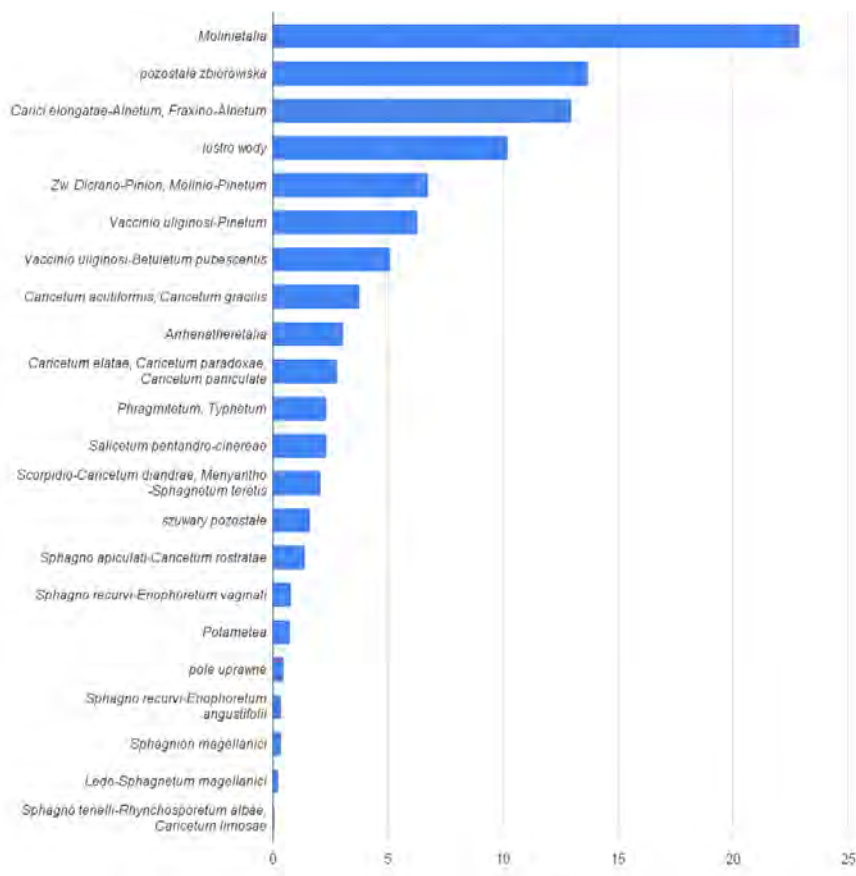
Dominującym typem roślinność na badanych torfowiskach są wilgotne łąki z rzędu *Molinietalia* (22,87% powierzchni torfowisk) oraz olsy i łągi *Carici elongatae-Alnetum* i *Fraxino-Alnetum* (12,98%). Pozostałe jednostki roślinności pokrywają poniżej 10% powierzchni. Najmniejszą powierzchnię spośród 22 wyróżnionych klas zajmują płaty pięciu zespołów typowo torfowiskowych: *Sphagno recurvi-Eriophoretum angustifolii* (3,84 ha), *Sphagnion magellanici* (3,73 ha), *Ledo-Sphagnetum magellanici* (2,71 ha) oraz wspólna klasa łącząca *Sphagno tenelli-Rhynchosporium albae* i *Caricetum limosae* (0,57 ha). Łącznie wszystkie wyróżnione jednostki legendy, które można zaliczyć do cennych zbiorowisk torfowiskowych, zajmują 333,40 ha w obrębie badanych obiektów, co stanowi blisko 29,50% ich łącznej powierzchni.

### Analiza stanu torfowisk

W analizie stanu torfowisk wykorzystano dane hiperspektralne i dane termalne. Posłużono się także wcześniej wykonanymi mapami, tj. zasięgiem torfowisk, rozmieszczeniem gatunków drzew i krzewów oraz hydrogeniczných zbiorowisk roślinnych. Szczegółową analizę stanu torfowisk przeprowadzono dla 22 wybranych obiektów. W celu uzyskania informacji o stanie roślinności występującej



na torfowiskach obliczone zostały teledetekcyjne wskaźniki roślinności. Zastosowano także modelowanie statystyczne z wykorzystaniem uczenia maszynowego i analizy geoprzestrzenne.

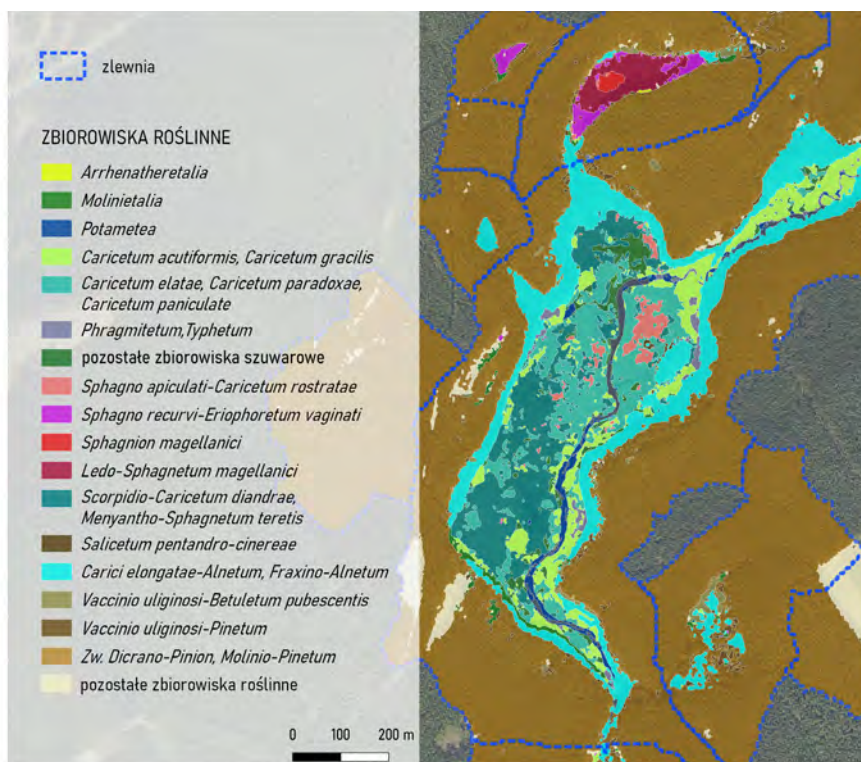


**Rycina 6**

Udział poszczególnych jednostek roślinności w powierzchni torfowisk.

Na podstawie danych hiperspektralnych obliczone zostały trzy wskaźniki spektralne związane z cechami biofizycznymi roślin, tj. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) – informujący o ogólnej kondycji roślinności, *Moisture Stress Index* (MSI) – informujący o występowaniu i natężeniu stresu wodnego i *Cellulose Absorption Index* (CAI) – identyfikujący obecność suchej materii organicznej. Następnie, na podstawie danych termalnych obliczono wskaźniki związane z termiką roślinności, tj. *Land Surface Temperature* (LST) – informujący o temperaturze powierzchni terenu (obliczono go zarówno na danych termalnych

pozyskanych w ciągu dnia, jak i w nocy), dobową amplitudę temperatury podłoża, a także wskaźnik *Crop Water Stress Index* (CWSI), który podobnie jak wskaźnik MSI identyfikuje obecność stresu wodnego. Kolejne etapy analiz obejmowały modelowanie przesuszenia wybranych klas roślinności nieleśnej z wykorzystaniem referencyjnych pomiarów terenowych oraz analizy geoprzestrzenne skutkujące uzyskaniem informacji o udziale cennych klas roślinności w każdym z 22 obiektów. Do klas cennych zaliczono płaty roślinności należące do klas *Oxycocco-Sphagnetea* oraz *Scheuchzerio-Caricetea nigrae*, a także płaty borów bagiennych oraz łągów i olsów.

