

Rola naturalnych i antropogenicznych elementów obiegu wody w zlewni miejskiej (Sokołówka) i podmiejskiej (Dzierżazna)

The role of natural and anthropogenic elements in water circulation in urban (Sokołówka) and suburban catchment (Dzierżazna)

Adam Bartnik, Piotr Moniewski, Przemysław Tomalski

Uniwersytet Łódzki, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź,
e-mail: abartnik@geo.uni.lodz.pl, moniek@geo.uni.lodz.pl, thomal77@poczta.onet.pl

Abstract: The article presents conditions of outflow formation in two catchments situated nearby Lodz and monitored by The Department of Hydrology and Water Management at the University of Lodz. The SCS method, which takes into consideration types of soil and catchment area development, was applied for comparison.

The area of Uplands of Lodz, composed of post-glacial formations, is characterised by great diversification of the surface sculpture (Fig. 1). The natural characteristics of both (Sokolowka and Dzierzazna) catchments are similar. The element that differs both basins is the area development. In Sokolowka catchment 47% of the land is covered with buildings (Fig. 2), while in Dzierzazna catchment 60% of the area are arable lands (Fig. 3).

CN parameter value has been presented on the maps (Fig. 4, 5). Its average value in Sokolowka catchment is 67 and is a bit higher than in Dzierzazna catchment – 59. The highest values of the parameter are recorded in clay-structured or highly urbanised areas. Low CN parameter values are typical of valley beds and sands. The structure of the CN parameter values is various (Fig. 6).

The theoretical value of effective rainfall in both catchments has been calculated (Fig. 7). The difference in P_e values appears as early as at the rainfall amount above 20 mm. The high water in July 2008 has also been analysed (Fig. 8). Runoff volume, converted into indicator values, amounted at 2,29 mm in Sokolowka catchment but only 0,22 mm in Dzierzazna catchment.

Key words: anthrop pressure, water cycle, urban catchment

Słowa kluczowe: antropopresja, obieg wody, zlewnia miejska

Wstęp

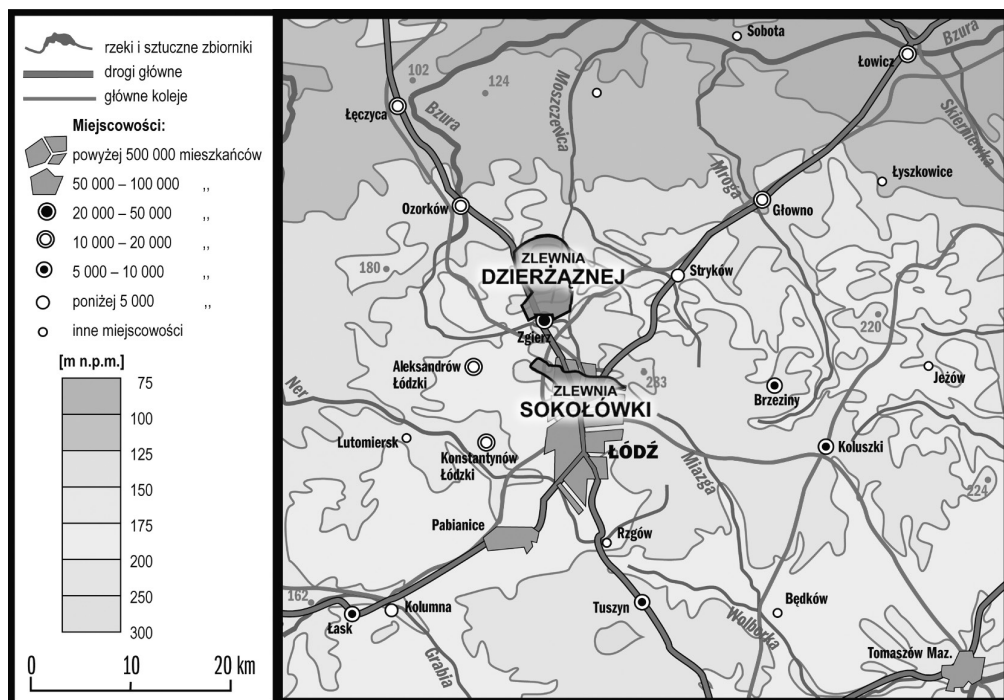
Obieg wody jest skomplikowanym procesem, na który oddziałuje szereg czynników zarówno meteorologicznych, jak i związanych ze środowiskiem przyrodniczym zlewni: morfologicznych, geologicznych, hydrograficznych. Charakter zlewni wpływa przede wszystkim na przebieg fazy lądowej

obiegu wody. Jednak w Polsce, na obszarach nizinnych, praktycznie każda zlewnia jest mniej lub bardziej przekształcona przez człowieka. Często w takich przypadkach decydującą rolę w kształtowaniu warunków odpływu odgrywają czynniki antropogeniczne, związane ze sposobem zagospodarowania terenu zlewni.

