



Zmiany składników bilansu wodnego śródleśnych małych zbiorników wodnych w zlewni Proсны (środkowa Polska)

Changes in components of the water balance of small mid-forest bodies of water in the River Proсны catchment (central Poland)

Mariusz Korytowski*  Rafał Stasiak  Michał Fiedler 

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań

mariusz.korytowski@up.poznan.pl * (autor korespondencyjny) • rafal.stasiak@up.poznan.pl •

michal.fiedler@up.poznan.pl

Zarys treści. Śródleśne małe zbiorniki wodne zarówno pochodzenia antropogenicznego, jak i te o charakterze wytopiskowym (glacjogenicznym), odgrywają niezwykle istotną rolę w kształtowaniu gospodarki wodnej mikro-zlewni leśnych. Zretencjonowana w tych zbiornikach woda pozytywnie wpływa na wody gruntowe przyległych siedlisk leśnych, zasilając je w okresach posuch. Poznanie składowych bilansu wodnego tych niewielkich najczęściej akwenów może przyczynić się do ich ochrony, w kontekście działań związanych np. z ich odtwarzaniem. Pozwala także poznać ich funkcjonowanie. Podstawowym celem prowadzonych badań była analiza składowych bilansu wodnego dwóch różniących się pod względem zasilania śródleśnych oczek wodnych zlokalizowanych w zlewniach Niesobu i Pomianki – lewobrzeżnych dopływów Proсны.

Uzyskane w latach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016 wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że w największym stopniu o przychodach w bilansie wodnym bezodpływowego oczka nr 1 decydował opad atmosferyczny na jego powierzchnię. W półroczach zimowych omawianych lat zasilanie oczka opadem kształtowało się na poziomie od 274 m³ (2015) do 432 m³ (2016), a w półroczach letnich osiągało wartości od 155 m³ (2016) do 684 m³ (2013). Natomiast czynnikiem, który w największym stopniu decydował o rozchodach w równaniu bilansowym tego oczka, było parowanie z jego powierzchni. W półroczach zimowych osiągało ono wartości od 177 m³ (2016) do 345 m³ (2013), a w półroczach letnich kształtowało się na poziomie od 385 m³ (2016) do 496 m³ (2015). W drugim analizowanym śródleśnym oczku wodnym nr 5 czynnikami decydującymi o kształtowaniu się bilansu były te związane z poziomą wymianą wody. Po stronie przychodów w największym stopniu o bilansie decydował dopływ źródłiskowy, wynoszący średnio w analizowanych latach 46 873 m³. Natomiast największy wpływ na ubytki wody miał odpływ z tego zbiornika do pobliskiego rowu, kształtujący się w omawianych latach średnio na poziomie 69 348 m³.

Słowa kluczowe: bilans wodny, śródleśne oczka wodne, Niesób, Pomianka, Proсны, Polska środkowa.

Keywords: *Water balance, mid-forest ponds, Niesób, Pomianka, Proсны, Central Poland.*

Wstęp

Stały wzrost zapotrzebowania na wodę powoduje, że nowe systemy wodno-gospodarcze i systemy wodno-przyrodniczo-gospodarcze mają na celu nie tylko dostarczenie wody, ale także ochronę i racjonalne gospodarowanie jej zasobami (Kaca et al., 2020). Racjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi oraz ich ochrona są również niezwykle istotne w kontekście występujących z coraz większym nasileniem okresów posusznych. Zarówno

na obszarach użytkowanych rolniczo, jak i leśnie, niedobory wody, charakterystyczne dla rejonu Polski środkowej, często wywołują olbrzymie straty w uprawach. Zapoczątkowana w połowie lat 90. XX w. realizacja programów małej retencji niezwykle istotnie wpłynęła na ochronę i zwiększenie zasobów wodnych. Jednakże podejmowane na coraz szerszą skalę w ostatnich dekadach działania nadal wydają się być niewystarczające. Jak podaje Mioduszewski (2008), szczególnie predysponowane do realizacji programów małej retencji są obszary leśne. W latach 2016-2022 Lasy Państwowe uczestniczyły w realizacji projektu „Kompleksowy projekt adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach nizinnych”, w którym jednym z priorytetów było odtwarzanie śródleśnych oczek wodnych (Wojtkowiak, 2020).

Wśród oczek wodnych wyróżnić można te, które najczęściej definiowane są jako bezodpływowe formy wytopiskowe (glacigeniczne), o średnicy do 60 m i głębokości nieprzekraczającej 5 m, powszechne w zasięgu zlodowacenia bałtyckiego (Klimaszewski, 1978; Drwal i Lange, 1985; Pieńkowski, 1996; Twaróg, 1998; Oertli et al. 2005; Choiński, 2007; Major, 2010). Często spotykanym typem oczek wodnych są również oczka pochodzenia antropogenicznego. Jak podają Kochanowska et al. (1997) ten typ zbiorników powstaje najczęściej po wypełnieniu wodą różnego rodzaju wyrobisk, np. po eksploatacji kredy jeziornej czy gliny. Natomiast według Pieńkowskiego (2021) w Polsce niezależnie od genezy małe zbiorniki wodne nazywane są oczkami wodnymi. Większość oczek to formy naturalne usytuowane w obrębie bezodpływowych zagłębień terenowych, których powstanie powiązane jest z procesami recesji lądolodu. W języku angielskim w Europie nazywa się je najczęściej *kettle holes* lub *ponds*, a w Ameryce – *potholes*. Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3 lutego 1995 roku określa oczka wodne jako zbiorniki o głębokości od 2-3 m i powierzchni do 1 ha, niepodlegające klasyfikacji gleboznawczej.

Wyniki wieloletnich badań wykazały, że woda zretencjonowana zarówno w śródpolnych, jak i śródleśnych oczkach wodnych pozytywnie wpływa na wody gruntowe terenów przyległych, zasilając je w okresach posusznych (Winter, 1986; Philips i Shedlock, 1993; Kosturkiewicz et al., 2001; Major, 2003; Parsons et al., 2004; Pływaczyk et al., 2007; Orzepowski, 2010; Céréghino et al. 2014, Owusu et al., 2022). Jak podają m.in. Mioduszewski i Pierzgałski (2009), a także Wisser et al. (2010), wśród licznych funkcji, jakie mogą pełnić, można wymienić: retencjonowanie wody, zapobieganie suszy, stanowienie ostoi dla zwierząt. Poznanie składowych bilansu wodnego tych niewielkich zbiorników pozwoli poznać ich funkcjonowanie i może przyczynić się do ich ochrony, w kontekście działań związanych np. z odtwarzaniem tych zbiorników.

Dotychczas opublikowano wiele prac dotyczących charakterystyki bilansu niewielkich zbiorników wodnych, ale najczęściej w ujęciu jakościowym w odniesieniu do retencjonowanych w nich wód oraz osadów dennych (Bhuiyan i Gupta, 2007; Szymczyk i Świtajska, 2013; Karasiewicz et al., 2014; Matthew et al., 2015; Schmadel et al., 2019; Major et al., 2021). Natomiast niewiele jest pozycji literatury ujmujących ilościowo, w sposób szczegółowy bilans wodny śródleśnych czy śródpolnych zbiorników. Jak podaje Rzętała (2000), dostępne są opracowania bilansu wodnego zbiorników wodnych, lecz najczęściej są to opracowania fragmentaryczne. Owa fragmentaryczność wynika z braku kompleksowych badań, a wyniki dotyczą najczęściej tylko wybranych składowych bilansu wodnego.

Celem pracy była analiza składowych bilansu wodnego dwóch różniących się pod względem zasilania śródleśnych oczek wodnych, zlokalizowanych w zlewniach Niesobu i Pomianki – lewobrzeżnych dopływów Prosną, w latach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016.

Obszar badań

Na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice (LZD) zinwentaryzowano 23 śródlęśne oczka wodne. Średnie zagęszczenie tych zbiorników, przy zbliżonej do 6 tys. ha powierzchni lasów w nadleśnictwie, wynosi około 3 oczka na 1 km² powierzchni lasów (Kosturkiewicz et al., 1999).

W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w latach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016 w zlewniach dwóch różniących się sposobem zasilania śródlęśnych oczek wodnych (nr 1 i 5). Omawiane zlewnie zlokalizowane są na terenie LZD w leśnictwach Wielisławic (oczko nr 1) oraz Laski (oczko nr 5). Lasy LZD Siemianice należą do Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Lasy Rychtałskie” i leżą w prowincji Niżu Środkowoeuropejskiego i podprowincji Nizin Środkowopolskich, na Wysoczyźnie Wieruszowskiej, będącej zdenuduwaną równiną morenową przeciętą biegiem górnej Proсны (Kondracki, 2002). Położenie omawianego obszaru wyznaczają współrzędne: 51°10'–51°20' szerokości geograficznej północnej i 18°00'–18°15' długości geograficznej wschodniej (Chmal et al., 2004).

Wysoczyzna Wieruszowska, zwana również Progiem Wieruszowskim (318.24), to mezoregion fizycznogeograficzny, stanowiący południowo-zachodnią część Niziny Południow Wielkopolskiej. Specyficzną cechą geomorfologiczną regionu jest występowanie tzw. kęp wysoczyznowych (np. Opatowska, Siemianicka, Mikorzyńska, Wójcińska, Żdzarska) poprzecinanych obniżeniami. Rzeźba terenu jest wynikiem budowy geologicznej z okresu zlodowacenia Warty oraz późniejszych procesów erozyjno-akumulacyjnych ostatniego zlodowacenia i holocenu (Kuliński i Kochanowska, 2004).

