

ADAM BARTNIK

MAŁA RZĘKA W DUŻYM MIEŚCIE

Wybrane aspekty obiegu wody w obszarze zurbanizowanym
na przykładzie łódzkiej Sokołówki



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

**MAŁA RZEKA
W DUŻYM MIEŚCIE**



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

ADAM BARTNIK

MAŁA RZĘKA W DUŻYM MIEŚCIE

Wybrane aspekty obiegu wody w obszarze zurbanizowanym
na przykładzie łódzkiej Sokołówki

Adam Bartnik – Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Nauk o Ziemi
Pracownia Hydrologii i Gospodarki Wodnej, 90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88

RECENZENT

Tadeusz Ciupa

REDAKTOR INICJUJĄCY

Iwona Gos

REDAKTOR WYDAWNICTWA UŁ

Bogusław Pielat

SKŁAD I ŁAMANIE

AGENT PR

PROJEKT OKŁADKI

Katarzyna Turkowska

Zdjęcie wykorzystane na okładce: © Depositphotos.com/daseugen

© Copyright by Adam Bartnik, Łódź 2017

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2017

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego
Wydanie I. W.07641.16.0.M

Ark. wyd. 24,5; ark. druk. 22,0

ISBN 978-83-8088-640-7
e-ISBN 978-83-8088-641-4

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego
90-131 Łódź, ul. Lindleya 8
www.wydawnictwo.uni.lodz.pl
e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl
tel. (42) 665 58 63

Spis treści

Słowo wstępne	7
Rozdział 1	
Woda w mieście	11
Rozdział 2	
Fizyczno-geograficzne tło obiegu wody w zlewni Sokołówki	25
2.1. Wybór i położenie obszaru badań	27
2.2. Budowa geologiczna i gleby	30
2.3. Rzeźba i ukształtowanie powierzchni zlewni Sokołówki	37
2.4. Warunki klimatyczne	42
2.4.1. Przestrzenna i czasowa zmienność opadów atmosferycznych w zlewni Sokołówki	46
2.4.2. Wielkość i rozkład parowania na terenie zlewni	53
2.4.3. Klimatyczny bilans wodny zlewni Sokołówki	67
2.5. Wody powierzchniowe w zlewni Sokołówki oraz ich monitoring w latach 2006–2015	73
2.6. Wody podziemne w zlewni Sokołówki po Sokołów	85
2.7. Flora i fauna terenu zlewni Sokołówki	92
2.8. Ochrona przyrody na terenie zlewni Sokołówki po Sokołów	99
Rozdział 3	
Antropogeniczne przemiany środowiska przyrodniczego zlewni Sokołówki	107
3.1. Początki osadnictwa w dolinie Sokołówki	108
3.2. Rozwój funkcji rolniczej i protoprzemysłowej na obszarze zlewni Sokołówki	113
3.3. Obszar zlewni Sokołówki do końca XX w.	124
3.4. Zagospodarowanie przestrzenne obszaru zlewni Sokołówki współcześnie oraz jego związek z przepuszczalnością powierzchni	133
3.5. Struktura funkcjonalna obszaru zlewni Sokołówki	142
3.6. Gospodarka wodno-ściekowa na obszarze zlewni Sokołówki	144
3.7. Stopień antropogenicznego przekształcenia obszaru zlewni Sokołówki	150
Rozdział 4	
Odptyw rzeczny w zlewni Sokołówki	161
4.1. Wieloletnie zmiany odpływu Sokołówki	163
4.2. Chwilowa, dobowa i sezonowa zmienność odpływu ze zlewni Sokołówki	173
4.3. Formowanie się i przebieg wezbrań w zlewni Sokołówki	187

4.4. Krótkookresowe zmiany natężenia przepływu Sokołówki	195
4.5. Maksymalne chwilowe wzrosty i spadki natężenia przepływu Sokołówki	198
4.6. Fale wezbraniowe w zlewni Sokołówki	
– zróżnicowanie sezonowe i ich transformacja	200

Rozdział 5

Wybrane zagadnienia zmian i zmienności cech fizykochemicznych wody w zlewni Sokołówki**215**

5.1. Temperatura wody	217
5.2. Konduktywność wody	223
5.3. Odczyn wody	227
5.4. Tlen rozpuszczony	231
5.5. Mętność wody	235
5.6. Chlorki	239
5.7. Azotany	243
5.8. Azotyny i amoniak	248
5.9. Siarczany	252
5.10. Fosforany	255
5.11. Mangan	257
5.12. Sezonowość wybranych cech fizykochemicznych wód Sokołówki	260
5.13. Wpływ zbiorników na cechy fizykochemiczne wód rzeki miejskiej	264
5.14. Ocena wpływu funkcjonowania biofiltra systemu SSBS na jakość wód Sokołówki	268

Podsumowanie i wnioski	275
Bibliografia	285
Spis tabel	303
Spis rysunków	305
Aneks	315
Summary	335
Od Redakcji	351

Słowo wstępne

Prezentowane opracowanie jest zwieńczeniem prawie dziesięcioletnich badań autora nad obiegiem wody w zlewni jednej z małych rzek, jakich są dziesiątki we współczesnych miastach. Pierwotna problematyka podjętych badań była jednak nieco inna. Miała ona bowiem dotyczyć hydrologicznych i hydrochemicznych zmian związanych z planowaną „renaturyzacją”¹ odcinka rzeki miejskiej. Dlatego założona wówczas sieć obserwacyjna uwzględniała w szczególny sposób tę część zlewni, do której odnosił się projekt. Niestety, został on zrealizowany przez władze miasta tylko w niewielkim stopniu, a zebrane w tym czasie materiały były niewystarczające, aby na ich podstawie wyciągać wnioski o charakterze ogólnym. Dlatego pomiary i obserwacje postanowiono kontynuować, skupiając się na charakterystyce obiegu wody w strefie zurbanizowanej. Duża złożoność elementów mających na niego wpływ oraz znaczna ich zmienność wymagały dostatecznie długiej serii pomiarowej. Obserwacja różnych aspektów obiegu wody prowadzona była w różnym zakresie i w różnych okresach. Najstarsze pomiary datowane są na wrzesień roku 2006. Ostatecznie serię pomiarów natężenia przepływu i hydrochemicznych analiz wody zakończono wraz z końcem grudnia 2015 r.

