

METODYKA SZACOWANIA OBJĘTOŚCI RETENCYJNEJ STAWÓW BOBROWYCH ORAZ ICH ODDZIAŁYWANIA NA STOSUNKI WODNE ZLEWNI LEŚNYCH

Mateusz Grygoruk

Abstrakt

Studium przedstawia metodykę szacowania objętości stawów bobrowych – niewielkich, naturalnych zbiorników wodnych będących istotnym ogniwem cyklu hydrologicznego w zlewniach zasiedlonych przez bobra europejskiego *Castor fiber*. W wyniku pomiarów terenowych oraz analizy przestrzennej w systemach informacji geograficznej (GIS) przedstawiono model stawu bobrowego w zlewni Krzemianki (Puszcza Knyszyńska), którego powierzchnia w 2006 roku wahała się pomiędzy 0,2 a 1,4 ha, w zależności od sytuacji hydrologicznej ciek. Na podstawie cyfrowego modelu terenu oraz analizy hydrologicznej oszacowano potencjalną ilość wody, jaka może być w nim retencjonowana (objętość maksymalnej retencji korytowej stawu na poziomie około 7 tys. m³). W pracy dokonano również próby oceny konsekwencji zmienności powierzchni lustra wody i objętości stawu bobrowego dla ekotonu ciek.

METHODOLOGY OF BEAVER PONDS AREA AND RETENTION VOLUME AND THEIR INTERACTION TO WATER CONDITIONS OF FOREST CATCHMENTS

Abstract

Case study presents methodology of beaver pond's area and volume evaluation. Beaver ponds – small natural water reservoirs – are important elements of hydrological cycle in river catchments settled by European beavers *Castor fiber*. As the result of field measurements and spatial analysis in geographic information systems (GIS), digital model of the biggest beaver pond located in the lower course of Krzemianka stream (Knyszynska Forest) in years 2005–2006 was created. Its area equaled 0,2–1,4 ha and was dependable on hydrologic situation of both Krzemianka stream and its catchment. Using digital terrain model combined with hydrological situation analysis, potential storage capacity of researched beaver pond was estimated as well as consequences of open water table area variability impact on aquatic-terrestrial ecotone and particular habitat.

Wstęp

Z chwilą pojawienia się bobrów *Castor fiber* w nadrzecznych ekosystemach leśnych, pojawił się problem podtopień upraw. Konstrukcyjna aktywność tych gryzoni znajduje bowiem wyraz we wznoszeniu przez nie tam z mułu, roślin oraz gałęzi, co prowadzi do powstawania niewielkich i płytkich zbiorników wodnych zwanych stawami bobrowymi. Wyniki obserwacji i badań ekologicznych (Rosell i in., 2005) oraz hydrologicznych (Grygoruk, 2007; Burns, McDonell, 1998) wskazują, że stawy te zwiększają pojemność retencyjną zlewni oraz wpływają na intensywność i dynamikę procesów wymiany materii i energii zachodzących w ekosystemach wodno-łądowych. Stają się przez to również przyczyną licznych zmian ekologicznych.

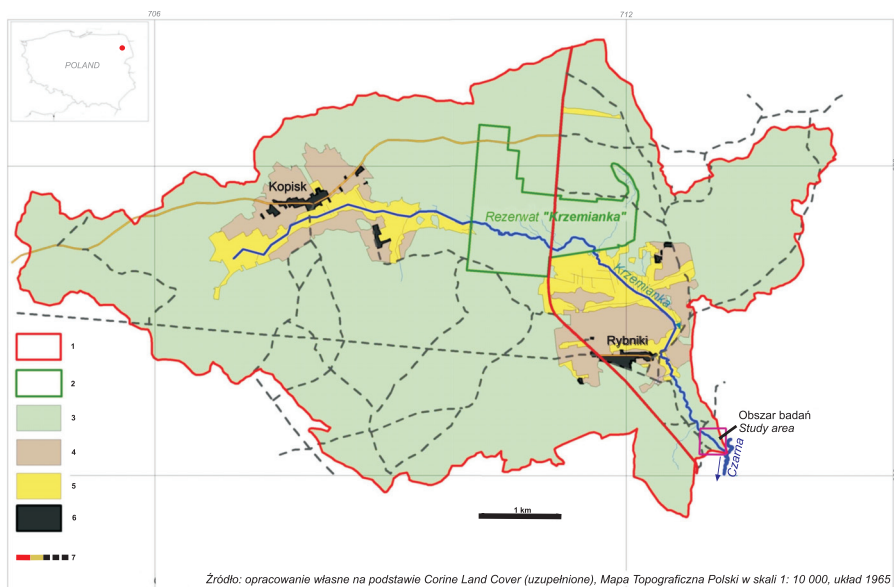
W opisanych przez literaturę przypadkach stwierdzono, że najintensywniejsze procesy wymiany wody pomiędzy stawem bobrowym – integralnym, choć nietrwałym elementem continuum rzecznoego, zachodzą zwykle w strefie marginalnej stawu (Grygoruk, 2007). Istotny zatem wydaje się ilościowy opis zmienności powierzchni i objętości wybranych stawów bobrowych (dotychczas w literaturze podejmowany bardzo rzadko) oraz ich oddziaływania na stosunki wodne siedliska. W zlewniach gęsto zasiedlonych przez bobry, największe zmiany w lokalnym obiegu wody w mikroskali są bowiem efektem dynamiki zmian powierzchni i objętości zbiorników wodnych utrzymywanych przez rodziny tych gryzoni.

