

WPLYW STOPNI PIĘTRZĄCYCH NA STOSUNKI WODNE W DOLINIE DOLNEJ BIEBRZY W ŚWIETLE BADAŃ MODELOWYCH

Justyna BIELECKA

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Zasobów Wodnych

Słowa kluczowe: dolina dolnej Biebrzy, głębokość zwierciadła wody gruntowej, gospodarowanie wodą, hamowanie odpływu, modelowanie hydrologiczne zlewni

Streszczenie

W dolinie rzeki na obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego wybudowano sieć kanałów i rowów odwadniających, co spowodowało obniżenie poziomu wody gruntowej. Obserwuje się zatrzymanie procesów torfotwórczych i uruchomienie procesu mineralizacji gleb organicznych. Degradację tych gleb można ograniczyć przez przywrócenie wysokiego poziomu wody gruntowej oraz utrzymanie wiosennych zalewów. Celem badań modelowych było sprawdzenie wpływu budowli piętrzących wodę na poziom lustra wody gruntowej oraz wielkość wiosennych zalewów. Przeanalizowano kilka wariantów rozwiązań różniących się lokalizacją budowli piętrzących, ich wielkością oraz przepustowością. Założono budowę urządzeń piętrzących na kanałach i rowach odwadniających oraz w głównym korycie Biebrzy. Stwierdzono, że pojedyncze, lokalne urządzenia piętrzące na kanałach poprawiają wilgotność gleby tylko na obszarach w bezpośrednim sąsiedztwie. Teren oddziaływania jest znacznie większy w przypadku zespołu takich budowli. Rozwiązanie takie daje oczekiwane efekty w postaci podwyższenia poziomu wody gruntowej na dużym obszarze. Istotnym parametrem jest również przepustowość budowli. Im jest ona mniejsza, tym większe jest hamowanie odpływu wody i większy teren oddziaływania na wody gruntowe. Badania wykazały, że zastosowana metoda modelowania może być stosowana w procesach decyzyjnych dotyczących zarządzania wodą na obszarze BPN lub zlewni rzeki.

Adres do korespondencji: mgr inż. J. Bielecka, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Zasobów Wodnych, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31 w. 204, e-mail: j.bielecka@imuz.edu.pl

WSTĘP

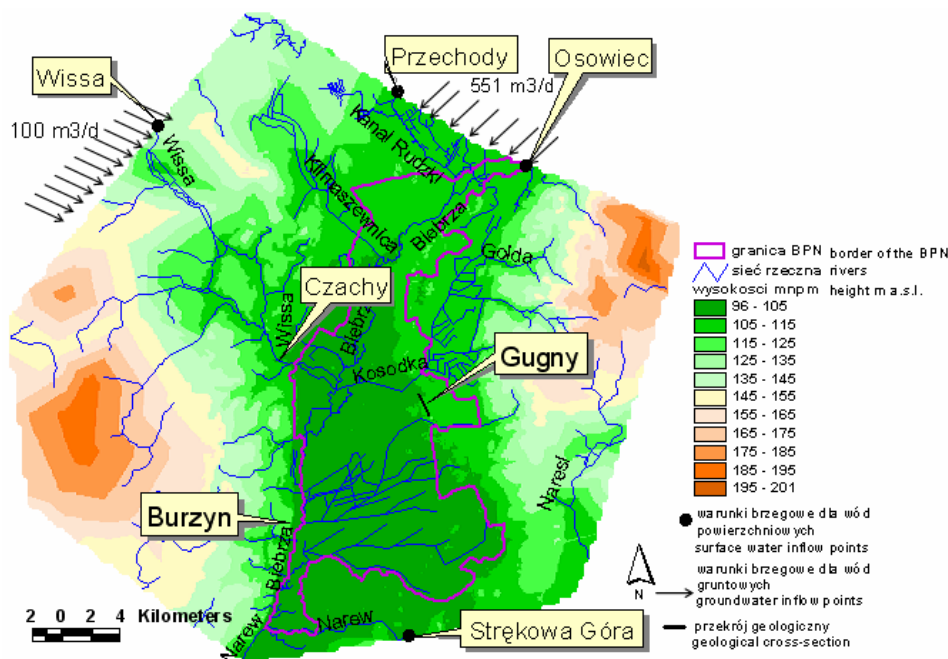
Położona w północno-wschodniej Polsce Kotlina Biebrzy jest największym kompleksem torfowym w Europie Środkowej, gdzie nadal żywy jest proces torfotwórczy. Znajdują się tu jedne z najlepiej zachowanych torfowisk dolinnych w stanie zbliżonym do naturalnego. W celu ochrony cennych gleb hydrogenicznych oraz porastającej je roślinności i związanej z nią fauny ustanowiono największy w Polsce Park Narodowy.

Na podstawie analizy rzeźby terenu oraz zróżnicowania przyrodniczego wyróżniono trzy baseny doliny Biebrzy [ŻUREK, 1991]. Najbardziej zbliżony do naturalnego charakter ma basen dolny, gdzie widoczna jest specyficzna, podłużna do rzeki strefowość zbiorowisk roślinnych oraz utworów glebowych [OKRUSZKO, 1991]. Teren ten przecina Biebrza, rzeka nizinna o zachowanym naturalnym rytmie wiosennych zalewów. Nawet w tak naturalnym krajobrazie jak dolina Biebrzy obserwuje się niekorzystne zjawiska związane z działalnością człowieka. Wybudowanie sieci rowów i niewielkich kanałów odprowadzających roztopowe i opadowe wody wiosennych zalewów było przyczyną znacznego obniżenia poziomu wody gruntowej, co spowodowało osuszenie gleb bagiennych. W takich warunkach procesy torfotwórcze zostały zahamowane i zaczął się proces mineralizacji gleb hydrogenicznych, który powoduje ich degradację. Na przekształconych w torfowo-murszowe lub murszowe glebach cenne zbiorowiska roślinne, z dużą liczbą okazów rzadkich i chronionych, ustępują miejsca roślinności obszarów suchych o mniejszych walorach przyrodniczych. Istotna jest więc kwestia zatrzymania procesu murszenia gleb torfowych. Można to osiągnąć przez utrzymanie odpowiedniego uwilgotnienia tych gleb, z czym związane jest podwyższenie obecnego poziomu wody gruntowej za pomocą urządzeń piętrzących wodę na kanałach i rowach i hamujących jej odpływ. Przed podjęciem takich działań należy ocenić ich skutki. Umożliwi to właściwe planowanie lokalizacji urządzeń piętrzących oraz ich konstrukcji.

Celem tej pracy jest ocena wpływu budowy urządzeń piętrzących na małych kanałach oraz w korycie Biebrzy na poziom wody gruntowej, powierzchniowej oraz wielkość wiosennego zalewu. Podjęto próbę oceny wielkości, typu i lokalizacji urządzeń piętrzących pod kątem ich przydatności do renaturyzacji osuszonych gleb torfowych w basenie dolnej Biebrzy. Założono, że wprowadzenie małych urządzeń piętrzących na kanałach odwadniających, przez podwyższenie poziomu wody gruntowej, znacznie poprawi wilgotność gleby. Przeanalizowanie różnych wariantów rozwiązań było możliwe dzięki zastosowaniu programu numerycznego SIMGRO, symulującego zjawisko filtracji regionalnej i umożliwiającego obliczenia modelowe dla obszaru dolnej Biebrzy [DIK, VAN DER BOLT, 1998].

