

IRENEUSZ NOWOGOŃSKI*, KRZYSZTOF BANAŚ**

WPLYW CZASOPRZESTRZENNEJ ZMIENNOŚCI OPADU NA WIELKOŚĆ ODPLYWU ZE ZLEWNI MODELOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały zagadnienia związane ze zjawiskiem opad-odpływ. W czasie kalibracji modelu symulacyjnego używane są standardowe parametry kalibracji. Jako dodatkowe czynniki wpływające na wyniki symulacji zostały wskazane: prędkość i kierunek przemieszczania się opadu w stosunku do zlewni. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Epa SWMM 5.0. Wyniki przedstawiono w postaci graficznej dla zobrazowania zmienności odpływu ścieków.

Słowa kluczowe: kanalizacja deszczowa, modele symulacyjne

Wstęp

W dzisiejszej praktyce inżynierskiej niezbędne staje się wykorzystywanie nowoczesnych metod obliczeniowych, do czego obligują nas coraz częściej przepisy prawne. Standardem jest wykorzystywanie metod obliczeniowych uwzględniających zmienność opadu w czasie dla zlewni o znacznej powierzchni. Wykorzystanie oprogramowania umożliwiającego uwzględnienie wspomnianych zjawisk pozwala przybliżyć uzyskiwane wyniki symulacji do rzeczywistych zjawisk zachodzących w zlewni.

Zagadnienie wpływu zmienności odpływu przy uwzględnieniu czasoprzestrzennej zmienności opadu podejmowano w literaturze [Kowalska i in. 1998; Nowogoński 2008], głównie dla układów bardzo uproszczonych.

* Ireneusz Nowogoński - dr inż., Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

** Krzysztof Banaś - mgr inż., PBP Ekosystem Sp. z o.o., Zielona Góra

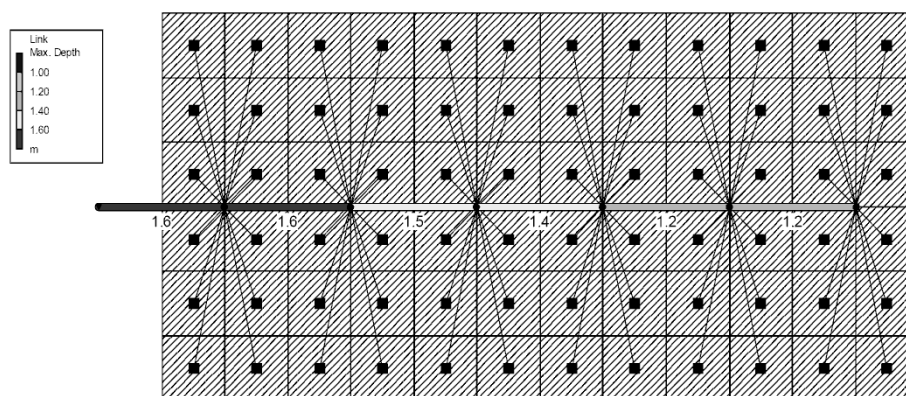
Zlewnia modelowa

Przyjęta została zlewnia o powierzchni 288 ha, z podziałem na 72 zlewnie cząstkowe o powierzchni 4 ha każda. Kształtem zlewni jest prostokąt o stosunkach boków 2:1 i wymiarach rzeczywistych: długość 2400 m, szerokość 1200 m.

Charakterystyka zlewni modelowej I

Zlewnia modelowa I jest najprostszym układem branych pod uwagę w niniejszej pracy. Przez dłuższą oś zlewni przebiega kolektor główny składający się z sześciu odcinków i siedmiu węzłów. Do każdego węzła za wyjątkiem odpływu (Outfall) przyłączonych jest 12 zlewni cząstkowych. Opad po opuszczeniu zlewni transportowany jest z bez opóźnienia do węzła obliczeniowego. Układ ten nie uwzględnia czasu przepływu przez kanały boczne i retencji kanałowej w nich. Zaletą układu jest jego prostota budowy.

Schemat zlewni wraz ze sposobem podłączenia zlewni cząstkowych i układu przewodów przedstawiono na rysunku 1.



