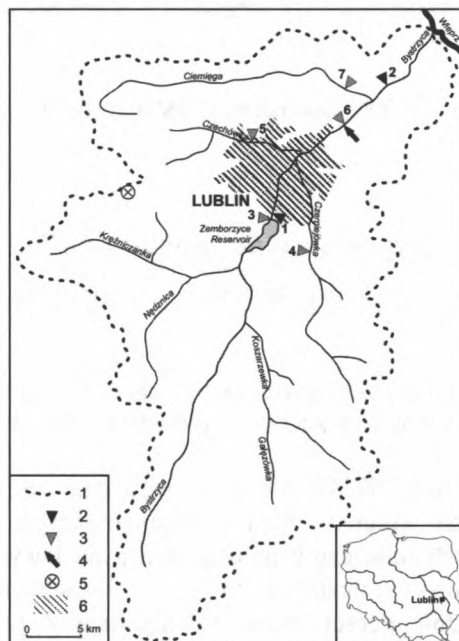


w gospodarce stawowej i związanej z nią hodowlą ryb, do wytwarzania energii i napędzania urządzeń – w tym również służących dostarczaniu wody źródlanej do miasta (Łoś 1986). W połowie XVIII wieku rozpoczęto pierwsze planowe odwodnienia dolin, umacniano groble i podejmowano regulację koryt, a w XIX wieku zlikwidowano w dolinie Bystrzycy stawy.



Ryc. 1. Położenie Lublina w dorzeczu Bystrzycy; 1. dział wodny, 2. wodowskazy IMiGW (1. Lublin, 2. Sobianowice), 3. wodowskazy Zakładu Hydrografii (3. Zapora, 4. Mętów, 5. Skansen, 6. Hajdów, 7. Pliszczyn), 4. rzut ścieków z oczyszczalni komunalnej, 5. posterunek opadowy, 6. obszar zwartej zabudowy miejskiej

Fig. 1. Location of Lublin in the Bystrzyca River basin. 1. watershed, 2. water gauges of Institute of Meteorology and Water Management (1. Lublin, 2. Sobianowice), 3. water gauges of the Department of Hydrography (3. water dam, 4. Mętów, 5. skansen, 6. Hajdów, 7. Pliszczyn), 4. sewage drop from sewage treatment plant, 5. precipitation station, 6. urbanized area

Pod koniec tego wieku w dolinie Bystrzycy wybudowano pierwsze studnie głębinowe należące do obecnego ujęcia „Centralna”. Wraz z wybudowaniem tego i następnych ujęć miasto oparło gospodarkę wodną na wykorzystywaniu zasobów podziemnych, głównie z uwagi na bardzo dobrą jakość wód podziemnych i łatwą ich dostępność oraz korzystne warunki do budowy studzien. W 1929 roku uruchomiono ujęcie „Wrotków”, wybudowane również w dolinie Bystrzycy. Rozwój demograficzny i przestrzenny Lublina w drugiej połowie XX wieku zwiększył antropopresję, szczególnie poprzez pobór wód podziemnych i zabudowę terenu, w tym również dolin rzecznych (Michalczyk, Łoś 1997). Koryta rzek uregulowano

i obwałowano wałami przeciwpowodziowymi, a w dnach dolin wybudowano główne szlaki komunikacyjne. W drugiej połowie XX wieku oddano do eksploatacji nowe ujęcia wody podziemnej: w 1957 roku „Dziesiąta” w dolinie Czerniejówki, w 1961 roku „Sławinek” w dolinie Czechówki, w latach 70. ubiegłego wieku ujęcie „Prawiedniki”, a w latach 90. „Wilczopole”.

