



Wykorzystanie archiwalnych zdjęć lotniczych oraz współczesnej ortofotomapy do oceny zmian warunków formowania się opadu efektywnego w Kielcach w latach 1944-2014

The use of archival aerial photographs and contemporary orthophoto in evaluation of effective rainfall conditions in Kielce in the period 1944-2014

Grzegorz WAŁEK

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Instytut Geografii, Zakład Hydrologii i Geoinformacji

Abstract:

In the paper, results of the effective rainfall conditions changes analysis between 1944 and 2014 in two urban catchments in Kielce is present. The objective was achieved by detailed land cover changes analysis based on archival US Air Force aerial photographs from 1944 and contemporary orthophoto from 2014. In order to identify the hydrological consequences of land cover changes the Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method was used. The analysis was conducted using QGIS and SAGA GIS software. Research has shown major land cover changes in both catchments – decline of arable land and significant increase of impermeable surfaces such as roofs, roads, pavements, parking lots and squares (from 7.5 to 44.3 % of total SI-4 catchment area and from 10.6 to 43.3 % of total SI-5 catchment area). Those changes directly influenced the weighted CN value of the SCS method (from 76 to 80 in SI-4 catchment, from 79 to 82 in SI-5 catchment), finally leading to transform up to 50 % of the total design rainfall (0,01 %) in to the effective rainfall in the catchments.

Słowa kluczowe: zdjęcia lotnicze, ortofotomapa, opad efektywny, zlewnia zurbanizowana

Key words: aerial photographs, orthophoto, effective rainfall, urban catchment

Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat zaobserwować można rosnące zainteresowanie badaczy zjawiskami obiegu wody w zlewniach zurbanizowanych (Bielawski 1994, Absalon 1998, Ciupa 2001, 2007, 2009, Nowicka 2002, Jokiel 2002, Chormański i in. 2012, Graf 2014, Michalczyk 2012, Michalczyk i in. 2014). Antropopresja przejawia się głównie specyficznym charakterem pokrycia i użytkowania terenu, w którym zaznacza się duży udział obszarów uszczelnionych (dachy, drogi, chodniki, place, parkingi), o ograniczonej infiltracji wody opadowej. Taki

charakter pokrycia terenu w bezpośredni sposób wpływa na uwarunkowania powierzchniowej fazy obiegu wody w obrębie zlewni, zmieniając wielkość i natężenie spływu powierzchniowego, szybkość formowania się wezbrań, a także wielkość transportowanych ładunków zanieczyszczeń (SCS 1986, Ciupa 2007, 2009). Szczególnie duże znaczenie użytkowania terenu w kształtowaniu warunków hydrologicznych zlewni miejskich wykazał w swoich pracach Ciupa (2009, 2010).

W badaniach stanu pokrycia i użytkowania terenu zlewni na potrzeby hydrologiczne wykorzystuje się różnorodne materiały źródłowe: mapy topograficzne

i tematyczne (Bryndal 2014), zdjęcia satelitarne (Chormański i in. 2008), zdjęcia lotnicze (Słupik 1976, Barszcz i in. 2014), cyfrowe bazy danych przestrzennych dotyczących pokrycia i użytkowania terenu – np. Corine Land Cover (Graf 2014).

Szczegółowe dane dotyczące pokrycia terenu zlewni mogą być elementem wejścia do modeli hydrologicznych, które pozwalają określić wielkość opadu efektywnego, pojemność retencyjną zlewni oraz inne charakterystyki. Opad efektywny stanowi tę część opadu całkowitego, która bezpośrednio kształtuje odpływ powierzchniowy (Magnuszewski i Soczyńska 2001). Zlewnie miejskie – często kanałowe, posiadają na ogół niewielką powierzchnię (do kilkudziesięciu km²). Pokrycie terenu jest tu często bardzo zróżnicowane, a to wymaga dużej szczegółowości analiz kartograficznych.

Wybór materiału źródłowego uzależniony jest w głównej mierze od wymaganej skali opracowania, która wpływa na jego szczegółowość. Istotna jest także rozpiętość przedziału czasowego objętego badaniami, która warunkuje dostępność danych źródłowych. W przypadku szczegółowych analiz zmian pokrycia terenu w czasie, szczególnie na obszarach zurbanizowanych, jedynymi materiałami źródłowymi, które można wykorzystać są wielkoskalowe zdjęcia lotnicze (skala zbliżona do 1:10 000 lub większa). W warunkach polskich takie materiały wykonywane były na szeroką skalę już podczas nalotów rozpoznania lotniczego w okresie II wojny światowej. Archiwalne wielkoskalowe zdjęcia lotnicze w połączeniu ze współczesnymi ortofotomapami umożliwiają badanie zmian pokrycia terenu z dokładnością zbliżoną do skali mapy zasadniczej, a zakres czasowy analiz w wielu obszarach Polski może przekraczać nawet siedemdziesiąt lat.

