

MIEJSKI STAW JAKO ODBIORNIK ŚCIEKÓW OPADOWYCH

Piotr Stachowski¹, Anna Oliskiewicz-Krzywicka¹, Rafał Pasela²

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: pstach@up.poznan.pl

² Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Inżynierii Sanitarnej.

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono funkcjonowanie stawu bezodpływowego, jako małego zbiornika retencyjnego w zlewni zurbanizowanej, znajdującego się na terenie dzielnicy Wilda w Poznaniu. Przedstawiono jego uwarunkowania przyrodnicze i glebowe oraz czynniki, warunkujące poziom zwierciadła wody w stawie. Szczególną uwagę zwrócono na rolę stawu jako odbiornika wód deszczowych. Określono zlewnię całkowitą oraz zlewnie cząstkowe. Na podstawie danych meteorologicznych obliczono dopływy wody do stawu o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia. Przykład stawu w Parku Jana Pawła II pokazuje, że na obszarach miejskich zbiorniki o takim charakterze mogą być skutecznie wykorzystywane jako odbiorniki wód deszczowych, bez umniejszenia ich innych funkcji. Przyczyniają się do wzrostu zasobów wody podziemnej, zwiększają atrakcyjność rekreacyjną obszaru oraz stanowią cenny walor przyrodniczy. Jednak ciągła zabudowa terenów, uszczelnianie powierzchni gleby oraz występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych wymuszają kompleksowe spojrzenie na zagospodarowanie wód opadowych w miastach. Obliczenia wykazały, że największy dopływ ścieków opadowe wystąpiłby po deszczu 24-godzinnym i wyniósłby 3365 m³, a poziom zwierciadła wody w stawie podniósłby się o 0,25 m, a objętość stawu zwiększyłaby się o 7000 m³, co stanowiłoby około 57% całkowitej pojemności stawu. Gdyby wystąpił taki wzrost poziomu zwierciadła wody w stawie nie miałby on szkodliwego następstwa powodziowego. Dopiero wystąpienie deszczu 24-godzinnego o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 10\%$ i dopływie około 4700 m³, spowodowałoby całkowite wypełnienie wodą stawu. Wystąpienie takiej sytuacji można uniknąć, poddając staw odmuleniu, ponieważ obecnie zalega w nim mul o objętości około 1300 m³.

Słowa kluczowe: zlewnia zurbanizowana, staw, wody opadowe, retencja, infiltracja

URBAN POND AS A RAINWATER RECEIVER

ABSTRACT

This paper presents the functioning of a closed pond as a small storage reservoir in the urban catchment area located in the Wilda district of Poznań. It presents the natural, hydro-geological and urban conditions and the factors conditioning the water level in the pond. Particular attention was focused upon on the pond as a rainwater receiver. The total catchment area and partial catchment area were determined. The inflow of water into the pond, with varying degrees of probability of occurrence, was calculated based on metrological data. The example of a pond in the John Paul II Park shows that this reservoir may be effectively used as rainwater receiver, without underestimating their other functions. They contribute to the increase of the underground water resources, increase the attractiveness of the recreational area and provide a natural value. However, the continuous urbanization, sealing the soil surface and the occurrence of extreme weather conditions necessitate a comprehensive look at the management of rainwater in urban areas. Calculations showed that the largest inflow of rain water occurs after a day's rain with the probability $p = 100\%$, and would amount to 3365 m³, and the water level in the pond would rise by only 0.25 m to a capacity of about 7000 m³. This represents 57% of the total capacity of the pond. If such an increase in the water level had occurred during the period of high water levels in the pond, it could not have damaging consequences of flooding. Only the occurrence of a day's rain with the probability $p = 10\%$, and capacity around 4700 m³, would completely fill the pond. Such a situation can be avoided by recultivation and desilting the bottom of the pond, where the slime collects with a capacity of 1300 m³.