Obszar badań

Przykładem znacznego zróżnicowania presji człowieka na stosunkowo niewielkim obszarze są zlewnie dwóch rzek: Sokołównki i Dzierżanej. Obie rzeki położone są w zlewni Bzury, w obrębie Wzniesień Łódzkich, w odległości kilku kilometrów od siebie (ryc. 1). Warunki naturalne obu zlewni wykazują więc spore podobieństwo. Powierzchnię Wzniesień Łódzkich, zbudowaną z utworów polodowcowych, cechuje duże urozmaicenie rzeźby. Roczna suma opadów wynosi tu 600–650 mm. Zarówno na Sokołównce, jak i na Dzierżanej znajduje się po kilka sztucznych zbiorników retencyjnych. Obie zlewnie różnią się jednak sposobem użytkowania powierzchni, a co za tym idzie – stopniem antropopresji.

Należy dodać, iż obie zlewnie objęte są stałym monitoringiem hydrologicznym w ramach badań prowadzonych przez Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej UŁ: zlewnia Dzierżanej od 1998 r. (zlewnia badawcza ZHiGW UŁ), zaś zlewnia Sokołównki – od 2007 r. (badania w ramach programu SWITCH). W profilach kontrolnych zamykających zlewnie zainstalowano m.in. urządzenia do automatycznej rejestracji stanu wody lub natężenia przepływu.

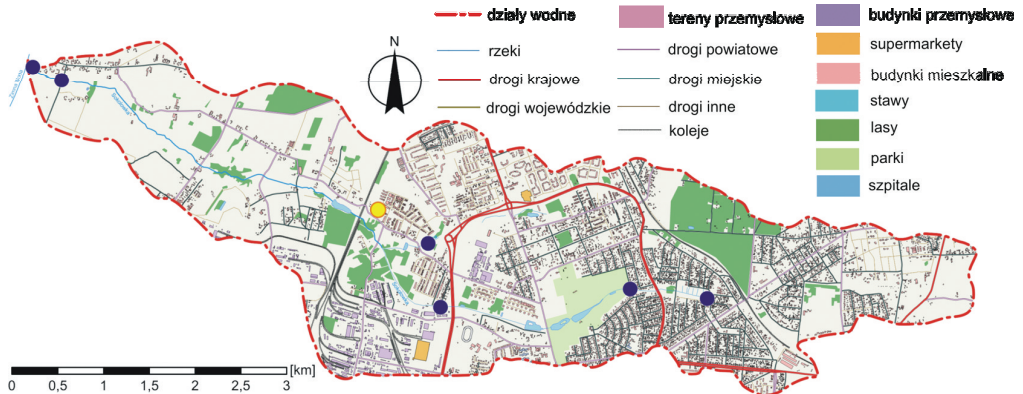


Ryc. 1. Położenie badanych zlewni

Źródło: Polska. Mapa fizyczna 1:500 000.1995. PPWK, Wrocław; zmodyfikowane.

Fig. 1. Location of examined catchments

Source: Polska. Mapa fizyczna 1:500 000. 1995. PPWK, Wrocław; modified.



