

GIS W HYDROLOGII LUBLINA

GIS IN HYDROLOGY OF LUBLIN

Wojciech Sobolewski¹, Leszek Gawrysiak²

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej

¹Zakład Hydrografii, ²Pracownia Geoinformacji

Słowa kluczowe: GIS, modelowanie hydrologiczne, spływ powierzchniowy, hydrologia miejska
Keywords: GIS, hydrological modeling, surface runoff, urban hydrology

Wprowadzenie

Lublin jest największym ośrodkiem miejskim we wschodniej części kraju. Położony jest w wyżynnym regionie zbudowanym ze skał węglanowych, tworzących zasobny zbiornik wodonośny. Wody podziemne są praktycznie jedynym źródłem zaopatrzenia w wodę ludności województwa lubelskiego. Zasoby te są odtwarzane w wyniku zasilania wodami opadowymi, które wnikają poprzez powierzchnię terenu do systemu szczelin, wytworzonych w miększych warstwach skał wieku kredowego. Procesy urbanizacyjne, zachodzące w centralnej części Wyżyny Lubelskiej, przyczyniają się do zmiany dróg krążenia wody w środowisku tego regionu, a w szczególności sposób modyfikują proces infiltracji, ograniczając zasilanie zbiornika wód podziemnych. Jednocześnie następuje przyspieszenie odpływu, w wyniku skierowania wód opadowych bezpośrednio do koryt rzecznych Bystrzycy i jej dopływów. Obniżenie wielkości dostępnych zasobów wodnych regionu może następować, nie tylko poprzez pominięcie przez znaczną część wód podziemnego ogniwa obiegu hydrologicznego i przyspieszenie jej odpływu, lecz także na skutek znacznie intensywniejszego niż w warunkach naturalnych, splukiwania i transportu zanieczyszczeń z obszaru zurbanizowanego, przez wody formujące falę spływu powierzchniowego.

Celem tego opracowania jest wyznaczenie zlewni miejskich Lublina, określenie ich podstawowych parametrów, warunkujących formowanie odpływu podczas intensywnych opadów deszczu oraz stworzenie prostego modelu hydrologicznego, pozwalającego na ustalenie objętości odpływu z poszczególnych zlewni, przy założonej wysokości opadów atmosferycznych. Obliczenie ilości wody opadowej, odpływającej z terenu miasta, umożliwiło także oszacowanie ładunków zanieczyszczeń i ich dróg spływu z terenu Lublina do systemu rzeczno-

Metodyka opracowania

Wykonanie analiz przestrzennych i obliczeń hydrologicznych wymaga integracji wszystkich danych przestrzennych, które mają być użyte. Z uwagi na to, że dane pochodzą z różnych źródeł konieczna była ich transformacja do układu PUWG 1992. Było to szczególnie ważne w przypadku zbioru danych, z przebiegiem sieci kanalizacyjnej na terenie Lublina – dane te pierwotnie nie posiadały żadnego układu współrzędnych i musiały być dokładnie dopasowane do innych elementów, zwłaszcza sieci drogowej. Drugim, równie ważnym elementem, są dane wysokościowe zapisane jako numeryczny model terenu (NMT). Model utworzono przez połączenie dwóch elementów – danych wysokościowych w formacie TIN (obszar w granicach administracyjnych miasta) z danymi rastrowymi w formacie Esri GRID, obejmującymi tereny wokół Lublina. W pierwszym etapie wygenerowano, na podstawie rysunku poziomicowego z map topograficznych 1:10 000, dane siatkowe o rozdzielczości 5 m obejmujące cały analizowany teren. Następnie dokonano konwersji danych fotogrametrycznych z formatu TIN, pochodzących z zasobów GUGiK, do formatu Esri GRID, o rozdzielczości 5 m. Tak przygotowane warstwy połączono „wtapiając” dokładniejsze dane z obszaru Lublina w model terenu z całego obszaru. W ten sposób uzyskano NMT o wysokiej dokładności w granicach administracyjnych Lublina.