CHARAKTERYSTYKA DOLINY DOLNEJ BIEBRZY

Badania dotyczyły dolnego basenu Biebrzy, terenu o wielkości 126 tys. ha. Modelowany obszar obejmuje dolinę rzeki oraz przyległe wysoczyzny. Granica terenu była prowadzona głównie wzdłuż wododziałów, tylko na dwóch odcinkach granice modelu nie pokrywały się z granicami zlewni (rys. 1). Odcięto część zlewni Wissy oraz poprowadzono granice prostopadle do Biebrzy, rozgraniczając basen dolny od środkowego. W obydwu przypadkach uwzględniono jednak dopływy podziemne na granicy modelowanego terenu.



Rys. 1. Mapa topograficzna modelowanego terenu (Przechody, Osowiec, Czachy, Burzyn, Strękowa Góra – wodowskazy)

Fig. 1. Topographic map of the study area (Przechody, Osowiec, Czachy, Burzyn, Strękowa Góra – gauge stations)

Basen dolny jest zasilany wodami podziemnymi – napływającymi z wysoczyzn wzdłuż wschodniej i zachodniej krawędzi, wodami aluwialnymi – dopływającymi z basenu środkowej Biebrzy oraz wodami powierzchniowymi Biebrzy [ŻUREK, 1991]. Pierwszy, decydujący poziom wodonośny jest położony w utworach czwartorzędowych. Poniżej, w starszych utworach, znajduje się kilka poziomów wodonośnych, których nie uwzględniono w badaniach modelowych ze względu na minimalne znaczenie w bilansie wodnym regionu i zasobach eksploatacyjnych.

Pierwszy poziom wodonośny jest prawie całkowicie izolowany od głębiej występujących poziomów czwartorzędowych, które nie wywierają na niego wpływu [MIODUSZEWSKI, KOWALEWSKI, 2002]. Cechuje go duża zmienność głębokości zalegania zwierciadła wody. Na wysoczyznach układa się ono na głębokości od kilku do kilkunastu metrów, natomiast w dolinach – występuje tuż pod powierzchnią terenu [PAJNOWSKA, POŹNIAK, 1991].

Utwory geologiczne przypowierzchniowe pochodzą głównie z holocenu. Reprezentowane są przez: mady, mułki, piaski, namuły ilaste lub piaszczyste oraz torf. Większość obszaru doliny pokrywa warstwa torfu różnego pochodzenia. Największa stwierdzona miąższość pokrywy torfowej sięga do 6,7 m [PAJNOWSKA, POŹNIAK, 1991]. Gleby mułowe i mułowo-namułowe wykształciły się w najbliższym sąsiedztwie rzeki na skutek jej działalności akumulująco-erozyjnej. Otaczające wysoczyzny morenowe są zbudowane głównie z piasków oraz utworów gliniastych, spotkać można również ily, żwiry oraz pyły.

Dolinę przecina rzeka Biebrza z dopływami prawobrzeżnymi Klimaszewnicą i Wissą oraz lewobrzeżnym – Kosódką. Oprócz naturalnych cieków dolina została poprzecinana kanałami odwadniającymi o różnych wymiarach (największe z nich znajdują się na terenie Bagna Ławki) oraz mniejszymi rowami.

Obszar doliny jest porośnięty przez łąki turzycowe i turzycowo-mszyste oraz łąki zmiennowilgotne, użytkowane jak pastwiska lub łąki kośne. Na tereny te wkraczają zarośla brzoźowo-wierzbowe, czego wynikiem jest mozaika terenów łąk z zakrzaczeniami. Na terenie doliny występują również lasy liściaste klasy *Alnetea glutinosae*. W bezpośrednim sąsiedztwie rzeki tereny pokryte utworami mułowymi są porośnięte przez zbiorowiska szuwaru trzcinowego lub wysokich turzyc. Tereny wysoczyzny natomiast są wykorzystywane głównie jako użytki rolne. Występuje tu również las iglasty – sosnowy.

METODY BADAŃ

OPIS PROGRAMU NUMERYCZNEGO SIMGRO

Program SIMGRO został opracowany w celu modelowania zjawiska filtracji regionalnej. Symuluje on przepływ wód gruntowych w strefie nasyconej i nienasyconej (aeracji) oraz przepływ wód powierzchniowych [DIK, VAN DER BOLT, 1998]. W programie uwzględniono rodzaj zagospodarowania terenu, który wpływa na wielkość takich czynników jak: spływ powierzchniowy, infiltracja i parowanie, od których zależy bezpośrednio położenie zwierciadła wód gruntowych.

Modelowanie stanu i przepływu wód powierzchniowych odbywa się na poziomie subregionu, który jest wydzielonym z modelowanej powierzchni obszarem, charakteryzującym się prawie jednorodnymi warunkami hydrologicznymi. Modelowany jest jako zbiornik o określonej objętości, wyposażony w umowną budowlę piętrzącą na odpływie.

Strefa nienasycona jest modelowana jako zespół dwóch zbiorników, w których założono przepływ pionowy. Górny zbiornik symuluje strefę korzeniową, dolny – podglebie, czyli warstwa gleby między strefą korzeniową a zwierciadłem wód gruntowych. Woda w zbiorniku strefy korzeniowej jest magazynowana do osiągnięcia stanu wilgotności równowagi (połowej pojemności wodnej). Po przekroczeniu tego stanu nadmiar wody infiltruje do podglebia. Jeśli zaś wilgotność w strefie korzeniowej jest mniejsza od wilgotności równowagi, model symuluje proces podsiąku kapilarnego z warstw niższych. W modelu założono oddziaływanie na strefę korzeniową następujących procesów: na górnej granicy – opadu i ewapotranspiracji, na dolnej granicy – infiltracji lub podsiąku kapilarnego. W modelowaniu podglebia uwzględniono dopływ lub odpływ wody z głębiej położonej warstwy wodonośnej i systemu wód powierzchniowych.

Strefa nasycona jest dzielona na określoną liczbę warstw przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych ułożonych naprzemiennie. Przepływ wód gruntowych jest rozpatrywany jako quasi-trójwymiarowy, czyli zakładany jest poziomy przepływ wody w warstwach wodonośnych i pionowy w słabo przepuszczalnych. Każda warstwa hydrologiczna jest charakteryzowana za pomocą współczynnika filtracji, oporu pionowego i miąższości.

