

Jerzy Wartalski

WSPÓŁCZESNE TENDENCJE W OKREŚLANIU MIARODAJNYCH PRZEPŁYWÓW ŚCIEKÓW W KANALIZACJI

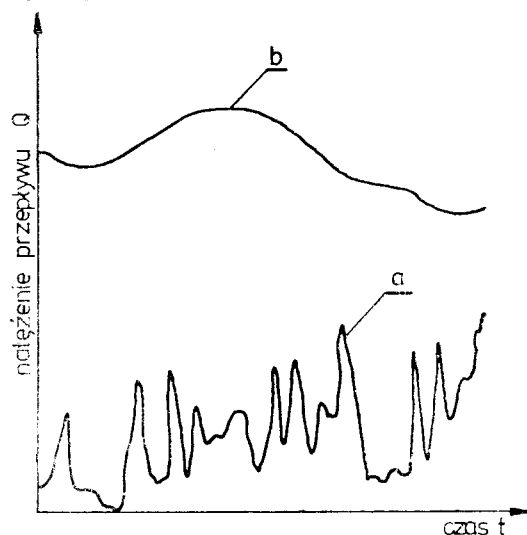
Problem określania obliczeniowych natężeń przepływu różnego rodzaju ścieków, w różnych systemach kanalizacyjnych, jest w ostatnim okresie często poruszany przez wielu specjalistów zajmujących się nie tylko badaniem zjawisk zachodzących w elementach systemów usuwania ścieków, lecz również projektowaniem tych systemów. Uważna analiza materiałów dotyczących tego problemu z kilkunastu ostatnich lat (publikacje naukowe, wystąpienia na konferencjach, literatura fachowa, wytyczne i zalecenia projektowe, wykonane projekty układów kanalizacyjnych) daje podstawę do stwierdzenia, że w określaniu obliczeniowych natężeń przepływu ścieków popelnia się obecnie wiele błędów, nieścisłości i uproszczeń.

Obserwowany rozwój modeli matematycznych opartych na rachunku prawdopodobieństwa oraz modeli symulujących działanie systemu kanalizacyjnego, doprowadzi zapewne do powstania kompleksowych modeli, bądź pakietu modeli, służących do określania różnych wielkości (m. in. natężeń przepływu) w elementach sieciowych systemów usuwania ścieków. Najważniejszym elementem tych systemów — zarówno pod względem rangi w systemie jak i pod względem kosztów budowy oraz eksploatacji — są grawitacyjne i tłoczne przewody kanalizacyjne. Podstawą projektowania przekrojów i spadków kanałów grawitacyjnych jest tzw. przepływ obliczeniowy. Dla kanałów prowadzących ścieki bytowo-gospodarskie i przemysłowe w systemach rozdzielczych, za obliczeniowe natężenia przepływu — w określonym przekroju poprzecznym kanału — przyjmuje się sumę niżej wymienionych natężeń odpływu ścieków i wód ze zlewni obsługiwanej przez sieć kanałów, leżących powyżej rozpatrywanego przekroju:

- maksymalny godzinowy odpływ ścieków bytowo-gospodarszych,
- maksymalny godzinowy odpływ ścieków przemysłowych,
- odpływ wód infiltracyjnych,
- odpływ wód przypadkowych,
- odpływ wód drenażowych (w przypadku ich celowego wprowadzania do kanalizacji).

Zastrzeżenia budzi przede wszystkim sposób określania natężeń przepływu dwóch pierwszych rodzajów ścieków, a zwłaszcza uprzywilejowany interwał czasowy jakim jest jedna godzina. Wielkość tego interwału powinna

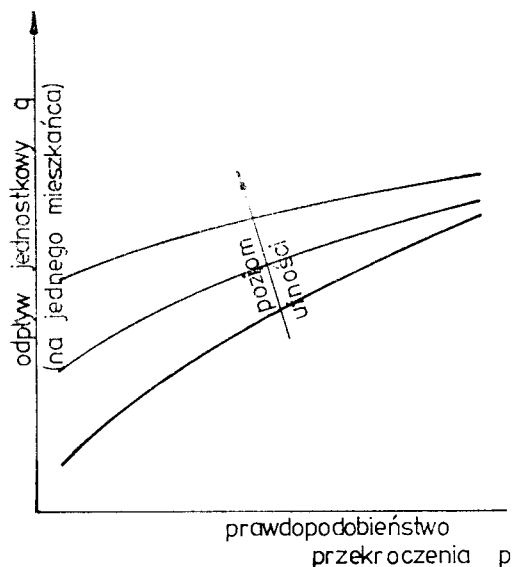
przede wszystkim zależeć od przebiegu wahań natężenia przepływu ścieków w danym przekroju (rys. 1).