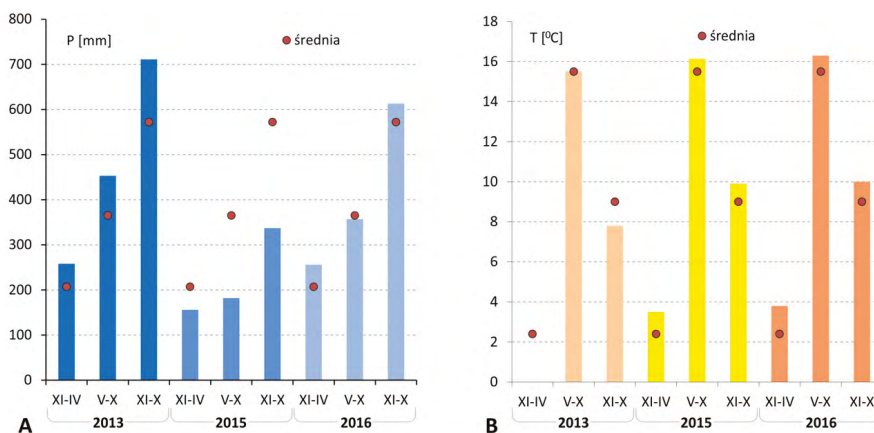
Jak podaje Bąk (2003) oraz Tymczuk et al. (2005) według różnych podziałów Polski na strefy klimatyczne rejon Polski środkowej, w szczególności Wielkopolskę i Kujawy, zalicza się do najsuchszych i najcieplejszych rejonów w kraju. Opady cechuje duża nieregularność, a różnice sum opadów w poszczególnych latach mogą dochodzić nawet do 250%. Średnia roczna temperatura powietrza atmosferycznego wynosi dla obszaru Wielkopolski około 8,2°C, na północy spada do 7,6°C, a na krańcach południowych i zachodnich osiąga 8,5°C. Ekstremalne wartości temperatury w okresie letnim dochodzą do +38°C, a w okresie najbardziej surowych zim spadają do prawie -30°C. Nad charakteryzowanym obszarem dominują masy powietrza polarno-morskiego, co powoduje, że lata są chłodniejsze, a zimy łagodniejsze w porównaniu ze wschodnią, bardziej kontynentalną częścią Polski. Przeważa zachodni kierunek wiatru o prędkości około 3 m·s⁻¹. O nagłych zmianach pogody w tym regionie często decydują procesy fizyczne zachodzące na frontach atmosferycznych. Nad tymi obszarami najczęściej przemieszczają się fronty chłodne, którym w okresie letnim często towarzyszą burze, znaczne wahania temperatury oraz wzrost prędkości wiatru. Omawiany obszar należy do łódzko-wieluńskiego regionu klimatycznego (Kuliński i Kochanowska, 2004). Termiczne lato i zima trwają tu 80-90 dni. Średnia temperatura lipca wynosi 17°C, stycznia 3°C, a średnia temperatura roczna około 7,7°C. Suma opadów rocznych waha się od 550 mm do 650 mm.

Rok hydrologiczny 2013, w którym suma opadów wyniosła 711 mm i była wyższa od średniej z wielolecia o 139 mm, był rokiem wilgotnym. W półroczu zimowym tego roku suma opadów była wyższa od średniej z wielolecia o 51 mm, przy temperaturze powietrza niższej od średniej aż o 2,4°C. W półroczu letnim suma opadów była wyższa od średniej z wielolecia o 88 mm, przy temperaturze powietrza równej wartości średniej (ryc. 1).

Natomiast rok hydrologiczny 2015, w którym suma opadów wyniosła 337 mm i stanowiła tylko 59% opadu normalnego, był pod względem wilgotnościowym bardzo suchy. W półroczu zimowym tego roku suma opadów była niższa od średniej z wielolecia o 51 mm, a temperatura powietrza wyższa od średniej o 1,1°C. Szczególnie bardzo suche było półrocze letnie omawianego roku, w którym suma opadów była niższa od średniej z wielolecia aż o 183 mm, przy wyższej od średniej o 0,9°C temperaturze powietrza.

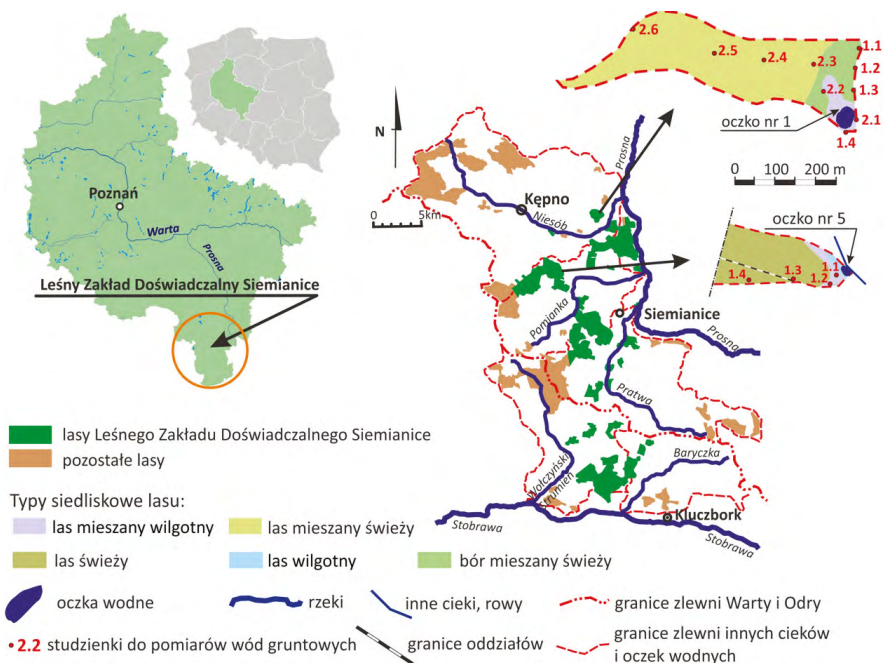
Trzeci omawiany w pracy rok hydrologiczny (2016), w którym suma opadów wyniosła 613 mm i była wyższa od średniej z wielolecia o 41 mm, był rokiem przeciętnym. Wilgotne i ciepłe było półrocze zimowe tego roku, w którym suma opadów przekroczyła średnią z wielolecia o 49 mm, a temperatura powietrza była wyższa od średniej o 1,4°C. Natomiast w półroczu letnim suma opadów była niższa od średniej o 28 mm, przy zbliżonej do średniej temperaturze powietrza.

Leśny Zakład Doświadczalny Siemianice Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu usytuowany jest przy drodze krajowej nr 11 Poznań-Bytom, około 15 km na południowy wschód od Kępna (ryc. 2). Zlewnia śródlęsnego oczka wodnego nr 1, o lesistości 100% i powierzchni około 7,5 ha, usytuowana jest w zlewni Niesobu, który jest lewobrzeżnym dopływem Prosnicy. W badanej zlewni przeważają siedliska świeże, zajmując 98% jej powierzchni, a w terenie bezpośrednio przyległym do oczka występuje siedlisko lasu mieszanego wilgotnego. Natomiast zlewnia oczka nr 5, o lesistości 100% i powierzchni około 20 ha, jest usytuowana w zlewni cieką Pomianka, który również jest lewobrzeżnym dopływem Prosnicy. W omawianej zlewni, podobnie jak w zlewni oczka nr 1, przeważają siedliska świeże, a w najbliższym sąsiedztwie tego zbiornika występuje siedlisko lasu wilgotnego. Pod względem zróżnicowania wysokościowego zlewnie oczek wodnych nr 1 i 5 mają zbliżony charakter, a deniwelacje terenu w tych zlewniach wynoszą odpowiednio 13,05 m i 13,3 m. W pokrywie glebowej analizowanych zlewni dominują gleby rdzawe bielcowe i rdzawe brunatne (oczko nr 1) oraz gleby brunatne kwaśne typowe (oczko nr 5), a przeważającym gatunkiem jest piasek słabogliniasty.



Ryc. 1. Półroczne i roczne sumy opadów atmosferycznych (A), półroczne i roczne średnie temperatury powietrza (B) w latach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016 oraz wartości średnie z wielolecia 1975-2010 dla tych okresów

Half-yearly and yearly precipitation totals (A), half-yearly and yearly average air temperatures (B) for hydrological years 2013, 2015 and 2016, presented along with the 1975-2010 multi-year averages for these periods



Ryc. 2. Lokalizacja zlewni śródleśnych oczek wodnych nr 1 i nr 5 na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice

Location of the catchments including mid-forest ponds Nos. 1 and 5, in the area of the Siemianice Forest Experimental Station

Charakteryzując podstawowe parametry morfometryczne badanych oczek można stwierdzić, że śródleśne oczko wodne nr 1, o powierzchni 0,13 ha i głębokości średniej 1,0 m, ma charakter oczka wytopiskowego o kształcie zbliżonym do okręgu. Długość linii brzegowej tego oczka wynosi 118 m, a wskaźniki wydłużenia i przegłębienia kształtują się na poziomie odpowiednio 1,1 oraz 2,5 (tab. 1). Według Majora (2012) wskaźnik wydłużenia daje pogląd na kształt powierzchni danego zagłębienia, tzn. im wartość wskaźnika jest większa, tym zagłębienie ma bardziej wydłużony kształt, a jeżeli jego wartość jest bliższa jedności, to zagłębienie ma kształt bardziej zbliżony do okręgu. Natomiast im bardziej wartość wskaźnika przegłębienia jest zbliżona do zera, tym zagłębienie jest płytsze.

Omawiane oczko wodne nr 1 charakteryzuje się bezodpływowością powierzchniową i jest to typowy śródleśny zbiornik oligo-humotroficzny. Jak podaje Namura-Ochalska (2008) w tego typu zbiornikach często zachodzi proces zarastania ich przez emeryjne zbiorowiska torfowisk przejściowych i wysokich z klasy *Scheuchzerio-Caricetea* i *Oxycocco-Sphagnetea*.

Natomiast oczko nr 5 o głębokości średniej 1,2 m i powierzchni 0,096 ha ma kształt prostokątny i jest oczkiem odpływowym, zasilanym intensywnie od strony północno-zachodniej wodami źródłiskowymi. Powstało ono w wyniku działalności człowieka. Długość linii brzegowej tego zbiornika wynosi 136 m, a wskaźniki wydłużenia i przegłębienia kształtują się odpowiednio na poziomie 2,4 i 2,5. Omawiane oczko charakteryzuje się niewielką zmiennością stanów wody, gdyż ilość wody odpływającej z tego oczka jest równoważona

Tabela 1. Podstawowe parametry morfometryczne śródleśnych oczek wodnych nr 1 i nr 5
Basic morphometric parameters of mid-forest ponds Nos. 1 and 5

L.p.	Wyszczególnienie	Jednostka	Oczko nr 1	Oczko nr 5
1	Powierzchnia	ha	0,13	0,096
2	Długość	m	40	48
3	Szerokość	m	33	20
4	Głębokość średnia	m	1,0	1,2
5	Długość linii brzegowej	m	118	136
6	Rozwinięcie linii brzegowej	–	0,92	1,23
7	Wskaźnik wydłużenia	–	1,1	2,4
8	Wskaźnik przegłębienia	–	2,5	2,5

przez dopływ źródliskowy oraz dopływ podpowierzchniowy od strony studzienek 1.1 i 1.2. Według informacji miejscowej ludności w latach 70. ubiegłego wieku było ono użytkowane jako staw rybny.

