

Wpłynęło 21.06.2013 r.  
Zrecenzowano 03.09.2013 r.  
Zaakceptowano 17.09.2013 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# MIEJSKI STAW BEZODPŁYWOWY JAKO ODBIORNIK ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH (NA PRZYKŁADZIE STAWU KOZIOROŻCA W WARSZAWSKIEJ DZIELNICY WŁOCHY)

**Szczepan L. DĄBKOWSKI**<sup>ABCDEF</sup>, **Mariusz RYDAŁOWSKI**<sup>ABCDEF</sup>,  
**Paweł SZYMCZUK**<sup>ABCDEF</sup>

Instytut Technologiczno- Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji

## Streszczenie

W pracy omówiono funkcjonowanie stawu bezodpływowego, jako małego zbiornika retencyjnego w zlewni zurbanizowanej, znajdującego się na terenie dzielnicy Włochy m. st. Warszawy. Przedstawiono jego uwarunkowania przyrodnicze, hydrogeologiczne i urbanistyczne oraz czynniki, warunkujące poziom wody w stawie. Szczególną uwagę zwrócono na rolę stawu jako odbiornika wód deszczowych. Określono zlewnię całkowitą oraz zlewnie cząstkowe, przypadające na poszczególne przewody kanalizacji deszczowej, mające swoje wyloty w omawianym stawie. Wydzielono jednolite rodzaje powierzchni zlewni oraz obliczono odpowiadające im współczynniki spływu. Na podstawie danych meteorologicznych obliczono dopływy wody do stawu o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia. Przykład Stawu Koziorożca pokazuje, że na obszarach miejskich zbiorniki o takim charakterze mogą być skutecznie wykorzystywane jako odbiorniki wód deszczowych. Przyczyniają się do wzrostu zasobów wody podziemnej, zwiększają 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.

**Słowa kluczowe:** kanalizacja deszczowa, staw, zlewnia zurbanizowana

---

**Do cytowania For citation:** Dąbkowski Sz.L., Rydałowski M., Szymczuk P. 2013. Miejski staw bezodpływowy jako odbiornik ścieków deszczowych (na przykładzie Stawu Koziorożca w warszawskiej dzielnicy Włochy). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 3(43) s. 23-40.