Konsekwencją dużego poboru wody było obniżenie głównego zwierciadła wody podziemnej, lokalny zanik wód podziemnych w utworach czwartorzędowych i wysychanie studzien kopanych oraz osuszenie pierwotnie podmokłych den dolinnych. Wieloletnia i systematycznie narastająca eksploatacja wód doprowadziła do wytworzenia się leja depresyjnego, którego zasięg i głębokość zmieniała się wraz z wielkością poboru wód podziemnych oraz zasilania atmosferycznego. Największy jego zasięg – 201 km² – stwierdzono w 1992 roku, przy eksploatacji 50,0 mln m³/rok. Od roku 1994 obserwuje się powolne wypełnianie leja depresyjnego i zmniejszanie się jego zasięgu (Michalczyk 1997). W latach 2001–2007, przy poborze wody na poziomie 23–27 mln/m³, lubelski lej depresyjny obejmował powierzchnię 120–125 km² (Michalczyk 2005). Zmieniły się również warunki zasilania rzek i zasobów podziemnych oraz kontakty hydrauliczne między wodami powierzchniowymi i podziemnymi (Łoś, Michalczyk 1984, 1989; Michalczyk 1997).

PRZEPIŁYWY RZEK NA TERENIE LUBLINA W 2007 ROKU

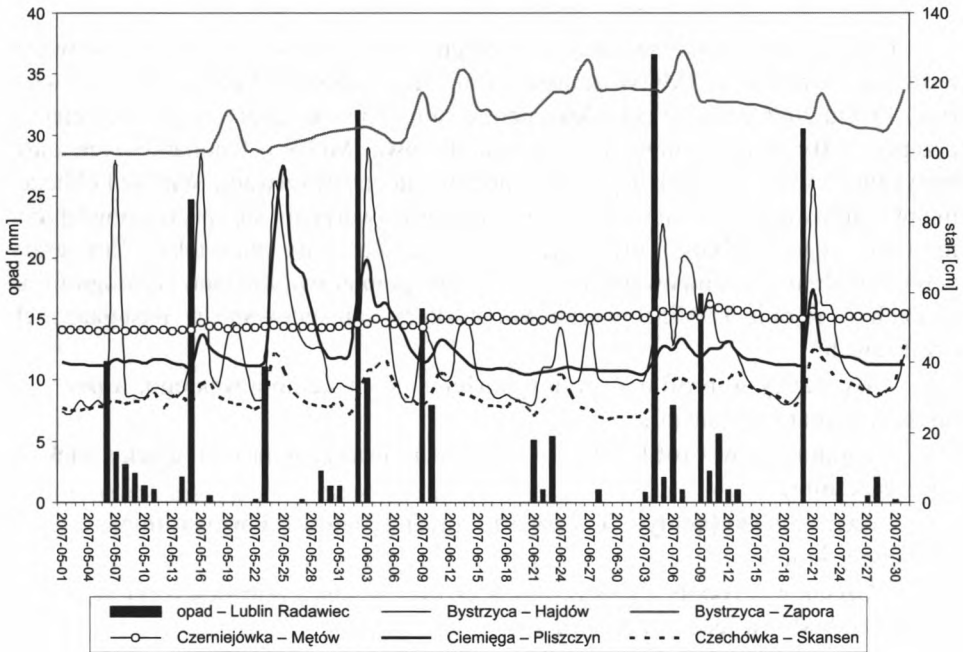
Dotychczas podstawowe dane hydrometryczne dla Bystrzycy były uzyskiwane z dwu wodowskazów IMGW zainstalowanych w profilach Lublin i Sobianowice (ryc. 1). Od 2006 roku, w celu dokumentowania wpływu aglomeracji lubelskiej na przepływy Bystrzycy, uzupełniono sieć pomiarową IMGW o 5 dodatkowych automatycznych wodowskazów (ryc. 1). Umożliwiają one obserwacje stanów i obliczenie przepływów oraz ocenę roli obszaru miasta w tworzeniu się spływu powierzchniowego, jego wielkości oraz czasu trwania. Zainstalowano także limnigrafy w obszarach niezurbanizowanych (ryc. 1). Sieć pomiarową Zakładu Hydrografii na rzekach w rejonie Lublina tworzą wodowskazy zainstalowane w następujących przekrojach:

- Bystrzycy w profilu Zapora (poniżej Zalewu Zemborzyckiego, a powyżej obszaru zurbanizowanego),
- Bystrzycy w profilu Hajdów (poniżej obszaru miasta i ujścia ścieków z oczyszczalni),
- Czerniejówki (dopływ Bystrzycy) w profilu Mętów (zlewnia rolnicza z zabudową wiejską),
- Czechówki (dopływ Bystrzycy) w profilu Skansen (zlewnia rolnicza z podmiejską zabudową jednorodzinną),
- Ciemiegi (dopływ Bystrzycy) w profilu Pliszczyn (poza obszarem miejskim).

