

Krzysztof Gradkowski,

e-mail; k.gradkowski@il.pw.edu.pl

tel. 601 30 68 99

System urządzeń kontroli splywu wód opadowych w obszarze węzła drogowego

Właściwie zaprojektowany zrealizowany system urządzeń odwadniających na pewnym obszarze jakim jest obszar węzła drogowego powinien uwzględniać zabezpieczać przed następstwami opadów atmosferycznych, a jednocześnie stymulować warunki zmiany środowiska w otoczeniu węzła. Problem ten jest kontynuacją opracowań [2],[3] i [4], jego pełne opracowanie wymaga określeń wszelkich uwarunkowań związanych z prawidłowym funkcjonowaniem węzła w układzie drogi i otaczającym środowisku. Należy wziąć pod uwagę, że zawilgocenie podłoża i konstrukcji drogowych budowli ziemnych następuje na skutek:

- przenikania wód deszczowych i powstałych podczas topnienia śniegu poprzez powierzchnie i szczeliny;
- podciągania kapilarnego wody z płytkich rowów, rzek, potoków lub jezior;
- podciągania kapilarnego z poziomów i podziemnych zbiorników wód gruntowych;
- koncentracji wilgoci w okresie zimy w strefie przemarzniętego gruntu, spowodowanej wzmożonym podciąganiem kapilarnym i dyfuzją pary oraz wody z cieplejszych dolnych rejonów gruntu do górnych zimniejszych.

Zawilgocenia i zastoiska wodne na powierzchniach jezdni powodują pogorszenie warunków bezpieczeństwa ruchu. Jednocześnie na skutek zawilgocenia podłoża gruntowego następuje obniżenie jego nośności, co z kolei może prowadzić do deformacji nawierzchni. Konsekwencją nieprawidłowego odwodnienia jest rozmiękanie poboczy gruntowych, powstawanie wysadzin i przełomów wiosennych oraz zjawisk osuwiskowych. Na skutek uplastycznienia gruntów i pogorszenia właściwości mechanicznych (zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie, wielkości kąta tarcia wewnętrznego i współczynnika kohezji) na styku warstwy przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej wytwarzają się powierzchnie poślizgu dla wyżej zalegających mas gruntu.

Prawidłowo funkcjonujący system urządzeń odwodnienia ma zapewnić szybkie i możliwie całkowite odprowadzenie wody z obrębu pasa drogowego (§ 101.1. [6]). Zgodnie z § 108.1. [6] odprowadzenie wód opadowych należy prowadzić do odbiornika wody lub do gruntu, spełniając jednocześnie wymagania, dotyczące ochrony środowiska naturalnego.

Wszelkie wody opadowe lub roztopowe, ujęte w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne, pochodzące z powierzchni zanieczyszczonych o trwałej nawierzchni, w szczególności z dróg oraz parkingów i wprowadzane do wód lub do gruntu określa się jako ścieki (art.9 ust 5 [9]). Według ustawy Prawo Wodne [9] jest to szczególne korzystanie z wód, wykraczające poza ramy wykorzystania powszechnego i zwykłego oraz wymagające uzyskania pozwolenia wodno-prawnego. Wody opadowe z pozostałych terenów, traktowane umownie jako czyste, nie wymagają pozwolenia wodno-prawnego na wprowadzanie ścieków. Jednakże wymagane jest w/w pozwolenie na wykonanie urządzeń wodnych, służących do wprowadzania ścieków do odbiornika.

Wprowadzający ścieki do wód lub do gruntu ma obowiązek ochrony wód przed zanieczyszczeniem, w szczególności przez budowę i eksploatację urządzeń służących tej ochronie. Obiekt budowlany lub zespół takich obiektów, których użytkowanie związane jest z wprowadzaniem ścieków (a zatem odcinek drogi czy węzeł drogowy) nie może zostać oddany do użytkowania, jeśli są spełnione wymagania art. 76 ustawy Prawo Ochrony Środowiska [8] tj.:

- „(...) wykonanie wymaganych przepisami lub określonych w decyzjach administracyjnych środków technicznych chroniących środowisko;
- zastosowanie odpowiednich rozwiązań technologicznych, wynikających z ustaw lub decyzji;
- uzyskanie wymaganych decyzji określających zakres i warunki korzystania ze środowiska;
- dotrzymanie na etapie wymaganych prawem badań i sprawdzeń, wynikających z mocy prawa standardów emisyjnych oraz określonych w pozwoleniu warunków emisji (...)