Celem badań jest przedstawienie analizy porównawczej zmian pokrycia terenu w 1944 i 2014 roku w obrębie obecnie istniejących wybranych zlewni kanałowych w Kielcach, oraz określenie ich wpływu na kształtowanie wysokości opadu efektywnego formującego odpływ powierzchniowy w tych zlewniach.

Materiały i metoda badawcza

Do oceny współczesnego stanu pokrycia badanego terenu posłużono się ortofotomapą cyfrową w układzie współrzędnych prostokątnych płaskich PUWG 2000, stworzoną na podstawie zdjęć lotniczych o terenowej

wielkości piksela równej 0,05 m, które zostały wykonane na zlecenie Urzędu Miasta Kielce w listopadzie 2014 r.

W celu analizy pokrycia terenu badanych zlewni w 1944 roku wykorzystano dwa archiwalne panchromatyczne zdjęcia rozpoznania lotniczego Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych wykonane w 1944 roku oraz jedno panchromatyczne zdjęcie rozpoznania lotniczego Luftwaffe z 1945 r. (tab. 1). Materiały te pozyskano w 2014 roku we współpracy z Wydziałem Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej z Narodowego Archiwum Stanów Zjednoczonych (National Archives and Records Administration – NARA) jako skany w formacie rastrowym *.tiff o wysokiej rozdzielczości.

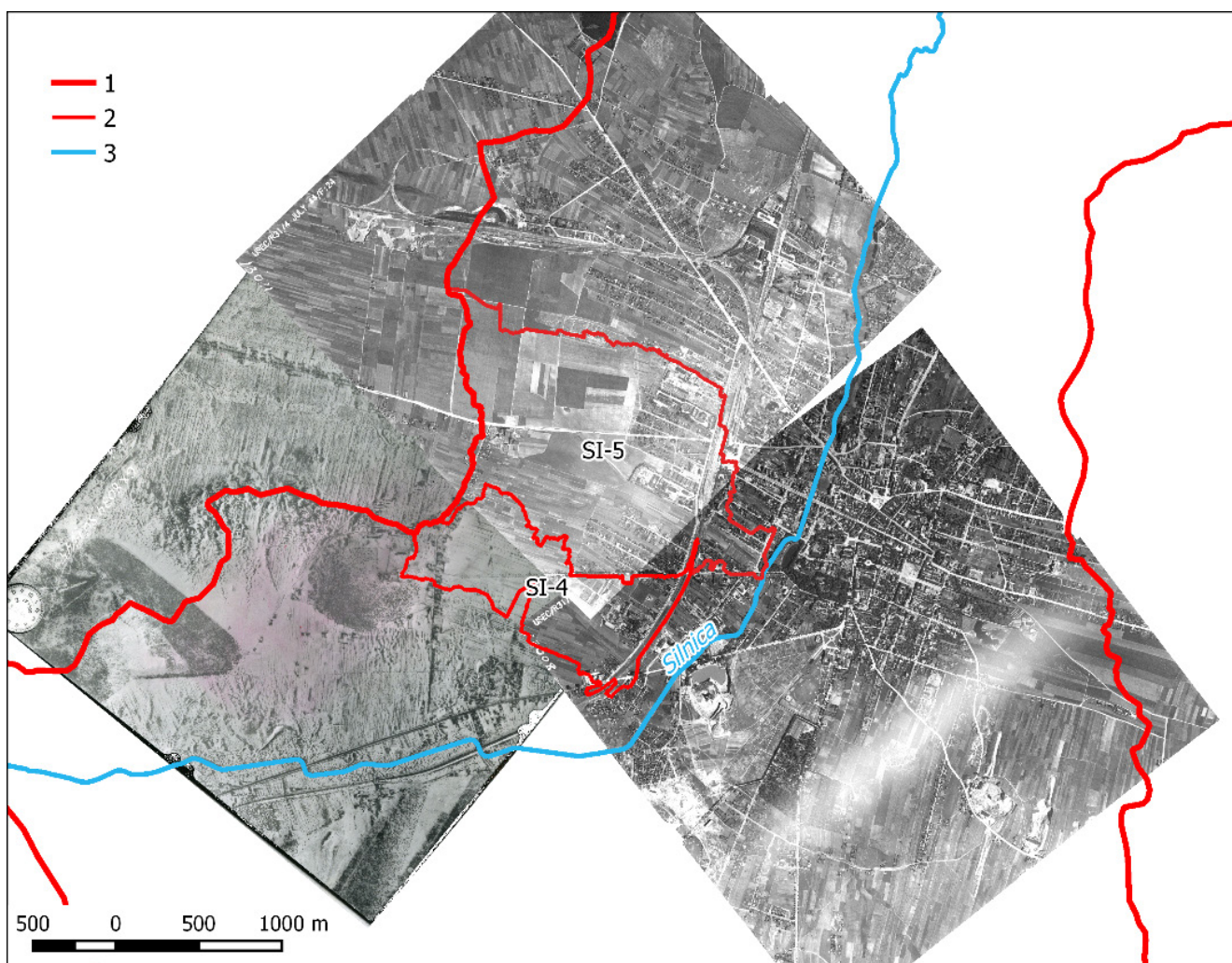
Archiwalne zdjęcia lotnicze zostały poddane procesowi georektyfikacji w programie QGIS do układu współrzędnych prostokątnych płaskich PUWG 2000 na podstawie terenowych punktów dostosowania. We wszystkich przypadkach jako metodę transformacji wykorzystano metodę funkcji sklepanej (TPS), ze względu na najmniejsze wartości średniego błędu kwadratowego RMS (od 1,99 do 4,75 m). Zdjęcia te swoim zasięgiem pokrywały cały obszar analizowanych zlewni (ryc. 1).

