

Richard Ashley, Wojciech Dąbrowski, Adam Wielgórski

Badania nad pochodzeniem zanieczyszczeń transportowanych w czasie pogody deszczowej w kanale ogólnospławnym

Ocenia się że, ładunki zanieczyszczeń odprowadzanych do rzek przez przelewy burzowe przekraczają w krajach uprzemysłowionych, w długiej perspektywie czasowej, ładunki BZT₅, ChZT i metali ciężkich odprowadzane z oczyszczalni ścieków [1]. Dlatego zarówno w krajach Unii Europejskiej jak i w Stanach Zjednoczonych przeznaczają się poważne środki finansowe na obniżenie stężeń zanieczyszczeń w ściekach i wodach deszczowych odprowadzanych przez przelewy burzowe. Dzięki tym środkom opracowano i wdrożono w skali technicznej przelewy burzowe częściowo rozdzielające zawiesiny w wyniku działania sił hydrodynamicznych, jak np. Vortex, SWIRL [2] oraz Storm King [3].

Ładunki zanieczyszczeń odprowadzanych przez przelewy burzowe do odbiornika oblicza się zazwyczaj na podstawie symulacji numerycznych prowadzonych przy pomocy ogólnie znanych programów obliczeniowych, jak np. SWMM, Mouse czy Mosquito. Niestety obliczenia te wymagają starannego wytarowania modeli na podstawie kosztownego monitoringu ilości i jakości ścieków w charakterystycznych punktach zlewni, zarówno w czasie suchej jak i deszczowej pogody [4–7].

W Polsce tradycyjnie wymiaruje się przelewy burzowe w oparciu o graniczny współczynnik rozcieńczenia, przyjmowany w granicach od 2 do 6, w zależności od chłonności odbiornika i miejsca położenia przelewu. U podstaw tego sposobu wymiarowania wysokości położenia krawędzi przelewu leżało pierwotnie przekonanie, że spływy powierzchniowe wód deszczowych są stosunkowo czyste, a więc ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych z przelewu do rzeki pochodzi głównie z rozcieńczonych ścieków. Pogląd ten już dawno okazał się niesłuszny, szczególnie dla deszczów następujących po długotrwałej pogodzie bezdeszczowej [8]. Jednakże dotychczas nie opracowano w kraju nowych metod projektowania przelewów burzowych, a jedynie ostatnio dodatkowo ograniczono liczbę zrzutów w ciągu roku.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad udziałem zanieczyszczeń pochodzących z rozcieńczonych ścieków w całej ilości zanieczyszczeń transportowanych kanałem ogólnospławnym w czasie pogody deszczowej. Do tego celu wykorzystano wyniki analiz BZT₅, ChZT, zawiesin, NH₄ oraz bakterii *coli* (oznaczonych metodą membranową) wykona-

nych przez zespół badawczy Instytutu Technologii w Dundee (obecnie *University Abertay Dundee*) w Wielkiej Brytanii.

Opis zlewni

Ładunki zanieczyszczeń trafiające do kanalizacji ze spływów powierzchniowych zależą nie tylko od długości okresu bezdeszczowego i intensywności opadu, ale również od sposobu zagospodarowania zlewni i spadku terenu. Badania transportu zanieczyszczeń prowadzono w kanale ogólnospławnym o wymiarach 1.060×690 mm, położonym w miejscowości Dundee pod ulicą Perth i odprowadzającym ścieki od 5.225 mieszkańców oraz wody deszczowe ze zlewni o powierzchni 76 ha i przeciętnym spadku terenu równym 4%.