Większość materiału hydrometrycznego została zebrana przez autora samodzielnie, jednakże w pierwszych latach badań pomagali mu w terenie i w laboratorium inni pracownicy ówczesnej Katedry Hydrologii i Gospodarki Wodnej UŁ (obecnie Pracowni Hydrologii i Gospodarki Wodnej). W tym miejscu autor chciałby im bardzo serdecznie za to podziękować, żywiąc równocześnie nadzieję na dalszą współpracę. Szczególne wyrazy wdzięczności należą się kierownikowi PHiGW UŁ, prof. dr. hab. Pawłowi Jokielowi za umożliwienie badań w tym zakresie i zachętę do ich kontynuacji oraz pogłębiania.

W latach 2011–2013 badania na tym obszarze prowadzono w ramach grantu przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki². Dotyczyły one wówczas nie tylko

¹ Zintegrowany projekt SWITCH („Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health” – „Zintegrowane Zarządzanie Wodą to Zdrowie w Mieście Jutra”) realizowany w ramach 6 Programu Ramowego Unii Europejskiej „Wpływ globalnych zmian klimatu na ekosystemy” (project EC 2006-018530) w latach 2006–2010.

² Grant NCN nr 0733/B/P01/2011/40 – Wpływ stopnia przekształcenia środowiska na obieg i jakość wody w zlewniach miejskich i podmiejskich, 2011–2013.

prezentowanej tu zlewni miejskiej, ale również innego niewielkiego obiektu, położonego na znacznie słabiej przekształconym obszarze podmiejskim. Wyniki badań prowadzonych w zlewni podmiejskiej uwzględnione są w niniejszym opracowaniu w bardzo ograniczonym zakresie, stanowiąc jedynie materiał referencyjny w niektórych analizach porównawczych.

Przez tak długi okres badań powstał cały szereg różnego rodzaju opracowań szczegółowych prezentowanych w artykułach naukowych i na konferencjach o zasięgu krajowym lub międzynarodowym. Niektóre z nich zostały z tym opracowaniem wykorzystane w zakresie, w jakim były już wcześniej prezentowane, lecz w zmienionej formie i w innym kontekście. Inne uaktualniono o dane zebrane po ich opublikowaniu. Większość prezentowanego tu materiału jest jednak nowa i nigdy wcześniej nie była w żaden sposób prezentowana. Z drugiej strony, również nie wszystkie wyniki prowadzonych badań zawarto w tej monografii. Wymagają one bowiem jeszcze wielu szczegółowych obliczeń i analiz. Pominięto m.in., jedynie częściowo do tej pory opracowane, zagadnienie dotyczące dobowej zmienności parametrów fizykochemicznych wody.

Zamysłem autora było zaprezentowanie całości materiału w formie monografii małej rzeki miejskiej. Konieczne było zatem uwzględnienie nie tylko różnorodnych aspektów fizyczno-geograficznych, lecz także stopnia przekształcenia obszaru jej zlewni przez wielokierunkową działalność człowieka. Aby we właściwy sposób zrozumieć jak te zmiany zachodziły i jaki miały zakres, przestudiowano i zaprezentowano tu także przemiany, jakim przez stulecia podlegał obszar zlewni. Mimo że autor nie jest historykiem, podszedł do tego zagadnienia z dużą starannością i żywi nadzieję, że nie popełnił przy tym zbyt wielu błędów.

Monografia składa się z kilku części. Pierwsza ma za zadanie wprowadzić Czytelnika w zagadnienia obiegu wody w mieście, ze szczególnym uwzględnieniem zmian, jakim on podlega pod wpływem antropopresji. W rozdziale drugim prezentowane są różne elementy środowiska fizyczno-geograficznego zlewni. W pierwotnym założeniu nie planowano uwzględniania w nim aspektów związanych z działalnością człowieka. Nie całkiem się to jednak udało, ponieważ część problematyki poruszana była jedynie w tym fragmencie pracy (np. wody podziemne). Aby nie rozdzielać niektórych zagadnień ostatecznie odstąpiono od ścisłego przestrzegania wspomnianej reguły i uwzględniono tu pewne zagadnienia związane z wpływem człowieka (np. zmiany położenia zwierciadła wód gruntowych). Rozdział nie ogranicza się jednak jedynie do prezentacji faktów, a zawiera cały szereg nowych aspektów, związanych chociażby z pionową składową obiegu wody, uwzględniającą również problematykę jej zmienności przestrzennej.

W kolejnym rozdziale ukazano wspomnianą wyżej historię przemian historyczno-gospodarczych obszaru zlewni oraz aktualny stan jej przekształcenia. W końcowej części zastosowano w niej także wskaźnik umożliwiający syntetyczne sparometryzowanie stopnia antropogenicznego przekształcenia zlewni oraz jego modyfikację umożliwiającą właściwsze uwzględnienie sieci przewodów drenażowych.

Następne dwa rozdziały dotyczą już tylko problematyki związanej z lądową fazą obiegu wody. W rozdziale 4 przedstawiono jej dynamikę krótkookresową i w odniesieniu do przemian wieloletnich. Wiele uwagi poświęcono także charakterystyce przebiegu wezbrań rzecznych na obszarach zlewni miejskich, jako cechy wyróżniającej reżim rzek odwadniających obszary zurbanizowane od słabo przekształconych przez człowieka.