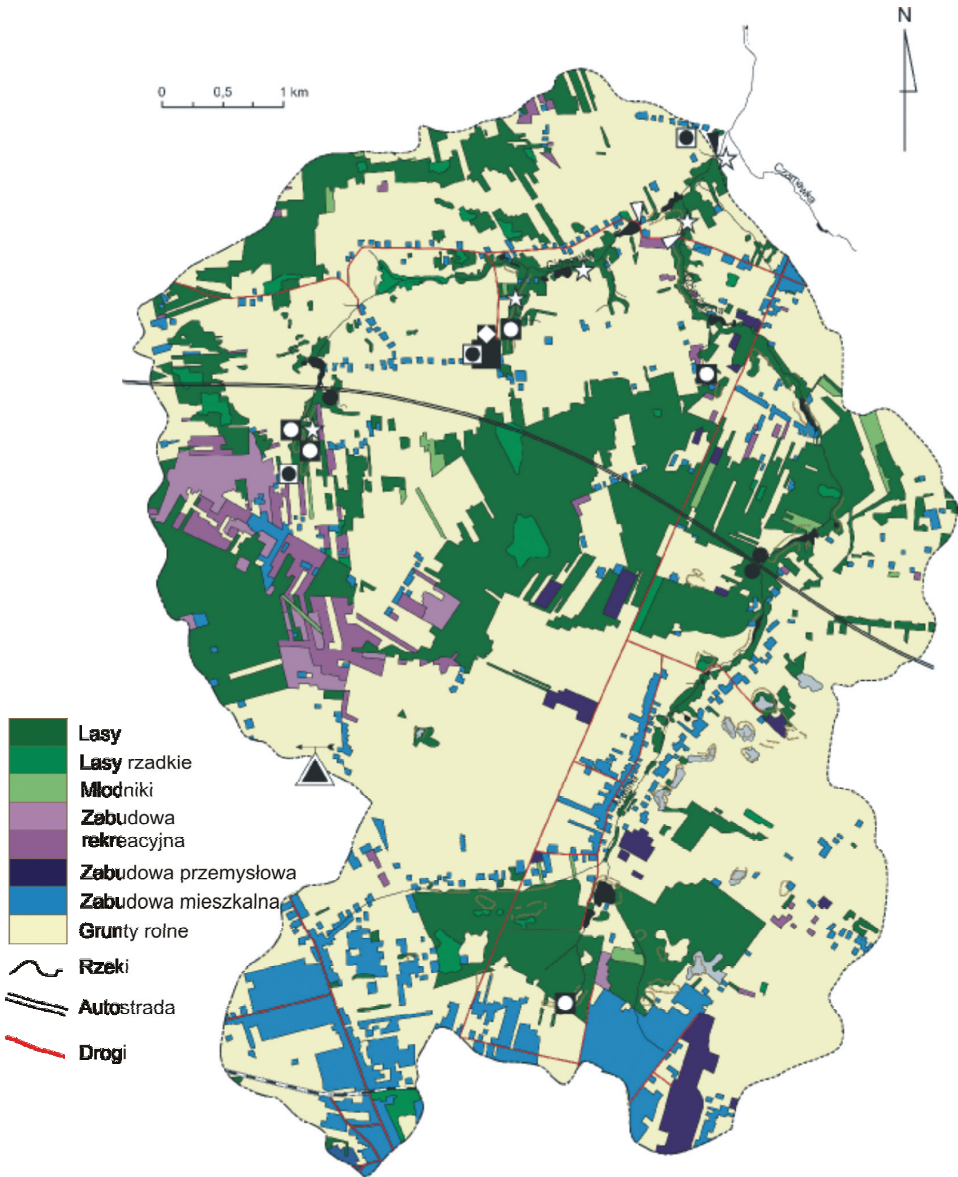
Ryc. 2. Formy zagospodarowania terenu w zlewni Sokółówki
 Źródło: MODGiK Łódź; zmodyfikowane.

Fig. 2. Forms of area development in Sokolowka catchment
 Source: MODGiK Łódź; modified.

Zlewnia Sokółówki obejmuje północną część Łodzi i niemal w całości zawiera się w granicach administracyjnych miasta (ryc. 2). Sokółówka płynie w kierunku zachodnim i jest lewym dopływem Bzury. Jej dolina charakteryzuje się znacznym spadkiem – 5,2‰. W połowie swego biegu przyjmuje jedyny większy dopływ – Brzozę. Powierzchnia zlewni po Sokółów liczy 19,21 km², a długość cieku wynosi 13,3 km, zatem kształt zlewni jest mocno wydłużony. Deniwelacja zlewni wynosi 80 m, zaś jej przeciętny spadek – 7,2‰. Wśród osadów budujących górną i środkową część zlewni dominują gliny zwałowe, zaś w dolnej przeważają piaski wodnolodowcowe. Aż 71% utworów powierzchniowych charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami filtracyjnymi. Zaznaczyć jednak należy, że na obszarze miasta serie osadowe często są przesłonięte przez warstwę „narzutu antropogenicznego” (gruz, szłaka, ziemia z wykopów itp.) ograniczającego ich naturalną wodoprzepuszczalność.

Zlewnia Sokółówki jest w znacznym stopniu zurbanizowana – w jej górnej części znajduje się kilka osiedli domów jednorodzinnych, zaś środkową część zajmują tereny przemysłowe. Początkowy fragment koryta Sokółówki, jak również część koryta Brzozy, są przykryte betonowymi płytami i włączone w system kanalizacji deszczowej. Obszary zabudowane zajmują ogółem 47% powierzchni zlewni, lasy i parki – 19%, a użytki rolne, skupione na obrzeżach miasta, w dolnej części zlewni – 23%.

Dzierżazna płynie na północ od Zgierza i za pośrednictwem Czarnawki uchodzi do Moszczenicy – prawego dopływu Bzury (ryc. 3). Powierzchnia zlewni po wodowskaz w Swobodzie wynosi 42,9 km². Główny cieki ma długość 9,2 km i spadek 6,8‰. Zlewnia Dzierżaznej także jest położona w strefie znacznych deniwelacji terenu, przekraczających w obrębie zlewni 80 m, przy przeciętnym spadku 13,0‰. Gliny zwałowe przeważają w budowie geologicznej górnej, morfologicznie urozmaiconej części zlewni. W dolnym odcinku Dzierżazna przyjmuje swój jedyny dopływ – Ciosenkę, której płaska dolina wysłana jest mułkami zastoiskowymi. Środkową część zlewni Dzierżaznej przykrywają kilkunastometrowej grubości piaski fluwioglacjalne, tworzące sandr grotnicko-łućmierski. U podnóża sandru biją duże źródła o stałej wydajności. Osady łatwoprzepuszczalne zajmują 25% powierzchni zlewni. W strukturze użytkowania terenu dominują użytki rolne (ponad 60%) i leśne (28%). Zabudowa ma przeważnie charakter luźny i zajmuje około 10% powierzchni zlewni.