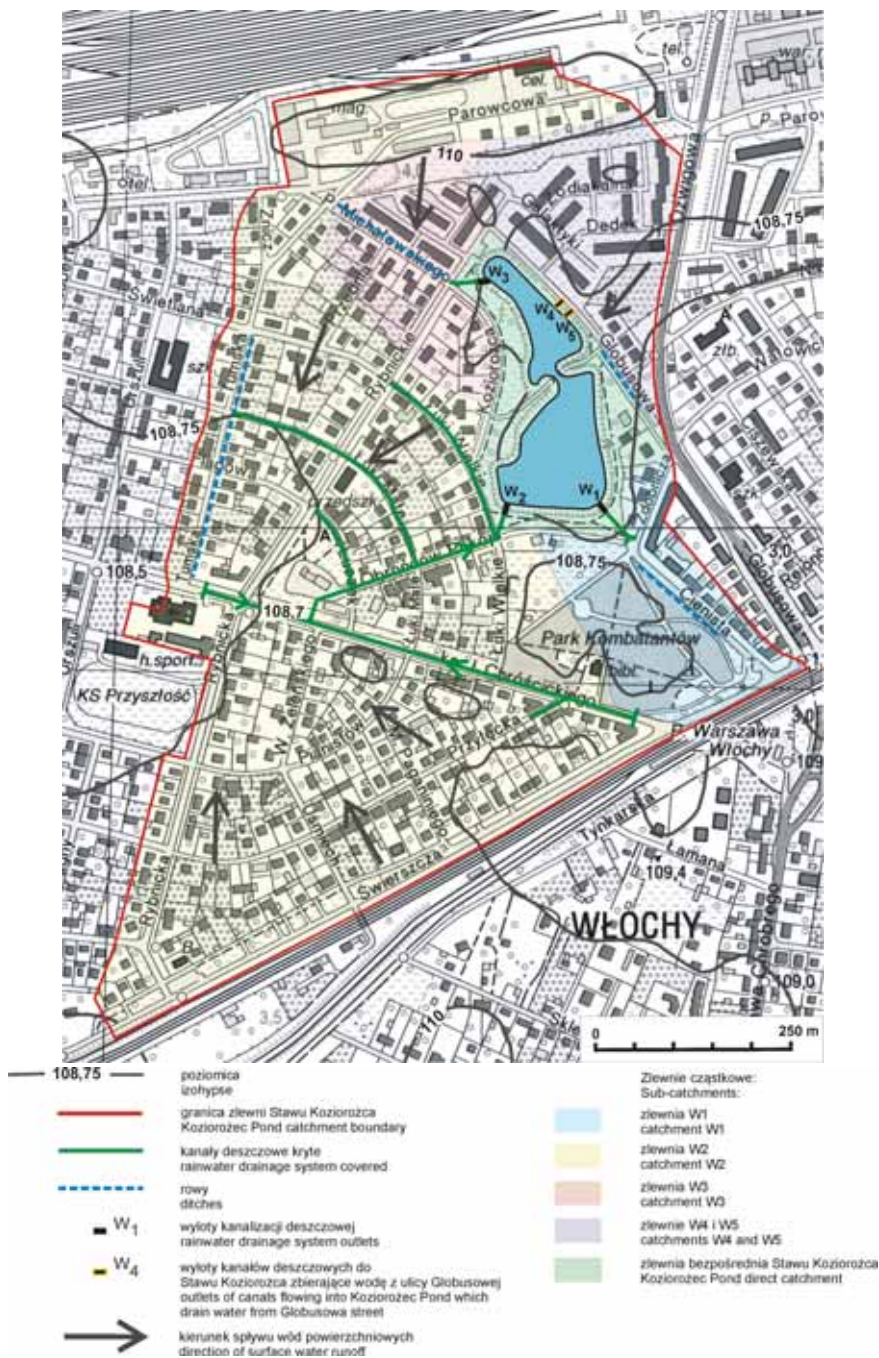
## WSTĘP

Istotnym zagadnieniem technicznym, ekologicznym oraz ekonomiczno-społecznym na terenach zurbanizowanych jest właściwe kształtowanie ich zasobów wodnych, a przede wszystkim zagospodarowanie wód deszczowych. Pewne możliwości w tym zakresie stwarza zagospodarowywanie i wykorzystanie wyrobisk, stawów i zagłębień już istniejących lub budowa nowych zbiorników wodnych. 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 wydobyciu 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. Przykładem takich obiektów są małe zbiorniki wodne na terenie dzielnicy Włochy m.st. Warszawy omówione w pracach OTWINOWSKIEGO i OLCZAKA [1997], PAWŁATA i in. [1997], LIPIŃSKIEGO i in. [2008]. Takie obiekty, odpowiednio zagospodarowane i urządzone, mogą pełnić wiele funkcji użytkowych, jak: przemysłowe, komunalne, rolnicze, sanitarne, rekreacyjne, krajobrazowe i ekologiczne. Jak każdy zbiornik wodny, niezależnie od wielkości, mogą też pełnić funkcję przeciwpowodziową, będąc odbiornikiem wód deszczowych, oraz funkcję zbiornika retencyjnego, zabezpieczającego infrastrukturę komunalną przed nadmiarem wody. Gromadząc okresowo te nadmiary zmniejszają odpływ powierzchniowy, umożliwiają jego częściową zamianę na odpływ podziemny i retencję gruntową, co oznacza podwyższenie poziomu wody gruntowej na terenie przyległym, skrócenie okresów posusznych i zmianę mikroklimatu. 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 [CIEPIEŁOWSKI 1999]. Taka rola zbiorników o tym charakterze może jednak stanowić zagrożenie dla zabudowy i infrastruktury miasta i wymaga wiedzy na temat kształtowania się reżimu poziomów wody w akwenu.

Celem pracy jest omówienie znaczenia i przedstawienie wyżej wymienionych możliwości, ale także problemów technicznych wykorzystania małego zbiornika bezodpływowego w mieście, na obszarze silnie zurbanizowanym, na przykładzie Stawu Koziorożca na terenie dzielnicy Włochy m. st. Warszawy.

## ROLA I CHARAKTERYSTYKA STAWU KOZIOROŻCA ORAZ JEGO ZLEWNI

Staw Koziorożca jest ważnym elementem krajobrazowym i hydrologicznym tego rejonu miasta (rys. 1). Wraz z terenami zielonymi, rozciągającymi się na południe od ul. Obrońców Pokoju (Park Kombatantów), pełni ważne funkcje przy-



Rys. 1. Zlewnia Stawu Koziorożca;  
źródło: opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej 1:10 000

Fig. 1. Catchment area of Koziorożec Pond; source: own work based on topographic map 1:10 000

rodnicze i rekreacyjne oraz kulturowe. Akwen w środkowej części jest przewężony, a istniejący mostek, łączący oba brzegi zbiornika (fot. 1), umożliwia komunikację pieszo-rowerową pomiędzy terenami po zachodniej i wschodniej stronie stawu. Według Studium uwarunkowań... [Uchwała... 2010], staw kształtuje strukturę przestrzenną i krajobraz miasta i został oznaczony jako centrum lokalne, a tereny wzdłuż ulic – nazwane ciągami wielofunkcyjnymi i głównymi przestrzeniami o charakterze reprezentacyjnym. Ulice: Globusowa, Dźwigowa, oraz Ks. J. Chrościckiego i Rybnicka w dalszych odcinkach zostały oznaczone jako powiązania głównych przestrzeni o charakterze reprezentacyjnym.

Część akwenu, około 7% powierzchni wody, szczególnie przy linii brzegowej wschodniej części Stawu Koziorożca (fot. 2), pokrywa roślinność szuwarowa (trzcina, pałka) oraz nadwodna (osoka, lilie) [LIPiŃSKI i in. 2008]. Lokalnie, na skarpach rosną krzewy i drzewa, pojedyncze lub w grupach. Wędkarze urządzili sobie stanowiska do wędkowania.



Fot. 1. i 2. Widok na Staw Koziorożca (fot. M. Rydałowski)

Phot. 1 and 2. View of Koziorożec Pond (photo M. Rydałowski)

Staw Koziorożca pełni w strukturze miasta ważne funkcje techniczne jako odbiornik ścieków deszczowych z otaczających go osiedli. Z tego powodu potrzebne jest rozpoznanie uwarunkowań technicznych związanych z rolą odbiornika ścieków deszczowych. Chodzi tu nie tylko o zagrożenia dla czystości obiektu, ale także o ocenę możliwości przyjmowania tych ścieków bez zagrożenia przepełnieniem zarówno samego akwenu, jak i uchodzących do niego kanałów deszczowych, a w konsekwencji – wystąpienia powodzi.

Obszar miasta w rejonie stawu jest silnie zurbanizowany, ale również cechujący się bardzo dużym zadrzewieniem. Występuje zabudowa zwana willową, która powstała w okresie międzywojennym według koncepcji miasto-ogród. Dominuje niska zabudowa jednorodzinna oraz gęsta sieć ulic o układzie krzyżowym. Granicami topograficznymi zlewni Stawu Koziorożca są: od południa i północy – nasy-

py linii kolejowych, a po stronie wschodniej – ulice Globusowa oraz Dźwigowa, przechodzące w kierunku dzielnicy Bemowo w tunelach pod liniami kolejowymi. Ulice te mają kanalizację deszczową, odprowadzającą wodę z jezdni i posesji po ich stronie wschodniej. Granica zachodnia zlewni biegnie wzdłuż ulic Tumskiej i Rybnickiej. Różnice wysokości terenu na obszarze zlewni są niewielkie – między skrajnymi punktami wynoszą około 1,5 m.

Głębokość Stawu Koziorożca zwiększa się od brzegów w kierunku środka akwenu do 4,0–6,0 m. Najpłytsze fragmenty występują po obu stronach kładki dla pieszych. Średnia głębokość stawu wynosi 2,63 m (tab. 1). Nachylenie skarp zbiornika jest zróżnicowane, wynosi od 1:5 do 1:0,5.