Ostatni rozdział dotyczy zagadnień hydrochemicznych. Przedstawiono w nim krótką charakterystykę zmian wieloletnich i sezonowych wybranych parametrów fizykochemicznych, jakich pomiary prowadzone były w odniesieniu do wód powierzchniowych zlewni. Kończącą część rozdziału poświęcono na ocenę funkcjonowania zbiorników wodnych, które istniały wcześniej, zanim podjęto badania, oraz nowych, zbudowanych w ich trakcie. Dokonano także wstępnej oceny efektywności działania jednego z nowoczesnych rozwiązań ekohydrotechnicznych, mogących w przyszłości znaleźć szersze zastosowanie w zlewniach miejskich.

W podsumowaniu zebrano ważniejsze, zdaniem autora, wnioski płynące z prezentowanych badań. Szczególną uwagę zwrócono na te z nich, które mają znaczenie uniwersalne i użyteczne.

Monografia nie zawiera klasycznego przeglądu literatury prac dotyczących obiegu wody w mieście. Wśród cytowanych w poszczególnych jej częściach opracowań wymieniono jedynie mały ułamek odnoszących się do szeroko rozumianej hydrologii miejskiej. Takich prac są obecnie setki tylko w Polsce, a gdyby uwzględnić cały świat – z pewnością dziesiątki tysięcy. Zatem podobny przegląd musiałby z założenia być niepełny i uwzględniać jedynie wybrane prace. Trzeba przy tym pamiętać, że obok większych opracowań mających charakter przeglądowy i teoretyczny, istnieje cały ogrom innych, dotyczących tylko jednego procesu, związanego z jedną fazą obiegu wody w mieście, czy obiektu w nim występującego. Poza opracowaniami o charakterze teoretycznym jest przecież jeszcze cała masa różnego rodzaju projektów i koncepcji realizacji planów związanych z gospodarką wodną na obszarze miast. W prezentowanym opracowaniu postanowiono zatem uwzględnić możliwie pełny zakres materiałów regionalnych i jedynie wybrane pozycje ogólne, dotyczące krążenia wody w obszarach zurbanizowanych. Wszystkich badaczy, których prace nie zostały tu uwzględnione autor serdecznie przeprasza i wierzy w ich zrozumienie dla przyjętego rozwiązania. Równocześnie pragnie zwrócić uwagę, że tak duża liczba opracowań z zakresu hydrologii miejskiej jest efektem ogromnej złożoności problemów, jakimi zajmuje się współczesna hydrologia. Wiele z nich ma charakter lokalny. W przypadku innych rozwiązania wypracowane na gruncie lokalnym mogą mieć zastosowania uniwersalne.

Na koniec tych kilku słów wstępu, pisząc już w pierwszej osobie, chciałbym również podziękować swojej rodzinie, zwłaszcza żonie, która bardzo mnie wspierała w czasie, gdy powstawała ta praca. Była też jej pierwszym, krytycznym recenzentem.

Rozdział 1

Woda w mieście

Działalność człowieka wywiera wpływ na niemal wszystkie elementy środowiska fizycznogeograficznego. Oddziaływanie to jest szczególnie wyraźne w obrębie aglomeracji miejskich, gdzie stopień przekształcenia naturalnych cech obszaru jest największy. Wpływ ten przejawia się także w odniesieniu do warunków krążenia wody na obszarze zurbanizowanym, antropopresji ulega bowiem większość czynników kształtujących odpływ rzeczny. W wieku XXI przestrzeń miejska coraz częściej staje się przedmiotem zainteresowania hydrologii. To w miastach, a szczególnie na obszarze dużych aglomeracji miejskich, następuje najbardziej widoczne przekształcanie naturalnych elementów środowiska przyrodniczego oraz wprowadzanie elementów sztucznych. Kształtowanie przestrzeni miejskiej ma bowiem bezpośredni wpływ na warunki życia ludności.

Szacuje się, że do roku 2030 ponad 60% populacji światowej będzie mieszkało na terenach zurbanizowanych (Paul, Meyer 2001). Mimo że obszary miejskie zajmują obecnie jedynie około 2% powierzchni lądów, znacząco wpływają na środowisko przyrodnicze. Jednak udział powierzchni zurbanizowanych stale wzrasta. Szacuje się, że powierzchnia przez nie zajmowana w 2030 r. będzie trzykrotnie większa niż w 2000 r. (Seto i in. 2012). To właśnie centra miast generują ponad 78% wszystkich gazów cieplarnianych (Grimm i in. 2000). Zmienione własności podłoża wielkich miast wywołują cały szereg konsekwencji klimatycznych. Dotyczą one m.in. temperatury, opadów atmosferycznych i zachmurzenia. Wysokie budynki modyfikują przepływ powietrza, a poziom jego zanieczyszczenia oraz dostawa sztucznego ciepła są przyczyną kształtowania się na tych obszarach klimatu o indywidualnych cechach, odmiennego od właściwego dla terenów wiejskich.

Najszerzej dyskutowanym przejawem oddziaływania miasta na klimat jest zjawisko tzw. wyspy ciepła (Fortuniak 2003; Gaston 2010). Związane jest ono z pochłanianiem krótkofalowego promieniowania słonecznego przez zwiększone pole powierzchni absorbującej (nie tylko powierzchnie płaskie – dachy i ulice, ale i ściany domów), większą pojemność cieplną materiałów budowlanych oraz mniejsze albedo powierzchni. Energia pochłonięta przez zabudowę jest dłużej zatrzymywana w „tkance miejskiej” ze względu na obecność tzw. kanionów miejskich, czyli ulic, wzdłuż których po obu stronach znajdują się wysokie budynki. Zabudo-

wa miasta i zmienna wysokość budynków wpływają także na wzrost szorstkości aerodynamicznej podłoża, w wyniku czego zauważa się zmniejszenie prędkości wiatru, co dodatkowo sprzyja powstawaniu miejskich wysp ciepła (Szponar 2003).