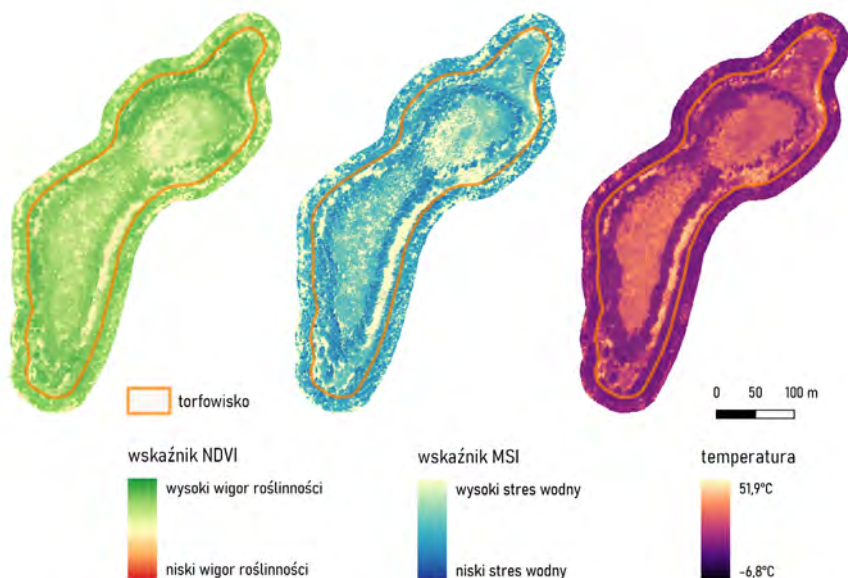


**Rycina 7**

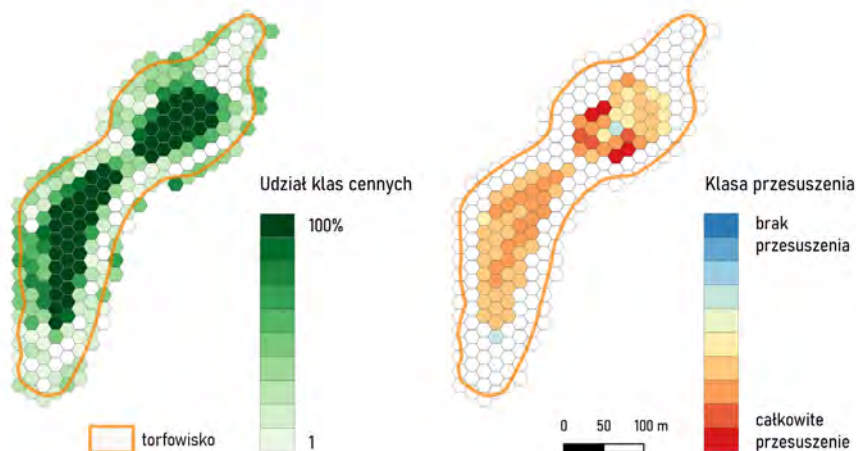
Mapa hydrogeniczných zbiorowisk roślinnych – przykład dla rezerwatu przyrody „Bagna nad Stążką”.

Wynikiem przeprowadzonych prac są mapy, które umożliwiają analizę przestrzennego zróżnicowania stanu roślinności na każdym z badanych torfowisk (Rycina 8). Dodatkowo, informację o przesuszeniu i udziale cennych klas roślinności dopisano do siatki heksagonów o boku 10 m (Rycina 9). W ramach

podsumowania wszystkich analiz związanych ze stanem torfowisk opracowano także dwa rankingi obiektów. Pierwsze zestawienie dotyczy zagrożenia przesuszeniem, drugie uwzględnia udział cennych klas roślinności. Analiza otrzymanych wyników pokazuje, iż do najbardziej zagrożonych przesuszeniem obiektów można zaliczyć torfowiska należące do kategorii „pozostałe”, które zlokalizowane są w obszarze nr 4, m.in. Bagno Grzybna, torfowisko Okoniny i torfowisko zlokalizowane w okolicy miejscowości Wielkie Budziska. Najmniejsze zagrożenie odnotowano natomiast dla torfowisk z kategorii „dolinne”, m.in. torfowiska Bagna nad Stążką. Ze względu na powierzchnię roślinności cennej występującej na torfowisku, za najbardziej cenne obiekty można uznać dolinne torfowisko nad rzeką Brdą (obiekt na obszarze nr 1, powierzchnia klas cennych 24,23 ha), dwa torfowiska z kategorii „pozostałe”, tj. torfowisko Okoniny (obszar nr 4, powierzchnia klas cennych 21,31 ha) i duże torfowisko zlokalizowane w okolicy miejscowości Wielkie Budziska (obszar nr 4, powierzchnia klas cennych 19,92 ha), a także dolinne torfowisko w rezerwacie Bagna nad Stążką (obszar nr 3, powierzchnia klas cennych 19,49 ha). Działania restytucyjne powinny być priorytetowo prowadzone dla obiektów, które cechują się występowaniem dużej powierzchni klas cennych i jednocześnie należą do tych najbardziej przesuszonych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że do tej grupy obiektów należą torfowisko Bagno Grzybna i torfowisko przy miejscowości Wielkie Budziska.



**Rycina 8**  
Teledetekcyjne wskaźniki roślinności – torfowisko „Bagno Grzybna”.



**Rycina 9**

Analiza udziału cennych klas roślinności (po lewej) i natężenia przesuszenia (po prawej) w siatce heksagonów – torfowisko „Bagno Grzybna”.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w roku 2022 badania wybranych torfowisk występujących na terenie Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola wykazały, że:

1. dzięki zastosowaniu wielosensorowych danych lotniczych możliwe jest wykonanie w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego kompleksowego rozpoznania torfowisk, obejmującego inwentaryzację zasięgu torfowisk wraz z ich zlewniami bezpośrednimi, sieci hydrograficznej, gatunków drzew i krzewów oraz zbiorowisk roślinnych,
2. na terenie objętym badaniami łączna powierzchnia torfowisk wynosi 1130,71 ha, zaś ich zlewni bezpośrednich 2400,98 ha,
3. w zdecydowanie lepszym stanie są torfowiska dolinne, w gorszym stanie są natomiast torfowiska przejściowe zasilane wodą opadową,
4. możliwe jest określenie stanu przesuszenia torfowisk oraz wskazanie obiektów najsilniej zagrożonych przesuszeniem, które powinny w pierwszej kolejności zostać objęte restytucją.

## LITERATURA

- FAO 2020. Peatland mapping and monitoring – Recommendations and technical overview. Rome.
- Fassnacht F.E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L.T., Straub C., Ghosh A. 2016. Review of Studies on Tree Species Classification from Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 186: ss. 64-87.
- Guo M., Li J., Sheng C., Xu J., Wu L. 2017. A review of wetland remote sensing. *Sensors* 17 (4): 777.
- Harris A., Bryant R.G., Baird A.J. 2006. Mapping the effects of water stress on *Sphagnum*: Preliminary observations using airborne remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 100 (3): 363-378.
- Jarocińska A., Kopeć D., Niedzielko J., Wylazłowska J., Halladin-Dąbrowska A., Charyton J., Piernik A., Kamiński D. 2023a. The utility of airborne hyperspectral and satellite multispectral images in identifying Natura 2000 non-forest habitats for conservation purposes. *Scientific Reports* 13 (1): 4549.
- Jarocińska A., Niedzielko J., Kopeć D., Wylazłowska J., Omelianska B., Charyton J. 2023b. Testing Textural Information Base on LiDAR and Hyperspectral Data for Mapping Wetland Vegetation: A Case Study of Warta River Mouth National Park (Poland). *Remote Sensing* 15 (12): 3055.
- Kopeć D., Sabat-Tomala A., Michalska-Hejduk D., Jarocińska A., Niedzielko J. 2020. Application of Airborne Hyperspectral Data for Mapping of Invasive Alien *Spiraea tomentosa* L.: A Serious Threat to Peat Bog Plant Communities. *Wetlands Ecology and Management* 28: 357-373.
- Kopeć D., Zakrzewska A., Halladin-Dąbrowska A., Wylazłowska J., Kania A., Niedzielko J. 2019. Using Airborne Hyperspectral Imaging Spectroscopy to Accurately Monitor Invasive and Expansive Herb Plants: Limitations and Requirements of the Method. *Sensors* 19 (13): 2871.
- Lees K.J., Artz R.R.E., Khomik M., Clark J.M., Ritson J., Hancock M.H., Cowie N.R., Quaife T. 2020. Using spectral indices to estimate water content and GPP in *Sphagnum* moss and other peatland vegetation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 58 (7): 4547-4557.

- Millard K., Richardson M. 2013. Wetland mapping with LiDAR derivatives, SAR polarimetric decompositions, and LiDAR–SAR fusion using a random forest classifier. *Canadian Journal of Remote Sensing* 39 (4): 290-307.
- Neinavaz E., Schlerf M., Darvishzadeh R., Gerhards M., Skidmore A.K. 2021. Thermal infrared remote sensing of vegetation: Current status and perspectives. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 102: 102415.
- Parkitna K., Krok G., Miścicki S., Ukalski K., Lisańczuk M., Mitelsztedt K., Magnussen S., Markiewicz A., Stereńczak K. 2021. Modelling growing stock volume of forest stands with various ALS area-based approaches. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 94: 630-650.
- Rapinel S., Panhelleux L., Gayet G., Vanacker R., Lemerrier B., Laroche B., Chambaud F., Guelmami A., Hubert-Moy L. 2023. National wetland mapping using remote-sensing-derived environmental variables, archive field data, and artificial intelligence. *Heliyon* 9 (2): e13482.
- Stereńczak K. 2010. Technologia lotniczego skanowania laserowego jako źródło danych w półautomatycznej inwentaryzacji lasu. *Sylwan* 154: 88-99.