**Tabela 1.** Podstawowe charakterystyki techniczne Stawu Koziorożca

**Table 1.** Basic technical characteristics of Koziorożec Pond

Powierzchnia, ha Area, ha	Średnia głębokość, m Mean depth, m	Długość linii brzegowej, m Shoreline length, m	Pojemność, tys. m <sup>3</sup> Volume, thousand m <sup>3</sup>
2,687	2,63	1099	70,8

Źródło: LIPIŃSKI i in. [2008]. Source: LIPIŃSKI *et al.* [2008].

W płaskim terenie zabudowanym, z licznymi ogrodzeniami o cokołach ponad powierzchnią terenu, jezdniami i krawężnikami, a także z indywidualnym zbieraniem i prowadzeniem wód opadowych, określenie granicy zlewni stawu było trudne. Granicę zlewni topograficznej (rys. 1) określono [DĄBKOWSKI i in. 2012] na podstawie mapy w skali 1:500 i własnych obserwacji terenowych. Całkowita powierzchnia zlewni stawu w przedstawionych granicach wynosi 63,32 ha, powierzchnia stawu – 2,69 ha (4,24% pola powierzchni zlewni), a terenu zlewni bez akwenu – 60,63 ha. Stosunek pól powierzchni przyjętych jako nieprzepuszczalne (dachy – 9,87 ha, powierzchnie asfaltowane – 6,10 ha, chodniki i kostka brukowa – 9,71 ha) do całego pola zlewni, czyli stopień uszczelnienia zlewni, wynosi 43%.

Obszar zlewni Stawu Koziorożca leży na wysoczyźnie morenowej Równiny Warszawskiej, gdzie występują wyrównane, w wyniku oddziaływania procesów erozyjno-denudacyjnych, górne partie zboczy oraz wzniesień wysoczyzn, znajdujące się w strefie wysokości 98–113 m.n.p.Kr. (20–35 m powyżej poziomu Wisły). Zlewnia Stawu Koziorożca leży w strefie wododziału Bzury i bezpośredniej zlewni własnej Wisły, a na jej obszarze nie ma cieków naturalnych ani innych (poza tym stawem) zbiorników wodnych.

Według PIG [NOWICKI (red.) 2007] wierzchnia warstwa utworów to czwartorzędowe piaski, żwiry i gliny oraz ily i mułki zastoiskowe akumulacji lodowcowej, wodnolodowcowej oraz osadowe, spoczywające na utworach plioceńskich o bardzo zróżnicowanym wysokościowo stropie. Ich szczególną cechą jest zróżnicowana miąższość. Po lewej stronie Wisły łączna grubość utworów czwartorzędowych zmienia się od ok. 10 do kilkudziesięciu metrów w najgłębszych wcięciach erozyj-

nych. 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.

Pierwszy poziom wód gruntowych, w dominującej części zlewni, znajduje się na głębokości 5–10 m, jedynie w części południowo-zachodniej wzrasta i znajduje się na głębokości 3–5 m, a na granicy zlewni – 2–3 m. [Uchwała... 2010].

Według PIG [NOWICKI (red.) 2007], warunki hydrogeologiczne tego obszaru są skomplikowane i „często trudno ustalić przebieg działów wodnych”. Przepływy wód podziemnych w obrębie utworów czwartorzędowych na terenie Warszawy wynikają z drenującego charakteru Wisły i ogólnie są skierowane ku rzece. Widać z nich, że ruch wody w utworach czwartorzędu jest „niezdecydowany”. Wpływa na to też zróżnicowana miąższość i zróżnicowanie przewodności pionowej i poziomej warstw gruntu wodonośnego piętra czwartorzędowego. Jest to strefa zasilania i tranzytu. Te złożone warunki hydrogeologiczne oraz dopływ ścieków deszczowych mają zasadniczy wpływ na kształtowanie się reżimu poziomu wody w Stawie Kozioroźca.

## ZMIANY POZIOMU WODY W STAWIE KOZIOROŻEC

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 rejonie Stawu Kozioroźca, w odległości około 1180 m od jego południowo-zachodniego krańca w kierunku SW, istnieje od 1945 r. posterunek obserwacji poziomu wód podziemnych „Włochy”. Rzędna znaku mierniczego wynosi 110,11 m n.p.Kr., a rzędna terenu - 109,36 m n.p.Kr. Wobec bardzo małych spadków zwierciadła wody podziemnej w strefie wododziałowej i braku obserwacji poziomu zwierciadła wody w stawie przyjęto, że dane ze stacji IMGW „Włochy” reprezentują zmiany lustra wody w Stawie Kozioroźca. W Roczniku hydrologicznym IMGW [1983] odnotowano następujące stany ekstremalne w okresie 1945–1983:

- WWW – 242 cm p.p.t., czyli 107,69 m n.p.Kr w kwietniu 1949 r.;
- NNW – 707 cm p.p.t., czyli 103,04 m n.p.Kr w lutym 1977 r.

Zatem amplituda wahań poziomu wody podziemnej w wymienionym okresie 38 lat wyniosła 4,65 m. W cytowanym roczniku IMGW [1983] nie podano stanu średniego rocznego z wielolecia. W pięcioleciu 1976–1980 poziom średni roczny wyniósł 104,07 m n.p.Kr, średni w miesiącach XI–II – 103,89 (od 103,85 w lutym do 103,92 w grudniu), a w miesiącach III–X – 104,15 (od 104,27 w kwietniu, do

104,09 m n.p.Kr w miesiącach VIII, IX i X). Starsi mieszkańcy rejonu stawu nie pamiętają, by kiedyś on wysychł, lecz potwierdzają znaczne różnice poziomów wody w tym akwenu. Biorąc pod uwagę, że głębokość stawu przewyższa podaną amplitudę zmian poziomu wody, informacje te można uznać za realne, co zarazem oznacza, że w wyjątkowo suchych okresach lustro wody w Stawie Koziorożec może występować tylko w jego najgłębszej części.