W dnach analizowanych oczek nr 1 i 5 występuje namuł organiczny o średniej miąższości 30 cm, zalegający na piasku słabogliniastym (oczko nr 1) oraz glinie lekkiej (oczko nr 5), a w skarpach oczek oraz w glebach przyległych do nich siedlisk leśnych przeważają piaski słabogliniaste. Średnia porowatość utworów w dnach omawianych oczek oraz w terenach bezpośrednio do nich przyległych kształtuje się na poziomie 36,8%. Według Chalfen i Czarmary (2007) oraz Michalaka et al. (2009) parametry hydrogeologiczne utworów występujących w skarpach i dnie danego zbiornika wodnego i w jego najbliższym otoczeniu, szczególnie porowatość, w dużej mierze decydują o wzajemnych zależnościach pomiędzy wodami w zbiorniku a wodami gruntowymi.

Metody badań

Stany wody w badanych śródleśnych oczkach wodnych odczytywano z zainstalowanych w nich łat wodowskazowych (ryc. 3A, 3B) z częstotliwością co 7 dni. Łata wodowskazowa w oczku nr 5 umieszczona jest w przelewie Thomsona na rowie wypływającym z tego oczka. Stany wody w oczku nr 5 dodatkowo były rejestrowane w sposób ciągły za pomocą limnigrafu zlokalizowanego przy przelewie (ryc. 3C). Natomiast stany wód gruntowych w zlewniach analizowanych oczek mierzono również z częstotliwością co 7 dni w studzienkach zainstalowanych w przekrojach przechodzących przez reprezentatywne siedliska. W omawianej pracy szczegółowej analizie poddano stany wód gruntowych w studzienkach usytuowanych najbliżej badanych zbiorników wodnych. W zlewni oczka nr 1 były to studzienki nr 1.3, 1.4 oraz 2.1 i 2.2, a w zlewni oczka nr 5 studzienki numer 1.1. i 1.2 (ryc. 2). W przypadku pozostałych studzienek w zlewniach oczek nr 1 i 5, wody gruntowe w omawianych latach występowały przez dłuższy czas poniżej głębokości ich zainstalowania (od 4 m do 6 m).

W charakterystyce morfometrycznej analizowanych śródleśnych oczek wodnych wskaźniki wydłużenia (WW) oraz przegłębienia (WP) określono z następujących zależności (Major, 2012):

$$WW = d/s$$

gdzie: d – długość oczka (zagłębienia), s – szerokość oczka.

$$WP = (g/d) \cdot 100$$

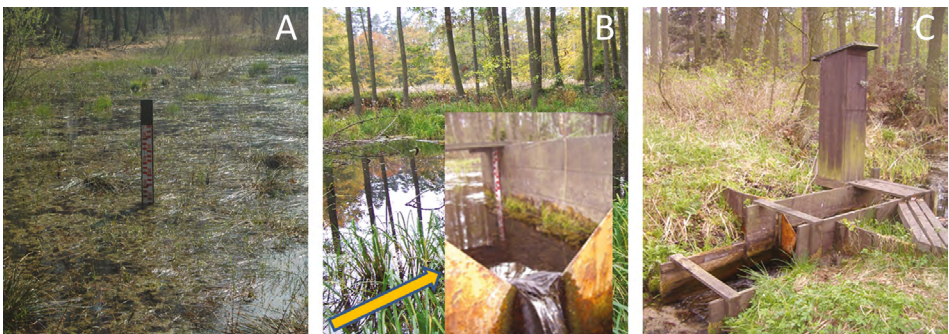
gdzie: g – głębokość oczka (zagłębienia), d – długość oczka.

Natomiast rozwinięcie linii brzegowej określono za Zielińskim (2008), uwzględniając długość linii brzegowej oraz powierzchnię danego zbiornika.

Utwory glebowe występujące w dnach i skarpach badanych śródleśnych oczek wodnych oraz w przylegających do oczek siedliskach leśnych scharakteryzowano na podstawie odwiertów wykonanych przy użyciu świdra puszkowego o średnicy 5 cm, w miejscach reprezentatywnych, z których pobrano próbki gleby do analiz laboratoryjnych. Miejsca reprezentatywne wyznaczono na podstawie szczegółowej analizy rodzaju drzewostanu, typów gleb, stopnia uwilgotnienia oraz występującej w danym siedlisku roślinności. Natomiast w przypadku każdego z omawianych oczek wodnych pobór próbek do analiz odbywał się w dwóch wyznaczonych przekrojach: podłużnym i poprzecznym.

Skład granulometryczny tych utworów określono metodą areometryczną Casagrande'a, w modyfikacji Prószyńskiego, z podziałem materiału glebowego na grupy granulometryczne według PN-R-04033 (Polska Norma, 1998). Zasięgi typów siedliskowych lasu w zlewniach analizowanych śródleśnych oczek wodnych wyznaczono w oparciu o mapę glebowo-siedliskową (Operat..., 1999).

Opady atmosferyczne oraz temperatury powietrza w omawianych latach hydrologicznych, na tle danych z wielolecia 1975-2010, scharakteryzowano na podstawie uzyskanych wyników pomiarów z własnego posterunku opadowego i obserwacji prowadzonych w stacji meteorologicznej LZD Siemianice. Od listopada 2003 roku LZD posiada w pełni zautomatyzowaną stację meteorologiczną, która samoczynnie zbiera dane w oparciu o 1-minutowe odczyty dla kilkunastu kanałów pomiarowych. Charakterystykę wilgotnościową dla analizowanych lat hydrologicznych przeprowadzono, wykorzystując wskaźnik względnego opadu RPI, według Kędziory (1995), z uwzględnieniem kryteriów zawartych w tabeli nr 2.



Ryc. 3. Łaty wodowskazowe zainstalowane w śródleśnych oczkach wodnych nr 1 (A) i nr 5 (B) oraz limnigraf umieszczony przy przelewie Thomсона na odpływie z oczka nr 5 (C)
Water-gauge patches installed at mid-forest ponds Nos. 1 (A) and 5 (B), plus limnigraph placed out at the Thomson weir representing the outflow from pond No. 5 (C)

Tabela 2. Charakterystyka wilgotnościowa roku hydrologicznego
Moisture characteristics of the hydrological year

Typ roku	% opadu normalnego
Skrajnie suchy	Poniżej 50
Bardzo suchy	50-74
Suchy	75-89
Przeciętny	90-110
Wilgotny	111-125
Bardzo wilgotny	126-150
Skrajnie wilgotny	Powyżej 150

Źródło: Kędziora (1995).

W celu ujednoczenia wyników związanych z poszczególnymi składowymi bilansu omawianych oczek, z uwagi na wysokie półroczne i roczne wartości dopływu i odpływu z oczka nr 5, bilans wodny analizowanych zbiorników wyrażono w m³. Według Rzętały (2008) charakteryzując bilanse wodne zbiorników antropogenicznych, jak to ma miejsce w odniesieniu do średniego oczka wodnego nr 5, z uwagi na sposób zasilania oraz sztuczne sterowanie obiegiem wody, wyniki obliczeń korzystniej jest wyrażać w m³ lub hm³, a nie w milimetrach, jak to zazwyczaj jest przyjęte w pracach geograficznych. Bilans wodny analizowanych średnich oczek wodnych obliczono dla zimowych i letnich półroczy hydrologicznych omawianych w pracy lat 2013, 2015 i 2016. Bilans wodny oczka wodnego nr 1 obliczono na podstawie następującego równania:

$$P + Hdp + \Delta R_1 = E + \Delta R_2 + Hopp$$

Natomiast w bilansie wodnym oczka nr 5 uwzględniono następujące składowe:

$$P + Hdp + \Delta R_1 + Hndz = E + \Delta R_2 + Hop$$

gdzie:

P – opad atmosferyczny na powierzchnię zbiornika,

Hdp – dopływ podpowierzchniowy do zbiornika z terenów przyległych,

ΔR_1 – przyrost retencji,

Hndz – niekontrolowany dopływ źródliskowy do zbiornika (oczko nr 5),

E – parowanie z powierzchni zbiornika,

ΔR_2 – ubytek retencji,

Hopp – odpływ podpowierzchniowy ze zbiornika do terenów przyległych (oczko nr 1),

Hop – odpływ powierzchniowy ze zbiornika do cieku (oczko nr 5).

Jednocześnie, ze względu na stosunkowo nieduże wahania stanów wody w badanych zbiornikach, bilans wodny scharakteryzowano, odnosząc się do ich powierzchni przy stacjach średnich. W obliczeniach bilansu wodnego analizowanych średnich oczek wodnych wartości opadu atmosferycznego skorygowano, wprowadzając poprawkę wynikającą ze wzoru Jaworskiego, zalecanego dla warunków Wielkopolski przez Kędziorę (1995):

$$P_s = 1,034 \cdot P_z + 0,484 \cdot N + 4,0$$

gdzie:

P_s – opad skorygowany (mm),

P_z – opad zmierzony (mm),

N – liczba dni z opadem w miesiącu.

Zasilanie zbiorników opadem atmosferycznym obliczono według formuły:

$$P = P_s \cdot A_{zb}$$

gdzie:

P_s – opad skorygowany (m),

A_{zb} – powierzchnia zbiornika (m^2).

Wielkości dopływu podpowierzchniowego do zbiorników z terenów przyległych (H_{dp}) oraz odpływu ze zbiornika (oczko nr 1) do przyległych terenów (H_{opp}) określono, wykorzystując wzór Darcy (Rushton, 2003):

$$Q = k \cdot l \cdot O \cdot \Delta h$$

gdzie:

k – współczynnik filtracji ($m \cdot d^{-1}$),

l – spadek hydrauliczny,

O – długość linii brzegowej (m),

Δh – miąższość warstwy wodonośnej (m).

Wartość współczynnika filtracji dla utworów zalegających w skarpach analizowanych oczek (piaski słabogliniaste) przyjęto na poziomie $8,64 m \cdot d^{-1}$ (Tarka, 2001). Miąższość warstwy wodonośnej (Δh) biorącej udział w prowadzeniu wody z terenów przyległych do zbiorników i odwrotnie określono na podstawie różnicy pomiędzy poziomem wody w zbiornikach a poziomami wody w analizowanych studzienkach (wartość średnia). Natomiast liczbę dni z zasilaniem wód gruntowych przez wody retencjonowane w omawianych śródlęśnych oczkach wodnych określono w analizowanych latach na podstawie różnicy pomiędzy rzędnymi stanów wód w zbiornikach i wód gruntowych w przyjętych do analizy studzienkach. W równaniu bilansowym dla oczka nr 5 nie uwzględniono odpływu podpowierzchniowego z oczka do przyległych terenów (H_{opp}), gdyż przeprowadzona ocena różnicy rzędnych stanów wody (oczko-tereny przyległe), wykazała jednokierunkowy przepływ wód. Miesięczne wartości parowania z powierzchni oczek obliczono wzorem Tichomirowa (Kędzióra, 1995):

$$E_1 = d \cdot (15 + 3 \cdot v)$$

gdzie:

E_1 – parowanie miesięczne z powierzchni wody (mm),

d – średni miesięczny niedosyt wilgotności powietrza (mmHg),

v – średnia miesięczna prędkość wiatru na wysokości wiatromierza ($m \cdot s^{-1}$).