Dane charakteryzujące użytkowanie terenu wygenerowano przez przetworzenie kilkunastu elementów Bazy Danych Topograficznych (TBD), w celu uzyskania jednej, ciągłej warstwy wektorowej. Na niewielkim obszarze, dla którego nie były dostępne dane z TBD, warstwę utworzono przez wektoryzację treści map topograficznych 1:10 000. Aby uzyskać możliwie najlepszą zgodność wydzieleni ze stanem faktycznym, należało zamienić liniowe drogi i alejki z TBD na wydzielania powierzchniowe, odpowiadające szerokością elementom rzeczywistym. W kolejnych etapach łączono zbiory danych wydzieleni powierzchniowych wyekstrahowanych z TBD, aż do uzyskania jednego zbioru danych. W efekcie otrzymano zbiór danych, w którym rozróżniono 25 typów użytkowania terenu. Dla potrzeb obliczeń wydzielenia pogrupowano na 9 kategorii o odmiennych właściwościach hydrologicznych. Tak uzyskana warstwa została zweryfikowana w oparciu o aktualną ortofotomapę z zasobu GUGiK. Było to szczególnie ważne w przypadku obszarów, na których ostatnio prowadzono duże inwestycje budowlane. Do budynków dołączono informację o ich wysokości, co w dalszym etapie ułatwiło identyfikację obiektów podłączonych bezpośrednio do sieci kanalizacji deszczowej.

W kolejnym etapie zastosowano oprogramowanie Esri ArcGIS do stworzenia bazy danych o wybranych elementach środowiska Lublina. W skład bazy wchodzi: mapy topograficzne i glebowo-rolnicze, dane rastrowe o pokryciu terenu (CORINE), numeryczny model terenu oraz liczne warstwy wektorowe opisujące między innymi sieć rzeczną dorzecza Bystrzycy, granice administracyjne gminy miejskiej oraz elementy użytkowania terenu, takie jak: układ sieci drogowej, parkingi i place, zabudowa, obiekty przemysłowe i handlowe, tereny zielone i systemy upraw pozyskane z TBD. Szczególnie istotnym elementem opisywanej bazy jest wektorowa warstwa opisująca układ przestrzenny sieci kanalizacyjnej Lublina, udostępniona przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji.

Zintegrowane dane zgromadzone w bazie podlegały analizom, które miały na celu wyznaczenie zlewni miejskich i dróg odpływu powierzchniowego wód deszczowych. Typowy proces analizy hydrologicznej numerycznego modelu terenu został zmodyfikowany przez wprowadzenie dodatkowej procedury określanej w literaturze (Saunders, Maidment, 1996)

jako *burn-in the streams*, polegający na obniżeniu wartości wysokości modelu terenu w miejscach występowania sieci drenażu. Pozwala to, na wymuszenie właściwych kierunków spływu podczas analizy powierzchni topograficznej, opisanej przez cyfrowy model wysokościowy terenu. W opisywanym przypadku sieć drenażu składała się z koryt systemu rzeczno-Bystrzycy oraz przewodów kanalizacyjnych odprowadzających wody deszczowe (rysunek). W wyniku analizy powierzchni tak przygotowanego modelu terenu otrzymano zlewnie topograficzne o zmodyfikowanym kształcie, wynikającym z uwzględnienia sieci kanalizacji deszczowej Lublina. Dla zlewni wyznaczono parametry warunkujące spływ powierzchniowy – średni spadek terenu, gęstość sieci kanalizacji deszczowej i udział terenów nieprzepuszczalnych.

Obliczenia hydrologiczne

Do ustalenia ilości wody formującej odpływ wybrano metodę SCS CN (*Soil Conservation Service Curve Number method*) opracowaną przez amerykańską Służbę Ochrony Zasobów Naturalnych (US Department of Agriculture, 1986). Polega ona na określeniu wysokości opadu efektywnego, transformowanego w zlewni na odpływ. Podstawą przeprowadzenia obliczeń jest znajomość struktury użytkowania powierzchni badanego obszaru, charakteru pokrywy roślinnej, stanu uwilgotnienia zlewni oraz występujących tam gleb.

Warunkiem zastosowania metody SCS CN było rozdzielenie gleb na cztery grupy, w zależności od ich cech hydrologicznych. Według Ignara (1988, 1993) są to: 1) gleby o małej możliwości uformowania odpływu powierzchniowego; 2) gleby o przepuszczalności powyżej średniej; 3) gleby o przepuszczalności poniżej średniej; 4) gleby tworzące dogodnie warunki powstawania odpływu powierzchniowego. Identyfikację i podział gleb na wymienione grupy przeprowadzono w oparciu o Mapę Glebowo-Rolniczą w skali 1:25 000 opracowaną przez IUNG-PIB w Puławach. Typy użytkowania terenu w obszarze badań określono na podstawie danych wektorowych, wchodzących w skład bazy danych oraz arkuszy map topograficznych w skali 1:10 000.