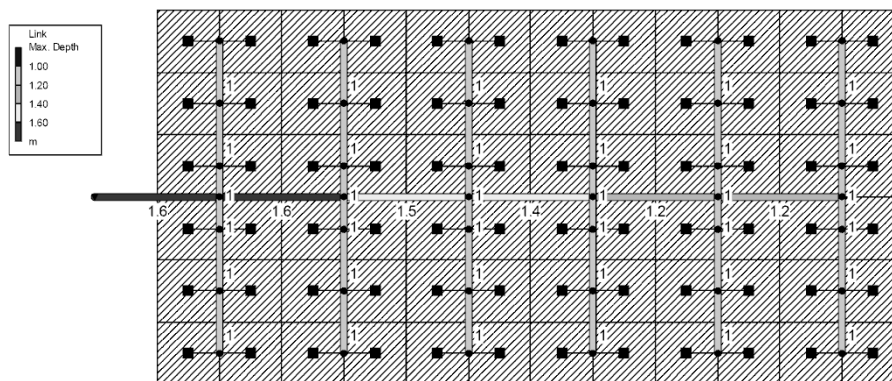
Rys. 1. Schemat zlewni modelowej I

Fig. 1. Theoretical catchment I

Charakterystyka zlewni modelowej II

Układ zlewni modelowej II jest rozwinięciem zlewni I. Tak samo przez dłuższą oś zlewni przebiega kolektor główny składający się z sześciu odcinków i siedmiu węzłów. Do każdego węzła za wyjątkiem odpływu (Outfall) przyłączone są dwa kanały boczne. Każdy kanał boczny podzielony jest na trzy odcinki. Do każdego węzła obliczeniowego kanału bocznego podłączone są dwie zlewnie jednostkowe. Taki system zapewnia uwzględnienie czasu dopływu ścieków łącznie z retencją kanałową w kanałach bocznych.

Schemat zlewni wraz ze sposobem podłączenia zlewni cząstkowych i układu przewodów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat zlewni modelowej II
Fig. 2. Theoretical catchment II

Charakterystyka zlewni modelowej III

Zlewnia III posiada budowę zbliżoną do zlewni II, jednak kolektor główny znajduje się asymetrycznie względem dłuższej osi zlewni. Do każdego węzła obliczeniowego kolektora podłączony jest tylko jeden boczny kanał zbierający opad z 12 zlewni cząstkowych. W układzie tym wydłużeniu ulega czas dopływu ze zlewni jednostkowych położonych najdalej od kolektora.

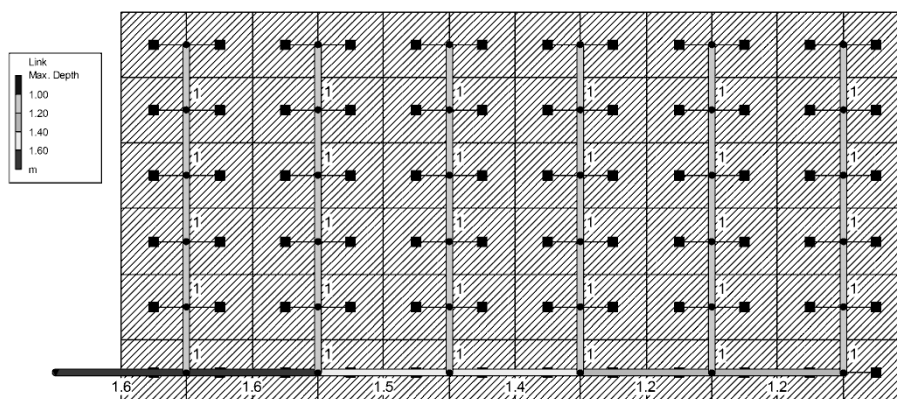
Schemat zlewni wraz ze sposobem podłączenia zlewni cząstkowych i układu przewodów przedstawiono na rysunku 3.

Układ przewodów zlewni

Przez zlewnie przebiega kolektor główny odprowadzający ścieki opadowe. Na kolektorze znajdują się studnie w węzłach obliczeniowych S1 ÷ S6. Umożliwiają one podłączenie zlewni cząstkowych lub kanałów bocznych.