Ryc. 3. Użytkowanie terenu w zlewni Dzierżąznej
Źródło: Krysiak (2000); zmodyfikowane.

Fig. 3. Land exploitation in Dzierżązna catchment
Source: Krysiak (2000); modified.

Metody badań

Do porównania warunków kształtowania się odpływu w obu zlewniach wykorzystano metodę SCS (Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997, Jaworski, Szkutnicki 1999). Opracowana w USA metoda SCS (Soil

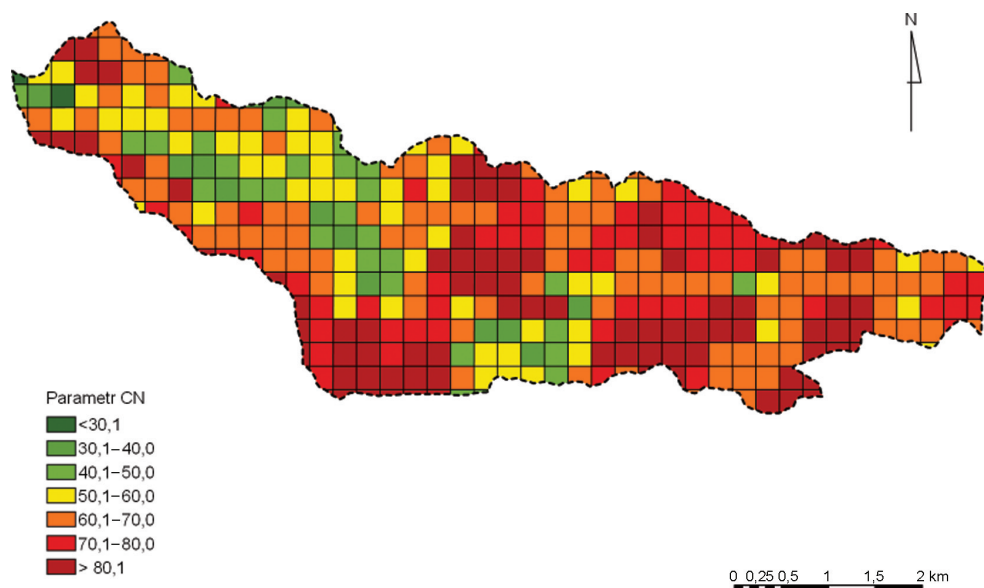
Conservation Service) służy do obliczania opadu efektywnego w zlewniach niekontrolowanych. Uzależniona od rodzaju gleb, sposobu użytkowania terenu oraz cech obszarów zalesionych. Na podstawie stabilizowanych wartości można wyznaczyć bezwymiarowy parametr CN, przyjmujący teoretyczne wartości z zakresu od 0 (zlewnia o nieograniczonej chłonności) do 100 (zlewnia maksymalnie nasycona wodą).

W prezentacji wyników posłużono się mapami zlewni w formie zdyskretyzowanej (ryc. 4, 5). Na obszar obydwu zlewni naniesiono siatki kwadratów o boku 250 m, których barwa odpowiada średniej ważonej wartości parametru CN. Wagę stanowi udział danej formy użytkowania terenu w powierzchni odpowiedniego kwadratu.