Na podstawie analizy map zasadniczych w skali 1:500 uznano, że krytyczny poziom wody w stawie, grożący wylaniem na tereny przyległe, za który przyjęto przeciętny poziom brzegów, wynosi 107,47 m n.p.Kr.

## STAW KOZIOROŻCA JAKO ODBIORNIK ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH

Nie wszystkie ulice terenu zlewni Stawu Koziorożca mają kanały deszczowe, przy niektórych z nich istnieją jeszcze rowy, a przy innych nie ma żadnych urządzeń do odprowadzania wód opadowych. Rowy zbierające i odprowadzające wody deszczowe są sukcesywnie zamieniane na kanały kryte. Należy się liczyć z dalszym rozwojem kanalizacji deszczowej i wzrostem dopływu wód do Stawu Koziorożca. Obecnie, do zbiornika uchodzi pięć przewodów kanalizacji deszczowej (rys. 1):

- wylot „W1” kanału deszczowego o średnicy 300 mm, zlokalizowany w skarpie stawu, w jego narożu od strony skrzyżowania ulic: Cienista, Zdobnicza i Obrońców Pokoju – jezdniami tych ulic spływają ścieki deszczowe do wymienionego skrzyżowania;
- wylot „W2” kanału o średnicy 300 mm, zlokalizowany w skarpie stawu przy skrzyżowaniu ulic Obrońców Pokoju i Łuki Wielkie – zbiera on wodę deszczową z ulic: Obrońców Pokoju, Łuczek, Łuki Małe oraz Łuki Wielkie, a także odbiera wody deszczowe z kanału w ul. Ks. J. Chrościckiego; kanał ten ma największą zlewnię spośród kanałów uchodzących do Stawu Koziorożca – odprowadza (poprzez separator zanieczyszczeń) ścieki opadowe z odwodnienia ulic i ścieki popłuczne ze stacji uzdatniania wody oligoceńskiej przy ul. Łuczek;
- wylot W3, jako końcówka kanału deszczowego z tworzywa sztucznego o średnicy 110 mm, odprowadza do stawu ścieki deszczowe spływające ulicami Michałowskiego, Rybnicką i Koziorożca, przy czym wzdłuż ul. Michałowskiego ścieki są zbierane i prowadzone rowem, do studzienki kanalizacji deszczowej znajdującej się na skrzyżowaniu wymienionych ulic;
- wyloty W4 i W5, odprowadzające do stawu ścieki deszczowe z wpustów na ulicy Globusowej, odbierających też ścieki deszczowe z ulic Zodiakalnej, Dedek i Galaktyki.

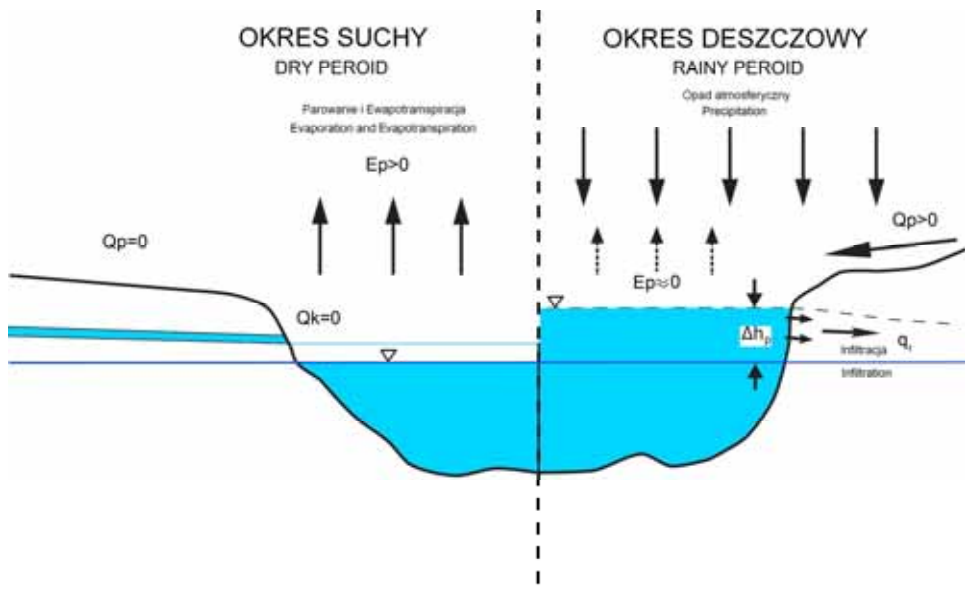
Z powierzchni terenu bezpośrednio przyległego do Stawu Koziorożca, ograniczonego od zewnątrz krawężnikami jezdni ulic okalających staw, wody deszczowe i roztopowe spływają do stawu bezpośrednio po terenie.

Określenie optymalnych poziomów wody w zbiorniku o takim charakterze jest zadaniem złożonym. Wynika to z warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych oraz ukształtowania powierzchni terenu wokół obiektu. Samo pojęcie „poziom optymalny” wymaga też sprecyzowania, to znaczy określenia kryteriów oceny, którymi mogą być:

- warunki zalegania poziomu wody gruntowej dopuszczalnego ze względu na głębokość posadowienia budynków i elementów technicznej infrastruktury miasta;
- warunki dla rozwoju roślinności na terenach zielonych (park, skwery, trawniki, ogrody przydomowe);
- warunki hydraulicznego działania przewodów kanalizacyjnych.

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 akwencie 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.



Rys. 2. Schemat obrazujący składowe bilansu wodnego zbiornika; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Elements of the water balance of a water reservoir; source: own elaboration



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. 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 leżą (stale lub okresowo) poniżej poziomu wody gruntowej, do stawu może ponadto dopływać woda gruntowa jako wynik drenowania przez nieszczelne urządzenia kanalizacji deszczowej.