Wyniki badań

Na podstawie wyników pomiarów natężenia przepływu ścieków oraz stężeń azotu amonowego, ChZT, BZT₅, zawiesin, a także liczebności bakterii *coli*, bakterii *coli* typu kałowego oraz bakterii *streptococcus*, przeprowadzonych dla pogody bezdeszczowej i dla pogody deszczowej, określono ładunki poszczególnych zanieczyszczeń transportowanych w tych samych godzinach kanałem ogólnospławnym. Badania prowadzono przez dwa dni robocze, przy czym pomiary tygodniowe natężeń przepływu w okresie bezdeszczowym wykazały, że powtarzały się one z dużą regularnością. Opad deszczu charakteryzował się intensywnością od 4 do 12 mm/h. Liczebność bakterii *coli* w czasie pogody deszczowej wahała się w granicach 1+10 mln kom./dm³, podczas gdy w czasie pogody bezdeszczowej w analogicznym okresie wynosiła 15+40 mln kom./dm³. Jednakże transportowany kanałem ładunek bakterii *coli* w czasie deszczu był czterokrotnie większy niż podczas pogody bezdeszczowej. Podobnie ładunki bakterii *coli* typu kałowego oraz bakterii *streptococcus* transportowane w czasie deszczu były od kilku do kilkudziesięciu razy większe niż w okresie suchym. Jeszcze większe wartości przyjmował iloraz ładunków zanieczyszczeń przenoszonych kanałem w czasie deszczu do ładunku zanieczyszczeń w okresie bezdeszczowym dla BZT₅ (rys.1), ChZT (rys.2), azotu amonowego (rys.3) oraz zawiesin (rys.4). Stężenia zawiesin były nawet większe w czasie deszczu niż podczas pogody suchej.

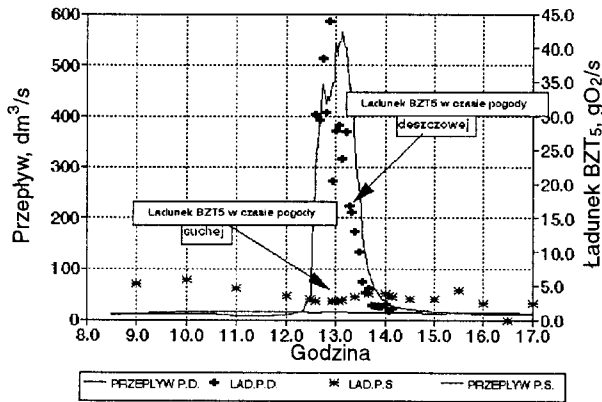
Dyskusja wyników

Na podstawie pomierzonych wartości stężeń zanieczyszczeń oraz natężeń przepływu wód w kanale obliczono iloraz

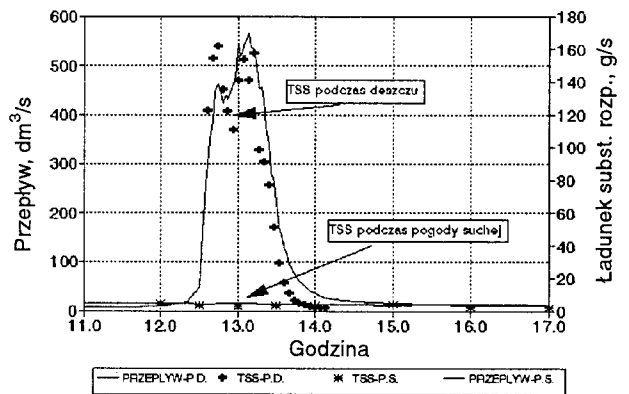
Prof. R. Ashley: University Abertay Dundee, Department of Civil Engineering, Surveying and Building, Bell Street, Dundee, DD1 1HG, Scotland

Dr hab.inż. W. Dąbrowski: Politechnika Krakowska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków oraz: Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25–314 Kielce

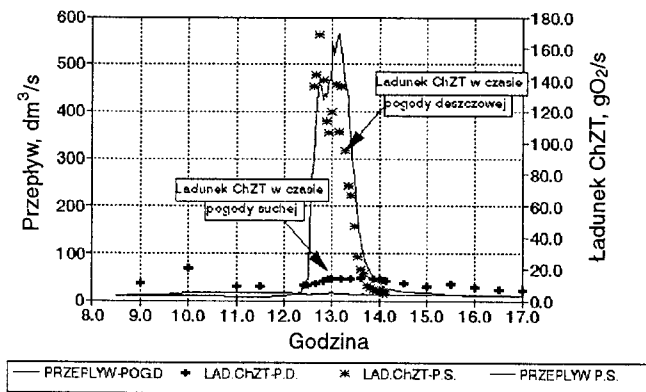
Mgr inż. A. Wielgórski: Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków



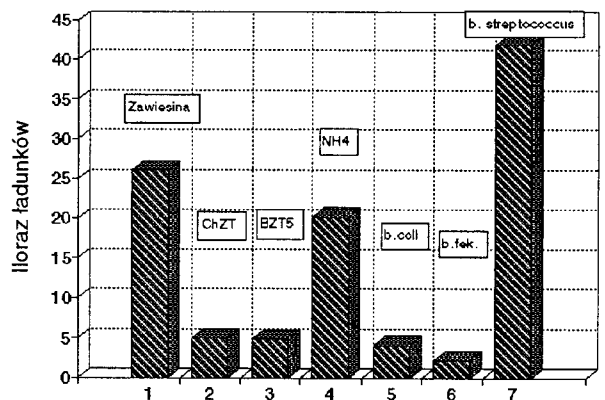
Rys. 1. Zależność ładunku BZT₅ i natężenia przepływu od czasu (P.D. – pogoda deszczowa, P.S. – bezdeszczowa)



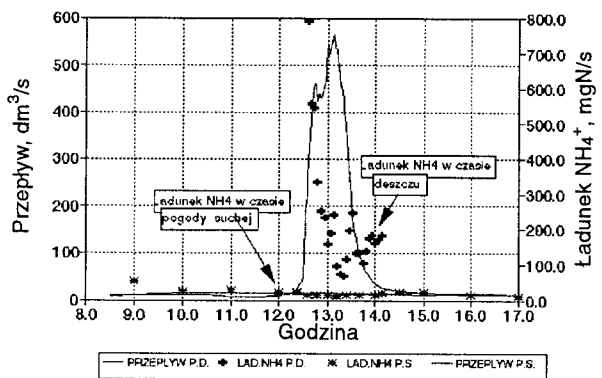
Rys. 4. Zależność ładunku zawiesin i natężenia przepływu od czasu (P.D. – pogoda deszczowa, P.S. – bezdeszczowa)



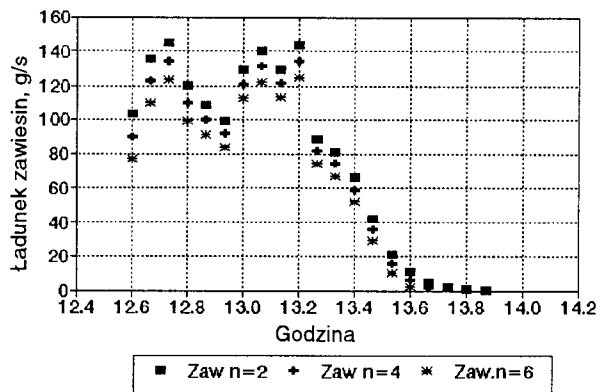
Rys. 2. Zależność ładunku ChZT i natężenia przepływu od czasu (P.D. – pogoda deszczowa, P.S. – bezdeszczowa)



Rys. 5. Iloraz chwilowego ładunku poszczególnych zanieczyszczeń transportowanych podczas deszczu do ładunku zanieczyszczeń transportowanych wraz ze ściekami o tej samej porze doby



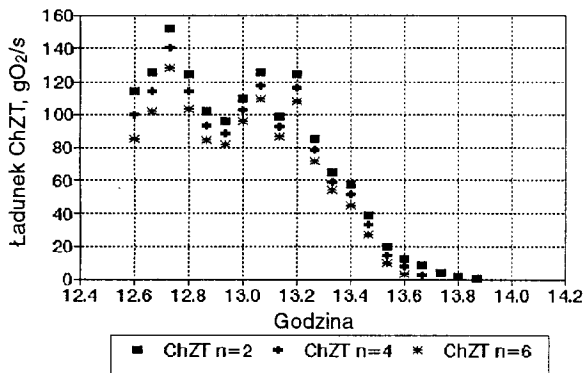
Rys. 3. Zależność ładunku azotu amonowego i natężenia przepływu od czasu (P.D. – pogoda deszczowa, P.S. – bezdeszczowa)