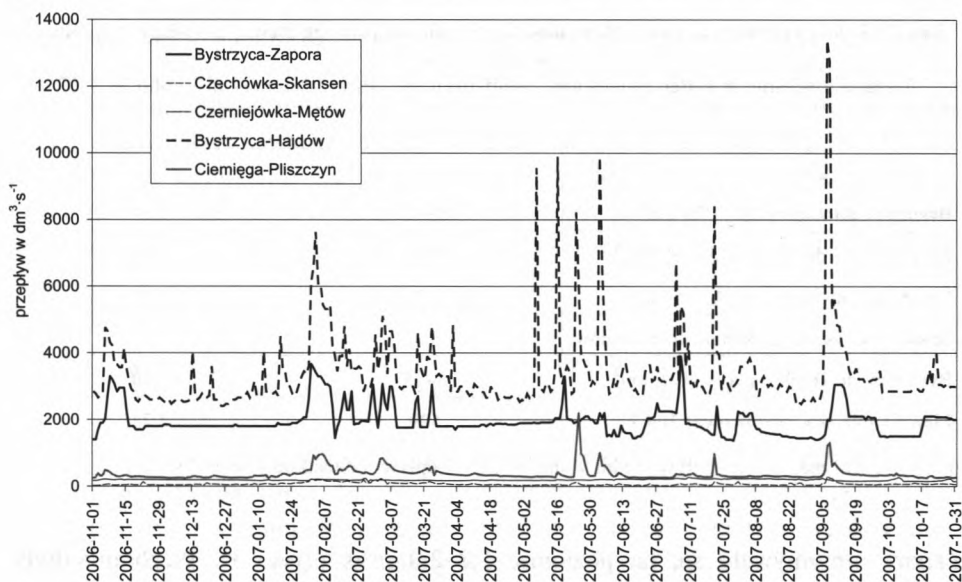
Lubelskie wodowskazy rejestrują dopływ wody do granic miasta oraz jej ilość poniżej miasta (ryc. 1). Wydzielona zlewnia zurbanizowana (różnicowa) obejmuje

tereny przyległe do Bystrzycy między wodowskazami Zapora i Hajdów oraz dolne części zlewni Czerniejówki – poniżej Mętowa i Czechówki poniżej Skansenu, o powierzchni 164 km² (ryc. 1). Ilość odpływającej wody z tego obszaru została obliczona w roku 2007 z różnicy między przepływem w Hajdowie a ilością dopływającej wody do miasta (suma przepływów w profilach: Zapora, Skansen i Mętów) i zwiększona o wielkość zrzutu ścieków z Oczyszczalni komunalnej w Hajdowie.

Zasilanie atmosferyczne w roku hydrologicznym 2007 było wyższe od średniej z wielolecia o prawie 100 mm, gdyż suma opadów w Lublinie wynosiła około 680 mm. W półroczu zimowym (XI–IV) zarejestrowano opad 230 mm, a w letnim 450 mm. W obu półroczach zasilanie było wyższe od średnich z okresu 1951–2000. Szczególnie niskie opady wystąpiły w grudniu – ok. 22 mm, w kwietniu – 18 mm i w październiku – 17 mm. Zasoby wody zostały nieco uzupełnione w styczniu – 77 mm, lipcu – 110 mm oraz we wrześniu – 160 mm. Wielkość parowania terenowego w roku hydrologicznym 2007 wynosiła około 500 mm, czyli była zdecydowanie niższa od rocznej sumy opadów atmosferycznych. Reakcje badanych zlewni na opad i spływ wód roztopowych były zróżnicowane. Praktycznie po każdym opadzie zwiększały się stany wody i przepływy Bystrzycy poniżej miasta – profil Hajdów (ryc. 2 i 3). W pozostałych przekrojach wodowskazowych, nawet po