Kolejnym etapem badań było stworzenie cyfrowej bazy danych przestrzennych - w formacie wektorowym (*.shp), przedstawiającej pokrycie terenu badanych zlewni w latach 1944 i 2014. Opracowano ją metodą digitalizacji ręcznej w skali 1:1 000. Dla 2014 roku wykorzystano dodatkowo warstwę ewidencji gruntów i budynków ukazującą aktualny stan zabudowy w Kielcach. W rezultacie uzyskano bazę danych o geometrii poligonów.

Do oceny hydrologicznych konsekwencji zmian pokrycia terenu w badanych zlewniach wykorzystano metodę SCS CN (Soil Conservation Service Runoff Curve Number), która umożliwia obliczenie sumy opadu efektywnego w zależności od charakteru użytkowania lub pokrycia terenu zlewni, rodzaju pokrywy glebowej oraz jej uwilgotnienia przed wystąpieniem badanego opadu (SCS 1986, Ignar 1988, 1993, Banasik 2009). W celu aplikacji metody SCS CN, dla badanego obszaru przygotowano także mapę przepuszczalności gleb sklasyfikowaną w cztery kategorie, w zależności od możliwości powstawania odpływu powierzchniowego: A – gleby o dobrej przepuszczalności (współczynnik filtracji $k > 7,6$ mm/h – mała możliwość powstania odpływu powierzchniowego), B – gleby o przepuszczalności powyżej średniej ($3,8 < k \leq 7,6$ mm/h), C – gleby o przepuszczalności poniżej średniej ($1,3 < k \leq 3,8$ mm/h), D – gleby o bardzo małej

Tabela 1. Wykorzystane archiwalne zdjęcia lotnicze.
Table 1. Used archival aerial photographs.

Lp.	Wykonawca	Data wykonania	Sygnatura lotu	Numer zdjęcia	Skala przybliżona	Rozdzielczość	Terenowa wielkość piksela
1.	US Air Force	04.07.1944	US EC R31	4003	1:13750	10534x10534	0,3 m
2.	US Air Force	04.07.1944	US EC R31	4006	1:13750	10340x10270	0,3 m
3.	Luftwaffe	03.02.1945	GX 8034	199	1:14000	5020x5088	0,6 m



Ryc. 1. Zasięg analizowanych zlewni kanałowych na tle fotoszkieca z wykorzystanych archiwalnych zdjęć lotniczych. Objasnienia: 1 – dział wodny zlewni Silnicy; 2 – działy wodne badanych zlewni cząstkowych; 3 – rzeka Silnica.

Fig. 1. Reach of analysed canal drainage areas relating to the photosketch from used archival aerial photographs. Explanations: 1 - watershed of the Silnica drainage area; 2 - watersheds of examined fragmentary drainage areas; 3 - Silnica river.

przepuszczalności ($k \leq 1,3$ mm/h – duża możliwość powstania odpływu powierzchniowego). Następnie opracowano mapę rozkładu przestrzennego bezwymiarowego parametru CN . Opisuje on zależność pomiędzy możliwością infiltracyjną gleby a pokryciem terenu zlewni w okresie przeciętnych warunków wilgotnościowych. Wartości parametru CN przypisano konkretnym typom pokrycia terenu, w zależności od rodzaju pokrywy glebowej, na której się znajdują (SCS 1986). Obszarową zmienność parametru CN jako średnią ważoną obliczono wg wzoru:

$$CN_w = \frac{1}{A} \cdot \sum_{i=1}^n CN_i \cdot \Delta A_i$$

Gdzie:

CN_w – średnia ważona parametru CN w zlewni

CN_i – wartość parametru CN dla części zlewni ΔA_i

A – powierzchnia zlewni, $A = \sum \Delta A_i$

ΔA_i – część powierzchni zlewni o podobnym użytkowaniu w km^2

n – liczba wyznaczonych w zlewni powierzchni jednorodnych

Uzyskane wartości CN_w pozwoliły w dalszej kolejności obliczyć maksymalną pojemność retencyjną zlewni S [mm] i wysokość opadu efektywnego Pe [mm] (Banasik 2009):

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \text{ gdy } P - 0,2S > 0$$

Gdzie:

S – maksymalna potencjalna retencja zlewni [mm]

Pe – suma opadu efektywnego [mm]

P – suma opadu całkowitego przyjętego do obliczeń [mm]

W celu wyznaczenia wartości opadu efektywnego przyjęto projektowe, maksymalne sumy opadu całkowitego. Posłużono się wynikami wieloletnich badań maksymalnych opadów o założonym czasie trwania i prawdopodobieństwie przekroczenia dla Kielc (Suligowski 2014) (tabela 2).

Tabela 2. Maksymalne wydajności opadów P_{max} [mm] w funkcji okresu powtarzalności T (lata) w przedziałach rzeczywistego czasu trwania tr (min) (za Suligowski 2014).

Table 2. Peak performances of P_{max} falls [mm] in the function of the period of the repetitiveness T (is flying) in periods real of tr duration (of faces) (too Suligowski 2014).

Czas trwania opadu tr [min]	Okres powtarzalności T (lata)								
	1	1,25	2	2,5	4	5	10	20	100
	P_{max} [mm]								
1-10	0,8	0,9	1,2	1,3	1,6	1,7	2,1	2,6	4,3
11-20	1,7	1,9	2,5	2,7	3,4	3,7	4,8	6,3	11,5
31-40	3	3,3	4,2	4,5	5,4	5,8	7,4	9,3	16,5
41-60	5,1	5,8	7,6	8,3	9,8	10,6	13,11	16	24,6
61-120	9,6	10,6	13,3	14,4	16,7	17,7	21,2	25	35,8
121-180	11,3	12,1	14,3	15,3	17,4	18,5	22,2	26,8	42,2
181-240	11,1	12,7	16,8	18,5	22,2	24	30,1	37,3	59,9

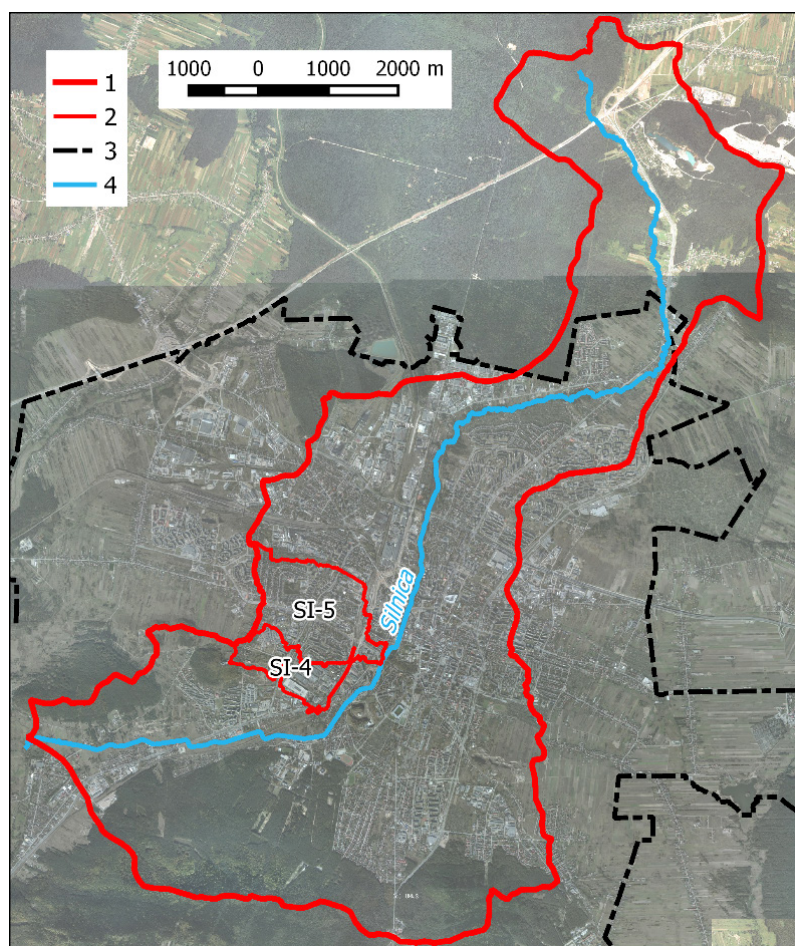
Obszar badań

Analizą objęto dwie prawobrzeżne, kanałowe zlewnie rzeki Silnicy (V rząd), położone w centrum Kielc (ryc. 2). Zlewnie te ograniczone wyraźnymi topograficznymi działami wodnymi są odwadniane obecnie przez system kolektorów kanalizacji deszczowej (zlewnie: SI-4 i SI-5), który odprowadza wody opadowe bezpośrednio do koryta Silnicy. Powierzchnia zlewni SI-4 wynosi 0,87

km² a SI-5 – 2,03 km². Efektem hydrologicznym ich zurbanizowania jest nadmiar wód spływu powierzchniowego po intensywnych opadach.

