

HYDRAULICZNE WARUNKI PRZEPIYWÓW W SYSTEMACH OBEJŚCIOWYCH STOSOWANYCH W INSTALACJACH DO USUWANIA CIECZY LEKKICH

Marcin Krukowski, Adam Kozioł, Piotr Siwicki,
Andrzej Brandyk, Grzegorz Majewski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W praktyce inżynierskiej coraz częściej spotyka się wdrażanie nowatorskich rozwiązań instalacji wykorzystywanych do usuwania szkodliwych cieczy lekkich tak, aby uniemożliwić ich migrację do wód powierzchniowych. Urządzenia te są coraz częściej zintegrowane z systemem obejściowym, gdzie przelewy burzowe zamiast być instalowane w wydzielonych komorach poprzedzających urządzenie oddzielacza są wbudowane w jego korpus. Tego typu rozwiązanie techniczne daje bardzo duże korzyści ekonomiczne, co wiąże się z łatwiejszym wykonaniem technicznym instalacji, oraz ułatwia późniejszą eksploatację urządzenia.

Niestety, tego typu urządzenia bardzo często nie spełniają nałożonych na nie wymagań hydraulicznych, a przez to również i technologicznych. Nie gwarantują zakładanego rozdziału przepływów strumienia wewnątrz urządzeń, co prowadzi do przeciążeń instalacji. W dobrze zaprojektowanych urządzeniach tego typu ustalona przepustowość nominalna Q_n stanowi określony procent maksymalnego natężenia przepływu strumienia (od 10 do 20% Q_{max}). Zatem do systemu obejściowego urządzenia kierowane jest 90% bądź 80% strumienia maksymalnego. Niestety, precyzyjne oddzielenie 10%, czy też 20% od maksymalnego strumienia nie jest w praktyce łatwe ze względu na bardzo złożoną hydraulikę przepływu. Nie udało się do tej pory zaprojektować i zbudować łatwego w konstrukcji urządzenia, które daje możliwość rozdzielenia strumienia doprowadzanych ścieków $Q_{max} > Q > Q_n$ płynący w kanale otwartym, tak aby Q_n popłynął do oddzielacza, a reszta do systemu obejściowego. W rezultacie kiedy wzrasta strumień $Q > Q_n$ w kanale dopływowym, to stosowane obecnie urządzenia rozdzielające zanieczyszczony strumień przed oddzielaczami (przelew) zrzucają nadmiar zanieczyszczeń do systemu obejściowego. Dlatego też do prawidłowego zaprojektowania oddzielacza cieczy lekkich konieczne są badania fizyczne w rzeczywistej skali, które zostały opisane w artykule.

Słowa kluczowe: węglowodory ropopochodne, instalacja bypass, odwodnienie dróg, separator

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Marcin Krukowski, Katedra Inżynierii Wodnej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, e-mail: marcin_krukowski@sggw.pl

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

WSTĘP

Intensywny rozwój komunikacji w ostatnich latach, w tym także budowa dróg oznacza bardzo poważną ingerencję w środowisko naturalne terenów przyległych do inwestycji, a co z tym się wiąże, powoduje znaczne zmiany ekologiczne. Zmiany te w dużej mierze są spowodowane zanieczyszczeniami generowanymi przez ruch kołowy pojazdów. W ostatnich tylko latach 2007–2015 odnotowano wzrost sieci autostrad i dróg ekspresowych o ok. 200% (z ok 1000 km do ok 3000 km) [premier.gov.pl 2015], a w latach kolejnych prognozowany jest do 2025 wzrost o kolejne 100%. Wiąże się to oczywiście z intensywnie powstającą infrastrukturą towarzyszącą drogom typu parkingi, chodniki, stacje benzynowe, budowle inżynierskie, place, pobocza, skarpy itd., w których to miejscach dochodzi do zanieczyszczania różnego rodzaju substancjami chemicznymi, odpadami, pochodzącymi w głównej mierze z transportu komunikacyjnego.

Ścieki generowane z tych terenów są wynikiem przekształcania się opadu atmosferycznego w spływ powierzchniowy. W sposób ciągły powstające zanieczyszczenia są w okresach deszczowych po prostu splukiwane i odprowadzane do systemów kanalizacyjnych otwartych czy też zamkniętych.

Do zanieczyszczeń splukiwanych z powierzchni zlewni mogą należeć: piasek, żwir, pyły, sól z przeciwdziałania gołoledzi, produkty ścierania (eksploatacja pojazdów), wycieki paliwa itp. [Ociepa i in. 2010].

Analiza jakości ścieków opadowych odprowadzanych z terenów infrastruktury drogowej wykazuje, że głównymi zanieczyszczeniami są zawiesiny i zanieczyszczenia grube, metale ciężkie, substancje ropopochodne, związki biogenne [Heidrich i in. 2002, Sawicka-Siarkiewicz i Błaszczak 2007, Kotowski i in. 2008, Słyś 2008, Królikowska i Królikowski 2012]. Oczywiście skład tych ścieków i oszacowanie ilościowe poszczególnych wskaźników dla ścieków jest charakterystyczne dla danej zlewni i można ją realizować tylko na podstawie badań bezpośrednich.

