

GEOMORFOLOGICZNA I HYDROGRAFICZNA CHARAKTERYSTYKA REZERWATU PRZYRODY „DŁUGOSZ KRÓLEWSKI” W PUSZCZY NIEPOŁOMICKIEJ

GEOMORPHOLOGIC AND HYDROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE DŁUGOSZ KRÓLEWSKI
RESERVE IN THE NIEPOŁOMICE FOREST

Adam ŁAJCZAK

Instytut Ochrony Przyrody PAN, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków

Abstract: The Długosz Królewski (Royal Fern) Reserve was established to protect the fern *Osmunda regalis*. It is located in the southern part of the Niepołomice Forest with sandy dunes dominating the landscape. This species prefers a fresh mixed coniferous forest habitat, with an average groundwater level of 0.5 to 1.0 m during the vegetation season. Land improvement works initiated in 1820 led to a local drying out of the land and to a lowering of the groundwater levels in soils of low capillary capacity. The long lasting water deficits in the soil may lead to a limitation of the range of *Osmunda regalis*. Studies carried out in the reserve provide information on the water balance, and more particularly on the water-related properties of the soil in typical habitats of this area. Particular attention was focused on the areas of concentrated occurrence of the protected fern species. Based on the results obtained, a set of optional solutions was proposed to improve the previously altered water balance in the reserve.

Key words: *Osmunda regalis*, land improvement, habitat, water-related characteristics of the soil, restoration of natural water balance, Niepołomice Forest, southern Poland.

Manuscript received: April 1997

accepted: July 1997

Treść: Rezerwat „Długosz Królewski” ustanowiony dla ochrony paproci *Osmunda regalis* znajduje się w południowej pokrytej wydłami części Puszczy Niepołomickiej. Gatunek ten preferuje siedlisko boru mieszanego świeżego o średniej głębokości zalegania wody gruntowej w okresie wegetacyjnym 0,5–1,0 m. Prace melioracyjne prowadzone od 1820 r. doprowadziły do lokalnego osuszenia terenu i obniżenia zwierciadła wód gruntowych w glebach o niskiej kapilarnej pojemności wodnej. W rezultacie długotrwałych niedoborów wilgoci w glebie nawet w ciągu paru lat może dojść do znacznego ograniczenia zasięgu występowania *Osmunda regalis*. Badania przeprowadzone w rezerwacie dostarczyły informacji o stosunkach wodnych, a zwłaszcza właściwościach wodnych gleb w typowych dla tego obszaru siedliskach, ze szczególnym zwróceniem uwagi na obszary masowego występowania chronionego gatunku paproci. Na tej podstawie zaproponowano wariantowe rozwiązania mogące poprawić wcześniej zmienione stosunki wodne w rezerwacie.

CEL, MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Melioracje w warunkach klimatu Polski polegające na odwadnianiu terenu wywierają często destrukcyjny wpływ na siedliska hydrogeniczne ukształtowane przez nadmiar wody w glebie. Wprowadzają więc istotne, niekiedy niebrane pod uwagę na etapie badań studialnych, zmiany w środowisku przyrodniczym obszarów. Celem melioracji jest dążenie do ukształtowania w glebie stosunków wodnych optymalnych z punktu widzenia upraw rolnych, a także leśnych. W tej

sytuacji należy dążyć do osiągnięcia takich zmian w stosunkach wodnych przekształcanych siedlisk, by w długookresowej perspektywie uprawa była efektywna (Okruszkowski 1979).

Odwadnianie siedlisk leśnych wywołuje negatywne skutki w kondycji zbiorowisk roślinnych, wynikające z wydłużonego okresu głębszego przesuszenia gleby. Wówczas system korzeniowy może być nawet odizolowany od strefy podsiąku kapilarnego. Sytuacja ta ostro uwidacznia się w zbiorowiskach leśnych na glebach piaszczystych,

przykładowo w Puszczy Niepołomickiej (Ćwikowa, Lesiński 1981, Suliński 1981, Adamczyk 1984, Fajto 1984).

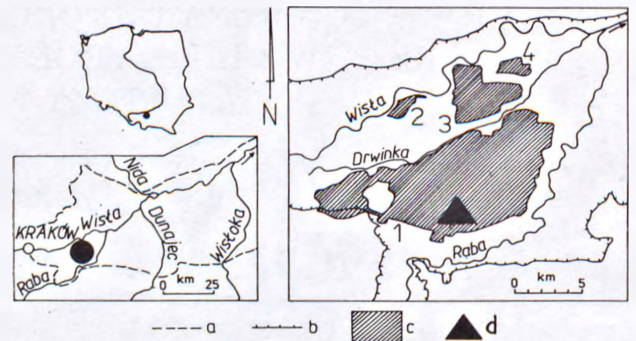
Szczególnie czule na zmiany wilgotnościowe wywołane pracami melioracyjnymi są gatunki czy zespoły roślinne preferujące obszary trwale lub okresowo podmokłe lub z płytko występującą wodą gruntową. Do takich gatunków należy paproć długosz królewski *Osmunda regalis*, porastający obszary z płytko występującą wodą gruntową w południowej części Puszczy Niepołomickiej. Jeden z oddziałów leśnych puszczy został wydzielony jako rezerwat florystyczny „Długosz Królewski”, chroniący ten gatunek paproci. Po długotrwałych suszach atmosferycznych gatunek ten zanika nawet w ciągu paru lat, a jego ostoją stają się głębokie rowy odwadniające.

Celem badań była analiza rzeźby i stosunków wodnych w wymienionym rezerwacie i w jego otoczeniu oraz niektórych zmian w hydrografii obszaru wywołanych przez utworzenie rowów odwadniających. Zaproponowano wariantowe sposoby zmierzające do częściowej poprawy stosunków wodnych w najniższej położonych obszarach rezerwatu w celu ustabilizowania wysokiego uwilgotnienia gleby jako warunku umożliwiającego dalszą egzystencję chronionego gatunku paproci.

Prezentowane opracowanie w przeważającej części jest oparte na danych z literatury. Z cytowanych prac na szczególną uwagę zasługują publikacje Sulińskiego (1981) i Adamczyka (1984) omawiające stosunki wodne i glebowe głównego uroczyska Puszczy Niepołomickiej, a szczególnie jego południowej części gdzie występuje gatunek *Osmunda regalis*. W tych pracach zanalizowano także zmiany w stosunkach wodnych pod wpływem melioracji. Wiele informacji o stosunkach wodnych Puszczy Niepołomickiej wnosi praca Bzowskiego (1973), ogranicza się ona jednak do północnej części puszczy. Brak natomiast szczegółowych informacji odnoszących się wyłącznie do rezerwatu „Długosz Królewski”. W tym celu przeprowadzono kartowanie morfologiczne i hydrograficzne rezerwatu i jego otoczenia w skali 1:5000. Wykonano pomiary wsiąkania z zastosowaniem cylindra Burgera oraz pomiary właściwości wodnych gleb metodą cylindrów Kopecky'ego w 30 stanowiskach w obrębie różnych form terenu, różnych gleb i zbiorowisk roślinnych. Badania przeprowadzono jesienią 1996 r., kiedy zwierciadło wód gruntowych zalegało płytko a w znacznej części rezerwatu występowały rozlewiska. Pomiary wsiąkania i pobór próbek gleby do cylindra Kopecky'ego dokonano na głębokości: 0–10, 20–30, 50–60, 90–100, 140–150 i 190–200 cm. W obszarach nie podtopionych za pomocą świdra glebowego oceniono głębokość lokalnego występowania rudawca oraz zwierciadła wody gruntowej. W wyborze stanowisk pomiarowych uwzględniano miejsca z masowo występującym gatunkiem *Osmunda regalis*, miejsca z jego rzadkim występowaniem i miejsca, gdzie gatunek ten nie występuje. Niektóre informacje dotyczące zmian w stosunkach wodnych rezerwatu i otoczenia uzyskano drogą wywiadu z pracownikami Nadleśnictwa Niepołomice w Stanisławicach i mieszkańcami tej miejscowości.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PUSZCZY NIEPOŁOMICKIEJ

Puszcza Niepołomicka o powierzchni 10 846 ha leży w zachodniej części Kotliny Sandomierskiej w międzyrzeczu Wisły i Raby (ryc. 1). Rezerwat florystyczny „Długosz Królewski” znajduje się w południowej części głównego uroczyska puszczy. Obejmuje on oddział leśny nr 267 Nadleśnictwa Niepołomice w Stanisławicach.