Wyniki

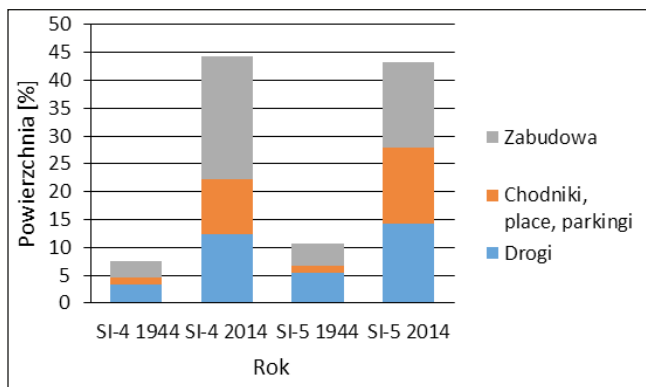
W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono znaczne zmiany pokrycia i użytkowania terenu na prze-



Ryc. 2. Położenie badanych zlewni na tle zlewni rzeki Silnicy, Kielc oraz współczesnej ortofotomapy. Objaśnienia: 1 – dział wodny zlewni Silnicy; 2 – działy wodne badanych zlewni częściowych; 3 – granica Kielc; 4 – rzeka Silnica.

Fig. 2. Putting examined drainage areas relating to the drainage area of the Silnica river, of Kielce and contemporary ortofotomapy. Explanations: 1 – watershed of the Silnica drainage area; 2 – watersheds of examined fragmentary drainage areas; 3 – border of Kielce; 4 – Silnica river.

strzeni ostatnich 70 lat. Szczególnie zaznaczają się one przyrostem obszarów o utrudnionej możliwości infiltracji wody opadowej – zabudowań pokrytych dachami, dróg, chodników, placów i parkingów (ryc. 3). Obecnie tereny uszczelnnione zajmują niemal 45 % całkowitej powierzchni badanych zlewni.



Ryc. 3. Udział i zmiany powierzchni obszarów uszczelnionych w zlewniach SI-4 i SI-5 w latach 1944 i 2014.

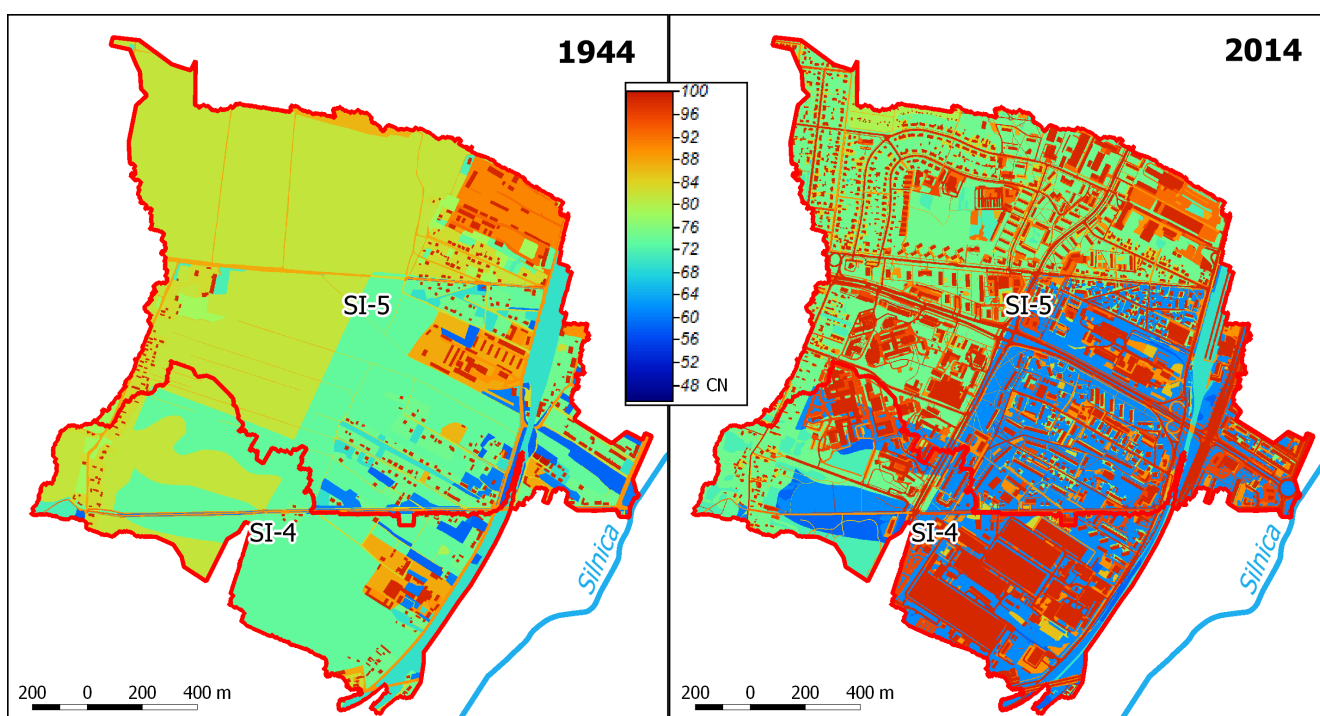
Fig. 3. The participation and changes of the area of sealed areas in SI-4 drainage areas and SI-5 in years 1944 and 2014.