Rys. 1. Zmiany natężenia przepływu ścieków bytowo-gospodarszych i przemysłowych (a — w małych kanałach, b — w kolektorach).

Każda wartość natężenia przepływu charakteryzuje się pewnym prawdopodobieństwem wystąpienia, tzn. trwa łącznie pewien czas — im natężenie jest relatywnie większe tym trwa relatywnie krócej — w ciągu określonego czasu (np. doby, tygodnia, miesiąca itd.).

Prowadzone we Wrocławiu badania odpływu ścieków z pojedynczych budynków mieszkalnych o różnej liczbie mieszkańców oraz z zespołu tych budynków, pozwoliły na określenie związków między natężeniem odpływu ścieków a prawdopodobieństwem jego wystąpienia (bądź czasem trwania) dla różnych przedziałów ufności, w zależności od liczby mieszkańców korzystających z kanalizacji. Badania takie należałoby kontynuować w przekrojach kanałów obsługujących większą liczbę mieszkańców (całe dzielnice, całe miasta) oraz dla przemysłu. Wystarczy teraz w wytycznych projektowych bądź określić maksymalny czas w pewnym okresie, przez który kanał może pracować z wypełnieniem większym od obliczeniowego, bądź określić prawdopodobieństwo przekroczenia tego wypełnienia (ten czas bądź prawdopodobieństwo byłyby zależne od rangi kanału — podobnie, jak ma to miejsce w kanałach prowadzących ścieki deszczowe) aby z opracowanych zależności określić miarodajne natężenie przepływu ścieków (rys. 2).



Rys. 2. Jednostkowy odpływ ścieków bytowo-gospodarczych w zależności od prawdopodobieństwa jego przekroczenia.

Tylko wyjątkowo będzie to natężenie odpowiadające średniemu odpływowi w godzinie, w której odpływ jest największy w ciągu roku — a tak właśnie określany jest obecnie przepływ obliczeniowy.

Wody infiltracyjne i przypadkowe traktuje się obecnie łącznie, a ich obliczeniowe natężenie przepływu określa się na podstawie przepustowości kanału (najczęściej 1/3 przepustowości). Należałoby raczej rozdzielić wody infiltracyjne od wód przypadkowych, ze względu na ich różny charakter. Dopływ wód infiltracyjnych zależy głównie od szczelności kanału oraz poziomu zwierciadła wód gruntowych, a tylko nieznacznie od wymiarów (przepustowości) kanału. Dopływ ten jest więc na ogół ciągły i ma charakter zbliżony do dopływu wód drenażowych. Należałoby zatem dopływ wód infiltracyjnych obliczać na podstawie jakości (szczelności) kanału oraz na podstawie wzniesienia zwierciadła wody gruntowej nad zwierciadłem ścieków w kanale. Wody infiltracyjne i drenażowe ze względu na ich brak, bądź ciągłą obecność w kanale, należy traktować podobnie jak ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, tzn. powinny na równi z nimi stanowić podstawę do określania przepływu obliczeniowego, a nie być uwzględniane w tej części przepustowości, która przeznaczona jest na rezerwę i wentylację.

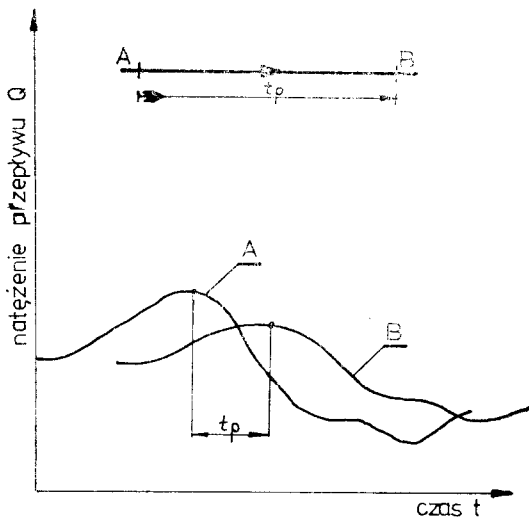
Zupełnie inny charakter ma dopływ wód przypadkowych. Są to najczęściej „dzikie” dopływy ścieków do kanalizacji bytowo-gospodarczej i przemysłowej systemu rozdzielczego niepełnego (brak kanalizacji deszczowej). Ścieki te pojawiają się więc w kanałach na krótko podczas deszczów, a ich natężenie przepływu zależy od parametrów deszczu i „czystości” systemu. Niewielkie jest również prawdopodobieństwo pojawienia się dużych natężeń przepływu tych ścieków dokładnie w tym samym czasie co obliczeniowe natężenie przepływu

ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych. Można zatem w ogóle nie uwzględniać tych ścieków przy określaniu przepływu obliczeniowego, zakładając, że ścieki te będą od czasu do czasu na krótko wypełniać przestrzeń przeznaczoną na wentylację i rezerwę przepustowości kanału. Tylko rzadko zdarzające się deszcze nawalne — przy braku kanalizacji deszczowej i braku dostatecznej kontroli realizacji przyłączy kanalizacyjnych — mogą doprowadzić do przepełnienia sieci i do jej pracy pod ciśnieniem. Jednak nawet w tym przypadku nie jest to groźne, ze względu na większą przepustowość kanałów przy pracy pod ciśnieniem głęboko ułożonej sieci, w stosunku do jej pracy normalnej

Innym zagadnieniem budzącym wątpliwości, którego określenie w wytycznych i zaleceniach projektowych jest niekonsekwentne, jest wysokość wypełnienia kanałów odprowadzających ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe w systemie rozdzielczym bądź półrozdzielczym, przy przepływie obliczeniowym. Wg dawnych WTP wypełnienie przy miarodajnym przepływie ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych powinno być takie, aby wykorzystać połowę całkowitej przepustowości kanału (dla kanałów kołowych oznaczało to wypełnienie do około połowy wysokości). Obecne zalecenia traktują to zagadnienie podobnie, lecz wynikające z nich wypełnienia są większe (dla kanałów kołowych około 0,6 wysokości). Do przepływu miarodajnego należałoby więc włączyć, poza obecnie uwzględnianymi ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi, wody infiltracyjne i drenażowe, zaś wypełnienia obliczeniowe przy tak określonym przepływie miarodajnym powinny być większe, niż zalecane obecnie. Uzasadnić to można nie tylko zwiększeniem przepływu obliczeniowego na skutek dodania do niego wód infiltracyjnych, lecz również sporadycznością występowania maksymalnych przepływów obliczeniowych. Obliczeniowe wypełnienie kanału ściekami powinno również zależeć od wielkości przekroju poprzecznego kanału. Przy dużych kanałach pozostawienie nawet niewielkiej wolnej przestrzeni nad obliczeniowym zwierciadłem ścieków daje dużą bezwzględną rezerwę przepustowości; kanały małe, w przypadku nieplanowanego przyłączenia do kanalizacji nawet niewielu dodatkowych użytkowników, mogą okazać się niewystarczające.

Zupełnie pomijana w obliczeniach jest retencja sieci kanalizacyjnej w systemie rozdzielczym bądź półrozdzielczym. Szczególnie w przypadku długich kanałów o dużych przekrojach i małych spadkach, istnieje znaczny wpływ retencji kanałowej na zmniejszenie wahań natężeń przepływu ścieków, a tym samym na obniżenie maksymalnego (obliczeniowego) natężenia (rys. 3).

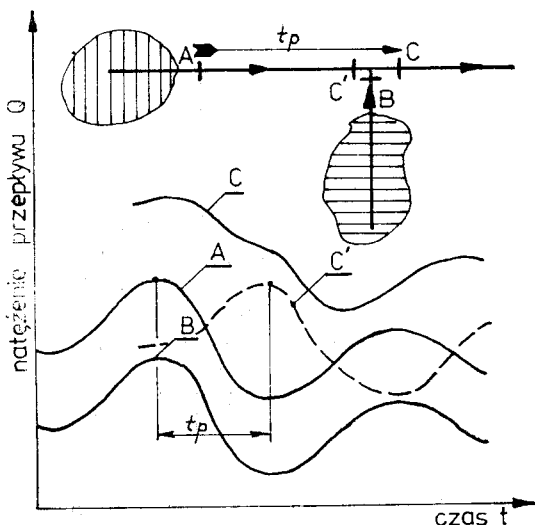
Nie uwzględnia się również przy projektowaniu kanalizacji bytowo-gospodarczej i przemysłowej



Rys. 3. Wpływ retencji kanałowej na zmniejszenie wahań natężeń przepływu ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych.