# ODTWARZANIE TORFOWISK NA PRZYKŁADZIE NADLEŚNICTWA WOZIWODA

## WSTĘP

O znaczeniu, roli i potrzebie odtwarzania torfowisk mówi się coraz głośniejsze i pisze się coraz więcej. Potrzeba ochrony tych ekosystemów wymieniana jest m.in. w strategiach międzynarodowych (np. Unijnej Strategii na Rzecz Bioróżnorodności 2030 pn. „Przywracanie przyrody do naszego życia”), rozporządzeniach Parlamentu Europejskiego i Rady (np. projekcie rozporządzenia w sprawie odbudowy zasobów przyrodniczych), krajowych strategiach (np. Strategii ochrony mokradeł w Polsce na lata 2022-2032), politycznych umowach (np. umowie koalicyjnej z 10 listopada 2023 r. w pkt 9: „...wdrożymy program odnowy bagien i torfowisk” (Umowa Koalicyjna 2023), apelach naukowców (np. „Odtwarzanie torfowisk: informacje naukowe dla decydentów”) czy raportach organizacji pozarządowych.

Z raportu pn. „Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z użytkowania gleb organicznych w Polsce oraz potencjału ich redukcji” autorstwa prof. Wiktora Kotowskiego możemy się dowiedzieć, że: „Torfowiska stanowią największy lądowy magazyn węgla organicznego. W stanie naturalnym (bagiennym) pochłaniają dwutlenek węgla z atmosfery, akumulując węgiel w torfie. Jeśli się je osuszy, stają się silnym źródłem gazów cieplarnianych, przyczyniając się do powiększenia efektu cieplarnianego. W skali świata odwodnione torfowiska emitują ok. 2 Gt dwutlenku węgla rocznie, co odpowiada ok. 5% antropogenicznych emisji” (Kotowski 2021). Powierzchnia torfowisk w Polsce to ok. 1 495 000 ha. Dalej

w tym samym raporcie czytamy o szacowanych emisjach z przesuszanych torfowisk w Polsce, których skala odwodnienia wynosi 86%. W głównej mierze na tą wartość składają się odwodnione torfowiska nieleśne. Autor tego opracowania podaje, iż „W oparciu o powyższe założenia uzyskano wartość emisji na poziomie 33,9 Mt ekw. CO<sub>2</sub>, z czego 30,3 Mt ekw. CO<sub>2</sub> (89,4%) przypada na sektor rolnictwa, a 3,6 Mt ekw. CO<sub>2</sub> (10,6%) na sektor LULUCF (leśnictwo)” (Kotowski 2021).

Powołana przez Europejską Unię Nauk o Ziemi (EGU) grupa zadaniowa ds. bioróżnorodności w 2023 roku opracowała i przedstawiła dokument pt. „Odtwarzanie torfowisk: informacje naukowe dla decydentów”. W dokumencie tym europejscy eksperci, w tym prof. Mariusz Lamentowicz z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, wskazują korzyści wynikające z rekultywacji torfowisk. Do tych korzyści zaliczają:

1. bioróżnorodne ekosystemy – warunki hydrologiczne i chemiczne stworzone przez torfowiska wspierają wysoką różnorodność gatunkową. Ponadto usługi ekosystemowe świadczone przez torfowiska wspierają zdrowie i odporność ekosystemów, które są niezbędne dla różnorodności biologicznej i otaczających je obszarów.
2. łagodzenie skutków zmiany klimatu – torfowiska zapewniają najbardziej efektywne magazynowanie węgla spośród wszystkich ekosystemów lądowych. Pomimo zajmowania zaledwie 3% globalnego obszaru lądowego, torfowiska przechowują 30% całego węgla glebowego, przewyższając węgiel przechowywany w światowej biomase leśnej. Odkładanie nawadniania i restytucji torfowisk zwiększa ilość emisji CO<sub>2</sub> uwalnianych z tych zdegradowanych ekosystemów.
3. zdrowie gleby – ponowne nawadnianie torfowisk wspiera odbudowę i przywrócenie zróżnicowanych mikroorganizmów glebowych. Mikroorganizmy odgrywają kluczową rolę w obiegu składników odżywczych, akumulacji i rozkładzie materii organicznej i tworzeniu stabilnych warunków rozwoju gleby.
4. odporność na ekstremalne zjawiska pogodowe – odtwarzanie torfowisk minimalizuje wpływ i szkody powodowane przez powodzie. Torfowiska działają jak gąbka, która zatrzymuje i reguluje przepływ wody. Nawodnione torfowiska mają większą zdolność do magazynowania wody, poprawiają procesy filtracji i jakości wody oraz powoli ją uwalniają. Odpowiednia struktura roślinności minimalizuje spływ powierzchniowy w okresach intensywnych opadów deszczu i powodzi oraz zwiększa dostępność wody podczas suszy.



5. zdrowe gleby, akumulacja biogenów, stabilizacja poziomu wody oraz zwiększenie odporności na susze, pożary i inne ekstremalne zjawiska pogodowe, wspierają wydajność rolnictwa (Grupa zadaniowa... 2023) .

W dokumencie tym stwierdzono również, że trwałe podniesienie poziomu wody do poziomu powierzchni gruntu pozwala znacznie ograniczyć mineralizację torfu, redukując emisję dwutlenku węgla nawet o 90-100% (Grupa zadaniowa... 2023). Natomiast w cytowanym powyżej dokumencie (Kotowski 2021), wydanym przez Fundację WWF Polska, oszacowano (w oparciu o standardowe wskaźniki redukcji emisji), że poprzez ponowne nawodnienie torfowisk w lasach (o przyjętej powierzchni 294,4 tys. ha) można ograniczyć emisję o 2,53 Mt ekwiwalentu CO<sub>2</sub> rocznie.

Uwzględniając powojenne działania ukierunkowane na odwadnianie obszarów leśnych nadmiernie uwilgotnionych, obejmujące w latach 1951-1991 ok. 850 tys. ha (dane pochodzą z DGLP, 2023) oraz wcześniejsze, wielkoskalowe melioracje prowadzone przez zaborców, można mówić o ogromnej skali emisji gazów cieplarnianych z przesuszonych lasów.

## DZIAŁANIA PODJĘTE PRZEZ NADLEŚNICTWO WOZIWODA

Tereny Nadleśnictwa Woziwoda to typowe dla Borów Tucholskich obszary leśne, z dominacją siedlisk borowych, silnie przekształcone działalnością człowieka w minionych okresach, jednak wciąż z wieloma cennymi przyrodniczo siedliskami i obiektami (Rycina 1).

W 2021 roku Nadleśnictwo Woziwoda w partnerstwie z Nadleśnictwem Tuchola, Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (UAM) oraz Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), a później z Norwegian Institute for Nature Research (NINA) przygotowało projekt pn. „Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich”. Projekt ten został opracowany w ramach Programu Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu i obszaru programowego Środowisko Naturalne i Ekosystemy. Dofinansowanie tego projektu miało nastąpić ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego. Ostatecznie Decyzją Ministerstwa Klimatu i Środowiska z 9 czerwca 2021 roku Nadleśnictwu Woziwoda na realizację tego projektu przyznano dofinansowanie w wysokości 4 315 863,9 PLN, przy kosztach kwalifikowanych projektu wynoszących 5 142 831,22 PLN.



**Rycina 1**

Torfowisko w oddziale 170 g (Leśnictwo Wilcze Doły).

Teren, na którym zrealizowano zaplanowane prace w ramach tego projektu, leży w obrębie administracyjnego działania Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola i objęty jest ochroną: (1) w ramach sieci Natura 2000 PLH040023 Dolina Brdy i Stażki w Borach Tucholskich i PLB220009 Bory Tucholskie, (2) Tucholskim Parkiem Krajobrazowym (TPK) oraz (3) sześcioma rezerwatami przyrody, które tworzą rdzeń Rezerwatu Biosfery Bory Tucholskie (MAB). W XIX, XX i XXI wieku obszar ten został dotknięty negatywnym oddziaływaniem człowieka np. osuszaniem wilgotnych siedlisk, mokradeł i torfowisk oraz siłami natury jak huraganem (2017 r.) lub silnymi gradacjami owadów. Projekt „Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich” zakładał kompleksowe wdrażanie działań zwiększających odporność ekosystemów Borów Tucholskich na negatywne zjawiska wynikające ze zmian klimatycznych i adaptację do tych zmian. Szczegółowe punkty projektu przewidywały realizację działań ochronnych określonych w planach ochrony lub planach zadań ochronnych dla sześciu rezerwatów, TPK i obszarów Natura 2000 pokrywających się z powierzchnią Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola. W oparciu o przygotowaną koncepcję zaprojektowano działania zwiększające możliwości retencyjne siedlisk wilgotnych poprzez budowę m.in.

progów piętrzących i zastawek. W celu lepszego rozpoznania cennych siedlisk przyrodniczych zaprojektowano ich weryfikację na powierzchni blisko 500 ha. Wybrane najcenniejsze siedliska i ekosystemy wilgotne i torfowiska poddane zostały analizie przyrodniczej przez partnerów programu, naukowców z UAM w Poznaniu i Norwegii, m.in. w oparciu o technikę zobrazowania hiperspektralnego połączoną z lotniczą teledetekcją.