Ścieki tego typu powinny spełniać warunki jakościowe i ilościowe określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 18 grudnia 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [Rozporządzenie... 2014]. Zgodnie z przytoczonym rozporządzeniem zawartość zawiesiny ogólnej w wodach opadowych oczyszczonych nie może być większa niż $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, a węglowodorów ropopochodnych – nie większa niż $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Sposobem pozwalającym na ograniczanie zanieczyszczeń splukiwanych z powierzchni zlewni do sieci kanalizacyjnej jest zastosowanie odpowiednich urządzeń sanitarnych w miejscu ujmowania ścieków lub bezpośrednio przed wprowadzeniem do odbiornika. Do najczęściej stosowanych urządzeń inżynierskich do oczyszczania ścieków deszczowych należą różnego rodzaju urządzenia sedymentacyjno-flotacyjne (piaskowniki, osadniki, separatory węglowodorów ropopochodnych), różnego typu zbiorniki, budowle regulacyjne, rozdzielcze, kontrolne typu (przelewy burzowe, itp.).

Niestety, nie jest możliwe oczyszczenie wszystkich powstających ścieków podczas okresów opadowych, dlatego też w wielu przypadkach zmuszeni jesteśmy do kierowania nadmiaru wód opadowych bezpośrednio do odbiornika (bez procesu podczyszczania)

przy zastosowaniu systemów obejściowych. Wynika to z realnych możliwości odbioru wszystkich wód deszczowych przez oczyszczalnie ścieków (w szczególności podczas wystąpienia deszczów nawalnych).

Zgodnie z normą PN-EN 752:2008: jakość, ilość i częstość odpływów do odbiornika ścieków z kanalizacji deszczowej, pompowni lub oczyszczalni ścieków powinna odpowiadać stawianym wymaganiom określonym w przepisach prawnych. Projekt powinien zapewnić ochronę odbiornika ścieków przed przekroczeniem jego zdolności samooczyszczania oraz powinien uwzględnić warunki fizyczne, chemiczne, biochemiczne, bakteriologiczne i inne, a tam gdzie istnieje zagrożenie spełnienia wymagań jakościowych dla odbiornika ścieków, które wynikają na przykład ze sposobu użytkowania wód, jest możliwe ograniczenie emisji zanieczyszczeń w stosunku do wartości określonych w przepisach prawnych. Wiąże się to z odpowiednim stosowaniem (prawidłowym projektowaniem) urządzeń stosowanych w instalacjach kanalizacyjnych, aby zapewnić zawarty w przepisach stan rzeczy [Sawicka-Siarkiewicz 2011].

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące analizy hydraulicznej separatora z zastosowanym systemem obejściowym (burzowym), w którym prawidłowo zaprojektowany system (mechanizm) rozdziału strug ma spełniać wytyczne dotyczące prawidłowego działania i zapewnić prawidłowe funkcjonowanie podczas wystąpienia deszczów nawalnych oraz nie dopuszczać do przeciążania systemów oczyszczania ścieków (oczyszczalni). Tym samym nie dopuszczać do przeciążania pracy samego separatora, co może wpłynąć na proces technologiczny pracy urządzenia jak również mógłby doprowadzić do niekontrolowanego wymycia zgromadzonych substancji ropopochodnych zgromadzonych w samym urządzeniu (separator ma zaprojektowaną pojemność gromadzenia ropopochodnych tylko dla przepływów nominalnych).

INSTALACJA Z SYSTEMEM OBEJŚCIOWYM (BYPASS)

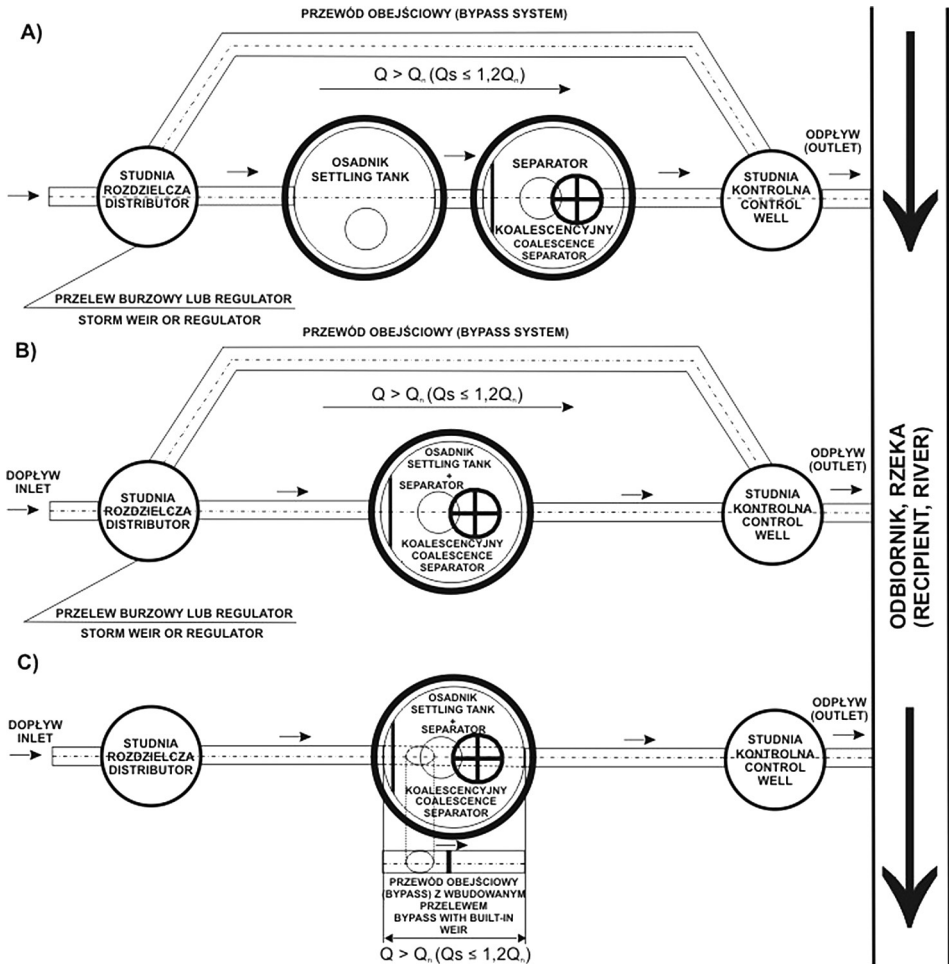
W tym celu stosowane są separatory substancji ropopochodnych oraz osadniki (separatory zawieszin), wytwarzane fabrycznie na podstawie normy PN-EN 858 1 i 2 oraz aprobat technicznych wydawanych przez Instytut Ochrony Środowiska lub według projektów indywidualnych (zazwyczaj opartych na wytycznych ATV 111 i 128).

