

Marek Zawilski, Agnieszka Brzezińska

Wpływ przeciążenia biologicznej oczyszczalni ścieków w okresach mokrej pogody na jej sprawność

Oczyszczalnia ścieków może ulegać przeciążeniom hydraulicznym, co może mieć miejsce podczas opadów atmosferycznych (tzw. mokra pogoda), kiedy to bardzo często występuje efekt tzw. pierwszej fali zanieczyszczeń, powodujący znaczne – choć chwilowe – przeciążenia urządzeń technologicznych oczyszczalni. Wystąpienie efektu pierwszej fali zanieczyszczeń związane jest ściśle z intensywnością opadów atmosferycznych (również roztopów) oraz przerwami pomiędzy ich wystąpieniami. Konieczne jest więc ujmowanie zanieczyszczonych wód opadowych oraz odpowiednie ich zagospodarowanie, mające na celu minimalizację szkodliwego wpływu ścieków ogólnospławnych na pracę oczyszczalni [1]. Brak odpowiednich działań w tym zakresie może doprowadzić do znacznych zakłóceń w pracy oczyszczalni ścieków, co jest przedmiotem niniejszego artykułu. Ze względu na dążenie do oczyszczania wszystkich rodzajów ścieków odprowadzanych do środowiska naturalnego, również wody opadowe powinny być ujmowane i oczyszczane w całości.

Zjawisko pierwszej fali zanieczyszczeń

Grupowa Oczyszczalnia Ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej pracuje bez zastrzeżeń i w 2002 r. spełniła wszelkie obowiązujące wymogi. Codzienną kontrolę przebiegu procesów oczyszczania ścieków prowadzi laboratorium oczyszczalni oraz okresowo kilka niezależnych instytucji [2]. W tabeli 1 zamieszczono parametry podstawowych urządzeń analizowanej oczyszczalni ścieków.

Tabela 1. Parametry urządzeń oczyszczalni ścieków podczas suchej pogody (bez recykulacji zewnętrznej)

Urządzenie	Pow. czynna m ²	Objętość czynna m ³	Czas przetrzymania h	Średnie godz. nat. przepływu m ³ /h	Obciążenie hydr. m ³ /m ² h
Osadnik wstępny (6 szt.)	5 773	20 208	2,42	8 333	1,44
Komora osadu czynnego (4 szt.)	–	77 100	9,25	8 333	–
Osadnik wtórny (4 szt.)	8 832	37 108	4,45	8 333	0,94

Łączny czas przetrzymania ścieków (ok. 15 godz.), w zależności od ilości dopływających ścieków, może ulegać pewnym zmianom. Podczas suchej pogody obciążenie hydrauliczne urządzeń pokrywa się z zalecanymi wartościami projektowymi. Obliczone wartości obciążeń pozwalają na pewne

dociążenie urządzeń w trakcie mokrej pogody, bez większych zakłóceń w pracy oczyszczalni. W czasie rozruchu oczyszczalni ścieków określono graniczne obciążenie hydrauliczne osadników wstępnych, przy którym zaobserwowano wymywanie osadu. Obciążenie to odpowiadało czasowi przetrzymania około 0,8 godz.

Stężenie zanieczyszczeń oraz ich ładunki w wodach opadowych ulegają zmianom w czasie trwania spływu. Wartości te zależą od parametrów opadu, tj. wysokości, natężenia, czasu trwania i długości przerw pomiędzy kolejnymi opadami. Najbardziej zanieczyszczona jest najczęściej pierwsza fala spływu. Zdarzają się jednak wypadki, kiedy maksymalne stężenie zanieczyszczeń pojawia się na późniejszym etapie spływu lub utrzymuje się na stosunkowo wysokim poziomie przez znacznie dłuższy czas. Wody opadowe pochodzące z terenów miejskich zawierają znaczne ilości zawiesin (głównie substancje mineralne), a mniej zanieczyszczeń organicznych wyrażonych jako BZT₅. W ich skład wchodzi także tłuszcze, oleje, chlorki, związki azotu i fosforu oraz metale ciężkie, a w szczególności ołów. Skład wód opadowych spływających z terenów przemysłowych może znacznie się różnić od składu wód odprowadzanych z terenów miejskich. Decyduje o tym rodzaj przemysłu i wielkość produkcji na danym terenie. Dlatego też najbardziej prawidłowym postępowaniem przy wyznaczaniu stężeń i ładunków zanieczyszczeń znajdujących się w wodach deszczowych jest przeprowadzenie indywidualnych badań na analizowanym obszarze.