Warunki, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do gruntu zawiera rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. [7]. Wody opadowe i roztopowe z zanieczyszczonej powierzchni dróg krajowych, wojewódzkich i powiatowych klasy G w ilości, jaka powstaje z opadów o natężeniu co najmniej 15 l/s na 1 ha nie powinny zawierać substancji zanieczyszczających w ilościach przekraczających:

- 100 mg/l zawiesin ogólnych (*testy wg PN-EN ISO 9377-2:2003 [12]*);
- 15 mg/l węglowodorów ropopochodnych (*testy wg PN-EN 872-2:2007 [12]*).

Ilości w/w stężeń dopuszczalnych mogą zostać odpowiednio zmniejszone do 50 mg/l (zawiesina ogólna) i 5 mg/l (węglowodory ropopochodne) w pozwoleniu wodno-prawnym w zależności od rodzaju odbiornika, względnej ilości ścieków lub innych warunków.

W fazie budowy dróg szybkiego ruchu i położonych na nich węzłów następuje zmiana dotychczasowego sposobu użytkowania gruntów. Na ogół są to tereny rolnicze, pastwiska i nieużytki które są zajmowane przez pas drogowy. Część terenów, przylegających do pasa drogowego, zostaje czasowo zajęta pod organizację dróg dojazdowych i placu budowy. Realizacja samej inwestycji będzie się także wiązać się z ruchem ciężkiego sprzętu budowlanego.

Na ogół koniecznym jest usunięcie kolidujących z inwestycją drogową drzew i krzewów. Ich usunięcie będzie uzasadnione stosownymi decyzjami administracyjnymi struktur ochrony środowiska. Podobnie, wskazania przez urzędy ochrony zabytków, potencjalnych stanowisk archeologicznych w rejonie budów obligują do przeprowadzenia rozpoznawczych badań archeologicznych, określających zasięg i wartość naukową stanowisk. Tego rodzaju ekspertyzy zalecają na ogół prowadzenie nadzoru w trakcie wykonywania robót ziemnych, a w przypadku odkrycia cennego stanowiska archeologicznego zatrzymanie robót i przeprowadzenie odpowiednich badań.

Dotychczasowy charakter krajobrazu zostanie naruszony w przeważającej liczbie przypadków tego rodzaju inwestycji również poprzez ukształtowanie niektórych elementów węzła w wysokich nasypach, wiaduktach i estakadach. Programując wstępnie inwestycję budowy węzła drogowego szacuje się wstępnie:

- powierzchnię zajętą infrastrukturą drogową w obrębie węzła,
- maksymalną wysokość nasypu drogowego w obrębie węzła,
- łączną powierzchnię skarp rzutu równoległego o pochyleniu standardowym.

Dla wkomponowania danego węzła w otoczenie proponuje się urządzenie terenów zielonych z obsianiem powierzchni skarp mieszankami traw. Zamknięte pętle łącznic można zagospodarować zielenią niską zimozieloną w nasadzeniach grupowych lub rzędowych nieciągłych. Strefę brzegową zbiorników retencyjnych i odparowujących należy obsadzić roślinnością wodną, unikając jednocześnie inwazyjnych trzcin pospolitych i pałki wąskolistnej, stosując np. jeżogłówkę gałęzistą, oczeret jeziorny.

Przekształcenia powierzchni terenu w strefie zabudowy infrastrukturą drogową dotyczą następujących zagadnień:

- zmiana ukształtowania wysokościowego terenu;
- zmiany ukształtowania topograficznego terenu realizacji inwestycji ;
- uszczelnienie i przekształcenia powierzchni.

Są one nieuniknioną konsekwencją decyzji o prowadzeniu inwestycji drogowej.