## **OCENA WPŁYWU ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH NA ZMIANY POZIOMU WODY W STAWIE**

Z uwagi na rolę jaką Staw Koziorożca odgrywa w środowisku miejskim, ważna jest znajomość zmian poziomu jego wody: długookresowych, związanych z długimi cyklami hydrologicznymi, sezonowych, zachodzących w ciągu roku hydrologicznego i krótkotrwałych. Najistotniejszą przyczyną krótkotrwałych zmian poziomu wody w stawie są dopływy wód z deszczów o dużej intensywności i wydajności. Dopływy mniej intensywne, pochodzące z roztopów, nie były analizowane w opracowaniu, jako niestwarzające zagrożenia dla terenów przyległych. Dopływy krótkotrwałe nakładają się na wahania długookresowe i sezonowe.

Ocena krótkotrwałych przyrostów poziomu wody w stawie wymaga uprzedniego obliczenia objętości dopływu wód deszczowych. Odbywa się on różnymi sztucznymi drogami spływu, tzn. kanałami deszczowymi i jezdniami ulic nieskanalizowanych. Wyodrębnienie tych dróg jest trudne i niepewne z powodu braku wyraźnego nachylenia i małych spadków terenu oraz trudności określenia kierunku spływu wód powierzchniowych. Analiza niwelet nawierzchni ulic wykazała istnienie wielu skrzyżowań, na których kierunek spływu jest niejednoznaczny, „niezdecydowany” i podczas deszczów ulewnych może zależeć od grubości warstwy spływającej wody. 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. Bezpośrednie spływy powierzchniowe do Stawu Koziorożca, wynikające z ukształtowania i właściwości otaczającego go terenu, są niewielkie i trudne do wydzielenia. Po-

chodzą z terenu ciągnącego się wąskim pasem wokół stawu. Ocena zmian poziomu wody w stawie za pomocą obliczeń jest trudna i mało pewna. Dokładne rozpoznanie związków między opadami i poziomem wody w takim zbiorniku wymagałoby prowadzenia, przynajmniej przez okres 3–5 lat, obserwacji poziomu wody i zbierania informacji o opadach lub jednoczesnego ich mierzenia.

Do obliczeń objętości dopływu wody z deszczów potrzebne było określenie wielkości pól powierzchni:

- całej zlewni i zlewni cząstkowych kolektorów uchodzących do stawu (W1, W2, W3 i łącznie W4 i W5),
- zlewni bezpośrednio stawu,
- pól poszczególnych rodzajów powierzchni  $F_i$ , wydzielonych według sposobu użytkowania, a więc i ich właściwości hydrologicznych, ujmowanych w obliczeniach za pomocą odpowiadającego im współczynnika spływu  $\psi_i$ .

Wyznaczono granice zlewni cząstkowych i użytkowanie zlewni (rys. 3). Wydzielono pięć rodzajów powierzchni: asfaltowe, z kostki brukowej, nieutwardzone (ścieżki żwirowe, drogi gruntowe), dachy i trawniki. Wielkości ich pól określono z zastosowaniem aplikacji GIS, na podstawie map w różnych skalach i wizji terenowej. Po określeniu tych pól przypisano im wartości współczynnika spływu  $\psi_i$ , a następnie, dla każdej zlewni, obliczono wartość zastępczego współczynnika spływu według wzoru:

$$\Psi_z = \frac{\sum \psi_i F_i}{\sum F_i} \quad (1)$$

Obliczone wartości współczynnika spływu dla poszczególnych zlewni cząstkowych i dla całej zlewni (z wyłączeniem powierzchni wody w stawie) są dość zróżnicowane (tab. 2).

Obliczenia dopływu do stawu wykonano dla deszczów o różnym czasie trwania  $t$  i o różnym prawdopodobieństwie występowania  $p$ , a dodatkowo dla największego opadu dobowego (który wyniósł 74,4 mm w sierpniu 2006 r.), zanotowanego na stacji SGGW w Ursynowie. Maksymalne sumy opadów  $P_{\max}$  (mm) o czasie trwania  $t$  i prawdopodobieństwie przewyższenia  $p$  określono według wzoru BOGDANOWICZ i STACHY'EGO [1998], omówionego też w pracy CIEPIEŁOWSKIEGO i DĄBKOWSKIEGO [2006]:

$$P_{\max(t,p)} = 1,42t^{0,33} + \alpha(R,t)(-\ln p)^{0,584} \quad (2)$$

gdzie:

$\alpha(R, t)$  – parametr o wartości zależnej od regionu kraju i czasu trwania deszczu  $t$  (min), przy czym jego wartość wyrażają odpowiednie równania.



Rys. 3. Rodzaje powierzchni w zlewni Stawu Koziorożca; źródło: opracowanie własne  
 Fig. 3. Uniform types of surface in Koziorożec Pond catchment; source: own elaboration

**Tabela 2.** Pole powierzchni oraz wartości współczynnika spływu  $\psi$  poszczególnych zlewni cząstkowych i zlewni całkowitej

**Table 2.** Sub-catchment areas and the values of runoff coefficient  $\psi$  for each sub-catchment and the total catchment

Wyszczególnienie Item	Zlewnia cząstkowa Sub-catchment				Zlewnia bezpośrednia Direct catchment	Zlewnia całkowita Total catchment
	W1	W2	W3	W4 i W5		
Pole powierzchni zlewni cząstkowej, ha Sub-catchment area, ha	5,293	41,751	4,821	5,853	2,911	60,63
Wartość współczynnika $\psi$ Values of coefficient $\psi$	0,307	0,436	0,376	0,378	0,224	0,392

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Warto tu zauważyć, że według tej metody obliczeń, wspomniany największy opad dobowy zanotowany na stacji SGGW w Ursynowie odpowiadałby prawdopodobieństwu  $p = 0,0266$  czyli częstotliwości raz na ok. 37,5 roku.