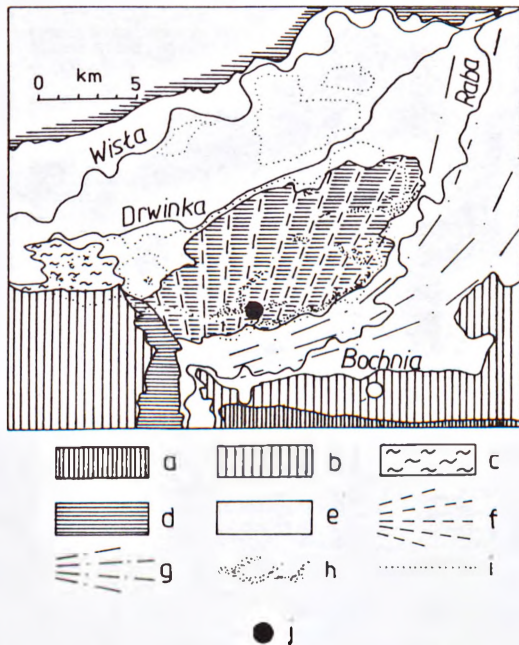


Ryc. 1. Położenie Puszczy Niepołomickiej i rezerwatu przyrody „Długosz Królewski”; a – granice Kotliny Sandomierskiej, b – zasięg doliny Wisły i doliny Raby, c – obszar puszczy (1 – główne uroczysko, 2 – uroczysko Koło, 3 – uroczysko Grobla, 4 – uroczysko Grobelczyk), d – położenie rezerwatu przyrody w południowej części głównego uroczyska.

Fig. 1. Location of the Niepołomice Forest and the Długosz Królewski Reserve; a – borders of the Sandomierz Basin, b – range of the Wisła and Raba River valleys, c – area of the Niepołomice Forest (1 – main range, 2 – range of Koło, 3 – range of Grobla, 4 – range of Grobelczyk), d – location of the nature reserve in the southern part of the main range.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I RZEŻBY GŁÓWNEGO UROCZYSKA PUSZCZY

Puszcza Niepołomicka zajmuje szerokie sterasowane dno doliny Wisły wyścielone piaszczysto-zwirowymi osadami czwartorzędowymi, zalegającymi na ilastych osadach miocenu. Na obszarze głównego uroczyska puszczy i w jego sąsiedztwie wyróżniono trzy poziomy terasowe: terasę zalewową, nadzalewową oraz vistuliański stożek napływowy Raby (ryc. 2) (Starkel 1972, Atlas ... 1979, Gilewska, Starkel 1980). Terasa nadzalewowa wyznacza zasięg holocenijskiego stożka napływowego Raby rozpościerającego się od okolic Stanisławic i stanowiącego bogaty zbiornik wód podziemnych. Z tego obszaru przed wykonaniem rowu odwadniającego prowadzącego wzdłuż linii kolejowej i późniejszej melioracji łąk, do głównego uroczyska puszczy infiltrowały znaczne ilości wód gruntowych. Vistuliański stożek napływowy Raby jest zbudowy z piaszczysto-zwirowych utworów fluwio-glacialnych i wznosi się ponad terasę nadzalewową do wys. 206 m npm. Po zachodniej stronie stożka występuje zdegradowana równina morenowa ze zlodowacenia krakowskiego, w obrębie której kulminuje ostańcowy pagór Kobyla Góra (213,4 m npm.) (Atlas ... 1979, Gilewska, Starkel 1980). W schyłkowym okresie



Ryc. 2. Jednostki morfologiczne na obszarze Puszczy Niepolomickiej i w jej otoczeniu: a – Pogórze Karpackie, b – wysoczyzny przykarpackie, c – równina morenowa ze zlodowacenia południowopolskiego, d – wysokie terasy plejstoceny, e – terasa nadzalewowa i zalewowa holoceny, f – fragment plejstoceny stożka napływowego Raby, g – holoceny stożek napływowy Raby, h – ciągi wydmore, i – granice uroczysk leśnych puszczy, j – położenie rezerwatu przyrody

Fig. 2. Morphological units in the Niepolomice Forest and its surroundings: a – Carpathian Foothills, b – plateaus near the edge of Carpathians, c – Moraine plain of the southern Poland glaciation, d – high Pleistocene terrace, e – Holocene flood terrace and meadow terrace, f – fragment of a Pleistocene alluvial cone of the Raba River, g – Holocene alluvial cone of the Raba River, h – dunes, i – borderlines of the forest range in the Niepolomice Forest, j – location of the nature reserve

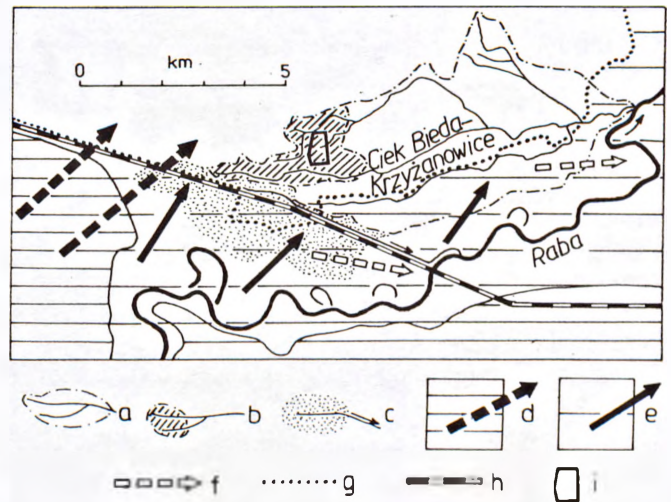
ostatniego zlodowacenia najstarsza terasa uległa zwymdieniu (Izmailow 1975). Najwyższa wydma osiągająca 214,1 m n.p.m. wznosi się 17,2 m nad sąsiednią niższą deflacyjną (Duża Bieda).

SIEĆ CIEKÓW WODNYCH I ZMIANY WYWOŁANE PRZEZ MELIORACJĘ W POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI GŁÓWNEGO UROCZYSKA PUSZCZY

Współczesna sieć cieków wodnych w Puszczy Niepolomickiej obejmuje naturalne linie spływu wody i rowy odwadniające. Bieg wielu cieków uległ zmianom na skutek prac melioracyjnych. Rezerwat „Długosz Królewski” wraz z sąsiednimi oddziałami leśnymi leży w zlewni ciek Bieda-Krzyżanowice uchodzącego do Raby poniżej Proszówek. Ciek ten odwadnia południową część głównego uroczyska puszczy, a także znaczną część terasy nadzalewowej Raby (ryc. 3). Przed budową linii kolejowej (połowa XIX w.) i melioracją terasy (lata 1950-te) zlewnia topograficzna ciek obejmowała od południa większy obszar. Jeszcze więk-

szy obszar ma zlewnia hydrogeologiczna ciek, zasilana z aluwialnego dna doliny Raby i przez brzesny obszar Wysoczyzny Wielicko-Gdowskiej. Obszar położony dalej na północ od rezerwatu odwadnia potok Traczówka, dopływ Drwinki. Dział wodny zlewni ciek Bieda-Krzyżanowice, jak również działy wodne niższego rzędu są w obniżeniach międzywymowych niewyraźne; w tych miejscach ciek są połączone rowami odwadniającymi. W najniższej położonych obszarach między wydmiami dużą powierzchnię zajmują podmokłości.