Wysokościowa zmiana ukształtowania terenu w pasie drogowym spowodowana jest koniecznością wykonania nasypów, wykopów oraz obiektów inżynierskich dla nowoprojektowanej drogi. Wynikiem zmian ukształtowania topograficznego terenu będzie usunięcie naturalnej roślinności i porośli krzewów pokrywających obszar inwestycji, a tym samym zmniejszenie retencji obszarowej. Wraz z budową drogi następuje zmiana rodzaju pokrycia powierzchni terenu. Dotychczasowe tereny uprawne, pastwiska i nieużytki (tereny pokryte roślinnością, umożliwiające częściowe wsiąkanie w miejscu opadów - współczynnik spływu $s \approx 0,2$) zostaną uszczelnione poprzez wykonanie poszczególnych elementów infrastruktury drogowej (nawierzchnie asfaltowe jezdni, nawierzchnie z kostki betonowej na projektowanych miejscowo chodnikach, nawierzchnie *Miejsc Obsługi Podróżnych* – (współczynnik spływu $s \approx 0,8 \div 0,9$). Od rodzaju pokrycia powierzchni zależy wielkość spływu wód opadowych. Poprzez realizację inwestycji drogowej nastąpi wzrost ilości spływu wód z analizowanego obszaru.

Zagrożenia dla jakości i skażenia wód powierzchniowych mogą powstać już na etapie realizacji inwestycji drogowej, w skutek odprowadzenia bez oczyszczenia ścieków bytowych i technologicznych z obiektów zaplecza budowy, wypłukania niebezpiecznych związków z materiałów używanych na budowie czy wnoszenia do wód powierzchniowych zawiesin z terenu budowy (cement, mączka wapienna itp.). W czasie eksploatacji źródłem zanieczyszczeń wód będą ścieki w rozumieniu [9]. Dodatkowo, w przypadku konieczności wymiany gruntów nienośnych i przy wykonywaniu robót fundamentowych dla obiektów inżynierskich nastąpić czasami krótkotrwałe lecz przemijające obniżenie zwierciadła wód podziemnych spowodowane wykonaniem niezbędnych odwodnień.

W związku z powyższym konieczne będzie ograniczenie negatywnego wpływu inwestycji na środowisko dla całego projektowanego odcinka drogi wraz z węzłami poprzez zastosowanie rozwiązań technologicznych, redukujących ilość zanieczyszczeń w odprowadzanych wodach.

Dla zapewnienia zadowalającego efektu oczyszczania wód opadowych konieczne będzie wykonanie zabiegów konserwacyjnych także w fazie eksploatacji drogi:

- koszenie rowów odwadniających;
- usuwanie osadów i substancji olejowych z osadników;
- usuwanie osadów ze zbiornika i wymiana warstwy piasku;
- usuwanie przypadkowo znajdujących się w pasie drogi odpadków;
- kontrola stanu technicznego urządzeń odwadniających w tym sprawdzenie drożności przepustów, wlotów do zbiornika retencyjnego.

Na podstawie badań geotechnicznych można stwierdzić średnią grubość warstwy ziemi urodzajnej tzw. humusu. W czasie budowy istniejąca szata roślinna w obrębie pasa drogowego zostanie zniszczona, a warstwa ziemi urodzajnej usunięta. Humus przeznaczony do wykorzystania na miejscu należy składować w przyzmach o wysokości do 2 m i obsiać mieszkankami traw ochronnych. Dopuszczalny okres składowania wynosi 1 rok [11]. Po zakończeniu robót budowlanych należy urządzić pasy zieleni ochronnej i wykonać nasadzenia roślinności zgodnie z projektem zagospodarowania terenu zielenią (odrębne opracowanie). Do obsiania rowów odwadniających należy wykorzystać gatunki traw odpornych na wodę zasoloną.

W pasie drogowym niemal każdej inwestycji zostają wyeliminowane siedliska zwierząt. Jeżeli przebieg drogi ekspresowej następuje po terenach rolnych to skutki usunięcia siedlisk są umiarkowane z punktu widzenia przyrodniczego. Budowa drogi stanowi także barierę dla migracji zwierząt na całym odcinku (nie tylko w obszarze węzłów), stąd powstaje konieczność wykonania przejść ekologicznych. Przejścia te powinny być zlokalizowane poza węzłami drogowymi i nie stanowią elementu projektu budowlanego.