Wszystkie odcinki kolektora głównego prowadzone są z jednakowym spadkiem 0,25% w zakresie średnic 1000 ÷ 1600 mm (tab. 1). Rozmiary przekrojów kolektora głównego zostały dobrane na podstawie przepływu wariantu opadu równomiernego dla zlewni I, tak aby nie wystąpiło napelnienie całkowite.

Rurociągi boczne w zlewniach II i III zaprojektowano jako kanały o średnicy 1000 mm i spadku 0,25%. Podobnie jak w kolektorze głównym nie występuje w nich przepływ pełnym przekrojem. Układ przewodów dla każdej zlewni przedstawiony jest na rysunkach 1÷3.



Rys. 3. Schemat zlewni modelowej III

Fig. 3. Theoretical catchment III

Tab. 1. Zestawienie parametrów poszczególnych odcinków kolektora głównego

Tab. 1. Main sewerage parameters

odcinek kolektora	średnica	długość odcinka	szorstkość, współczynnik do wzoru Manninga
–	mm	m	–
S6 – S5	1200	400	0,013
S5 – S4	1200	400	0,013
S4 – S3	1400	400	0,013
S3 – S2	1500	400	0,013
S2 – S1	1600	400	0,013
S1 – OUT	1600	400	0,013

Charakterystyka opadu modelowego

Podczas projektowania układów sieci kanalizacji, jednym z najważniejszych parametrów przyjmowanych do obliczeń jest natężenie deszczu miarodajnego. Projektowanie dużych zlewni (>200 ha) wymaga uwzględnienia zmiany natężenia deszczu w czasie jego trwania. W pracy uwzględniono takie rozwiązanie i założono charakterystykę opadu modelowego przedstawioną w tabeli 2 [Nowoński 2008].

Kierunki przemieszczania się „pola” opadu nad zlewnią

Dla zilustrowania wpływu zmiany kierunku przemieszczania się opadu w stosunku do zlewni na odpływ siecią kanałów, dla każdego wariantu prędkości i każdej zlewni przyjęto cztery lub pięć kierunków. Wszystkie z nich zaprezentowano na rysunku 4.

Tab 2. Dane opadu użytego w symulacji zjawiska opad – odpływ
Tab. 2. Parametes of rainfall used in rainfall-runoff model

Czas t	Natężenie opadu efektywnego	Natężenie opadu efektywnego
min	mm/h	dm ³ /s·ha
0 – 4	2	5,5
5 – 9	8	22,0
10 – 14	48	133,3
15 – 19	21	58,3
20 – 24	10	27,7
25 – 30	1	2,8

Strzałkami oznaczono schematycznie kierunki nadejścia opadu wraz z oznaczeniami używanymi domyślnie w dalszej części pracy. Ponadto występuje również opad równomierny nieoznaczony na rysunku przyjmowany jako wariant porównawczy.

RÓWN – opad ten występuje na wszystkich zlewniach cząstkowych jednocześnie zgodnie z charakterystyką opadu. Prędkość przejścia opadu nad zlewnią jest równa zero.

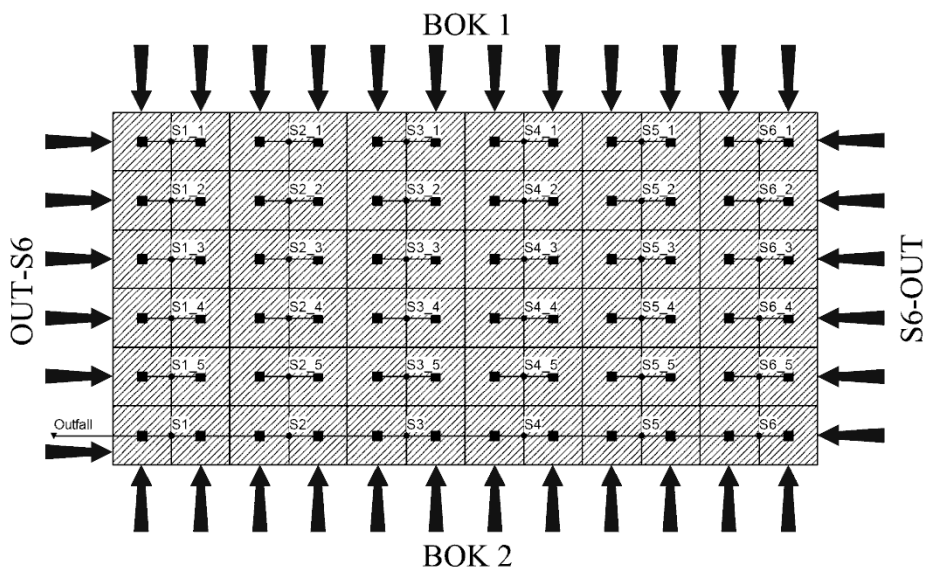
OUT – S6 – przejście opadu następuje od „lewej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od wylotu w kierunku węzła obliczeniowego S6. Wariant ten ma na celu ukazanie charakterystyki odpływu dla opadu przemieszczającego się przeciwnie do kierunku odpływu kolektorem głównym.