Połączenie informacji zawartych w obu wymienionych zbiorach danych pozwoliło wyznaczyć parametr CN (*curve number* – numer krzywej SCS) dla całego zurbanizowanego obszaru objętego analizami. Parametr ten przyjmuje wartości od 0 do 100, przy czym CN = 100 oznacza, że powierzchnia terenu w najmniejszym stopniu nie chłonie wody, a cały opad zamienia się w odpływ. Na przykład, tereny określone jako nieprzepuszczalne mają wartość CN = 98 niezależnie od tego, na jakim podłożu glebowym występują, natomiast trawnik na glebie przepuszczalnej otrzymuje parametr CN o wartości poniżej 40, co w praktyce oznacza, że obszar taki nie generuje odpływu powierzchniowego, nawet przy bardzo wysokich opadach. Wartości CN dla obszarów zurbanizowanych i użytkowanych rolniczo podają odpowiednie tabele instrukcji TR-55, opracowanej przez Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (US Department of Agriculture, 1986). Numery krzywych mogą podlegać modyfikacjom w pewnym zakresie. Wartość przypisaną do danego terenu na podstawie grupy glebowej i sposobu pokrycia terenu można zwiększyć lub zmniejszyć w zależności od aktualnych warunków uwilgotnienia gruntu. Wartość parametru CN jest stała w czasie analizowanego zdarzenia. Do jego obliczeń wykorzystuje się odpowiednie formuły lub zestawienia tabelaryczne (Ciepielowski, Dąbkowski, 2006).

Dla zlewni niejednorodnej, to jest zróżnicowanej pod względem użytkowania terenu i podłoża glebowego, wartość parametru CN dla całej zlewni jest średnią ważoną obliczaną według wzoru:

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

gdzie: A – powierzchnia zlewni [km^2],

A_i – powierzchnia obszaru jednorodnego pod względem współczynnika CN [km^2],

CN_i – wartość współczynnika CN dla obszarów jednorodnych A_i ,

n – liczba obszarów jednorodnych.

W opisywanej tu procedurze nie obliczano średniego numery krzywej w zlewni. Parametr CN był wyznaczany dla regularnych pól podstawowych, tworzących raster (zapisany np. w formacie Esri GRID), stanowiącą podstawę dalszych obliczeń.

Kolejnym krokiem obliczeniowym było ustalenie potencjalnej retencji w polach podstawowych z wykorzystaniem wzorów zaczerpniętych z instrukcji TR-55 (US Department of Agriculture, 1986):

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

gdzie: S – potencjalna retencja zlewni [mm],

CN – parametr obliczony według wyżej opisanej procedury.

Według metody SCS wezbranie następuje, gdy opad przekroczy wysokość strat początkowych, na które składają się ilości wody zatrzymane w wyniku procesów intercepcji, retencji powierzchniowej i infiltracji. Straty początkowe oblicza się, często stosując empiryczną formułę:

$$S_p = 0,2 \times S$$

gdzie: S_p – straty początkowe [mm],

S – potencjalna retencja zlewni [mm].

Do liczenia wielkości strat można także zastosować wzór ze zmienną wartością współczynnika:

$$S_p = \mu \times S$$

gdzie: μ – współczynnik przyjmujący wartości w zależności od numeru krzywej SCS.

Zgodnie z instrukcją TR-55 numery krzywych mogą być dobierane, w pewnym zakresie, w zależności od wilgotności początkowej zlewni.

Opad efektywny obliczany jest według wzoru:

$$P_e = \frac{(P - S_p)^2}{(P - S_p) + S}$$

gdzie: P_e – opad efektywny [mm],

P – opad całkowity [mm],

S_p – straty początkowe [mm],

S – potencjalna retencja zlewni [mm].

Gdy straty początkowe przewyższają opad całkowity lub są mu równe, to opad efektywny jest równy zeru, a co za tym idzie, odpływ powierzchniowy nie występuje. W sytuacji, kiedy opad rzeczywisty przekroczy wielkość strat początkowych, rozpoczyna się proces odpływu, którego wysokość jest równa opadowi efektywnemu, obliczonemu z powyższej formuły (US Department of Agriculture, 1986).