Natomiast półroczne i roczne wartości parowania ze zbiorników określono ze wzoru:

$$E = E_1 \cdot Azb$$

gdzie:

E_1 – parowanie z powierzchni oczka wodnego (m),

Azb – powierzchnia zbiornika (m²).

Przyrosty (ΔR_1) lub ubytki retencji (ΔR_2) wody w omawianych oczkach określono na podstawie zmian stanów wody rejestrowanych na latach wodowskazowych. Przepływy wody na rowie wychodzącym z oczka nr 5 określono w analizowanych latach z wykorzystaniem krzywej tarowania dla zainstalowanego przelewu, wyznaczonej na podstawie pomiarów terenowych wykonywanych z częstotliwością raz w miesiącu (Dąbkowski et al., 1997). Natomiast niekontrolowany dopływ źródłiskowy do tego oczka (Hndz) oszacowano pośrednio jako dopełnienie do równania bilansowego. Jak podaje Mikulski (1970) najkorzystniejszym rozwiązaniem przy obliczeniach bilansu wodnego jezior i zbiorników wodnych jest stosowanie równań bilansowych, których poszczególne składowe obliczane są niezależnie. Jednak według Choińskiego (1995) duża ilość elementów bilansowych oraz trudność ich praktycznego wyznaczenia w terenie, a także ograniczony zakres danych pochodzących z istniejącej sieci posterunków osłony hydrologiczno-meteorologicznej jezior i zbiorników, skłania do odstąpienia od zasady niezależnego określania poszczególnych elementów bilansu wodnego i pośredniego oszacowania, najtrudniejszego do oceny (np. dopływ podziemny lub odpływ).

Wyniki i dyskusja

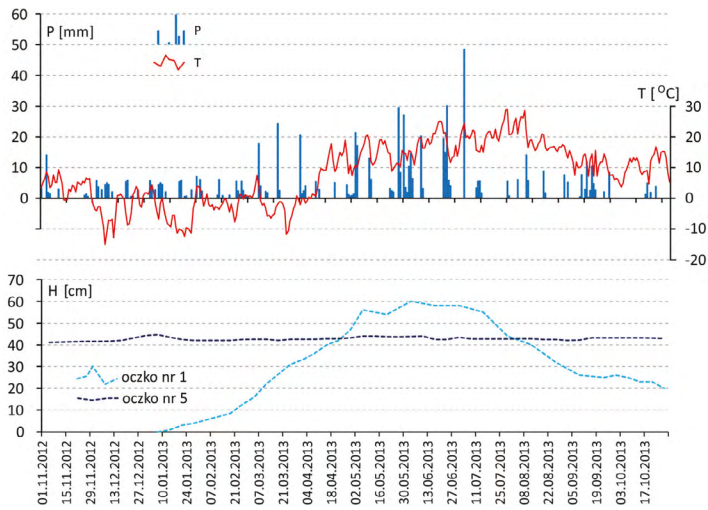
Ważnym elementem w ocenie bilansu wodnego oczek wodnych jest analiza występujących w nich zmian stanów wody, które bezpośrednio decydują o przyrostach lub ubytkach retencji w półroczach hydrologicznych.

Analizując przebieg stanów wody w omawianych śródlęśnych oczkach wodnych, można stwierdzić, że w pierwszym charakteryzowanym roku hydrologicznym 2013, który pod względem opadów był rokiem wilgotnym, zwierciadło wody w oczku nr 5 występowało przez cały rok. Intensywne zasilanie wodami źródłiskowymi tego oczka oraz stały odpływ wody do pobliskiego rowu zasadniczo wpływały na niewielką zmienność stanów wody, które w omawianym roku kształtowały się na średnim poziomie 42,7 cm (ryc. 4). Natomiast w bezodpływowym oczku nr 1 zwierciadło wody pojawiło się w pierwszej dekadzie stycznia i utrzymywało się do końca omawianego roku. Maksymalny stan wody w tym zbiorniku, wynoszący 60 cm, wystąpił na początku czerwca i był on wywołany opadami o łącznej sumie 70 mm, które wystąpiły w ostatniej dekadzie maja.

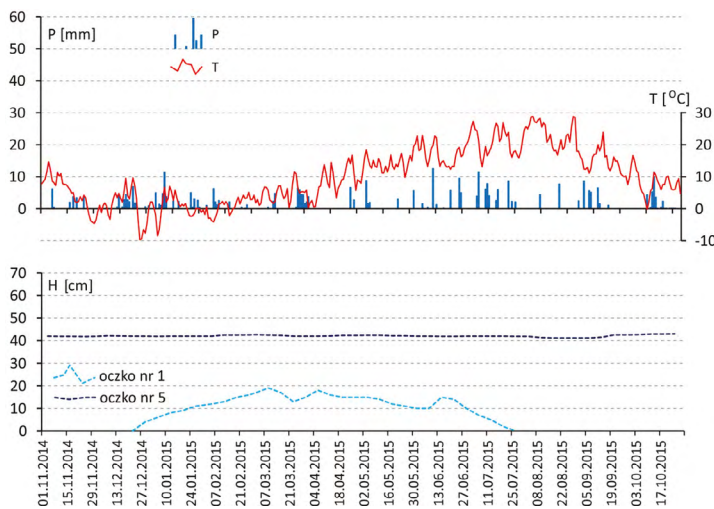
W drugim omawianym roku hydrologicznym – 2015 – zwierciadło wody w oczku nr 5 występowało również przez cały rok i utrzymywało się na średnim poziomie 42,1 cm (ryc. 5).

Natomiast w bezodpływowym oczku nr 1 zwierciadło wody występowało w tym roku od 22 grudnia do 27 lipca, przy czym maksymalny stan wody w tym zbiorniku, wynoszący 19 cm, wystąpił pod koniec pierwszej dekady marca. Duży wpływ na taką sytuację miały opady o łącznej sumie 62 mm, które wystąpiły w styczniu oraz w lutym, przy dodatnich od drugiej dekady lutego temperaturach powietrza.

W roku hydrologicznym 2016, który pod względem opadów był rokiem przeciętnym, zwierciadło wody w śródlęśnym oczku wodnym nr 5, podobnie jak w latach 2013 i 2015,



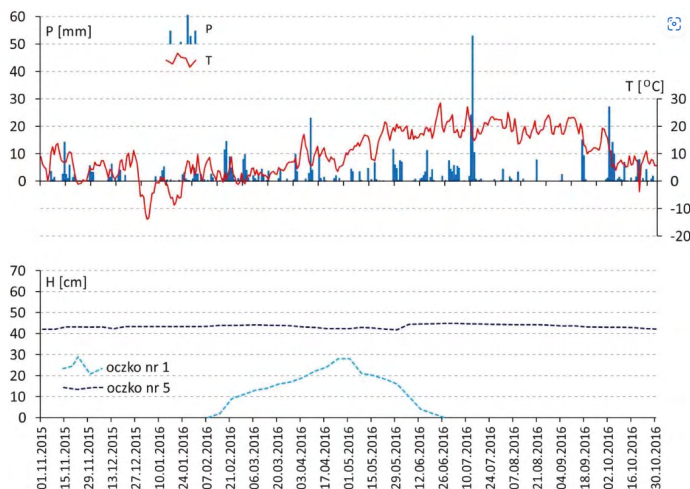
Ryc. 4. Stany wód (H) w śródlęśnych oczkach wodnych nr 1 i nr 5 na tle dobowych sum opadów (P) i średnich dobowych temperatur powietrza (T) w roku hydrologicznym 2013
Water levels (H) in mid-forest ponds Nos. 1 and 5 as set against daily precipitation totals (P) and mean daily air temperatures (T) in hydrological year 2013



Ryc. 5. Stany wód (H) w śródlęśnych oczkach wodnych nr 1 i nr 5 na tle dobowych sum opadów (P) i średnich dobowych temperatur powietrza (T) w roku hydrologicznym 2015
Water levels (H) in mid-forest ponds Nos. 1 and 5 as set against daily precipitation totals (P) and mean daily air temperatures (T) in hydrological year 2015

występowało przez cały rok, a stany wody nie wykazywały większej zmienności i utrzymywały się na średnim poziomie 43,4 cm (ryc. 6).

Natomiast w oczku nr 1 zwierciadło wody pojawiło się w tym roku w pierwszej dekadzie lutego i występowało do trzeciej dekady czerwca. Stan maksymalny w omawianym



Ryc. 6. Stany wód (H) w śródlęśnych oczkach wodnych nr 1 i nr 5 na tle dobowych sum opadów (P) i średnich dobowych temperatur powietrza (T) w roku hydrologicznym 2016
Water levels (H) in mid-forest ponds Nos. 1 and 5 as set against daily precipitation totals (P) and mean daily air temperatures (T) in hydrological year 2016

oczku (28 cm) stwierdzono 25 kwietnia i w dużej mierze był on wywołany opadami o łącznej sumie 46 mm, które wystąpiły w pierwszych dwóch dekadach tego miesiąca.

W analizowanych latach hydrologicznych bezodpływowe śródlęsne oczko wodne nr 1 charakteryzowało się większą zmiennością stanów wody, która determinowana była w szczególności przebiegiem warunków meteorologicznych. Uzyskane w odniesieniu do tego zbiornika wyniki badań potwierdziły, że w niewielkich oczkach bezodpływowych, szczególnie w suchych oraz przeciętnych pod względem opadów latach hydrologicznych, często obserwowanym zjawiskiem jest zanik zwierciadła wody, najczęściej występujący w półroczach letnich. Podobne wyniki badań uzyskał Kucharski (1996), analizując znacznie zagłębienia bezodpływowych na Pojezierzu Kujawskim oraz Gamrat et al. (2006) w rejonie Równiny Wełtyńskiej, a także Nicolet (2010) na obszarze Wielkiej Brytanii. Według tych autorów typowym zjawiskiem obserwowanym w zagłębieniach bezodpływowych są duże wahania poziomu lustra wody, które w okresach suszy może zupełnie zanikać, przyczyniając się jednocześnie do zmian siedliskowych i florystycznych. Jest to jednak zjawisko o tyle niekorzystne, że jak podają Euliss et al. (1994), a także Kim et al. (2022), okresowe wysychanie oczek wodnych powoduje m.in. aerobowy rozkład pozostałości makrofitów i spalanie materii organicznej. Jak podaje Klarzyńska et al. (2018) sezonowe oscylacje poziomu wody nadają tego typu zbiornikom charakter astatycznych. Natomiast niewielka zmienność stanów wody i związane z nią przyrosty lub ubytki retencji oraz występowanie zwierciadła wody przez cały okres analizowanych lat hydrologicznych, stwierdzone dla śródlęsnego oczka wodnego nr 5, wywołane były w głównej mierze źródłiskowym zasileniem oraz stałym odpływem.