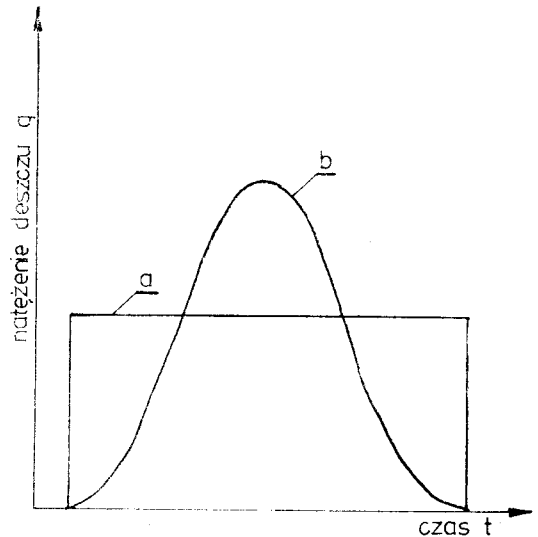
wej czasu przepływu ścieków, co może mieć znaczenie w rozległych systemach kanalizacyjnych, np. kanalizacjach grupowych, regionalnych, itp. W kanale, obsługującym kilka jednostek, nawet o identycznej strukturze czasowej odpływu ścieków, przepływ miarodajny nie musi być równy sumie maksymalnych odpływów z poszczególnych jednostek — jeśli czasy dopływu ścieków z tych jednostek do tego kanału są różne (rys. 4).

Znacznie bardziej skomplikowane jest zjawisko odprowadzania ścieków deszczowych systemem kanałów deszczowych lub ogólnospławnych. Teoretyczna analiza tego zjawiska nie jest zbyt trudna, lecz ogromne kłopoty sprawia weryfikacja teoretycznych modeli matematycznych, wynikających z tej analizy. Bez tej weryfikacji modele te nie mogą być w żadnym przypadku stosowane przy projektowaniu sieci kanalizacyjnej.



Rys. 4. Wpływ czasu przepływu ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych na zmniejszenie maksymalnych natężeń przepływu.

Zjawisko opad-odpływ rozpatrywać można jako kilka niezależnych procesów. Najważniejszym z nich jest przyczyna wystąpienia przepływu w kanale deszczowym lub ogólnospławnym — czyli deszcz. Dotychczas najczęściej stosowany jest model deszczu o stałej intensywności w czasie jego trwania (zależnej od prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu i czasu trwania całego opadu) i o nieograniczonym zasięgu. Opracowano również modele deszczów o intensywności zmiennej w czasie — znalazły one zastosowanie praktyczne w metodach projektowania kanalizacji na podstawie tzw. hydrogramów przepływu ścieków deszczowych, np. metoda RRL, metoda hydrogramów miasta Chicago i inne (rys. 5).



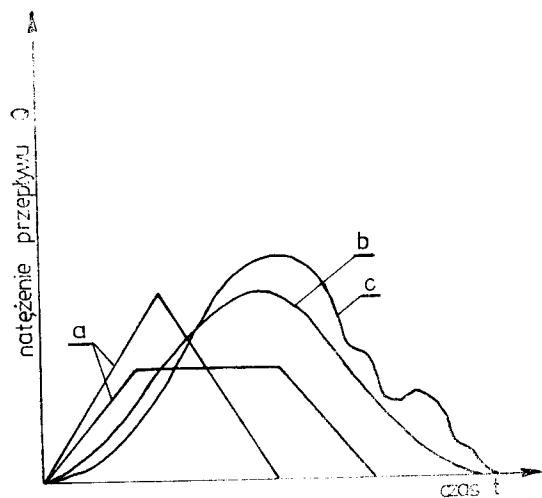
Rys. 5. Modele deszczów stosowane w projektowaniu kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej (a — w metodzie granicznych natężeń, b — w metodach hydrogramów).