Spływy opadowe ze zlewni zurbanizowanej może zawierać tylko niektóre rodzaje zanieczyszczeń. Należą do nich m.in. zawiesiny, jony metali ciężkich, substancje biogenne, zanieczyszczenia z ciągów komunikacyjnych oraz ciała stałe w postaci skrutek (liście itp.). Intensywność tego spływu powoduje zmienny w czasie efekt spłukiwania zanieczyszczeń ze zlewni. Przeprowadzone badania potwierdzają występowanie efektu „pierwszej fali zanieczyszczeń” [6,9,13,14]. Podczas pierwszych minut intensywnego opadu deszczu następuje spłukanie większości piasku i innych zanieczyszczeń stałych, następnie szybkość ich przedostawania się do wód deszczowych maleje ze względu na ich mniejszą ilość oraz zmianę natężenia opadu. Czasem zdarza się zjawisko odwrotne, nazywane „ostatnią falą”, polegające na wymywaniu przez strumień ścieków osadów zgromadzonych w kanałach podczas dłuższych okresów napełniania kanałów i spadku prędkości przepływu, np. w wyniku powstawania podpiętrzeń i zjawiska cofki. Opadłe zanieczyszczenia są wymywane pod koniec opróżniania kanałów, gdy prędkość przepływu może wzrosnąć. Efekt „pierwszej fali” jest bardziej zauważalny na obszarach, na których gromadzą się duże ilości zanieczyszczeń podczas długich okresów między intensywnymi opadami. Efekt ten można zaobserwować również w odpływie wód burzowych z małych zlewni o dużym stopniu uszczelnienia powierzchni.

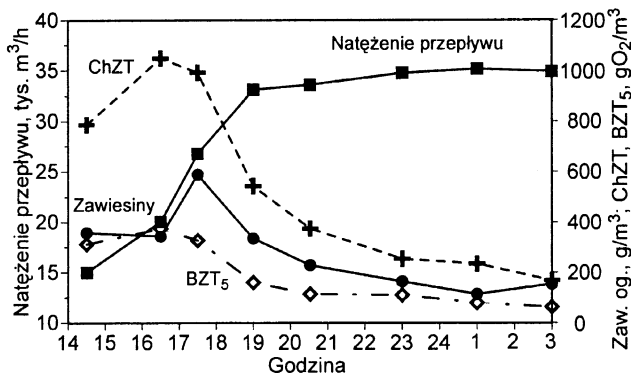
Ujmowanie i oczyszczanie pierwszej fali wód opadowych chroni oczyszczalnię ścieków przed przeciążeniem, co pozwala na minimalizację szkodliwego działania ścieków ogólnospławnych zawierających wody opadowe. Nie dopuszcza się wówczas do znaczących zmian parametrów technologicznych procesu oczyszczania ścieków. Możliwa staje się wtedy lepsza ochrona urządzeń i procesów oczyszczania przed dopływem rozcieńczonych ścieków o zwiększonej zawartości tlenu, przed niekorzystnymi zmianami w sedimentacji zawieszin w osadniku wstępnym oraz usuwania biogenów w procesie biologicznego oczyszczania ścieków, a także przed przeciążeniem hydraulicznym osadnika wtórnego. Te bardzo istotne zagadnienia powodują konieczność prowadzenia dalszych szczegółowych badań nad możliwością ujmowania i oczyszczania pierwszych – najbardziej zanieczyszczonych – objętości wód deszczowych oraz ich właściwym zagospodarowaniem.

Badania sprawności oczyszczania ścieków

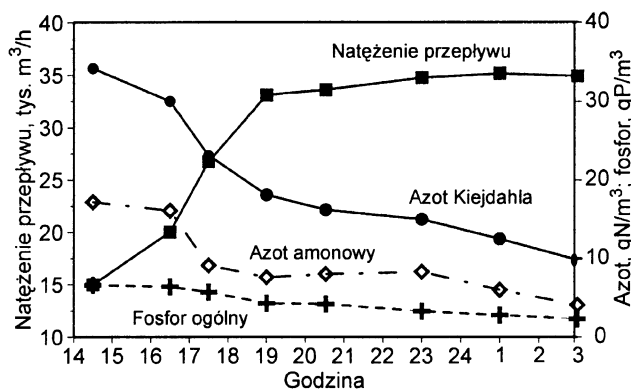
Każda zmiana suchej pogody, podczas której oczyszczalnia ścieków spełnia swoją funkcję w sposób założony w projekcie (zachowanie wartości wskaźników zanieczyszczeń na odpływie), na mokraj pogodę, pociąga za sobą zmianę ilości i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni, co ma ogromny wpływ na utrzymanie projektowanych parametrów pracy obiektu. W styczniu i lutym 2003 r. przeprowadzono badania pilotowe obejmujące okres roztopów (jako szczególny rodzaj mokrej pogody) oraz okres pogody suchej. 14 stycznia 2003 r. w godzinach popołudniowych wystąpił wzrost temperatury do około $+5^{\circ}\text{C}$, połączony z opadem deszczu o średnim natężeniu $3,3 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ (przepływ maksymalny $7,8 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$). Wyniki badań składu ścieków zamieszczono w tabelach 2 i 3 oraz zilustrowano na rysunkach 1–4.