### **Kompleksowe i nowatorskie podejście do restytucji torfowisk**

Powierzchnie Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola pokryte są licznymi torfowiskami. Większość tych torfowisk nie była dobrze rozpoznana pod względem stanu zachowania, przesuszenia oraz zasobów węgla zmagazynowanych w torfie. Nowatorskie podejście do ochrony torfowisk przyjęte w tym projekcie zakładało kombinację badań z wykorzystaniem technik spektralnych, rozpoznania miąższości torfu i mapowania roślinności torfotwórczej. W celu pozyskania wszystkich niezbędnych danych do analiz, Nadleśnictwo Woziwoda zamówiło usługę polegającą na inwentaryzacji i analizie zasobów przyrodniczych torfowisk, występujących na obszarze Nadleśnictw Woziwoda oraz Tuchola. Celem usługi było dostarczenie informacji, które następnie zostały użyte do oceny stanu walorów przyrodniczych oraz ich zagrożeń, planowania inżynierskich zadań projektowych oraz uchwycenia stanu wyjściowego badanych elementów przyrody (w celu ich dalszego monitoringu). Do wykonania tego zadania, w drodze postępowania przetargowego, została wyłoniona firma MGPP Aero Sp. z o.o. Szczegółowe omówienie pozyskanych danych i wyniki analiz przyrodniczych zostało przedstawione w rozdziale niniejszej publikacji pt. „Wykorzystanie teledetekcji w planowaniu restytucji torfowisk”.

Inne szczegółowe badania obejmowały następujące cele: określenie miąższości i rodzaju torfu, inwentaryzację siedlisk przyrodniczych i występowania roślin torfotwórczych, ocenę stanu zachowania i ochrony siedlisk, przygotowanie odpowiednich rekomendacji dla restytucji torfowisk i poprawy stanu siedlisk torfowiskowych, ocenę potencjału akumulacji węgla w torfowiskach oraz wypracowanie dobrych praktyk zarządzania torfowiskami na obszarach leśnych. Te badania realizowane były przez zespoły naukowców z UAM w Poznaniu we współpracy z NINA w Norwegii. Szczegółowe wyniki tych badań zostały przedstawione w rozdziałach pt. „Roślinność i cenne elementy flory siedlisk hydrogenicznych Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola – ocena naturalności i stanu ochrony” oraz „Torfowiskowe zasoby węgla w Borach Tucholskich”.

## **Retencjonowanie wody na siedliskach wilgotnych**

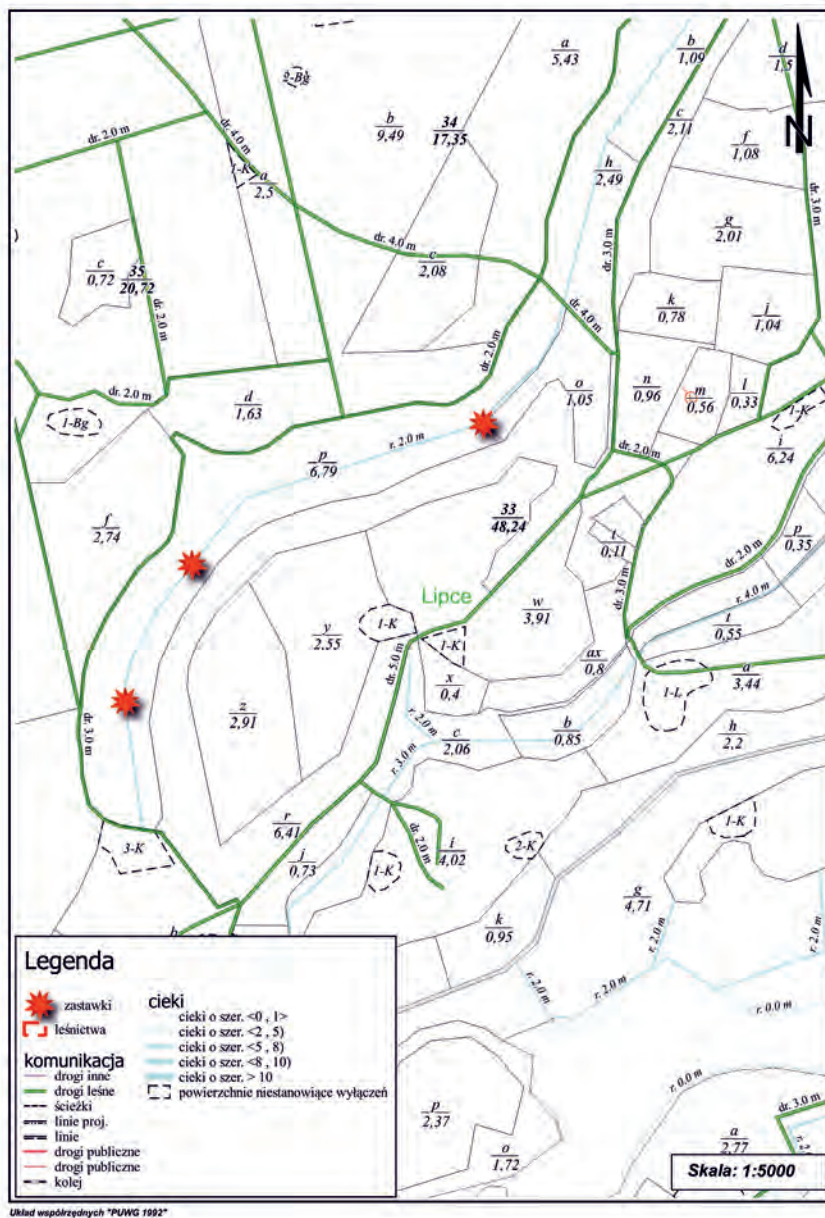
Projektowane działania miały na celu zwiększenie możliwości retencyjnych siedlisk wilgotnych, ograniczenie skutków suszy oraz poprawę stosunków wodnych w pięciu leśnictwach. Zaplanowano budowę osiemnastu progów piętrzących, jednej zastawki i jednej grobli oraz wzmocnienie i wywyższenie drogi leśnej (okresowo zalewanej w wyniku działalności bobrów) wraz z przepustem, które przyczyniły się do naturalnego zabagnienia, jak i zahamowania wiosennego odpływu wody w przypadku jej okresowego nadmiaru. Wybudowanie zastawki w Leśnictwie Zielonka w oddz. 199d pozwoliło na stabilizację poziomu lustra wody w użytku ekologicznym o pow. 1,4 ha oddz. 199g (jez. „Susz”), szczególnie w okresie lęgowym ptaków. Próg piętrzący na rowie odprowadzającym wodę w oddz. 131a Leśnictwa Zielonka spowoduje zatrzymanie osuszania cennego bagna o pow. 1,6 ha w oddz. 131b. Wybudowanie tamy i progów piętrzących w oddz. 33p Leśnictwa Lipce spowodowało spiętrzenie wód odpływających do rzeki Czerska Struga i stworzyło dogodne siedlisko dla bobra europejskiego (Rycina 2).

Na powyższe prace Nadleśnictwo posiadało koncepcję ich wykonania sporządzoną w 2020 roku. W trakcie przygotowywania koncepcji dokonano wyboru kilkunastu miejsc lokalizacji piętrzeń na rowach odwadniających zarówno siedliska leśne, jak i nieleśne (Rycina 3 i 4).