Na system urządzeń kontroli wód opadowych z obszaru każdego węzła drogowego, w sensie technicznym, składają się urządzenia powierzchniowe i podpowierzchniowe. Pierwsza grupę stanowią:

- ścieki drogowe trójkątne;
- ścieki skarpowe trapezowe;
- rowy drogowe trapezowe,
- przepusty rurowe;
- studnie szczelne;
- kaskady brukowane;
- zbiornik retencyjno-oczyszczający;
- system komór drenażowych szczelnych;

Należy dodać, iż odwodnienie jezdni drogi ekspresowej, łącznic i rond zapewnia się przede wszystkim przez zastosowanie odpowiednich spadków poprzecznych i podłużnych nawierzchni, a także podłoża gruntowego. Podpowierzchniowe urządzenia należące do systemu a służące odprowadzaniu wód opadowych podzielić można dwie grupy:

- odwodnienie filtracyjne (rowy chłonne, sączki, dreny, studnie chłonne, zbiorniki chłonne) z wyróżnieniem:

- ◆ drenażu płytkiego - wykonywanego celem odprowadzenia wody infiltracyjnej przedostającej się w głąb podłoża nawierzchni drogowej,
- ◆ drenażu głębokiego - wykonywanego celem obniżenia poziomu wód gruntowych, drenażu skarp, drenażu ochronnego;
- odwodnienie podziemne (tranzytowe) przeznaczone do przejęcia i odprowadzenia wód opadowych spływających z powierzchni jezdni i chodników poprzez studzienki wpustowe do kanalizacji deszczowej (rowy kryte, ścieki kryte, kanalizacja deszczowa)

Posługując się materiałami założeń projektowych [5] podjęto przykład analizy technicznego rozwiązania systemu urządzeń odwadniających dla węzła „Korzeńsko” na drodze S 5, stanowiącego skrzyżowanie dwupoziomowe nowoprojektowanej S5 na istniejącej dk nr 5; o układzie łącznic typu „harfa”, które układ wraz z obszarem zlewni i ze strukturą przewidywanych urządzeń odwodnienia przedstawiono na rys.1. Cały projektowany odcinek drogi ekspresowej S5 nie koliduje z obszarem chronionym o randze parku krajobrazowego ani obszarem Natura 2000. Ogólna obszar całej zlewni ok. 36 ha został scharakteryzowany parametrycznie pod względem rodzajów pokryć powierzchni zlewni i ich obszarów oraz współczynników spływu według oznaczeń rys 2. Czytelność tych oznaczeń zapewnia jedynie kolorowa edycja rys.1 i odpowiednie powiększenie tego rysunku.

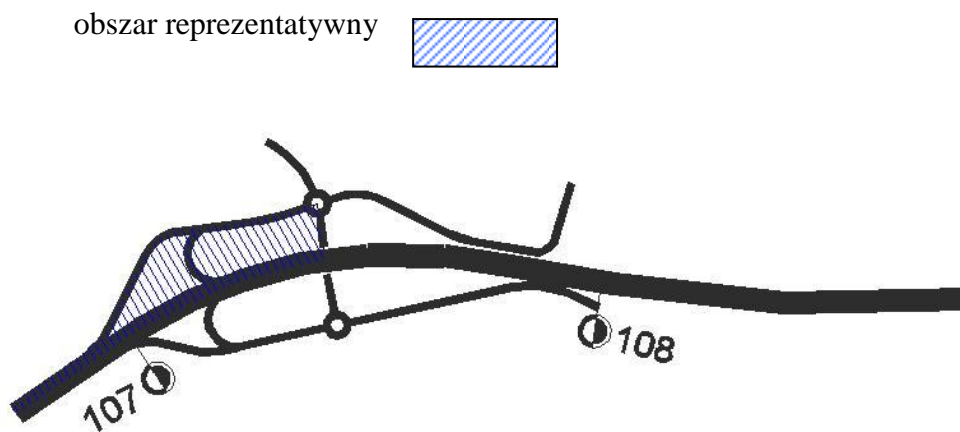


Rys.1. Schemat ogólny całego obszaru zlewni z oznaczeniami poszczególnych powierzchni zlewni sporządzony na podstawie [5]