Badania zawartości metali ciężkich w ściekach ogólnospławnych podczas roztopów wykazały obecność cynku w granicach $0,125 \pm 0,182 \text{ gZn}/\text{m}^3$, miedzi $0,01 \pm 0,033 \text{ gCu}/\text{m}^3$, ołowiu poniżej $<0,005 \text{ gPb}/\text{m}^3$ i kadmu $<0,001 \text{ gCd}/\text{m}^3$. W porównaniu z okresem mokrej pogody, ścieki z okresu suchej pogody charakteryzowały się znacznie mniejszą zawartością cynku – $0,033 \text{ gZn}/\text{m}^3$ i wzrostem zawartości miedzi do $0,043 \text{ gCu}/\text{m}^3$. Zawartości ołowiu i kadmu nie uległy zmianom i wynosiły odpowiednio $<0,005 \text{ gPb}/\text{m}^3$ i $<0,001 \text{ gCd}/\text{m}^3$. Ponadto badania wykazały obecność chlorków w ściekach w stężeniach do $1200 \text{ gCl}/\text{m}^3$, co było efektem stosowania soli do utrzymania ruchu kołowego w porze zimowej.

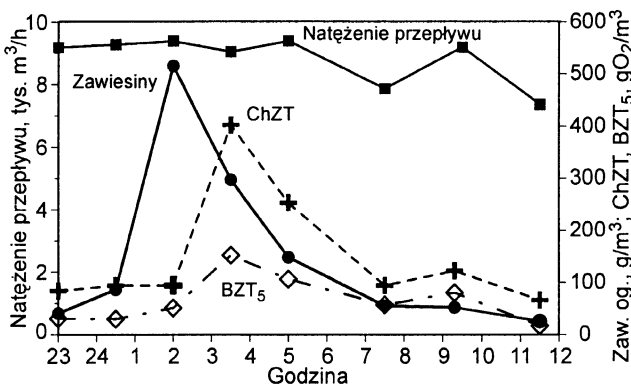
Badania wykonane na oczyszczalni ścieków potwierdziły występowanie zjawiska „pierwszej fali”, związanej ze znacznym wzrostem stężenia dopływających zawieszin do $588 \text{ g}/\text{m}^3$ i ChZT do $1048 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ (rys. 1). Wraz ze wzrostem stopnia rozcieńczenia ścieków wodami roztopowymi nastąpił spodziewany spadek stężenia azotu amonowego, azotu ogólnego (Kjeldahla) oraz fosforu ogólnego (rys. 2). Jak jednak wynika z przedstawionych danych, wartości ładunków zanieczyszczeń początkowo nieznacznie wrosły, po czym miały wyraźną tendencję malejącą. Wody roztopowe stały się poważnym źródłem zakłóceń w pracy oczyszczalni ścieków. Wartości BZT₅ i ChZT ścieków na odpływie osiągnęły $152 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ i $402 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ (rys. 3), kiedy podczas pogody suchej wartości te nie przekroczyły odpowiednio $47 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ i $53 \text{ gO}_2/\text{m}^3$. Wyniki badań tej serii potwierdziły konieczność ochrony oczyszczalni ścieków przed znaczną ilością silnie zanieczyszczonych wód deszczowych (w tym wypadku roztopowych).



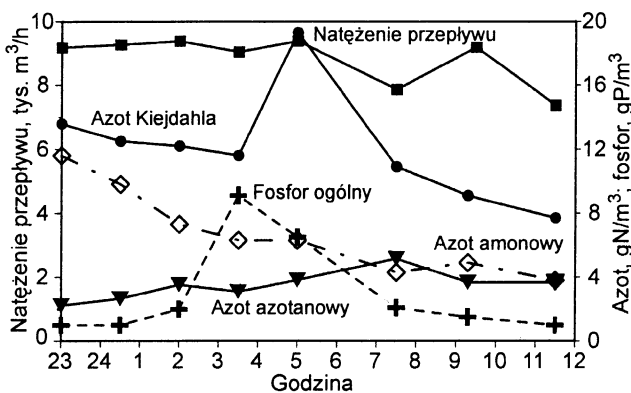
Rys. 1. Przebieg zmian podstawowych wskaźników ścieków ogólnospławnych podczas dopływu wód roztopowych do oczyszczalni ścieków (14/15-01-2003)



Rys. 2. Przebieg zmian podstawowych wskaźników ścieków ogólnospławnych podczas dopływu wód roztopowych do oczyszczalni ścieków (14/15-01-2003)



Rys. 3. Przebieg zmian podstawowych wskaźników ścieków oczyszczonych (po osadniku wtórnym) podczas dopływu wód roztopowych do oczyszczalni ścieków (14/15-01-2003)



Rys. 4. Przebieg zmian podstawowych wskaźników ścieków oczyszczonych (po osadniku wtórnym) podczas dopływu wód roztopowych do oczyszczalni ścieków (14/15-01-2003)

Tabela 2. Charakterystyka ścieków ogólnospławnych zawierających wody roztopowe (14-01-2003)

