

WPŁYW ZMIAN POWIERZCHNI ZIELENI MIEJSKIEJ W POZNANIU NA PARAMETR *CN* METODY SCS I WSPÓŁCZYNNIK SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO

KAMIL JAWGIEL, JAN ŁUKASZEWICZ

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: Land use changes are important in water circulation. Already at the stage of water supply to basin precipitation it's modified into effective precipitation and then filters into the substrate or runs off the surface of the area. Identifying the significance of these changes is key in setting the limits for urbanization in terms of water management and flood protection. The most commonly used method for calculating the precipitation effect that causes outflow is the SCS method. The underlying assumption of this method is the dependence of effective precipitation on the type of land cover, soil and soil moisture. This article presents the application of this method in the context of the study of surface runoff in an urbanized area, where changes in land use during the last century have influenced the runoff.

Keywords: surface runoff, SCS *CN*, land use changes, Poznan, runoff coefficient

WPROWADZENIE

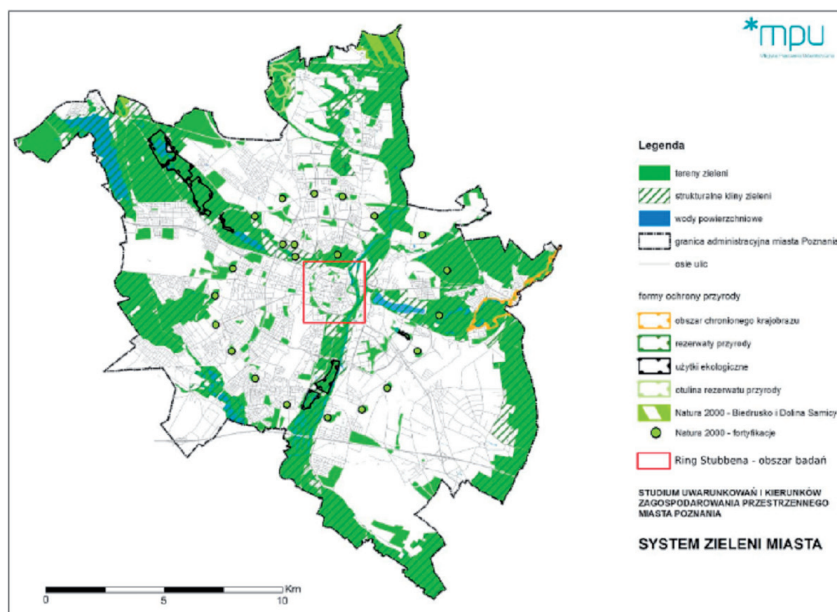
System zieleni miejskiej w Poznaniu tworzy wyjątkowy w skali krajowej klinowo-pierścieniowy układ, który został zaprojektowany w latach 30. XX w. Jednym z jego głównych założeń było utrzymanie ciągłości przyrodniczej wewnątrz miasta wraz z rozwojem aglomeracji, a co za tym idzie – zachowanie wodnej homeostazy w kontekście hydrologicznym. Ta idea planistyczna przetrwała do dziś i jest głównym założeniem struktury przestrzennej miasta. Jednak presja zagospodarowania terenów zielonych jest wciąż duża, a ich powierzchnia konsekwentnie się kurczy. Wpływa to wyraźnie na zmniejszanie retencji i przyspieszenie spływu powierzchniowego w mieście, a to z kolei jest przyczyną szybkich wezbrań, powodzi i podtopień. Obieg wody w zlewniach miejskich przez obniżenie ich zdolności retencyjnych (wylesianie, urbanizacja, degradacja gleb, likwidacja oczek wodnych, małych piętrzeń itd.) oddziałuje niekorzystnie na zmianę struktury bilansu wodnego w miastach. Na obszarach gęsto zabudowanych ze względu na uszczelnienie powierzchni utrudniona jest infiltracja wód opadowych w głąb terenu. Przyczynia się to do zwiększenia spływu powierzchniowego z około 10% całego opadu do nawet 55%. Nadmiar wody trafia do systemów kanalizacyjnych poprzez nowy, nienaturalny przebieg ulic i chodników,

który warunkuje odmienne od naturalnych kierunki spływu wody (Graf 2014; Mrowiec, Sobczyk 2014). Zwiększenie retencji powierzchniowej to działanie spójne z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej stanowiącej o ochronie wód i ekosystemów wodnych.