Znając wydajności deszczów, obliczono objętości wody  $V_o$  (m<sup>3</sup>) spadającej na obszar zlewni Stawu Koziorożca ze wzoru:

$$V_o = 10PF \quad (3)$$

Objętości dopływu  $V_d$  (m<sup>3</sup>) wód deszczowych do stawu obliczono oddzielnie dla poszczególnych kanałów deszczowych uchodzących do stawu i dla pasa przybrzeżnego (zlewnia bezpośrednia) według wzoru:

$$V_d = 10\psi_z FP_{\max} \quad (4)$$

gdzie:

$F$  – pole powierzchni zlewni, ha

Największy dopływ ścieków deszczowych do stawu wystąpiłby po deszczu trzydobowym o prawdopodobieństwie  $p = 1\%$  (statystycznie raz na 100 lat) i wyniósłby 23,7 tys. m<sup>3</sup> (tab. 3). Dopływ takiej objętości ścieków deszczowych spowodowałby podniesienie się poziomu lustra wody w stawie do wysokości zależnej od jej poziomu na początku deszczu. Wynika z tego, że ryzyko przepelnienia przewodów kanalizacji deszczowej uchodzących do Stawu Koziorożca jest wynikiem prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu o danej wysokości i prawdopodobieństwa występowania danego poziomu wody w stawie. Nie znając tego drugiego trudno ocenić stopień zagrożenia powodzią, jednak jego istnienie nie ulega wątpliwości. Wynika ono z możliwości zatopienia wylotów kolektorów deszczowych i przewodów bocznych.

**Tabela 3.** Dopływy wody do Stawu Koziorożca**Table 3.** Water supplies to Koziorożec Pond

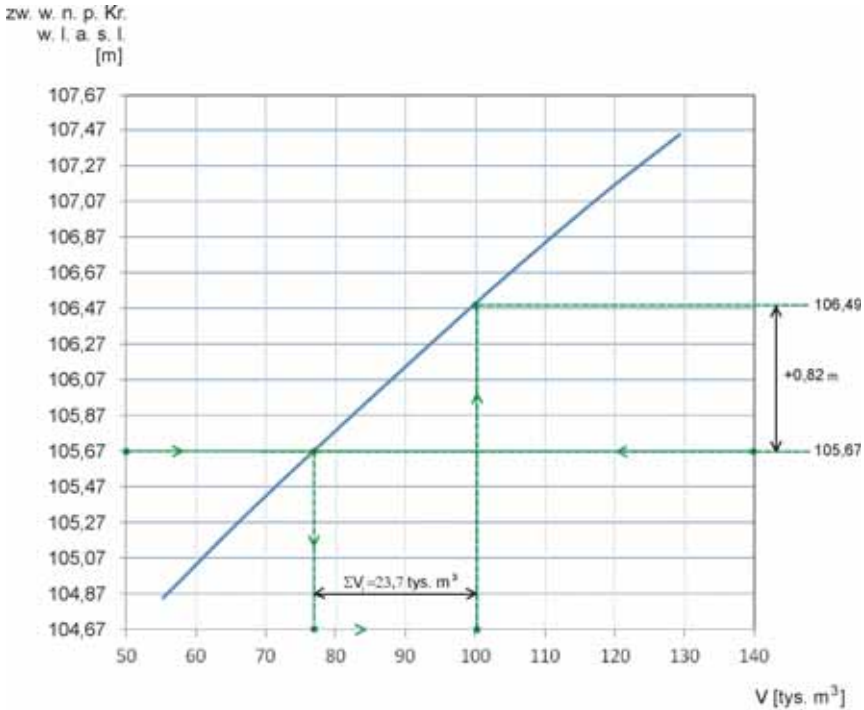
Opad Precipitation			Dopływ ze zlewni, tys. m <sup>3</sup> Catchment water supplies, thousand m <sup>3</sup>							
czas trwania duration <i>t</i> , min	prawdopodobieństwo probability <i>p</i> , %	wysokość height <i>P</i> <sub>max</sub> , mm	W1	W2	W3	W4 i W5	bezpośredniej direct	całkowitej total		
								$\Sigma V_i$	<i>V</i> <sub>z</sub>	<i>V</i> <sub>c</sub>
20	1%	35,6	0,6	6,5	0,6	0,8	0,2	8,7	1,0	9,7
	20%	21,0	0,3	3,8	0,4	0,5	0,1	5,1	0,6	5,7
60	1%	49,5	0,8	9,0	0,9	1,1	0,3	12,1	1,3	13,4
	20%	29,3	0,5	5,3	0,5	0,6	0,2	7,1	0,8	7,9
120	1%	58,8	1,0	10,7	1,1	1,3	0,4	14,5	1,6	16,1
	20%	35,0	0,6	6,4	0,6	0,8	0,2	8,6	0,9	9,5
300	1%	66,2	1,1	12,1	1,2	1,5	0,4	16,3	1,8	18,1
	20%	40,1	0,7	7,3	0,7	0,9	0,3	9,9	1,1	11,0
720	1%	74,1	1,2	13,5	1,3	1,6	0,5	18,1	2,0	20,1
	20%	45,8	0,7	8,3	0,8	1,0	0,3	11,1	1,2	12,3
1 080	1%	78,2	1,3	14,2	1,4	1,7	0,5	19,1	2,1	21,2
	20%	48,8	0,8	8,9	0,9	1,1	0,3	12,0	1,3	13,3
4 320	1%	96,6	1,6	17,6	1,8	2,1	0,6	<b>23,7</b>	2,6	26,3
	20%	62,6	1,0	11,4	1,1	1,4	0,4	15,3	1,7	17,0

Objaśnienia:  $\Sigma V_i$  – sumy iloczynów wysokości opadów, powierzchni zlewni cząstkowych i cząstkowych współczynników spływu; *V*<sub>z</sub> – iloczyny wysokości opadów i powierzchni zbiornika (objętość wody opadowej spadająca bezpośrednio na powierzchnię stawu); *V*<sub>c</sub> – sumy dopływów ze zlewni cząstkowych i objętości wody opadowej spadającej bezpośrednio na powierzchnię stawu.