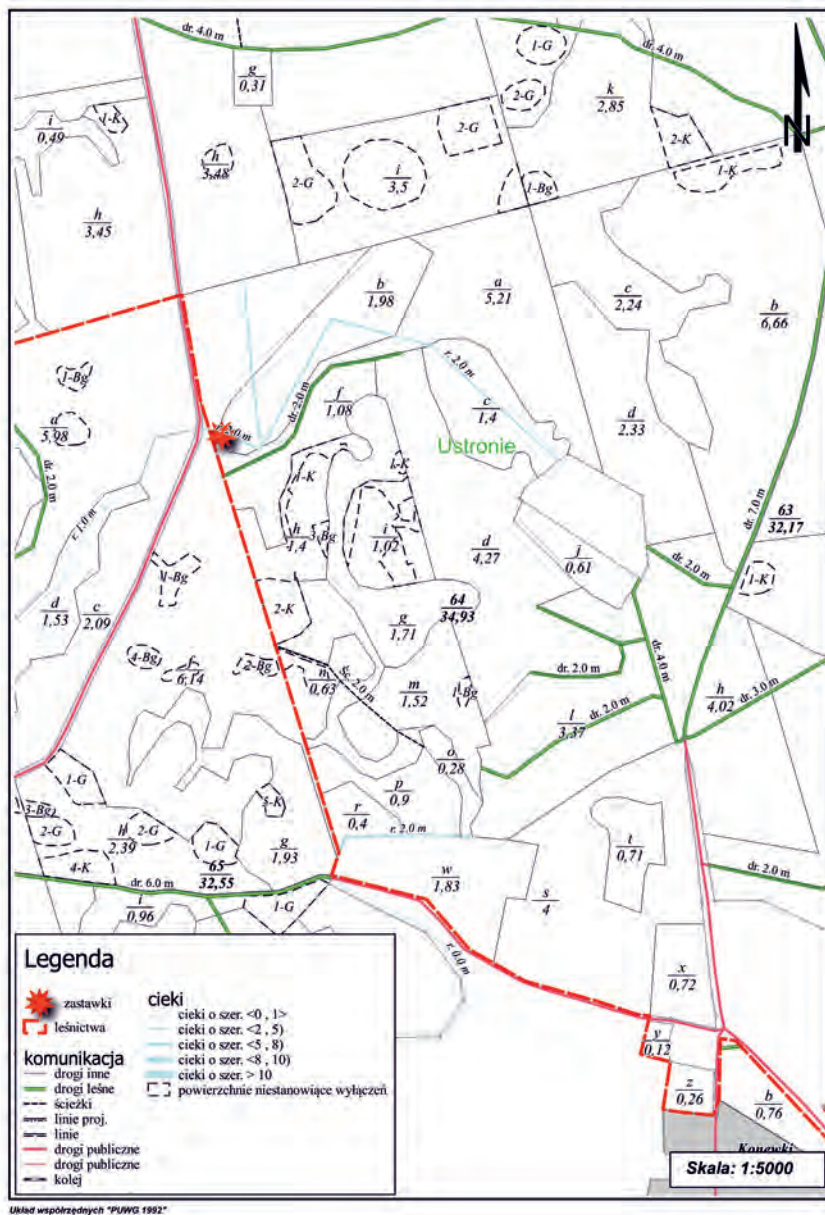
Następnie koncepcję poddało ocenie Regionalnym Dyrekcjom Ochrony Środowiska w Bydgoszczy i Gdańsku oraz TPK. Po uzyskaniu pozytywnych opinii skonsultowano ją z hydrologiem, który zaopiniował ją pozytywnie i stwierdził m.in., że „planowane działania mają na celu opóźnienie odpływu wód w siedliskach leśnych i nieleśnych w górnych częściach zlewni dalszego rzędu. Po przeanalizowaniu ich lokalizacji należy stwierdzić, że planowane działania są korzystne w zakresie ograniczenia odpływu wód, a sposób wykonania retencji wód jest właściwy oraz potencjalnie umożliwiający osiągnięcie dodatkowych korzyści środowiskowych w postaci zwiększenia uwodnienia zlewni, ograniczenia odpływu biogenów oraz zwiększenia bioróżnorodności” (Pomorskie Towarzystwo Hydrologiczno-Przyrodnicze 2020).



**Rycina 2**  
Aktywność bobrów po wybudowaniu progu piętrzącego w oddz. 33p (Leśnictwo Lipce).



Rycina 3  
Lokalizacja progów piętrzących na łące w oddz. 33p (Leśnictwo Lipce).



Rycina 4  
Lokalizacja progów piętrzących w oddz. 64p (LmB) (Leśnictwo Ustronie).

Po uzyskaniu pozytywnych opinii dotyczących opracowanej koncepcji retencjonowania wody na siedliskach wilgotnych, Nadleśnictwo przystąpiło do wyboru projektanta w celu sporządzenia kompletnej dokumentacji projektowej obejmującej m.in.:

- sporządzenie obliczeń hydrologicznych przed przystąpieniem do projektowania oraz określenie możliwości uzyskania zakładanych parametrów,
- wykonanie pomiarów i prac geodezyjnych w obiektach z uwzględnieniem rzędnych piętrzenia,
- wykonanie dokumentacji projektowej w oparciu o obowiązujące przepisy wraz z kosztorysami,
- wykonanie specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót,
- uzyskanie pozwoleń na budowę,
- uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji przedsięwzięcia,
- uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- sporządzenie operatu wodnoprawnego.

W dniu 25 listopada 2021 roku dokonano wyboru firmy projektowej, z którą 6 grudnia 2021 roku podpisano umowę. Ze względu na znajdujące się w projektowanym obszarze formy ochrony przyrody (Obszar Natura 2000 Bory Tucholskie, TPK, użytki ekologiczne), proces projektowania i uzgadniania trwał stosunkowo długo i zakończył się uzyskaniem decyzji udzielającej Nadleśnictwu Woziwoda pozwolenia wodnoprawnego na projektowane działania (4 listopada 2022 roku). Projekt budowlany i decyzja o udzieleniu pozwolenia na budowę zostały wydane 23 lutego 2023 roku. Warto podkreślić, że w uzyskanych decyzjach różnica pomiędzy rzędnymi przelewu na projektowanych progach piętrzących i zastawkach a rzędnymi dna rowów wynosiła od 20 do 90 cm. Efektem wybudowania urządzeń wodnych będzie retencja korytowa w rowach, w których wykonane zostały urządzenia wodne, oraz retencja obszarów mokradłowych. Realizacja tego przedsięwzięcia spowoduje znaczne obniżenie odpływu ze zlewni rowów, utrzymując uwilgotnienie na terenach siedlisk wilgotnych.

Po przeprowadzeniu postępowania przetargowego i wyłonieniu wykonawcy, 11 kwietnia 2023 roku przystąpiono do realizacji budowy zaprojektowanych urządzeń wodnych. W trakcie realizacji zadania żaden rów (z wyjątkiem rowów w oddz. 33p w Leśnictwie Lipce i oddz. 155b w Leśnictwie Zielonka) nie odprowadzał wody, a w okresie późnowiosennym i letnim występowało wyraźne przesuszenie tego terenu. Progi piętrzące i zastawki zostały wykonane z drewnianych



(modrzewiowych) ścianek szczelnych (Rycina 5) i palisad drewnianych. Do wykonania wzmocnień i uszczelnienia konstrukcji zastawek wykorzystano geosynte-tyki, w tym geomembrany i geotkaniny. Zabezpieczenie przeciwoerozyjne wyko-nano z kamienia (Rycina 6).



**Rycina 5**  
Budowa ścianki szczelnej w oddz. 33p (Leśnictwo Lipce).

Całość prac zakończono w październiku 2023 roku, a pozwolenie na użyt-kowanie obiektów budowlanych uzyskano 13 listopada 2023 roku. Przed podej-mowaniem decyzji o budowie urządzeń wodnych, szczególnie na obszarach chro-nionych, warto pamiętać, że okres projektowania jest zwykle znacznie dłuższy niż samo wykonanie tych urządzeń.



**Rycina 6**  
Kamienne umocnienie progu piętrzącego oddz. 33p (Leśnictwo Lipce).

Całkowity koszt tego zadania wyniósł:

- wartość prac projektowych z nadzorem – 89 200,00 zł netto, 109 716,00 zł brutto,
- wartość prac budowlanych – 723 820,38 zł netto, 890 299,07 zł brutto,
- ogółem – 813 020,38 zł netto, 1 000 015,07 zł brutto.
- Powyższe działania pozwoliły zatrzymać wodę i uwilgotnić siedliska na łącznej powierzchni 35,72 ha (Tabela 1).

Posługując się standardowymi współczynnikami IPCC redukcji emisji gazów cieplarnianych, które wynikają z ponownego nawodnienia torfowisk w strefie umiarkowanej (Kotowski 2021), poniżej przedstawiono próbę oszacowania wartości redukcji emisji CO<sub>2</sub> na zestawionych w Tabeli 1 powierzchniach:

- las: 21,51 ha × 8,6 t ekw. CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> = 184,99 t ekw. CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>,
- łąka: 14,21 ha × 18,2 t ekw. CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> = 258,62 t ekw. CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>,
- razem: 35,72 ha, 443,61 t ekw. CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

**Tabela 1**

Zestawienie wydzieleń i ich powierzchni objętych bezpośrednim uwilgotnieniem.

Numer obszaru	Leśnictwo	Adres leśny	Powierzchnia obszaru oddziaływania	Suma powierzchni obszaru
1	Dąbki	12-25-1-01-48 -j -00	1,02	3,26
		12-25-1-01-48 -o -00	1,18	
	Ustronie	12-25-1-05-47 -k -00	1,06	
2	Lipce	12-25-1-02-33 -a -00	1,34	15,45
		12-25-1-02-33 -b -00	1,09	
		12-25-1-02-33 -h -00	2,49	
		12-25-1-02-33 -o -00	1,05	
		12-25-1-02-33 -p -00	6,79	
		12-25-1-02-35 -b -00	0,15	
		12-25-1-02-36 -i -00	0,73	
3	Lipowa	12-25-1-02-36 -j -00	1,81	4,43
		12-25-1-03-270 -b -00	0,16	
		12-25-1-03-270 -c -00	0,50	
		12-25-1-03-270 -f -00	0,63	
		12-25-1-03-270 -g -00	0,13	
		12-25-1-03-270 -h -00	0,58	
4	Ustronie	12-25-1-03-294 -c -00	2,43	6,71
		12-25-1-05-64 -a -00	2,25	
		12-25-1-05-64 -b -00	1,98	
		12-25-1-05-64 -c -00	1,40	
5	Zielonka	12-25-1-05-64 -f -00	1,08	0,92
		12-25-2-13-109 -c -00	0,53	
6	Zielonka	12-25-2-13-84 -b -00	0,39	3,55
		12-25-2-13-131 -a -00	0,56	
		12-25-2-13-131 -b -00	1,60	
		12-25-2-13-131 -c -00	0,87	
		12-25-2-13-155 -a -00	0,08	
		12-25-2-13-155 -b -00	0,31	
		12-25-2-13-155 -c -00	0,08	
7	Zielonka	12-25-2-13-156 -a -00	0,05	140
		12-25-2-13-18 lA -g -00	1,40	
Suma			35,72	35,72

Przyjmując wartość uprawnień do emisji 1 tony CO<sub>2</sub> na poziomie 63,42 euro (19.01.2024, kurs na koniec dnia) i kurs 1 euro wynoszący 4,37 zł (19.01.2024), otrzymujemy wartość 122 944,47 zł.