Brak obowiązku podczyszczania maksymalnego spływu deszczowego z infrastruktury drogowej dróg (Q_{\max}) wyznaczonego wg metod natężeń stałych lub granicznych [Edel 2009], powoduje, że projektuje się separatory tylko na wymaganą część spływu deszczowego określaną jako przepływ nominalny Q_n . Przepływy deszczowe większe od nominalnych mogą być odprowadzane do odbiorników bez podczyszczania.

O ile na użytek projektowania urządzeń odwadniających opracowano szereg metod obliczeniowych pozwalających na wyznaczenie maksymalnych przepływów deszczowych, o tyle nie ma konkretnego narzędzia obliczeniowego (wytycznych) dla obliczenia przepływów nominalnych do wymiarowania urządzeń podczyszczających, typu separatorów. W celu zapewnienia prawidłowego rozdziału przepływu wód opadowych na dopływ do separatora i bezpośrednio do odbiornika stosuje się przelew burzowy do kanału obejściowego, który ma zabezpieczać przed przeciążeniem hydraulicznym. Separatory z zastosowanym systemem obejściowym w głównej mierze są stosowane

w półrozdzielczych systemach kanalizacyjnych, aby mogły przechwytywać silnie zanieczyszczone ścieki opadowo-roztopowe z tzw. pierwszej fali i kierowana do oczyszczenia [Kotowski 2000].

Stosowane przelewy burzowe – obejścia hydrauliczne (bypass) urządzeń podczyszczających mogą być instalowane w wydzielonych komorach poprzedzających urządzenia oczyszczające lub wbudowywane w korpus komory czynnej separatora, najczęściej zintegrowanych z osadnikiem (krajowe rozwiązanie techniczne) (ryc. 1, B, C).



Ryc. 1. Schematy instalacji z separatorem: A) system obejściowy zewnętrzny, separator i osadnik oddzielnie, B) system obejściowy zewnętrzny, separator zintegrowany z osadnikiem, C) separator zintegrowany z osadnikiem oraz z systemem obejściowym

Fig. 1 Installation schemes with separator: A) an external bypass system, separator and settling tank separately, B) external bypass system, separator integrated with the settling tank, C) separator integrated with both :settling tank and the by-pass system.

W separatorach z zainstalowaną piętrzącą przegrodą w systemie obejściowym przepustowość nominalna Q_n jest w założeniach procentem maksymalnego natężenia przepływu ścieków (np. 10, 20% Q – natężenie dopływu wód ze zlewni). Zatem nie można przekraczać przepustowości nominalnej Q_n przepływającej przez separator, tak jak dla separatorów projektowanych bez systemów obejściowych. Po przekroczeniu przepustowości nominalnej, ścieki w ilości Q_n odprowadzane są do komory separatora ($Q_s \leq Q_n$), a pozostała część odpływa przez przelew do kanału obejściowego Q_p , gdzie: $Q_p = Q - Q_s$ ($l \cdot s^{-1}$).

W wyniku spiętrzenia dopływających ścieków na przegrodzie wprowadza się korektę, która pozwala na przeciążenie separatora maksymalnie o 20% czyli $Q_s \leq 120\% Q_n$ [Kotowski 2011].

Przepływ nominalny Q_n musi być co najmniej równy dopływowi ścieków dopływających do oczyszczenia do komory separatora ścieków deszczowych spowodowanych opadem o intensywności co najmniej $15 l \cdot s^{-1} ha$, co umożliwi oczyszczenie ok. 87% rocznych opadów deszczu [Słyś 2008].

CEL I ZAKRES PODJĘTYCH BADAŃ

Celem badań było sprawdzenie funkcjonowania stosowanych systemów obejściowych (bypass) z zainstalowaną przegrodą piętrzącą zintegrowanych w stosowanych obecnie separatorach (odolejaczach), Chodziło o odpowiedź na pytania: Czy występuje prawidłowy rozdział strumienia do separatora w ilości zaprojektowanej według normy Q_n ? W jaki sposób zainstalowana przegroda zaburza pracę separatora (o ile przeciąża ilościowo)? Jak pracuje system obejściowy, czy jest w stanie podczas wystąpienia deszczu nawalnego odprowadzić zaprojektowaną maksymalną ilość deszczu $Q_{max} = 10 \cdot Q_n$ (przejęcie deszczu nawalnego)? W wyniku złego zaprojektowania systemu obejściowego z przegrodą piętrzącą można spowodować przeciążenie separatora i zaburzyć jego efektywność podczyszczania z węglowodorów ropopochodnych (za wysoka przegroda) lub spowodować, że zanieczyszczenia najbardziej stężone (pierwszy bezpośredni opad) będą odprowadzane do obejścia (zbyt mała przegroda).

Do badań charakterystyki hydraulicznej obejścia wykorzystano przygotowany prototyp separatora typu koalescencyjnego z zintegrowanym systemem bypass bez osadnika.