S6 – OUT – przejście opadu następuje od „prawej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od węzła obliczeniowego S6 w kierunku wylotu. Wariant ten ma na celu ukazanie charakterystyki odpływu dla opadu przemieszczającego się zgodnie z kierunkiem spływu w kolektorze głównym.

BOK 1 – przejście opadu następuje od „górnej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od końcowych węzłów kanałów bocznych w kierunku kolektora głównego

BOK 2 – przejście opadu następuje od „dolnej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od kolektora głównego w kierunku końcowych węzłów kanałów bocznych.

BOK – dla zlewni I i II uwzględniono tylko jeden wariant przejścia opadu przebiegającego prostopadłe do kolektora głównego z racji symetrycznego umieszczenia go w zlewni. W przypadku rozważenia wariantów BOK 1 i BOK 2 otrzymane wyniki byłyby identyczne.

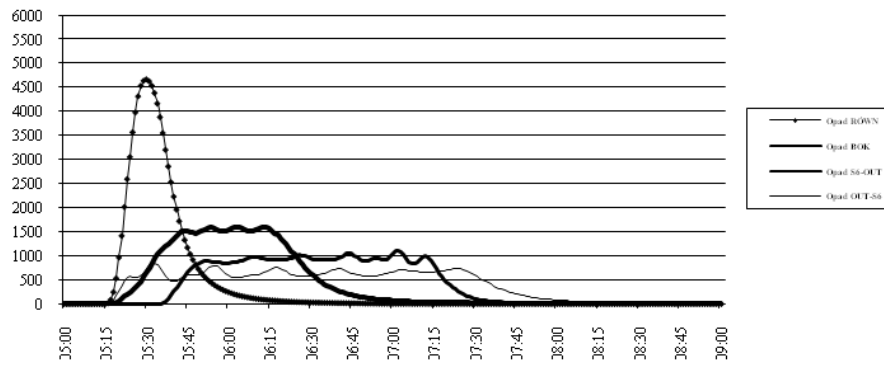


Rys. 4. Schemat przedstawiający kierunki przemieszczania się „pola” opadu nad zlewnią
Fig. 4. Directions of rainfall over catchment moving

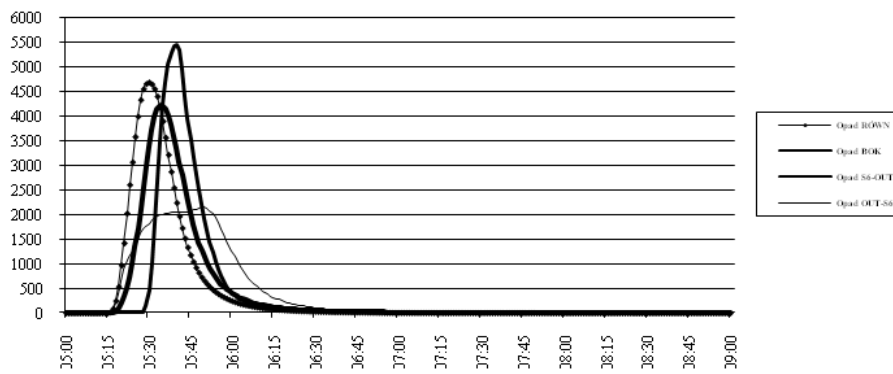
Dyskusja wyników

Dla wszystkich wariantów obliczeniowych za warunki porównawcze przyjęto odpływ z opadu równomiernego.

