

Odwodnienie dróg i ulic – zagadnienia techniczne

Prawidłowe odwodnienie powierzchni komunikacyjnych jest podstawowym zadaniem, które musi rozwiązać projektant. Problem ten obejmuje zagadnienia z dziedziny inżynierii środowiska, dlatego wymagana jest współpraca projektantów drogowych i branży kanalizacyjnej. Szybkie odprowadzenie wody jest konieczne, gdyż odpowiada za prawidłową przyczepność pomiędzy oponą i nawierzchnią, a także z uwagi na zjawisko aquaplaningu.

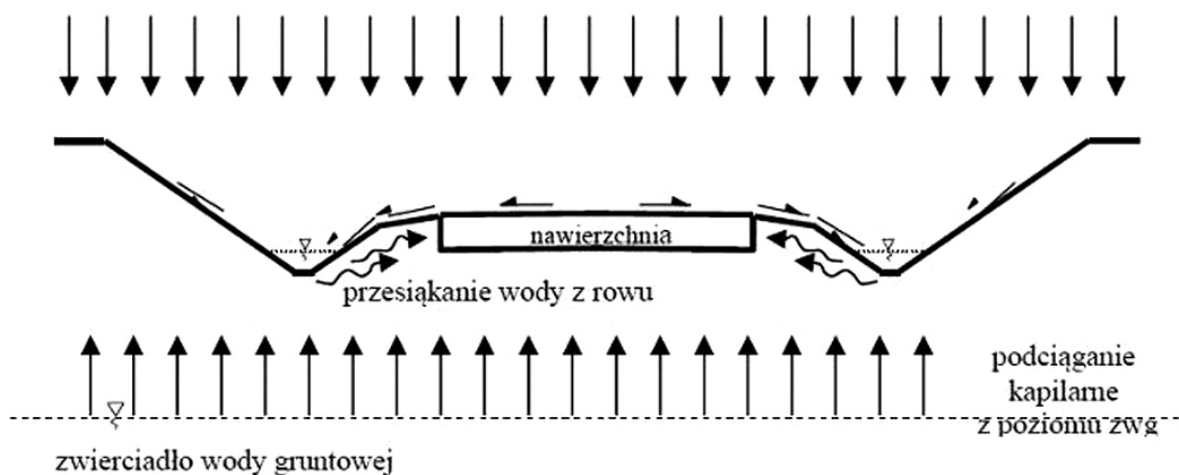


Funkcje i składowe systemu odwodnienia

Podstawową funkcją systemu odwodnienia jest szybkie i możliwe do całkowitego ujęcie i odprowadzenie wód opadowych spływających do odbiornika z poboczy, pasa dzielącego, skarp, pasa drogowego, nawierzchni oraz okolicznego terenu, jak i wód przenikających do konstrukcji nawierzchni na skutek przyciągania kapilarnego z poziomu zwierciadła wody gruntowej i wody zalegającej w rowach (rys. 1).

Do funkcji systemu odwodnienia dróg należy zaliczyć:

- efektywne ujęcie i odprowadzenie wód opadowych, zmniejszając ich wpływ na stan nawierzchni i bezpieczeństwo użytkowników drogi
 - ujęcie i odprowadzenie wód przedostających się do nawierzchni i podłoża
 - uregulowanie zwierciadła wód gruntowych do wymaganego poziomu
 - drenaż skarp (w przypadku, gdy droga przecina warstwę wodonośną)
 - stosowanie drenażu ochronnego w terenach osuwiskowych
 - oczyszczenie wód z wszelkich zanieczyszczeń powstałych z powodu użytkowania drogi
 - odprowadzenie wód do środowiska w oparciu o wymogi ochrony wód i prawa wodnego
 - wyprowadzenie wód poza koronę drogi.