W niniejszym opracowaniu poddano analizie największy staw bobrowy, jaki istniał w 2005 i 2006 roku w zlewni Krzemianki (Puszcza Knyszyńska, teren Nadleśnictwa Knyszyn oraz Dojlidy), w przyujściowym odcinku ciek. Był to najniższy staw kaskady 21 niewielkich zbiorników wodnych utrzymywanych przez 5 rodzin bobrowych zamieszkujących dolinę Krzemianki. Hipotezą badawczą było założenie, że ilość wody zgromadzona w stawie wynika z aktualnej sytuacji hydrologicznej ciek, a zmieniającą się w czasie objętość i powierzchnię stawu bobrowego można przedstawiać w funkcji rzędnej piętrzenia tamy bobrowej oraz modelować za pomocą wybranych aplikacji systemów informacji przestrzennej. Dolinę rzeki w miejscu istnienia stawu potraktowano jako potencjalnie pusty zbiornik o morfologii dna wynikającej z morfologii łóżyska ciek. Zbiornik ten, w wyniku przegrodzenia koryta ciek przez bobry zostaje wypełniony wodą, a powierzchnia tego zbiornika zależy od rzędnej piętrzenia i ukształtowania dna doliny. Poddano również weryfikacji hipotezę, że bobry instynktownie znajdują najwęższe miejsca dolin niewielkich cieków i lokują tam swoje tawy w taki sposób, aby możliwie minimalnym nakładem pracy stworzyć możliwie największy staw.

Charakterystyka terenu badań

Zlewnia Krzemianki jest położona w północno-wschodniej Polsce, na obszarze Wysoczyzny Białostockiej, w kompleksie leśnym Puszczy Knyszyńskiej, na pograniczu Nadleśnictwa Dojlidy i Nadleśnictwa Knyszyn. Krzemianka leży w dorzeczu

Narwi. Uchodzi do Czarnej, będącej dopływem Supraśli. Powierzchnia zlewni Krzemianki wynosi 32 km², a długość rzeki 7,2 km¹. Źródła rzeki znajdują się na południe od miejscowości Kopisk, na wysokości około 150 m n.p.m. Szerokość cieku waha się od 1 do 5 m, a głębokości maksymalne w przyujściowym odcinku Krzemianki sięgają 1,5 m. Średni spadek cieku wynosi 4,6 ‰. Lesistość zlewni, obliczona na podstawie zdjęć satelitarnych oraz programów GIS (aplikacja ESRI ArcMap) wynosi około 80%. W dolinie cieku występują gleby organiczne, a dominującym drzewostanem jest ols z domieszką świerka. Olsy w centralnej części doliny Krzemianki wraz z unikalnymi strefami źródliskami jej dopływów, jak również typowe zbiorowiska lasu mieszanego (grąd miodownikowy *Melitti-Carpinetum*) na wysoczyznach wokół doliny rzeki, podlegają ochronie rezerwatowej na mocy powołanego w 1987 roku Rezerwatu „Krzemianka”. Poglądową mapę zlewni Krzemianki przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Mapa poglądowa zlewni Krzemianki; 1 – granice zlewni Krzemianki, 2 – granice rezerwatu *Krzemianka*, 3 – lasy, 4 – grunty orne, 5 – łąki, 6 – miejscowości, 7 – drogi
Fig. 1. Map of the *Krzemianka* river basin; 1 – boundary of *Krzemianka* basin, 2 – boundary of “*Krzemianka*” nature reserve, 3 – forest, 4 – agricultural lands, 5 – meadows, 6 – villages, 7 – roads