Ścieki surowe												
Godzina poboru	Natężenie przepływu m ³ /h	pH	Tlen rozp. gO ₂ /m ³	Temp. °C	Zawiesiny ogólne g/m ³	BZT ₅ g/m ³	ChZT g/m ³	NH ₄ ⁺ gN/m ³	Azot Kjeldahla gN/m ³	NO ₃ ⁻ gN/m ³	NO ₂ ⁻ gN/m ³	Fosfor ogólny gP/m ³
14.30	14 983	7,30	–	–	357	311	786	17,2	34,2	0	0,005	6,6
16.30	20 033	7,33	8,6	11,3	343	374	1 048	16,1	30,0	0	0,004	6,4
17.30	26 742	7,74	6,7	8,3	588	326	992	9,1	23,1	0	0,002	5,7
19.00	33 101	7,78	6,8	7,0	334	160	543	7,6	18,1	0	0,000	4,3
20.30	33 600	8,23	7,5	7,8	228	114	374	8,0	16,2	0,147	0,001	4,2
23.00	34 750	8,37	6,8	6,9	164	110	253	8,3	15,0	0	0,022	3,3
01.00	35 150	8,66	6,8	7,0	114	79	234	6,0	12,5	0	0,110	2,8
03.00	34 912	8,56	7,3	5,9	154	63	168	4,1	9,8	0,735	0,042	2,3
Ścieki po osadniku wstępnym												
15.00	–	6,94	–	–	288	221	562	13,7	22,4	0	0	7,3
16.30	–	6,87	–	–	375	400	786	20,6	32,6	0	0	8,7
18.00	–	7,06	–	–	261	324	636	26,0	44,2	0	0	9,6
19.30	–	6,86	–	–	288	330	431	13,4	24,2	0	0	5,9
21.00	–	7,07	–	–	183	188	356	9,8	19,7	0	0	5,4
23.30	–	7,26	–	–	167	128	290	9,1	17,8	0	0	4,3
01.30	–	7,37	–	–	182	154	300	10,1	20,2	0	0	4,9
Ścieki po osadniku wtórnym												
23.00	–	7,15	–	–	41	31	84	11,6	13,6	2,23	0,90	1,0
00.30	–	7,06	–	–	86	30	94	9,8	12,5	2,65	1,02	1,0
02.00	–	7,00	–	–	515	51	94	7,3	12,2	3,53	0,63	2,0
03.30	–	6,99	–	–	297	152	402	6,3	11,6	3,09	0,59	9,1
05.00	–	7,02	–	–	148	106	253	6,3	19,3	3,82	0,39	6,5
07.30	–	6,96	–	–	55	57	94	4,3	10,9	5,15	0,51	2,1
09.30	–	7,00	–	–	52	80	122	4,9	9,1	3,68	0,26	1,5
11.30	–	6,97	–	–	26	17	66	3,8	7,7	3,68	0,37	1,0

Tabela 3. Charakterystyka ścieków ogólnospławnych podczas suchej pogody (03-02-2003)

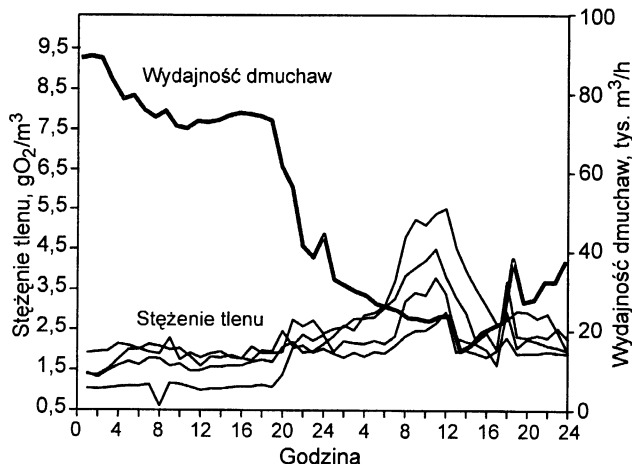
Godzina poboru	Punkt poboru	Natężenie przepływu m ³ /h	pH	Tlen rozp. gO ₂ /m ³	Temp. °C	Zawiesiny ogólne g/m ³	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	NH ₄ ⁺ gN/m ³	Azot Kjeldahla gN/m ³	NO ₃ ⁻ gN/m ³	NO ₂ ⁻ gN/m ³	Fosfor ogólny gP/m ³
05.00	1	5000	7,81	1,87	14,7	56	135	251	21,3	21,3	0,08	0,005	5,4
09.00	1	5769	8,19	1,95	14,5	128	160	358	32,5	44,1	0,13	0,003	4,2
13.00	1	10 225	8,4	1,36	15,2	365	310	645	37,8	55,9	0,01	0,015	10,4
05.30	2	–	7,37	–	–	92	150	305	36,7	47,9	0,00	0	8,7
09.30	2	–	7,34	–	–	–	165	340	40,0	41,2	0,00	0	8,6
13.30	2	–	7,86	–	–	132	200	573	45,6	60,6	0,00	0	9,4
13.00	3	–	7,19	–	–	14	47	53	22,0	22,8	1,62	0,785	0,6
17.00	3	–	7,06	–	–	2	27	38	13,2	13,9	0,57	0,157	1,1
21.00	2	–	7,15	–	–	2	25	44	25,9	27,6	0,51	0,608	0,6

1 – ścieki surowe, 2 – ścieki po osadniku wstępnym, 3 – ścieki po osadniku wtórnym

Kolejna seria pomiarowa została wykonana 12 marca 2003 r. Spływ ścieków ogólnospławnych był wywołany przez słaby opad o średniej intensywności 1,1 dm³/s·ha, trwający około 14 godz. Charakterystyka jakościowa ścieków surowych odzwierciedlała w tym wypadku niemal dokładnie jedynie efekt rozcieńczenia ścieków z okresu suchej pogody. Nie zaobserwowano efektu „pierwszej fali zanieczyszczeń”. Dalsze badania prowadzone będą w celu analizy wpływu innych zjawisk deszczowych (burze, długotrwałe opady) na

jakość ścieków dopływających do oczyszczalni i skuteczność ich oczyszczania.