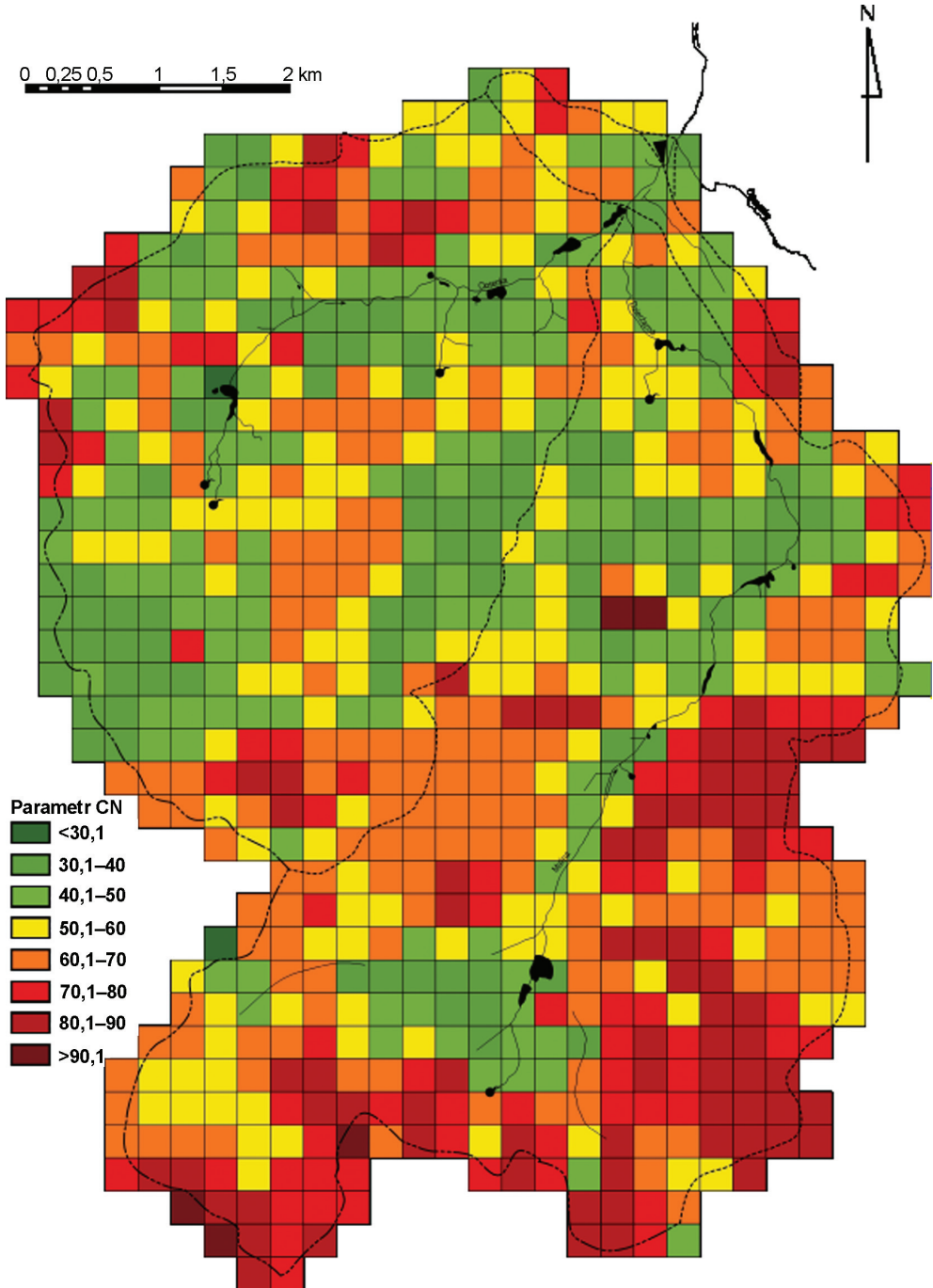
Wyniki

Rozkład przestrzenny parametru CN wykazuje znaczne zróżnicowanie na obszarze obu zlewni. W zlewni Sokołówki niskimi wartościami CN odznacza się piaszczysto-żwirowe dno doliny rzecznej, jeśli nie zostało ono uszczelnione (ryc. 4). Wysokie wartości CN pokrywają się z terenami najsilniej zurbanizowanymi, głównie przemysłowymi, gdzie stopień nieprzepuszczalności podłoża jest bardzo duży, a znaczna część wody opadowej zostaje przechwycona przez kanalizację deszczową. Górna część zlewni Sokołówki, zbudowana z glin zwałowych, również charakteryzuje się wysokim CN.

Podobne zależności między wartościami CN a rodzajem podłoża i sposobem jego użytkowania można zaobserwować w zlewni Dzierżącej (ryc. 5). Najwyższe wartości występują tu w południowej i wschodniej części zlewni, czyli na obszarach z dużym udziałem glin. Tu również pojawiają się powierzchnie antropogenicznie przekształcone, bowiem południowe krańce zlewni znajdują się już na terenie miejskim Zgierza oraz dużej wsi Dąbrówka. Niski CN jest charakterystyczny dla den dolinnych oraz dla pokrytych lasami piasków fluwiogłacjalnych (sandrów).