Keywords: urban catchment, pond, rain water, retention, infiltration

WSTĘP

Przez całe dziesięciolecia XX wieku z rozmachem betonowano i asfaltowano miasta, ograniczając naturalne przenikanie wód opadowych do gleby. Dzisiejsza świadomość ekologiczna zmusza nas do szukania rozwiązań alternatywnych, gdyż ludzie uświadomili sobie, że zagospodarowanie wody deszczowej w miejscu jej pojawienia powinno stać się regułą. Wodę deszczową możemy przede wszystkim powierzchniowo retencjonować, a następnie wykorzystywać do podlewania zieleni, spłukiwania ulic, itp. Jest to schemat zbliżony do schematu funkcjonującego w środowisku naturalnym, w którym istnieje równowaga pomiędzy ilością opadu z jednej strony a wsiąkaniem, spływem i parowaniem wody z drugiej [Buszta-Adamiak, Łomotowski 2006, Gudelis-Taraszkiewicz 2012]. Lokalne zagospodarowanie wód opadowych ma wiele zalet: wspomaga odtworzenie się wód w małych ciekach, obniża odpływ wysokiej wody oraz obniża szkodliwy wpływ na ekosystemy w wodach powierzchniowych, odciąża sieć kanalizacyjną w czasie ulewnych deszczy, umożliwia budowę kanałów z mniejszymi średnicami na nowych terenach zurbanizowanych, umożliwia tworzenie i wykorzystanie rezerwy w kanałach na istniejącej sieci oraz obniża koszty renowacji kanałów. System naliczania opłat za ścieki opadowe i roztopowe powinien w istotnym stopniu zachęcić do stosowania w szerokim zakresie systemów retencjonowania, infiltrowania wód opadowych oraz podczyszczania ścieków opadowych. Niestety krajowe uwarunkowania prawne i instrumenty ekonomiczne aktualnie słabo zachęcają do wprowadzania takich rozwiązań. Pewne nadzieje należy wiązać z wprowadzeniem specjalnych programów promocyjnych dla mieszkańców miast. W celu rozpropagowania potrzeby zagospodarowania oraz wykorzystania wód deszczowych szereg miast na świecie oferuje specjalne programy promocyjne dla umotywowania prywatnych inwestorów. Poniżej kilka przykładów. W Danii obowiązuje tzw. opłata odwodnieniowa, to jest ulga wynosząca nawet 40% w przypadku gdy wykaże się, że zmniejszono wielkość odpływu oraz poprawiła się jakość odpływu wód opadowych. W Szwecji, obowiązujące przepisy prawne, zobowiązują do rozsączania w glebie wód deszczowych. Chcąc wprowadzać wody deszczowe do wód naturalnych lub systemu kanalizacyjnego należy udokumentować, że wsiąkanie wody opadowej nie jest możliwe np. ze względów hy-

drogeologicznych. W mieście Hameln (Niemcy) inwestorzy, którzy zdecydują się odłączyć od kanalizacji otrzymują dofinansowanie w wysokości około 25 zł na każdy m² powierzchni wyłączonej z systemu kanalizacyjnego. Spowodowało to odłączenie od kanalizacji 170 posesji i wykonanie system rowów infiltracyjnych za około 1 mln zł. Dzięki temu projektowi uniknięto budowy centralnego zbiornika retencyjnego za kwotę około 9 mln zł. Podobnie w Bremer (Niemcy) od 2011 roku wypłacana jest mieszkańcom kwota 50 zł za każdy m² powierzchni, która zostanie odłączona od systemu kanalizacyjnego [Królikowska i Królikowski 2013]. Pewne możliwości w zakresie zagospodarowania wód opadowych i roztopowych stwarza wykorzystanie wyrobisk, stawów i zagłębień już istniejących na obszarze miasta. Możliwości takie występują szczególnie w rozwijających się aglomeracjach, gdzie tkanka miejska wkracza na peryferyjne obszary rolnicze lub przemysłowe, na których znajdowały się obiekty, takie jak hodowlane stawy rybne, naturalne oczka wodne, stawy lub wyrobiska po wydobywaniu gruntów (np. glinianki, kopalnie żwiru i piasku). Zostały one zachowane i ochronione przed dewastacją i zasypaniem dzięki zrozumieniu ich roli przez mieszkańców i władze lokalne. Takie obiekty, odpowiednio zagospodarowane i urządzone, mogą pełnić wiele funkcji użytkowych (rekreacyjnych, krajobrazowych czy ekologicznych), a będąc odbiornikiem wód deszczowych, może pełnić również funkcję przeciw powodziową – zbiornika retencyjnego. Gromadząc okresowo nadmiar wody zmniejszają odpływ powierzchniowy, umożliwiając jego częściową zamianę na odpływ podziemny i retencję gruntową, co oznacza podwyższenie poziomu wody gruntowej na terenie przyległym, skrócenie okresów posusznych i zmianę mikroklimatu. Jak twierdzi Ciepeliowski [1999], najczęściej podstawową rolą małej retencji nie jest gromadzenie wody w celu jej późniejszego wykorzystania, lecz podniesienie uwilgotnienia siedlisk i stworzenie warunków dla rozwoju fauny i flory, czego efektem jest powstanie specyficznego mikroklimatu o charakterze lokalnym

Zbiorniki pełniące takie funkcje mogą jednak stanowić zagrożenie dla zabudowy i infrastruktury miasta, dlatego potrzebna jest wiedza na temat kształtowania się reżimu poziomów wody w akwenach.

Celem pracy było omówienie znaczenia i przedstawienie wyżej wymienionych możliwości wielofunkcyjnego wykorzystania małego bezodpływowego stawu, na obszarze silnie zurbanizowanym.