Ryc. 2. Codzienne opady (Lublin–Radawiec) i stany wody w rzekach aglomeracji lubelskiej
Daily precipitation (Lublin–Radawiec) and water stages of rivers in Lublin agglomeration



Ryc. 3. Dobowe przepływy rzek w 2007 roku
Daily discharges of rivers in 2007

wysokim opadzie, stany wody tylko nieznacznie się zmieniały (Mętów), a ich wzrost następował tylko po wyjątkowo dużym zasilaniu. Należy podkreślić, że różnej wielkości wezbrania, niekiedy niewspółmierne do opadu, mogą być efektem rejestrowania deszczu w stacji Lublin Radawiec, położonej poza obszarem miasta.

Zasoby wodne rzek lubelskich utrzymywały się na wyrównanym, nieco niższym od średniego poziomie. Średni przepływ w 2007 roku w profilu Zapora wynosił $1,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, podczas gdy w Hajdowie osiągnął $3,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada wartościom odpływu jednostkowego $2,73$ i $3,30 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Przyrost przepływu i odpływu jednostkowego Bystrzycy w okresach suchych nie wynika z zasilania wodami Czechówki i Czerniejówki (tab. 1), lecz jest konsekwencją odprowadzania wody podziemnej pobranej w ujęciach komunalnych i przemysłowych miasta. O wzroście tym decydował również spływ powierzchniowy z obszaru zurbanizowanego. W zlewni miejskiej Lublina (różnicowej), po zsumowaniu ścieków i dopływu wody do rzek, średni przyrost przepływu w 2007 roku wynosił $529 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada $3,22 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 1). Jest to wartość wyższa od zasilania w zlewniach o charakterze rolniczym: górnej Bystrzycy i Czerniejówki, a także Ciemięgi. Jednakże należy podkreślić, że w pierwszych miesiącach 2007 roku stwierdzano tylko niewielki dopływ wód podziemnych do rzek Lublina, a nawet rejestrowano okresowe ucieczki wody powierzchniowej do podziemia.

W okresie wiosennym nie wystąpiły typowe dla regionu duże wezbrania roztopowe. Natomiast w okresie letnim poniżej miasta rejestrowano po opadach krótkotrwałe spływy powierzchniowe. W okresie całego roku przepływy w profilu

Tab. 1. Średni przepływ w profilach wodowskazowych i odpływ ze zlewni miejskiej w Lublinie w 2007 roku

Average discharge at water gauges and runoff from the urban catchment in Lublin in 2007

Zlewnia	Rok	
	Q	q
Bystrzycy do Zapory A = 720 km ²	1964	2,73
Czerniejówki do Mętowa A = 95 km ²	195	2,05
Czechówki do Skansenu A = 56 km ²	72	1,28
Ścieki z oczyszczalni komunalnej Hajdów	655	–
Bystrzycy do Hajdowa A = 1035 km ²	3415	3,30
Zlewnia miejska (różnicowa) 164 km ²	529	3,22

A – powierzchnia, Q – przepływ średni w dm³·s⁻¹, q – odpływ jednostkowy w dm³·s⁻¹·km⁻²

Zapora utrzymywały się na poziomie 1,8–2,0 m³·s⁻¹ (ryc. 3). Wezbrania były nieliczne, a ilość płynącej wody najwyższej podwajała się. Poniżej miasta przepływy Bystrzycy najczęściej oscylowały około 3 m³·s⁻¹, z okresami krótkotrwałych wezbrań o różnej wysokości. Dynamika przepływu powyżej i poniżej miasta była zupełnie inna, co jest efektem spływu powierzchniowego z obszaru zabudowanego (ryc. 2, 3). Zmiany stanów i przepływów Czechówki, Czerniejówki i Ciemiegi były niewielkie, co wskazuje na zatrzymywanie wody opadowej w podłożu skalnym oraz w niewielkich stawach.