Dla obszaru Lublina obliczenia parametru CN wykonane zostały przy użyciu programu GIS. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano warstwę rastrową parametru CN o zasięgu całego obszaru badań. Na jej podstawie ustalono wysokość opadu efektywnego, przy zadanych wysokościach opadów całkowitych, a także obliczono odpowiadającą tym opadom objętość odpływu, generowaną w każdej komórce podstawowej modelu. Wartości te, w najprostszym przypadku można sumować w poszczególnych zlewniach, uzyskując informację o całkowitej objętości odpływu wywołanego przez opad atmosferyczny o określonej wysokości. Wartości odpływu z poszczególnych komórek modelu, można także kumulować wzdłuż wyznaczonych wcześniej linii sieci drenażu, aby śledzić przyrost objętości wody deszczowej, spływającej po powierzchni terenu w dowolnym punkcie zlewni, poczynając od najwyższego punktu działu wodnego, a kończąc na ujściu systemu rzeczno. W tabeli podano przykładowe wyniki analiz dla zlewni kontrolnej „Głęboka”.

Tabela. Zestawienie obliczonej i zmierzonej objętości odpływu formowanego przez pojedyncze zdarzenie opadowe w zlewni kontrolnej „Głęboka”

Objętość odpływu według modelu [m ³]	Obliczona poprawka [m ³]	Objętość odpływu skorygowana [m ³]	Objętość odpływu mierzona [m ³]
7 416	- 697	8 113	8 088
11 681	401	11 280	11 314
20 887	2274	18 613	18 607
30 562	3513	27 049	27 020
40 572	4006	36 566	36 554

Metoda oceny spływu zanieczyszczeń z wodami powierzchniowymi

Tereny miejskie są postrzegane jako znaczące obszarowe (nie punktowe) ogniska zanieczyszczeń (ang. *non-point Skurce*, NPS). Zanieczyszczenia tego typu, w odróżnieniu od punktowych zrzutów ścieków na przykład z oczyszczalni przemysłowych i komunalnych, mają źródło na terenach zurbanizowanych, które są zwykle zróżnicowane przestrzennie i zajmują duże powierzchnie. Emisje zanieczyszczeń obszarowych są wywoływane opadami deszczu lub spływem wód roztopowych. Wody, przemieszczając się po powierzchni terenu, powodują spłukiwanie substancji naturalnych i zanieczyszczeń antropogenicznych. Substancje te są transportowane przez wody i wraz z nimi dostają się w końcu do wód powierzchniowych i gruntowych. Dodatkowym efektem spływu wód deszczowych z obszarów zurbanizowanych jest zmiana temperatury wody, wywołana jej ogrzewaniem od ciemnych i nieprzepuszczalnych powierzchni.

Zanieczyszczenia obszarowe, które dostaną się do wód, nie mogą być w łatwy sposób wyizolowane i usunięte ze względu na ich powszechność i rozproszenie. Są one identyfiko-

wane jako podstawowa przyczyna problemów jakości wody. Oddziaływanie różnego typu zanieczyszczeń obszarowych na konkretne zasoby wodne jest bardzo złożone i nie zawsze może być w pełni ocenione. Wiadomo jednak, że zanieczyszczenia te mają szkodliwy wpływ na zasoby wody pitnej, obiekty rekreacyjne, gospodarkę rybacką i środowisko naturalne.

Jako podstawę przeprowadzonych obliczeń przyjęto informację o przestrzennym rozkładzie odpływu, wywołanego hipotetycznym opadem nawałnym o wysokości 30 mm. Dane te, były wynikiem obliczeń wykonanych opisaną wcześniej metodą SCS CN. Kolejnym elementem wykorzystanej tu bazy danych był numeryczny model terenu o rozdzielczości 5 m oraz uzyskana na jego podstawie warstwa kierunków odpływu (*Flow Direction*), niezbędna do obliczeń wartości odpływu skumulowanego, ważonego. Wagami są dane przestrzenne w formacie Esri GRID, zawierające informacje o ładunkach zanieczyszczeń emitowanych z powierzchni terenu. Listę danych zamyka rastrowa warstwa typów użytkowania terenu na obszarze objętym opracowaniem.