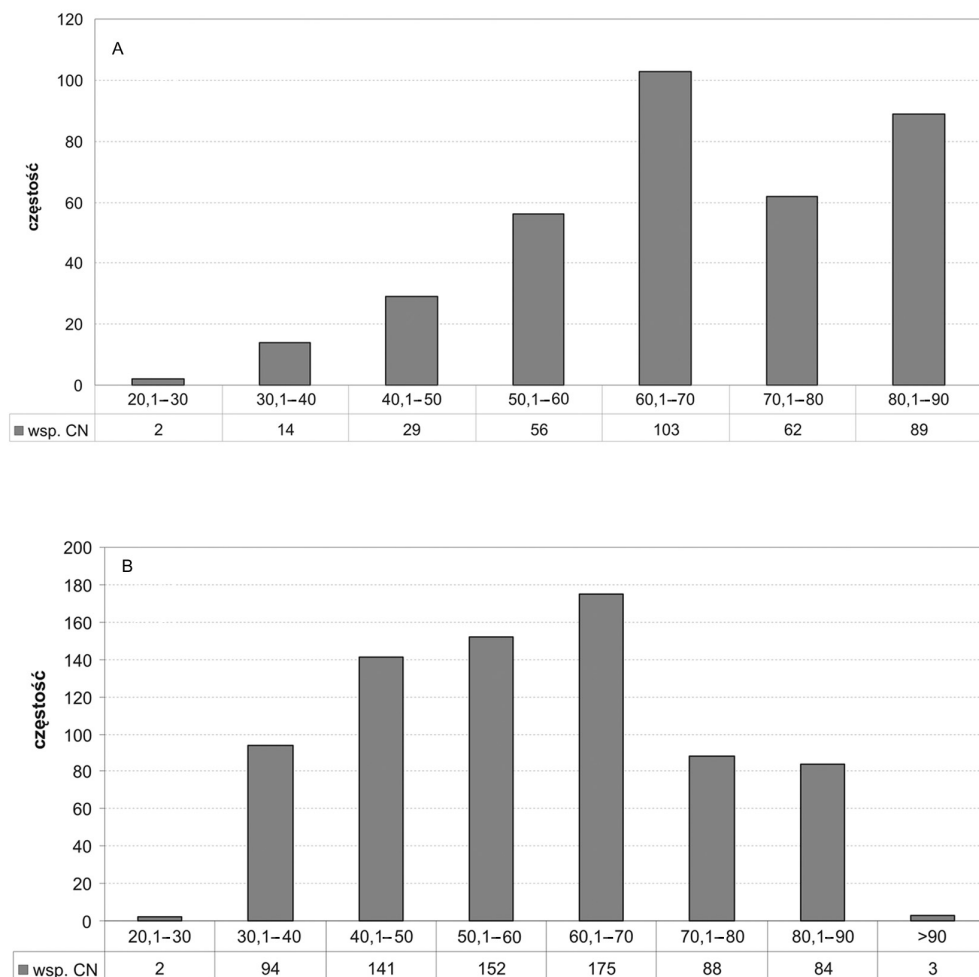
Ryc. 4. Rozkład przestrzenny parametru CN w zlewni Sokołówki
Fig. 4. CN parameter spatial distribution in Sokolowka catchment



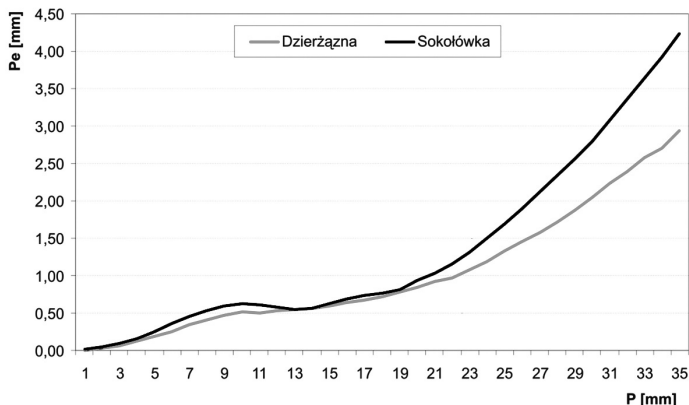
Ryc. 5. Rozkład przestrzenny parametru CN w zlewni Dzierżącej
Fig. 5. CN parameter spatial distribution in Dzierżąca catchment

Przeciętna wartość parametru CN obliczona dla zlewni Sokołówki wynosi 67 i jest tylko nieco wyższa niż w przypadku zlewni Dzierżąskiej – 59. Większe różnice można dostrzec w strukturze omawianego parametru (ryc. 6). Mimo iż w obu przypadkach najczęściej pól elementarnych przyjmuje wartości z przedziału 60–70, to zlewnia Sokołówki odznacza się liczniejszym występowaniem wysokich wartości CN, a mniej licznym – niskich. Współczynnik zmienności c_v parametru CN wynosi 0,21. W zlewni Dzierżąskiej liczebność przedziałów jest bardziej wyrównana, przy czym wartości $CN > 90$ są nieliczne (3 przypadki) i nie mają wpływu na wartość średnią. Zróżnicowanie tego parametru jest w jej przypadku nieco większe – $c_v = 0,26$.