Prace odwadniające na obszarze głównego uroczyska Puszczy Niepolomickiej rozpoczęto już po 1820 r. (Smólski 1981). Wykonane wówczas rowy miały 1,8–3,6 m szerokości i 1,2–1,8 m głębokości. Odpływ rowami był skierowany w kierunku Drwinki i Raby. Obecnie istniejące rowy melioracyjne pochodzą z lat 1904–1932 (Suliński 1981). Po 1950 r. rowy uległy znacznemu zamuleniu i nie spełnia-



Ryc. 3. Szkic hydrograficzny południowej części głównego uroczyska Puszczy Niepolomickiej: a – zlewnia ciek Bieda-Krzyżanowice, b – górna część zlewni ciek szczególnie omówiona w tekście, c – część zlewni topograficznej ciek położona w obrębie terasy nadzalewowej Raby odcięta od reszty zlewni w wyniku zdrenowania obszaru rowem prowadzącym wzdłuż nasypu kolejowego, d – zasilanie ciek wodami dopływającymi spoza zlewni topograficznej (z wysokiej terasy Raby i wysoczyzny Wielicko-Gdowskiej), e – zasilanie ciek wodami dopływającymi spoza zlewni topograficznej (wody aluwialne z doliny Raby), f – zwiększony drenaż wód gruntowych w kierunku pogłębianego koryta Raby, g – południowy zasięg głównego uroczyska puszczy, h – nasyp linii kolejowej, i – położenie rezerwatu przyrody.

Fig. 3. Hydrographic sketch of the southern part of the main range of Niepolomice Forest: a – catchment area of the Bieda-Krzyżanowice water course, b – upper part of the catchment area described in detail in the text, c – part of the topographic catchment area located within the meadow terrace of the Raba River, isolated from the remaining parts of the catchment area with a drainage ditch along the railway embankment, d – water inflow from outside the topographic catchment area (from the high terrace of Raba River and the Wieliczka-Gdów plateau), e – water inflow from outside the topographic catchment area (alluvial waters from the Raba River valley), f – increased draining of groundwater towards the deepened Raba River bed, g – southern limit of the main range of the Niepolomice Forest, h – railway embankment, i – location of the nature reserve.

ły funkcji odwadniającej (Fieber, Mączyński 1958). Z wyjątkiem najdłuższych prawobrzeżnych dopływów Drwinki wszystkie cieki na obszarze głównego uroczyska puszczy, w tym wszystkie cieki w jego południowej części, są sztucznego pochodzenia (Kędzior 1929, Fieber, Mączyński 1958). Najprawdopodobniej sztuczną genezę ma ciek Bieda-Krzyżanowice i jego dopływy odwadniające teren rezerwatu wraz z otoczeniem. Na takie pochodzenie cieków wskazuje rzeźba terenu, charakteryzująca się płytkimi nieckami, wcześniej bezodpływowymi a obecnie połączonymi rowami melioracyjnymi.

Po 1960 r. przystąpiono do pogłębiania rowów odwadniających w Puszczy Niepołomickiej. Udrożniono 113 km cieków, co zwiększyło gęstość wszystkich cieków na obszarze głównego uroczyska puszczy do 1,41 km/km² powierzchni leśnej (Siorek 1968). Łącznie z ciekami, które były brane pod uwagę w dalszych planach melioracyjnych i rowami, które zostały później utworzone, gęstość cieków wzrosła do 2,41 km/km² (Suliński 1981). Uwaga meliorantów została skoncentrowana na wydłużeniu sieci rowów podstawowych o największej głębokości.

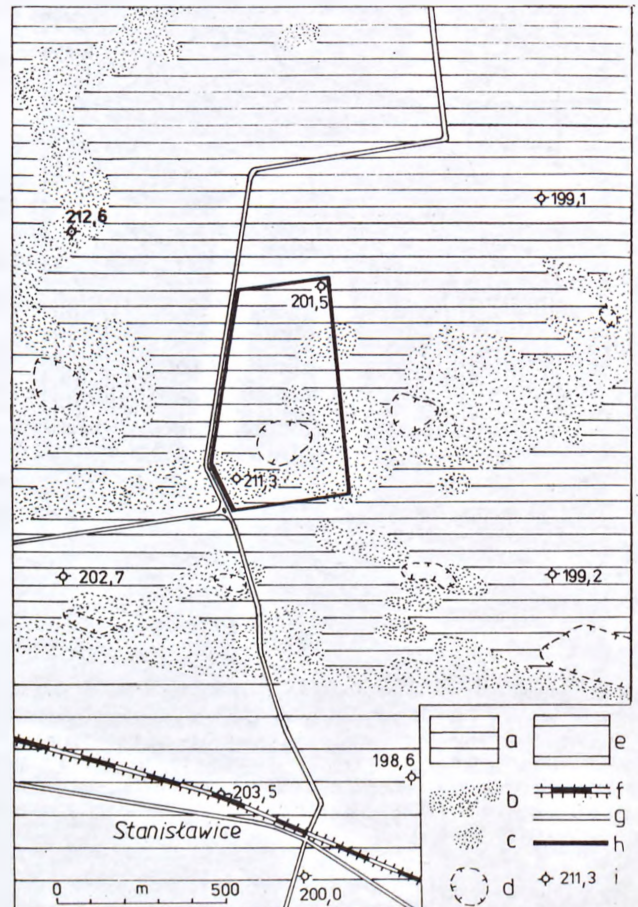
CHARAKTERYSTYKA RZEŻBY I STOSUNKÓW WODNYCH REZERWATU PRZYRODY

UKSZTAŁTOWANIE TERENU

W rzeźbie rezerwatu „Długosz Królewski” wyróżnia się wał wydmowy oraz obniżenia międzywydymowe (ryc. 4). W obrębie wału wydmowego znajdują się dwie wydmy paraboliczne o deniwelacjach dochodzących do 7,5 m. Po zachodniej stronie większej wydmy występuje zabagniona obecnie nisza deflacyjna a w sąsiedztwie niskie 1–3 m wysokości piaszczyste pagóry. Około połowę powierzchni chronionego obszaru zajmuje płaska, podmokła i miejscami zabagniona równina piaszczysta między długimi ciągami wydmowymi. Teren rezerwatu generalnie obniża się w kierunku północnym. Kulminacyjny punkt na wydmie w południowo-zachodniej części rezerwatu osiąga 211,3 m npm., w najniższym północno-wschodnim narożniku omawianego obszaru wysokość wynosi 201,5 m npm.

DOSTAWA WODY

Puszcza Niepołomicka, położona w obszarze o najdłużej trwającym okresie wegetacyjnym i najwyższych temperaturach miesięcy letnich w Polsce, cechuje się dużymi stratami w bilansie wodnym spowodowanymi wysoką ewapotranspiracją. Przy średnim opadzie rocznym w południowej części głównego uroczyska puszczy równym 725 mm, parowanie terenowe obliczone metodą Konstantinowa pochłania około 540 mm warstwę wody. W półroczu letnim (V–X) spada 475 mm opadu a paruje 420 mm, w półroczu zimowym (XI–IV) wartości te wynoszą odpowiednio 250 i 120 mm. Miesięczne wartości parowania terenowego w okresie bez pokrywy śnieżnej są na tym obszarze puszczy najwyż-



Ryc. 4 Szkic morfologiczny rezerwatu przyrody „Długosz Królewski” i otoczenia. a – płaska powierzchnia wistulianskiego stożka napływowego Raby, b – ciągi wydmowe, c – izolowane niskie pagóry piaszczyste, d – niecki deflacyjne, e – holocenska terasa nadzalewowa Raby, f – nasyp linii kolejowej, g – niskie nasypy drogowe, h – granice rezerwatu przyrody, i – wybrane punkty wysokościowe.