Zastosowano następującą procedurę obliczeniową (Saunders, Maidment, 1996). Do zbioru danych rastrowych (Esri GRID) danych przestrzennych, opisujących użytkowanie terenu, dołączona została tabela atrybutowa (operacją *join table* w ArcGIS) z wartościami średnich stężeń zanieczyszczeń, które ustalane są przez badania laboratoryjne próbek wody, pobieranych podczas spływu wód opadowych. W ten sposób możliwe jest wygenerowanie cyfrowych map stężeń poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń dla obszaru Lublina. Dane te w połączeniu z cyfrową mapą odpływu, pozwoliły uzyskać zbiór rastrowy opisujący ładunki zanieczyszczeń, emitowanych w poszczególnych komórkach modelu. Obliczenia wykonano przy użyciu narzędzia Raster Calculator (ze zbioru funkcji Map Algebra) w programie ArcGIS według formuły:

$$\text{stężenie (mg} \times \text{dm}^{-3}) \times \text{odpływ (m}^3) \times 10^{-3} = \text{ładunek (kg)}$$

Obliczenie sum ładunków w poligonach, wyznaczonych przez działki wodne, pozwoliło ustalić łączną ilość emitowanej substancji w zlewniach miejskich, a odniesienie tych wartości do powierzchni poszczególnych zlewni pozwoliło na wygenerowanie kartogramów, ukazujących nasilenie emisji poszczególnych substancji zanieczyszczających wody odpływowe, w różnych obszarach miasta.

Większość obliczeń przeprowadzono przy użyciu oprogramowania ArcGIS, wraz z rozszerzeniami Spatial Analyst i Hydrologic Modeling. Wykorzystano także oprogramowanie L-Thia GIS, ułatwiające między innymi ustalenie parametrów CN, opadu efektywnego i objętości odpływu.

Wyniki

Metoda SCS CN opiera się na założeniu, że różnym zestawieniom typów gleb i rodzajów użytkowania terenu można przyporządkować krzywe o określonych numerach, które określają zależność opadu efektywnego, a więc również odpływu powierzchniowego od wysokości opadu rzeczywistego, który wystąpił w zlewni. Przeprowadzone obliczenia pozwalają oszacować odpływy z różnych terenów miasta, stanowiących obszary jednorodnie pod względem hydrologicznym, w warunkach średniego uwilgotnienia gruntu, przy założonej wysokości opadu atmosferycznego. Wiarygodne wyniki można uzyskać stosując odpowiednie

metody obliczeniowe. Rezultaty obliczeń zweryfikowano przez zestawienie ich z wynikami pomiarów terenowych w zlewni kontrolnej, uzyskanymi podczas obserwacji odpływów burzowych, wykonanych w trakcie badań terenowych (lata hydrologiczne 2011 i 2012). Krzywe SCS dobierano przy uwzględnieniu faktu, że warunki wilgotności gruntu w okresie badań były niższe niż przeciętne. Wartości współczynników CN modyfikowano w niewielkim zakresie, kierując się parametrami podanymi w tabeli. Zmiany numerów krzywych przyniosły pewne rezultaty polegające na zbliżeniu wartości objętości odpływu obliczanych przez model, do wartości mierzonych w zlewni eksperymentalnej, jednak wyniki obliczeń odbiegały nadal od wartości rzeczywistych (tabela). Jest to sytuacja dość często opisywana w literaturze. Wynika ona z faktu, że model SCS CN był projektowany dla Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej i nie zawsze sprawdza się w warunkach typowych dla innych krajów. Zwykle w takiej sytuacji podejmuje się próby zmodyfikowania działania modelu przez stosowanie różnorodnych metod dobierania parametrów wpływających na jego działanie.

W przypadku opracowania dla Lublina przyjęto założenie, że obliczenia zostaną wykonane w komórkach o rozdzielczości 10 m, a następnie zagregowane dla wydzielonych zlewni. Również wszelkie modyfikacje warunków wpływających na obliczenia powinny odbywać się w takich polach podstawowych. W trakcie badań terenowych mierzono odpływy ze zlewni kontrolnych w kanałach burzowych za pomocą przepływomierzy elektronicznych. Dysponując wynikami tych pomiarów dla różnego nasilenia opadów, udało się ustalić zależność, która pozwala obliczyć wartość poprawki dla dowolnej wysokości opadu efektywnego. Dzięki narzędziom GIS możliwe było utworzenie rastrowych zbiorów korygujących opad efektywny i odpływ.