Modelowanie hydrologiczne dotyczy przede wszystkim określenia zależności pomiędzy opadem efektywnym a odpływem powierzchniowym. Ze względu na brak monitoringu środowiska w tym zakresie na badanym obszarze stosuje się najczęściej metodę Soil Conservation Service (SCS). Polega ona między innymi na rozpoznaniu rodzaju pokrycia terenu oraz rodzaju gleb występujących na analizowanym obszarze (Banasik 1994; Banach, Szczepanek 2015).

OBSZAR BADAŃ I CEL OPRACOWANIA

Badany teren znajduje się w ścisłym centrum Poznania i jest ograniczony pierwszym wewnętrznym pierścieniem zieleni miejskiej. W średniowieczu przebiegały tam obronne mury miejskie. Teren ten jest mocno poprzecinany zwartą strukturą Starego Miasta, jednakże jest bardzo wyraźny (ryc. 1). Został mocno przekształcony w XX w. Obecnie prowadzone są działania mające na



Ryc. 1. System zieleni miejskiej (Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Poznania, dostęp: 12.04.2017)

Fig. 1. Urban greenery system (Study of conditions and directions of spatial development of the city of Poznań, access: 12/04/2017)

celu przywrócić jego naturalnego charakteru, zgodnego z założeniami planistycznymi znanymi z początku ubiegłego wieku. Przez wdrożenie rozwiązań zielonej infrastruktury można w stosunkowo krótkim czasie i niewielkim kosztem zwiększyć zasoby wodne obszaru i ustabilizować obieg wody. Obszar badań leży w strefie o ujemnym bilansie wodnym, dlatego jest kluczowe poprawienie jego sytuacji hydrologicznej. Niewielkie opady atmosferyczne (średnie roczne sumy: 500–550 mm) i wysoki wskaźnik odpływu determinują długotrwałą suszę hydrologiczną, a także podatność na intensywne wezbrania rzek.

Zmiany zagospodarowania terenów zielonych wpływają na warunki formowania się spływu powierzchniowego w mieście. Identyfikacja i ocena jego właściwości umożliwi rozpoznanie wartości granicznych dla zlewni zurbanizowanych w kontekście zrównoważonego rozwoju miasta. Celem opracowania jest określenie zmian współczynnika spływu powierzchniowego w latach 1916–2012 wraz z prognozą do roku 2020 w ścisłym centrum Poznania (ograniczonym pierścieniem zieleni miejskiej). Teren ten po II wojnie światowej poddany został silnej antropopresji i do końca XX w. władze miejskie kontynuowały tę politykę. Obecnie tendencja ta zmienia się. Omawiane obszary są uzupełniane o elementy zielonej infrastruktury, co prowadzi do częściowego przywrócenia zbliżonych do naturalnych warunków spływu powierzchniowego i infiltracji.

MATERIAŁY I METODY

W pracy wykorzystano archiwalne materiały kartograficzne – Messtischblatt (1916, 1946) oraz mapy topograficzne (1998) w skali 1 : 10 000 pochodzące z prywatnych zbiorów prof. Alfreda Kanieckiego. Mapy te przekształcono do postaci cyfrowej, nadano im koreferencje i zwektoryzowano. W ten sposób zrekonstruowano ówczesne pokrycie i rzeźbę terenu. Tak przygotowane materiały uzupełniono o nowoczesne dane przestrzenne Lida, BDOT 10k (2012) oraz Studium Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Poznania (2020). Pozwoliło to utworzyć sekwencję czasową: 1916–1946–1998–2012–2020 umożliwiającą porównanie danych przestrzennych.

W badaniach wykorzystano także mapy glebowo-rolnicze w skali referencyjnej 1 : 25 000, opracowane w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, oraz mapy typów infiltracyjnych gleb okolic Poznania (Żurawski 1975), które „przypisano” do każdego przedziału czasowego. Przyjęto założenie, że warunki te pozostały niezmiennie w czasie.