Z analizy wartości CN wynika, że potencjalne możliwości powstawania spływu powierzchniowego w zlewni Sokołówki są większe niż w zlewni Dzierżąskiej. Potwierdza to obliczona teoretycznie wielkość opadu efektywnego w obu zlewniach (ryc. 7). Różnica w wartościach P_e jest zauważalna już przy sumach opadów dobowych średniej wielkości, w tym przypadku wyższych od ok. 20 mm, i zwiększa się wraz z ich



Ryc. 6. Struktura wielkości parametru CN: A – w zlewni Sokołówki; B – w zlewni Dzierżąskiej
 Fig. 6. CN parameter value structure: A – in Sokolowka catchment; B – in Dzierzazna catchment



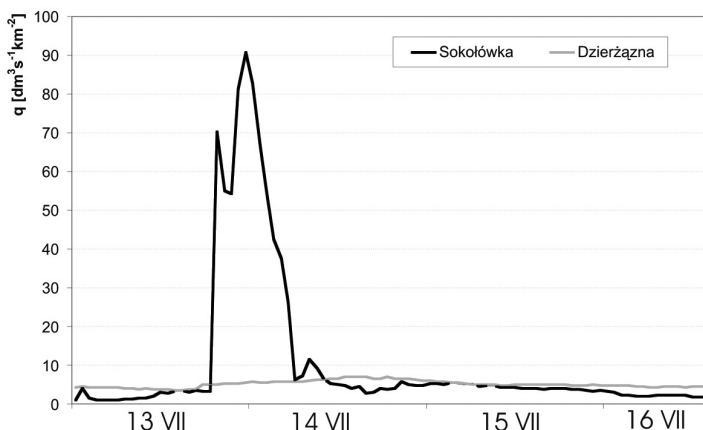
Ryc. 7. Opad efektywny (P_e) w funkcji opadu całkowitego (P). Przyjęto przeciętny poziom nawilżenia
 Fig. 7. Effective rainfall (P_e) in total rainfall function (P). The average humidity level was assumed

wzrostem. Zastosowana metoda SCS nie uwzględnia jednak wpływu kanalizacji deszczowej na formowanie się wezbrań, stąd uzyskane wskaźniki należy traktować jako orientacyjne.

Warto podkreślić, że powierzchnia zlewni Sokółówki w mniejszym stopniu sprzyja infiltracji niż zlewnia Dzierżaznej i dlatego może wchłonąć mniejszą ilość wody opadowej lub roztopowej. Na podstawie zależności (1) (Pociask-Karteczka 2003):

$$RS = 24,5 \cdot \frac{1000}{CN} - 10 \quad (1)$$

w obu zlewniach można obliczyć teoretyczną wielkość retencji potencjalnej. Ilość zretencjonowanego opadu w zlewni Sokółówki można w ten sposób szacować na ok. 356 mm, zaś w zlewni Dzierżaznej mogłaby ona wynieść przeciętnie ok. 405 mm.



Ryc. 8. Wezbranie opadowe frontalne w lipcu 2008 r.

q – odpływ jednostkowy

Fig. 8. Frontal precipitation flood in July 2008

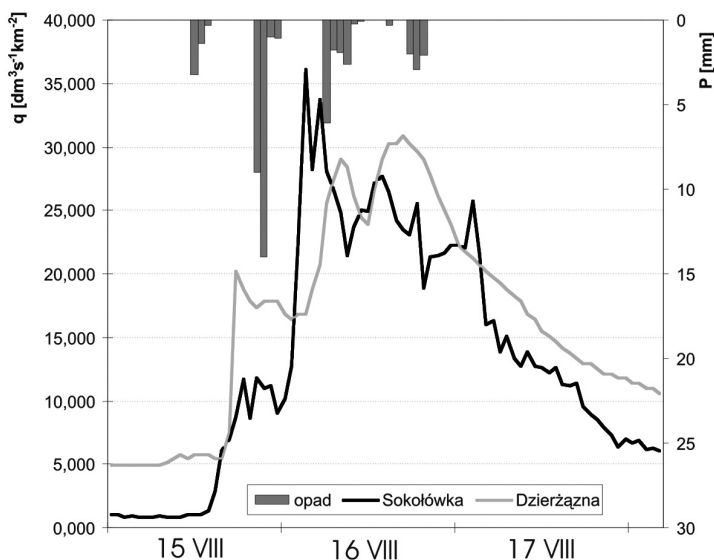
q – specific runoff

Rzeczywiste warunki krążenia wody będą powodowały odmienną reakcję zlewni na zasilanie, na co wskazują również uzyskane dane pomiarowe. Przykładem może tu być niewielkie wezbranie zarejestrowane jednocześnie na obu ciekach w połowie lipca 2008 r. (ryc. 8). Fale wezbraniowe na Sokołówce i na Dzierżąnej zostały wywołane przez opady deszczu o charakterze frontalnym, których rozkład był jednak nierównomierny. W ciągu dwóch kolejnych dni poprzedzających kulminację fali w zlewni Sokołówki spadło 39,6 mm deszczu, podczas gdy w analogicznym okresie w zlewni Dzierżąnej – tylko 17,6 mm.