Wpływ obszaru miejskiego na ilość płynącej wody w Bystrzycy – w okresie krótkotrwałych wezbrań w maju, czerwcu i wrześniu – dokumentują wysokie odpływy jednostkowe ze zlewni miejskiej (tab. 2). Uzyskane wartości wskazują, że

Tab. 2. Odpływy jednostkowe ze zlewni Bystrzycy w dm³·s⁻¹·km⁻²
Specific runoff from the Bystrzyca river catchment [dm³·s⁻¹·km⁻²]

Zlewnia	V	VI	VII	VIII	IX	X	V-X
Bystrzycy do Zapory A = 720 km ²	2,81	2,53	2,71	2,32	2,90	2,50	2,62
Zlewnia miejska (różnicowa) 164 km ²	5,42	5,18	4,61	2,93	7,20	1,98	4,55
Bystrzycy do Hajdowa A = 1035 km ²	3,56	3,34	3,39	2,85	3,97	2,83	3,32

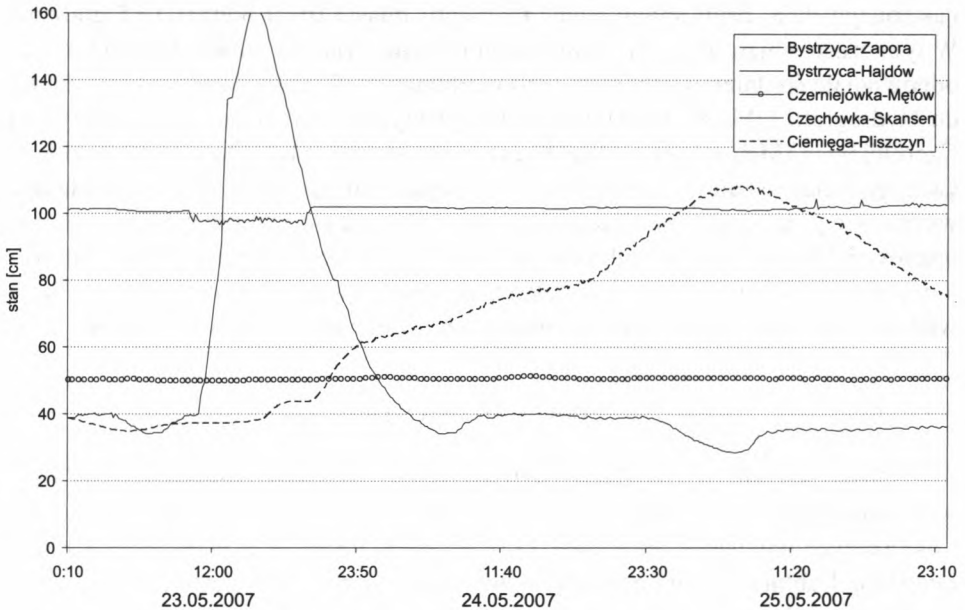
oprócz dużego oddziaływania ujęć wód podziemnych Lublina na warunki podziemnego zasilania rzek w obszarze miejskim o ilości wody płynącej w korytach rzecznych decyduje możliwość wystąpienia wysokiego spływu powierzchniowego w obszarze zurbanizowanym.

Wykonane badania wskazują na szybki spływ wód opadowych i roztopowych od rzek z obszaru miejskiego Lublina. Wielkość reakcji rzek jest związana z wyso-

kością zasilania i stanem fizycznym gruntu. W okresie spływu wód roztopowych zauważa się szybki przyrost stanów w rzekach spowodowany dopływem wody pochodzącej ze spływu powierzchniowego (ryc. 3). Spływ ten w zlewni miejskiej pojawia się szybciej i osiąga większe rozmiary niż w zlewni rolniczej. W okresie lata, w czasie pojawiania się krótkotrwałych opadów, zlewnia miejska również bardzo szybko odprowadza wody powierzchniowe. Z obserwacji wynika, że już kilkumilimetrowy intensywny opad powoduje wzrost stanów i przepływów poniżej miasta.