MATERIAŁ I METODY

Aby zrealizować założony cel pracy, wykonano następujące prace:

- a) badany obszar podzielono na 4 zlewnie cząstkowe, dla których wyznaczono powierzchnię: zlewnia A o powierzchni 4,75 ha, zlewnia B (6,45 ha), zlewnia C (7,9 ha) oraz zlewnia obejmująca część ulicy Droga Dębińska (droga asfaltowa i chodnik) o powierzchni 0,62 ha, określono rzędne docelowe, współczynnik infiltracji gleby – jako słaby (piaski gliniaste) o wielkości od 0,0864 do 0,864 $m \cdot d^{-1}$, rodzaj pokrycia terenu oraz współczynnik spływu, obliczony jako średni z różnych rodzajów powierzchni: asfaltowych, z kostki brukowej, nieutwardzonych – ścieżki żwirowe, grunto-we, chodników i alei ($\psi = 0,5$), placów sportowych ($\psi = 0,25$), oraz trawników i ogrodów zdrzewionych i zakrzaczonych ($\psi = 0,10$). Wielkości tych pól określono z zastosowaniem aplikacji GIS, na podstawie map w różnych skalach i wizji terenowej. Po określeniu wielkości pól przypisano im wartości współczynnika spływu ψ , a następnie dla każdej zlewni obliczono wartość zastępczego współczynnika spływu.
- b) obliczono ilość odprowadzanych ścieków opadowych z poszczególnych zlewni cząstkowych do gleby i stawu, który dla całego obszaru wynosi 31776 $m^3 \cdot rok$ (tab. 1). Natężenie

deszczu miarodajnego q wyznaczono stosując formułę Błaszczyka [Błaszczyk 1983, Geiger i Dreseitl 1999]. Dla warunków średniego normalnego opadu rocznego $H = 564$ mm przybiera postać:

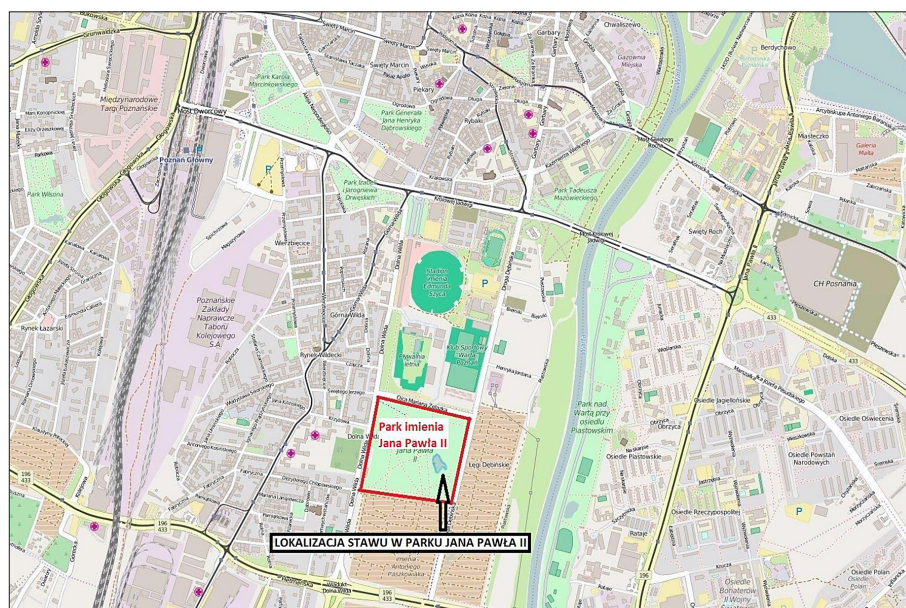
$$q = (470^3 C) / (t^{0,667}) \text{ [dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})] \quad (1)$$

gdzie: C – liczba lat przypadających na jedno zdarzenie deszczu o natężeniu q lub większym.

Obliczenia dopływu do stawu wykonano dla deszczów o różnym czasie trwania t (od 10 min. do 1440 min.) i o różnym prawdopodobieństwie występowania $p = 10, 20$ i 100% – zgodnie z PN-92/B-01707.

CHARAKTERYSTYKA STAWU

Park Jana Pawła II, o powierzchni 20 ha, położony jest w dzielnicy Poznania-Wilda, między ulicami: Dolna Wilda, Droga Dębińska oraz Ojca Mariana Żelazka (rys. 1). Powstał w 1970 roku, a jego pierwotna nazwa to Łęgi Dębińskie. Obecna nazwa upamiętnia wizytę Ojca Świętego Jana Pawła II na tym terenie w dniu 20 czerwca 1983 roku. Od ponad roku trwa intensywna rewitalizacja terenu parku, a jej realizacja przewidziana jest do 2017 roku. To jeden z najrozleglejszych poznańskich parków, a dobry dojazd i lokalizacja oraz wielkość sprawiła, że obecnie



Rys. 1. Zlewnia Stawu w Parku im. Jana Pawła II. (źródło: opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej w skali 1:500)

Fig. 1. Catchment area of Park im. Jana Pawła II pond (source: own work based on topographic map 1:500)