Obliczenia wartości rzeczywistego (skorygowanego) opadu efektywnego zostały wykonane przez odjęcie poprawek od wartości ustalonych za pomocą modelu SCS CN. Wykorzystano do tego narzędzie analizy przestrzennej umożliwiające wykonywanie działań matematycznych na warstwach informacyjnych mapy cyfrowej. Wynikiem działania, opisanego powyżej procedury, są mapy odpływu generowanego w polach podstawowych modelu. Dane te wykorzystano do zliczenia sum objętości odpływu w poszczególnych zlewniach.

Na badanym obszarze głównym dostawcą substancji biogennej, reprezentowanych tu przez związki azotu, są tereny podmiejskie o charakterze przejściowym, charakteryzujące się dużym udziałem obszarów użytkowanych rolniczo. W przypadku analizy zanieczyszczeń metalami najwyższe koncentracje występują w obszarach najsilniej zurbanizowanych, charakteryzujących się najwyższym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych spośród wszystkich zlewni miejskich Lublina. Najniższe wartości ładunków ołowiu mają zlewnie słabo zurbanizowane. Analiza rozmieszczenia ładunków skumulowanych pokazuje, że znaczna ilość ołowiu dociera do Bystrzycy licznymi, krótkimi odcinkami dopływów ze zlewni zurbanizowanych położonych na lewym brzegu rzeki. Są to zlewnie Śródmieścia i osiedli mieszkaniowych, ulokowanych w północno-zachodniej części Lublina (Sobolewski, Gawrysiak, 2012).

Jakość działania modelu można ocenić porównując wyniki obliczeń z rezultatami obserwacji wykonanych w zlewniach kontrolnych. Stężenie azotu całkowitego, ustalone jako średnia ze stężeń przyjętych jako podstawa obliczeń, wynosi $1,9 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$. Jest to wartość niższa, niż średnia wartość mierzonego stężenia azotu całkowitego w wodach spływu powierzchniowego ($3,71 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$), jednak leżąca powyżej kwartyłu dolnego ($1,11 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$) a więc bliższa wartości średniej niż minimalnej. Podobną sytuację obserwujemy porównując tę „teoretyczną” wartość ze stężeniami azotu całkowitego w wodach Bystrzycy poniżej Zalewu Zemborzyckiego i powyżej zrzutu wód z oczyszczalni w Hajdowie.

Przeprowadzenie weryfikacji modelu było możliwe dla ładunków azotu całkowitego. W dniu 8.06.2011 r. w zlewni ulicy Wapiennej wystąpił opad nawalny o wysokości 35,5 mm. Spowodował on spływ ładunku azotu całkowitego, który wyniósł $5,64 \text{ kg} \times \text{km}^{-2}$. W wyniku obliczeń wykonanych przy użyciu modelu hydrochemicznego dla porównywalnego opadu o wysokości 30 mm uzyskano spływ ładunku azotu w ilości $4,5 \text{ kg} \times \text{km}^{-2}$. Przy różnicy wysokości opadu wynoszącej 15% różnica ładunku wyniosła około 20%. Wyniki obliczeń i pomiarów są zbliżone, co wskazuje na przyjęcie właściwych założeń i poprawne wykonanie obliczeń. Wynik działania modelu w zakresie obliczenia ładunków azotu całkowitego można uznać za zadowalający, gdyż rezultaty są zgodne z oczekiwaniami i nie odbiegają znacznie od wartości zebranych w wyniku prac terenowych w zlewniach kontrolnych.

Wnioski

Zaprezentowana metoda, pozwala na wyznaczenie na obszarze zlewni miejskich, wielkości spływu wody wraz z zanieczyszczeniami, w trakcie zjawisk wywołanych opadami burzowymi. Zlewnie, dające najwyższe wartości odpływu, pochodzącego z opadów burzowych, znajdują się na lewym brzegu Bystrzycy, to jest w zasięgu Płaskowyżu Nałęczowskiego, krainy geograficznej charakteryzującej się urozmaiconą rzeźbą i znacznymi spadkami terenu.

Innym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu spływu powierzchniowego jest wysoki udział obszarów nieprzepuszczalnych w strukturze użytkowania gruntów miejskich. Według wyników analiz przestrzennych najczęściej terenów nieprzepuszczalnych znajduje się w Śródmieściu. Należy tu zaznaczyć, że to właśnie istnienie tych nieprzepuszczalnych terenów w znacznej mierze wpłynęło na wysokie wartości objętości odpływu obliczane przez model SCS CN.