Konsekwencją zmian pokrycia terenu są zmiany rozkładu przestrzennego parametru CN w obu badanych zlewniach (ryc. 4). Terenom o utrudnionej możliwości infiltracji wody odpowiadają wysokie wartości parametru CN . Zaznaczyła się także zmiana sposobów użytkowania obszarów biologicznie czynnych. Duże powierzchnie użytkowane rolniczo w 1944 zostały przeznaczone pod zabudowę lub przekształcone w łąki i nieużytki. Fakt ten spowodował obniżenie się wartości współczynnika CN na tym obszarze.

Zmiany w użytkowaniu odzwierciedlone w rozkładzie przestrzennym parametru CN przyczyniły się również do zróżnicowania całkowitej pojemności retencyjnej S tych zlewni. W zlewni SI-4 w roku 1944 wartość tego parametru osiągnęła 80,2 mm ($CN_w = 76$), a w roku 2014 – 63,5 mm ($CN_w = 80$). Z kolei w zlewni SI-5 wartość pojemności retencyjnej w 1944 r. wynosiła 67,51 mm ($CN_w = 79$), natomiast w 2014 r. – 55,75 mm ($CN_w = 82$). Pomimo znacznego przyrostu powierzchni obszarów uszczelnionych w badanych zlewniach, wartość bezwymiarowego parametru CN_w nie wzrosła istotnie w obu zlewniach (odpowiedni: 4 i 3 jednostki). Zatem przyczyną tak niewielkich zmian parametru CN_w są znoszące się wzajemnie efekty hydrologiczne zmian w użytkowaniu w 1944 i 2014 roku.

Wartości średniej ważonej parametru CN oraz pojemności retencyjnej S w analizowanych zlewniach pozwoliły na oszacowanie zmian wielkości opadu efektywnego Pe (Tab. 3).

Na skutek zmian pokrycia terenu, które poskutkowały zmniejszeniem się pojemności retencyjnej badanych zlewni, w roku 2014 opad efektywny może zostać wygenerowany przy niższych wartościach opadu całkowitego P , niż w roku 1944. Pomimo nawet niewielkich zmian wartości CN_w , sumy modelowanego opadu efektywnego wzrosły znacząco w obu badanych zlewniach. Dla przykładu: opad całkowity o czasie trwania 181-240 min i okresie powtarzalności 100 lat spowoduje wzrost opadu efektywnego z 15,5 do 20,1 mm w zlewni SI-4 i z 18,9 do 22,7 mm w zlewni SI-5. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że obecnie wartości opadu efektywnego w obu zlewniach mogą przekroczyć nawet 30% wartości sumy największych opadów całkowitych. Podobne wartości (35%), ale odnoszące się do większej



Ryc. 4. Rozkład przestrzenny parametru CN w badanych zlewniach w okresie 1944-2014.

Fig. 4. Spatial schedule of the CN parameter in examined drainage areas in the period 1944-2014.

Tabela 3. Wielkości modelowanego opadu efektywnego Pe w zlewniach SI-4 oraz SI-5 w latach 1944 i 2014.

Table 3. Sizes of the modeled effective fall Pe in SI-4 drainage areas and SI-5 in years 1944 and 2014.