stanowi dużą atrakcję dla mieszkańców, stając się ważnym elementem krajobrazowym i hydrologicznym tego rejonu miasta. Stanowi naturalne przedłużenie terenów zielonych, rozciągającymi się na zachód od ul. Dolna Wilda. Park im Jana Pawła II jest położony we fragmencie lewobrzeżnej doliny Warty odciętej od rzeki wałem przeciwpowodziowym (rys.1), stanowiącej przestrzeń rekreacyjną dla mieszkańców miasta. Jednym z elementów kompozycyjnych parku jest staw usytuowany w jego wschodniej części, przy ul. Droga Dębińska. Przedmiotowy staw to zbiornik naturalny o kształcie przypominającym zarys sierpa tak charakterystycznego dla starorzeczy. Część akwenu, około 7% powierzchni zwierciadła wody, szczególnie przy linii brzegowej wschodniej części stawu pokrywa roślinność szuwarowa (trzcina, pałka) oraz nadwodna (osoka, lilie). Lokalnie, na skarpach rosną krzewy i drzewa, pojedyncze lub w grupach (fot.1). W strukturze roślinności okalającej staw można dostrzec szuwar trzcinowy i pałki wąskolistne, które są wskaźnikiem stosunkowo płytkich stojących wód. Obszar miasta w rejonie stawu jest silnie zurbanizowany, ale również cechujący się bardzo dużym zadrzewieniem. Granicami topograficznymi zlewni stawu są: od północy i wschodu – nasypy ulic: Droga Dębińska, Ojca Mariana Żelazka, a po stronie zachodniej ulica Dolna Wilda. Ulice te mają kanalizację deszczową, odprowadzającą wodę z jezdni i posesji po ich stronie wschodniej. Różnice wysokości terenu na obszarze zlewni stawu są niewielkie, między skrajnymi punktami wynoszą około 2,5 m. Głębokość stawu zwiększa się od brzegów w kierunku środka akwenu do 3,0 do 4,0 m. Średnia głębokość stawu wynosi 1,60 m. Nachylenie skarp zbiornika jest zróżnicowane i wynosi od 1:5 do 1:0,5. W płaskim terenie zabudowanym, z licznymi ogrodzeniami, jezdniami

i krawężnikami, a także z indywidualnym zbieraniem i prowadzeniem wód opadowych, określenie granicy zlewni stawu było trudne.

STAW JAKO ODBIORNIK ŚCIEKÓW OPADOWYCH

Staw w Parku im. Jana Pawła II na powierzchni 1,22 ha. Powierzchnia lustra wody w zależności od stanów wody w stawie zmienia się od 0,96 ha przy rzędnej 53,00 m n.p.m do 1,69 ha przy rzędnej 53,70 m n.p.m. Długość linii brzegowej przy minimalnym poziomie zwierciadła wody przy rzędnej 53,00 m n.p.m wynosi 657 m i 713 m przy rzędnej lustra wody 53,70 m n.p.m. Aktualna minimalna pojemność stawu przy rzędnej lustra wody 53,00 m n.p.m wynosi 12400 m³, a średnia głębokość 1,32 m. Uwzględniając objętość (1300 m³) nawodnionego luźnego namułu zalegającego na dnie stawu, to faktyczna średnia głębokość stawu wynosi 1,18 m. Maksymalną głębokość stawu stwierdzono w jego centralnej części i wynosi ona 2,08 m.

Granicę zlewni topograficznej określono na podstawie mapy w skali 1:500 i własnych obserwacji terenowych. Całkowita powierzchnia zlewni stawu w przedstawionych granicach wynosi 20,94 ha, powierzchnia stawu 1,22 ha (6% pola powierzchni zlewni), a terenu zlewni bez akwenu 19,72 ha. Stosunek pól powierzchni przyjętych jako nieprzepuszczalne: powierzchnie asfaltowe, chodniki i kostka brukowa o łącznej powierzchni 8,12 ha, do całego pola zlewni, czyli stopień uszczelnienia zlewni, wynosi około 40%. Według opracowania PIG [Nowicki 2007], warstwa utworów glebowych analizowanego obszaru to czwartorzędowe piaski, żwiry i gliny oraz ły i mułki zastoiskowe akumulacji lodowcowej,



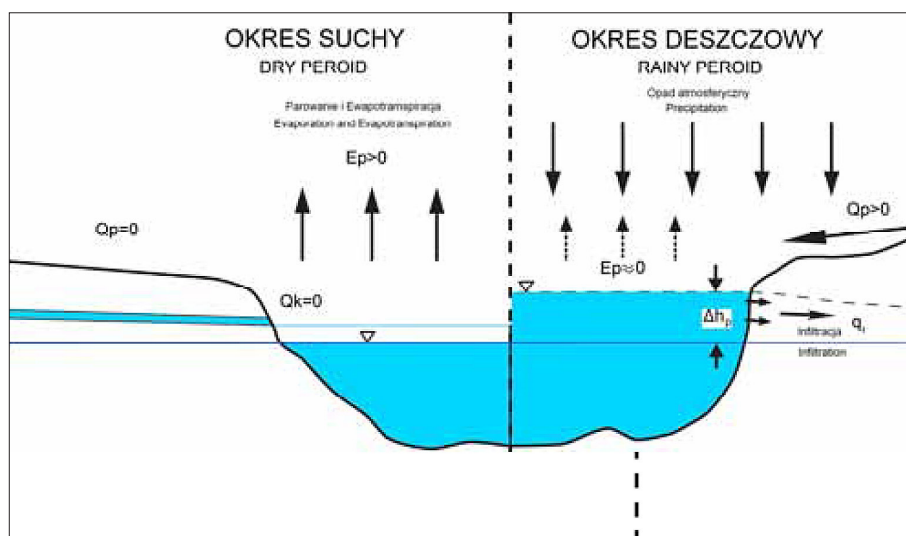
Fot. 1. Widok na staw w Parku im. Jana Pawła II (autor P. Stryjak 2014)
Photo 1. View of im Jana Pawła II pond (autor P. Stryjak 2014)