Przygotowany zbiór map wykorzystano do określenia zmian współczynnika spływu powierzchniowego na analizowanym obszarze. W tym celu posłużono się metodą SCS CN (1972), opracowaną przez Służbę Ochrony Gleb (Soil Conservation Service) w USA. W tej metodzie opad efektywny uzależnia się od

rodzaju gleb, sposobu użytkowania terenu zlewni oraz od uwilgotnienia gleb w zlewni, przed wystąpieniem założonej wysokości opadu. Wszystkie te czynniki ujmując bezwymiarowy parametr *CN*. Przyjmuje on wartości od 0 do 100, które odczytuje się ze specjalnych tablic (tab. 1) (Banasik 2009).

Tabela 1. Wartości parametru *CN* dla różnego pokrycia terenu i grup glebowych (SCS 1986)

Table 1. *CN* parameter values for different land cover and soil groups (SCS 1986)

Rodzaj pokrycia terenu (użytkowania zlewni)	Opis – warunki hydrologiczne	Wiersz	Wartości <i>CN</i> dla grup glebowych			
			A	B	C	D
Tereny otwarte: trawniki, parki, pola golfowe, cmentarze itp.	złe warunki hydrologiczne (trawa pokrywa do 50% powierzchni)	1	68	79	86	89
	średnie (pokrycie 50–75%)	2	49	69	79	84
	dobrze (pokrycie > 75%)	3	39	61	74	80
Tereny nieprzepuszczalne: utwardzone parkingi, dachy, jezdnie	–	4	98	98	98	98
Ulice i drogi	nieprzepuszczalne z poboczami i rowami otwartymi	5	83	89	92	93
	żwirowe	6	76	85	89	91
	gruntowe	7	72	82	87	89
Tereny handlowe i przemysłowe	ok. 85% powierzchni nieprzepuszczalnej	8	89	92	94	95
	ok. 72% powierzchni nieprzepuszczalnej	9	81	88	91	93
	ok. 65% powierzchni nieprzepuszczalnej	10	77	85	90	92
	ok. 38% powierzchni nieprzepuszczalnej	11	61	75	83	87
Tereny zamieszkałe – przy przeciętnej powierzchni działki	ok. 30% powierzchni nieprzepuszczalnej	12	57	72	81	86
	ok. 25% powierzchni nieprzepuszczalnej	13	54	70	80	85
	ok. 20% powierzchni nieprzepuszczalnej	14	51	68	79	84
	zagrody	15	59	74	82	86
Ugór	–	16	77	86	91	94
Rośliny okopowe	warunki przeciętne	17	67	77	83	87
Rośliny zbożowe	warunki przeciętne	18	62	73	81	85
Rośliny motylkowe	warunki przeciętne	19	60	72	80	83
Pastwiska	warunki przeciętne	20	49	69	78	84
Łąki	warunki przeciętne	21	30	58	71	78
	gęste	22	25	55	70	77
Lasy	średnio gęste	23	36	60	73	79
	rzadkie	24	45	66	77	83

Na potrzeby tej metody gleby podzielono na cztery grupy w zależności od możliwości powstawania odpływu powierzchniowego. Do poszczególnych grup zaliczono:

A – gleby o małej możliwości powstania odpływu powierzchniowego. Charakteryzują się dobrą przepuszczalnością, dużymi współczynnikami filtracji ($k > 7,6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Do grupy tej zalicza się: głębokie warstwy piasków, piaski z niewielką domieszką gliny, żwiry, głębokie warstwy lessów (oznaczenia na mapie PTG wg Ingara (1988): żg, żp, pl).

B – gleby o przepuszczalności powyżej średniej, średni współczynnik filtracji ($3,8 < k < 7,6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Należą do nich: gleby piaszczyste średnio głębokie, płytkie warstwy lessowe oraz łąki piaszczyste (oznaczenia na mapie PTG wg Ingara (1988): ps, pgl, pgm, płz, ls).

C – gleby o przepuszczalności poniżej średniej ($1,3 < k < 3,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Należą do nich: gleby uwarstwione z wkładkami słabo przepuszczalnymi oraz łąki gliniaste, płytkie warstwy łąk piaszczystych, gleby o niskiej zawartości części organicznych, gliny o dużej zawartości części ilastych (oznaczenia na mapie PTG wg Ingara (1988): gl, ip, pli, li).