Explanations:  $\Sigma V_i$  – sums of the product of precipitation, sub-catchment area and sub-catchment runoff coefficients; *V*<sub>z</sub> – products of precipitation and pond area (volume of rainwater falling directly onto the surface of a pond); *V*<sub>c</sub> – sums of water inputs from sub-catchments and the volume of rainwater falling directly onto the surface of a pond.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Przyjmując poziom wody w stawie na początku deszczu na rzędnej 105,67 m n.p.Kr. (niższej o 2 m od maksymalnej zaobserwowanej w latach 1945–1983) i pomijając wsiąkanie, czyli zakładając gwałtowny dopływ wody do stawu, na podstawie krzywej pojemności można ocenić wzrost poziomu wody w stawie po wspomnianym deszczu „stuletnim” o 0,82 m, czyli do rzędnej 106,49 m n.p.Kr. (rys. 4), a po deszczu „pięcioletnim” o 0,61 m, czyli do rzędnej 106,28 m n.p.Kr. Odnosząc te poziomy do profilu ujściowego odcinka kolektora o wylocie oznaczonym jako W2 (rys. 5), zauważamy że wyloty przewodów deszczowych z ulic Wielkie Łuki i Obrońców Pokoju byłyby w pierwszym przypadku zatopione, a w drugim – bliskie zatopieniu.



Rys. 4. Krzywa pojemności Stawu Koziorożca; źródło: opracowanie własne

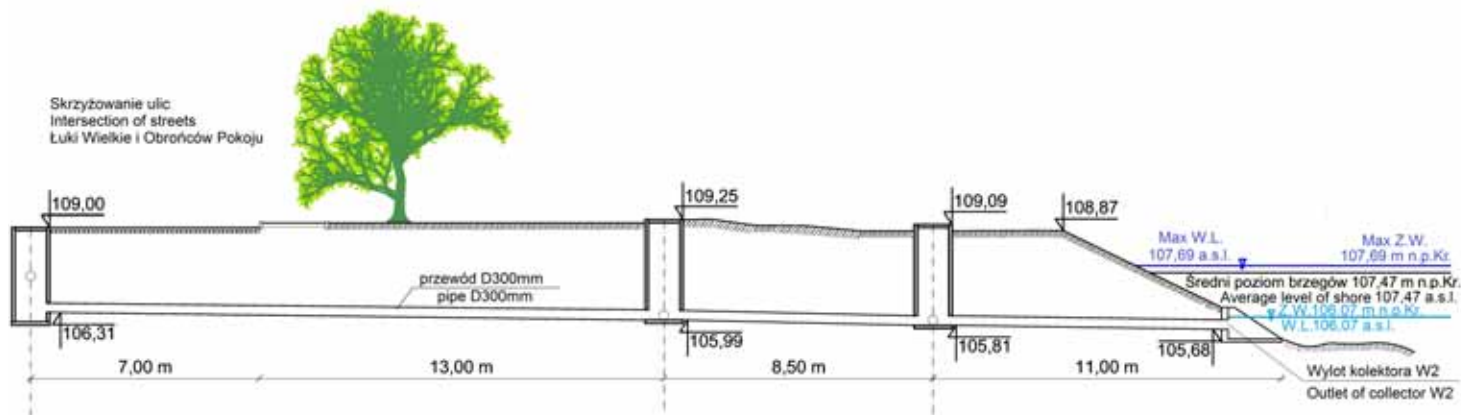
Fig. 4. Capacity curve of Koziorożec Pond; source: own elaboration

Gdyby poziom wody w stawie był zbliżony do maksymalnego zaobserwowanego w studni pomiarowej IMGW (107,69 m n.p.Kr.), to przewody byłyby podtopione na długich odcinkach, a więc w razie wystąpienia w tym czasie obfitych deszczów ich przepustowość byłaby znacznie ograniczona, co groziłoby powodzią w tej części miasta.

W rzeczywistości przyrosty poziomu wody będą mniejsze, ponieważ podane wyżej wartości dotyczą deszczu trwającego trzy doby, nie uwzględniają parowania i infiltracji (wsiąkania) wody ze stawu w grunt oraz nierównomierności dopływu wody w czasie. Zjawiska te podczas tak długich deszczy nie powinny być pomijane, ponieważ łagodzą podnoszenie się poziomu wody w stawie w czasie. Można je pomijać jedynie, gdy ulewy są krótkotrwałe i gwałtowane.

Skutki wzrostu poziomu wody w stawie dla infrastruktury miejskiej oraz bezpieczeństwa powodziowego osiedla nie są przedmiotem analiz w tym opracowaniu. Analizy takie są trudne, ale powinny zostać przeprowadzone na podstawie wyników odpowiednio zaprogramowanych badań w celu oceny zagrożenia powodzią tej części miasta.

Interesujące jest też określenie czasu powrotu zwierciadła wody w stawie do poziomu przed deszczem. Jest to jednak, z różnych powodów, zadanie trudne, ze



Rys. 5. Schematyczny profil ujściowego odcinka kolektora o wylocie W2; źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Schematic profile of the outlet section of collector W2; source: own elaboration

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 do zasięgu depresji i różnic poziomów wody w stawie i w gruncie oraz przeciętnej wartości współczynnika filtracji, wynika że ze zbiornika może infiltrować w grunt od 1 000 do 4 000 m<sup>3</sup> wody na dobę. Zatem dopływ o objętości wynoszącej przykładowo 20 000 m<sup>3</sup> wody, wsiąkłyby w grunt w czasie od 5 do 20 dni. Jeśli uwzględnimy dodatkowo parowanie, wynoszące średnio do 10 mm·d<sup>-1</sup>, to czas ten będzie krótszy. Wynika z tego, że kolejne deszcze dopiero po takim okresie nie grożą przepełnieniem zbiornika. 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

Ciągła zabudowa terenów, uszczelnianie powierzchni gruntu oraz występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych wymuszają kompleksowe spojrzenie na zagospodarowanie wód opadowych w miastach. Wykorzystując zbiornik bezodpływowy w charakterze odbiornika ścieków deszczowych ze zlewni zurbanizowanych należy brać pod uwagę ryzyko, wynikające z przepełnienia zbiornika i cięższej ku niemu kanalizacji deszczowej, które spowodowałyby szkody i straty materialne.

Poziom wody w stawie kopanym, poza okresami deszczowymi, jest praktycznie taki sam jak w gruncie na otaczającym go obszarze, a po okresie deszczowym zawsze dąży do wyrównania z poziomem wód podziemnych. Bez dodatkowych urządzeń technicznych, jak pompownia, nie mamy wpływu na ten poziom i jego zmiany w czasie.