Rys.2. Oznaczenia charakterystyki poszczególnych powierzchni zlewni

Dla celów analiz i podstawowych obliczeń hydraulicznych poszczególnych elementów i urządzeń z ogólnego układu obszaru zlewni całego węzła (ok. 36 ha), została wyodrębniona zlewnia reprezentatywna ok.6,5 ha, rys.3. Można zauważyć, że dla para- symetrycznego cztero- częściowego obszaru węzła jest to największy i najbardziej obciążone pole zlewni stanowiące około $\frac{1}{4}$ powierzchni. Ponadto jest obszar niejako wydzielony hydrogeologicznie z pełnej topografii obszaru całego węzła poprzez nasypy i wykopy łącznic i dróg. Na wybranym obszarze reprezentatywnym zlokalizowane będą niemal wszystkie typy urządzeń odwadniających składających się na system kontroli spływu wód opadowych, tj. ścieki drogowe wzdłuż krawędzi jezdni, ścieki skarpowe, rowy trapezowe, kaskady, studnie szczelne oraz zbiornik retencyjno-odparowujący.



Rys.3. Zlewnia obszaru reprezentatywnego

Do wymiarowania poszczególnych urządzeń systemu kontroli spływu wód opadowych zastosowano parametry i współczynniki, na podstawie których uzyskuje się wyniki o większych przekrojach poszczególnych urządzeń, tj;

$p = 10\%$ – prawdopodobieństwo pojawienia się opadów deszczu

$A = 1013$ – przy $p = 10\%$ oraz średniej rocznej wysokości opadów $h < 800$ mm

$t_m = 1000$ s – czas miarodajny deszczu, wg [1],[2].

współczynnik spływu s dla poszczególnych obszarów zlewni:

$s = 0,90$ dla jezdni

$s = 0,85$ dla chodników

$s = 0,70$ dla pozostałych obszarów w pasie drogowym o pochyleniu $i < 5\%$

$s = 0,80$ dla pozostałych obszarów w pasie drogowym o pochyleniu $i > 5\%$

$s = 0,90$ dla skarp o pochyleniu $i > 10\%$

Według powszechnej praktyki dla obszarów zieleni w pasie drogowym o pochyleniu i przyjmuje się współczynnik spływu rzędu 0,15, a w tym przypadku wartość współczynnika spływu s przyjęto jako średnią ważoną, obliczoną wg wzoru (1);

$$s = \frac{\sum_i F_i * s_i}{F} \quad (1)$$

gdzie;

$F = \sum F_i$

F_i – powierzchnia obszaru nr „ i ” o jednorodnej wartości współczynnika s [ha]

s_i – wartość współczynnika s w obszarze nr „ i ” [-]

i wynoszącą dla obszaru zlewni reprezentatywnej 0,82

Miarodajne natężenie opadu deszczu q określane będzie ze wzoru (2);

$$q = 15,347 \frac{A}{\{(t_m)^{0,667}\}} \text{ [dm}^3/\text{s*ha]} \quad (2)$$

gdzie;

A – stała wartość wg tablicy 2, [11]

t_m – czas miarodajny deszczu (ok. 15 minut tj. 1000 sekund)

przy czym:

$$t_m = 1,2 \frac{l}{v} + t_k \quad (3)$$

gdzie;

l – długość rowu [m]

v – prędkość przepływu [m/s]

t_k – czas koncentracji terenowej [s] wg tablicy 4 [11]

Obliczenia hydrauliczne dla zbiornika przeprowadzono w oparciu o metodę granicznych natężeń deszczu zgodnie z procedurą normową [11].

Miarodajny przepływ obliczeniowy Q_m w przekroju wlotów do zbiornika retencyjnego określano ze wzoru (4);

$$Q_m = F * s * q \quad (4)$$

gdzie;

Q_m – miarodajny przepływ obliczeniowy [dm^3/s]

F – powierzchnia zlewni [ha]

s – współczynnik spływu [-]

q – natężenie miarodajne deszczu przy $p=10\%$ [$\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$]

W tym przypadku dla zlewni reprezentatywnej $F = 6,5$ ha, $s = 0,82$ i $q = 55,1$ $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$ przyjęto $Q_m = 1$ m^3/s

Powierzchnie zbiornika odparowującego wyznaczono ze wzoru (5);

$$F_{zo} = \frac{2 \cdot 10^5 (h - z) F}{t_b (0,2U_c + \beta \cdot \Delta H)} \quad (5)$$

gdzie;

F_{zo} – powierzchnia zbiornika odparowującego (zwierciadła wody) [m^2]

h – grubość warstwy opadu przy uwzględnieniu jego prawdopodobieństwa [mm]

z – grubość warstwy opadu zatrzymanego przez roślinność [mm]