D – gleby o dużej możliwości powstawania odpływu powierzchniowego. Charakteryzuje je bardzo mała przepuszczalność i bardzo mała wartość współczynnika filtracji ($k < 1,3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Do grupy tej należą gleby gliniaste, gliny pylaste, gliny zasolone, gleby uwarstwione z warstewkami nieprzepuszczalnymi (oznaczenia na mapie PTG wg Ingara (1988; 1993): gs, gc, i).

Warunki infiltracyjne zidentyfikowano na podstawie mapy typów infiltracyjnych gleb okolic Poznania (Żurawski, 1975), a użytkowanie terenu z odpowiednio wybranych map topograficznych miasta Poznania.

Obszarową zmienność użytkowania powierzchni zlewni, rodzaju gleb, sposobu uprawy i warunków hydrologicznych uwzględnia się w wartości *CN*, a oblicza się jako wartość średnią ważoną według zależności:

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

gdzie:

CNW – średnia ważona wartość 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 zlewni przyjęta za homogeniczną (jednorodną) [km^2],

n – liczba wyznaczonych w zlewni powierzchni homogenicznych.

Na kolejnym etapie wyznacza się potencjalną maksymalną retencję na analizowanym obszarze według wzoru:

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

gdzie:

S – potencjalna retencja obszaru [mm].

Według założeń metody SCS spływ powierzchniowy zaczyna się w momencie, gdy wysokość opadu przekroczy wysokość warstwy wody zatrzymanej podczas intercepcji, retencji powierzchniowej i infiltracji. Jeżeli straty początkowe są większe lub równe opadowi, to jest to równoznaczne z brakiem odpływu powierzchniowego. Zależność tę wyznacza się za pomocą następującego wzoru:

$$Sp = \mu \cdot S$$

gdzie:

Sp – straty początkowe [mm],

μ – współczynnik zależny od parametru CN ($CN \leq 70 = 0,075$; $70 \leq CN < 80 = 0,1$; $80 \leq CN < 90 = 0,15$; $CN \leq 90 = 0,2$).

Do badań porównawczych jako opad całkowity przyjęto zmienny opad całkowity o wysokości od 1 mm do 50 mm. Na tym obszarze jest to opad o prawdopodobieństwie wystąpienia równym 12,8, czyli około raz na 8 lat (Lorenc 2012). Badanie to powtórzono we wszystkich analizowanych przedziałach czasowych.

$$Pe(t) = \frac{(P(t) - Sp)^2}{P(t) - Sp + S}$$

gdzie:

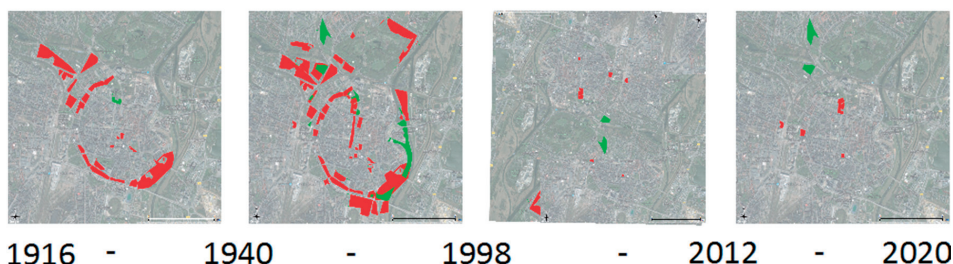
$Pe(t)$ – skumulowany opad efektywny [mm],

$P(t)$ – skumulowany opad całkowity [mm].