W celu rozwiązania równania opisującego chwilowy przepływ wody w strefie nasyconej jest stosowana metoda elementów skończonych [QUERNER, 1993]. Obszar jest dzielony na skończoną liczbę elementów trójkątnych, które są połączone ze sobą punktami węzłowymi znajdującymi się na ich wierzchołkach. Wartości przepływu i wysokości piezometryczne są obliczane dla każdego węzła. Ze względu na inną szybkość reakcji na zmiany założono różny krok czasowy dla wód gruntowych – 1 doba i dla wód powierzchniowych – 0,01 doby.

Między strefą nasyconą a nienasyconą następuje pionowy przepływ wody. Interakcje między wodami gruntowymi a powierzchniowymi są opisywane z uwzględnieniem oporów hydraulicznych [ERNST, 1978].

SCHEMATYZACJA DANYCH WEJŚCIOWYCH

Modelowany obszar podzielono na 569 subregionów do modelowania procesów zachodzących w wodach powierzchniowych oraz strefie nienasyconej oraz na 7 854 węzły służące do symulacji procesów zachodzących w strefie nasyconej. Położenie w terenie każdego węzła określają współrzędne geograficzne X i Y , jego wysokość nad poziomem morza określa współrzędna Z .

W modelu uwzględniono występowanie jedynie dwu warstw geologicznych o różnej miąższości – powierzchniowej i podścielającej warstwy wodonośnej.

Warstwę górną stanowią utwory: torfowe, mułowe, pylaste, gliniaste oraz piaszczyste. Na obszarze doliny Biebrzy znajdują się gleby torfowe w mozaice z łąkami, glinami lekkimi, pyłami i piaskiem. W pasie wzdłuż rzeki są zlokalizowa-

ne muły oraz utwory mułowo-torfowe. Przyjęto, że na wysoczyźnie występują głównie utwory piaszczyste. Miąższość warstwy pierwszej wynosi od 0,1 m dla utworów piaszczystych do 2,5 m dla torfów. Przewodność hydrauliczna wynosi $0,002-1,0 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$.

Pod warstwą pierwszą występuje warstwa wodonośna, która rozciąga się pod doliną cieków oraz wysoczyzną. Stanowią ją utwory piaszczyste o miąższości od 20 do 50 m i przewodności hydraulicznej od 5,143 do $10 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$.

Dla całego modelowanego obszaru przyjęto rzeczywiste użytkowanie terenu. W dolinie rzeki gleby torfowe są użytkowane jako łąki. Obszary, które są wyłącznie z użytkowania łąkowego zajmuje las liściasty. Powierzchnię wzdłuż rzeki porasta szuwar trzcinowy. Na obszarze wysoczyzny występuje mozaika użytków rolnych oraz lasu iglastego, tylko na niewielkich obszarach – las liściasty lub tereny zabudowane.

Miąższość strefy korzeniowej w modelu zależy od charakterystyk glebowych oraz roślinności i jest wyznaczana automatycznie. W większości węzłów wynosi od 0,25 do 0,69 m. Obszary o płytszej strefie korzeniowej to głównie łąki porastające gleby torfowe. Głębsza strefa korzeniowa występuje na obszarach leśnych porastających gleby piaszczyste. W trzech obszarach węzłowych strefa korzeniowa ma głębokość 1,10 m. Są to obszary, gdzie występuje zbiorowisko lasu liściastego porastające glebę ilową.

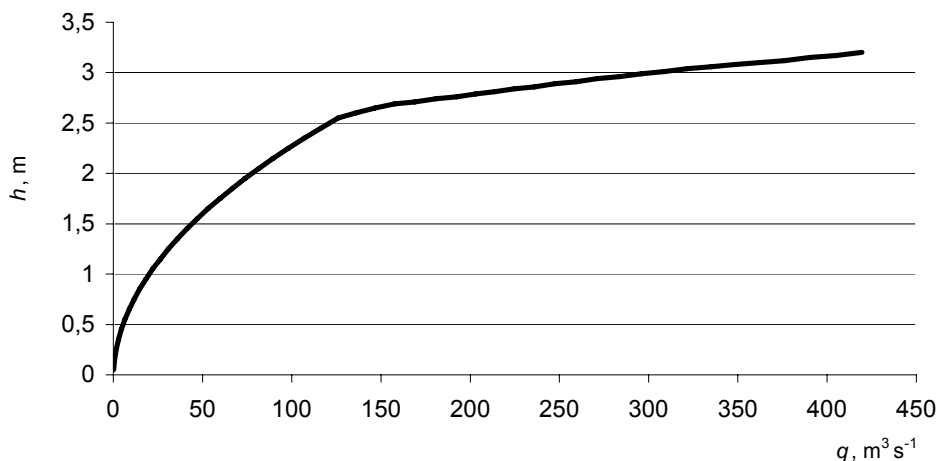
Sieć hydrograficzną podzielono na system cieków głównych (rys. 1) oraz rowów odwadniających 2. i 3. rzędu [DIK, VAN DER BOLT, 1998].

Do systemu cieków głównych zaliczono Biebrzę oraz inne rzeki i większe kanały. Cieki te modelowano jako obiekty liniowe i przypisano im następujące charakterystyki: głębokość koryt, szerokość koryt w dnie i przy powierzchni terenu oraz nachylenie skarp. Przyjęto też krzywą natężenia przepływu dla koryta Biebrzy (rys. 2).

Do systemu rowów odwadniających 2. i 3. rzędu zaklasyfikowano mniejsze rowy, starorzecza oraz małe boczne koryta Biebrzy, które modelowano jako sieć odwadniającą o przyjętej gęstości w $\text{m}\cdot\text{ha}^{-1}$. Scharakteryzowano je następującymi wartościami: głębokością koryt, szerokością w dnie, oporem hydraulicznym, odległością między poszczególnymi rowami.

W modelu uwzględniono opad (mm) i temperaturę powietrza ($^{\circ}\text{C}$). Dane meteorologiczne pochodziły ze stacji meteorologicznej IMGW położonej na terenie Zakładu Doświadczalnego IMUZ Biebrza z sześciu lat – od 01.01.1990 do 31.12.1995.

Oprócz danych meteorologicznych w modelu uwzględniono ewapotranspirację potencjalną (mm). Wartości ewapotranspiracji zaczerpnięto z badań ŚLESICKIEJ, QUERNERA i MIODUSZEWSKIEGO [2002]. Były one obliczane dla warunków rzeczywistych na terenie ZDMUZ Biebrza. Ewapotranspirację potencjalną obliczono dla każdego rodzaju pokrycia roślinnego jako iloczyn współczynnika roślinnego,



Rys. 2. Krzywa natężenia przepływu w korycie Biebrzy

Fig. 2. Rating curves for bed of the Biebrza River

określanego dla każdej uprawy, oraz ewapotranspiracji wskaźnikowej [ŁABĘDZKI, SZAJDA, SZUNIEWICZ, 1996].