Badany staw bobrowy był zlokalizowany 200 metrów powyżej ujścia Krzemianki do Czarnej. Powstał jesienią 2004 roku w wyniku przegrodzenia najpierw

¹ Zgodnie z Atlasem Hydrograficznym Polski, IMGW

koryta, a później również łożyska cieków przez bobry, które osiedliły się w żeremiu zbudowanym w centralnej części stawu (fot. 1).



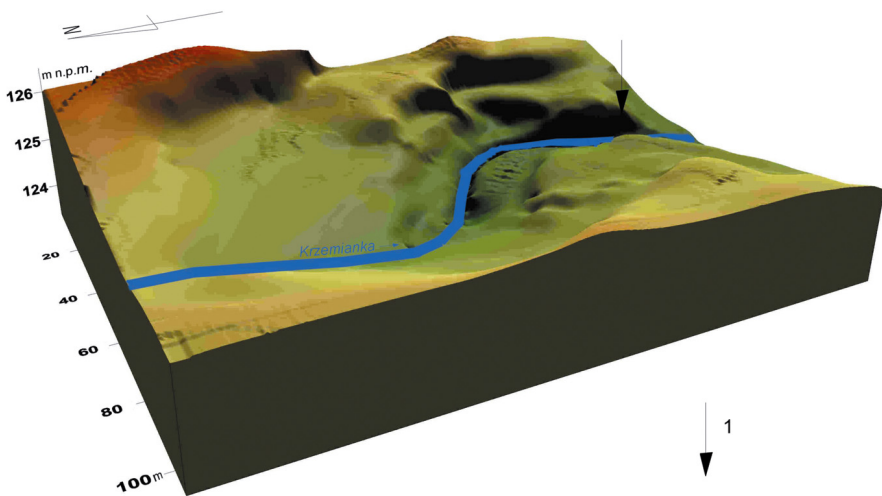
Fot. 1. Badany staw bobrowy; żeremie bobrowe zlokalizowane w centralnej części stawu (fot. M. Grygoruk)

Photo 1. Examined beaver pond; beaver shelter situated in central part of the pond

Pomiary oraz wyniki obliczeń

W celu oszacowania objętości stawu bobrowego wykonano pomiary tachymetryczne misy zbiornika. Wykorzystano teodolit optyczny Dahlta (Theo 04), którego odczyty odniesiono do krajowej osnowy geodezyjnej II rzędu (Reper Rp. 20 6004). Pomiary wykonywano tak, by otrzymane współrzędne punktów odnosiły się do rzeczywistej rzędnej terenu (łatę pomiarową stawiano na podłożu pozbawionym roślinności, aby ukształtowanie powierzchni doliny cieków przedstawić jak najbardziej wiarygodnie. Z sieci ponad 300 punktów o znanych wartościach współrzędnych X , Y [m] oraz h [m n.p.m.] utworzono cyfrowy model terenu (za pomocą aplikacji ESRI ArcMap stworzono model TIN, aplikacja GOLDEN SOFTWARE Surfer pozwoliła na utworzenie modelu Grid) (ryc. 2). W celu lepszego zobrazowania ukształtowania terenu, model został przewyższony.

Najniższą wartość rzędnej piętrzenia tamy bobrowej będącej przyczyną istnienia badanego stawu bobrowego zanotowano w lutym 2007 roku (124,30 m n.p.m.), a najwyższą – w okresie wiosennych roztopów w marcu 2006 roku (125,00 m n.p.m.). W okresie badań, zmienność rzędnej piętrzenia tamy powodowała zmiany powierzchni badanego stawu bobrowego (A), jak również jego objętości (V).