Współczynnik spływu powierzchniowego jest to stosunek ilości wody, która spłynie z danej powierzchni, do ilości wody, która spadła na tę powierzchnię. Jest to wielkość charakterystyczna dla każdego wybranego obszaru (Gałabuda 2008). Zależność $Pe(t)/P(t)$ została wskazana dla każdego przedziału czasowego przy zmiennym opadzie całkowitym od 1 mm do 50 mm.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie analizy porównawczej archiwalnych map (ryc. 2) dokonano rekonstrukcji rzeźby i pokrycia terenu przy założeniu niezmienności pozostałych komponentów środowiska. Określono parametr CN dla każdego przedziału czasowego (ryc. 3). Należy zwrócić uwagę, że duże różnice parametru wartości CN w poszczególnych przedziałach są wynikiem intensywnej urbanizacji. Wartość współczynnika w roku 1916 wynosiła 85,1 i sukcesywnie rosła do roku 2012. Najwyższy wzrost współczynnika (+2,5) odnotowano w latach

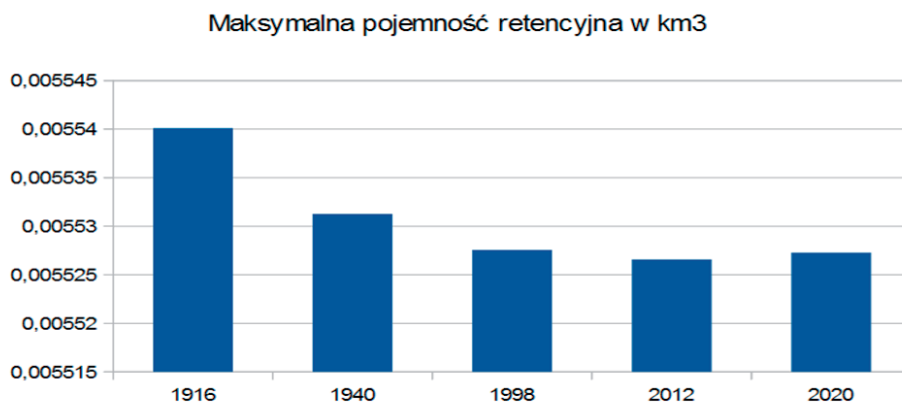


Ryc. 2. Zmiany parametru *CN* w poszczególnych przedziałach czasowych
Kolor czerwony – wyższy *CN*, zmiana negatywna, zmniejszona retencja, zwiększony spływ; kolor zielony – niższy *CN*, zmiana pozytywna, zwiększona retencja, zmniejszony spływ.

Fig. 2. Changes of *CN* parameter in time intervals;
red - higher *CN*, negative change, reduced retention, increased runoff; green - lower *CN*, positive change, increased retention, reduced runoff.

1946–1998. Zmiana ta wynika z intensywnej odbudowy i wzrostu zabudowy po II wojnie światowej, a także z doboru map (jest to najdłuższy przedział czasowy). Wzrost parametru *CN* oznacza zmniejszenie retencyjności obszaru i przyspieszenie spływu powierzchniowego.

Należy podkreślić, że zmiany użytkowania terenu nie mają wyłącznie negatywnego (w kontekście hydrologicznym) charakteru. Pomimo wielu inwestycji budowlanych w centrum miasta, na skutek naturalnej sukcesji powierzchnia niektórych terenów zielonych się zwiększyła. Największym wzrostem powierzchni cechuje się kompleks leśny w dolinie Warty. Zmiany te nie były wynikiem działania miejskich planistów, lecz sił natury.



Ryc. 3. Zmienność parametru *CN* w centrum Poznania w latach 1916–2020
Fig. 3. Variability of the *CN* parameter in the center of Poznań in the years 1916–2020