Uzyskane dla analizowanych zbiorników wcześniejsze wyniki badań dotyczące bardzo wilgotnych pod względem opadów lat hydrologicznych (rok 2000 oraz 2010) wykazały, że w śródlęśnym oczku wodnym nr 1 stany maksymalne osiągały wartości około 70 cm,

a zwierciadło wody utrzymywało się przez cały rok. Natomiast w oczku nr 5, nawet w bardzo wilgotnych pod względem opadów latach, stany wody również nie wykazywały większej zmienności i utrzymywały się na średnim poziomie około 42 cm. W przypadku tego typu zbiorników bezpośredni wpływ warunków meteorologicznych, w szczególności opadów atmosferycznych, na dynamikę zmian stanów i zapasów wody jest niewielki. Można stwierdzić, że charakter danego zbiornika w dużej mierze implikuje kształtowanie się poszczególnych składowych jego bilansu wodnego, co jednocześnie istotnie wpływa na obieg wody w danej zlewni. Według Moniewskiego (2015) zbiorniki wodne bezodpływowe i przepływowe w odmienny sposób regulują obieg wody w zlewni, niemniej dzięki ich obecności zwiększa się jej zdolność retencyjna.

Analizując bilans wodny omawianych oczek wodnych, można stwierdzić, że w półroczu zimowym pierwszego roku badań (2013) w największym stopniu o przychodach w oczku nr 1 decydował przyrost retencji, wynoszący 611 m^3 (tab. 3). Natomiast w śródlęśnym oczku wodnym nr 5 największą rolę odgrywał niekontrolowany dopływ źródłiskowy kształtujący się na poziomie $47\,072 \text{ m}^3$. Po stronie ubytków największy udział w równaniu bilansowym oczka nr 1 miało parowanie z jego powierzchni (345 m^3), a w bilansie oczka nr 5 odpływ powierzchniowy z oczka do cieku ($76\,142 \text{ m}^3$). W półroczu letnim tego roku największy wpływ na przychody w bilansie oczka wodnego nr 1 miał opad atmosferyczny na jego powierzchnię (684 m^3). Natomiast w oczku nr 5, analogicznie jak w półroczu zimowym tego roku, największy udział w przychodach miał niekontrolowany dopływ źródłiskowy ($55\,826 \text{ m}^3$). Natomiast o ubytkach w bilansie wodnym oczek nr 1 i 5 decydowały w tym półroczu odpowiednio: parowanie z powierzchni oczka (453 m^3) oraz odpływ powierzchniowy do cieku ($87\,565 \text{ m}^3$).

W półroczu zimowym drugiego roku badań (2015) największy udział po stronie przychodów w bilansie oczka nr 1 miał dopływ podpowierzchniowy do zbiornika z terenów przyległych, wynoszący 514 m^3 (tab. 3). W dużym stopniu o przychodach w bilansie tego oczka decydował także opad atmosferyczny (274 m^3) oraz wywołany wyżej wymienionymi czynnikami przyrost retencji (195 m^3). Natomiast w śródlęśnym oczku wodnym nr 5 wiodącą rolę po stronie przychodów odgrywał dopływ podpowierzchniowy od strony studzienek 1.1 i 1.2 kształtujący się na poziomie $27\,944 \text{ m}^3$ oraz, przyjęty jako dopełnienie do równania bilansowego, niekontrolowany dopływ źródłiskowy wynoszący $22\,852 \text{ m}^3$.

W równaniu bilansowym śródlęśnego oczka wodnego nr 1 największą rolę po stronie ubytków wody odgrywało parowanie z jego powierzchni, wynoszące w omawianym półroczu 222 m^3 . Natomiast w oczku nr 5 w największym zakresie o ubytkach wody decydował odpływ powierzchniowy z oczka do cieku, który osiągnął wartość $50\,825 \text{ m}^3$.

W półroczu letnim omawianego roku o przychodach w bilansie oczka nr 1 w znacznym stopniu decydował opad atmosferyczny na jego powierzchnię (181 m^3) i w mniejszym – dopływ podpowierzchniowy do oczka z przyległych siedlisk (84 m^3). W drugim analizowanym zbiorniku (oczko nr 5) o przychodach w największym stopniu decydował niekontrolowany dopływ źródłiskowy, kształtujący się na poziomie $37\,170 \text{ m}^3$, co w przeliczeniu daje $2,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W bilansie wodnym tego zbiornika jest to wartość wysoka. Można jednak stwierdzić, że jest to raczej źródłisko o mniejszej wydajności. W badaniach dotyczących źródlisk przeprowadzonych przez Jańca (2005) w rejonie Zaporza na Roztoczu, po prawej stronie doliny rzeki Por (dopływ Wieprza), gdzie położone jest największe na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu źródłisko ascensyjne typu wywierzyiskowego, autor ten

Tabela 3. Składowe bilansu wodnego oczek nr 1 i nr 5 (m^3) w zimowych (XI-IV) i letnich (V-X) półroczach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016
Components of the water balances for ponds Nos. 1 and 5 (m^3) in the winter (XI-IV) and summer (V-X) hydrological half-years of 2013, 2015 and 2016

Oczko nr	Przychody (+) i ubytki (-)	Składowe bilansu	Półrocza hydrologiczne					
			2013		2015		2016	
			XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X
1	(+)	P	421	684	274	181	432	155
		Hdp	216	69	514	84	80	121
		ΔR_1	611	-	195	-	364	-
	(-)	E	345	453	222	496	177	385
		ΔR_2	-	351	-	195	-	364
		Hopp	138	449	114	221	50	176
5	(+)	P	311	505	202	225	319	414
		Hdp	28 994	31 572	27 944	14 257	19 852	12 466
		ΔR_1	20	-	2,88	6,72	3,84	-
		Hndz	47 072	55 826	22 852	37 170	50 315	68 006
	(-)	E	311	505	176	628	200	648
		ΔR_2	-	2,90	-	-	-	2,88
		Hop	76 142	87 565	50 825	51 031	70 290	80 235

P – opad atmosferyczny na powierzchnię zbiornika, Hdp – dopływ podpowierzchniowy do zbiornika z terenów przyległych, ΔR_1 – przyrost retencji, Hndz – niekontrolowany dopływ źródłiskowy do zbiornika (oczko nr 5), E – parowanie z powierzchni zbiornika, ΔR_2 – ubytek retencji, Hopp – odpływ podpowierzchniowy ze zbiornika do terenów przyległych (oczko nr 1), Hop – odpływ powierzchniowy ze zbiornika do cieku (oczko nr 5).

podaje, że średnia jego wydajność wynosi $300 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast po lewej stronie rzeki położony jest drugi wyptyw tego typu, cechujący się wydajnością rzędu aż $5\,080 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Znaczący udział w bilansie śródlęsnego oczka wodnego nr 1 po stronie rozchodów miało w tym półroczu parowanie z jego powierzchni wynoszące 496 m^3 . Obliczona dla tego zbiornika wartość parowania potwierdziła m.in. wyniki badań Rzętaty (2000), który podkreślał, że najbardziej intensywne parowanie ze zbiorników wodnych przypada na okres półroczu letnich i często przewyższa ilość wody dostarczonej do zbiornika wraz z opadami atmosferycznymi. Autor ten stwierdził również, że pomiary ewaporometryczne są zdecydowanie bardziej reprezentatywną metodą przy podejmowaniu prób określenia parowania rzeczywistego z powierzchni wody, jednak brak możliwości ich przeprowadzenia oraz zasób dostępnych obserwacyjnych danych meteorologicznych często przesądza o zastosowaniu formuły Tichomirowa lub Iwanowa. Jak podaje Okoński (2006), analizując bilans wodny małej zlewni leśnej w Wielkopolsce, okresy o wysokim parowaniu występują najczęściej od połowy kwietnia do końca pierwszej dekady września, gdy sumy dekadowe przekraczają 15 mm. Natomiast w oczku nr 5, podobnie jak w półroczu zimowym omawianego roku, ubytki wody w największym stopniu były determinowane odpływem ze zbiornika do cieku, wynoszącym $51\,031 \text{ m}^3$.

W półroczu zimowym ostatniego roku badań (2016) czynnikami wiodącymi po stronie przychodów w bilansie bezodpływowego oczka wodnego nr 1 były opad atmosferyczny

ny na jego powierzchnię oraz przyrost retencji, które wyniosły odpowiednio 432 m³ oraz 364 m³ (tab. 3). Natomiast w śródlęśnym oczku wodnym nr 5 największy udział po stronie przychodów miał niekontrolowany dopływ źródłiskowy (50 315 m³). Należy zauważyć, że w omawianym półroczu wartości dopływu podpowierzchniowego do zbiorników z terenów przyległych nie odgrywały istotnej roli i były znacznie mniejsze niż w analogicznym okresie suchego pod względem opadów roku 2015. Na wysokie wartości dopływu w półroczu zimowym 2015 duży wpływ miały opady o łącznej sumie 92 mm, które wystąpiły jeszcze w końcowych miesiącach półrocza letniego (wrzesień i październik) roku hydrologicznego 2014. W przypadku śródlęśnego oczka wodnego nr 1 duży wpływ odgrywał również czas występowania zwierciadła wody. W półroczu zimowym 2016 było on o 59 dni krótszy niż w roku 2015. W oczku nr 1 o ubytkach w tym półroczu decydowało w największym stopniu parowanie z jego powierzchni, które wyniosło 177 m³, a w oczku nr 5 kształtujący się na poziomie 70 290 m³ odpływ powierzchniowy do pobliskiego cieku. W półroczu letnim 2016 o przychodach w bilansie wodnym oczka nr 1 decydował opad atmosferyczny (155 m³), a w oczku nr 5 niekontrolowany dopływ źródłiskowy (68 006 m³). Podobnie jak w półroczach letnich 2013 i 2015 o ubytkach w równaniu bilansowym oczka nr 1 w największym stopniu decydowało parowanie z jego powierzchni (385 m³), a w oczku nr 5 w sposób zasadniczy decydował odpływ powierzchniowy, który wyniósł w tym półroczu 80 235 m³.