F – powierzchnia zlewni grawitującej do zbiornika odparowującego [km^2]

t_b – średni okres bezdeszczowy [doby]

U_c – średnia wielkość odparowującej w ciągu doby [mm]

β – procentowa wartość strat na filtrację w ciągu doby [-]

ΔH – wahania zwierciadła wody w basenie, tzn. grubość warstwy, o którą może się podnieść poziom wody [m]

Do obliczeń przyjęto;

- $h = 20$ mm
- Ze względu na brak roślinności (nie licząc otoczenia gruntowego o spadku $i < 5\%$) przyjęto grubość opadu zatrzymanego przez roślinność $z = 0$.

- $F = 6,51 \text{ ha} = 0,065 \text{ km}^2$
- Średnią długość okresu bezdeszczowego oblicza się na podstawie liczby dni z opadami przewyższającymi wielkość strat głównych. Za ciepłe dni uważa się doby o temperaturze nie spadającej poniżej 0°C . Przyjęto, że jest ich w roku 220.
- $\beta = 0$ (zbiornik ze szczelnym dnem)
- $\Delta H = 0,25 \text{ m}$
- średnią wartość odparowującej wody w ciągu doby wyznacza się ze wzoru (6):

$$U_c = 0,55 (1+0,12v)d^{0,8} \quad (6)$$

gdzie;

U_c – średnia wartość odparowującej wody w ciągu doby [mm]

v – prędkość wiatru [m/s], przyjęto $v = 2 \text{ m/s}$

d – średnia dobową wartość deficytu wilgoci powietrza na wysokości 2 m nad powierzchnią terenu, przyjęto $d = 10\%$

$$U_c = 0,55 (1+0,12*2)(0,10)^{0,8} = 4 \text{ mm}$$

Ostatecznie ustalono, że zbiornik retencyjno-oczyszczający o wymiarach 24x65 m czyli powierzchni 1560 m^2 i skarpach o pochyleniu 1:1,5. będzie spełniał warunek wystarczający. Przedstawiony przykład zawiera obliczenia dla głównego urządzenia zbioru wód opadowych, który nie może funkcjonować samodzielnie bez całego systemu zbierających urządzeń odwadniających bezpośrednio ze sobą połączonych. Sprawdzającym obliczeniom przepływu hydraulicznego powinny być poddane również niektóre przepusty, a nawet pewne odcinki rowów odprowadzających wodę. Pełny zakres tych obliczeń wynika jednak z przyjętych rozwiązań w projekcie wykonawczym.

Bibliografia

- [1] Edel R. „Odwodnienie dróg” Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006, wyd. 3
- [2] Gradkowski K. „Odwodnienie dróg i budowli ziemnych”, Warszawa 2008
<http://wektor.il.pw.edu.pl/~zik/p-gradkowski-o.html>
- [3] Gradkowski K. „Ryzyko awarii przepustów” Drogownictwo Nr 4, kwiecień 2005
- [4] Gradkowski K. „Odwodnienie węzłów drogowych” Drogownictwo Nr 7, lipiec 2006
- [5] Materiały projektowe. ARCADIS Profil Sp. z o o, Warszawa 2008.
- [6] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie Dz. U. Nr 43 z dnia 14 maja 1999r. poz. 430

- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 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. Nr 137 z dnia 31 lipca 2006 r. poz. 984
- [8] Ustawa Prawo Ochrony Środowiska Dz. .U. Nr 62. z dnia 27 kwietnia 2001 r. poz. 627 z późniejszymi zmianami
- [9] Ustawa Prawo Wodne Dz. U. 2005 Nr 239 poz. 2019 (obwieszczenie - tekst jednolity) z późniejszymi zmianami
- [10] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko Dz. U. Nr 199 poz. 1227
- [11] PN-S-02204:1997 – Drogi samochodowe – Odwodnienie dróg.; PN-S-02205:1998 – Drogi samochodowe – Roboty ziemne
- [12] PN-EN 872:2007 – Jakość wody – Oznaczanie zawiesin –Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączi z włókna szklanego; PN-EN 9377-2:2003 – Jakość wody – Oznaczanie indeksu oleju mineralnego – Część 2: Metoda z zastosowaniem ekstrakcji rozpuszczalnikiem i chromatografii gazowej