W czasie badań analizowano także proces natleniania zawartości komór osadu czynnego. Analizując przebieg zmian stężenia tlenu rozpuszczonego oraz ilość doprowadzonego powietrza stwierdzono, że fala spływu opadowego spowodowała znaczny spadek zapotrzebowania na tlen (rys. 5). Jednocześnie, mimo ograniczenia dopływu powietrza, stężenie tlenu w komorze wzrosło nawet do poziomu 5 gO₂/m³.



Rys. 5. Przebieg procesu natleniania komór osadu czynnego podczas badań spływu roztopowego

Potencjalne zagrożenia podczas zjawisk deszczowych

Jakość i ilość ścieków dopływających do oczyszczalni jest zależna od kilku podstawowych warunków, na które składają się przede wszystkim rodzaj i wielkość zlewni, system kanalizacji, liczba przelewów burzowych oraz stosunek powierzchni szczelnych do przepuszczalnych. Dodatkowo wymienić można rodzaj występującego przemysłu, ilość zużywanej wody oraz możliwość infiltracji wód do kanałów przez ich nieuszczelnienia.

Dopływ ścieków ogólnospławnych, zawierających znaczny udział wód deszczowych, powoduje zakłócenia w pracy oczyszczalni. Ścieki takie mają zmieniony skład, charakteryzujący się przede wszystkim znacznym natlenieniem i rozcieńczeniem. Rosnące natężenie dopływu ścieków powoduje przeciążenia hydrauliczne urządzeń oczyszczalni i może wywołać zakłócenia w usuwaniu biogenów. Dopływ znacznych ilości ścieków ogólnospławnych z zawartością wód deszczowych może prowadzić do [4]:

- zmian temperatury w komorze napowietrzania,
- zmian obciążeń poszczególnych obiektów i pogorszenia tym samym stopnia oczyszczania ścieków,
- niebezpieczeństwa deficytu tlenu w rezultacie nagłego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń organicznych,
- zmniejszenia efektywności procesu nityfikacji,
- wynoszenia osadu czynnego z komór napowietrzania do osadników wtórnych,
- pogorszenia właściwości sedymentacyjnych osadu spowodowanych zmianą obciążenia osadu czynnego.

Opady deszczu (także roztopy) prowadzą do zwiększenia ilości piasku w ściekach dopływających do oczyszczalni. Nieskuteczne jego usunięcie może stać się przyczyną zapychania rurociągów, gromadzenia osadów w komorach napowietrzania oraz uszkodzeń pomp. Wpływ ścieków ogólnospławnych podczas mokrej pogody na procesy technologiczne oczyszczania ścieków zależy od czasu przeciążenia obiektów oczyszczalni, zarówno hydraulicznego, jak i ładunkiem poszczególnych zanieczyszczeń [10].

W związku z celem nadrzędnym, jakim jest dążenie do oczyszczania wszystkich powstających ścieków, istnieje konieczność przystosowania różnych obiektów do przyjmowania większych ilości ścieków, co nie jest możliwe bez modernizacji i częściowej ich przebudowy. Jedną z takich możliwości

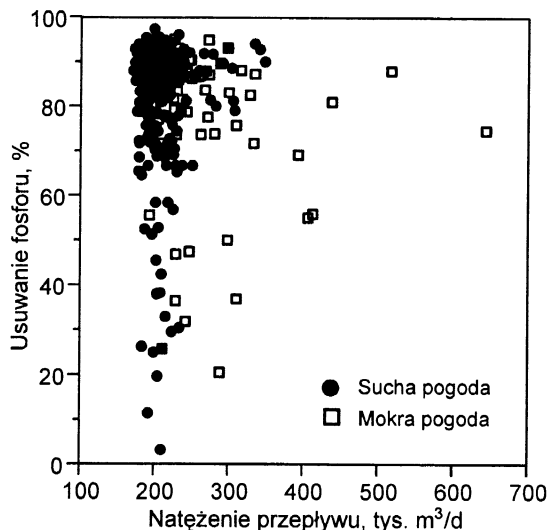
jest budowa zbiornika retencyjnego umożliwiającego przetrzymanie części ścieków i powolne ich dalsze doprowadzanie do oczyszczalni. Jednocześnie należy dążyć do zminimalizowania ilości dopływających do oczyszczalni wód opadowych, np. przez [4,9,15]:

- zmniejszenie powierzchni szczelnych terenu zlewni,
- umożliwienie przesiąkania do gruntu odpływów z dachów i chodników,
- wykorzystanie wód deszczowych do podlewania zieleni,
- wykorzystanie naturalnych terenów jako obszarów zalewowych (oczyszczanie biologiczne).