wodnolodowcowej oraz osadowe, spoczywające na utworach pliocenijskich o bardzo zróżnicowanym wysokościowo stropie. Ich szczególną cechą jest zróżnicowana miąższość. Po lewej stronie rzeki Warty łączna grubość utworów czwartorzędowych zmienia się od ok. 10 do kilkudziesięciu metrów w najgłębszych wcięciach erozyjnych. Taka mozaikowa budowa geologiczna sprawia, że warunki zalegania i ruchu wód podziemnych są złożone. Bardzo małe spadki lustra wody podziemnej w strefie wododziału sprawiają, że jej przepływy i poziom zmieniają się w zależności od sytuacji hydrologicznej. Zmiany poziomu wody w stawie są związane ze zmianami poziomu wody podziemnej, w których należy wyróżnić zmiany długookresowe (związane z cyklami hydrologicznymi), sezonowe (zachodzące w ciągu roku hydrologicznego) i krótkotrwałe (które są wynikiem dopływów ścieków po deszczach o dużej intensywności i wydajności). Zmiany poziomu wody powodowane dopływami krótkotrwałymi nakładają się na długookresowe i sezonowe. W praktyce, w przypadku zbiornika bezodpływowego, nie mamy wpływu na ten poziom i jego zmiany w czasie. W naturalnych warunkach terenowych wypełnia się on wodą gruntową do poziomu jaki osiąga ona wokół stawu. Sytuacja jest inna, gdy staw służy do poboru wód lub odbioru ścieków. Jeśli do zbiornika uchodzą wody opadowe, to w pewnych przedziałach czasu mogą występować różnice poziomu wody gruntowej i wody w akwenu powodowane (rys. 2):

- w okresie bezopadowym – większą intensywnością parowania ze swobodnego lustra wody niż ewapotranspiracji z powierzchni zlewni,

- podczas intensywnych opadów – dopływem wody opadowej, spadającej bezpośrednio na staw i dopływającej do niego drogą powierzchniową i z kanalizacji deszczowej.

W pierwszym przypadku, z uwagi na niewielkie różnice objętości parowania i ewapotranspiracji oraz filtracyjnego dopływu wody do stawu, można przyjąć, że praktycznie poziom wody w stawie stale podąża za poziomem wody podziemnej. W drugim przypadku, dopływająca woda deszczowa szybko podnosi poziom w stawie, infiltrowuje przez całą powierzchnię jego misy, a poziom wody gruntowej wokół stawu układa się (w przekroju pionowym) w formie krzywej wsiąkania [Dąbrowski i in. 2013]. Czas wyrównania poziomów wody w stawie i w gruncie zależy od wodoprzepuszczalności gruntu i początkowej różnicy obu poziomów. W bilansie wody dla tego okresu parowanie w czasie trwania deszczu można pominąć, ale w okresie po deszczu należy je uwzględnić. W przypadku zlewni zurbanizowanej, z dużym udziałem powierzchni szczelnych i kanalizacją deszczową, poziom wody w stawie, jako wynik wyżej omówionych procesów, jest trudny do prognozowania. W przypadku, gdy kanały deszczowe i studzienki są nieszczelne i są położone (stale lub okresowo) poniżej poziomu wody gruntowej, do stawu może ponadto dopływać woda gruntowa jako wynik drenowania przez nieszczelne urządzenia kanalizacji deszczowej. Z uwagi na rolę jaką staw w Parku Jana Pawła II, odgrywa w środowisku miejskim, ważna jest znajomość zmian poziomu jego wody: długookresowych, związanych z długimi cykla-



Rys. 2. Schemat obrazujący składowe bilansu wodnego stawu [Dąbkowski i in. 2013]

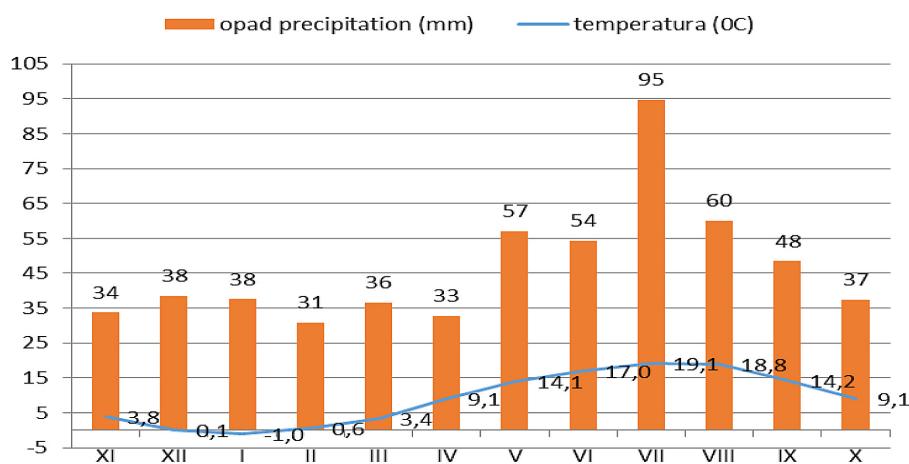
Fig. 2. Elements of the water balance of a pond [Dąbkowski et al. 2013]