Urbanizacja przynosi także inne skutki klimatyczne (Shepherd 2005; Marsalek i in. 2008, Baklanov 2016). Należą do nich: większe zachmurzenie (o 5–10% większe w miastach niż poza nimi), występowanie wyższych opadów (5–15%), zwiększona częstotliwość występowania ulew i burz oraz burz z piorunami (10–15% więcej) i z gradem, zmniejszona częstotliwość opadów śniegu i krótszy czas zalegania pokrywy śnieżnej, a także znacznie większa częstotliwość występowania mgieł (nawet o 100% w okresach zimowych) i zmniejszenie wilgotności przyziemnych warstw powietrza (o około 6%).

Ważnym czynnikiem klimatotwórczym są zanieczyszczenia powietrza. Ich wpływ jest szczególnie istotny na obszarach miejskich, gdyż to właśnie tu najsilniejsza jest koncentracja różnego rodzaju źródeł emisji (Rosenfeld 2000). Zmniejszają one przejrzystość powietrza, stanowią liczne jądra kondensacji (do dziesięciu razy więcej na terenach miejskich niż poza nimi), a także oddziałują na bilans promieniowania (do 20% mniejsze na terenach zurbanizowanych) i ciepła (Gaston 2010).

Urbanizacja przyczynia się także do zmian w obiegu wody (rys. 1.1). Skutkiem zastąpienia terenów zielonych (lasów i łąk) zabudową mieszkaniową, przemysłową i komunikacyjną jest zwiększenie powierzchni uszczelnionych, co powoduje znaczne ograniczenie wchłaniania wody opadowej oraz przyspieszenie jej spływu powierzchniowego (Niehoff i in. 2002). W efekcie, podczas intensywnych opadów, dużo większa ich część trafia bardzo szybko, bezpośrednio lub przez kanalizację, do rzeki, powodując skrócenie czasu koncentracji odpływu oraz zwiększenie jego kulminacji. Zauważalna jest wręcz zależność – im większe i gęściej zabudowane miasto, tym fale wezbraniowe są wyższe i zdarzają się częściej (Lee, Bang 2000). Woda, która spływa z miasta, jest przy tym bardzo mętna i niesie ogromny ładunek różnorodnych zanieczyszczeń (Ellis 1986).

Inną ważną konsekwencją zwiększania się powierzchni nieprzepuszczalnych jest spadek zasilania poziomów wodonośnych (Hancock 2002). Woda opadowa zamiast infiltrować, zbiera się na powierzchniach nieprzepuszczalnych, a następnie jest z nich odprowadzana systemem kanalizacji. Pozostała w strefie detencji woda odparowuje do atmosfery znacznie szybciej niż na obszarach pokrytych roślinnością. Należy także zwrócić uwagę, iż o ile w przypadku np. powierzchni leśnych, zbiornik intercepcji może być opróżniany także poprzez skapywanie lub strząsanie wody z liści przez wiatr, to w przypadku powierzchni antropogenicznych, zjawisko takie właściwie nigdy nie występuje (Xiao i in. 1998).

Równie istotne, co zubożenie zasobów wód podziemnych, jest zjawisko osiadania gruntu. Może ono w niektórych przypadkach osiągać nawet kilka metrów (przykład miasta Meksyk – Figueroa Vega 1984). Proces ten w sposób bezpośredni wpływa na stabilność budynków. Jednakże, w niektórych przypadkach, eksfiltracja wody z sieci wodociągowej miasta może częściowo wyrównywać deficyt wody opadowej. Na przykład, w aglomeracji miejskiej o powierzchni 50 km² i zużyciu



Rysunek 1.1. Wpływ miasta na obieg wody

Źródło: Chocat 1997, zmienione

wody na poziomie $100\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, straty sieci wodociągowej w wielkości 20% są odpowiednikiem infiltracji 300 mm wody opadowej rocznie (Marsalek i in. 2008).

Ideą przyświecającą inżynierom i hydrotechnikom jest taka przebudowa miejskich rzek, aby w jak najszybszy i możliwie bezpieczny sposób odprowadziły wodę opadową z terenów zurbanizowanych. Z tego też względu pierwotnie meandrujące cieki kanalizuje się, prostując ich bieg. Sztuczne przegłębianie koryt powoduje osuszanie den ich dolin (Niemczynowicz 1999). W miejscach gdzie systemy kanalizacyjne się kończą (zwykle poza obszarem miasta), dochodzi bardzo często do wylewów i podtopień, gdyż tamtejsze koryta rzeczne nie są przystosowane do odbioru tak dużych ilości wody w krótkim czasie. Z uwagi na obniżenie zwierciadła wód podziemnych, wywołanego uszczelnieniem powierzchni, rzeki na obszarach miast zwykle tracą związek hydrauliczny z wodami w swojej dolinie. Zatem, aby działały jako odbiornik wód opadowych, stosuje się uszczelnianie ich koryt, co zmienia nie tylko samą morfologię cieku, ale znacząco wpływa na szybkość płynącej w nim wody (Chin 2006). Małe strumienie są też stopniowo bądź zakrywane, bądź całkiem zasypywane, a większe i ważniejsze cieki osłaniane są wysokimi wałami, które całkowicie izolują je od miasta. Rezultatem tego stanu jest zauważanie przez mieszkańców jedynie negatywnych ich cech, same zaś rzeki, uwięzione w swych wybetonowanych korytach, nader często stwarzają zagrożenie powodziowe lub sanitarne (Findlay, Taylor 2006).