Czas trwania opadu tr [min]	Okres powtarzalności T (lata)									Okres powtarzalności T (lata)								
	1	1,25	2	2,5	4	5	10	20	100	1	1,25	2	2,5	4	5	10	20	100
	Pe [mm] SI-4 1944									Pe [mm] SI-4 2014								
1-10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11-20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31-40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
41-60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,9
61-120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,0	2,0	6,2
121-180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,3	6,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	1,2	2,6	9,4
181-240	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,7	2,1	4,5	15,5	0,0	0,0	0,2	0,5	1,2	1,7	3,7	6,9	20,1
	Pe [mm] SI-5 1944									Pe [mm] SI-5 2014								
1-10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11-20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31-40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
41-60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	2,6	
61-120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,8	1,7	5,5	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	1,5	2,8	7,6
121-180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	1,0	2,2	8,6	0,0	0,0	0,2	0,3	0,6	0,9	1,8	3,4	11,1
181-240	0,0	0,0	0,2	0,3	1,0	1,4	3,3	6,2	18,9	0,0	0,0	0,5	0,9	1,8	2,4	4,8	8,3	22,7

* Kolorem błękitnym oznaczono pola tabeli, w których opad efektywny występuje przy odpowiadających im wartościach przyjętego opadu obliczeniowego, po uwzględnieniu uwarunkowań wynikających z obliczonej metodą SCS CN całkowitej retencji zlewni.

* With light blue colour fields of the table in which the effective fall is appearing at values suiting them were marked accepted of computational fall, after taking resulting conditioning into account from calculated with SCS CN method of the total retention of the drainage area.

powierzchniowo zlewni cząstkowej Silnicy udokumentowano podczas epizodu opadowego wywołanego ulewnym opadem o wysokości 55,8 mm w dniu 29.V.2002 roku (Ciupa 2009).

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono wpływ zmian pokrycia i użytkowania terenu w dwóch zlewniach kanałowych rzeki Silnicy położonych w centrum Kielc (SI-4 i SI-5) na warunki formowania się w ich obszarze opadu efektywnego. Do realizacji celu pracy wykorzystano wielkoskalowe archiwalne zdjęcia lotnicze z 1944 roku, współczesną ortofotomapę oraz metodę SCS CN.

Wykazano znaczny przyrost powierzchni obszarów uszczelnionych na przestrzeni 70 lat, które zajmują obecnie niemal 45% całkowitej powierzchni badanych zlewni, a także transformację obszarów biologicznie czynnych (głównie gruntów ornych) na obszary, w których nie prowadzi się intensywnych zabiegów agrotechnicznych. Archiwalne zdjęcia lotnicze okazały się szczególnie przydatne do identyfikacji terenów uszczelnionych, takich jak dachy budynków, drogi, chodniki, place i parkingi, a to pozwoliło przeprowadzić dokładną analizę wpływu postępującej urbanizacji na formowanie się opadu efektywnego Pe i maksymalnej retencyjności zlewni

S. W analizowanym okresie w obu badanych zlewniach nastąpił spadek ich maksymalnej pojemności retencyjnej. Kolejnym efektem hydrologicznym jest wzrost wysokości oraz częstości występowania opadu efektywnego przy założonych sumach opadu obliczeniowego.

Możliwy obecnie dostęp do archiwalnych wielkoskalowych zdjęć lotniczych sprzed kilkudziesięciu lat stwarza ogromną szansę ich wykorzystania w badaniach zmian terenowych uwarunkowań formowania się spływu powierzchniowego, które skutkują powstawaniem fal wezbraniowych w korytach rzecznych, szczególnie na obszarach zurbanizowanych.

Literatura

- ABSALON D., 1998. Antropogeniczne zmiany odpływu rzeczynego w zlewni Rudy. UŚ, Katowice.
- BANASIK K., 2009. Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych. Wyd. SGGW, Warszawa.
- BARSZCZ M., KSIEŻŃNIK M., WAŁKOWIAK K., 2014. Wpływu zurbanizowania i zastosowania małych obiektów do infiltracji i retencji na kształtowanie odpływu ze zlewni miejskiej w reakcji na opady deszczu. W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.) Woda w mieście. Kielce, s. 17-28.
- BIELAWSKI Z., 1994. Określenie charakterystyk odpływu z terenów zurbanizowanych na podstawie cech fizycznych zlewni i opadu. W: M. Ozga-Zielińska (red.) Modelowanie