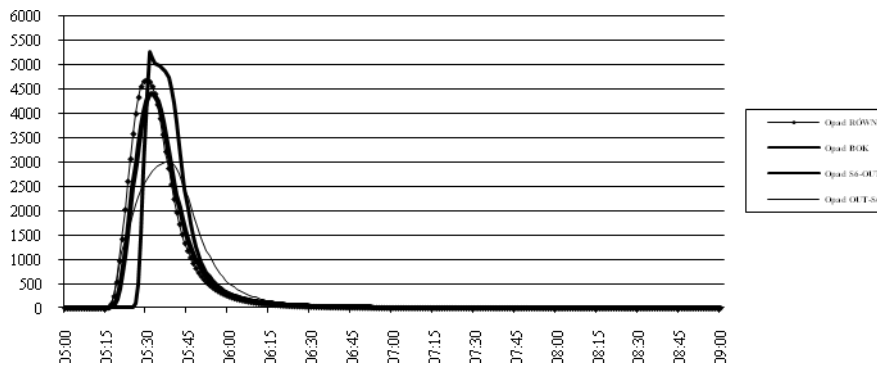
W przypadku najmniejszej prędkości przemieszczania się opadu nad zlewnią maksymalne odpływy ze zlewni były znacznie zmniejszone w stosunku do odpływu uzyskiwanego dla opadu równomiernego. Zakładane 20 m/min jest prędkością znacznie mniejszą od prędkości przepływu w kanałach kolektora, dlatego natężenie odpływu dąży do pewnego poziomu i po osiągnięciu go utrzymuje się na nim odchylając się nieznacznie. Powstałe odchyłki są wynikiem podziału na zbyt małą dla tych warunków ilość zlewni cząstkowych.



Rys. 5. Odpływ dla zlewni I przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 20 m/min
 Fig. 5. Rainwater outflow from catchment I connected with rainfall moving velocity 20 m/min

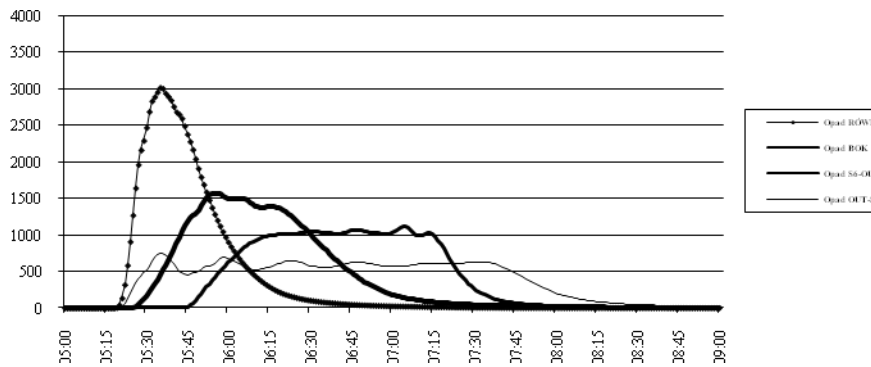


Rys. 6. Odpływ dla zlewni I przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 100 m/min
 Fig. 6. Rainwater outflow from catchment I connected with rainfall moving velocity 100 m/min

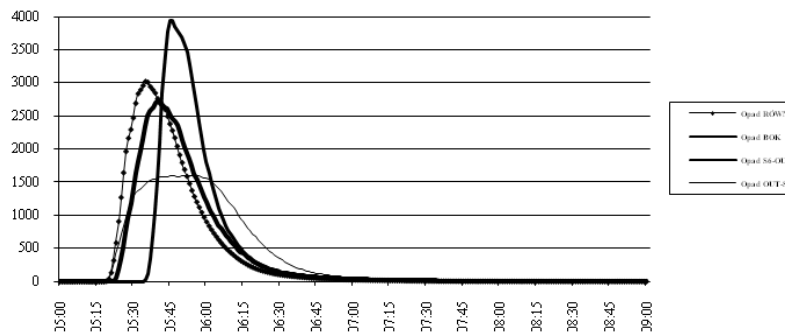


Rys. 7. Odpływ dla zlewni I przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 200 m/min
 Fig. 7. Rainwater outflow from catchment I connected with rainfall moving velocity 200 m/min

W przypadku prędkości 100 m/min również uzyskano zmniejszenie natężenia na odpływie w stosunku do opadu równomiernego. Wyjątkiem jest jedynie kierunek S6 – OUT, gdzie nastąpiła kumulacja dopływu do węzłów obliczeniowych z odcinka poprzedzającego węzeł oraz ze spływu powierzchniowego.