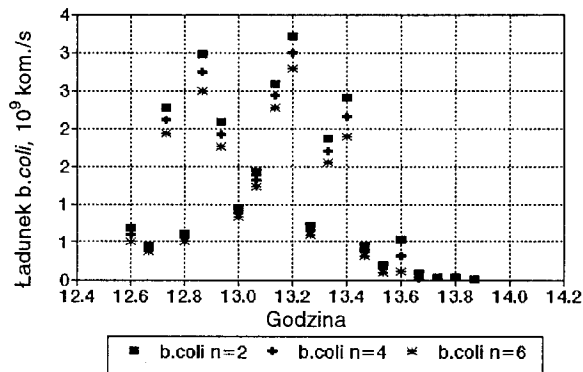
Rys. 6. Zależność ładunku zawiesin odprowadzanych przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia

Tabela 1. Iloraz chwilowego ładunku zanieczyszczeń transportowanych podczas deszczu (21-05-92) do ładunku zanieczyszczeń transportowanych wraz ze ściekami (8/9-02-92) o tej samej porze doby

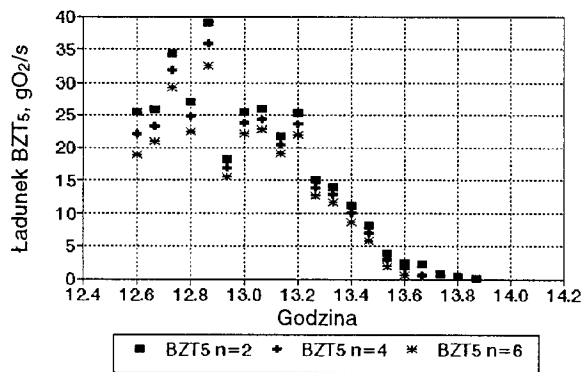
Ładunek zanieczyszczenia	Zawiesiny g/s	ChZT gO ₂ /s	BZT ₅ gO ₂ /s	NH ₄ mgN/s	Bakterie coli kom./s	Bakterie coli typu kałowego kom./s	Bakterie streptococcus kom./s
Pogoda deszczowa	116,08	109,06	24,52	333,44	1,8E+10	5,4E+09	3,2E+08
Pogoda sucha	4,45	21,91	4,98	16,47	4,4E+09	2,4E+09	7,6E+06
Iloraz	26,08	4,98	4,92	20,24	4,09	2,25	41,83



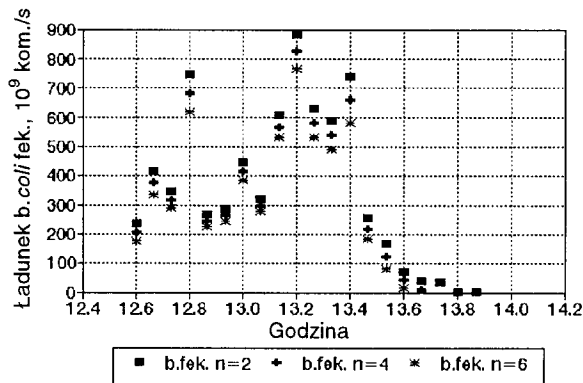
Rys. 7. Zależność ładunku ChZT odprowadzanego przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia



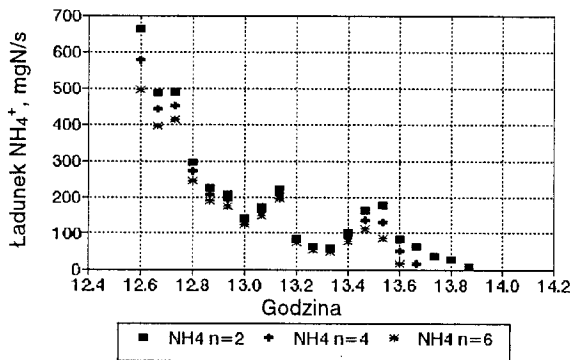
Rys. 10. Zależność ładunku bakterii coli odprowadzanych przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia



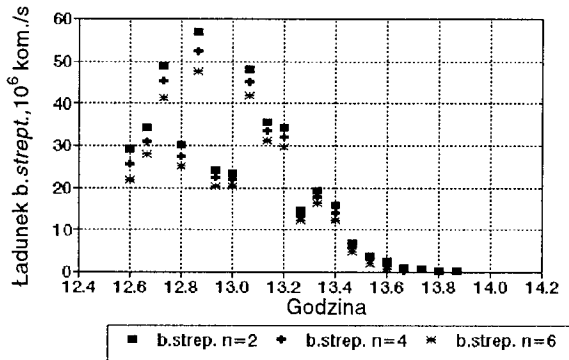
Rys. 8. Zależność ładunku BZT₅ odprowadzanego przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia



Rys. 11. Zależność ładunku bakterii coli typu kałowego odprowadzanych przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia



Rys. 9. Zależność ładunku azotu amonowego odprowadzanego przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia



Rys. 12. Zależność ładunku bakterii streptococcus odprowadzanych przez przelew burzowy od granicznego współczynnika rozcieńczenia

całkowitego ładunku zanieczyszczeń (t_1)¹² CQdt) transportowanych w kanale w czasie pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń, który został przeniesiony w wodach zużytych podczas pogody bezdeszczowej (t_2 – początek wzrostu natężenia przepływu spowodowanego deszczem, t_3 – czas, w którym praktycznie zanikł ten wzrost, C – stężenie zanieczyszczeń, Q – natężenie przepływu, t – czas).

Zawarte w tabeli 1 wyniki ilustruje graficznie rysunek 5. Ładunek zanieczyszczeń transportowanych kanałem w czasie deszczu był dla bakterii *streptococcus* ponad 41-krotnie, dla zawiesin powyżej 26-krotnie, a dla azotu amonowego ponad 20-krotnie większy niż w analogicznym okresie pogody bez-

deszczowej. Ładunki ChZT, BZT₅ i bakterii *coli* w wodach przepływających kanałem były kilkakrotnie wyższe w czasie deszczu, a więc i dla nich określenie zagrożenia odbiornika przelewem burzowym na podstawie współczynnika rozcieńczenia i ładunku przeniesionego przez wody zużyte nie jest miarodajne.

O ile azot amonowy jest w nieznanym stopniu związany z zawiesinami i jego stężenie w ściekach i wodach deszczowych przepływających kanałami nieznacznie zależy od głębokości, o tyle inne zanieczyszczenia transportowane są bliżej dna w większym stężeniu i stąd ich ładunek w odpływie przez przelew burzowy może być niższy niż wynika to z procento-

wego udziału objętości przelewających się wód w objętości wody dopływającej do przelewu. Jednakże w celu oszacowania wpływu współczynnika granicznego rozcieńczenia na zanieczyszczenia odprowadzane do rzek przyjęto hipotetycznie, że w miejscu, gdzie prowadzono w kanale pomiary założony zostaje przelew burzowy, a burzliwy ruch wód dopuszcza przyjęcie założenia, że są one całkowicie wymieszane, to znaczy że stężenia zanieczyszczeń nie zależą od wysokości punktu poboru próby. Przy tych założeniach chwilowe ładunki zanieczyszczeń odprowadzanych przez przelew burzowy byłyby takie jak pokazano na rysunkach 6–12. Wynika z nich, że zmiana wartości granicznego współczynnika rozcieńczenia z 2 do 6 nie pozwala na znaczne zmniejszenie ładunków zanieczyszczeń, jakie w czasie badanego deszczu byłyby odprowadzane do rzeki, gdyby w rozpatrywanym przekroju założono przelew burzowy. Taki wynik obliczeń można wytłumaczyć dużą wartością ilorazu natężenia przepływu wód deszczowych do natężenia przepływu ścieków (do 22), a więc wielokrotnie większą od przyjmowanych w Polsce granicznych współczynników rozcieńczenia mieszczących się w zakresie 2+6.