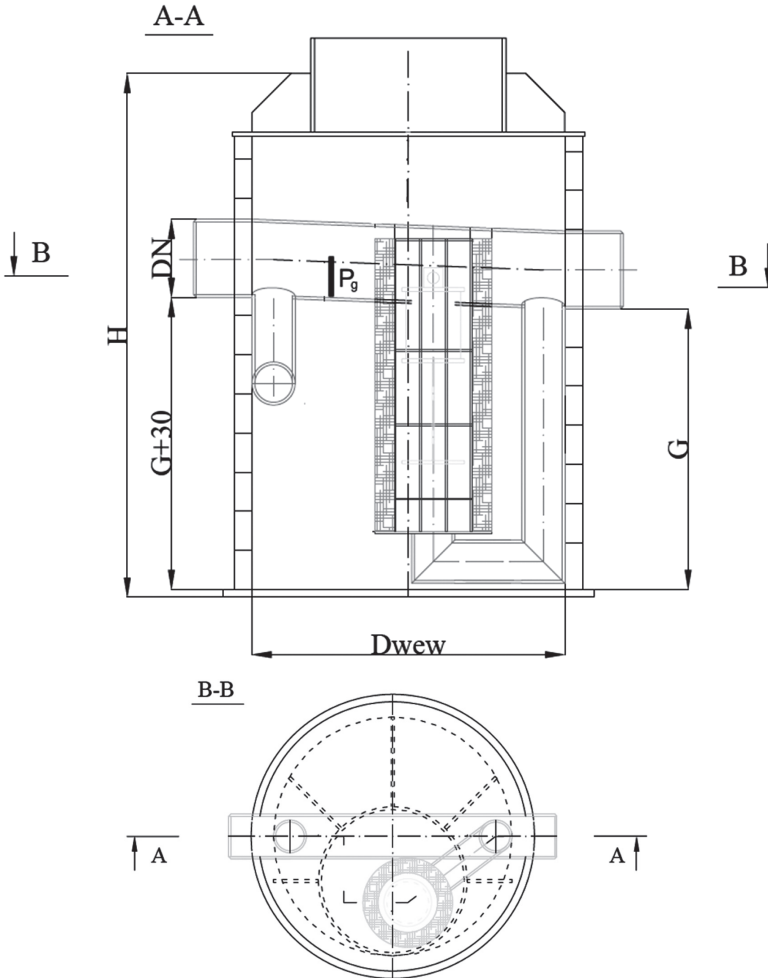
Badano separator o przepływie nominalnym $Q_n = 3,0 l \cdot s^{-1}$ i $Q_{max} = 15 l \cdot s^{-1}$ ($5 \cdot Q_n$) i średnicy obejścia DN 200 oraz separator dla przepływu nominalnego $Q_n = 3 l \cdot s^{-1}$ i $Q_{max} = 30 l \cdot s^{-1}$ ($10 \cdot Q_n$) o średnicy DN 250. Badanie przeprowadzono zgodnie z zaleceniami Instytutu Ochrony Środowiska oraz wytycznymi zawartymi w zbiorze reguł DWA – A111 i A128.

Urządzenia tego typu bardzo często nie spełniają nałożonych na nie wymagań hydraulicznych, a przez to również i technologicznych.

Aby zagwarantować prawidłową pracę separatorów niezbędna jest optymalizacja zastosowanego systemu obejściowego (w tym przypadku przegrody piętrzącej) tak, aby zachować prawidłowy rozdział przepływów dopływających ścieków.

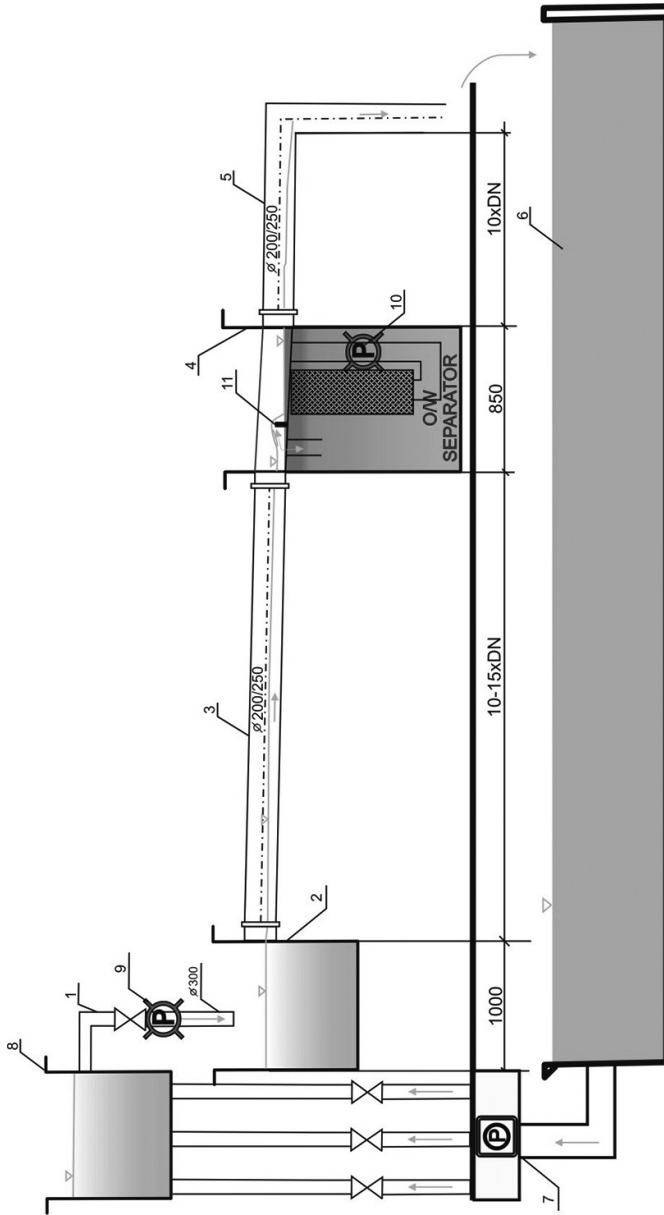
BADANIA LABORATORYJNE SEPARATORA Z SYSTEMEM OBEJŚCIOWYM