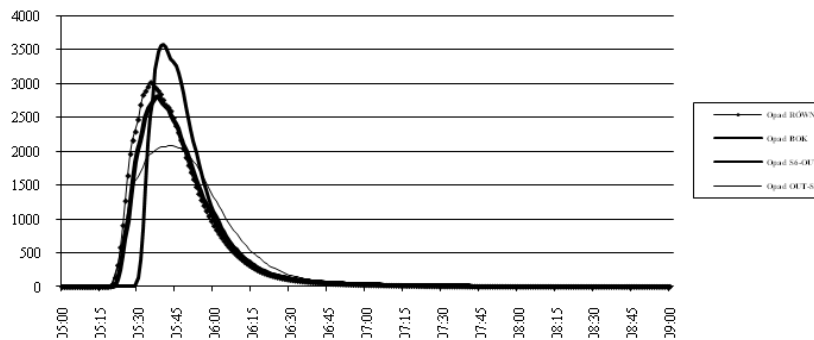
Rys. 8. Odpływ dla zlewni II przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 20 m/min
 Fig. 8. Rainwater outflow from catchment II connected with rainfall moving velocity 20 m/min



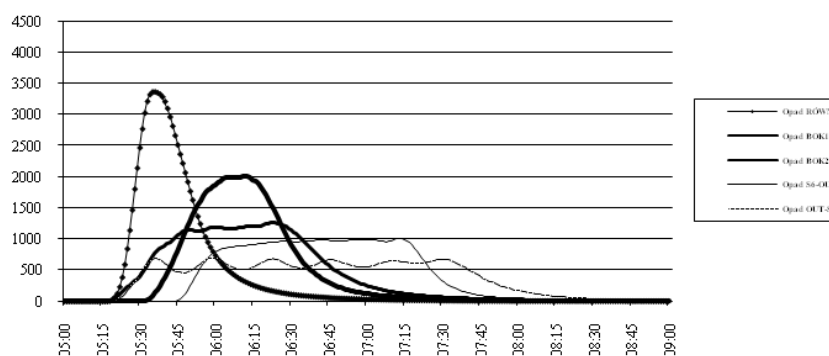
Rys.9. Odpływ dla zlewni II przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 100 m/min
 Fig. 9. Rainwater outflow from catchment II connected with rainfall moving velocity 100 m/min

Spowodowane to było zbliżoną prędkością przemieszczania się opadu i prędkością przepływu w kolektorze głównym przy identycznym kierunku przepływu w kolektorze głównym i kierunkiem przemieszczania się opadu nad zlewnią. Skutkiem tego zjawiska było przekroczenie maksymalnych natężeń przepływu w porównaniu do wariantu odniesienia.

W przypadku prędkości przemieszczania się opadu nad zlewnią z prędkością 200 m/min, tak jak w poprzednim przypadku, zauważalne jest zwiększenie natężenia przepływu na wylocie zlewni dla kierunku S6 – OUT. W przypadku pozostałych kierunków przemieszczania się opadu względem zlewni zauważalny jest trend upodabniania się histogramu odpływu do wariantu porównawczego.