Jako warunki brzegowe dla wód powierzchniowych przyjęto przepływy w Kanał Rudzkim oraz w rzekach Biebrza, Wissa i Narew na granicach modelowanego obszaru (rys. 1). Przyjęto dane z wodowskazów umieszczonych w bliskim sąsiedztwie tych miejsc. Dla Biebrzy są to obserwacje z Osowca, dla Kanału Rudzkiego – z Przechodów, dla Narwi – ze Strękowej Góry. Dla rzeki Wissa nie dysponowano danymi dotyczącymi natężenia przepływu na granicy modelowanego obszaru. Dostępne dane pochodzą z wodowskazu Czachy, który znajduje się w ujściowym odcinku Wissy. Podczas weryfikacji modelu oszacowano, że natężenie przepływu Wissy na granicy modelowanego obszaru wynosiło 30% przepływu zanotowanego na wodowskazie Czachy.

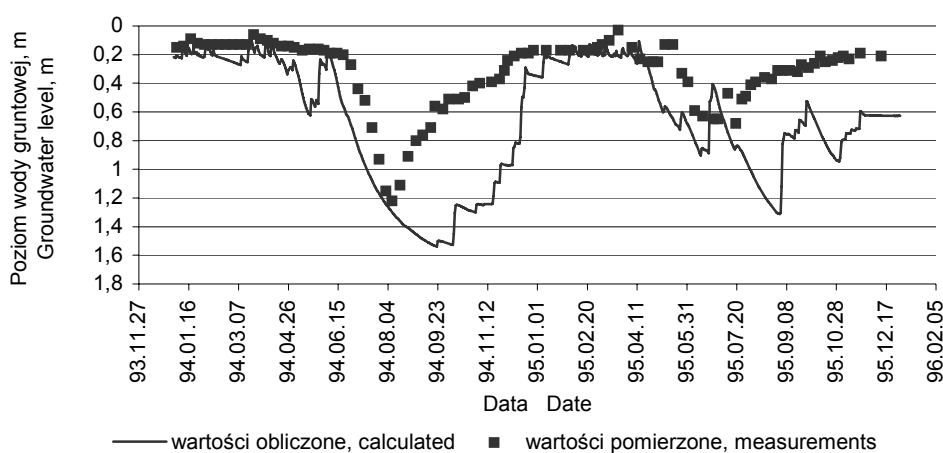
Warunki brzegowe dla wód gruntowych określono na obszarach wyznaczonych (rys. 1) na podstawie map hydroizohips tego terenu, a także wcześniejszych badań modelowych. Założono, że dopływ wód podziemnych spoza obszaru modelowania w każdym węźle wynosi $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ na zachodnim oraz $551 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ na północno-wschodnim brzegu terenu [ŚLESICKA, QUERNER, MIODUSZEWSKI, 2002]. W pozostałych węzłach brzegowych założony dopływ wód podziemnych wynosił $0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

Jako warunki początkowe wyznaczono poziomy lustra wody w każdym węźle. Głębokość zalegania wody gruntowej wynosiła, w zależności od rodzaju gleby i szaty roślinnej, od 0,84 do 1,83 m pod powierzchnią terenu.

WERYFIKACJA MODELU

Weryfikacja polegała na wykonaniu obliczeń dla obecnego stanu sieci hydrograficznej oraz zagospodarowania i porównaniu ich wyników z pomiarami terenowymi. Ten wariant przyjęto jako wariant odniesienia (wariant 0). Obliczenia wykonano dla sześciu lat – od 01.01.1990 do 31.12.1995.

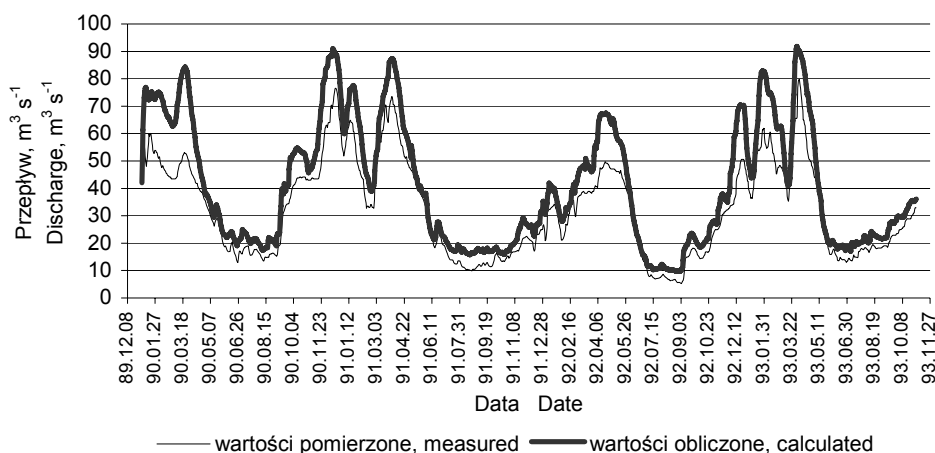
Do weryfikacji modelu wykorzystano pomiary poziomu wody gruntowej w kilku piezometrach położonych w przekroju geologicznym Gugny (rys. 1) z okresu 01.01.1994–31.12.1995. Różnice między wartościami pomierzonymi a obliczonymi mieszczą się w granicach 0,1–0,4 m w okresie zimy i wiosny (rys. 3). Większe różnice obserwuje się latem i jesienią, kiedy wartości obliczone są znacznie mniejsze niż pomierzone. Główne trendy układu wód gruntowych w okresie wziętym do weryfikacji są jednak zbliżone, co świadczy o tym, że obliczenia modelowane są miarodajne.



Rys. 3. Poziom wody gruntowej – wartości obliczone w węźle 4741 oraz wartości pomierzone w piezometrze 9

Fig. 3. Groundwater level – calculated at nodal point 4741 and measured in piezometer 9

Zweryfikowano również obliczenia natężenia przepływu na wysokości profilu wodowskazowego Burzyn (rys. 4). Weryfikację wykonano dla okresu od 01.01.1990 do 31.10.1993. Stwierdzono, że występuje korelacja przepływów obliczonych wg modelu i przepływów rzeczywistych. Największe różnice obserwuje się w czasie występowania stanów wysokich (dochodzą one do $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Wartości obliczone są dla całego rozpatrywanego okresu większe niż pomierzone.



Rys. 4. Natężenie przepływu w przekroju wodowskazowym Burzyn: pomierzone i obliczone

Fig. 4. Discharge in the Burzyn gauge: measured and calculated

Porównanie wartości obliczonych i pomierzonych dało zadowalające efekty. Obliczone stany wód gruntowych i wartości przepływów są skorelowane z przebiegiem wartości pomierzonych. Aby uzyskać takie efekty, w procesie kalibracji modelu dostosowano krzywą natężenia przepływu dla Biebrzy (rys. 2) tak, aby wartości uzyskane z modelu dla przepływu w Burzynie oraz poziomy wody gruntowej były jak najbardziej zbliżone do wartości pomierzonych.

OPIS WARIANTÓW

W celu zbadania wpływu zmian w sposobie gospodarki wodnej na wody gruntowe i powierzchniowe przyjęto kilka wariantów obliczeniowych. Symulowano wpływ różnych typów budowli piętrzących na rowach odwadniających na terenie doliny oraz w korycie Biebrzy na wody gruntowe, powierzchniowe i wiosenne zalewy. Warianty obliczeniowe różniły się liczbą, typem budowli oraz ich rozmieszczeniem w terenie.