Opisane powyżej czynniki wywołujące intensywne odpływy wód pochodzenia opadowego spowodowały, że zurbanizowane zlewnie Śródmieścia zostały wyposażone w gęstą sieć kanalizacji deszczowej. Te podziemne drogi drenażu przyczyniają się do skrócenia czasu koncentracji odpływu i wymuszają sytuację, w której duże ilości wód ze zlewni miejskich szybko odpływają kolektorami i są zrzucane do koryta Bystrzycy.

Sytuacja, w której zlewnie Śródmieścia formują najwyższe odpływy, jest charakterystyczna zarówno dla opadów niższych do 20 mm jak i opadów wysokich, sięgających 50 mm i więcej. Oznacza to, że te właśnie zlewnie zawsze gwałtownie reagują na opad. Na szczególną uwagę zasługują zlewnie o niewielkiej powierzchni, ale zawsze dające największe odpływy jednostkowe. Leżą one po lewej stronie Bystrzycy, na obszarze występowania stosunkowo dużych spadków terenu i są silnie zabudowane. Ich sieć kanalizacji burzowej nie jest zbyt gęsta, co oznacza ograniczone możliwości szybkiego usunięcia znacznych ilości wód opadowych. Obszary te mogą być szczególnie narażone na szkody wywołane silnymi opadami atmosferycznymi o charakterze burzowym. Zlewnie te powinny być w przyszłości w sposób szczególny objęte programem precyzyjnie zorganizowanych obserwacji i badań hydrologicznych.

Literatura

- Ciepielowski A., Dąbkowski S.L., 2006: Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz.
- Ignar S., 1988: Metoda SCS i jej zastosowanie do wyznaczania opadu efektywnego. *Przegląd Geofizyczny* t. 33, z. 4.
- Ignar S., 1993: Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Saunders W.K., Maidment D.R., 1996: A GIS Assessment of Nonpoint Source Pollution in the San Antonio – Nueces Coastal Basin, CRWR Online Report 96-1.
- Sobolewski W., Gawrysiak L., 2012: Ocena wielkości splywu z obszaru Lublina z zastosowaniem metody SCS CN. [W:] Michalczyk Z., Ocena warunków występowania wody i tworzenia się splywu powierzchniowego w Lublinie. Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska, t. X, Wyd. UMCS, Lublin.
- US Department of Agriculture, 1986: Urban hydrology for small watersheds, Technical Release 55 (TR-55) (Second Edition ed.), Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.