Kolejną konsekwencją urbanizacji jest obecność korytarzy transportowych (autostrady, linie kolejowe itp.). Ich budowa pociąga często za sobą wielkoskalowe roboty ziemne, w dużym stopniu przekształcające powierzchnię, co z kolei wpływa w sposób zasadniczy na charakter spływu i drenażu rzeczno-

infrastruktura liniowa powstaje prostopadle do zbocza i kierunku spływu wody, konieczne w tym wypadku mosty lub przepusty mogą znacząco modyfikować reżim wodny zlewni i wpływać na brak ciągłości rzeki – koncepcja tzw. *river continuum* (Vannote i in. 1980). Kiedy zaś budowana jest wzdłuż doliny, dochodzi zazwyczaj do zabudowy brzegów rzeki, a nawet tworzy się specjalne wielodzielne koryta, których górne części mogą być wykorzystywane jako nadrzeczne bulwary lub/i tereny rekreacyjne (Gregory 2006).

Oprócz wyżej wymienionych czynników ważne są także konsekwencje urbanizacji dla procesów erozji, transportu oraz sedymentacji substancji w dolnych odcińkach rzek. Na skutek zerwania warstwy gleby oraz wzrostu spływu powierzchniowego, szczególnie zwiększona jest w miastach erozja gleb (Wolman 1967). Wraz z intensyfikacją procesów urbanizacyjnych, 100-krotnie wzrasta produkcja osadów w stosunku do terenów naturalnych (Wolman, Schick 1962). Nadmierna erozja prowadzi do wzrostu koncentracji materiału zawieszonego w wodzie, co z kolei skutkuje m.in. zmniejszeniem ilości światła docierającego do roślin, zasypaniem podłoża, w którym bytują organizmy oraz niszczeniem skrzel u ryb (Pinto i in. 2006; Shaver i in. 2007).

Środowisko miejskie wywiera również znaczący wpływ na temperaturę spływającej wody. Jej wzrost jest szczególnie widoczny w miesiącach letnich, kiedy to wody opadowe po zetknięciu z rozgrzаныmi powierzchniami (dachami, chodnikami) stają się znacząco cieplejsze (Van Buren i in. 2000). W rezultacie, woda spływająca z takich obszarów może być cieplejsza nawet o 10°C (Schueler 1987 za Marsalek i in. 2008). Nagrzane wody opadowe, gdy dostaną się do rzek, bardzo często mogą wywołać nieodwracalne zmiany w ekosystemach wodnych (Paul, Meyer 2001). Żyją w nich bowiem organizmy o określonej tolerancji termicznej. Skutkiem takiego zjawiska może być zatem nawet całkowita zmiana gatunkowa siedliska (Galli 1991 za Marsalek i in. 2008).

Odrębną kategorię stanowią hydrochemiczne konsekwencje urbanizacji. Należy tu wymienić większą mobilność metali ciężkich (Singh i in. 2002), znaczny udział chlorków, procesy eutrofizacyjne spowodowane przez związki azotu i fosforu (Pasquini i in. 2012), zwiększenie niedoborów tlenu rozpuszczonego (Daniel i in. 2002) przy jednoczesnym kumulowaniu biomasy, wzrost koncentracji amoniaku, chloru, cyjanków, siarczków, fenoli i substancji powierzchniowo czynnych wpływający na ogólną toksyczność ścieków odprowadzanych do rzek na obszarach miejskich (Chambers i in. 1997; Hatt i in. 2004).

Skażenie mikrobiologiczne wód w obszarach zurbanizowanych jest jedną z najistotniejszych konsekwencji rozwoju dużych skupisk ludności, ponieważ bezpośrednio wpływa na zdrowie ich mieszkańców (Eiswirth, Hötzl 1997). Wyróżnia się cztery grupy organizmów występujących w wodach, wpływających na życie człowieka. Są to wirusy, bakterie, pierwotniaki i pasożyty (Marsalek i in. 2008). Rodzaj i wielkość skażenia są często powiązane z poziomem gospodarowania odpadami oraz warunkami sanitarnymi panującymi na danym terenie (Ellis, Yu 1995). Tym niemniej, nawet na obszarach dobrze rozwiniętych, może dochodzić do skażenia

mikrobiologicznego po nawalnych deszczach, zwłaszcza na plażach przy miejskich kąpieliskach (Christensen i in. 2006).

Stosunki wodne mogą zmieniać się co prawda na skutek procesów naturalnych, zwykle zmian klimatycznych, lecz są to zmiany bardzo powolne (Satterthwaite 2008). Zmiany wywołane antropopresją przebiegają natomiast w sposób bardzo dynamiczny, szczególnie na obszarach silnie zurbanizowanych (Bartnik 2013). Ocena skali zmian jest przy tym bardzo trudna, gdyż przebieg i skutki przemian antropogenicznych są wielotorowe i złożone. Ponadto, nakładają się na istniejące tło procesów naturalnych, których zmiany również mogą przebiegać wielokierunkowo (Haman 2008).

Znamiennym skutkiem oddziaływania antropopresji na stosunki wodne są zaburzenia i trwałe zmiany reżimu rzecznego (Brown i in. 2009; Kundzewicz 2011). Są one związane zarówno z przekształceniem terenu zlewni, jej uszczelnieniem i kanalizacją, jak i przebudową koryt rzecznych i den dolinnych, budową zbiorników wodnych i przerzutami wody. Najbardziej spektakularnym efektem tych zmian jest znaczący wzrost zmienności przepływu wód w korytach odwadniających obszary zurbanizowane. Nizówki stają się głębsze i trwają dłużej, wezbrania przebiegają gwałtowniej i są większe (rys. 1.1). Zmianie ulega reżim związany z naturalnymi procesami rządzącymi obiegiem wody na danym obszarze, a hydrogram odpływu zaczyna przypominać grzebień o nierównych, powyrywanych zębach (Bartnik, Tomalski 2010).