- procesów hydrologicznych. Warszawa, Politechn. Warsz. Monogr. KGW PAN, 5.
- BRYNDAL T., 2014. Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań w Karpatach Polskich. Wyd. Nauk. Uniwersytetu Pedagogicznego, Kraków.
- CHORMAŃSKI J., KARDEL I., MIROŚLAW-ŚWIĄTEK D., OKRUSZKO T., PUSŁOWSKA-TYSZEWSKA D., 2012. Model zlewni o parametrach przestrzennie rozłożonych w obszarze zurbanizowanym. *Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 55, 3-17.
- CHORMAŃSKI J., VAN DE VOORDE T., DE ROECK T., BATELAAN O., CANTERS F., 2008. Improving Distributed Runoff Prediction in Urbanized Catchments with Remote Sensing based Estimates of Impervious Surface Cover. *Sensors*, 8(2): 910-932.
- CIUPA T., 2001. Funkcjonowanie systemu fluwialnego Silnicy i Sufragańca w strefie miejskiej Kielc. W: A. Karczewski, Z. Zwoliński (red.) *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring – ochrona – edukacja*. Poznań, SGP, s. 103-113.
- CIUPA T., 2007. Rola powierzchni zakrytych i systemu drenażu deszczowego na terenach zurbanizowanych w kształtowaniu transportu fluwialnego na przykładzie zlewni Silnicy i Sufragańca (Kielce). W: E. Smolska, D. Giriat (red.) *Rekonstrukcja dynamiki i procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady*. Warszawa, Oficyna Wyd. Łośgraf, WGiSR UW, s. 91-103.
- CIUPA T., 2009. Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce). Wyd. UJK Kielce.
- CIUPA T., 2010. Znaczenie zagospodarowania terenu w kształtowaniu opadu efektywnego na przykładzie zlewni Sufragańca i Silnicy (Kielce). W: D. Wrzesiński (red.) *Odpływ rzeczny i jego regionalne uwarunkowania*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, s. 47-59.
- CIUPA T., WAŁEK G., 2013. Zastosowanie kartografii porównawczej i technik GIS do analizy wpływu rzeźby terenu na przestrzenne przemiany zabudowy Kielc od początku XIX w. do 2010 r. W: Medyńska-Gulij B., Kubiak J., (red.) *Pragmatyka w kartografii*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, s. 15-29.
- GRAF R., 2014. Przestrzenne zróżnicowanie splywu powierzchniowego w zlewniach zurbanizowanych na przykładzie miasta Poznania. W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.) *Woda w mieście*. Kielce, s. 59-71.
- IGNAR S., 1993. *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych*. SGGW, Warszawa.
- JOKIEL P., 2002. Zagospodarowanie terenu i jego rola w obiegu wody na przykładzie małej zlewni w strefie podmiejskiej Łodzi. W: T. Ciupa, E. Kupczyk, R. Suligowski (red.) *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*. Instytut Geografii Akademii Świętokrzyskiej im. Jana Kochanowskiego, Kielce, s. 95-112.
- KOTOWSKI A., KAŻMIERCZAK B., DANCEWICZ A., 2010. Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa.
- MAGNUSZEWSKI A., SOCZYŃSKA U. (red.) 2001. *Międzynarodowy słownik hydrologiczny*. PWN, Warszawa.
- MICHALCZYK Z., (red.) 2012. *Ocena warunków występowania wody i tworzenia się splywu powierzchniowego w Lublinie*. Wyd. UMCS, Lublin.
- MICHALCZYK Z., CHMIEL S., GŁOWACKI S., KOWAL P., 2014. Splyw powierzchniowy z obszaru Lublina w 2012 roku. W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.) *Woda w mieście*. Kielce, s. 173-181.
- NOWICKA B., 2002. Wpływ urbanizacji na warunki odpływu. W: T. Ciupa, E. Kupczyk, R. Suligowski (red.) *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*. Instytut Geografii Akademii Świętokrzyskiej im. Jana Kochanowskiego, Kielce, s. 77-86.
- ŚLUPIK J., 1976. Zastosowanie zdjęć lotniczych o określaniu wpływu brzd i dróg polnych na strukturę bilansu wodnego stoków górskich. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego, Fotointerpretacja w Geografii*, 126, s. 31-38.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, 1986. *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Report 55, USDA, Springfield, VA.
- SULIGOWSKI R., 2014. Maksymalne wysokości opadów o określonym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia w Kielcach. W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.) *Woda w mieście*. Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t. 2, Kielce, s. 271-280.
- WAŁEK G., 2012. Współczesne przeobrażenia rzeźby terenu Kielc. *Landform Analysis*, 19, 81-90.



Mgr Grzegorz WAŁEK – asystent w Zakładzie Hydrologii i Geoinformacji Instytutu Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Jego zainteresowania naukowe obejmują badania zmian uwarunkowań funkcjonowania procesów hydrologicznych w kontekście zmieniającego się charakteru pokrycia, użytkowania i rzeźby terenu. W swoich badaniach wykorzystuje zarówno materiały kartograficzne, jak i teledetekcyjne oraz systemy informacji geograficznej. Autor kilkunastu publikacji z tego zakresu. Telefon: 41 349-64-09; grzegorz.walek@ujk.edu.pl

M.Sc. Grzegorz WAŁEK – assistant at the Hydrology and Geoinformation Department of the Institute of Geography at the Jan Kochanowski University in Kielce. His scientific interests include studies of changes in the conditions of functioning of hydrological processes in the context of the changing nature of coverage, use and terrain. In his research, he uses both cartographic and remote sensing materials as well as geographic information systems. Author of several publications in this field. Phone: 41 349-64-09; grzegorz.walek@ujk.edu.pl