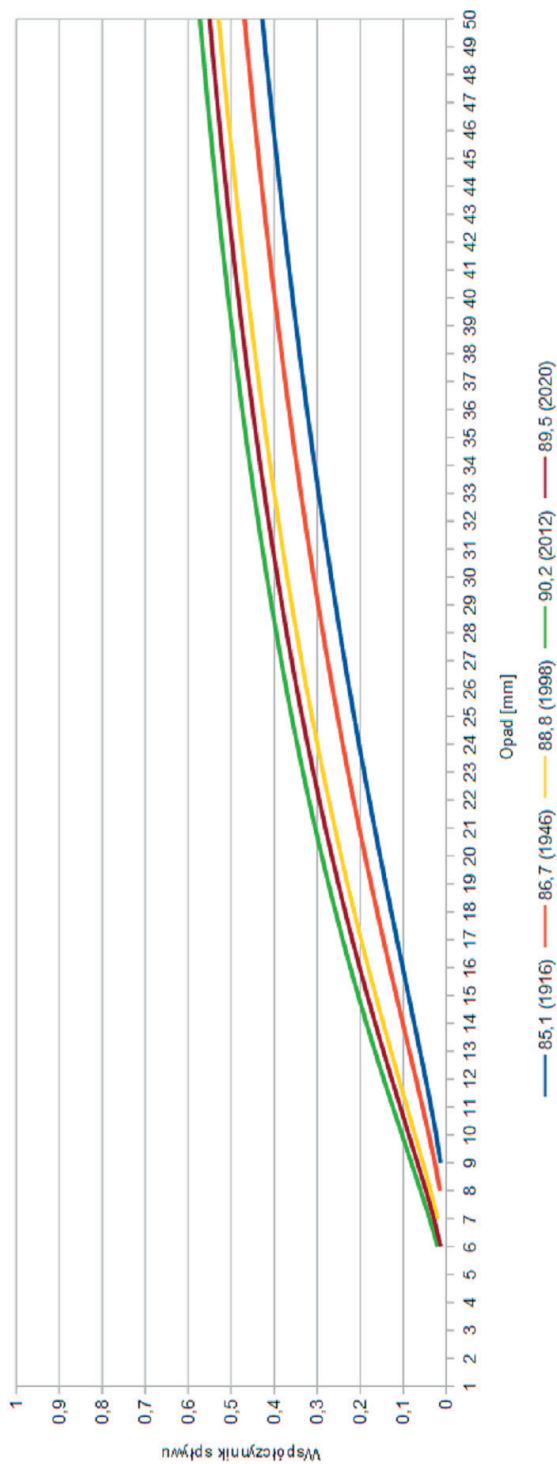
Obecnie intensywność zmian maleje, co wynika z nasycenia zabudową obszaru i zwiększenia świadomości konsekwencji nieracjonalnej gospodarki przestrzennej. Zmiany zagospodarowania zaczynają mieć inny charakter, na co wyraźnie wskazuje malejący parametr *CN*. Uwzględniając założenia zrównoważonego rozwoju i kompensacji zmian przyrodniczych, prognozy opracowane na podstawie Studium Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Poznania zakładają powolny powrót obszaru do swojego niezaburzonego w ostatnim wieku stanu.

Współczynnik spływu powierzchniowego obliczony metodą *SCS CN* jest ściśle uzależniony od wysokości opadu atmosferycznego. Z tego powodu nie można go jednoznacznie określić jako funkcję liniową parametru *CN*, ale obie te miary są proporcjonalne. Na wykresie (ryc. 4) przedstawiono zależność wartości parametru *CN* od wysokości opadu w Poznaniu według wszystkich przedziałów czasowych. W 2012 r. wartość współczynnika była najwyższa i przy opadzie 20 mm wynosiła już 0,3, podczas gdy w latach (1916, 1946, 1998) nie przekraczała 0,25. W tym przypadku (2012 r.) spływ powierzchniowy był inicjowany już po uzyskaniu opadu o wysokości 6 mm, a w ubiegłych latach było to odpowiednio: 1998 r. – 7 mm, 1946 r. – 8 mm, 1916 r. – 9 mm.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Mimo korzystnych dla rozwoju, funkcjonowania i ochrony zielonej infrastruktury założeń planistycznych nie zawsze przekładają się one na realizację w rzeczywistości. Przejawia się to w zmianach zagospodarowania terenu w granicach poznańskich klinów zieleni (Poniży, Jawgiel, 2013). Zmiany te pośrednio wpływają na stosunki wodne obszaru, w tym na spływ powierzchniowy, którego wielkości porównano w zależności od stopnia antropogenicznych przekształceń, a do analizy wykorzystano archiwalne źródła kartograficzne. Odpowiednie planowanie przestrzenne na terenach zurbanizowanych jest narzędziem do racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi. Należy pamiętać, aby możliwie zwiększać zasoby wodne przez utrzymywanie w dobrym stanie użytków zielonych. Ma to znaczenie dla zachowania najbardziej optymalnych warunków hydrologicznych i przeciwdziałania dysproporcjom między składowymi bilansu wodnego zlewni. Z przedstawionej analizy wynika, że odpowiednio prowadzone działania planistyczne mogą przyczynić się do poprawy warunków wodnych na terenach zurbanizowanych (Krężałek 2013; Graf 2014).