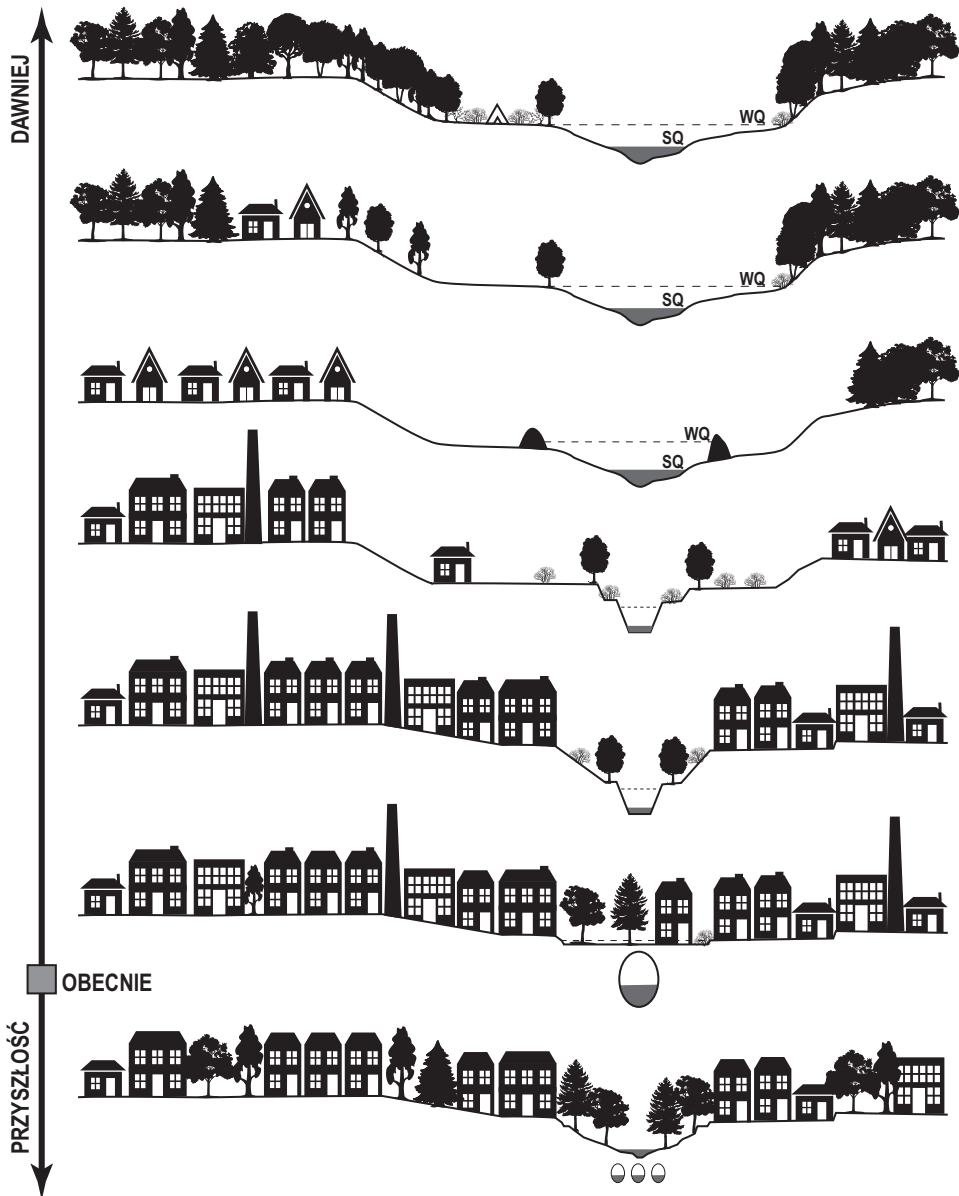
* * *

Woda w przestrzeni miejskiej postrzegana jest różnie przez różne grupy osób zajmujących się szeroko rozumianą problematyką wodną. Większość dostrzega zazwyczaj jedynie różnego typu obiekty hydrograficzne i hydrotechniczne istniejące w mieście. Zlewnię topograficzną „zauważają” jedynie hydrologi. Przy czym i oni zdają sobie sprawę z tego, że uważane za naturalne obiekty hydrograficzne na obszarze miast działają czasem w sposób całkowicie niezależny od zlewni (Petts 2006). Najczęściej bowiem na powierzchni istnieją wyłącznie dzięki wyłożeniu koryta rzeki, czy też czaszy zbiornika, materiałem nieprzepuszczalnym. Aby zapewnić czystą wodę w stawach często napełnia się je wodą wodociągową albo wręcz buduje specjalne ujęcia wód podziemnych (Hassall 2015). Spowodowane jest to brakiem kontaktu wód powierzchniowych (lub kontaktem tylko okresowym) z podziemnymi, związanym z wytwarzającym się pod powierzchnią miast lejem depresji. Ten z kolei powstaje nie tylko z powodu eksploatacji wód podziemnych, lecz jest w rzeczywistości efektem zabudowy powierzchni miasta obiektami nieprzepuszczalnymi dla wody. Dochodzi do tzw. uszczelnienia gruntu, uniemożliwiającego wnikanie pod ziemię wód opadowych i zasilanie wód gruntowych. Z kolei wody opadowe zbierane są systemem sztucznych cieków, które nazywamy kanalizacją i odprowadzane bezpośrednio do przystosowanych do tego celu cieków będących ich naturalnymi recypientami, a czasem zupełnie poza obszar ich zlewni topograficznych.

Obecność małych obiektów wodnych zauważana jest przez mieszkańców miast dopiero wówczas, gdy przestają one „działać” zgodnie z wyobrażeniem o ich funkcji. Kiedy zaczynają stanowić przeszkodę w codziennych obowiązkach. Gdy płynąca dotąd pod powierzchnią ziemi woda w następstwie silnych opadów nagle wyleje uniemożliwiając dotarcie do pracy, czy w jakiś inny sposób utrudniając życie (Swyngedouw i in. 2002).