Do badań hydraulicznych wykorzystano przygotowane separatory wykonane z tworzywa sztucznego PEHD (polietylen o dużej gęstości) z wbudowanym systemem obejściowym z możliwością regulacji spadku podłużnego (bypass) i zainstalowaną przegradą piętrzącą (przelew) o ustalonej wysokości P_g w każdym zbiorniku indywidualnie (ryc. 2 i 3). W przedmiotowych separatorach ścieki są kierowane rurą wlotową na poziomie niższym niż strefa unoszenia wyseparowanych substancji lekkich.



Ryc. 2. Schemat separatora z systemem bypass: H – wysokość separatora, DN – średnica obejścia, D_{wew} – średnica wewnętrzna komory separatora, P_g – projektowany przelew, G – wysokość odpływu bypass

Fig. 2. Scheme of the separator with bypass pipe: H – height of the separator, DN – bypass diameter, D_{wew} – internal diameter of the separator chamber, P_g – designed weir, G – height of the outflow pipe (bypass)



Ryc. 3. Schemat stanowiska badawczego: 1 – rurociąg doprowadzający DN 300 z zaworem regulującym, 2 – komora wstępna, 3 – przewód zasilający DN 200/250, 4 – separator, 5 – przewód odpływowy DN 200/250, 6 – zbiornik podziemny o pojemności do 125 m³, 7 – układ pomp zasilających, 8 – zbiornik wyrównawczy o pojemności 5 m³, 9 – przepływomierz elektromagnetyczny, 10 – przepływomierz ultradźwiękowy, 11 – przezelew

Fig. 3. Scheme of the test bench: 1 – water pipeline DN 300 with control valve, 2 – mixing chamber, 3 – pipe of DN 200/250 diameter, 4 – oil/water separator, 5 – outlet pipe DN 200/250, 6 – underground storage reservoir of 125 m³, 7 – supply pumps, 8 – compensating reservoir with a maximum capacity of 5 m³, 9 – electromagnetic flowmeter, 10 – ultrasonic flow meter, 11 – control weir

W przewodzie biegnącym wewnątrz separatora jest zainstalowana przegroda (przelew ostrokrawędzisty prosty), która ma za zadanie prawidłowe kierowanie ścieków o przepływie Q_n do separatora, a nadmiar strumienia kierowany jest do systemu obejściowego (poza separator). Z komory separatora oczyszczone ścieki są prowadzone rurą odpływową zakrzywioną pod kątem prostym w kierunku dna separatora (zasyfonowane).

Badania hydrauliczne separatorów cieczy lekkich będą prowadzone na przygotowanym stanowisku doświadczalnym, zlokalizowanym w Laboratorium Hydraulicznym Katedry Inżynierii Wodnej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Schemat stanowiska przedstawia ryc. 3.

Stanowisko jest zasilane w wodę wodociągową pochodzącą ze zbiornika podziemnego (6) (zbiornik zapasowy), z którego układ pomp (7) tłoczy przewodami wodę do zbiornika górnego (8). Następnie za pośrednictwem rurociągu (1) doprowadzającego o średnicy DN 300 z zasuwą regulacyjną, gdzie ustalana jest wartość przepływu w zakresie od przepływu nominalnego w [$l \cdot s^{-1}$] do przepływu maksymalnego [$l \cdot s^{-1}$] (zastosowany przepływomierz elektromagnetyczny (9)), woda wpływa do komory wstępnej (2). W komorze tej dochodzi do stabilizacji przepływu i dalej woda kierowana jest przewodem zasilającym (3) o średnicy DN 200 lub DN 250 do badanych separatorów o orurowaniu bypass DN 200 lub DN 250 (4), w którym następować będzie proces jej podczyszczania. Oczyszczone ścieki z separatora (4) są kierowane przewodem odpływowym (5) do obiegu zamkniętego, czyli do zbiornika podziemnego (6).

Przed przystąpieniem do badań ustawiono przepływ w przewodzie doprowadzającym wodę wodociągową pochodzącą z autonomicznego systemu zainstalowanego w Laboratorium Hydraulicznym. System składa się ze zbiorników zapasowych znajdujących się pod Laboratorium o pojemności ok. $125 m^3$, z systemu 5 pomp tłoczących o sumarycznej, teoretycznej przepustowości $0,5 m^3$ oraz zbiornika górnego (utrzymującego stałe ciśnienie) o objętości ok. $5 m^3$. Do pomiaru natężenia przepływu wykorzystano przepływomierz elektromagnetyczny do pomiaru ciągłego firmy ENKO MPP-03 (zakres pracy $1 \div 15 l \cdot s^{-1}$) oraz ENKO MPP-04B (zakres pracy od $15 \div 100 l \cdot s^{-1}$) (ryc. 2), na których z wysoką dokładnością do $\pm 0,5\%$ (wg producenta) podawano wodę z systemu w ilości ustalonej dla każdego rozwiązania bypass.