W dużym przybliżeniu możemy więc stwierdzić, że w wyniku uwodnienia 21,51 ha torfowisk w lasach Nadleśnictwa Woziwoda i 14,21 ha torfowisk na łąkach ograniczymy emisję o 443,61 t CO<sub>2</sub> o wartości ponad 120 tys. zł rocznie. Oczywiście jest to uproszczony szacunek. Warto jednak, aby rzeczywiste wielkości emisji i jej ograniczania na torfowiskach w Lasach Państwowych zostały objęte pomiarami przy pomocy dostępnych i wykorzystywanych już przez naukowców stacji pomiarowych.

### **Analiza siedlisk hydrogeniczych**

Równoległe z podjętymi działaniami prowadzonymi w ramach projektu „Ochrona cennych ekosystemów Borów Tucholskich”, w Nadleśnictwie Woziwoda od końca 2020 roku przystąpiono do weryfikacji siedlisk hydrogeniczych w kierunku ograniczenia na nich prac gospodarczych. Analizie poddano wydzielenia leśne obejmujące siedliska borów i lasów bagiennych, dla których w obowiązującym Planie Urządzenia Lasu przewidziano wykonanie cięć rębnych lub przedrębnych. Podjęte decyzje o rezygnacji z wykonywania cięć na tych siedliskach z pewnością pozytywnie wpłyną na ich ochronę i nie pogorszą ich stanu. Zaprzestanie prowadzenia gospodarki leśnej na tych siedliskach przyczyni się ponadto do poprawienia możliwości pochłaniania węgla lub ograniczenia jego emisji. Ponadto w czterech leśnictwach obrębu leśnego Twarożnica na siedliskach wilgotnych (Bb, BMb, LMb, LMw, OL, OIJ), pomimo wystąpienia znacznych szkód od wiatru 1 lipca 2022 roku, odstąpiono od pozyskania wywrotów i złomów (Rycina 7).

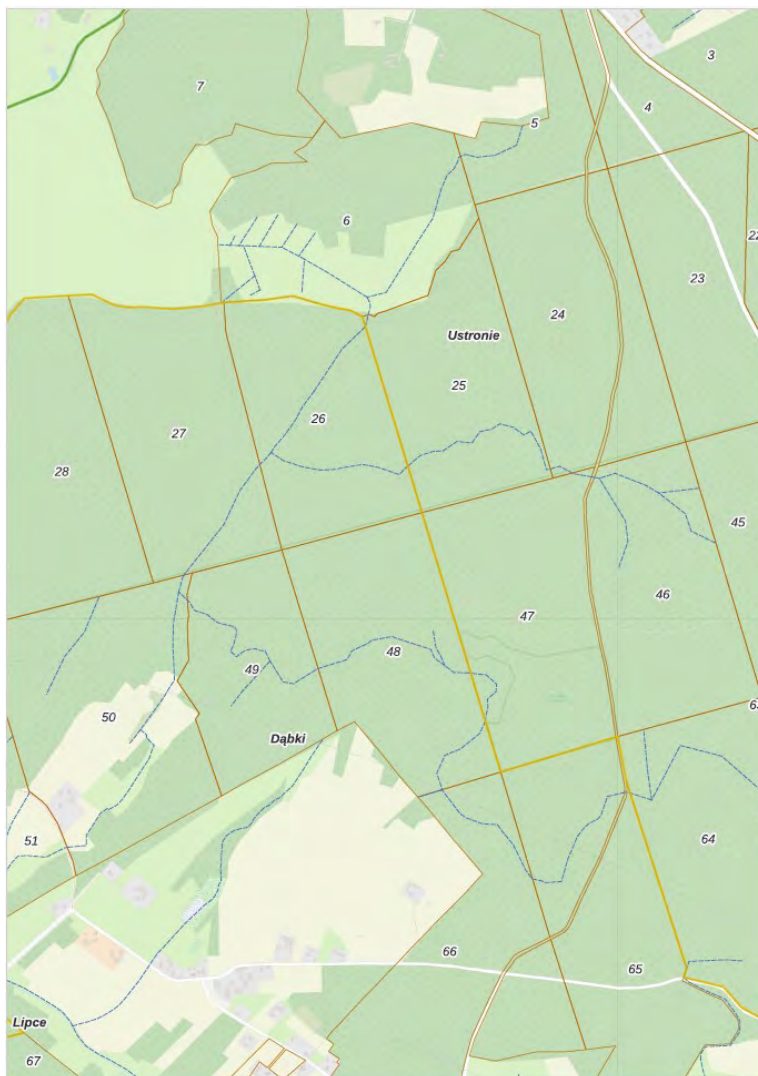


**Rycina 7**  
Pozostawione wywroty w oddz. 189c (Leśnictwo Zielony Dół).

## WNIOSKI

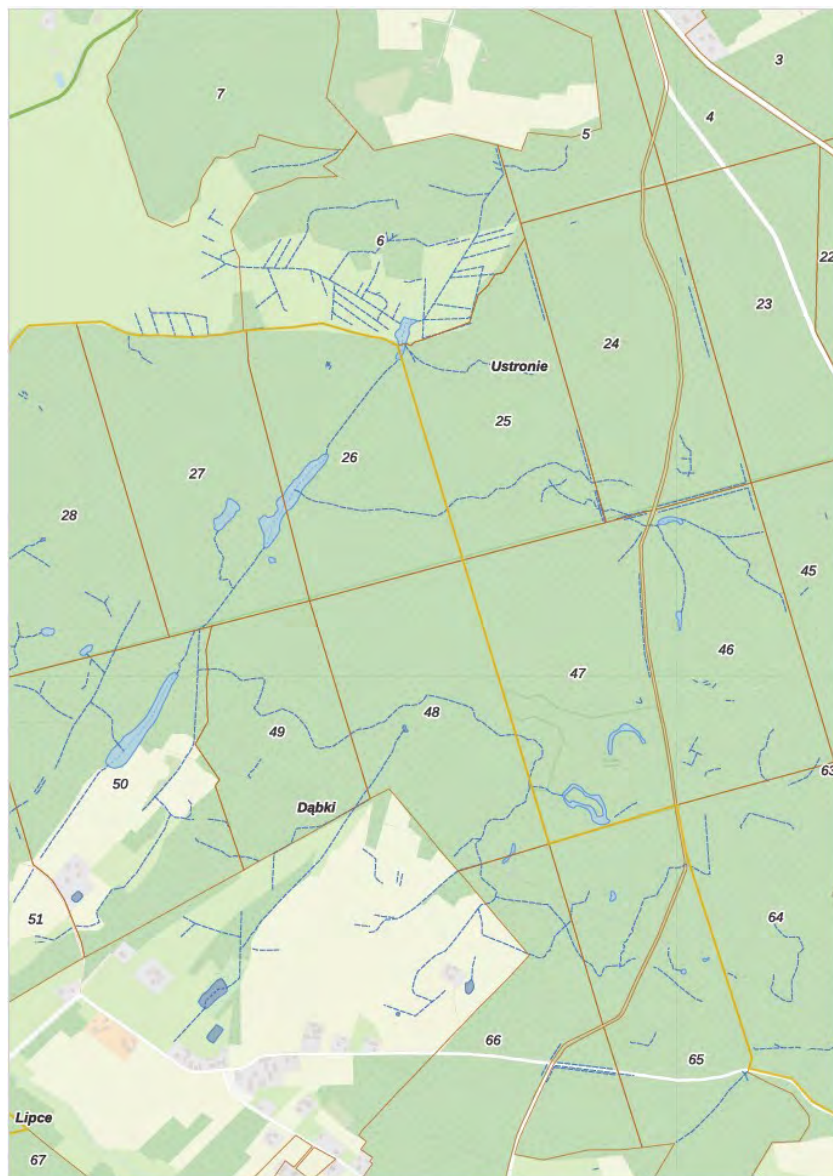
1. Przystępując do planowania ograniczania emisji CO<sub>2</sub> poprzez ponowne nawadnianie siedlisk wilgotnych w Lasach Państwowych warto posłużyć się danymi z lotniczego skanowania laserowego terenu. Dane te można pozyskiwać przy okazji kompleksowych badań przyrodniczych. Różnice w dokładności skaningu laserowego i posiadanych danych w zasobach Lasów Państwowych przedstawiają załączone do porównania mapy (Rycina 8 i 9).
2. Wszystkie podejmowane działania w zakresie ponownego nawodnienia torfowisk wymagają szerokich konsultacji i badań, w tym w obszarze hydrologii, geologii i ekologii torfowisk oraz inwentaryzacji botanicznej.
3. Występowanie torfu na siedliskach leśnych powinno skłaniać do odstąpienia od wykonywania działań gospodarczych skutkujących uruchamianiem emisji gazów cieplarnianych, biorąc pod uwagę uwarunkowania przyrodnicze i ekonomiczne. Powierzchnie takie obligatoryjnie powinny zasilić planowaną pulę 20% lasów wyłączonych z użytkowania.