Fig. 4. Morphological sketch of the Długosz Królewski Reserve and its surroundings; a – flat surface of the wistulian alluvial cone of the Raba River, b – dunes, c – isolated low sandy hills, d – deflation basins, e – Holocene meadow terrace of the Raba River, f – railway embankment, g – low road embankments, h – borderlines of the nature reserve, i – selected benchmarks.

sze w Polsce: od kwietnia do lipca rosną od 50 do 95 mm, by później zmaleć do 23 mm w październiku (Atlas ... 1987).

Woda z pokrywy śnieżnej ma mniejszy udział w odnawianiu zasobów wodnych podłoża puszczy, aniżeli opady w okresie letnio-jesiennym. Retencja śnieżna trwa tylko przez 79 dni w roku w potencjalnym okresie między 23 listopada i 28 marca, a na jej formowanie przypada 16% sumy rocznej opadu. Średnia największa grubość pokrywy śniegu wynosi od stycznia do marca 20 cm. Maksymalny zapas wody w pokrywie o prawdopodobieństwie wystąpienia 50% osiąga 50 mm, o prawdopodobieństwie wystąpienia 10% – 100 mm a 1% – 170 mm (Atlas ... 1987).

Trudne do oszacowania ilości wody infiltrują do piaszczysto-zwirowego podłoża puszczy z doliny Raby i sąsiednich pagórów Wysoczyzny Wielicko-Gdowskiej. Około 3 m pogłębienie koryta Raby, jakie dokonano się w ostatnim

stuleciu (Wyżga 1993), musiało zwiększyć zasięg i rozmiary drenowania wód gruntowych do tej rzeki kosztem ich odpływu w kierunku puszczy. Sytuacja ta została rozpoznana jako typowa w dolinach rzek w Kotlinie Sandomierskiej, gdzie pogłębione koryta rzeczne drenują duże ilości wód aluwialnych i stokowych (Wilgat, Kowalska 1975, Kleczkowski 1991). Z kolei wysoki nawet na ponad 4 m nasyp kolejowy od połowy XIX w. ogranicza wysokość i czas zatapienia terasy Raby w sąsiedztwie południowego skraju puszczy podczas największych wezbrań (po raz ostatni sytuacja ta wystąpiła w lipcu 1934 r.). Malejące zasilanie infiltracyjne podłoża głównego uroczyska puszczy wodami aluwialnymi z doliny Raby zostało pogłębione na skutek wykonania rowu odwadniającego o około 1,5 m głębokości, prowadzącego wzdłuż nasypu kolejowego, a także na skutek zmeliorowania depresyjnego i lokalnie wcześniej zabagnionego obszaru położonego na terasie nadzalewowej Raby na południe od pierwszego ciągu wydm na terenie puszczy.

GLĘBOKOŚĆ WYSTĘPOWANIA WÓD GRUNTOWYCH

W otoczeniu rezerwatu dominuje infiltracyjno-retencyjny typ krążenia wody, wskutek czego górna część profilu glebowego cechuje się dużą zmiennością uwilgotnienia. Średnia głębokość pierwszego zwierciadła wody gruntowej o przeplywowym charakterze wynosi na większości obszaru 30–70 cm. Według Sulińskiego (1981) zwierciadło wody gruntowej może w obniżeniach między wydmami okresowo występować na głębokości 200 cm, a na wydmach na głębokości nawet poniżej 4 m. Duże okresowe niedobory wody glebowej w strefie aeracji w południowej zwymnionej części puszczy są spowodowane niskim wznosem kapilarnym i niewielką pojemnością wodną gleb piaszczystych.

Wieloletnie obserwacje stanów wód gruntowych w posterunku pomiarowym Poszyna w zwymnionej części Puszczy Niepołomickiej wskazują, iż wysokie długotrwałe stany wód występują w marcu i kwietniu oraz w czerwcu, a minimalne między wrześniem i styczniem (Dynowska, Pietrygowa 1979). Taki charakter wahań stanów wód gruntowych wskazuje na efektywne zwiększanie zasobów wód podczas roztopów, jest ono jednak ograniczone do krótkiego czasu. W okresie wegetacyjnym nawet wysokie opady letnie nie są w stanie długotrwałe zwiększyć zasobów wód gruntowych w utworach piaszczystych puszczy. Zasoby wód ulegają szczytowemu wyczerpaniu głównie na drodze ewapotranspiracji. W okresie jesienno-wczesnozimowym (do pierwszych roztopów) stany wód ulegają systematycznemu obniżaniu.

ZASOBY WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Południowa część głównego uroczyska Puszczy Niepołomickiej odznacza się niewielkimi zasobami wodnymi. Z danych przedstawionych w Atlasie Hydrologicznym Polski (1987) wynika, że średni odpływ na tym obszarze osiąga 8 l/s/km² (~200 mm). Wielkość ta stanowi 28% sumy opadów rocznych i jest 2,7 razy mniejsza od wskaźnika parowania terenowego. Ze względu na niewielką retencyjność podłoża uwarunkowaną lokalnie bardzo płytkim występowaniem

iłów miocenu, odpływ powierzchniowy może się wahać w szerokim zakresie. Maksymalny odpływ o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% osiąga 750 l/s/km², a o prawdopodobieństwie wystąpienia 50% 200 l/s/km². Średni niski odpływ kształtujący się na poziomie 1,4 l/s/km² osiąga jedne z najniższych wartości w kraju. Jego wielkość o prawdopodobieństwie wystąpienia 50% wynosi 1,50 l/s/km² a o prawdopodobieństwie 1% obniża się do 0,68 l/s/km².

Sezonowy cykl odpływu drogą powierzchniową nawiązuje do wahań stanów wód gruntowych. Największe wartości odpływu stwierdza się wiosną i latem, a najniższe (długotrwałe i głębokie niżówki) między listopadem i lutym (Atlas... 1987).

Przedstawione wartości wskazują na głębokie deficyty wody obejmujące warstwę gleby nawet głębszą od strefy zakorzenienia roślin, zdarzające się najczęściej w drugiej połowie okresu wegetacyjnego. Potwierdzają to informacje dotyczące kondycji zbiorowisk roślinnych w puszczy w warunkach niskich stanów wód gruntowych w okresie wegetacyjnym, zwłaszcza jeśli taka sytuacja zaistnieje w okresie tzw. pędzenia – kwiecień i maj oraz w okresie drugiego szczytu zapotrzebowania na wodę – lipiec i sierpień (Suliński 1981, Adamczyk 1984). Okresowe niedobory wody zostały pogłębione w wyniku zmniejszenia zasilania infiltracyjnego ze zbiornika aluwialnego w dolinie Raby, a także przyspieszonego odpływu płytkich wód gruntowych w rowach odwadniających.

SIEĆ CIEKÓW I OBSZARY PODMOKLE

Na obszarze rezerwatu i w jego otoczeniu woda odpływa drogą powierzchniową wyłącznie ciekami sztucznego pochodzenia. Długość rowów w obrębie rezerwatu wynosi 1200 m, co daje gęstość cieków równą 4,90 km/km², czyli znacznie większą niż w całym obszarze głównego uroczyska puszczy. Łącznie z terenem otaczającym rezerwat i wchodzącym w obręb zlewni topograficznych rowów odwadniających jego obszar, całkowita długość cieków wynosi około 9600 m a ich gęstość osiąga 6,1 km/km² (ryc. 5). Szerokość rowów zawiera się w granicach 0,5–1,0 m, a głębokość od 0,4 do 1,0 m. Trwałe przed melioracją podmokłości występują obecnie w najniższych zagłębieniach międzywydmowych. Na terenie rezerwatu i w jego sąsiedztwie zajmują one około 10% powierzchni. Obszary podmokłe zajęte przez bór bagienny i olesy ulegają w niektórych latach długotrwałemu przesuszaniu. Ostatnio taka sytuacja miała miejsce latem i jesienią 1994 i 1995 r.