Przepływ wody był ustalany co $2 l \cdot s^{-1}$, czyli od przepływu nominalnego Q_n do przepływu maksymalnego Q_{max} . W tym czasie wykonywano równocześnie pomiary przepływu strumienia wody w syfonie odpływowym (w środkowej części pionowej przewodu) w celu sprawdzenia ilościowego przepływu przez separator przy użyciu zainstalowanego bezinwazyjnego przepływomierza ultradźwiękowego typu DMTFP o dokładności pomiarowej $0,005 m \cdot s^{-1}$ dla prędkości mniejszych niż $< 0,5 m \cdot s^{-1}$ (ryc. 3). Uzyskano w ten sposób pomiary natężenia przepływu wody przez syfon dla ustalonych wartości przepływu od $Q_n = 1,5 l \cdot s^{-1}$ do $Q_{max} = 15 l \cdot s^{-1}$ dla orurowania obejściowego DN 200 i dla wartości przepływu $Q_n = 3,0 l \cdot s^{-1}$ do $Q_{max} = 30 l \cdot s^{-1}$ dla orurowania obejściowego DN 250.

W wyniku przeprowadzenia badań modelowych ustalono dla separatorów przelewy (przegrody) o wysokościach:

- Dla separatora o średnicy DN 200 obejścia, wysokość przelewu ustalono $P_g = 0,35 \cdot DN$ w odległości $L_p = 1,2 \cdot DN$ do środka ciężkości przewodu wlotowego komory separatora.

- Dla separatora o średnicy DN 250 obejścia, wysokość przelewu ustalono $P_g = 0,33 \cdot \text{DN}$ w odległości $L_p = 1,1 \cdot \text{DN}$ do środka ciężkości przewodu wlotowego komory separatora.

Dla ustalonych wysokości przelewów przepływ nominalny był całkowicie (prawidłowo) kierowany do komór badanych separatorów. Instalacja bypass została zniwelowana z przyjętym spadkiem podłużnym $i = 1\%$. Jednocześnie prowadzono pomiary układu zwierciadła wody przed przelewem za pomocą wodowskazu szpilkowego.

WYNIKI BADAŃ HYDRAULICZNYCH

W wyniku przeprowadzonych badań hydraulicznych otrzymano pomiary, na podstawie których wyznaczono zależności krzywej przepływu $Q(H)$ na dopływie do separatorów Q , określonej na podstawie pomiarów z przepływomierza elektromagnetycznego na dopływie. Natomiast zależności krzywej przepływu przez separator Q_s wyznaczono w pomiarach przy użyciu przepływomierza ultradźwiękowego na syfonie odpływowym. W rezultacie uzyskano zależność krzywej przepływu przez przelew Q_p jako różnica $Q - Q_s$. Wyniki pomiarów przedstawiono poniżej w tabelach 1 i 2 oraz na rycinach 4 i 5.

Tabela 1. Wyniki parametrów hydraulicznych separatora DN 200 uzyskanych w badaniach dla ustalonej wysokości przelewu $P_g = 0,34 \cdot \text{DN}$ i spadku podłużnego układu 1%

Table 1. Resulting parameters of hydraulic separator DN 200 obtained for a fixed weir height $P_g = 0,34 \cdot \text{DN}$ and longitudinal slope (bypass) of 1%

Q $l \cdot s^{-1}$	H cm	$V_s = Q_s \cdot A_s^{-1}$ $cm \cdot s^{-1}$	Q_s $l \cdot s^{-1}$	Q_p $l \cdot s^{-1}$	$\% Q_n = 3,0 l \cdot s^{-1}$
3	7,60	16,77	3,00	0	0
3,5	8,25	16,92	3,03	0,47	0,96
4	8,95	17,42	3,12	0,88	3,95
6	10,70	17,94	3,21	2,79	7,03
8	12,65	18,42	3,30	4,70	9,91
10	14,30	18,89	3,38	6,62	12,69
12	15,65	19,22	3,44	8,56	14,68
14	16,90	19,59	3,51	10,49	16,89
15	17,75	19,73	3,53	11,47	17,70

Q – przepływ dopływający do separatora (całkowity), H – napelnienie przed przegrodą piętrzącą, V_s – prędkość średnia (w syfonie) wyznaczona z pomiarów, Q_s – pomierzony przepływ przez separator, Q_p – obliczony przepływ przez przelew, $\% Q_n$ – procentowe zwiększenie przepływu nominalnego przez separator

Q – total flow to the separator, H – water level before the weir, V_s – average velocity (in the siphon) determined from measurements, Q_s – the measured flow through the separator, Q_p – calculated flow through the weir, $\% Q_n$ – the percentage increase of the nominal flow through the separator

Tabela 2. Wyniki parametrów hydraulicznych separatora DN 250 uzyskanych w badaniach dla ustalonej wysokości przelewu $P_g = 0,33 \cdot DN$ i spadku podłużnego układu 1%
 Table 2. Resulting parameters of hydraulic separator DN 200 obtained for a fixed weir height $P_g = 0,33 \cdot DN$ and longitudinal slope (by-pass) of 1%