Sprawność oczyszczania ścieków w okresach mokrej pogody

W celu prześledzenia skuteczności procesów technologicznych w Grupowej Oczyszczalni Ścieków w Łodzi w okresach mokrej pogody porównano skład ścieków z lat 2001–2002, wyrażający się stosunkiem charakterystycznych wskaźników. Stosunek $ChZT/BZT_5$ ścieków podczas suchej pogody wynosił średnio 2,3, a podczas mokrej pogody ok. 2,5. Stosunek BZT_5/NH_4^+ wynosił odpowiednio 7,0 i 6,7, zaś $ChZT/P_{og}$ odpowiednio 62 i 67 w 2001 r. oraz 76 i 75 w 2002 r. Zmiany tych relacji nie powinny być więc decydujące dla ewentualnych zmian sprawności usuwania zanieczyszczeń.

Na rysunku 6 przedstawiono sprawność usuwania fosforu ogólnego (podczas mokrej i suchej pogody) na podstawie analiz dobowych próbek zlewanich, z uwzględnieniem przesunięcia czasowego między dopływem i odpływem z osadników wtórnych, wynikającym z czasu przetrzymania ścieków.

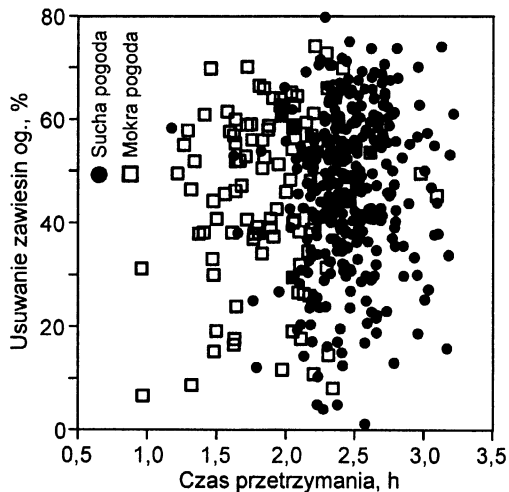


Rys. 3. Sprawność usuwania fosforu ogólnego w oczyszczalni ścieków w Łodzi w latach 2001–2002 w okresach suchej i mokrej pogody

Jak wynika z tych analiz, dopływ ścieków podczas mokrej pogody nie przejawiał się wyraźnym spadkiem stopnia usuwania fosforu czy zawiesin ogólnych w osadnikach wstępnych (rys. 7), a typowy rozrzut statystyczny wyników był spowodowany przez inne zjawiska (dotyczy też okresu pogody suchej). Częściowo efekt ten można wyjaśnić faktem dopływu w czasie mokrej pogody zawiesin o lepszych właściwościach sedymentacyjnych.

Znaczenie osadnika wtórnego

Osadnik wtórny jest jednym z najistotniejszych elementów biologicznej oczyszczalni ścieków. Jego prawidłowa praca decyduje przede wszystkim o wartościach następujących parametrów technologicznych:



Rys. 4. Sprawność usuwania zawiesin w osadnikach wstępnych oczyszczalni ścieków w Łodzi w latach 2001–2002 w okresach pogody suchej i mokrej

- stężenie zawiesin w ściekach odpływających z oczyszczalni,
- stopień zagęszczenia osadu, a stąd stężenie osadu recykulowanego,
- stężenie związków fosforu w ściekach (które mogą uwalniać się z osadu podczas przepływu przez osadnik) oraz w zawiesinach odpływających z osadnika.

Jednym z podstawowych parametrów technologicznych oczyszczalni ścieków jest obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika, które jest skorelowane z wartością indeksu osadu (musi być ograniczane przy jego wysokiej wartości). Raport Międzynarodowego Stowarzyszenia ds. Jakości Wody (IAWQ) zaleca do projektowania i oceny pracy osadników wtórnych stosowanie tzw. indeksu rozcieńczonego osadu czynnego (DSVI). Indeks ten otrzymuje się przez n -krotne rozcieńczenie próbki osadu czynnego po to, aby w efekcie otrzymać po 30 min sedimentacji objętość osadu w granicach $150\pm 250\text{ cm}^3$ w 1 dm^3 . Wartość indeksu (DSVI) stanowi iloraz tak otrzymanej objętości osadu i jego masy w próbce rozcieńczonej [5]. Indeks rozcieńczonego osadu czynnego nie jest obciążony zależnością od jego stężenia, co ma miejsce w przypadku indeksu konwencjonalnego, lepiej także nadaje się do korelowania go z prędkością sedimentacji kłaczek osadu czynnego. Podczas badań przeprowadzonych w okresie roztopów stężenie osadu w komorach napowietrzania utrzymywało się na poziomie $4,2\pm 4,7\text{ kg/m}^3$, a indeks rozcieńczonego osadu czynnego wynosił $90\pm 100\text{ cm}^3/\text{g}$.