ZRÓŻNICOWANIE ZDOLNOŚCI INFILTRACYJNYCH GLEB

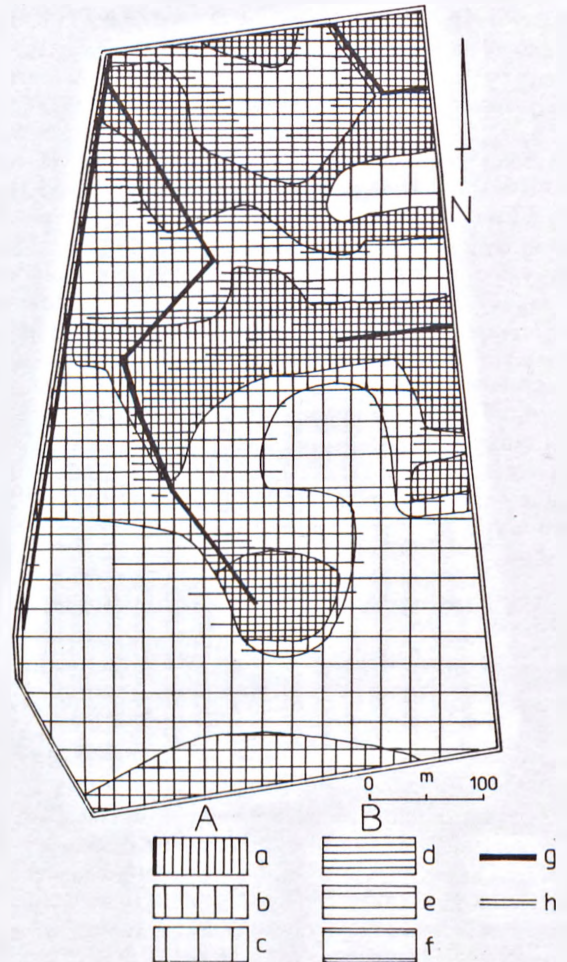
Pomiary szybkości wsiąkania wody wykazały znaczne zróżnicowanie współczynnika infiltracji na obszarze rezerwatu (ryc. 6). Rezultaty badań są zbieżne z wynikami przedstawionymi przez Sulińskiego (1981). Na szybkość wsiąkania wody wpływa ukształtowanie terenu, skład granulometryczny gleb oraz charakter zbiorowisk roślinnych. Szybkość wsiąkania wody wykazuje zróżnicowanie w profilu głębokościowym gleby. Przyjmując zakresy wartości współczynnika infiltracji ($m s^{-1}$) podane przez Pazdrę (1977), najko-



Ryc. 5 Sytuacja hydrograficzna na obszarze rezerwatu „Długosz Królewski” i w otoczeniu. a – suche wyżej wzniesione obszary piaszczyste, b – nisko położone obszary okresowo silnie uwilgotnione, c – najniższe położone obszary na ogół trwale podmokłe, d – rowy odwadniające i kierunki drenazu, e – granice zlewni topograficznych rowów odwadniających teren rezerwatu, w obrębie których proponuje się rozpoczęcie zabiegów zmierzających do renaturalizacji stosunków wodnych, f – niskie działy wodne przecięte przez rowy odwadniające, g – drogi leśne, h – granice rezerwatu przyrody.

Fig. 5. Hydrographic conditions in the reserve and its surroundings; a – dry sandy area (as mentioned above), b – low areas (periodically wet), c – lowest areas (permanently wet), d – draining ditches and drainage flow directions, e – borderlines of the topographic catchment areas of the reserve's drainage ditches for which natural water balance restoration measures are proposed, f – low watershed sectioned by drainage ditches, g – forest ways, h – borderlines of the nature reserve.

rzystniejszymi warunkami infiltracji – w zakresie „dobre” – cechują się gleby piaszczyste (piaski średnie i drobne) na wałach wydymowych zajęte przez bór mieszany suchy. Wraz z głębokością szybkość wsiąkania wody w piaskach wydymowych na ogół maleje i na głębokości poniżej 2 m zdolność infiltracyjna gruntu mieści się w zakresie „słaba”. Podnóża wału wydymowego i niskie wzniesienia piaszczyste zajęte przez bór mieszany suchy i świeży cechuje współczynnik infiltracji z zakresu „dobry” lub „średni”, który w dolnej części strefy aeracji obniża się do poziomu „słaby” (głina piaszczysta). Gleby najniższej położonych obszarów w obniżeniach międzywymowych, rozwinięte na glinach piaszczystych z przewarstwieniami ilastymi, w większości zajęte przez bór bagienny i olesy, cechują się najmniej korzystnymi warunkami wsiąkania wody (dominuje infiltracja z klasy „słaba” a lokalnie nawet odpowiadająca klasie –



Ryc. 6 Zróżnicowanie zdolności infiltracyjnych gleb (A) oraz średniej głębokości zalegania zwierciadła wód gruntowych (B) na obszarze rezerwatu przyrody „Długosz Królewski”. Dominująca klasa infiltracji: a – „grunty nieprzepuszczalne” lub „słaba”, b – „średnia” lub „dobra”, c – „dobra”, lokalnie „bardzo dobra”. Średnia głębokość zwierciadła wód gruntowych: d – 0,0–0,5 m (w większości tereny podmokłe), e – 0,5–1,0 m, f – poniżej 1 m; g – rowy odwadniające, h – granice rezerwatu przyrody

Fig. 6. Diagram of soil infiltration capacity (A) and the average groundwater level (B) in the Długosz Królewski Reserve. Dominant infiltration capacity: a – „impermeable soils” or „weak”, b – „average” or „good”, c – „good” and locally „very good”. Average level of the groundwater table: d – 0.0–0.5 m (mostly wet ground areas), e – 0.5–1.0 m, f – below 1 m, g – drainage ditches, h – boundaries of the reserve.

„grunty nieprzepuszczalne”). W każdej sytuacji topograficznej warstwa nadkładu próchnicznego odznacza się dobrymi warunkami infiltracyjnymi (w zakresie „bardzo dobra” – „średnia”).

OBNIŻENIE ZWIERCIADŁA WÓD GRUNTOWYCH NA SKUTEK PRZEPROWADZONEJ MELIORACJI OBSZARU

Głębokość występowania orsztynu zwanego też rudawcem, można uznać za wskaźnik informujący o najczęściej występującej głębokości zalegania zwierciadła płytkich

wód gruntowych w glebach hydrogenicznych przed rozpoczęciem prac melioracyjnych (Wilgat, Kowalska 1975). W zmeliorowanych obszarach w centralnej i wschodniej części Kotliny Sandomierskiej poziom ten występuje nawet 1 m ponad obecnie zalegającym zwierciadłem wód gruntowych.

W rezerwacie „Długosz Królewski” stwierdzono występowanie żelazistych piasków tylko w miejscach wyżej wzniesionych, około 0,5–1,0 m ponad wysoko zalegającym zwierciadłem wody gruntowej (wysoki poziom wód jesienią 1996 r.), w czterech odkrywkach glebowych w centralnej części rezerwatu. W tym okresie wszystkie rowy odwadniające były całkowicie napelnione wodą, a duże obszary w północnej części rezerwatu podtopione. Z wywiadu wynika, że w okresach suchych, przykładowo w sezonach letnio-jesiennych 1994 i 1995 r., wszystkie rowy były pozabawione wody. Wstępnie za prawdopodobne można uznać obniżenie zwierciadła wód gruntowych na obszarze rezerwatu, w stosunku do średniego stanu wód z okresu przedmelioracyjnego, na 0,5–1,0 m w warunkach dużego uwilgotnienia gruntu i ponad 1 m w warunkach głębokiego przesuszenia podłoża. Wartości te odnoszą się do całkowitego zalesienia rezerwatu i aktualnej klasy wiekowej drzewostanów. Większe obniżenie zwierciadła wód gruntowych nastąpiło w miejscach płytkiego występowania piasków średnio- i drobnoziarnistych. Z kolei wzrost miąższości strefy aeracji w utworach o mniej korzystnych warunkach infiltracyjnych (tereny okresowo podtapiane), jest mniejszy. Wyniki badań terenowych potwierdzają wniosek sformułowany przez Sulińskiego (1981) o zwiększaniu amplitudy wahań stanów wód gruntowych w badanej części Puszczy Niepołomickiej wraz ze wzrostem zdolności infiltracyjnych gruntu.