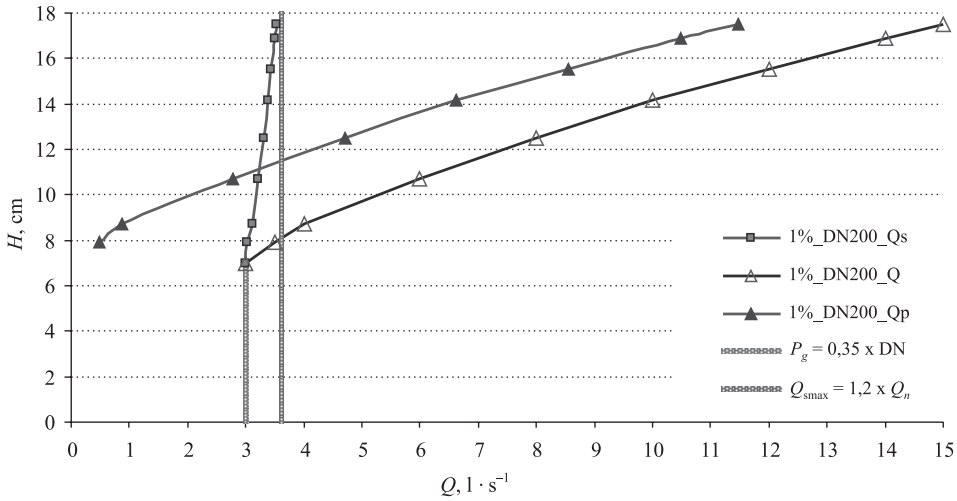
Q $l \cdot s^{-1}$	H cm	$V_s = Q_s \cdot A_s^{-1}$ $cm \cdot s^{-1}$	Q_s $l \cdot s^{-1}$	Q_p $l \cdot s^{-1}$	$\% Q_n = 3,0 l \cdot s^{-1}$
3	8,03	16,72	2,99	0	0,00
3,5	8,23	16,91	3,03	0,47	0,89
4	8,67	17,20	3,08	0,92	2,64
6	10,78	17,43	3,12	2,88	3,98
8	11,98	17,66	3,16	4,84	5,39
10	13,78	18,02	3,23	6,77	7,52
12	14,77	18,34	3,28	8,72	9,44
14	15,36	18,66	3,34	10,66	11,36
15	16,01	18,86	3,38	11,62	12,56
17	16,61	19,15	3,43	13,57	14,23
19	17,63	19,26	3,45	15,55	14,94
21	18,75	19,34	3,46	17,54	15,37
23	19,62	19,51	3,49	19,51	16,38
25	20,46	19,65	3,52	21,48	17,25
27	21,28	19,79	3,54	23,46	18,07
30	22,48	19,99	3,57	26,43	19,27

Uzyskane wyniki parametrów hydraulicznych w badaniach pozwalają stwierdzić, że analizowane separatory „pracowały” prawidłowo w wymaganym zakresie od przepływu nominalnego Q_n do przepływu maksymalnego Q_{max} .

Zaprojektowany system bypass z dobranym spadkiem, wysokością przelewu gwarantuje prawidłowy rozdział przepływu ścieków na separator i obejście. Przepływ przez separator w zakresie od przepływu nominalnego do maksymalnego nie przekraczał 20% Q_n (maksymalnie dopuszczalnego przeciążenia separatora), co powinno zapewnić również odpowiednią sprawność w usuwaniu substancji ropopochodnych.

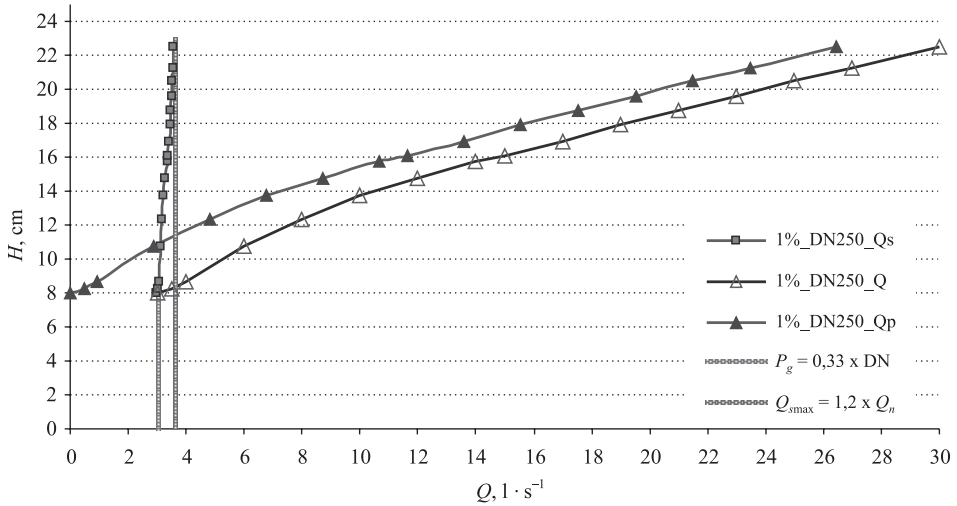
Badania hydrauliczne analizowanych separatorów o średnicach DN 200 i DN 250 ze zintegrowanym systemem burzowym typu bypass oraz zainstalowanym piętrzącym przelewem o wyznaczonej wysokości potwierdziły założenia projektowe. Separatory spełniają wymogi w zakresie pracy podczas przepływu nominalnego Q_n i przepływu maksymalnego Q_{max} .

Wyniki badań uzyskane podczas pomiaru przepływu strumienia przez separator Q_s przedstawione w tabelach 2 i 3 oraz w formie graficznej na rycinach 3 i 4 potwierdzają poprawny rozdział przepływających ścieków, ponieważ obliczony przepływ mieści się w dopuszczalnym zakresie od 15% do 20% Q_n . Dla separatora o średnicy obejścia DN 200 przeciążenie wynosi $1,18 \cdot Q_n$ (17,70%) i dla separatora o średnicy obejścia DN 250 przeciążenie wynosi $1,19 \cdot Q_n$ (19,27%).