Stężenie zawiesin w ściekach odpływających z oczyszczalni zależy od obciążenia powierzchni osadnika masą osadu czynnego, czyli od iloczynu obciążenia hydraulicznego i stężenia osadu czynnego. W praktyce jednak obserwuje się znaczną rozbieżność wyników badań w stosunku do tej zasady [5]. Za bezpieczną wartość obciążenia hydraulicznego osadnika uznaje się $0,5 (1,0)\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Urządzenie to jest w stanie przejąć napływ masy osadu i zagęścić go wówczas, gdy napływ ten nie przekracza zdolności sedimentacyjnej osadu, opisanej przez tzw. graniczny pionowy przepływ masy (*limiting flux*) wewnątrz słupa osadu w osadniku [11]. W przeciwnym razie nadmiar osadu gromadzi się w jego górnej warstwie, grożąc w skrajnym wypadku podniesieniem się lustra osadu do poziomu lustra ścieków i wydostaniem się osadu wraz ze ściekami oczyszczonymi. W tych warunkach do odpływu może się też przedostać wtórnie uwalniany fosfor.

Przebieg tego procesu zależy ponadto od stopnia recyrkulacji osadu, ponieważ ma on wpływ na ruch osadu w kierunku dna osadnika, a tym samym na zagęszczanie się osadu.

W wypadku wystąpienia opadów deszczu i dopływu do oczyszczalni ścieków ogólnospławnych zawierających wody deszczowe, osadnik wtórny zostaje przeciążony hydraulicznie z powodu bezwładności komór osadu czynnego na zmiany natężenia przepływu, na skutek której w pierwszej fazie stężenie osadu pozostaje na tym samym poziomie, jak w wypadku poprzedzającego okresu suchej pogody. Spadek stężenia osadu zaczyna być wyraźny dopiero po kilku godzinach od momentu wzrostu natężenia dopływu ścieków, na co dodatkowy wpływ może mieć stała wydajność pomp recyrkulacyjnych (stopień recyrkulacji zatem maleje).

Ważnym problemem badawczym jest określenie efektu, jaki wywołują opady o różnych czasach trwania i różnym czasie spływu ze zlewni. W wypadku opadów intensywnych nad zlewniami nierozległymi, fala spływu jest gwałtowna, lecz stosunkowo krótka, zaś jego wpływ na osadnik może być dość ograniczony. Znacznie większy efekt mogą mieć opady długotrwałe na zlewniach rozległych. W takim wypadku osadnik wtórny, jak również komory osadu czynnego, są poddawane długotrwałemu przeciążeniu, powodującemu istotne zmiany w procesie oczyszczania ścieków. Na efekt końcowy wpływ ma także indeks osadu czynnego oraz poziom zwierciadła osadu w osadniku podczas pogody suchej [2,5], a także skłonność kłaczek osadu do samorzutnego wypływania na powierzchnię. Na zakłócenia pracy osadników wtórnych mogą mieć też wpływ inne procesy, np. częściowe przeniesienie do nich procesu denitryfikacji w wypadku zaistnienia warunków anoksydacyjnych, niewłaściwa praca zgarniacza osadu flotującego itp. Tak więc funkcjonowanie osadników wtórnych w okresach pogody mokrej może mieć decydujący wpływ na działanie całej oczyszczalni ścieków. Problem ten wymaga dalszych wnikliwych badań w skali technicznej, zaś cała oczyszczalnia ścieków powinna być przedmiotem dynamicznej symulacji komputerowej, z uwzględnieniem jej zwiększonego obciążenia w okresach mokrej pogody [7].

Podsumowanie

Dane literaturowe oraz badania prowadzone w Polsce potwierdzają konieczność ujmowania i oczyszczania wód opadowych. Jest to ważne w celu ochrony oczyszczalni ścieków przed gwałtownymi zmianami warunków ich pracy. W większości wypadków opady deszczu i intensywne roztopy powodują efekt pierwszej fali zanieczyszczeń, który prowadzi do znacznych zakłóceń w procesie biologicznego oczyszczania ścieków, pogarszając tym samym jego sprawność. Jednym z ważniejszych urządzeń w ciągu technologicznym jest osadnik wtórny, od którego pracy zależy końcowy wynik procesu oczyszczania. Dlatego szczególnie nacisk należy kłaść na jego prawidłowe działanie oraz ochronę przed przeciążeniem.

Ze względu na niewielki jeszcze zakres ujmowania i oczyszczania wód opadowych konieczne jest prowadzenie dalszych szczegółowych badań co do ich składu i możliwości zagospodarowania, w tym na miejskich oczyszczalniach ścieków. Ponieważ temat ten wzbudza coraz większe zainteresowanie, należy postulować sprecyzowanie przepisów prawnych dotyczących wód opadowych oraz modernizację istniejących już systemów kanalizacyjnych w celu lepszego ujmowania i zagospodarowania tych spływów.