Jeśli przyjąć średni zakres aktualnych wahań zwierciadła wód gruntowych w południowej części głównego uroczyska puszczy równy 0,5–1,5 m (Atlas ... 1987), to przed melioracją cały obszar obecnego rezerwatu przyrody i jego otoczenia położony poza wydmami i niskimi wzniesieniami piaszczystymi powinien podlegać długotrwałemu podtapianiu. Takie warunki umożliwiły wykształcenie na tym obszarze gleb hydrogenicznych, które zostały zajęte przez zbiorowiska roślinne boru bagiennego i olesu. Duża wilgotność gleb, dodatkowo uwarunkowana płytkim występowaniem ilów miocenu, umożliwiła masowe rozprzestrzenienie gatunku paproci *Osmunda regalis* w tej części Puszczy Niepołomickiej.

Badania Sulińskiego (1981) wykazały zmniejszanie wahań zwierciadła wód gruntowych (w skali rocznej i miesięcznej) w kierunku rowów melioracyjnych. Rowy drenujące płytkie wody gruntowe nie tylko obniżają średni poziom ich zwierciadła i zmniejszają amplitudę jego wahań, ale także zmniejszają pionową ruchliwość wód w krótszych okresach, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym. W warunkach dużych niedoborów wilgoci glebowej może dojść do długotrwałego odizolowania systemu korzeniowego roślin nie tylko od zwierciadła wód gruntowych, ale i od strefy podsiąku kapilarnego, niskiego w piaskach wydmy (Adamczyk 1984).

ZRÓŻNICOWANIE WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH I OCENA STOPNIA DEGRADACJI W WYNIKU PRZEPROWADZONYCH PRAC MELIORACYJNYCH

Właściwości wodne gleb oraz głębokość występowania i zakres wahań zwierciadła wód gruntowych określają warunki siedliskowe na obszarze głównego uroczyska Puszczy Niepołomickiej. Warunki te uległy niekorzystnej zmianie w wyniku okresowego przesuszenia obszaru oraz braku podpiętrzania wody w rowach w okresach niedoboru wody w glebie. W konsekwencji na znacznym obszarze puszczy stwierdzono obniżoną kondycję ekosystemu leśnego, nawet w zbiorowiskach boru bagiennego (Suliński 1981, Adamczyk 1984). Wydłużonemu czasowi trwania niedoborów wody w glebie po wykonanych pracach odwadniających towarzyszy przyspieszone murszenie nadkładu butwiny (Suliński 1981, Adamczyk 1984, Fajto 1984), co w takich sytuacjach na ogół niekorzystnie odbija się na zdolnościach infiltracyjnych i retencyjnych przypowierzchniowej warstwy gleby.

Na obszarze głównego uroczyska Puszczy Niepołomickiej wyróżniono trzy podstawowe kompleksy glebowo-siedliskowe różniące się m.in. odpornością zbiorowisk roślinnych na wtórne odkształcenia wywołane zmianą stosunków wodnych (Adamczyk 1984). Są to kompleksy borowy, borowo-lasowy oraz lasowo-lęgowo-olsowy. Spośród nich tylko pierwszy występuje w omawianym rezerwacie przyrody i jego otoczeniu. Jest to najuboższe pod względem ekologicznym i najmniej odporne na antropopresję siedlisko leśne w Puszczy Niepołomickiej, związane z piaskami wydmy lub zaglinionymi piaskami w obszarach międzywydmowych. Na obszarze rezerwatu i w sąsiednich oddziałach leśnych można wyróżnić dwa spośród trzech hydrotopów gleb oligotroficznych występujących w puszczy, których zasięg nawiązuje do ukształtowania terenu (Adamczyk 1984). Są to:

– głębokie bielice żalaziste na wałach wydmy i niskich pagórkach piaszczystych, gdzie stosunkowo głęboko zalegające zwierciadło wód gruntowych ze względu na niski podsiąk kapilarny nie wywiera wpływu na ich uwilgotnienie; ten typ gleb tworzy siedlisko boru mieszanego suchego i świeżego,

– oligotroficzne gleby torfowo-napiaskowe, często nasycone wodą do powierzchni, pokrywające zagłębienia i spłaszczenia międzywydmowe i zajęte przez bór bagienny i lokalnie występujące olesy; powierzchniowo dominują gleby bielicowe murszaste i bielicowe torfiasto-murszaste.

Siedliska związane z pierwszym z wyróżnionych hydrotopów gleb oligotroficznych są mniej narażone na konsekwencje wynikające z obniżenia zwierciadła wody gruntowej, aniżeli siedliska pokrywające z natury obszary najbardziej uwilgocone, które obecnie są w największym stopniu narażone na drenaż wód.

Badania właściwości wodnych gleb metodą cylindrów Kopecky'ego pozwoliły określić zróżnicowanie gęstości i kapilarnej pojemności wodnej gleb na obszarze rezerwatu. Są to wartości stałe, niezależne od zmieniającej się dostawy wody do gleby. Zbadano następujące właściwości wodne gleb:

- gęstość objętościową chwilową, D_1 (g/cm^3),
- gęstość objętościową substancji stałych „na sucho”, D_2 (g/cm^3),
- kapilarną pojemność wodną w % wagowych, P_{wk} (%),
- kapilarną pojemność wodną w % objętościowych, P_{wv} (%)

W dalszej charakterystyce uwzględniono średnie wielkości cech D_1 , D_2 , P_{wk} i P_{wv} dla poszczególnych przedziałów głębokościowych gleby (z pomiarów w 3–5 stanowiskach) w typowych siedliskach na obszarze rezerwatu:

- oles, płaski podtopiony obszar, brak gatunku *Osmunda regalis*, 20 cm warstwa murszasta ($D_1=0,84$; $D_2=0,15$; $P_{wk}=586$; $P_{wv}=86$), głębiej zawadziony piasek gliniasty;
- bór bagienny, płaski podtopiony obszar, gatunek *Osmunda regalis* występuje rzadko, 10 cm warstwa murszasta zapiaszczona ($D_1=1,07$; $D_2=0,28$; $P_{wk}=278$; $P_{wv}=79$), głębiej ciemny piasek drobny z substancją organiczną ($D_1=1,58$; $D_2=0,98$; $P_{wk}=163$; $P_{wv}=62$), woda gruntowa od gł. 30 cm;
- bór bagienny, lokalna wyniosłość do wys. 1,5 m, wokół obszar podtopiony, brak gatunku *Osmunda regalis*, 20 cm warstwa próchniczna zapiaszczona ($D_1=1,09$; $D_2=0,52$; $P_{wk}=141$; $P_{wv}=73$), głębiej jasny piasek drobny: gł. 20–30 cm ($D_1=1,74$; $D_2=1,35$; $P_{wk}=32$; $P_{wv}=44$), gł. 50–60 cm ($D_1=1,92$; $D_2=1,61$; $P_{wk}=21$; $P_{wv}=34$), od gł. 70 cm woda gruntowa;
- bór mieszany świeży, płaski obszar, zwarte łany gatunku *Osmunda regalis*, 10 cm warstwa murszasta ($D_1=0,91$; $D_2=0,29$; $P_{wk}=269$; $P_{wv}=79$), głębiej jasny piasek drobny: gł. 20–30 cm ($D_1=1,65$; $D_2=1,22$; $P_{wk}=41$; $P_{wv}=50$), gł. 50–60 cm ($D_1=1,82$; $D_2=1,44$; $P_{wk}=27$; $P_{wv}=39$), od gł. 60 cm woda gruntowa;
- bór mieszany świeży, lokalna wyniosłość o wys. 0,5 m, wokół liczne oczka wodne, gatunek *Osmunda regalis* występuje często, 20 cm warstwa murszasta ($D_1=0,82$; $D_2=0,22$; $P_{wk}=365$; $P_{wv}=82$), głębiej jasny piasek drobny ($D_1=1,71$; $D_2=1,25$; $P_{wk}=39$; $P_{wv}=49$), od gł. 50 cm woda gruntowa;
- bór mieszany suchy, pagór piaszczysty o wys. 3 m, zwarte łany gatunku *Osmunda regalis*, 5 cm warstwa ściółki, głębiej do 20 cm ciemny piasek z dużą ilością substancji organicznej ($D_1=1,15$; $D_2=0,79$; $P_{wk}=70$; $P_{wv}=55$), głębiej żelazisty piasek luźny ($D_1=1,53$; $D_2=1,24$; $P_{wk}=37$; $P_{wv}=46$), poniżej 50 cm częściowo scementowany ($D_1=1,46$; $D_2=0,94$; $P_{wk}=60$; $P_{wv}=57$) a poniżej 80 cm warstwa zwięzłego rudawca, woda gruntowa od gł. 160 cm;
- bór mieszany suchy, stok wału wydmowego w połowie wysokości wydmy, gatunek *Osmunda regalis* występuje rzadko, 10 cm warstwa ściółki ($D_1=1,05$; $D_2=0,66$; $P_{wk}=88$; $P_{wv}=65$), głębiej piasek żółty: gł. 20–30 cm ($D_1=1,55$; $D_2=1,23$; $P_{wk}=39$; $P_{wv}=44$), gł. 50–60 cm ($D_1=1,51$; $D_2=1,20$; $P_{wk}=41$; $P_{wv}=46$), gł. 90–100 cm ($D_1=1,48$; $D_2=1,21$; $P_{wk}=43$; $P_{wv}=47$), gł. 140–150 cm ($D_1=1,50$; $D_2=1,19$; $P_{wk}=40$; $P_{wv}=45$), głębiej pierwsze przewarstwienie żelazistego piasku luźnego ($D_1=1,66$; $D_2=1,31$; $P_{wk}=38$; $P_{wv}=40$) a od gł. 2 m bardziej scementowanego piasku;
- bór mieszany suchy, kulminacja wału wydmowego, brak gatunku *Osmunda regalis*, rozkład właściwości wodnych gleb w profilu głębokościowym zbliżony do poprzedniej sytuacji.

Z przedstawionych danych wynika, że gatunek *Osmunda regalis* unika miejsc nadmiernie wilgotnych i zbyt suchych a preferuje te obszary w rezerwacie, gdzie poziom wody gruntowej zalega obecnie przez większość sezonu wegetacyjnego na głębokości około 50–100 cm, co odpowiada siedlisku boru mieszanego świeżego i nisko położonym obszarom zajętem przez bór mieszany suchy.

Przedstawione dane wskazują również na korzystne właściwości wodne stropowej części profilu glebowego, której kapilarna pojemność wodna wyrażona w % wagowych może nawet ponad 10-krotnie przekraczać wartość tego wskaźnika z mineralnej warstwy gleby z głębokości 20–30 cm. Długotrwałe przesuszanie warstwy organicznej nadkładu gleby w najbardziej wilgotnych siedliskach, które uległy zmeliorowaniu, przyczynia się do pogorszenia stosunków wodnych w glebie poprzez zwolnienie szybkości wsiąkania, ułatwienie parowania wody z głębszych warstw gleby i zmniejszenie ilości wilgoci w warstwie murszastej (Adamczyk 1984).

Gleby na obszarze rezerwatu, z wyjątkiem warstwy murszastej, cechują się niewielką pojemnością wodną. Nieznany jest jednak stopień pogorszenia właściwości wodnych warstwy murszastej w stosunku do stanu sprzed rozpoczęcia melioracji obszaru. W długotrwałych okresach bezdeszczowych sezonu wegetacyjnego podsiąki kapilarny w utworach piaszczystych o obniżonym obecnie zwierciadle wody gruntowej, może stanowić jedyne źródło pokrycia zapotrzebowania roślinności na wodę. Nawet w nisko położonych zmeliorowanych obszarach, ze względu na niski podsiąki kapilarny i niewielką kapilarną pojemność wodną gleb piaszczystych, woda gruntowa może nie być dostępna dla roślin w długich okresach. Dlatego za słuszną należy uznać uwagę z pracy Ćwikowej i Lesińskiego (1981), że odwodnienie głównego uroczyska Puszczy Niepołomickiej przyczyniło się do nadmiernego okresowego przesuszenia siedlisk leśnych puszczy.

PROPOZYCJA POPRAWY STOSUNKÓW WODNYCH NA OBSZARZE REZERWATU PRZYRODY

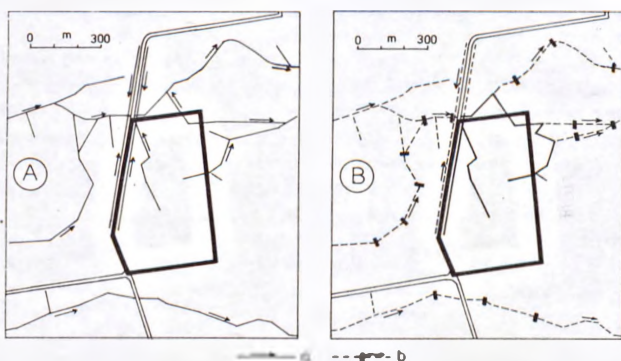
Poprawa stosunków wodnych na obszarze rezerwatu, uwidoczniła jako wydłużony czas płytszego zalegania zwierciadła wody gruntowej oraz strefy podsiąku kapilarnego dostępnego dla roślin, może nastąpić w wyniku podpiętrzenia wód poprzez zablokowanie odpływu w rowach melioracyjnych. Zabiegi te, obejmujące także obszar otaczający rezerwat, powinny doprowadzić do powrotu średniego zalegania zwierciadła wód do stanu zbliżonego w okresie przedmelioracyjnym. W tej sytuacji zostanie przywrócona zgodność zbiorowisk roślinnych z cechami wilgotnościowymi siedliska. Przywrócone zostaną naturalne warunki egzystencji gatunku *Osmunda regalis*.

Zaproponowano następujące warianty działań zmierzających do podniesienia stanu wód gruntowych na obszarze rezerwatu (ryc. 7), które należy uznać za kierunki poszuki-

wań osiągnięcia optymalnych dla chronionego gatunku paproci właściwości wodnych gleby:

1. Całkowite zasypianie rowów odwadniających na obszarze rezerwatu i w terenie otaczającym (w zlewniach cieków odwadniających rezerwat). Ten zabieg doprowadziłby do zminimalizowania strat wodnych w rezerwacie i do wysokiego podniesienia stanu wód gruntowych. Podczas długotrwałej suszy atmosferycznej woda gruntowa może jednak występować poza zasięgiem systemu korzeniowego gatunku *Osmunda regalis*. Z tego powodu, a także ze względu na zakres prac ziemnych i ewentualny sprzeciw służb leśnych, wariant ten należy uznać za nierealny.

2. Zasypianie krótkich odcinków rowów na obszarze rezerwatu i w jego otoczeniu, które powinny przeplatać się z odcinkami wypełnionymi okresowo wodą i stanowiącymi



Ryc. 7. Optymalne propozycje renaturalizacji stosunków wodnych na obszarze rezerwatu „Długosz Królewski” i w otoczeniu. A – całkowite zasypianie odcinków rowów odwadniających, pozostałe odcinki rowów zachowują wodę (a), B – zabiegi j.w. tylko na obszarze rezerwatu przyrody i w rowach bezpośrednio przylegających do jego granic (a), w pozostałych rowach zamontowanie drewnianych urządzeń piętrzących wodę (b), wskazanie lokalizacji tych urządzeń.