Wariant 0. Przedstawia obecną sytuację hydrologiczną. Przyjęto w nim rzeczywiste warunki geologiczne i hydrologiczne. Służył do weryfikacji modelu oraz do obserwacji zmian, które spowodowałyby wprowadzenie kolejnych wariantów.

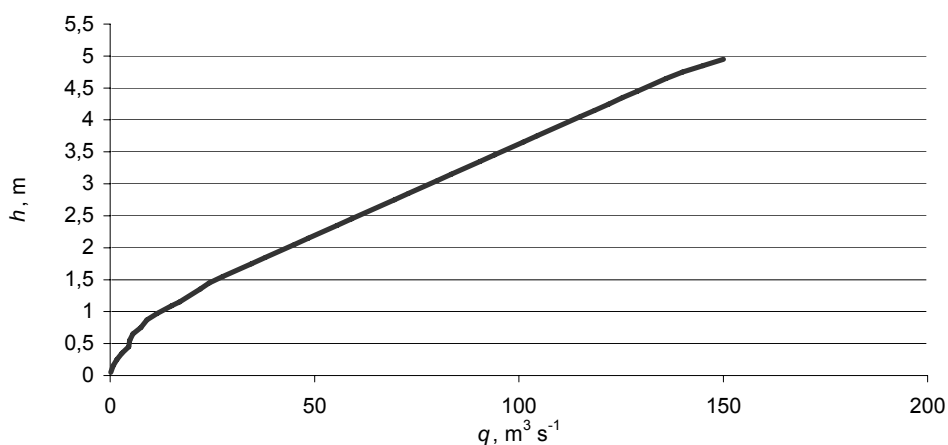
Wariant I. Przewidziano w nim budowę po jednym progu piętrzącym o przelewie stałym na wysokości 0,2 m poniżej powierzchni terenu na czterech kanałach odwadniających na terenie Bagna Ławki. Ten wariant umożliwia zbadanie oddziaływania pojedynczych urządzeń melioracyjnych na sytuację hydrologiczną terenu.

Wariant II. Założono gęstą zabudowę progową wszystkich kanałów i małych rowów na terenie Bagna Ławki. Symulowano działanie czterech budowli w tych samych miejscach co w wariantcie I oraz następnych 59 progów. Są to progi piętrzące, których przelew stały znajduje się na wysokości 0,2 m poniżej powierzchni terenu. Wariant ten symuluje rodzaj gospodarki wodnej polegającej na utrzymaniu wody powierzchniowej na stałym poziomie 0,2 m poniżej powierzchni terenu na wszystkich kanałach na obszarze Bagna Ławki. Celem symulacji jest ocena wpływu wielu małych progów piętrzących na wody gruntowe i powierzchniowe. Jest w pewnym stopniu odzwierciedleniem sytuacji sprzed budowy sieci rowów odwadniających.

Wariant III. Przewidziano w nim budowę dwóch progów piętrzących o wysokości 0,5 m poniżej powierzchni terenu w korycie Biebrzy. Przyjęto, że krzywa przepływu dla tych budowli jest identyczna z krzywą dla koryta Biebrzy (rys. 2). Celem tych obliczeń jest ocena oddziaływania piętrzeń na większej rzece.

Wariant IV. Założono, podobnie jak w wariantcie III, budowę dwóch urządzeń piętrzących o wysokości 0,5 m poniżej powierzchni terenu w głównym korycie Biebrzy. Budowle ulokowano w tych samych miejscach, co w wariantcie III, jednak zmieniono ich przepustowość (rys. 5). Przyjęto, że budowle te zwężają koryto rzeki i znacznie hamują odpływ. Celem tego wariantu jest zbadanie zależności między typem i konstrukcją budowli, a poziomem wody gruntowej w jej sąsiedztwie i poziomem wód powierzchniowych.

Warianty III i IV są to warianty hipotetyczne i obecnie niezalecane z punktu widzenia potrzeb ekologicznych.



Rys. 5. Krzywa natężenia przepływu dla budowli piętrzącej w wariantcie IV

Fig. 5. Rating curves for bed of weirs in scenario IV

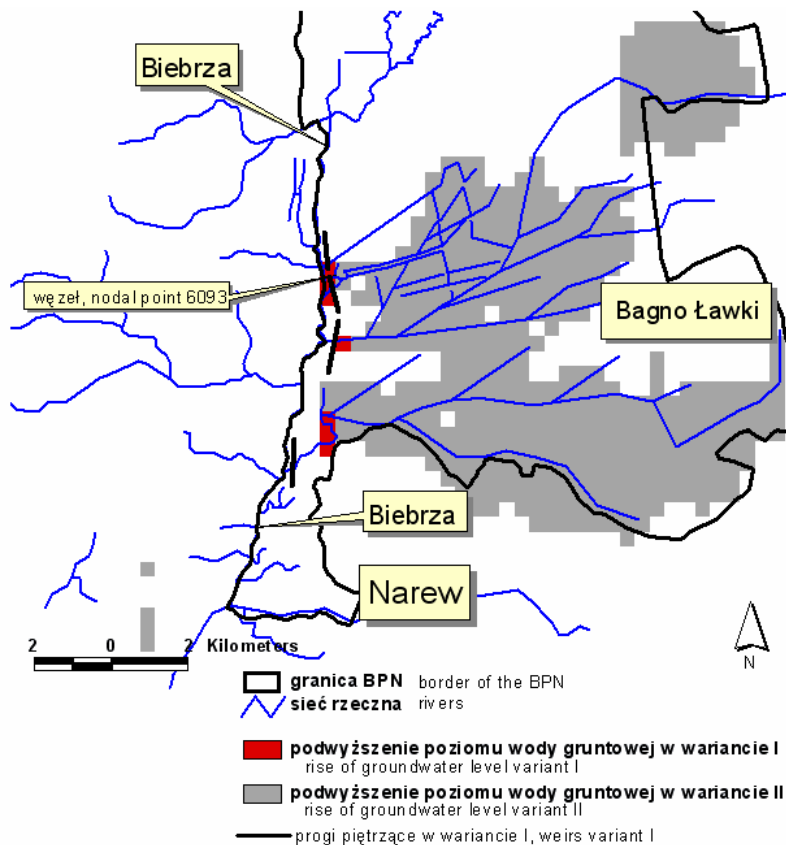
DYSKUSJA WYNIKÓW OBLICZEŃ

Wyniki poszczególnych wariantów obliczeniowych porównano z wynikami wariantu odniesienia (tab. 1). Do analizy wybrano następujące wartości:

- Podwyższenie poziomu wody gruntowej w bezpośrednim sąsiedztwie budowli Δh , które określono jako różnicę średnich z najniższych letnich poziomów zwierciadła wody gruntowej w okresie 1990–1995 między danym wariantem a wariantem 0. Wartości obliczono w węzłach położonych najbliżej budowli piętrzącej i ciek. W przypadku wariantów I i II był to węzeł 6 093 oddalony o 153 m od jednej z budowli piętrzących założonych w obu wariantach. W przypadku wariantów III i IV wybrano węzeł 7 188 położony w odległości 440 m od jednej z budowli piętrzących przyjętych w obu wariantach i 60 m od koryta Biebrzy.
- Zasięg oddziaływania danego wariantu na poziom wody gruntowej $\Delta F_{\text{wpływ}(x-0)}$ czyli powierzchnię, na której odnotowano zmiany poziomu wody gruntowej większe niż 10 cm w porównaniu z wariantem odniesienia. Wyznaczano je jako różnicę średnich stanów wody gruntowej w okresie symulacji między danym wariantem a wariantem 0.
- Zasięg zalewu wiosennego $F_{\text{zalew}(x)}$, czyli powierzchnię, na której w dniu 6.04.1994 r. w danym wariantcie wystąpił zalew. Wybierając datę kierowano się wielkością rocznej sumy opadów. W pierwszej kolejności odrzucono rok 1990, jako pierwszy przyjęty do obliczeń, w którym wszystkie obliczenia są obciążone większym błędem wynikającym z założenia warunków początkowych. Z pozostałego okresu wybrano rok o największej sumie opadów. Był to rok 1994 o sumie opadów 622 mm. W roku tym wybrano dzień o największej ilości opadów – 6 kwietnia 25,3 mm. Prezentowana wartość powierzchni zalewu jest więc największa z występujących w latach 1991–1995.
- Zmianę powierzchni zalewu w danym wariantcie $\Delta F_{\text{zalew}(x-0)}$, czyli różnicę między powierzchnią zalewu w tym wariantcie a wielkością zalewu w wariantcie 0 w dniu 6.04.1994.
- Zasięg wpływu danego wariantu na tereny BPN, czyli część (%) powierzchni BPN w obrębie basenu dolnego, na której zanotowano wpływ jego wprowadzenia na poziomy wody gruntowej ($\Delta F_{\text{BPNwpływ}(x)}$) lub na wielkość wiosennego zalewu ($\Delta F_{\text{BPNzalew}(x)}$).

Obszar BPN na terenie basenu dolnego wynosi 24 914 ha. Granica parku jest zbliżona do granicy doliny. Wyznaczone wartości możemy więc odnieść do doliny ciek. Jest to istotne z punktu widzenia celu symulowanych zabiegów, którym jest podniesienie poziomu wody gruntowej na terenie doliny. Otrzymane wartości umożliwią więc oszacowanie terenu wpływu w stosunku do całej powierzchni wymagającej czynnej ochrony.

Wariant I. Budowa czterech progów powoduje stosunkowo małe zmiany warunków wodnych (tab. 1, rys. 6). Zmiany są niewielkie i tylko w nieznacznej odległości od progów piętrzących. Poziom wody gruntowej w bezpośrednim sąsiedztwie budowl (obliczenia w węźle 6 093) jest wyższy niż w wariacie 0 maksymalnie o 0,26 m. Podwyższenie poziomu wód gruntowych w stosunku do wariantu 0 zanotowano w okresie od czerwca do listopada (rys. 7). W innym czasie poziom wody w tym wariacie jest identyczny jak w wariacie 0. Zasięg oddziaływania tego wariantu na poziom wód gruntowych wynosi 112 ha, jest to stosunkowo niewiele. Wariant ten nie wpływa znacząco na obszar wiosennych zalewów – w dniu 06.04.1994 r. teren zalewowy zmniejsza się w porównaniu z wariantem odniesienia o 32 ha. Jego wprowadzenie miałoby również niewielki wpływ na poziom wód gruntowych w dolinie.



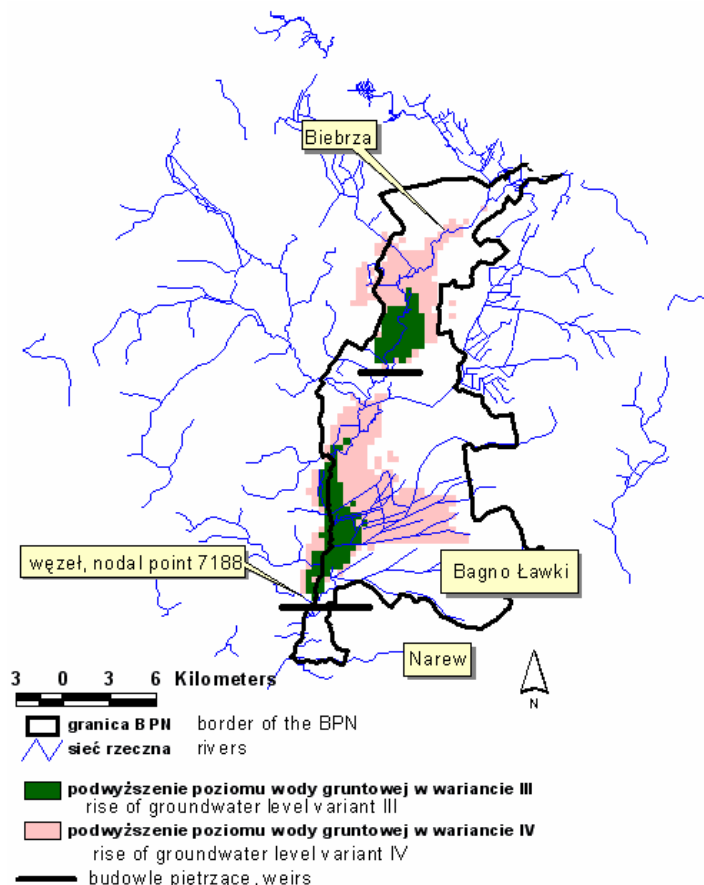
Rys. 6. Zasięg podwyższenia średniego poziomu wody gruntowej w wariantach I i II w porównaniu z wariantem 0

Fig. 6. Range of the average groundwater level rising in scenario I and II in comparison with scenario 0

Wariant II. Budowa wielu małych progów piętrzących na kanałach w dolinie Biebrzy powoduje podniesienie poziomu wody gruntowej na znacznym obszarze oraz lokalne wystąpienia wód na powierzchnię terenu (tab. 1, rys. 6). Poziom wody gruntowej w węźle 6 093 podnosi się maksymalnie o 0,29 m w porównaniu z wariantem 0. Oddziaływanie to ogranicza się do miesięcy letnich i jesiennych (rys. 7), czyli okresu letniego, w którym jest on najniższy, co jest istotne dla poprawienia wilgotności gleb torfowych oraz porastającej je roślinności. Zmiany poziomu wody gruntowej wystąpiły na obszarze 8 368 ha, pokrywając większość Bagna Ławka. Obserwuje się dużo większe oddziaływanie wariantu II w porównaniu z wariantem I, w którym wprowadzono tylko cztery progi piętrzące. Budowa wielu małych progów piętrzących oddziałuje w znaczący sposób nie tylko na wody gruntowe, ale również na powierzchniowe. Powierzchnia wiosennych zalewów (z 6.04 1994 r.) w wariantcie z dużą liczbą małych budowli wynosiła 11 408 ha i jest większa od wariantu odniesienia o 3 232 ha. Na terenie Bagna Ławki w tym wariantcie występował zalew, którego nie było w wariantach 0 i I. Również wpływ na teren BPN jest znaczny – powoduje on podwyższenie poziomu wody gruntowej na około 34% powierzchni BPN oraz występowanie wiosennego zalewu na 45% jego powierzchni.