mi hydrologicznymi, sezonowych, zachodzących w ciągu roku hydrologicznego i krótkotrwałych. Najistotniejszą przyczyną krótkotrwałych zmian poziomu wody w stawie są dopływy wód z opadów o dużej intensywności i wydajności. Dopływy mniej intensywne, pochodzące z roztopów, nie były analizowane w opracowaniu, jako nie stwarzające zagrożenia dla terenów przyległych. Dopływy krótkotrwałe nakładają się na wahania długookresowe i sezonowe. Spływy z powierzchni zlewni, trafiające na jezdnie ulic z przyległych posesji są przejmowane przez studzienki wpustowe w ulicach skanalizowanych bądź spływają do stawu bezpośrednio po powierzchni terenu.

Jak wynika z analizy danych z wielolecia 1996–2014 ze stacji meteorologicznej Poznań-Ławica, zlokalizowanej 10 km od centrum Poznania, średnia suma opadów dla tego okresu wyniosła 564 mm. W półroczu letnim średnia suma opadów wynosiła 352 mm a w półroczu zimowym 212 mm. Średnia roczna temperatura na tym obszarze wyniosła $+9,1^{\circ}\text{C}$. Średnia temperatura w półroczu zimowym wyniosła $+2,7^{\circ}\text{C}$, z najmniejszą średnią temperaturą powietrza w styczniu ($-1,0^{\circ}\text{C}$) natomiast w półroczu letnim $15,4^{\circ}\text{C}$, z maksymalną temperaturą w lipcu ($19,1^{\circ}\text{C}$). Na półroczu letnie przypadało 63% rocznej sumy opadu, z maksymalnymi opadami w lipcu (95 mm) i minimalnymi w lutym (31 mm) (rys. 3). Na podstawie średniej z wielolecia wysokości opadu, obliczono ilość wód opadowych i roztopowych z obszaru parku, która wynosi $105919\text{ m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$. Założono, że 100% ilości wód opadowych będzie odprowadzana z terenu zlewni w ilości $290\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Ponieważ analizowany obszar nie jest

wyposażony w kanalizację, umożliwiającą odprowadzenie wód opadowych do sieci kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, przewidziano odprowadzanie wód opadowych na własny teren nieutwardzony parku oraz do stawu bezodpływowego, położonego w najniższej części parku. Największy dopływ ścieków deszczowych do stawu wystąpiłby po deszczu 24-godzinnym w trzech wariantach wystąpienia o prawdopodobieństwie przewyższenia: $p = 10, 20$ i 100% . (tab. 1). Dla przykładu: natężenie deszczu miarodajnego dla $t = 15$ minut, prawdopodobieństwo $p = 20\%$ (raz na 5 lat) wyniosło $132\text{ dm}^3\cdot\text{sek}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$. Przewidując się, że spowoduje to dopływ wody w ilości 906 m^3 i wzrost pojemności stawu do 13306 m^3 (do rzędnej zwierciadła wody $53,15\text{ m n. p. m}$). Dla czasu trwania opadu $t=15$ min. prawdopodobieństwo wystąpienia $p=20\%$, dopłynie około $1330\text{ dm}^3\cdot\text{sek}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$, wsiąknie około $4,6\text{ dm}^3\cdot\text{sek}^{-1}$ przewidziano parowanie z lustra wody w stawie w około $5,7\text{ dm}^3\cdot\text{sek}^{-1}$. Wymagana powierzchnia stawu dla zmagazynowania tej ilości wody spływającej powinna wynosić około 2184 m^3 . Zestawienie wszystkich obliczeń dopływu wody do stawu przy różnych czasach trwania i występowania opadów przedstawiono w tabeli 1.

Przyjmując poziom zwierciadła wody w stawie na początku wystąpienia deszczu na poziomie rzędnej $53,35\text{ m n.p.m.}$ i pomijając infiltracje, na podstawie krzywej pojemności określono wzrost poziomu wody w stawie po deszczu o $0,25\text{ m}$, pojawiającym się średnio jeden raz na 5 lat, do rzędnej $53,60\text{ m n.p.m.}$ Odnosząc ten poziom do powierzchni stawu, jego obszar uległby zwiększeniu o $0,33\text{ ha}$ do powierzchni $1,55\text{ ha}$. Natomiast



Rys. 3. Średnie miesięczne sumy opadów oraz średnie miesięczne temperatury powietrza w latach 1996 – 2014 dla stacji Poznań-Ławica

Fig. 3. Annual precipitation totals and annual air temperature in the period 1996 – 2014 recorded in the station Poznań-Ławica