4. Uwzględniając postępujące ocieplenie klimatu i jego ujemny wpływ na kondycję lasów, działania zmierzające do ponownego nawodnienia siedlisk wilgotnych powinny w Lasach Państwowych przyjąć charakter priorytetowy (Rycina 10).
5. Tematykę związaną z torfowiskami i ich znaczenie warto szerzej przedstawiać wśród lokalnej społeczności, a na pewno omówić z Zespołami Lokalnej Współpracy powołanymi we wszystkich nadleśnictwach.



**Rycina 8**

Wizualizacja cieków wodnych wg Planu Urządzenia Lasu obowiązującego dla Nadleśnictwa Woziwoda na lata 2018-2027.



**Rycina 9**

Warstwa wektorowa identyfikująca przebieg sieci hydrograficznej, opracowana metodą fotointerpretacji w oparciu o Numeryczny Model Terenu wizualizowany efektem cieniowania rzeźby terenu oraz ortofotomapę RGB.



**Rycina 10**

Ols w oddz. 64c (Leśnictwo Ustronie), powyżej wybudowanego progu piętrzącego na rowie odprowadzającym wodę.

## LITERATURA

Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych. 2023. Decyzja nr 201 DGLP z dnia 12 grudnia 2023 r. w sprawie wprowadzenia do stosowania „Kompleksowego programu przeciwdziałania procesom zamierania lasów w Polsce oraz działań mitygujących w perspektywie do 2030 roku”.

Grupa zadaniowa ds. Bioróżnorodności Europejskiej Unii Nauk o Ziemi. 2023. Odtwarzanie torfowisk: Informacje naukowe dla decydentów. <https://amu.edu.pl/dla-mediow/komunikaty-prasowe/apel-o-odtworzenie-torfowisk> (dostęp: 21.01.2024).

Komisja Europejska. 2020. Europejska Strategia Bioróżnorodności do 2030 r. pod nazwą „Przywracanie przyrody do naszego życia”. [https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030\\_en#the-business-case-for-biodiversity](https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en#the-business-case-for-biodiversity) (dostęp: 21.01.2024).



- Kotowski W. 2021. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z użytkowania gleb organicznych w Polsce oraz potencjału ich redukcji. Fundacja WWF Polska. Warszawa.
- Krajowy Sekretariat Konwencji Ramsarskiej. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. 2021. Strategia Ochrony Mokradeł w Polsce na lata 2022-2032. <https://www.gov.pl/web/gdos> (dostęp: 21.01.2024).
- Pomorskie Towarzystwo Hydrologiczno-Przyrodnicze 2020. Ocena hydrologiczna PTHP/4-2020/1
- Umowa Koalicyjna. 2023. <https://platforma.org/dokumenty/umowa-koalicyjna> (dostęp: 21.01.2024).

STEFAN KONCZAL, MARIUSZ LAMENTOWICZ, MARIUSZ BĄK,  
SAMBOR CZERWIŃSKI, PIOTR KOŁACZEK, DARIA WOCHAŁ,  
KATARZYNA MARCISZ, BOGDAN H. CHOJNICKI, KAMILA HARENDA,  
PATRYK POCZTA, MACIEJ GĄBKA, DOMINIKA JASTER,  
PAWEŁ MATULEWSKI, JAN JEDLIŃSKI, JAN NIEDZIELKO,  
JUSTYNA WYLAZŁOWSKA, MARTYNA ŻMUDA, DOMINIK ŻMUDA,  
DOMINIK KOPEĆ, STANISŁAW ROSADZIŃSKI, MARTYNA WIETECHA,  
JOANNA LANDOWSKA, JACEK LANDOWSKI\*

## REKOMENDACJE DLA OCHRONY MOKRADEŁ W LASACH

Znaczenie mokradeł dla funkcjonowania lasu, wraz z ubytkiem wody z powodu m.in. podnoszącej się globalnej temperatury, jest coraz wyraźniej dostrzegalne. Nie tylko mokradła, ale także lasy rosnące na glebach mineralnych są narażone na pogłębiającą się suszę (Dyderski i in. 2018). W efekcie w ostatnich dekadach wzrosło znaczenie mokradeł, szczególnie tych, które efektywnie przechowują nie tylko wodę, ale także materię organiczną – torfowisk. W tym kontekście także lasy bagienne (olsy, łęgi i bory bagienne) nabierają jeszcze większego znaczenia (Lamentowicz i in. 2021). Ponadto, jednym z kluczowych zadań ochrony przyrody staje się dziś odtwarzanie mokradeł, które powinno odbywać się przy znacznym wsparciu środowisk naukowych (Jabłońska i in. 2021). Brak takiego wsparcia może doprowadzić do sytuacji, w której działania podejmowane na rzecz mokradeł mogą być nieskuteczne i nieefektywne, a czasem wręcz szkodliwe. W projekcie zrealizowanym na terenie Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola staraliśmy się zebrać dane wykorzystując narzędzia badawcze stosowane z powodzeniem w wielu dyscyplinach naukowych, dzięki którym możliwe było holistyczne spojrzenie na zasoby i stan siedlisk mokradłowych. Pierwszy raz w historii udało się nam także oszacować zasoby węgla pierwiastkowego zgromadzonego w torfie w relacji do stanu i różnorodności roślinności torfowisk.

---

\* Afiliacje autorów jak w poprzednich rozdziałach.

Ponieważ obecny stan lasów i mokradeł zależy od ich historii, staraliśmy się podjąć wysiłek jej rekonstrukcji i odniesienia przeszłości do stanu obecnego. Historia lasu jest także związana historią mokradeł i wpływem człowieka na krajobraz Borów Tucholskich (Miotk-Szpiganowicz 1992). Współczesne lasy Borów Tucholskich są efektem naturalnych zmian, a od ok. 200 lat kształtowane były przez zorganizowaną gospodarkę leśną wraz z intensywnymi melioracjami. Wiele mokradeł zamarło lub zamieniono je na łąki. Ich obecny stan w dużej mierze jest wynikiem znacznych zmian krajobrazu. Dopiero teraz uzyskujemy świadomość tego, jak mocno lasy są splątane z mokradłami (Czerwiński i in. 2021). Mamy nadzieję, że to kompleksowe opracowanie stanie się punktem odniesienia dla działań związanych z odtwarzaniem torfowisk w lasach, a także podkreśli potrzebę obserwacji i prognozowania stanu tych ekosystemów w przyszłości. Szczególnie istotnym jest zaplanowanie monitoringu przepływu gazów cieplarnianych w torfowiskach Polski, dzięki czemu będziemy mogli odpowiednio oszacować redukcje emisji do atmosfery z torfowisk podlegających nawadnianiu. Ekosystemy torfowisk występujących na obszarach leśnych stanowią integralny zbiornik i pochłaniacz netto CO<sub>2</sub> z atmosfery. Szacuje się, iż roczna emisja CO<sub>2</sub> ze wszystkich zdegradowanych torfowisk w Polsce wynosi 34,6 Mt ekw. CO<sub>2</sub> (Kotowski 2021). Stawia to Polskę w grupie 10 największych światowych emiterów CO<sub>2</sub> z powierzchni zdegradowanych torfowisk. Z tego powodu niezbędne są działania, które będą służyć nie tylko ochronie, ale także poprawieniu potencjału sekwestracji węgla w torfie oraz retencji wody w torfowiskach na obszarach leśnych. Jednocześnie należy zauważyć, że działania służące ochronie, poprawie zdolności akumulacji węgla i odtwarzaniu torfowisk w lasach wzmacniają odporność ekosystemów leśnych na zmiany klimatu. Tłem niniejszego opracowania były oryginalne badania przeprowadzone w latach 2021–2023 w lasach Nadleśnictw Woziwoda i Tuchola w zasięgu administracyjnym Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu oraz dane literaturowe. Plany zarządzania ekosystemami realizowane w obrębie tych Nadleśnictw zakładają m.in. kompleksowe wdrażanie działań zwiększających odporność ekosystemów Borów Tucholskich na negatywne zjawiska wynikające ze zmian klimatycznych i adaptację do tych zmian. Wyniki badań i obserwacje terenowe skłoniły zespół projektowy do refleksji w kierunku rekomendacji działań na rzecz mokradeł na obszarach leśnych. Proponowane są następujące działania z zakresu ochrony i restytucji mokradeł:

1. Niezbędne jest rozpoznanie zasobów torfowisk w lasach i szczegółowe oszacowanie zasobów węgla na podstawie określenia miąższości

i rodzaju torfu. Opracowanie takie zrealizowane w skali całego kraju może stanowić podstawę do przygotowania ogólnych oraz szczegółowych zasad ochrony, szczególnie w kontekście obecnych i przewidywanych zmian klimatu.