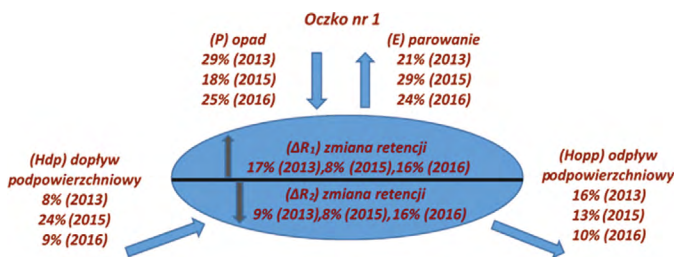
W ogólnym ujęciu można stwierdzić, że w bezodpływowym oczku nr 1 o bilansie wodnym decydował w największym stopniu opad atmosferyczny. Istotną rolę odgrywało także parowanie z powierzchni oczka oraz wywołane tymi czynnikami zmiany retencji. Wyjątek stanowiło półrocze zimowe 2015, w którym w największym stopniu o bilansie decydował dopływ podpowierzchniowy z przyległych siedlisk. W bilansie wodnym omawianego oczka w półroczach zimowych analizowanych lat stwierdzono przyrosty zapasów wody. W półroczu zimowym 2013 przyrost zapasów wody (765 m³) wystarczył na pokrycie strat, które wystąpiły w półroczu letnim (500 m³), w wyniku czego zwierciadło wody w omawianym oczku utrzymało się do końca tego obfitego w opady roku hydrologicznego. Natomiast w półroczach zimowych 2015 i 2016 przyrosty zapasów wody wyniosły odpowiednio 647 m³ oraz 649 m³ (bilans dodatni). Jednak w wyniku znacznie większego parowania w półroczach letnich nie wystarczyły na pokrycie strat. Konsekwencją tego był obserwowany w analizowanym zbiorniku w tych półroczach zanik zwierciadła wody. Uzyskane dla oczka nr 1 w poszczególnych półroczach hydrologicznych wyniki były zbieżne m.in. z badaniami przeprowadzonymi przez Kosturkiewicza i Musiała (1982), a także Kalettkę et al. (2001) oraz Downinga (2010). Autorzy ci podkreślali, że zapasy wody w oczkach bezodpływowych ulegają odnawianiu w cyklu rocznym, wykazując różną zmienność sezonową, zależnie od przebiegu warunków meteorologicznych.

W ostatnich latach coraz częściej naukowcy zwracają uwagę na zachodzące w przyrodzie zmiany klimatyczne (wzrost temperatury powietrza, spadek sum opadów atmosferycznych). Implikują one zmiany składowych bilansów wodnych, a w praktyce zmiany stosunków wodnych, zarówno w skali globalnej, jak i lokalnej (Krysztofciak i Miler, 2008). Według Majora (2008) na kształtowanie się zapasów wody w zagłębieniach bezodpływowych oraz czasu występowania w nich lustra wody duży wpływ ma również pojawiająca się w okresach zimowych pokrywa śnieżna. Autor ten podaje, że w latach o długo utrzymującej się pokrywie śnieżnej, charakteryzującej się jednocześnie dużą miąższością, lustro wody w danym zagłębieniu pojawia się później i występuje kilka miesięcy dłużej niż w okresach następujących po zimach bez retencji śnieżnej.

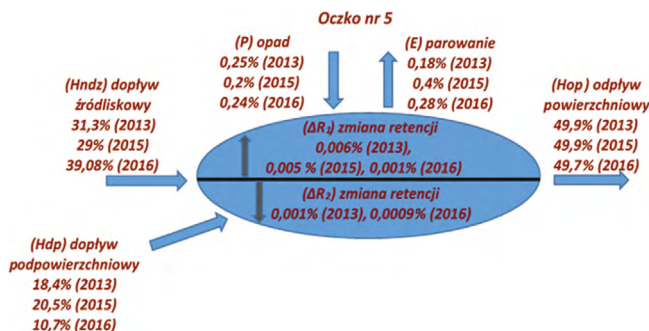
Natomiast w intensywnie zasilanym wodami źródłkowymi oczku nr 5 zasadniczymi czynnikami wpływającymi na bilans były niekontrolowany dopływ źródłkowy, dopływ podpowierzchniowy od strony studzienek 1.1 i 1.2 oraz odpływ powierzchniowy do pobliskiego cieku.

Analizując procentowy udział poszczególnych składników bilansu wodnego badanych śródlęśnych oczek wodnych w omawianych latach hydrologicznych można stwierdzić, że w największym stopniu o przychodach w bilansie wodnym oczka wodnego nr 1 decydował opad atmosferyczny na jego powierzchnię, stanowiący od 18% (2015) do 29% (2013) bilansu. W pierwszym omawianym roku badań duży wpływ na bilans tego oczka miał również dopływ podpowierzchniowy z przyległych siedlisk, który stanowił 24% (ryc. 7). Natomiast po stronie rozchodów największy udział w bilansie tego oczka miało w omawianych latach parowanie z jego powierzchni, wynoszące od 21% (2013) do 29% (2015).

W śródlęśnym oczku wodnym nr 5 czynnikami wiodącymi w równaniu bilansowym były te związane z poziomą wymianą wody (ryc. 8). W największym stopniu o przychodach decydował niekontrolowany dopływ źródłkowy, który stanowił od 29% (2015) do 39,08% (2016) bilansu. Natomiast po stronie ubytków w największym stopniu o bilansie decydował odpływ z oczka do pobliskiego cieku, który w analizowanych latach wynosił około 50%. W bilansie wodnym tego oczka czynniki związane z pionową wymianą wody, takie jak opad atmosferyczny, parowanie czy zmiany retencji, odgrywały znaczenie marginalne.



Ryc. 7. Składowe bilansu wodnego (%) oczka wodnego nr 1 w latach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016
Percentage of water-balance components characterising pond No. 1, in the cases of hydrological years 2013, 2015 and 2016



Ryc. 8. Składowe bilansu wodnego (%) oczka wodnego nr 5 w latach hydrologicznych 2013, 2015 i 2016
Percentage of water-balance components characterising pond No. 5, in the cases of hydrological years 2013, 2015 and 2016

Przedstawiona analiza bilansu wodnego omawianych oczek pozwala stwierdzić, że zarówno w przypadku oczek wodnych bezodpływowych, należących do tak zwanej retencji niesterowalnej, jak i zbiorników posiadających stały dopływ i odpływ, ich rola w kształtowaniu gospodarki wodnej mikrozwlewni leśnych może być nieco odmienna, ale niezwykle istotna. Wody retencjonowane w śródleśnym oczku wodnym nr 1 zasilają zarówno w półroczach zimowych, jak i letnich wody gruntowe przyległych siedlisk, przy czym w większym stopniu zasilanie to stwierdzono dla półroczy letnich, w których odpływ z oczka do przyległych siedlisk osiągał wartości od 176 m³ (2016) do 449 m³ (2013). W odniesieniu do śródleśnego oczka wodnego nr 5 nie stwierdzono zasilania wodami retencjonowanymi w oczku przyległego siedliska. Nie mniej jednak jego ważna rola przejawiała się tym, że retencjonowane w nim wody, przy niewielkiej zmienności stanów, wpływały stabilizująco, zwłaszcza w okresach suszy, zarówno na wody gruntowe, jak i uwilgotnienie gleb w przyległym siedlisku lasu wilgotnego.

W krajowym dorobku hydrologicznym wyraźny jest niedostatek wyników badań bilansu wodnego małych oczek wodnych w mikrozwlewniach leśnych. Dlatego też niezbędne jest kontynuowanie i prowadzenie dalszych badań i obserwacji terenowych w tym zakresie w różnych regionach Polski. W dużej mierze mogłyby być one pomocne w realizacji przedsięwzięć zmierzających do zachowania w stanie zbliżonym do naturalnego lub odtworzenia tego typu zbiorników wodnych. Według Milera (2015) zasadność realizacji lub odtwarzania obiektów i urządzeń małej retencji wodnej wiąże się ze stosunkowo niewielkimi kosztami. Według tego autora koszt retencjonowania 1 m³ wody w tego typu obiektach to 2-5 zł, a w wielkich zbiornikach retencyjnych to aż 15-40 zł.

Działania takie są również uzasadnione w ramach współpracy międzynarodowej w zakresie ochrony zasobów wodnych. Kontynuują one jednocześnie postanowienia Konwencji Ramsarskiej z 1972 r. oraz Deklaracji Konferencji Ministrów Leśnictwa państw europejskich w Strasburgu (1990) i Helsinkach (1993), gdzie ochrona zasobów glebowych i wodnych w lasach stanowiła priorytet.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły, że funkcjonowanie śródleśnych oczek wodnych w dużej mierze determinowane jest ich reżimem hydrologicznym oraz cechami morfometrycznymi, które w znaczny sposób implikują kształtowanie się poszczególnych składowych bilansu wodnego takich zbiorników, co jednocześnie istotnie wpływa na obieg wody w danej zlewni. Większą dynamiką zmian stanów i zapasów wody charakteryzowało się bezodpływowe oczko wodne nr 1. Natomiast w intensywnie zasilanym wodami źródłiskowymi oczku nr 5 zmiany tych wielkości były niewielkie. Na przykładzie śródleśnego oczka wodnego nr 1 można stwierdzić, że w odniesieniu do małych zbiorników bezodpływowych, zaliczanych do tak zwanej retencji niesterowalnej, dynamika zmian stanów wody determinowana jest w szczególności przebiegiem warunków meteorologicznych. Zjawiskiem często obserwowanym w tego typu zbiornikach, szczególnie w suchych oraz przeciętnych pod względem opadów latach hydrologicznych, jest zanik zwierciadła wody, co w kontekście ochrony zasobów wodnych w lasach jest zjawiskiem niekorzystnym. Natomiast w gospodarce wodnej oczka wodnego nr 5 stwierdzono nieznaczny wpływ warunków meteorologicznych na kształtowanie się stanów i związanych z nimi zapasów wody.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że pomiędzy wodami retencjonowanymi w śródleśnych oczkach wodnych a wodami gruntowymi przyległych terenów występuje więź hydrauliczna polegająca w przypadku oczka nr 1 na okresowym odpływie wód z oczka do gleb przyległych siedlisk oraz na zasilaniu oczka wodami gruntowymi z przyległych siedlisk. Natomiast w odniesieniu do oczka wodnego nr 5 stwierdzono jednokierunkowy przepływ wód z przyległego siedliska do zbiornika. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono również, że duży wpływ na wzajemne relacje pomiędzy wodami retencjonowanymi w badanych śródleśnych oczkach wodnych a wodami gruntowymi terenów przyległych ma lokalizacja danego oczka w zlewni oraz panujące w niej warunki fizjograficzne. Istotne znaczenie mają również parametry hydrogeologiczne utworów występujących w skarpach, dnie oraz w najbliższym otoczeniu danego zbiornika.