Wariant III. Budowa dwóch progów piętrzących w korycie Biebrzy powoduje podwyższenie poziomu wody gruntowej w bliskim sąsiedztwie budowli o maksymalnie 0,78 m (tab. 1, rys. 8). Podwyższenie zwierciadła wody gruntowej wystąpiło na obszarze 2 624 ha. Teren wiosennych zalewów obliczony dla 06.04.1994 roku wynosi 9 536 ha i jest większy o 1 360 ha w porównaniu z wariantem 0. Wariant ten powoduje podwyższenie poziomu wody gruntowej na 10,5% powierzchni doliny. Powierzchnia BPN, która zostaje pod wpływem wiosennego zalewu zwiększa się o kilka procent w porównaniu z wariantem 0.

Wariant IV. Budowa w korycie Biebrzy dwóch urządzeń piętrzących o zmniejszonej przepustowości powoduje podwyższenie poziomu wody gruntowej w bliskim sąsiedztwie budowli o 1,01 m (tab. 1). Zasięg oddziaływania na wody gruntowe tego wariantu wynosi 9 232 ha. Jest to obszar największy ze wszystkich wariantów (rys. 8). Zasięg oddziaływania jest znacznie większy niż w wariantcie III (2 624 ha) i II (8 368 ha). W wariantcie tym jednak poziom wody gruntowej za budowlami piętrzącymi na znacznym obszarze układa się ponad poziomem terenu, tworząc dwa zbiorniki wodne. Zbiorniki te sięgają do węzła 6 093, gdzie niemalże przez cały rok woda gruntowa jest ponad powierzchnią terenu (rys. 7). Węzeł ten jest oddalony o 135 m od koryta Biebrzy i o 5,6 km od budowli. Zasięg oddziaływania wariantu IV wzdłuż koryta rzeki wynosi 13,5 km latem. Dla porównania w wariantcie III jest to 10 km. Wielkość wiosennych zalewów w tym przypadku wynosi 12 592 ha i zwiększa się o 4 416 ha w porównaniu z wariantem 0. Wprowadzenie tego wariantu wywołałoby większe zmiany na większym terenie niż wprowadzenie wariantu III. Oddziaływanie tego wariantu na teren BPN również jest znaczne. Podwyższenie poziomu wody gruntowej występuje na 37,1% po-



Rys. 8. Zasięg podwyższenia średniego poziomu wody gruntowej w wariantach III i IV w porównaniu z wariantem 0

Fig. 8. Range of the average groundwater level rising in scenario III and IV in comparison with scenario 0

wierzchni doliny. W tym wypadku, podobnie jak w wariantcie II, zalew wiosenny wystąpi na połowie powierzchni BPN.

WNIOSKI

Oddziaływanie na poziom wody gruntowej pojedynczych, niewielkich przetamowań na kanałach ma zasięg lokalny i jest widoczne tylko w bezpośrednim sąsiedztwie budowli. Pojedyncze przetamowania powodują lokalną poprawę warunków wilgotnościowych gleby. Ich oddziaływanie ogranicza się do terenu w odległości 100–200 m od kanału.

Budowa dużej liczby małych przetamowań wywiera duży wpływ na poziom wody gruntowej na terenie doliny, a co za tym idzie, w znaczący sposób poprawia wilgotność tego terenu, szczególnie w miesiącach letnich, kiedy poziom wody gruntowej jest niski i niewystarczający do utrzymania dużej wilgotności gleb hydrogenicznych i zapewnienia odpowiedniej ilości wody łatwo dostępnej dla porastającej je roślinności.

Duże znaczenie dla poziomu wody gruntowej i powierzchniowej ma nie tylko wprowadzenie budowli piętrzącej, ale również jej typ (światło, przepustowość).

Oddziaływanie na poziom wody gruntowej i powierzchniowej urządzeń piętrzących w korycie Biebrzy jest znaczne, zapewnienie jednak właściwej wilgotności glebom torfowym. Poziom wody gruntowej w tym wypadku jest za wysoki. Za urządzeniami piętrzącymi woda utrzymuje się powyżej powierzchni terenu przez cały rok na dużym obszarze, tworząc zbiorniki wodne.

Z punktu widzenia potrzeb renaturyzacji terenu dolnej Biebrzy najlepszym rozwiązaniem wydaje się wprowadzenie wielu małych budowli piętrzących na kanałach odwadniających. Rozwiązanie to jednak może powodować lokalne podtopienie pewnych obszarów. Wskazuje to potrzebę wykonania odpowiedniej prognozy wpływu budowli na wody gruntowe przed ich realizacją.

Badania modelowe zlewni rzecznych wykonane w programie numerycznym SIMGRO mogą być wykorzystywane do planowania zabiegów ochrony dla obszaru zlewni lub Parku Narodowego.

LITERATURA

- DIK P.E., VAN DER BOLT F.J.E., 1998. Software documentation for SIMGRO V3.0; Regional Water Management Simulator. Technical Document 50. Wageningen: DLO-Staring Centrum ss. 289.
- ERNST L., 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. *J. Hydrol.* 39 (3/4) s. 1–50.
- ŁABĘDZKI L., SZAJDA J., SZUNIEWICZ J., 1996. Ewapotranspiracja upraw rolniczych – technologia, definicje, metody obliczania. *Przegląd stanu wiedzy. Mater. Inf.* 33. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 15.
- MIODUSZEWSKI W., KOWALEWSKI Z., 2002. Soils and hydro-geological conditions, Characteristics of the lower Biebrza Basin. W: *Hydrological system analysis in the valley of Biebrza River*. Pr. zbior. Red. W. Mioduszeowski, E. Querner. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 12–19.
- OKRUSZKO H., 1991. Kształtowanie się naukowego rozpoznania Bagien Biebrzańskich jako przygotowanie decyzji do postępowania na tych terenach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 372 s. 11–25.
- PAJNOWSKA H., POŹNIAK R., 1991. Hydrogeologia Pradoliny Biebrzy i obszarów otaczających. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 372 s. 63–74.
- QUERNER E.P., 1993. Aquatic weed control within an integrated water management framework. Report 67. Wageningen: The Winand Staring Centre ss. 190.
- ŚLESICKA A., QUERNER E. P., MIODUSZEWSKI W., 2002. The assessment of regional groundwater modelling. W: *Hydrological system analysis in the valley of Biebrza River*. Pr. zbior. Red. W. Mioduszeowski, E. Querner. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 81–109.
- ŻUREK S., 1991. Geomorfologia Pradoliny Biebrzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 372 s. 29–62.