Ryc. 2. Cyfrowy model doliny Krzemianki
 (obszar badanego stawu bobrowego; 1 – lokalizacja tamy bobrowej)
Fig. 2. Digital terrain model of Krzemianka valley
 (examined beaver pond area; 1 – beaver dam localization)



Fot. 2. Tama bobrowa – przyczyna powstania badanego stawu bobrowego
 (fot. M. Grygoruk)
Photo 2. Beaver dam – the reason of examined beaver pond's appearance

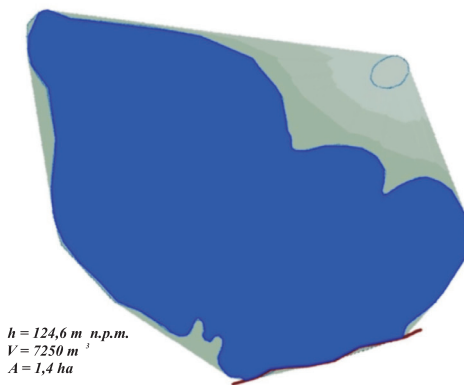
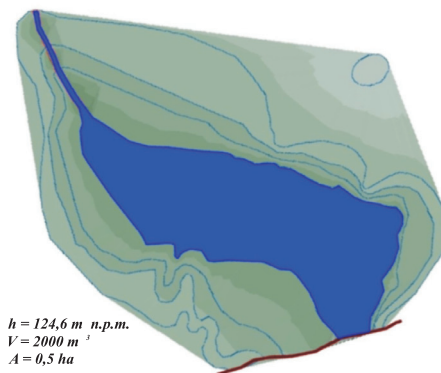
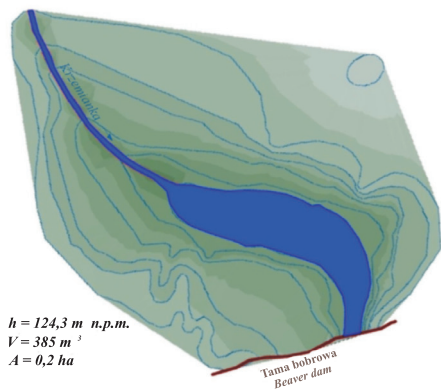
Na podstawie wykonanego cyfrowego modelu terenu oraz rzędnych piętrzenia tamy bobrowej zanotowanych w okresach maksymalnego i minimalnego napełnienia badanego stawu bobrowego, odtworzono jego powierzchnię maksymalną i minimalną, jak również warianty pośrednie. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1. Minimalna objętość stawu bobrowego wystąpiła w okresie wyjątkowej suszy (lipiec 2006) oraz podczas niżówek zimowych (luty 2007), a maksymalna – w okresach wiosennych roztopów (marzec 2006). Wybrane stany napełnienia stawu bobrowego przedstawiono na rycinie 3.

Tab. 1. Powierzchnia i objętość badanego stawu bobrowego przy różnych wartościach rzędnych piętrzenia tamy bobrowej

Table 1. Area and volume of the beaver pond due to various beaver dam elevations

Rzędna piętrzenia m n.p.m.]	Powierzchnia lustra wody [m ²]	Objętość [m ³]
124,30	2 029	386
124,35	2 477	557
124,40	2 994	763
124,45	3 473	1 009
124,50	3 951	1 290
124,55	4 438	1 608
124,60	4 970	1 962
124,65	5 815	2 371
124,70	6 657	2 844
124,75	7 486	3 380
124,80	8 296	3 978
124,85	9 327	4 646
124,90	10 390	5 392
124,95	12 247	6 256
125,00	13 983	7 249

Codzienna obserwacja aktywności bobrów oraz wzniesionej przez nie tamy w okresie badań wykazała, że gryzienie te nie uszczelniały i nie nadbudowywały korony przetamowania. Można zatem uznać, że napełnienie badanego stawu bobrowego było warunkowane praktycznie wyłącznie wielkością dopływu, a nie zmianami szczelności i wysokości tamy bobrowej. Badany staw bobrowy zachowywał się jak zbiornik retencyjny gromadzący wodę w okresach wezbrań (h_{\max} , V_{\max} , A_{\max}), a oddający wodę w okresach niżówek (h_{\min} , V_{\min} , A_{\min}). Wszelkie zmiany wartości rzędnej piętrzenia w badanym okresie uznano zatem za konsekwencje zmiennej sytuacji hydrologicznej Krzemianki (wahań stanów wody oraz natężenia przepływu) w różnych porach roku, co potwierdza postawioną hipotezę badawczą.