Fig. 7. Optimum alternatives for the restoration of the natural water balance in the Długosz Królewski Reserve and its surroundings. A – complete backfilling of certain sections of the drainage ditches and water storage in the remaining parts of the system (a), B – measures as specified above limited to the area of the reserve and ditches directly adjacent to its borders (a). Wooden water damming equipment installed on the remaining draining ditches (b), indication of the locations of the dams.

refugia dla gatunku *Osmunda regalis* podczas bardzo niskiego zalegania wód gruntowych. Ten wariant działań należy uznać za optymalny w przyszłych pracach zmierzających do renaturalizacji stosunków wodnych w rezerwacie.

3. Wybudowanie urządzeń piętrzących wodę w rowach (wskazane drewniane zaporki). Ten sposób działań nie zagwarantuje trwałego podniesienia stanu wód gruntowych na obszarze rezerwatu.

4. Kombinacja dwóch ostatnich zabiegów, będąca alternatywnym rozwiązaniem w stosunku do drugiego sposobu działań. W tej sytuacji w rowach na terenie rezerwatu i w rowach występujących w jego najbliższym sąsiedztwie, należy zastosować zabiegi zaproponowane w drugim sposobie działań, a w rowach bardziej oddalonych od granic rezerwatu wybudować drewniane zaporki piętrzące wodę.

Podziękowania: Autor dziękuje prof. dr hab. inż. S. Michalikowi i dr hab. inż. J. Sulińskiemu za przedyskutowanie wielu problemów oraz rady i wskazówki wniesione do wstępnej wersji opracowania.

PIŚMIENNICTWO

- ADAMCZYK B. 1984. Jednostki glebowo-siedliskowe Puszczy Niepolomickiej i ich odporność na antropopresję (The soil-and-site units of the Niepolomice Forest and their resistance to anthropopressure). *Studia Ośr. Dokument. Fizjogr.* 12: 155–196.
- Atlas hydrologiczny Polski. 1987. Red. J. Stachy. Wyd. Geol., Warszawa.
- Atlas miejskiego województwa krakowskiego. 1979. Red. M. Klimaszewski. PAN, Urząd Miasta Krakowa, Kraków.
- Bzowski M. 1973. Rzeźba i stosunki wodne dna doliny Wisły w rejonie północnej części Puszczy Niepolomickiej (The relief and hydrology of Vistula valley bottom in the region of Niepolomice Forest). *Studia Naturae, ser. A*, 7: 7–37.
- ĆWIKOWA A., LESIŃSKI J. 1981. Zróżnicowanie zbiorowisk aktualnej roślinności leśnej Puszczy Niepolomickiej. *Studia Ośr. Dokument. Fizjogr.* 9: 159–196.
- DYNOWSKA I., PIETRYGOWA Z. 1979. Wahanie stanów wód gruntowych w dorzeczu górnej Wisły. *Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys.* 12: 103–121.
- FAJTO A. 1984. Stosunki tlenowe i wodne gleb Puszczy Niepolomickiej (Oxygen and water conditions of the soils in the Niepolomice Forest). *Studia Ośr. Dokument. Fizjogr.* 12: 223–236.
- FIEBER W., MACZYŃSKI M. (1958). Ekspertyza przedmelioracyjna Puszczy Niepolomickiej. Arch. OZLP, Kraków. Msc.
- GILWESKA S., STARKEI. L. 1980. Rzeźba miejskiego województwa krakowskiego (Relief of the city-voivodeship of Kraków). *Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys.* 13: 33–49.
- IZMAIŁOW B. 1975. Geneza i wiek wydm Puszczy Niepolomickiej (Origin and age of the sand dunes in the Niepolomicka Primeval Forest). *Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys.* 9: 43–61.
- KĘDZIOR A. 1929. Roboty wodne i melioracyjne w południowej Małopolsce 2: 280–300, Lwów.
- KŁECZKOWSKI A. 1991. Wody podziemne. W: *Dorzecze górnej Wisły, cz. I*. Red. I. Dynowska, M. Maciejewski. PWN, Warszawa-Kraków, s. 261–341.
- OKRUSZKO H. 1979. Melioracje a zmiany w środowisku przyrodniczym. *Wiad. Melior. i Łąk.* 4: 89–92, 5: 121–124.
- PAZDRO Z. 1977. *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geol., Warszawa.
- SIORĘK L. (1968). Aktualizacja założeń projektowych do projektu melioracji lasów na obiekcie „Puszcza Niepolomicka”. Arch. OZLP, Kraków. Msc.
- SMÓLSKI S. 1981. Zarys przeszłości Puszczy Niepolomickiej (Outline of the past of Niepolomice Forest). *Studia Ośr. Dokument. Fizjogr.* 9: 9–24.
- STARKEI. L. 1972. Kotlina Sandomierska. W: *Geomorfologia Polski, t. I*. Polska Południowa. Góry i wyżyny. Red. M. Klimaszewski. PWN, Warszawa, s. 138–166.
- SULIŃSKI J. 1981. Zarys klimatu, rzeźby terenu i stosunki wodne w Puszczy Niepolomickiej. *Studia Ośr. Dokum. Fizjogr.* 9: 252–70.
- WILGAT T., KOWALSKA A. (red.) 1975. Wpływ działalności gospodarczej na stosunki wodne Kotliny Sandomierskiej (The impact of economic activities upon hydrographic conditions in the Sandomierz Basin). *Dokument. Geogr.* 5–6: 1–61.

WYŻGA B. 1993. Funkcjonowanie systemu rzecznego środkowej i dolnej Raby w ostatnich 200 latach (Evolution of the fluvial system of the middle and lower Raba River, Carpathians, Poland, in the last 200 years). Dokument. Geogr. 6: 1–92.

SUMMARY

The land improvement works initiated in 1820 in the southern part of the Niepolomice Forest on the elevated dune terrace of the Raba River are leading to a periodic dewatering of the lowest parts of this area. The fern *Osmunda regalis* occurs here. It prefers fresh coniferous forest habitats with an average groundwater table level between the dunes at 0.5 to 1.0 m. One of the forest divisions covering the dunes and the wet grounds between dunes was established as a reserve (Długosz Królewski) to protect this species (Figs 1–4).

The objective of this study was to characterize the landscape and water balance situation in the reserve and to assess the changes in water availability caused by drainage ditches, and also to formulate the humidity-related preferences of the species *Osmunda regalis* and its habitats. This will result in drawing up strategies to partially improve the water balance in the reserve and its surroundings, and to stabilize a higher level of soil humidity necessary for further existence of the protected fern species *Osmunda regalis*. The study was based on literature data and complementary field studies.

The site is characterized by a strongly diversified pattern of water balances. The density of the drainage ditches reaches 4.9 km/km² and is much higher than over the remaining area of the forest. In the part of the reserve which is covered by dunes, groundwater remains at depths below 4 m (in the areas between the dunes the groundwater table is at 0.5–1.0 m). Significant areas between the dunes are permanently wet (Fig. 5). The depth of the groundwater table is linked with soil permeability (Fig. 6). On the dunes „good” permeability is dominant (dry mixed forest), on lower sandy hills and land flattenings the permeability is „good”–„average” (fresh mixed coniferous forest and dry forest) and at the lowest sites (wet during the major part of the year) it is „weak” of even comparable to impermeable soils (marshy coniferous forest and alder carrs).

Four methods were proposed to elevate the groundwater table by obstructing the outflow from drainage ditches. Two of these options are considered to be the optimum solution for the protection of *Osmunda regalis* (Fig. 7).

These means are:

1. Backfilling of short stretches of the ditches within the reserve and in its surroundings (over the entire catchment area of the ditches draining the reserve). The remaining alternating stretches should be filled with water and create refuges for the *Osmunda regalis* species during the periods of low groundwater levels, when even the capillary infiltration zone can be out of the reach of the fern's root system.
2. Partially backfilling the ditches (see above) but only within the reserve boundaries and over ditch sections directly adjacent to it. In the remaining part of the drainage ditches catchment, wooden dams shall be installed.