Justyna BIELECKA

**MODELLING THE INFLUENCE OF WEIRS ON HYDROLOGICAL SYSTEM
OF THE LOWER BIEBRZA RIVER VALLEY**

Key words: controlling discharge, groundwater table depth, hydrological modelling, lower Biebrza valley, water management

S u m m a r y

Hydraulic network of the Biebrza River valley within the Biebrza National Park was modified in the past. Canals and drainage ditches were constructed. This alteration led to lowering of the groundwater table which restrained peat-forming processes and enabled mineralization of hydrogenic soils. In order to inhibit the degradation of peat soils it is necessary to rise groundwater level and to maintain spring inundations. The modelling study focused on estimating the influence of weirs on groundwater level and on the extent of spring floods. Some scenarios, which set up weirs of different localization, dimensions and capacity, were simulated. Weirs were assumed to be built in canals, draining ditches and the bed of the Biebrza River. The study showed, that some local weirs situated in canals improved soil moisture only in the close neighbourhood while the effect of a group of weirs was noticed on a larger area. The latter case showed expected effect of rising groundwater level. Capacity of weirs was also an important feature for rising groundwater level in neighbouring area. The effect on groundwater level increased with the capacity of weirs. To sum up, the modelling method used in the study might be helpful in decision making and water management in the BNP and the river catchment.

Recenzenci:

dr inż. Sławomir Chrzanowski

prof. dr hab. Jan Żelazo

Praca wpłynęła do Redakcji 09.11.2004 r.

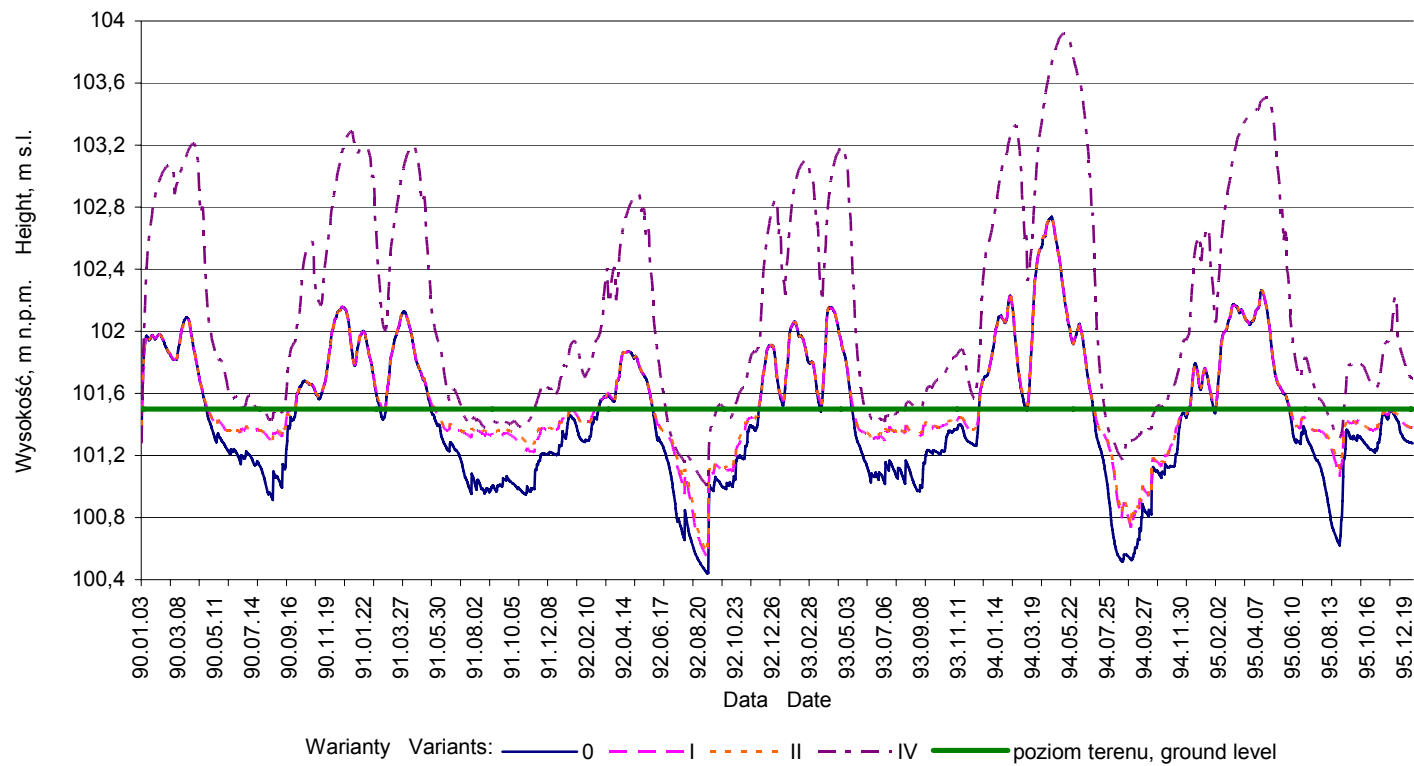
Tabela 1. Wyniki obliczeń wariantowych

Table 1. Results of simulation scenarios

Wariant Scenario	Δh m	$\Delta F_{wplyw(x-0)}$	$F_{zalew(x)}$	$\Delta F_{zalew(x-0)}$	$F_{BPNwplyw(x)}$	$F_{BPNwplyw(x)zalew}$
		$\Delta F_{influence(x-0)}$	$F_{inundation(x)}$	$\Delta F_{inundation(x-0)}$	$F_{BPNinfluence(x)}$	$F_{BPNinfluence(x)inundation}$
		ha			%	
0	0	0	8 176	0	0,0	32,8
I	0,26	112	8 144	-32	0,5	32,7
II	0,29	8 368	11 408	3 232	33,6	45,8
III	0,78	2 624	9 536	1 360	10,5	38,3
IV	1,01	9 232	12 592	4 416	37,1	50,5

Objaśnienie: Δh – podwyższenie poziomu wody gruntowej w bezpośrednim sąsiedztwie budowli, $\Delta F_{wplyw(x-0)}$ – zasięg oddziaływania danego wariantu na poziom wody gruntowej, $F_{zalew(x)}$ – zasięg zalewu wiosennego, $F_{BPNwplyw(x)}$ – powierzchnia wpływu danego wariantu na tereny BPN – wody gruntowe, $F_{BPNwplyw(x)zalew}$ – powierzchnia wpływu danego wariantu na tereny BPN – zalewy.

Explanations: Δh – rising groundwater level in close neighbourhood of the weir, $\Delta F_{wplyw(x-0)}$ – range of the impact of a given variant on ground water level, $F_{zalew(x)}$ – extent of spring floods, $F_{BPNwplyw(x)}$ – an area of the BNP affected by a given variant – ground waters, $F_{BPNwplyw(x)zalew}$ – an area of the BNP affected by a given variant – floods.



Rys. 7. Poziom wody gruntowej w węźle 6093

Fig. 7. Groundwater level in nodal point 6093