Autorzy zwracają się do osób zainteresowanych poruszaną w artykule problematyką o nawiązanie kontaktu w celu dalszej współpracy. W szczególności dotyczy to eksploataatorów oczyszczalni przyjmujących ścieki z ogólnospławnego systemu kanalizacji.

Autorzy składają podziękowania kierownictwu i pracownikom Grupowej Oczyszczalni Ścieków w Łodzi za udostępnienie archiwalnych wyników badań, cenne uwagi oraz pomoc w organizacji badań.

LITERATURA

1. M. ZAWILSKI, A. BRZEZIŃSKA: Bilans ścieków i ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni ścieków z uwzględnieniem mokrej pogody. *Ochrona Środowiska*, 2003, nr 1, ss. 25–30.
2. J.-L. BERTRAND-KRAJEWSKI, M. LEFEBRE, P. CHATELIER: Impact of storm events on activated sludge transfers in a small wastewater treatment plant: Measurements and modelling. Proc. of the "7th Int. Conf. On Urban Drainage" (7th ICUD), Hannover 1996, Vol. 1, pp. 593-598.
3. A. CZAPLA, J. KURBIEL: Efektywność dwufazowego reaktora z osadem czynnym systemu Phoredox w świetle doświadczeń eksploatacyjnych w GOŚ Łódzkiej Aglomeracji miejskiej. Mat. konf. „IV Kongres Kanalizatorów Polskich – POLKAN 1999”, PZITS, Łódź 1999, ss. 241–252.
4. A. DURCHSCHLAG, L. HARTEL, P. HARTWIG, M. KASELOW, D. KOLLATSCH, R. OTTERPOHL, G. SCHWENTNER: Total emissions from combined sewer overflow and wastewater treatment plants. *European Water pollution Control*, 1991. Vol. 1, No. 6, pp. 13–23.
5. G. A. EKAMA [Ed.]: Secondary settling tanks: Theory, modelling, design and operation. *Sci. & Techn. Rep. No. 6, IAWQ*, 1997.
6. Stormwater first flush pollution. US EPA – NSW, 2000, <http://www.epa.nsw.gov.au/mao>.
7. M. GRUM, R. H. AALDERINK, L. LIJKLEMA, H. SPLIID: The underlying structure of systematic variations in the event mean concentrations of pollutants in urban runoff. Proc. "7th Int. Conf. On Urban Drainage" (7th ICUD), Hannover 1996, Vol. 1, pp. 37–42.
8. Grupowa oczyszczalnia ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej, <http://www.gos.lodz.pl>.
9. M. C. HAGER: Evaluating first flush. *The Journal for Surface Water Quality Professionals*. Stormwater, http://www.forester.net/sw_0109_evaluating.html.
10. J. G. LANGEVELD, F. CLEMENS, J. VAN DER GRAAF: Interactions within the wastewater system: Modeling of sewer processes. Proc. "9th Int. Conf. on Urban Drainage" (9th ICUD), Portland 2002.
11. K. SEGELKE, K.-H. ROSENWINKEL: Online-simulation of the WWTP to minimise the total emission of WWTP and sewer system. *Wat. Sci. Tech.*, 2002, Vol. 45, No. 3, pp. 101–108.
12. M. ZAWILSKI: Prognozowanie wielkości odpływu i ładunków zanieczyszczeń ścieków opadowych odprowadzanych z terenów zurbanizowanych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej nr 792, Łódź 1997*.
13. M. ZAWILSKI: Warunki zmniejszenia zanieczyszczeń wód przez ścieki opadowe. Mat. konf. „IV Kongres Kanalizatorów Polskich – POLKAN 1999”, PZITS, Łódź 1999, ss 283–294.
14. M. ZAWILSKI: Distribution and separation of concentrated urban runoff. Proc. "Int. Conf. On Urban Drainage" *via internet*, Danish Hydraulic Institute, 2000, <http://www.dhi.cz/ICUDI>.
15. M. ZAWILSKI: Ochrona środowiska przed spływami opadowymi z dróg przy wykorzystaniu odwodnień niekonwencjonalnych. Mat. konf. „Odwodnienia drogowe”, ALIAS, Poznań 2000.

Zawilski, M., Brzezińska, A. Analyzing the Efficiency of a Biological Wastewater Treatment Plant During Periods of Overloading Caused by Storm or Thaw Water Inflow. *Ochrona Środowiska* 2003, Vol. 25, No. 2, pp. 37–42.

Abstract: The object under study was the biological treatment unit of the Group Wastewater Treatment Plant of Łódź (approximately 800,000 inhabitants). The threats posed to the course and efficiency of the biological wastewater treatment process by the increased volume of not only highly polluted, but also diluted combined sewage entering the plant during rainfall or

thaw were established. Consideration was also given to the first flush event. The secondary clarifier, which has a decisive influence on the quality of the effluent, was found to be particularly sensitive to hydraulic overloading. The results obtained confirmed the occurrence of the first flush event during periods of wet weather. The need of further investigations into the treatment of sewage combined with storm or thaw water is emphasized, and the modernization of existing sewer systems is postulated in order to provide effective treatment of such wastewater.

Keywords: Storm runoff, wastewater treatment plant overloading.