Tabela 1. Dopływy wody do stawu w Parku Jana Pawła II**Table 1.** Water supplies to Jana Pawła II Pond

| l.p. | czas trwania t (min) | Opad (mm) | | | Dopływ ze zlewni cząstkowych $Q = \psi \times F \times q$ (m ³) | | | ΣVi (m ³) | Vz (m ³) | Vc (m ³) |
|------|----------------------|--------------------------|---------------|---|--|-------------|---------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | prawdopodobieństwo p (%) | wysokość (mm) | natężenie q (dm ³ · s ⁻¹ · ha ⁻¹) | A 4,750 (ha) | B 6,45 (ha) | C+D 8,52 (ha) | | | |
| 1 | 10 | 100% | 43 | 101 | 85 | 115 | 173 | 374 | 525 | 899 |
| | | 20% | 21 | 173 | 146 | 196 | 296 | 638 | 256 | 894 |
| | | 10% | 11 | 218 | 184 | 247 | 373 | 804 | 134 | 938 |
| 2 | 15 | 100% | 52 | 77 | 98 | 131 | 186 | 415 | 634 | 1049 |
| | | 20% | 27 | 132 | 168 | 131 | 319 | 618 | 329 | 947 |
| | | 10% | 16 | 166 | 211 | 282 | 401 | 894 | 195 | 1089 |
| 3 | 30 | 100% | 66 | 49 | 124 | 167 | 221 | 512 | 805 | 1317 |
| | | 20% | 35 | 83 | 211 | 282 | 376 | 869 | 427 | 1296 |
| | | 10% | 26 | 105 | 267 | 357 | 474 | 1098 | 317 | 1415 |
| 4 | 60 | 100% | 87 | 31 | 157 | 211 | 270 | 638 | 1062 | 1700 |
| | | 20% | 38 | 52 | 264 | 354 | 454 | 1072 | 464 | 1536 |
| | | 10% | 29 | 66 | 335 | 449 | 576 | 1360 | 354 | 1714 |
| 5 | 120 | 100% | 99 | 19 | 193 | 258 | 326 | 777 | 1208 | 1985 |
| | | 20% | 55 | 33 | 335 | 449 | 566 | 1350 | 671 | 2021 |
| | | 10% | 41 | 42 | 426 | 572 | 721 | 1719 | 500 | 2219 |
| 6 | 1440 | 100% | 116 | 4 | 487 | 653 | 810 | 1950 | 1415 | 3365 |
| | | 20% | 80 | 6 | 731 | 980 | 1215 | 2926 | 976 | 3902 |
| | | 10% | 63 | 8 | 975 | 1306 | 1620 | 3901 | 769 | 4670 |

Objaśnienia: ΣVi – sumy iloczynów wysokości opadów, powierzchni zlewni cząstkowych i cząstkowych współczynników spływu; Vz – iloczyny wysokości opadów i powierzchni zbiornika (objętość wody opadowej spadająca bezpośrednio na powierzchnię stawu); Vc – sumy dopływów ze zlewni cząstkowych i objętości wody opadowej spadającej bezpośrednio na powierzchnię stawu.

Explanations: ΣVi – sums of the product of precipitation, sub-catchment area and sub-catchment runoff coefficients; Vz – products of precipitation and pond area (volume of rainwater falling directly onto the surface of a pond); Vc – sums of water inputs from sub-catchments and the volume of rainwater falling directly onto the surface of a pond.

zakładając wystąpienie deszczu średnio jeden raz na 10 lat, wzrost zwierciadła wody nastąpiłby do maksymalnego stanu wody w stawie (do rzędnej 53,70 m n.p.m.), a powierzchnia jego zwiększyłaby się do 1,70 ha. Zakładając wystąpienie takiego poziomu, jedyny przewód doprowadzający wodę do stawu z ulicy Droga Dębińska byłby całkowicie zatopiony, co w razie wystąpienia w tym czasie dalszych obfitych opadów, spowodowałoby mocno ograniczoną przepustowość i pojawieniem się lokalnej powodzi. W rzeczywistości przyrosty poziomu wody będą mniejsze, ponieważ podane wyżej wartości dotyczą deszczu 24-godzinnego, nie uwzględniają parowania i infiltracji wody ze stawu w głąb oraz nierównomierności dopływu wody w czasie. Zjawiska te podczas tak długich deszczu nie powinny być pomijane, ponieważ łagodzą w czasie podnoszenie się poziomu wody w stawie. Wystąpienie takiej sytuacji można uniknąć, poddając staw odmuleniu ponieważ jak wykazały pomiary zalega muł o objętości około

1300 m³. Można je pomijać jedynie, gdy ulewy są krótkotrwałe i gwałtowne.

Natomiast interesujące było określenie czasu powrotu zwierciadła wody w stawie do poziomu przed deszczem. Jest to jednak, z różnych powodów zadanie trudne, ze względu na słabe rozpoznanie warunków geologicznych terenu na obwodzie stawu i brak odpowiedniego schematu hydrogeologicznego, opisującego nieustalony proces obniżania się poziomu wody, który wymagałby zbudowania modelu numerycznego opisującego ten proces. W tej sytuacji można pokusić się jedynie o orientacyjną ocenę wspomnianego czasu. Przyjęto, że proces obniżania się wody w stawie po ustaniu deszczu przebiega w sposób zbliżony do działania studni chłonnej. Dla takiego przybliżonego schematu hydrogeologicznego obliczono dobowe ubytki wody ze stawu powodowane wsiąkaniem. Z tych obliczeń, dla różnych założeń odnośnie zasięgu depresji i różnic poziomów wody w stawie i w glebie oraz prze-