SPLYW WODY Z TERENU ZURBANIZOWANEGO W CZASIE GWAŁTOWNEGO OPADU 23 MAJA 2007 ROKU

23 maja 2007 roku w godzinach południowych, w zachodniej części miasta, wystąpiła gwałtowna burza. Intensywny opad atmosferyczny pojawił się o 11.15 i trwał prawie 160 minut. W centrum nawałnych opadów znalazła się dzielnica mieszkaniowa LSM, zajmująca tereny lessowe o żywej rzeźbie. Zarejestrowany opad przy budynku BiNoZ przy ul. Głębokiej miał wartość 75 mm. W stacjach Zakładu Meteorologii i Klimatologii UMCS opad był zdecydowanie niższy: Ogród Botaniczny 31 mm, plac Litewski 19 mm i Hajdów 6 mm. W innych stacjach



Ryc. 4. Zmiany stanów wody w rzekach Lublina w dniach 23–25 maja 2008 roku – zapis 10-minutowy
Changes of water stages of the rivers in the Lublin area on the 23rd – 25th May, 2008 – 10 minutes' interval record

Akademii Rolniczej na Felinie i IMGW w Radawcu zanotowano tylko 12,4 i 10 mm. Intensywność opadu zanotowana na stacji meteorologicznej w Ogrodzie Botanicznym na Sławinku wynosiła 17,5 mm/30 min, natomiast na stacjach: na placu Litewskim oraz w Hajdowie intensywność opadu była znacznie mniejsza.

Woda opadowa bardzo szybko dotarła do rzeki poprzez kanały burzowe i sieć kanalizacyjną, a także poprzez spływ po powierzchni. W krótkim czasie po rozpoczęciu opadów ulica Głęboka, mimo kanalizacji deszczowej o przepustowości ok. $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zamieniła się w wielki potok, którym płynęło po powierzchni do $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Był to efekt spływu z licznych zabudowanych suchych dolin stanowiących najczęściej ciągi komunikacyjne. Łącznie ze zlewni ulicy Głębokiej o powierzchni $2,6 \text{ km}^2$ odpływało maksymalnie prawie $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada spływowi jednostkowemu $3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Intensywne spływy z terenów zabudowanych i ulic doprowadziły do podtopienia lub zalania wielu piwnic i budynków, w tym nowego Centrum Handlowego PLAZA.

Opady, mimo że objęły tylko część miasta, spowodowały duży spływ wody siecią kanałów deszczowych i po powierzchni ulic, czego efektem było podniesienie stanów wody w Bystrzycy poniżej miasta o 120 cm. Koncentracja spływu kanałami burzowymi i po powierzchni terenu oraz systemem kanalizacji sanitarnej była szybka (ryc. 4), a maksymalny przepływ Bystrzycy poniżej miasta wyniósł prawie $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wezbranie w profilu Hajdów rozpoczęło się o 11.20 i trwało do 1.40 następnego dnia, czyli spływ wody z obszaru miasta trwał niemal 14,5 godziny. W tym czasie objętość spływu powierzchniowego wynosiła prawie $540\,000 \text{ m}^3$, co odpowiadało średniemu spływowi tego wezbrania $10,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wodowskazy Zakładu Hydrografii UMCS zainstalowane na Bystrzycy powyżej miasta (Zapora) i na Czerniejówce (Mętów) nie wykazały przyrostu stanów wody. Natomiast w zlewni Ciemiegi rejestrowano wzrost odpływu w ciągu następnej doby. Trudno dokładnie wyznaczyć pole opadu i wielkość oraz obszar spływu wody. Przy przyjęciu zlewni opadowej 15 km^2 , warstwa odpływu wynosi około 36 mm, średni odpływ jednostkowy prawie $700 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a maksymalny przekraczał $1400 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Są to wartości wysokie i prawdopodobieństwo ich wystąpienia trudno jest ocenić.