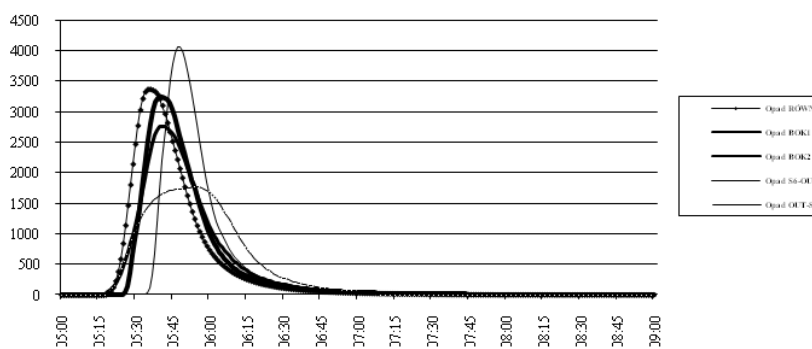
Rys. 10. Odpływ dla zlewni II przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 200 m/min
 Fig. 10. Rainwater outflow from catchment II connected with rainfall moving velocity 200 m/min



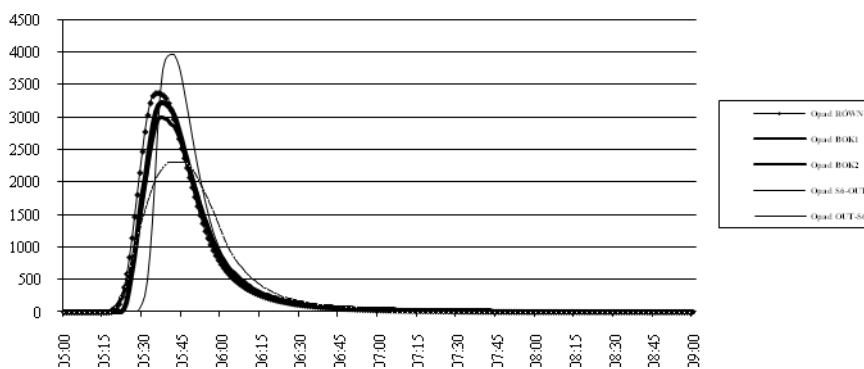
Rys. 11. Odpływ dla zlewni III przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 20 m/min
 Fig. 11. Rainwater outflow from catchment III connected with rainfall moving velocity 20 m/min

Proporcjonalnie do wysokości maksymalnego natężenia odpływu uzyskano rozciągnięcie lub zwężenie histogramu odpływu w czasie.

Porównując zastosowane modele zlewni odpływ maksymalny powstający z opadu równomiernego zależał od schematu połączeń w sieci na danej zlewni. Największe odpływy wystąpiły dla zlewni I, w której odpływ ze zlewni cząstkowych przypisanych do danego węzła obliczeniowego, kierowany był bezpośrednio do niego. W przypadku zlewni II i III uzyskano mniejsze wartości natężenia na odpływie. Spowodowane to było przez uwzględnienie czasu przepływu w kanałach bocznych doprowadzających ścieki do kolektora głównego, równoznaczne z uwzględnieniem dodatkowej retencji kanałowej.



Rys. 12. Odpływ dla zlewni III przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 100 m/min
 Fig. 12. Rainwater outflow from catchment III connected with rainfall moving velocity 100 m/min



Rys. 13. Odpływ dla zlewni III przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 200 m/min
 Fig. 13. Rainwater outflow from catchment III connected with rainfall moving velocity 200 m/min

Czas rozpoczęcia odpływu jest zależny od kierunku nadejścia opadu. Największe opóźnienie względem czasu rozpoczęcia opadu równomiernego na zlewnię uzyskano dla wariantu S6 – OUT. Jest to skutkiem wystąpienia pierwszych odpływów ze zlewni cząstkowych w przeciwległym krańcu zlewni w stosunku do odpływu z niej. W pozostałych wariantach kierunku przejścia deszczu, początek odpływu był zbliżony do wariantu odniesienia.

Wpływ zmiany prędkości przejścia opadu nie powodował znacznych zmian w czasie rozpoczęcia odpływu. Tylko dla przypadku S6 – OUT wzrost prędkości powodował nieznaczne przyspieszenie rozpoczęcia odpływu względem rozpoczęcia opadu.

We wszystkich przypadkach zlewni oraz prędkościach opadu najdłuższy odpływ wykazał kierunek przejścia opadu OUT – S6. Spowodowane było to przejściem opadu przeciwnie do przepływu w kolektorze głównym, a zatem koniec opadu wystąpił na początku kolektora.