2. Opracowanie planu odtwarzania torfowisk i przywracania siedlisk torfowiskowych w lasach – jedną z głównych zasad strategii odtwarzania torfowisk powinno być założenie priorytetu restytucji torfowisk (odwołanie się do rozwiązań opartych na zasobach przyrody – ang. *Nature-Based Solutions*).
3. Uproszczenie procedur realizacji działań ochronnych w planach urzędzenia lasu w ramach realizacji postulatu „zachowania lasów bagiennych i torfowisk”.
4. Uproszczenie procesu administracyjnego uzyskiwania zgód i pozwoleń przy projektowaniu działań związanych z restytucją terenów podmokłych.
5. Realizacja zasad dobrych praktyk ochrony torfowisk w lasach – ze szczególnym zakazem pozyskiwania torfu i kopiania zbiorników wodnych na torfowiskach np. w ramach lokalnych programów małej retencji w lasach czy prac utrzymaniowych na rowach meliorujących torfowiska. Nadrzędnym celem powinno być pozostawienie torfowisk w nienaruszonym stanie jako bardziej efektywny proces zarówno pod względem przyrodniczym, retencjonowania wody, jak i ekonomicznym. Należy podkreślić, że torfowiska są istotnymi zbiornikami wody w skali krajozbrazu, choć często nie widać jej na powierzchni.
6. Stosowanie prawidłowej interpretacji fitocenotycznej torfowisk przekładającej się na planowanie skutecznej ich ochrony, które powinno opierać się na gruntownym rozpoznaniu geobotanicznych wskaźników stanu zachowania i tendencji dynamiczno-rozwojowych roślinności odpowiednio dla poszczególnych typów mokradeł.
7. Zwrócenie uwagi na przemożną rolę struktury i składu warstwy mszystej w określaniu tendencji dynamicznych i natężenia czynników antropogenicznych w leśnych i nieleśnych fitocenozach torfowiskowych i błotnych, ze szczególnym uwzględnieniem obcych gatunków inwazyjnych.
8. Wytypowanie i inwentaryzacja przyrodnicza obszarów stanowiących potencjał retencji naturalnej (obszary podmokłe, naturalne niecki retencyjne, mokradła itp.) wraz z analizą możliwości ich ochrony, przesuszenia i z zachowaniem stref buforowych z wykorzystaniem szybszych,

- tańszych i dokładniejszych technik teledetekcji, w tym wielosensorowych danych lotniczych.
9. Konstrukcja ogólnopolskiego systemu obserwacji torfowisk w lasach – monitoring stanu siedlisk przyrodniczych i zasobów gatunków chronionych, przepływu węgla i dynamiki hydrologicznej oraz stanu zachowania szaty roślinnej.
  10. Potrzeba oceny efektów ochrony czynnej i restytucji torfowisk w kontekście emisji węgla z torfowisk, wymierania flory i roślinności torfotwórczej oraz ochrony siedlisk Natura 2000.
  11. Opracowanie prostej metodologii szacowania zmian wielkości wymiany gazów szklarniowych (np. redukcji emisji CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>) między torfowiskami a atmosferą w wyniku działań w kierunku restytucji torfowisk na terenach leśnych.
  12. Wprowadzenie operatów hydrologicznych jako obowiązującego elementu nowo tworzonych Planów Urządzenia Lasu dla nadleśnictw. Dane zawarte w operatach (np. miąższość i rodzaj torfu oraz stan zachowania) powinny być podstawą do dalszych działań ochronnych dla torfowisk i tworzenia skutecznych metod retencjonowania wody. Wprowadzenie cyklu szkoleń dla pracowników Lasów Państwowych (szczególnie personelu terenowego) z zakresu geologii, znaczenia, ochrony i odtwarzania obszarów torfowiskowych ze szczególnym uwzględnieniem torfowisk, prowadzonych przez specjalistów.
  13. W działaniach edukacyjnych w technikach leśnych, na uczelniach wyższych oraz w jednostkach Lasów Państwowych zwrócenie większej uwagi na znaczenie mokradeł i potrzebę ich odtwarzania.
  14. Opracowanie i wprowadzenie do użytku służbowego poradnika dla pracowników Lasów Państwowych z zakresu znaczenia, identyfikacji, ochrony i restytucji torfowisk.
  15. Zmniejszenie wykorzystania torfu w szkółkarstwie poprzez stosowanie większych powierzchni naturalnych odnowień oraz alternatyw dla podłoża torfowego.
  16. Rozbudowa systemu rolnictwa bagiennego – paludikultury w celu produkcji materii organicznej będącej zamiennikiem torfu.

Mamy nadzieję, że niniejsze opracowanie pozwoli na skuteczniejszą ochronę torfowisk w lasach oraz zainspiruje do lepszej edukacji o różnorodności biologicznej, ochronie mokradeł oraz innych cennych siedlisk w Polsce. Istnieje ogromna

potrzeba pełniejszego poznania i edukacji o mokradłach w Polsce, ponieważ problematyka ta jest ciągle słabo znana.

## LITERATURA

- Czerwiński S., Guzowski P., Lamentowicz M., Gałka M., Karpińska-Kołaczek M., Poniat R., Łokas E., Diaconu A.-C., Schwarzer J., Miecznik M., Kołaczek P. 2021. Environmental implications of past socioeconomic events in Greater Poland during the last 1200 years. Synthesis of paleoecological and historical data. *Quaternary Science Reviews* 259: 106902.
- Dyderski M.K., Paż S., Frelich L.E., Jagodziński A.M. 2018. How much does climate change threaten European forest tree species distributions. *Global Change Biology* 24: 1150-1163.
- Jabłońska E., Kotowski W., Giergiczny M. 2021. Projekt Strategii ochrony mokradel w Polsce na lata 2022-2032. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Kotowski W. 2021. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych z użytkowania gleb organicznych w Polsce oraz potencjału ich redukcji. Fundacja WWF Polska.
- Lamentowicz M., Chojnicki B.H., Marcisz K., Słowiński M., Kołaczek P., Kotowski W. 2021. Znaczenie torfowisk dla bilansu węgla w lasach w kontekście globalnego ocieplenia i kryzysu ekologicznego. [w:] Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.) *Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku. Materiały konferencyjne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. ss. 35-57.
- Miotk-Szpiganowicz G. 1992. The history of the vegetation of Bory Tucholskie and the role of man in the in the light of palynological investigations. *Acta Paleobotanica* 32: 39-122.

Mokradła, w tym torfowiska, stanowiły i stanowią zasoby trudne do przecenienia w kontekście ich wartości przyrodniczej, gospodarczej i kulturowej. Mimo tego, należą do najszybciej ginących układów ekologicznych na Ziemi, choć pełnią szereg usług ekosystemowych, wnosząc istotny wkład w dobrobyt człowieka. Zachowanie istniejących mokradeł oraz restytucja mokradeł zdegradowanych to jedna z dróg adaptacji lasów i leśnictwa do zmiany klimatu. Wszelkie działania w tym zakresie powinny bazować na rzetelnej wiedzy naukowej oraz jak najlepszym rozpoznaniu zasobów przyrodniczych w planowanym do objęcia ochroną obiekcie i jego otoczeniu.

Niniejsza monografia nie tylko wzbogaca stale poszerzany katalog dobrych praktyk w zakresie ochrony ekosystemów mokradłowych, ale także stanowi ważne opracowanie, które wnosi wiele ciekawych informacji o przyrodzie Borów Tucholskich.

Rekomendacje przedstawione w monografii nie odnoszą się jedynie do Borów Tucholskich, ale dalece wykraczają poza te „ramy geograficzne”. Mogą one zostać wykorzystane w innych obiektach wymagających ochrony, a także uwzględnione w opracowywanych strategiach ochrony mokradeł, nie tylko na terenach leśnych i zarządzanych przez Lasy Państwowe. Ponadto, treści przedstawione w monografii mogą wesprzeć proces kształtowania świadomości ekologicznej społeczeństwa opartego na wiedzy, a także wrażliwości na złożoność i piękno rodzimej przyrody, przyczyniając się do zrozumienia istoty zrównoważonego użytkowania i ochrony mokradeł, a także mądrego i pełnego szacunku dla przyrody zarządzania nimi.

*Andrzej M. Jagodziński*  
Instytut Dendrologii  
Polskiej Akademii Nauk

## Realizacja projektu:

Iceland   
Liechtenstein  
Norway grants

 UNIwersYTET  
IM. ADAMA MICKIEWICZA  
W POZNANIU

 NARODOWY FUNDUSZ  
OCHRONY ŚRODOWISKA  
i GOSPODARKI WODNEJ

 NINA  
Norwegian Institute for Nature Research



**Nadleśnictwo Woziwoda**



**Nadleśnictwo Tuchola**

ISBN: 978-83-67959-36-0  
eISBN: 978-83-67959-37-7