Abstract

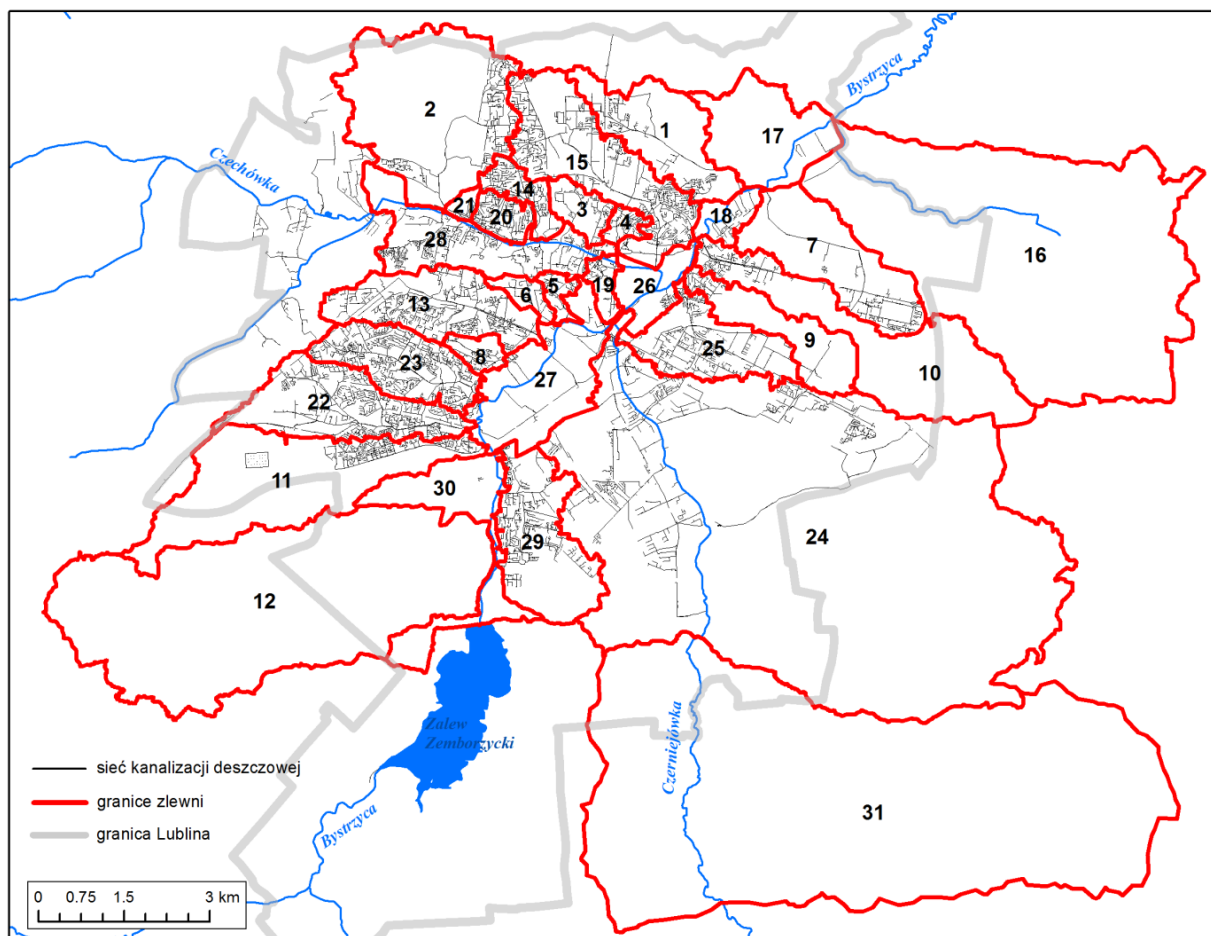
The aim of this paper is to present the method of determining urban catchment on the example of Lublin, the determination of the basic topographical and hydrological parameters conditioning formation of surface runoff and drainage during heavy rains and to create and test a simple hydrological model, sufficient for determining the volume of outflow from each catchment with assumed amount of precipitation caused by summer rain storms. Calculation of the amount of rain water flowing out from the city allows also to estimate pollutant loads and their run-off routes into the river system.

To determine the volume of water involved in the outflow SCS CN method (Soil Conservation Service Curve Number method) was selected. This method is developed by the U.S. Natural Resources Conservation Service. To describe the elements of the environment which determine hydrologic phenomena, spatial data from different sources were used. Spatial data were integrated in one database. To the information layer describing the land use, array of values of average concentrations of pollutants was included. The modeling results were confirmed by observations in experimental catchments.

Calculations were performed using ArcGIS software, with Spatial Analyst and Hydrologic Modeling extensions. Also, L-Thia GIS software was used to determine the parameters of CN, effective precipitation and outflow volumes.

dr Wojciech Sobolewski
wojciech.sobolewski@umcs.pl

dr Leszek Gawrysiak
leszek.gawrysiak@umcs.pl



Rys. Sieć drenażu i zlewnie miejskie Lublina:

1. Ponikwoda
2. Czechów-Polygonowa
3. Lubartowska-Jaczewskiego-Chodźki
4. Podzamcze-Czwartek
5. Narutowicza-Rusalka
6. Lipowa-Piłsudskiego
7. Zadębie
8. Gliniana
9. Tatarsy
10. Dolna Melgiewska
11. Węglinek-Stasin
12. Stary Gaj-Zemborzycy
13. Głęboka
14. Wieniawskiego-Nowowiejskiego
15. Bursaki-Kalinowszczyzna
16. Wólka-Zadębie
17. Hajdów
18. Dolna Turystyczna
19. Stare Miasto
20. Moniuszki-Lipińskiego
21. Kosmowskiej
22. Węglin-Czuby
23. LSM-Czuby
24. Kunickiego
25. Witosa-Krańcowa
26. Bronowice
27. Piaski-Krochmalna
28. Sławinek-Śródmieście
29. Diamentowa
30. Majdan Wrotkowski
31. Mętów-Głusk