W ostatnich latach nasiliło się jednak poczucie tożsamości regionalnej (Wrana 2010; Burdzik 2012). Chcemy żyć lepiej, ładniej, czystiej i zdrowiej nie tylko w naszych domach i mieszkaniach. Coraz częściej rozglądając się po okolicy dostrzegamy miejsca brzydkie, jakby zapomniane. Często należą do nich wybetonowane i zaśmiecone koryta brudnych rzek, spełniające dotąd jedyną funkcję – szybkiego odprowadzenia wód opadowych z obszaru miasta. Chcemy, aby i te z pozoru zapomniane miejsca ładnie wyglądały i spełniały funkcję krajobrazową (Januchta-Szostak 2011). Nie zawsze jest to możliwe. Mieszkańcy podejmując inicjatywy zmierzające do (różnie rozumianej) poprawy wyglądu otoczenia rzek często nie zdają sobie sprawy, z jak trudnym zadaniem mają do czynienia. Uprzątnięcie śmieci i uporządkowanie otaczającej roślinności jest najprostsze. Co jednak zrobić z betonowym korytem prowadzącym zwykle małą ilość cuchnącej cieczy, a po opadach z wodą niemal występującą z brzegów? Aby sprostać tym potrzebom powstają obecnie różnego rodzaju rozwiązania hydrotechniczne (Słyś 2013). Powiększa się także grupa ludzi zajmujących się wodą w przestrzeni publicznej. Do niedawna byli nimi tylko inżynierowie sanitarni i hydrotechnicy działający na zlecenie władz lokalnych. Ich zadaniem była taka przebudowa naturalnego cieką, aby oprowadzał on szybko dużą ilość wód wezbraniowych, nie powodując przy tym strat gospodarczych związanych z wylewami wód na okoliczne obszary. Duże rzeki otaczano wałami, w przypadku małych przebudowywano najczęściej całe dna dolin. W trakcie prac hydrotechnicznych cieków zazwyczaj prostowano i pogłębiano, wydobyty zaś z ich dna materiał wykorzystywano do podwyższania i nadsypywania dawnej terasy zalewowej (rys. 1.2).

Obecnie dysponujemy już takimi możliwościami technicznymi, że właściwie możemy przekształcić niemal każdy zakątek świata w dowolny sposób. Sami kreujemy swoje otoczenie. Dotyczy to w szczególności tych obszarów, w których żyje najwięcej ludzi, które odwiedzane są najchętniej. Wiele terenów miejskich, jeszcze niedawno pełniących funkcje mieszkaniowe czy przemysłowe, stanowi dziś nowoczesne centra biznesu, parki rozrywki czy galerie handlowe (Maurer 2013). Osoby tam zatrudnione bądź je odwiedzające nic nie wiedzą o ich historii, zwykle ich ona zresztą nie obchodzi. Jeżeli pierwotnie na tym obszarze znajdowało się koryto rzeczne, to często jest ono tam nadal, ale ukryte głęboko pod powierzchnią terenu i tylko od samych projektantów zależy ilość i jakość płynącej nim wody (ścieku) (Libura 1988). Natomiast na powierzchni, w miejscach w których przebiegały niegdyś rzeki, buduje się różne instalacje, związane z wodą. Tradycyjnie najpopularniejsze są fontanny. Niegdyś powstawały one jedynie w ogrodach i parkach bogatych ludzi. Dziś są nieodłącznym elementem centrów rozrywki, restauracji i placów zabaw (Bartnik, Suwart 2015).



Rysunek 1.2. Zmiana powiązań między miastem a rzeką

Źródło: oprac. własne, na podstawie Chaline 1980, zmienione

Dobrym przykładem może tu być łódzkie centrum handlu i rozrywki „Manufaktura”, należące do największych tego typu w Europie. Powstało ono w miejscu peerelowskich Zakładów Przemysłu Bawełnianego im. J. Marchlewskiego. Wcześniej zaś istniała tu Fabryka Izraela Poznańskiego, zbudowana w latach 1872–1892

w dolinie największego z łódzkich strumieni – Łódki. Jej woda była w XIX w. wykorzystywana do celów technologicznych związanych z przetwórstwem bawełny. Szybko jednak została tak zanieczyszczona, że rzekę trzeba było ukryć pod ziemią. Po upadku komunizmu, upadłość ogłosiła również fabryka. W 1999 r. zdewastowane tereny w dolinie Łódki wraz z budynkami nabyła francuska firma Apsys-Polska (Matys 2011). Dokonała ona przebudowy dawnych terenów i budynków fabrycznych na kompleksy sklepów, kin, muzeów, restauracji, miejsc rozrywki itp. W pierwotnych planach inwestycyjnych było także odsłonięcie dawnego koryta Łódki i budowa nad jej brzegiem promenady (Leśniak 2010). Jednak tak szybko jak zdjęto przykrywające je płyty, położono je z powrotem. Wyobrażenie jakie mieli inwestorzy o płynącej tam wodzie całkowicie różniło się od rzeczywistości. Koryto to prowadziło bowiem ścieki. Pochodziły one z wyżej położonego obszaru zlewni. Mimo że od czasów II wojny światowej rozciąga się tam park, to pod ziemią nadal istnieje system prymitywnych sączków i kanałów (czy też chociażby miejsc po nich), którymi przez dziesięciolecia odprowadzano nieoczyszczone ścieki wprost do dawnego koryta rzeki. Trzeba pamiętać, że jeszcze w latach dwudziestych XX w. Łódź była największym miastem w Europie pozbawionym sieci kanalizacyjnej (Bieżanowski 2005). Chcąc odbudować choć część koryta rzecznego, należałoby zadbać o czystą wodę, którą będzie można je wypełnić. Cuchnący ściek odstraszałby klientów, nie mówiąc już o zagrożeniu epidemiologicznym. Odbudowa taka wymagałaby jednak przebudowy całości systemu kanalizacyjnego zasilającego w chwili obecnej Łódkę. Dlatego ostatecznie zaniechano tego pomysłu, a w miejscu, gdzie pod ziemią przebiega rzeka na powierzchni zbudowano 300 metrową „suchą” fontannę.