Dla deszczu o mniejszym natężeniu opadu rola granicznego współczynnika rozcieńczenia w ładunku odprowadzanych zanieczyszczeń byłaby większa. Przeprowadzone obliczenia wskazują na celowość oczyszczania wód odprowadzanych z przelewów burzowych.

Wnioski

◆ W badanym przekroju kanału ogólnospławnego w czasie blisko dwugodzinnego deszczu natężenia przepływu wzrosły do 22-krotnie w porównaniu z natężeniem przepływu w czasie pogody bezdeszczowej, przy czym całkowite ładunki zanieczyszczeń transportowane tym kanałem były dla zawiesin 26-krotnie, dla ChZT i BZT₅ 5-krotnie, dla azotu amonowego ponad 20-krotnie, dla bakterii *coli* 4-krotnie, dla bakterii *streptococcus* aż 42-krotnie większe podczas deszczu niż w tej samej porze dnia bez opadu.

◆ Uzyskane wyniki świadczą o tym, że zanieczyszczenia w przeważającej części pochodziły z innych źródeł niż rozcieńczone ścieki, a więc ze spływów powierzchniowych oraz prawdopodobnie z wymywanych osadów akumulowanych w kanale ogólnospławnym w okresie niskich natężeń przepływu. Pochodzenie to powinno być brane pod uwagę przy projektowaniu przelewów burzowych.

LITERATURA

1. W. DĄBROWSKI, R. ASHLEY: Transport osadów w kanałach ściekowych – pobór próbek ścieków i osadu. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1994, nr 5, 135–139.
2. R. FIELD, H. MASTERS: Swirl device for regulating and treating combined sewer overflows. EPA Technology Transfer Capsule Report, 1977, EPA–625/2-77-012, p. 25.
3. G. HEINKING, N. WILCOXON: Use of SWIRL concentrator for combined sewer overflow management. Journal of Water Pollution Control Federation, 1985, Vol. 57, No. 5, pp. 398–402.
4. M. VERBANCK, R. ASHLEY, A. BACHOC: Summary of conclusions, International Workshop on origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems. Brussels, 1991, manuscript, p. 10.
5. R. M. ASHLEY, D. J. J. WOTHERSPOON, M. J. GOODISON, I. MCGREGOR, B. P. COGHLAN: The deposition and erosion of sediments in sewers. IAWPRC Biennial Conference, Washington, 1992, manuscript, p. 111.
6. J. E. VEENHUIS, J. H. PARRISH, M. E. JENNINGS: Monitoring and design of stormwater control basins. Design of Urban Runoff Quality Controls. Proceedings from an Engineering Foundation Conference on Current Practice and Design Criteria for Urban Quality Control, ASCE, 1988, pp. 224–236.
7. R. ASHLEY, M. J. GOODISON: The development of best optimum solutions to drainage problems. Wat. Sci. Tech., 1991, Vol. 24, No. 6, 89–99.
8. M. D. JAMES: The single pipe system. Proceedings from the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Ontario, 1993, p. 1241.
9. C. NALLURI, W. DĄBROWSKI: Need for new standards to prevent deposition in wastewater sewers. Journal of Environmental Engineering, ASCE, 1994, Vol. 120, No. 5, pp. 1032–1043.

Investigations into the Origin of Pollution Monitored in Combined Sewers During Storm Flows

The results of two-day intensive monitoring of combined sewerage were discussed to compare both the concentrations and the loads of the pollutants released from the catchment surface and the sewer deposit during storm weather with the concentrations and the loads of the pollutants observed during a dry weather period. A one and a half hour storm of rain intensity from 4 to 12 mm/h brought about a considerable rise in the loads of TSS, COD, BOD, AmmN, TC, FC and FS which became 26; 5; 5; 20; 4; 2 and 42 times as high as their dry-weather values,

respectively. However, with the exception of suspended solids, the concentrations of all the other pollutants monitored were higher during the dry weather period. If this wastewater were sent to a combined sewer overflow, the load of the pollutants discharged from this particular storm would be only slightly dependent on the value of the initial overflow dilution coefficient, assumed for the calculations in the range from 2 to 6, as specified in the Polish Codes of Practice.