W bezodpływowym oczku nr 1 w największym stopniu o bilansie wodnym decydował opad atmosferyczny. Istotną rolę odgrywało także parowanie z powierzchni oczka oraz zmiany retencji, wyjątek stanowiło półrocze zimowe 2015, w którym w największym stopniu o bilansie decydował dopływ podpowierzchniowy z przyległych siedlisk. Natomiast w intensywnie zasilanym wodami źródłiskowymi oczku nr 5 zasadniczymi czynnikami wpływającymi na bilans wodny w analizowanych półroczach i latach hydrologicznych były niekontrolowany dopływ źródłiskowy, dopływ podpowierzchniowy od strony studzienek 1.1 i 1.2 oraz odpływ powierzchniowy do pobliskiego cieku.

Analiza procentowego udziału poszczególnych składników bilansu wodnego badanych śródleśnych oczek wodnych w omawianych latach hydrologicznych potwierdziła, że w mniejszych zbiornikach bezodpływowych, takich jak oczko wodne nr 1, o tak zwanej bezodpływowości ewapotranspiracyjnej lub chłonnej, większą rolę w kształtowaniu się bilansu odgrywają zazwyczaj elementy pionowej wymiany wody, takie jak opad atmosferyczny na powierzchnię zbiornika oraz parowanie. Natomiast w odpływowym i intensywnie zasilanym wodami źródłiskowymi oczku nr 5 o bilansie wodnym w największym stopniu decydowały czynniki wymiany poziomej, takie jak niekontrolowany dopływ źródłiskowy oraz odpływ do pobliskiego cieku. W tego typu zbiornikach wymiana pionowa wody zachodzi mniej intensywniej niż wymiana pozioma i nie zmienia zasadniczo ogólnej struktury bilansu wodnego.

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródła, są opracowaniami własnymi Autorów artykułu.

Piśmiennictwo

- Bąk, B. (2003). Warunki klimatyczne Wielkopolski i Kujaw. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie (zeszyt specjalny)*, 9(3), 11-38.
- Bhuiyan, J.R., & Gupta, S. (2007). A comparative hydrobiological study of a few ponds of Barak Valley, Assam and their role as sustainable water resources. *Journal of Environmental Biology*, 28(4), 799-802.
- Chalfen, M., & Czamara, A. (2007). Wpływ projektowanego zbiornika małej retencji na stany wód podziemnych w jego otoczeniu. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 6(4), 3-16.
- Cérégino, R., Boix, D., Cauchie, H.M., Martens, K., & Oertli, B. (2014). The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia*, 723(1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1719-y>

- Chmal, R., Dominiak, S., Kochanowska, J., Korona, W., Kuliński, M., Lichwierowicz, T., Lis, J., Osendowska, E., Pasieczna, A., Szałajdewicz, J., Tomassi-Morawiec, H. (2004). Objasnienia do mapy geośrodowiskowej Polski (1:50 000), Arkusz Wieruszów (731). Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Choiński, A. (1995). *Zarys limnologii fizycznej Polski*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Choiński, A. (2007). *Limnologia fizyczna Polski*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Dąbkowski, S., Jędryka, E., Kaca, E., Kovalenko, P.J., Calyj, B.I., & Michajlov, J.A. (1997). *Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach wodno-melioracyjnych*. Biblioteczka Wiadomości IMUZ, 91. Falenty: IMUZ
- Downing, J.A. (2010). Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot. *Limnetica*, 29(1), 9-24. <https://doi.org/10.23818/limn.29.02>
- Drwal, I., & Lange, W. (1985). Niektóre limnologiczne odrębności oczek. Geneza i rozmieszczenie oczek. *Zeszyty Naukowe Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi. Geografia*, 14, 69-83.
- Euliss, N.H.J., LaBaugh, J., Fredrickson, L.H., Mushet, D.M., Laubhan, M.K., Swanson, G.A., Winter, T.C., Rosenbery, D.O., & Nelson, R.D. (1994). The wetland continuum: a conceptual framework for interpreting biological studiem. *Wetlands*, 24, 448-458.
- Gamrat, R., Burczyk, P., & Łysko, A. (2006). Przemiany szaty roślinnej śródpólnych oczek wodnych w rejonie Czepina. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 6(1), 115-131.
- Janiec, B. (2005). Badania fizykochemiczne wywierzyk w Zaporzu na Roztoczu i ich rola w poznaniu kierunków doptywu wód do tych Źródlik. *Przegląd Geologiczny*, 53(11), 1073-1074.
- Kaca, E., Kubrak, J., Dąbkowski, L., Kubrak, E., Kiczko, A., Kozioł, A., Kałuża, T., Kubrak, M., Krukowski, M., Szymczak, T., & Kierasiński, B. (2020). Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych. W: E. Kaca, J. Kubraka (red.), *Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe Bogucki.
- Kaletka, T., Rudat, C., & Quast, J. (2001). "Potholes" in Northeast German Agro-landscapes: Functions, Land Use Impacts, and Protection Strategies. W: J.D. Tenhunen, R. Lenz, R. Hantschel (red.), *Ecosystem Approaches to Landscape Management in Central Europe*. Ecological Studies, 147, 291-298.
- Karasiewicz, M.T, Hulisz, P., & Świtoniak, M. (2014). Wpływ procesów denudacji na właściwości osadów wypełniających zagłębienia między krętymi wałami z erozji wód subglacialnych w okolicy Zbójna (Pojezierze Dobrzyńskie). *Landform Analysis*, 25, 29-42. <https://doi.org/10.12657/landfana.025.004>
- Kędziora, A. (1995). *Podstawy Agrometeorologii*. Poznań: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- Kim, B., Lee, J., & Park, J. (2022). Role of small wetlands on the regime shift of ecological network in a wetlandscape. *Environmental Research Commun*, 4, 1-9. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac6859>
- Klarzyńska, A., Kryszak, A., & Kryszak, J. (2018). Wartość przyrodnicza szaty roślinnej a morfologia i jakość wody w niewielkich zbiornikach wodnych na terenach rolniczych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. 18(2), 25-40.
- Klimaszewski, M. (1978). *Geomorfologia*. Warszawa: PWN.
- Kochanowska, R., Pieńkowski, P., & Wołejko, L. (1997). Śródpolne oczka wodne w krajobrazie Pomorza Szczecińskiego. Konferencja Naukowo-Techniczna „Woda jako czynnik warunkujący wielofunkcyjny i zrównoważony rozwój wsi i rolnictwa”, IMUZ, Falenty, 230-235.
- Kondracki, J. (2002). *Geografia regionalna Polski*. Warszawa: PWN.
- Kosturkiewicz, A., & Musiał, W. (1982). Wahania stanów wód w śródpólnych oczkach wodnych na terenach zdrenowanych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Leśnych PTPN*, 53, 159-172.

- Kosturkiewicz, A., Szafrąński, C., Czopor, S., Korytowski, M., & Stasik, R. (2001). Związki stanów wód w źródleńskich oczkach wodnych ze stanami wód gruntowych w przyległych siedliskach leśnych. Konferencja Naukowa „Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych – monitoring, ochrona, edukacja”, Poznań, 237-250.
- Kosturkiewicz, A., Szafrąński, C., Stasik, R. & Korytowski, M. (1999). Małe zbiorniki wodne i gospodarka wodna w lasach Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice na tle map topograficznych z lat 1885 i 1990. *Roczniki Akademii Rolniczej Poznań*, 310, *Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 20(1), 413-420.
- Krysztosiak, A., & Miler, A.T. (2008). Stosunki wodne na obszarach mokradłowych w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Siemianice w latach hydrologicznych 2005 i 2006. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 179-194.
- Kucharski, L. (1996). Przyrodnicze znaczenie zagłębień bezodpływowych w rolniczym krajobrazie Pojezierza Kujawskiego. *Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*, 10, 33-38.
- Kuliński, M., & Kochanowska, J. (2004). Charakterystyka geograficzna i gospodarcza. W: *Objaśnienia do mapy geosrodowiskowej Polski 1:50 000, arkusz Wieruszów (731) (s. 4-5)*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Major, M. (2003). Charakter i funkcjonowanie zagłębień bezodpływowych w krajobrazie strefy młodoglacjalnej (Pomorze Zachodnie, górna Parsęta). Poznań: UAM (rozprawa doktorska).
- Major, M. (2008). Effect of the thickness and duration of snow cover on the date appearance and stages of water in a basin without an outlet (the upper Parsęta catchment), W: *Materiały Konferencji „International seminar of the IAG working group on small catchments”*. Międzyzdroje, 18.
- Major, M. (2010). Możliwości zastosowania teorii funkcjonowania geosystemu do badań obszarów bezodpływowych. *Przegląd Geograficzny*, 82(1), 103-113.
- Major, M. (2012). *Funkcjonowanie zagłębień bezodpływowych w zróżnicowanych warunkach morfologicznych (dorzecze Parsęty, Pomorze Zachodnie)*. Studia i Prace z Geografii i Geologii, 27. Poznań: UAM.
- Major, M., Pietruszyński, Ł., & Cieśliński, R. (2021). Zróżnicowanie przestrzenne wybranych składników biogenych w źródleńskich oczkach w Polsce Północnej. *Przegląd Geograficzny*, 93(1), 59-81. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2021.1.4>
- Matthew, D., Berg, C., Bradford, P., Jay, P., Edward, C., McAlister, J., & Fox, W. (2015). Small farm ponds: overlooked features with important impacts on watershed sediment transport. *Journal of the American Water Resources Association*, 52, 67-76. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12369>
- Michalak, J., Nowicki, Z., Gruszczyński, T., & Leśniak, P. (2009). Wyznaczanie zmian zasobów wód podziemnych w rejonach zbiorników małej retencji. Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Warszawa: Państwowa Służba Hydrogeologiczna.
- Mikulski, Z. (1970). Kształtowanie się bilansu wodnego jezior w Polsce. *Przegląd Geograficzny*, 42(3), 438-448.
- Miler, A.T. (2015). Mała retencja wodna w polskich lasach nizinnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4(1), 979-992. <https://doi.org/dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.4.1.078>
- Mioduszewski, W. (2008). Mała retencja w lasach elementem kształtowania i ochrony zasobów wodnych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 18(2), 33-48.
- Mioduszewski, W., & Pierzgałski, E. (2009). Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych. Warszawa: Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych.