Podczas wzrostu prędkości przejścia opadu czasy trwania odpływu znacznie malały i dążyły do czasu odpływu dla opadu równomiernego. Ze zwiększeniem prędkości opadu do 200 m/min uzyskano zwiększenie czasu trwania odpływu tylko dla kierunku S6 – OUT dla wszystkich zlewni i kierunku BOK1 dla zlewni III. Przyczyną była wyższa prędkość przejścia opadu nad zlewnią w stosunku do przepływu współprądowego w kanałach. Następstwem tego było zmniejszenie maksymalnego przepływu i tym samym wydłużenie czasu przepływu w kanałach.

Podsumowanie

W rezultacie przeprowadzonych symulacji wykazano zwiększenie natężenia na odpływie dla określonych warunków w stosunku do zakładanego największego odpływu dla opadu równomiernego. Wzrost ten może wynosić nawet 130% odpływu porównawczego. Wynika z tego, iż zastosowanie metod pozwalających na dynamiczną zmianę opadu w czasie jego trwania może umożliwić uniknięcie błędów powstających przy wykorzystaniu metod tradycyjnych. Sam fakt wykazania zmiany natężenia na odpływie w zależności od prędkości i kierunku przemieszczania się opadu zasługuje na ocenę przydatnego podczas projektowania kanalizacji deszczowej dla zlewni miejskich. Biorąc pod uwagę znajomość charakterystyki róży wiatrów oraz zlewni możemy przewidzieć najczęściej występujące opady nad daną zlewnią i tym samym określić miarodajne odpływy z niej.

Z drugiej strony brak uwzględniania analizowanego zjawiska może okazać się tragiczny w skutkach dla obszarów zagrożonych wylewami z kanalizacji deszczowej.

Również zaskakujący jest fakt, iż wśród ogólnych tendencji zmniejszania się czasu trwania odpływu wraz ze wzrostem prędkości przejścia opadu nad zlewnią, tak w wariancie OUT – S6 przy zwiększeniu prędkości ze 100 m/min na 200 m/min nastąpiło nieznaczne wydłużenie tego czasu. Zjawisko to nie ma szczególnego znaczenia w projektowaniu nowych lub modernizacji istniejących systemów kanalizacji, a jedynie ukazuje brak liniowości zjawiska opad – odpływ dla rozpatrywanych zlewni. Zaobserwowana własność zlewni może mieć jednak wpływ na warunki pracy zbiornika retencyjnego współpracującego z siecią.

W miarę komplikowania układu odpływowego wykazane różnice będą się zacierać. Rozwinięciem zlewni I były zlewnie II i III, które posiadały bardziej skomplikowany, dokładniej odtworzony układ połączeń. Różnice odpływów wykazane dla zlewni II i III były mniejsze aniżeli dla zlewni I, jednak pozostają na tyle duże, że zaobserwowanych zjawisk nie należy bagatelizować.

Literatura

1. KOWALSKA W., PRYSTAJ A., WIECZYSTY A.: Odpływ kolektorem deszczowym przy czasoprzestrzennej zmienności opadu, *Ochrona Środowiska* 2(69)/98, Wrocław 1998, s. 3-6
2. NOWOGOŃSKI I.: Zmienność opadu a kalibracja modelu symulacyjnego. *Wodociągi – kanalizacja*, nr 11/2008, 2008, s. 44-47
3. NOWOGOŃSKI I.: Odpływ ze zlewni deszczowej przy uwzględnieniu czasoprzestrzennej zmienności opadu. *Oczyszczanie ścieków i przeróbka*

- osadów ściekowych. Tom 2 Red. nauk. Z. Sadecka i in. Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2008, s. 15-24
4. EN 752 – 4: Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – Obliczenia hydrauliczne i oddziaływanie na środowisko 2001
 5. Rossman L.A.,: Storm Water Management Model. User's Manual. Version 5, Cincinnati, US EPA 2005

THE INFLUENCE OF RAINFALL TIME AND SPACE CHANGEABILITY ON RUNOFF FROM MODEL DRAINAGE AREAS

S u m m a r y

The problems connected with rainfall-runoff phenomena were presented. In calibration of simulation model user needs information about some standard calibration parameters. Additional parameters are: velocity and direction the rainfall is moving over the catchment. Computations were performed using Epa SWMM 5.0 program. Some of the result obtained were presented in graphical form to visualize how flow rate is changing.