Wezbranie w zlewni Dzierżąnej miało objętość 9500 m³ i trwało 40 godzin, podczas gdy w zlewni Sokołówki odpłynęło blisko 44 tys. m³ w czasie zaledwie 18 godzin. Objętość odpływu, przeliczona na wartości wskaźnikowe, wyniosła odpowiednio 0,22 mm oraz 2,29 mm. Oznacza to, że w przekroju zamykającym odpływ w zlewni Dzierżąnej osiągnął zaledwie 1%, a w zlewni Sokołówki blisko 6% zmierzonej sumy opadu. O różnicach w przebiegu wezbrań zdecydował przede wszystkim większy udział sztucznych, nieprzepuszczalnych powierzchni na obszarze zlewni Sokołówki i krótszy czas dobiegu wody związany z systemem kanalizacji deszczowej.

Na rycinie 9 przedstawiono przebieg wezbrania zarejestrowanego w sierpniu 2008 r. Było to, podobnie jak w lipcu, wezbranie opadowe frontalne, wywołane opadami o zdecydowanie wyższych, lecz zbliżonych do siebie sumach (Sokołówka – 72,1 mm, Dzierżązna – 87,6 mm). Z porównania przepływów kulminacyjnych ze średnimi wynika, że odpływ jednostkowy Sokołówki wzrósł ponad 30-krotnie, podczas gdy odpływ Dzierżąnej tylko 6-krotnie.

Porównanie obu wezbrań wskazuje, że opady o mniejszej sumie bardziej różnicują odpływy w obu zlewniach. W przypadku Dzierżąnej wezbrania wywołują deszcze, których chwilowe sumy opadów przekraczają aktualne możliwości infiltracyjne podłoża. Sytuacja taka zdarza się stosunkowo rzadko, toteż liczba dużych wezbrań opadowych w tej zlewni jest niewielka. W zlewni Sokołówki nawet relatywnie



Ryc. 9. Wezbranie opadowe frontalne w sierpniu 2008 r.

q – odpływ jednostkowy; P – opad

Fig. 9. Frontal precipitation flood in August 2008

q – specific runoff; P – precipitation

niewielki opad wywołuje wezbranie, gdyż znaczna część jej powierzchni cechuje się zerową chłonnością. Pociąga to za sobą dużą ilość epizodów wezbraniowych.

W obu zlewniach odnotowywano już wezbrania o znacznie wyższych przepływach kulminacyjnych. W zlewni Dzierżąznej zarejestrowano przepływy przekraczające $1,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (np. w 1999 r.). W przypadku zlewni Sokołówki ciągła seria pomiarów jest jeszcze krótka i nie obejmuje najbardziej ekstremalnych zdarzeń. W maju i czerwcu 2007 r. zaobserwowano jednak kilka katastrofalnych wezbrań wywołanych przez opady nawalne. Nastąpiło wówczas krótkotrwałe zalanie dna doliny Sokołówki na wielu odcinkach, co spowodowało paraliż komunikacyjny tej części miasta. Przepływy maksymalne tych wezbrań wynosiły szacunkowo do kilku $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$. Można zatem stwierdzić, że wezbrania w zlewni Sokołówki są większe niż w zlewni Dzierżąznej. Dotyczy to również wezbrań roztopowych, których przebieg w zlewni miejskiej jest bardziej gwałtowny. W tym wypadku większa chłonność zlewni Dzierżąznej (niższy CN) powoduje ograniczenie szybkich form odpływu na rzecz zwiększonego zasilania podziemnego.

Podsumowanie

Coraz większa presja wywierana przez aglomerację łódzką na środowisko wodne jest widoczna w obu analizowanych zlewniach. Obszar zlewni Dzierżąznej jest atrakcyjny dla budownictwa rekreacyjnego i zabudowy rezydencjonalnej. W 2006 r. oddano do użytku odcinek autostrady A2 Emilia-Stryków, przecinający równoleżnikowo zlewnię. Przybywa też powoli stawów hodowlanych i oczek wodnych, skraca się tym samym czas reakcji zlewni na zasilanie. Również w zlewni Sokołówki powstają nowe osiedla i domy mieszkalne, przyłączane do sieci kanalizacji burzowej, a drogi gruntowe uzyskują asfaltowe nawierzchnie. Przekształcenia w użytkowaniu terenu wpływają i będą wpływały w przyszłości na kształtowanie się odpływu rzecznego w obu zlewniach.

Literatura

- Jaworski J. Szkutnicki J. (red.) 1999. Dynamika obiegu wody w zlewni Górnej Wilgi. IMGW, Warszawa, s. 382.
- Jokiel P. 2002. Woda na zapleczu wielkiego miasta. IMGW, Warszawa, s. 148.
- Krysiak S. 2000. Struktura użytkowania ziemi w dorzeczu Dzierżąznej – charakterystyka i aspekty hydrologiczne zagospodarowania zlewni. Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phisica 5, s. 29–48.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. 1997. Hydrologia stosowana. PWN, Warszawa, s. 324.
- Pociask-Karteczka J. (red.) 2003. Zlewnia. Właściwości i procesy. IGiP UJ, Kraków, s. 288.
- Polska. Mapa fizyczna 1:500 000. 1995. PPWK, Wrocław.