- Moniewski, P. (2015). Rola zbiorników wodnych w kształtowaniu cech fizykochemicznych wód rzecznych na przykładzie Ciosenki. *Prace i Studia Geograficzne*, 58, 7-23.
- Namura-Ochalska, A. (2008). Śródlęśne jeziora oligo-humotroficzne jako naturalne zbiorniki retencyjne. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 18(2), 125-139.
- Nicolet, P. (2010). Temporary ponds in the UK: A critical biodiversity resource for freshwater plants and animals. *Freshwater Forum*, 17(1), 16-25.
- Oertli, B., Biggs, J., Céréghino, R., Grillas, P., Joly, P., & La-Chavanne, J.B. (2005). Conservation and monitoring of pond biodiversity: Introduction. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), 535-540. <https://doi.org/10.1002/aqc.752>
- Okoński, B. (2006). Bilans wodny małej zlewni leśnej o potencjalnie niskich zdolnościach retencyjnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3(1), 57-70.
- Operat glebowo-siedliskowy i fitosocjologiczny LZD Siemianice. (1999). Poznań: Zakład Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo Leśnych.
- Orzepowski, W. (2010). Kształtowanie się zasobów retencji glebowej w otoczeniu małych zbiorników wodnych. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 548(2), 435-444.
- Owusu, S., Cofie, O., Mul, M., & Barron, J. (2022). The Significance of Small Reservoirs in Sustaining Agricultural Landscapes in Dry Areas of West Africa: A Review. *Water*, 14(9), 1409-1440. <https://doi.org/10.3390/w14091440>
- Parsons, D.F., Hayashi, M., & van der Kamp, G. (2004). Infiltration and solute transport under a seasonal wetland: bromide tracer experiments in Saskatoon, Canada. *Hydrological Processes*, 18(11), 2011-2027. <https://doi.org/10.1002/hyp.1345>
- Philips, P.J., & Shedlock, R.J. (1993). Hydrology and chemistry of groundwater and seasonal ponds in the Atlantic Coastal Plain in Delaware, USA. *Journal of Hydrology*, 141, 157-178. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90048-E](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90048-E)
- Pieńkowski, P. (1996). Przekształcenia oczek wodnych na przykładzie północnej części równiny Węłtyńskiej. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej. Rolnictwo*, 63, 37-41.
- Pieńkowski, P. (2021). Wpływ użytkowania terenu na transformację krajobrazu w obrębie unikatowego kompleksu oczek wodnych na Pojezierzu Myśluborskim. *Dissertations of Cultural Landscape Commission*, 45(1), 51-68.
- Pływaczyk, L., Olszewska, B., Łyczko, W., & Klaus, R. (2007). Oddziaływanie stopnia wodnego na Odrze w Brzegu Dolnym na koryto rzeki i warunki wodne w dolinie. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 3, 106-114.
- Polska Norma PN-R-04033. Gleby i utwory mineralne – podział na frakcje i grupy granulometryczne (1998). Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- Rushton, K.R. (2003). *Groundwater Hydrology*. The Atrium, Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons.
- Rzętała, M. (2000). *Bilans wodny oraz dynamika zmian wybranych zanieczyszczeń zbiornika Dzierżno Duże w warunkach silnej antropopresji*. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 1913.
- Rzętała, M. (2008). *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego*. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 2643.
- Schmadel, N., Harvey, J., Schwarz, G., Alexander, R., Gomez-Velez, J., Scott, D., & Ator, W. (2019). Small Ponds in Headwater Catchments Are a Dominant Influence on Regional Nutrient and Sediment Budgets. *Advancing Earth and Space Science. Geophysical Research Letter*, 9669-9677. <https://doi.org/10.1029/2019GL083937>

- Szymczyk, S., & Świtajka, I.J. (2013). Wpływ użytku ekologicznego na ograniczenie odpływu zanieczyszczeń z zagrody wiejskiej. *Inżynieria Ekologiczna*, 34, 214-221.
- Tarka, R. (2001). Rozbieżności w ocenie zasobów odnawialnych wód podziemnych a przepuszczalność skał strefy przypowierzchniowej. W: *Współczesne Problemy Hydrogeologii X.T.1.* (s. 279-281). Wrocław: Instytut Nauk Geologicznych, Oficyna Wydawnicza Sudety.
- Twaróg, J. (1998). Ogólna charakterystyka przyrodniczo-leśna Puszczy Augustowskiej. W: *Materiały seminarium naukowo-technicznego w Augustowie* (s. 1-24), Augustów: Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Białymstoku.
- Tymczuk, Z., Przybyła, C., & Sosiński, M. (2005). Priorytetowe kierunki działań w realizacji programu małej retencji wodnej w latach 2005-2015 w województwie wielkopolskim. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 26, 461-467.
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych. *Dziennik Ustaw 1995*, nr 16, poz. 78.
- Winter, T.C. (1986). Effect of ground-water recharge configuration of water table beneath sand dunes and on seepage in lakes in the sandhills of Nebraska. *Journal of Hydrology*, 86, 221-237. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90166-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90166-6)
- Wisser, D., Frolking, S., Douglas, E., Fekete, B., Schumann, A., & Vöörsmarty, C. (2010). The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production – A global-scale analysis. *Journal of Hydrology*, 384, 264-275. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.032>
- Wojtkowiak, R. (2020). Retencja w lasach. *Gospodarka Wodna*, 74(6), 36-40.
- Zieliński, A. (2008). Charakterystyka morfometryczna krasowego Jeziora Jasnego i jeziora beziemiennego znajdujących się w Lasach Golejowskich koło Staszowa. *Dokumentacja Geograficzna*, 37, 56-61.

Summary

Be they a product of either an anthropogenic or a glacial nature, ponds within forests play an extremely important role in determining hydrological features of forest micro-catchments. Water retained in these small bodies of water for example has a positive effect on the groundwater of neighbouring forest habitats, serving to recharge them during dry periods.

This article presents the results of a study conducted in the catchments of two mid-forest ponds (known as Nos. 1 and 5), which differ in terms of their recharge characteristics. The ponds are located on the land of Poland's Siemianice Experimental Forestry Department, in the catchments of the Rivers Niesob and Pomianka as left-bank tributaries of the Prosna. The forests are located on the Southern Wielkopolska Lowland, on the Wieruszów Plateau, which is a denuded moraine plain incised by the upper Prosna. The study was carried out in the three hydrological years 2013, 2015 and 2016, which differed in terms of their precipitation totals. The 2013 hydrological year, in which precipitation totalled 711 mm (hence 139 mm above the multi-year average) was a wet year, as compared with the very dry hydrological year 2015, which featured a precipitation total of 337 mm, or just 59% of normal precipitation. The third hydrological year discussed (2016) proved to be an average year, with precipitation totalling 613 mm thus being 41 mm above the multi-year average.

The catchment of mid-forest pond No. 1, featuring 100% forest cover and covering about 7.5 ha, is located in the basin of the Niesob – a left-bank tributary of the Proсны. This study catchment is dominated by mesic habitats (occupying 98% of its area), even as the area immediately adjacent to the pond is of the mixed wet forest site-type. In contrast, the catchment of pond No. 5, again with forest cover of 100% and an area of some 20 ha, is located in the catchment of the Pomianka, again a left-bank tributary of the Proсны. This catchment nevertheless resembled that of pond 1 in featuring a prevalence of mesic habitats, albeit with wet forest in the immediate vicinity of the body of water. The soil cover of the analysed catchments is dominated by rusty podsollic and rusty brown soils (pond No. 1), or else typical acid brown soils (pond No. 5); with the predominant species being loamy sand.

Characterisation in terms of basic morphometric parameters implies that mid-forest pond No. 1 (with an area of 0.13 ha and an average depth of 1.0 m) is in the nature of an exuvial pond of near-circular shape. The length of shoreline is 118 m, and the elongation and depletion indices are of 1.1 and 2.5 respectively. In contrast, pond No. 5 (with an average depth of 1.2 m and an area of 0.096 ha) is of rectangular shape and constitutes a drainage pond fed intensively from the northwest by spring water. This body of water formed as a result of human activity. The length of the shoreline of this pond is 136 m, and the elongation and depletion ratios are of 2.5. According to information from local people, it was used as a fish pond in the 1970s.

The bottoms of the analysed ponds Nos. 1 and 5 feature organic silt of 30 cm thickness on average, overlying weak clayey sand (pond 1) or light clay (pond 5). Meanwhile, the slopes of the ponds and soils of adjacent forest habitats show a prevalence of weak clayey sand.

The study confirmed that the functioning of mid-forest ponds is determined mainly in line with their nature, as well as their morphometric features. At the same time, these characteristics exert a significant influence on separate components of the water balance in such bodies of water, with this going on to affect the water cycle in a given catchment area significantly. Greater variability of water level and reserves proved to be characteristic for pond No. 1 (which lacked an outflow), while the intensively spring-fed pond No. 5 displayed only minor changes in these quantities.

The example of mid-forest pond No. 1 suggests that small non-drained bodies of water (thus assigned to the so-called non-controllable retention of water) have trends for changes in water level determined by the course of meteorological conditions in particular. In a body of water of this type it is typical to observe disappearance below ground of any water table, in hydrological years that are dry or even average in terms of precipitation. And in the practical context of the protection of water resources in forests, this will need to be seen as something unfavourable. On the other hand, the hydrology of pond No. 5 is such that the influence of meteorological conditions in shaping states and related water reserves proves non-significant.

Our calculations point to the hydraulic linkage between the water retained in forest ponds and the groundwater of adjacent habitats, with this denoting both periodic outflow of water into soils and recharge with groundwater from adjacent habitats, in the case of pond No. 1. In contrast, pond No. 5 is subject to a unidirectional flow of water from the adjacent habitat into the pond. Results further point to the nature of the interrelationship between water retained in ponds and adjacent groundwater being under the strong influ-

ence of location within a catchment, plus prevailing physiographic conditions. However, a further important matter relates to hydrogeological parameters of formations present on and below nearby slopes; as well as in the immediate vicinity of a given pond.

Analysis of the percentage contribution individual components of water balance make over whole hydrological years serves to confirm that small undrained ponds like our pond No. 1 (with the so-called evapotranspirational or absorptive non-drainage) usually have such elements of vertical water-exchange as precipitation to the surface of a pond and evaporation playing a greater role in shaping the balance. In contrast, in the outflowing and intensively spring-fed pond No. 5, it was horizontal exchange factors, such as uncontrolled spring inflow and outflow to a nearby watercourse that did most to determine the balance. In this type of pond, vertical water exchange occurs less intensively than horizontal exchange and generates no fundamental change in the overall structuring of water balance.