Rozwiązywanie różnorodnych problemów gospodarki wodnej na obszarze danego miasta wiąże się z koniecznością analizy bardzo różnorodnych zagadnień technicznych, społecznych, kulturowych, ekonomicznych i ochrony środowiska (Kowalczak 2011). Dlatego wymaga ono współpracy ze strony wielu różnych instytucji, sprawnie zarządzanej na szczeblu władz lokalnych. Poza inżynierami i hydrotechnikami coraz częściej do tego grona dołączają architekci krajobrazu, socjologowie, ekonomiści i przyrodnicy. Różnią się oni nie tylko pod względem dziedziny wiedzy, którą reprezentują, lecz również często i podejściem do zagadnień związanych z wodą. Inżynierowie, wyznający tradycyjny paradygmat, nie mogą się zwykle porozumieć z ekologami. Ekonomiści, którzy dbają o budżet inwestycji muszą wpływać na architektów krajobrazu tak, aby ich projekty były realne w danych warunkach finansowych. Wreszcie służby komunalne miasta muszą znaleźć „wspólny język” z socjologami w kwestii rozpropagowania nowych idei i akceptacji społecznej dla poczynań władz miejskich. Dlatego jednym z głównych wyzwań, przed jakimi stoją współczesne miasta europejskie jest wypracowanie nowoczesnych rozwiązań, które sprostająby wszystkim tym oczekiwaniom. Władze wielu wysoko rozwiniętych krajów zdały już sobie z tego sprawę. Stąd pojawiające się co jakiś czas nowe programy badawcze, inicjatywy rozwojowe czy międzynarodowe projekty (Wagner i in. 2014).

Jednym z takich właśnie międzynarodowych projektów był realizowany w latach 2006–2011 SWITCH (Howe i in. 2012). Jego nazwa była akronimem, który w skróconej formie miał sugerować zmianę (ang. *switch*) sposobu gospodarowania wodą w mieście. Jego pełna nazwa Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health, oznaczała w oficjalnym tłumaczeniu: Zintegrowane Zarządzanie Wodą a Zdrowie w Mieście Jutra (Wagner i in. 2008). Uczestniczyło w nim 25 państw z całego świata. Realizacji projektu w Polsce podjęły się Uniwersytet Łódzki i Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii PAN pod auspicjami UNESCO. Głównym jego celem było wypracowanie naukowych podstaw zagospodarowania dolin rzecznych i zarządzania zasobami wodnymi w mieście z uwzględnieniem aspektów ekologicznych i zdrowotnych. W tym celu wytypowano dziewięć miast demonstracyjnych: Akrę, Aleksandrię, Belo Horizonte, Birmingham, Hamburg, Pekin, Tel Aviv, Saragossę i Łódź, w których zamierzano testować i wdrażać innowacyjne rozwiązania (Waack-Zajac 2007).

W Łodzi wybrano do tego celu rzekę Sokołówkę. Przemawiało za tym kilka argumentów. Praktycznie w całości położona jest ona w granicach miasta, przy tym w dużym stopniu zachowała charakter cieku naturalnego. Ponadto gotowy był już dla niej, opracowany w latach 2000–2005, projekt generalny, w ramach którego planowano odbudować możliwości retencyjne rzeki. W projekcie znalazły się zatem wytyczne dotyczące samego koryta rzecznego (zmiana jego parametrów, budowa zbiorników), a także działania w dolinie rzeki (ograniczenie zabudowy i szczelności zlewni oraz ochrona przed zanieczyszczeniami). Wówczas to pojawił się też niezbyt trafny termin 'renaturyzacja' w odniesieniu do planowanych zmian w dolinie (Rutherford i in. 2000 za: Findlay, Taylor 2006). W ramach opracowanej koncepcji zamierzano bowiem pogodzić techniczne funkcje rzeki (jako odbiornika wód opadowych) z przyrodniczymi funkcjami jej doliny. Nie było więc mowy o przywróceniu Sokołowce stanu sprzed regulacji. Byłoby to zresztą niemożliwe. Zgodnie z sugestiami J. Żelazo (2006) wszelkiego rodzaju przedsięwzięcia zmierzające do przywrócenia rzece funkcji ekologicznych bez działań technicznych odtwarzających naturalne parametry morfologiczne koryta i doliny, powinno określać się mianem 'rewitalizacji'.

Realizację projektu podzielono na dwa etapy obejmujące różne fragmenty doliny rzeki. Wybudowano (odtworzono) kilka zbiorników wodnych i zlikwidowano większość miejsc punktowego zanieczyszczenia Sokołówki w jej górnej części, poprzez uporządkowanie na tym obszarze instalacji kanalizacyjnej. I to w zasadzie wszystko. Planowano jeszcze odbudowę naturalnego, meandrującego koryta rzeki, budowę tzw. sztucznych mokradeł przy wylotach kanalizacji deszczowej i utworzenie Parku Doliny Sokołówki. Niestety żaden z tych pomysłów nie doczekał się dotychczas realizacji. Sztandarowym projektem ekohydrologicznym zrealizowanym w ramach projektu stał się wielofunkcyjny Sekwencyjny System Sedymentacyjno-Biofiltracyjny, utworzony w miejscu wcześniej funkcjonującego osadnika ścieków burzowych. Wypracowano też wówczas ideę, która była załącznikiem kolejnego projektu ekohydrologicznego realizowanego w Łodzi.