Z uwagi na znaczną urbanizację zlewni i istnienie kanalizacji deszczowej, poziom zwierciadła wody w stawie kształtuje się pod wpływem dopływających ścieków deszczowych, parowania i tempa infiltracji wody ze stawu w grunt.

Przykład Stawu Koziorożca 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 zwiększenia zasobów wody podziemnej, ponieważ w klasycznej kanalizacji deszczowej, uchodzącej do cieku, wody te bezpowrotnie odpływają poza teren skanalizowany.



Jednak w każdym przypadku należy określić maksymalną dopuszczalną objętość ścieków deszczowych, jaką staw może przyjąć bez szkody dla obszaru skanalizowanego i terenów bezpośrednio przyległych. Jest to możliwe wtedy, gdy jest znany reżim poziomu wód gruntowych i warunki hydrogeologiczne obszaru oraz są dostępne wyniki obserwacji opadów deszczu. W celu zapewnienia bezpieczeństwa terenów skanalizowanych należy opracować bilans wodny takich odbiorników ścieków deszczowych, którego weryfikacja powinna następować przez obserwacje poziomów wody w stawie i wody podziemnej na jego obrzeżu.

W przypadku Stawu Koziorożca, obliczenia wykazały, że największy dopływ ścieków deszczowych występuje po deszczu trzydobowym. Po takim deszczu o prawdopodobieństwie  $p = 1\%$  (raz na 100 lat) dopływ wyniósłby 23,7 tys. m<sup>3</sup>, a poziom wody w stawie podniósłby się o 0,81 m. Stanowi to 33% całkowitej pojemności stawu oraz 25% „rezerywy wodnej powodziowej”, rozumianej jako różnica objętości wody w zbiorniku w warunkach poziomów WWW i NNW zaobserwowanych na stacji pomiaru wody podziemnej „Włochy”. Taki wzrost poziomu wody, gdyby wystąpił w okresie wysokich stanów wody w stawie, a więc i wody podziemnej, może mieć szkodliwe następstwa w przypadku omawianego obszaru miasta.

## LITERATURA

- BOGDANOWICZ E., STACHY J. 1998. Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe. Materiały Badawcze IMGW. Nr 23. Ser. Hydrologia i Oceanologia. Nr 85.
- CIEPIEŁOWSKI A. 1999. Podstawy gospodarowania wodą. Warszawa. Wydaw. SGGW. ISBN 978-83-7244-079-2 ss. 326
- CIEPIEŁOWSKI A., DĄBKOWSKI Sz.L. 2006. Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych (z przykładami). Bydgoszcz. Oficyna Wydaw. Projprzem-EKO. ISBN 978-83-922194-1-5 ss. 311.
- IMGW 1983. Rocznik hydrologiczny wód podziemnych. Warszawa. WKiŁ.
- DĄBKOWSKI Sz., LIPIŃSKI J., SZYMCZUK P., RYDĄŁOWSKI M. 2012. Określenie gospodarki wodnej Stawu Koziorożca usytuowanego w rejonie ulic: Koziorożca, Łuki Wielkie, Obrońców Pokoju w dzielnicy Włochy m. st. Warszawy. Maszynopis. Warszawa.
- LIPIŃSKI J., HOFFMANN-NIEDEK A., RYDĄŁOWSKI M. 2008. Zakres i koszty utrzymania zbiorników wodnych (Koziorożca, Cietrzewia, Załuskich oraz Zbarskiego) znajdujących się na terenie dzielnicy Włochy m. st. Warszawy. Maszynopis. Warszawa.
- OTWINOWSKI K., OLCZAK A. 1997. Inwentaryzacja zbiorników wodnych na terenie Gminy Warszawa – Włochy. Ocena techniczna i program zagospodarowania. Oprac. Melwodprojekt Sp. z o.o. Maszynopis. Warszawa.
- PAWLAT H. 1997. Inwentaryzacja zbiorników wodnych na terenie gminy Warszawa-Włochy. W: Inwentaryzacja i waloryzacja środowiska przyrodniczego zbiorników wodnych i terenów przyległych. Pr. zbior. Red. H. Pawlat. Maszynopis. Warszawa.
- NOWICKI Z. (red.) 2007. Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Pr. zbior. Informator PIG. Warszawa. ISBN 978-83-7538-152-8 s. 221–243.
- Uchwała nr XCII/2689/2010 z dnia 7 października 2010 r. Rady m.st. Warszawy. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta stołecznego Warszawy.

*Szczepan Ludwik DĄBKOWSKI, Mariusz RYDAŁOWSKI, Paweł SZYMCZUK*

**URBAN POND WITHOUT OUTFLOW AS A RESIVER OF RAINWATER  
(KOZIOROŻEC POND EXAMPLE IN THE WŁOCHY DISTRICT IN WARSAW)**

**Key words:** *rain water sewer system, pond, urban catchment*

**S u m m a r y**

This paper presents the functioning of a pond without outlet in urbanized catchment located in the Włochy district in Warsaw. Natural surroundings of the pond, its hydrogeological and urban determinants affecting water level were characterised in the study. Particular attention was focussed on the pond as rainwater receiver. The total catchment and sub-catchments with sewer systems draining rainwater from each into the pond were determined. The catchment area was divided into uniform types of surface and respective values of runoff coefficient were calculated. The inflow of water into the pond with varying degrees of probability of occurrence were calculated based on meteorological data. Koziorożec Pond is an example that small urban reservoirs may be effectively used as rainwater receivers. They contribute to the increase of ground water resources and enhance the recreational attractiveness of the area. However, continuous urbanization, tightening of ground surfaces and the occurrence of extreme weather events enforce a comprehensive look at stormwater management in urban areas. Risks arising from reservoir overflow, which would cause property damage, should also be taken into account.

**Adres do korespondencji:** prof. dr hab. Sz.L. Dąbkowski, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji, al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn; tel. + 48 22 735-75-43, e-mail: Sz.L.Dabkowski@itp.edu.pl