Problemy zasięgu oraz zmienności natężenia deszczu w przestrzeni czekają na rozwiązanie, nadające się do wykorzystania przy projektowaniu kanalizacji. Tak więc obecne dążenia kierowane są w stronę zbudowania matematycznego modelu opadu deszczowego, umożliwiającego określenie natężenia (intensywności) deszczu w dowolnym punkcie zlewni, w dowolnej chwili czasu (liczonej np. od początku deszczu). Ten model będzie najistotniejszym — jeśli chodzi o dokładność określenia natężeń przepływu ścieków w kanałach — elementem składowym większego modelu symulującego działanie kanalizacji podczas deszczu.

Następnym, trudnym zagadnieniem, jest transformacja zmiennego w czasie i w przestrzeni opadu wód deszczowych na zlewnię na zmienny w czasie dopływ ścieków deszczowych — przez zlewnię, rynsztoki, wpusty deszczowe, rynny — do kanałów ulicznych. Dąży się w tym przypadku do opracowania modelu matematycznego umożliwiającego — na podstawie znanego modelu matematycznego deszczu — określenie natężenia przepływu ścieków deszczowych w dowolnych przykanalikach w dowolnej chwili czasu (liczonej np. od początku

deszczu). Przebieg spływu wód deszczowych do kanału po powierzchni zlewni zależy od wielu czynników (rozstaw wpustów, rynien; wielkość działki odwadnianej przez wpust, rynnę; nachylenie powierzchni zlewni; rodzaj pokrycia zlewni, ukształtowanie powierzchni zlewni; rodzaj i spadek rynsztoków, typy wpustów deszczowych, itp.), których wpływ ilościowy i jakościowy jest trudny do ustalenia. Weryfikacja modelu matematycznego procesów spływu po zlewni do kanału wód deszczowych — drugiego elementu składowego modelu symulacyjnego — jest więc bardzo trudna, przede wszystkim ze względu na niemożność ustalenia wpływu poszczególnych czynników na wyniki pomiarów, które są podstawą weryfikacji. Wyniki badań (pomiarów) zawierają oczywiście również wpływ współczynnika spływu powierzchniowego, faktycznie zmiennego w czasie. Ustalenie chwilowego wpływu wyłącznie tego parametru na proces opad-odpływ jest również praktycznie niemożliwe. Wszystkie te trudności opóźniają wprowadzenie do modelu symulującego działanie kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, nie budzących wątpliwości zależności matematycznych opisujących spływ ścieków deszczowych po zlewni do kanału ulicznego. Obecnie proponuje się modele uproszczone, których efektem jest najczęściej korygowanie parametrów deszczu na skutek działania tzw. koncentracji terenowej.

Trzecim wreszcie elementem składowym modelu symulującego działanie kanalizacji spowodowane deszczem, jest model matematyczny przepływów w sieci kanalizacyjnej, transformujący zmienne w czasie dopływy wieloma przykanalikami do sieci kanalizacyjnej na — również zmienne w czasie — przepływy w dowolnym przekroju poprzecznym każdego kanału sieci. Dopiero ten element modelu symulacyjnego umożliwia określenie chwilowych przepływów w kanale, a więc również wyznaczenie pewnych przepływów charakterystycznych, np. maksymalnych, średnich, itd. (rys. 6). Wybrane



Rys. 6. Hydrogramy przepływu ścieków deszczowych w kanale (a — w metodzie granicznych natężeń, b — w metodzie hydrogramów, c — w metodach symulujących działanie kanalizacji podczas deszczu).

przepływy charakterystyczne stanowią podstawę ustalania przepływów obliczeniowych — miarodajnych (przepustowości kanałów), tzn. umożliwiają projektowanie spadków i przekrojów kanałów. Na podstawie znajomości zmienności natężeń przepływu ścieków deszczowych wywołanych opadami o różnych charakterystykach — w wybranych przekrojach poprzecznych, miarodajnych do projektowania odcinków kanałów — można również określić w tych przekrojach czas trwania w pewnym okresie natężeń przepływów większych od obliczeniowych.

Ten czas trwania przepływów większych niż obliczeniowe, odpowiada określonemu prawdopodobieństwu przekroczenia przepływu obliczeniowego, a więc umożliwia racjonalne projektowanie kanałów deszczowych i ogólnospławnych, gdyż można dopuścić do okresowej pracy sieci kanałów pod ciśnieniem, a nawet do jej sporadycznych przepełnień i wylewu ścieków na powierzchnię zlewni. Wówczas te wszystkie nieprawidłowości działania kanalizacji dopuszczamy świadomie z określonym, odpowiednio małym prawdopodobieństwem ich wystąpienia.