Ryc. 3. Model badanego stawu bobrowego (TIN) przy wybranych rzędnych piętrzenia tamy (h)

Fig. 3. Beaver pond model (TIN) due to selected beaver dam elevations (h)

Na podstawie analiz przestrzennych oszacowano, że różnica pomiędzy minimalną a maksymalną powierzchnią badanego zbiornika wyniosła niemal 1,2 ha, przy maksymalnej różnicy objętości równej prawie 7 tys. m³. Analizując rzeźbę terenu doliny Krzemianki w miejscu powstania stawu bobrowego, wyraźnie widać, że tama bobrowa została zlokalizowana w miejscu, gdzie dolina ciekuj jest najwęższa (ryc. 2, fot. 2).

Dyskusja

W świetle przedstawionych pomiarów i wyników obliczeń modelowych należy jednoznacznie stwierdzić, że stawy bobrowe są bardzo wydajnym narzędziem w zwiększaniu pojemności retencyjnej niewielkich zlewni. Przedstawioną wartość maksymalnej różnicy objętości stawu bobrowego – niemal 7 tys. m³ – należy rozumieć jako potencjalną ilość wody, która w konsekwencji aktywności konstrukcyjnej bobrów może być zatrzymana w misie stawu. Wartość tę należy interpretować jako maksymalną objętość wezbrania, jakie może zostać zretencionowane w stawie. Można przyjąć, że w sytuacjach wezbrań następujących po długotrwałych okresach suszy (tak, jak w przypadku roku badań, kiedy po ekstremalnie suchym lipcu, kiedy suma opadu wyniosła 37 mm, nastąpił bardzo wilgotny sierpień – suma opadu 209 mm)², woda pozostająca w stawie to woda propagacji (początku) wezbrania. Nadwyżki wody w chwili przejścia przez system hydrauliczny stawu bobrowego szczytu fali wezbraniowej, przelewają się przez tamę (zwykle bocznymi kaskadami, gdyż – jak wynika z obserwacji różnych typu budowli bobrowych – tamy w świetle koryta ciekuj są zazwyczaj najszczelniejsze). Woda pozostająca w systemie stawu bobrowego – a więc zarówno w zbiorniku jak i jego systemie, szeroko rozumianym jako ekoton – wraca do obiegu i w okresach niskich przepływów ciekuj zasila jego odpływ powierzchniowy. Po pewnym czasie, kiedy nadwyżka wody zgromadzona w czasie propagacji fali wezbraniowej odpłynie ze stawu bobrowego, (gdzie zbiornik ulegnie częściowemu opróżnieniu), największą rolę w wymianie wody w ekotonie stawu zaczynają odgrywać procesy wymiany lateralnej (podziemnej). Podniesienie poziomu wody w ciekuj poprzez przetamowanie go przez bobry powoduje bowiem zmniejszenie spadku hydraulicznego zwierciadła wód podziemnej zlewni różnicowej stawu, co jest przyczyną spowolnienia odpływu podziemnego (w ujęciu lokalnym – zmniejszenia siły drenującej ciekuj). Woda zgromadzona w glebie odpływa wówczas do ciekuj znacznie wolniej, niż ma to miejsce w warunkach cieków niebędących pod wpływem aktywności konstrukcyjnej bobrów. W okresie stopniowego opróżniania stawu, zwiększa się prędkość przepływu podziemnego, a proces ten zaczyna dominować w ogólnej wymianie wody w ekotonie stawu. Co więcej, objętość podziemnej wymiany wody w systemie stawu bobrowego jest nieporównywalnie większa od objętości pionowej wymiany wody w stawie bobrowym (różnica pomiędzy wartościami opadu i parowania z powierzchni stawu lub jego zlewni różnicowej) (Grygoruk, 2007).

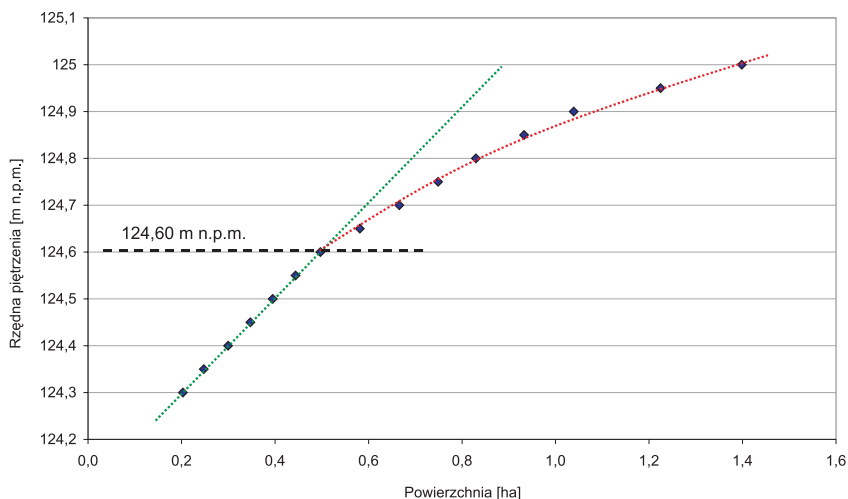
² Według danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, oddział w Białymstoku.