ciężnej wartości współczynnika filtracji, wynika że ze stawu może infiltrować w grunt od 1 000 do 3000 m³ wody na dobę. Zatem dopływ o objętości wynoszącej przykładowo 20 000 m³ wody, wsiąkłyby w glebę w czasie od około 7 do 20 dni. Jeśli uwzględnimy dodatkowo parowanie, wynoszące średnio od 6 do 10 mm·d⁻¹, to czas ten będzie krótszy. Wynika z tego, że kolejne deszcze dopiero po takim okresie nie grożą przepełnieniem stawu. Są to jednak wielkości szacunkowe. Problem zasługuje na lepsze rozpoznanie, w tym na podstawie kilkuletnich obserwacji poziomów wody w stawie, wody podziemnej na jego obrzeżach oraz opadów letnich.

PODSUMOWANIE

W pracy omówiono funkcjonowanie stawu bezodpływowego, jako małego zbiornika retencyjnego w zlewni zurbanizowanej, znajdującego się na terenie dzielnicy Wilda w Poznaniu. Przedstawiono jego uwarunkowania przyrodnicze, hydrogeologiczne oraz czynniki, warunkujące poziom wody w stawie. Szczególną uwagę zwrócono na rolę stawu jako odbiornika wód deszczowych. Określono zlewnię całkowitą oraz zlewnie cząstkowe, Na podstawie danych meteorologicznych obliczono dopływy wody do stawu o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia i czasie trwania opadów. Przykład stawu w Parku Jana Pawła II pokazuje, że na obszarach miejskich zbiorniki o takim charakterze mogą być skutecznie wykorzystywane jako odbiorniki wód deszczowych, bez umniejszenia ich innych funkcji. Przyczyniają się do wzrostu zasobów wody podziemnej, zwiększając atrakcyjność rekreacyjną obszaru oraz stanowią walor przyrodniczy. Jednak ciągła zabudowa terenów, uszczelnianie powierzchni gruntu oraz występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych, wymuszają kompleksowe spojrzenie na zagospodarowanie wód opadowych w miastach. Należy brać pod uwagę ryzyko, wynikające z przepełnienia zbiornika, które spowodowałoby szkody i straty materialne. W każdym przypadku określono maksymalną, dopuszczalną objętość ścieków opadowych, jaką staw może przyjąć bez szkody dla terenów bezpośrednio przyległych.

W przypadku stawu w parku miejskim im. Jana Pawła II, obliczenia wykazały, że największy dopływ ścieków deszczowych występuje po deszczu 24-godzinnym. Po takim deszczu o praw-

dopodobieństwie $p = 100\%$ dopływ wyniósłby 3365 m³, a poziom wody w stawie podniósłby się o 0,25 m, do pojemności około 19400 m³. Stanowi to 57% całkowitej pojemności stawu. Taki wzrost poziomu wody, nie powinien mieć szkodliwego wpływu w przypadku omawianego obszaru parku. Dopiero wystąpienie deszczu 24-godzinnego o prawdopodobieństwie $p = 10\%$ (raz na 10 lat) i dopływie o wielkości około 4700 m³, spowodowałoby całkowite wypełnienie powierzchni stawu. Wystąpienie takiej sytuacji można uniknąć odmulając dno stawu, w którym zalega muł o objętości około 1300 m³.

LITERATURA

1. Błaszczak P. 1983. Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych i dużych miastach. Zakład Wyd. Instytutu Kształtowania Środowiska Warszawa, ss. 149.
2. Buszta-Adamiak E., Łomotowski J. 2006. Odprowadzanie wód opadowych na terenach o rozproszonej zabudowie. Wyd. PAN, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3/1.
3. Ciepeliowski A. 1999. Podstawy gospodarowania wodą. Wydawnictwo SGGW Warszawa, ss. 326.
4. Dąbkowski Sz.L., Rydałowski M., Szymczuk P. 2013. Miejski staw bezodpływowy jako odbiornik ścieków deszczowych (na przykładzie Stawu Kozioróżca w warszawskiej dzielnicy Włochy). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 13. z. 3(43), 23–40.
5. Geiger W., Dreseitl H. 1999. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik retencjonowania i infiltracji wód deszczowych do gruntu na terenie zabudowanym. Oficyna Wyd. Projprzem-Eko, Bydgoszcz.
6. Gudelis-Taraszkiewicz K. 2012. Miejskie problemy wspomagające zagospodarowanie wód opadowych VII Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa pt. „Wody opadowe aspekty prawne, ekonomiczne i techniczne”, Łódź.
7. Królikowska J., Królikowski A. 2013. Opłaty za odprowadzanie wód opadowych – potrzeby i możliwości. Annual Set The Environment Protection – Rocznik Ochrona Środowiska, 15, 1143–1152.
8. Nowicki Z. (red.) 2007. Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Informator PIG. Warszawa, 221–243.
9. Stryjak P. 2014. Opracowanie mapy sytuacyjno-wysokościowej fragmentu parku miejskiego im. Jana Pawła II w Poznaniu. Maszynopis pracy magisterskiej zrealizowanej w Instytucie Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji UP w Poznaniu, ss. 42.