Znajomość przebiegu zmienności natężeń przepływu ścieków deszczowych w wybranych przekrojach poprzecznych kanałów jest niezbędna również przy projektowaniu obiektów sieciowych na kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej — zbiorników retencyjnych, przepompowni, przelewów burzowych i separatorów oraz syfonów. Wykorzystując modele symulujące pracę kanalizacji podczas deszczu, można śledzić np. przebieg akumulacji ścieków w zbiorniku retencyjnym przy deszczach o różnych parametrach — w przeciwieństwie do metody granicznych natężeń, która umożliwia tylko obliczenie mocno przybliżonego, maksymalnego natężenia przepływu wywołanego innym, charakterystycznym dla każdego przekroju poprzecznego kanału, deszczem. Obecnie istnieją oraz powstają nowe modele przepływu ścieków w kanale, wykorzystujące teorię ruchu wolno-zmiennego. Ich mankamentem jest długi czas obliczeń oraz niemożność analizy rozległych sieci — przy stosowaniu komputerów obecnej generacji. Należy zaznaczyć, że modele te określają chwilowe przepływy w dowolnych przekrojach poprzecznych kanałów z metodycznym uwzględnieniem czasu przepływu ścieków i retencji sieci kanałów powyżej rozpatrywanego przekroju. Nie ma więc potrzeby sztucznego uwzględniania retencji, np. drogą zmniejszania intensywności deszczu miarodajnego poprzez wydłużenie czasu jego trwania — tak jak to ma miejsce w metodzie granicznych natężeń. Do modeli symulujących działanie kanalizacji podczas deszczu mogą być z powodzeniem włączane modele symulujące pracę obiektów kanalizacyjnych i ich wpływ na fragmenty sieci leżące za tymi obiektami. Już obecnie istnieje wiele modeli dla różnych obiektów (szczególnie zbiorników retencyjnych i przepompowni), które mogą mieć praktyczne zastosowanie.

Wnioski

1. Podobnie jak w kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, również w kanalizacji bytowo-gospodarczej i przemysłowej, uwzględniać należy prawdopodobieństwo przekroczenia określonego natężenia przepływu (przepelnienia kanału).
2. Przepływ obliczeniowy w kanalizacji bytowo-gospodarczej i przemysłowej określać należy jako sumę natężeń przepływu ścieków oraz wód drenazowych i infiltracyjnych.
3. Zmienić należy zasady określania wypełnień obliczeniowych w kanałach bytowo-gospodarczych i przemysłowych; wolna przestrzeń w kanale nad obliczeniowym zwierciadłem ścieków powinna być przeznaczona na wentylację sieci, rezerwę przepustowości i ewentualne wody przypadkowe.
4. W obliczeniach sieci bytowo-gospodarczej i przemysłowej uwzględniać należy wpływ retencji kanałów na zmniejszenie wahań (wyrównanie) natężeń przepływu ścieków.
5. Uwzględniać należy — szczególnie w rozległych sieciach — czas przepływu ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych.
6. Rozwijać należy modele matematyczne deszczów ze szczególnym uwzględnieniem zasięgu i rozkładu przestrzennego intensywności opadu.
7. Należy tworzyć modele przepływu ścieków deszczowych po zlewni do kanałów ulicznych.
8. Ulepszać trzeba modele przepływów w kanałach pod kątem zwiększenia szybkości obliczeń i zmniejszenia zajętości pamięci komputerów.
9. Tworzyć trzeba modele symulujące działanie obiektów kanalizacyjnych z myślą o ich zastosowaniu w modelu symulującym działanie całego systemu kanalizacyjnego po wystąpieniu opadu.
10. Podjąć należy próbę budowy pierwszych kompleksowych modeli symulacyjnych, zawierających wszystkie wyżej wymienione modele składowe.

CURRENT TRENDS IN THE EVALUATION OF WASTEWATER FLOW FOR THE NEEDS OF SEWER DESIGN

An account of the available methods is given. Considered are all types of wastewater, i.e. sanitary se-

wage, storm flow, industrial wastes, infiltration water and incidental water flow. A critical analysis of the wastewater flow values made use of in the computation of sewer systems is carried out. On this basis a new approach to the problem is postulated.