Ujęcie to pozwala wnioskować, że ilość wody zatrzymanej w strefie ekotonalnej stawu bobrowego jest większa, aniżeli sama retencja korytowa, którą w opisywanym przypadku wyrażono jako obliczoną modelowo maksymalną różnicę objętości stawu bobrowego.

Dynamika zmienności powierzchni stawu bobrowego, jako konsekwencja zaburzenia lokalnych warunków hydrologicznych otoczenia stawu, jest przyczyną zmiany charakteru ekotonu ciekłu. Ze względu na często występujące podtapianie strefy marginalnej stawu, zwiększa się powierzchnia strefy przejściowej pomiędzy krajobrazem ciekłu i krajobrazem łądu – strefy, w której zachodzą bardzo intensywne procesy wymiany materii i energii (Zalewski, Wagner-Lotkowska, 2000), w tym – procesy samooczyszczania. W opisywanym przypadku, wartość minimalna, o jaką w wyniku działalności konstrukcyjnej bobrów wzrosła powierzchnia ekotonu wodno-łądowego, równa się różnicy pomiędzy maksymalną i minimalną powierzchnią stawu bobrowego – około 1,2 ha. Przytaczając charakterystykę procesów obiegu wody w stawie bobrowym przedstawioną w kontekście analizy objętości masy stawu można twierdzić, że powierzchnia ekotonu ciekłu w opisywanym przypadku wzrosła o więcej niż 1,2 ha, jednak bez specjalistycznych badań fitosocjologicznych i siedliskowych niemożliwe jest precyzyjne określenie tej powierzchni.

W przypadku opisanego stawu bobrowego zaobserwowano daleko idące konsekwencje aktywności tych gryzoni dla krajobrazu strefy przejściowej ciekłu i łądu. W wyniku długotrwałego podtapiania i zmiany stosunków wodnych, siedlisko doliny ciekłu przestało być odpowiednie dla świerka, który – jako zagrożony obumarciem, został wycięty przez służby leśne. W wyniku tego, zwiększyła się dostawa światła do dna lasu, a w konsekwencji pojawiły się dobre warunki rozwoju roślinności bagiennej (sit oraz turzyce), wcześniej niespotykanej w tym siedlisku.

Chcąc minimalizować straty, jakich bobry dokonują poprzez podtapianie, należy wyznaczyć pewną rzędną zwierciadła wody w stawie bobrowym, której przekroczenie przekłada się na niekorzystny obszar zalewu. Obserwując zależność $f(h) = A$ (ryc. 4) można wskazać punkt, w którym prostoliniowa zależność ($h) = A$ przy niskich wartościach rzędnej piętrzenia przechodzi przy wyższym piętrzeniu w zależność krzywoliniową (podobną do kształtu krzywej batygraficznej jeziora). W badanym przypadku, graniczną wartością rzędnej jest około 124,60 m n.p.m.. Oznacza to, że jednostkowy wzrost rzędnej piętrzenia w zakresie powyżej tej wartości skutkuje powstaniem rozleglejszego zalewu aniżeli zmiana wysokości piętrzenia w przedziale rzędnych poniżej 124,60 m n.p.m. Znakując te parametry można za pomocą urządzeń sterujących napełnieniem stawu bobrowego (np. cylindry Clemsona) tak manipulować rzędną piętrzenia, by przy zminimalizowaniu potencjalnych strat wynikających z podtapiania utrzymywać równocześnie bobrowe siedlisko, a pośrednio – magazynować pewną ilość wody. Zgodnie z wymogami małej retencji, zatrzymywanie wody w możliwie najwyższych partiach zlewni (a więc tam, gdzie w obliczu niewielkiej głębokości i szerokości ciekłu działalność „retencyjna” bobrów odnosi największy skutek) przynosi wówczas największą korzyść przy poniesieniu najmniejszych kosztów alternatywnych, jeśli pominąć straty wynikające z podtapiania drzewostanów w dolinach.