Wartości parametru *CN* mogą być podstawą do opracowywania obiektywnych scenariuszy zmian stosunków wodnych wynikających ze zmian w użytkowaniu terenu (Miler 2012). Przedstawiona metoda określania współczynnika spływu na podstawie parametru *CN* daje zmienne rezultaty i jest konieczne jej przetestowanie w warunkach eksperymentalnych, a nie modelowych.



Ryc. 4. Zależność współczynnika spływu od wysokości opadu i wartości parametru CN w latach 1916–2020

Fig. 4. Dependence of the runoff coefficient on the precipitation and the CN parameter in the years 1916–2020

Na przestrzeni lat strukturalne kliny zieleni w Poznaniu konsekwentnie zanikają. Największa degradacja zieleni w centrum miasta miała miejsce w okresie powojennym, co wpłynęło na stosunki wodne tego obszaru. Przekształcenie w ostatnim wieku 5% naturalnego obszaru na uszczelniony spowodowało zmiany spływu powierzchniowego o prawie 3%. Obecnie tendencja zagospodarowania przestrzeni zmienia się i czynione są starania o „odzyskanie” utraconych terenów zielonych. Sytuacja hydrologiczna w centrum Poznania w porównaniu z innymi miastami mimo negatywnych zmian jest dobra, a podstawą tej sytuacji jest wyjątkowy układ zieleni w mieście.

LITERATURA

- Banach W., Szczepanek R., 2015: *Zmiany parametru CN metody SCS w dorzeczu górnej Wisły, na podstawie danych rastrowych Corine Land Cover z lat 1990–2012*, Czas. Inż. Łąd., Środ. i Arch., t. XXXII, z. 62(3/1/15), lipiec–wrzesień, 7–17.
- Banasik K., 1994: *Model sedimentogramu wezbrania opadowego w małej zlewni rolniczej*, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Banasik K., 2009: *Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych*, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Gałąbuda G., 2008: *Określenie taryfa opłaty za ścieki opadowe*, Wodociągi i Kanalizacja, 4, 5–10.
- Graf R., 2014: *Przestrzenne zróżnicowanie spływu powierzchniowego w zlewniach zurbanizowanych na przykładzie miasta Poznania*, [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w mieście*, PTG, Kielce, 59–71.
- Ignar S., 1988: *Metoda SCS i jej zastosowanie do wyznaczania opadu efektywnego*, Przegl. Geofiz., XXXII(4), 451–455.
- Ignar S., 1993: *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych*, Wyd. SGGW, Warszawa, 56.
- Krężałek K., 2013: *Ocena wpływu zmian użytkowania zlewni rolniczej na jej właściwości retencyjne i parametry wezbrań*, 6. Konferencja Naukowa pod patronatem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi „Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie” 27/28.11.2013 Falenty.
- Lorenc H., 2012: *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne (cywilne i ekonomiczne) kraju*, Projekt Klimat, IMGW-PIB, Warszawa.
- Miler A.T., 2012: *Wpływ zmian użytkowania terenu na odpływy wezbraniowe z obszarów o znacznym zalesieniu roztocza środkowego*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, PAN, 173–182.
- Mrowiec M., Sobczyk M., 2014: *Ekologiczne zagospodarowanie wód opadowych – zielone dachy*, Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie, t. 14, z. 4(48), 53–61.
- Poniży L., Jawgiel K., 2013: *Rola dokumentów planistycznych w zachowaniu zielonej infrastruktury miasta (na przykładzie doliny Warty w Poznaniu)*, t. XXXVI, Problemy Ekologii Krajobrazu, Vol. 36, 5–12.
- SCS (Soil Conservation Service), 1972: *USDA-Soil Conservation Service*, Nat. Eng. Handb., Sec. 4, Hydrology, Waszyngton, D.C.
- SCS (Soil Conservation Service), 1986: *Urban hydrology for small watersheds*, Tech. Rep., 55, US Dept of Agric., Waszyngton, D.C.
- Żurawski M., 1975: *Strefy infiltracyjne*, Zaplecze Wodne Poznania, z. VIII, UAM, Poznań.