Ryc. 3. Krzywe natężeń przepływu do separatora DN 200 Q , przez separator Q_s i przez przelew piętrzący Q_p

Fig. 3. Rating curves for inflow to the separator DN 200 Q , through separator Q_s and through weir Q_p



Ryc. 4. Krzywe natężeń przepływu do separatora DN 250 Q , przez separator Q_s i przez przelew piętrzący Q_p ($Q_{s,max}$ = maksymalne przeciążenie separatora)

Fig. 4. Rating curves for the inflow to the separator DN 250 Q , through separator Q_s and through weir Q_p

PODSUMOWANIE

1. System obejścia typu bypass zastosowany w separatorach węglowodorów ropopochodnych skutecznie ogranicza przeciążenie separatora, co zapewnia efektywność podczyszczania cieczy lekkich.
2. Hydrauliczne badania przepustowości badanych separatorów potwierdziły możliwość doboru parametrów geometrycznych obejścia (średnicy i spadku przewodu obejścia, wysokości przegrody, średnic wlotu i wylotu, odległości przegrody od wlotu i wylotu) spełniających założenia projektowe.
3. Właściwy dobór wymienionych parametrów przy maksymalnych dopływach do separatora ($Q_{\max} = 5 Q_n$ dla DN 200 i $Q_{\max} = 10 Q_n$ dla DN 250) utrzymuje przepływ w separatorze $Q_{s,\max}$, który nie przekracza wartości $1,2 Q_n$.

PIŚMIENNICTWO

- Arbeitsblatt ATV-A128 (1998). Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. GfA, Hennef.
- Arbeitsblatt ATV-A118 (1999). Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. GfA, Hennef.
- Dyrektywa 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. w sprawie oczyszczania ścieków miejskich.
- Edel, R. (2009). Odwodnienie dróg. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Heidrich, Z. (red.) (2002). Gospodarka wodno-ściekowa. Wydawnictwo Verlag Dashöfr, Warszawa.
- Premier.gov.pl (2015), <https://www.premier.gov.pl/wydarzenia/decyzje-rzadu/uchwala-w-sprawie-ustanowienia-programu-wieloletniego-pod-nazwa-program-2.html>.
- Kotowski, A. (2000). Projektowanie separatorów i przelewów burzowych na kanalizacji deszczowej. *Ochrona Środowiska*, 2(77), 25–30.
- Kotowski A. i inni (2008). Badanie charakterystyk hydraulicznych i technologicznych separatorów cieczy lekkich. Raport SPR nr 22(pdf), Wrocław.
- Kotowski, A. (2011). Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.
- Królikowska, J., Królikowski, A. (2012). Wody opadowe Odprowadzanie zagospodarowanie podczyszczanie. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.
- Ociepa, E., Kisiel, A., Lach, J. (2010). Zanieczyszczenia wód opadowych spływających do systemów kanalizacyjnych. *Proceedings of ECOpole*, 4(2).
- PN-EN 858-1:2005 +A1:2007 Instalacje oddzielaczy cieczy lekkich (np. olej i benzyna). Część 1: Zasady projektowania, właściwości użytkowe i badania, znakowanie i stertowanie jakością.
- PN-EN 858-2:2005 Instalacje oddzielaczy cieczy lekkich (np. olej i benzyna). Część 2: Dobór wielkości nominalnych, instalowanie, użytkowanie i eksploatacja.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 grudnia 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. *Dz.U.* z 2014 r., poz. 1800.
- Sawicka-Siarkiewicz, H., Błaszczak, P. (2007). Urządzenia kanalizacyjne na terenach zurbanizowanych. Wymagania techniczne i ekologiczne. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Sawicka-Siarkiewicz, H. (2011). Oczyszczanie wód opadowych w separatorach i osadnikach w kontekście wymagań określonych w przepisach prawnych. *Przegl. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 20, 140–152.
- Słyś, D. (2008). Retencja, infiltracja wód deszczowych. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.

HYDRAULIC CONDITIONS OF FLOWS IN BY-PASS SYSTEMS, APPLIED FOR LIGHT LIQUIDS REMOVAL

Abstract. In engineering practice, more and more frequently innovative installations are being introduced for the removal of hazardous, light liquids in order to make their penetration to surface waters impossible. Those installations are often integrated with by-pass systems, where storm weirs are built into the main body of the separator, instead of being installed in separate chambers. Such technical solution provides many economical profits and is related with easier installation of the system and its' further exploitation. However, they quite frequently do not fulfill the adopted hydraulic criteria, and because of this, fail to acknowledge technical feasibility. They simply do not guarantee the assumed flow partitioning inside the devices, which causes general installation overload. In well-designed systems, nominal discharge capacity Q_n is a defined percentage of maximum capacity (from 10 to 20% of Q_{max}). It means, that by-pass route receives from 80 to 90% of maximum flow. Unfortunately, it is considered not easy to separate 10 or 20% of the stream in practice on account of complex hydraulic conditions. So far, there has been no real design and construction of such a device, that would give the possibility of stream partitioning $Q_{max} > Q > Q_n$ in an open channel to a degree, that Q_n travels to the separator, and the rest goes into the by-pass system. In consequence, when the flow in the main supply channel Q exceeds Q_n , contemporary separating structures (weirs) are likely to discharge contaminants excess into the by-pass system. The improvement of this situation requires research on physical models in a real scale, that was undertaken in this paper.

Key words: petroleum hydrocarbons, bypass system, roads drainage, separator

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.09.2017

Do cytowań – For citation: Krukowski, M., Koziół, A., Siwicki, P., Brandyk, A., Majewski G. (2017). Hydrauliczne warunki przepływów w systemach obejściowych stosowanych w instalacjach do usuwania cieczy lekkich. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 16(3), 187–199.