Ryc. 4. Zależność pomiędzy rzędną piętrzenia tamy bobrowej a powierzchnią badanego stawu bobrowego

Fig. 4. Dependence between the beaver dam elevation and the area of beaver pond

Wnioski

1. Rozpatrując staw bobrowy jako zbiornik wodny o znanej objętości i powierzchni uzyskuje się dokładny ilościowy opis jego oddziaływania na stosunki wodne w skali lokalnej.
2. W badanym przypadku, dzięki aktywności konstrukcyjnej bobrów, objętość retencji korytowej wzrosła o około 7 tys. m³. Należy jednak pamiętać, że w wyniku zmiany stosunków wodnych ekosystemu stawu (głównie zmiany parametrów hydraulicznych odpływu podziemnego) rzeczywisty wzrost retencyjności siedliska był dużo wyższy.
3. Powierzchnia badanego stawu bobrowego wahała się w granicach 0,2–1,4 ha. Powierzchnia ekosystemu ciekła wzrosła więc bezwzględnie o 1,2 ha. Z jednej strony jest to powierzchnia, na której w wyniku zmiany stosunków wodnych nastąpiło obumaranie drzewostanu świerkowego, z drugiej jednak – znacząco wzrosła powierzchnia najintensywniejszej wymiany materii i energii pomiędzy krajobrazem ciekła a krajobrazem lasu, co może mieć wydatny wpływ na poprawę jakości wody ciekła.
4. Woda zgromadzona przez system badanego stawu bobrowego w okresach wezbrań była stopniowo oddawana podczas najdotkliwszych letnich niżówek. Odpływ ciekła w tych krytycznych momentach został wyrównany. Ponadto, badany staw bobrowy stał się magazynem wody dla innych zwierząt (stwierdzono tam liczne ślady obecności jeleni i saren, jak również ptaków wodno-błotnych – kaczek oraz brodziec samotnego).

5. W przypadku siedliska badanego stawu bobrowego nastąpił wyraźny wzrost liczby gatunków roślin. W wyniku wycięcia przez służby leśne podtopionego drzewostanu świerkowego, nastąpiło zwiększenie dostawy światła do dna siedliska. W obliczu poprawy warunków wodnych doprowadziło to do pojawienia się w ekosystemie roślinności mokradłowej (głównie turzyc, situ, mięty i tataraku).
6. Opisany przypadek potwierdza hipotezę badawczą mówiącą o tym, że bobry instynktownie lokalizują swe tany w miejscach przewężeń dolin i koryt cieków, gdzie niewielki wzrost piętrzenia powoduje relatywnie duży zalew.

Podziękowania

Serdecznie dziękuję mojemu Ojcu – Andrzejowi Grygorukowi – za pomoc i wytrwałość przy wykonaniu pomiarów terenowych. Równie serdecznie dziękuję dr. Maciejowi Lenartowiczowi oraz dr Barbarze Nowickiej z Zakładu Hydrologii Uniwersytetu Warszawskiego za pomoc w interpretacji wyników badań oraz duże zaangażowanie w analizie oddziaływania stawów bobrów na obieg wody w zlewni Krzemianki.

Literatura

- Burns D.A., McDonell J.J., 1998, *Effects of a beaver pond on runoff process: comparison of two headwater catchments*, Journal of Hydrology 205, s 248–264, Elsevier
- Grygoruk M., 2007, *Ocena wpływu tam i stawów bobrowych na obieg wody w zlewni leśnej*, praca magisterska, Zakład Hydrologii, Instytut Geografii Fizycznej, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawskiego, Warszawa
- Rosell F., Bozser O., Collen P., Parker H., 2005, *Ecological impact of beavers Castor fiber and Castor canadensis and their ability to modify ecosystems*, Mammal Review, vol. 35 No. 3&4, s. 248–276
- Zalewski M., Wagner-Lotkowska J., 2000, *Integrated Watershed Management*, Ecohydrology and Phytotechnology, Manual, UNEP, UNESCO

Mateusz Grygoruk

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
Zakład Hydrologii i Zasobów Wodnych
m.grygoruk@levis.sggw.pl