PODSUMOWANIE

Ocenę warunków i wielkości spływu wody z obszaru Lublina w 2007 roku wykonano na podstawie danych z pięciu automatycznych stacji wodowskazowych i okresowych pomiarów przepływu. O ilości wody płynącej w rzekach na odcinku miejskim Lublina decyduje zasilanie w górnych częściach zlewni. Rzeki przez miasto prowadzą wody tranzytem. Ich zasilanie na obszarze miasta odbywa się poprzez dopływy z sieci kanałów burzowych i jest szczególnie wysokie w okresie intensywnych opadów. Uzyskane wyniki wskazują, że na przepływy Bystrzycy poniżej miasta miały istotny wpływ zrzuty ścieków oraz spływy powierzchniowe.

W 2007 roku zrzut ścieków wynosił $0,655 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, czyli prawie 25% wielkości przepływu Bystrzycy.

Zabudowa miejska bardzo przyspieszyła i zwiększyła spływ wód powierzchniowych, a jednocześnie ograniczyła odnawianie się zasobów podziemnych. Poniżej miasta w czasie opadów i roztopów tworzą się różnej wielkości wezbrania, co jest efektem zmniejszenia możliwości zatrzymywania wody w gruncie, podczas gdy w terenach rolniczych zmiany przepływu rzek następują znacznie wolniej.

Pobór wód na potrzeby miasta doprowadził do powstania leja depresyjnego, w którym rzeki nie są zasilane z zasobów podziemnych. Pobrane wody są odprowadzane do Bystrzycy dopiero po ich gospodarczym wykorzystaniu i oczyszczeniu.

LITERATURA

- Łoś M. J., 1986: Wykorzystanie zasobów wodnych Bystrzycy w XVI i XVII w. [w:] Mat. konf. nt. Wodociąg staropolski miasta Lublina. Wyd. PZiITS O. Lubelski, Lublin-Warszawa, 58–77.
- Łoś M. J., Michalczyk Z., 1984: Wpływ gospodarki wodnej Lublina na przepływ Bystrzycy. Gosp. Wodna z. 1.
- Łoś M. J., Michalczyk Z., 1989: Antropogeniczne zmiany przepływu Bystrzycy w rejonie Lublina, Gosp. Wod. nr 7–8, 151–154.
- Michalczyk Z. [red.], 1997: Strategia wykorzystania i ochrony wód w dorzeczu Bystrzycy, UMCS Lublin, 45–51.
- Michalczyk Z., 2005: Hydrogeologiczne konsekwencje antropopresji w rejonie Lublina. [w:] Hydrogeologia obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. t. 2. Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniw. Śląskiego nr 37. Wyd. Uniw. Śląski, Sosnowiec, 113–120.
- Michalczyk Z., Łoś M. J., 1997: Anthropogenic changes in water conditions in the Lublin area. Geogr. Polonica, 68, Warszawa, 81–97.
- Michalczyk Z., Łoś M. J., Sawicka-Ner Z., 1983: Zasięg oddziaływania ujęć wód podziemnych miasta Lublina. Prace Hydrogeol. IG. s. spec. z. 16. Wyd. Geol. Warszawa.
- Ochrona środowiska w województwie lubelskim w 2004 r. Informacje i opracowania statystyczne Urząd Statystyczny Lublin, 2005, 1–176.

SUMMARY

Changes of the water conditions in the Lublin agglomeration have been taking place due to the city development. Rivers in their urban course are not fed by groundwater resources. Water in rivers comes from the upper part of the catchment, and rivers collect water outflowing from the network of storm sewers, at the high amount especially during torrential rainfalls. On the basis of detail hydrometric data, the rate of runoff from the Lublin area was calculated. In the urban area surface water runoff was decisively higher than in the agriculture and simultaneously renewing of water resources was limited.