Rys. 1. Schemat wód działających na nawierzchnię, pobocza i skarpy rowów [1]

Podstawowymi składowymi systemu odwodnienia są [1]:

- odwodnienie powierzchniowe, które ma na celu odprowadzenie wód opadowych z powierzchni pasa drogowego i przyległego do niego terenu
 - odwodnienie wgłębne, do którego zalicza się:
 - drenaż głęboki, który służy do obniżenia poziomu wód gruntowych i obejmuje drenaż: korony drogi, skarp, ochronny i podstawy nasypu
 - drenaż płytki, który obejmuje odprowadzenie wody zbierającej się w obrębie warstwy: podbudowy, mrozoochronnej, odsączającej i wzmacniającej podłoże
 - kanalizacja deszczowa
- wszelkie urządzenia służące do retencji i oczyszczania wód opadowych przed przekazaniem ich do odbiornika.

Obliczenie wielkości spływu

Dla odpowiedniego zwymiarowania systemu odwodnienia należy ustalić wielkość spływów ze zlewni. Pozwala to na określenie ilości wody, jaką przenieść musi dane urządzenie odwadniające w przeciętnych warunkach użytkowania. Przy oznaczaniu wielkości spływów z odwadnianych powierzchni, najpierw należy wyznaczyć konieczne parametry, tzn.:

- prawdopodobieństwo pojawienia się deszczu
 - czas trwania deszczu
 - natężenie deszczu miarodajnego
 - powierzchnię zlewni cząstkowych
- współczynnik spływu dla występujących w projekcie powierzchni
- współczynnik opóźnienia spływu, który przyjmuje się w zależności od przyjętej metody obliczania spływów.

Deszcze charakteryzują się [2]:

- prawdopodobieństwem pojawienia się deszczu p o natężeniu większym lub równym od d deszczu miarodajnego
 - czasem trwania t [min]
- natężeniem [mm/min] lub [$\text{dm}^3/(\text{ha} \cdot \text{s})$]
 - wysokością opadu h [mm]
 - zasięgiem F [ha].

Prawdopodobieństwo pojawienia się deszczu p określa ile razy w przeciągu stulecia zostanie przekroczone dane natężenie deszczu. Kolejną charakterystyczną wielkością jest częstość powtarzalności deszczu C , określaną jako 1 raz na C lat. Zależność pomiędzy prawdopodobieństwem pojawienia się deszczu a

częstością przedstawia się wzorem:

$$C = \frac{100}{p}$$

Wartość ta podaje stopień bezpieczeństwa działania urządzeń odwadniających bez wystąpienia awarii.

Przyjmując do projektowania prawdopodobieństwo pojawienia się deszczu należy zwrócić uwagę na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Ponadto ważnym kryterium są tu względy ekonomiczne. Nie ma sensu budować systemów odwadniających na wyrost, gdyż sam koszt ich budowy może przewyższyć spodziewane straty w razie wystąpienia podtopienia. Zatem dobór odpowiedniego prawdopodobieństwa p powinien równoważyć bezpieczeństwo i względy ekonomiczne. W tabelicy 1 podano zalecane wartości prawdopodobieństwa dla dróg i ulic wg normy odwodnienie dróg [3].

R. Edel [2] na podstawie polskich publikacji [4] i przepisów niemieckich (RAS) podaje następujące w normalnych warunkach częstości:

- odwodnienie poprzez muldy i rowy: $p = 100\%$, $C = 1$ rok
- odwodnienie poprzez muldy i rowy w obrębie miast: $p = 10\%$, $C = 10$ lat
- odcinki drogi w wykopach zależnie od jej ważności: $p = 5-10\%$, $C = 10$ do 20 lat
 - najniższe punkty niwelety: $p = 20\%$, $C = 5$ lat
- kanalizacje drugorzędne (poza kolektorami i burzowcami): $p = 50\%$, $C = 2$ lata
 - kolektory i burzowce: $p = 20\%$, $C = 5$ lat
- kanalizacje w wyjątkowo niekorzystnych warunkach terenowych: $p = 10\%$, $C = 10$ lat
 - kanalizacje odwadniające pas dzielący dwie jezdnie: $p = 25\%$, $C = 4$ lata.

▼ Tablica 1. Wartości prawdopodobieństwa deszczu miarodajnego p dla dróg i ulic [3]

Klasa drogi	p [%]; C [raz na C lat]	Warunki ułożenia kanału	p [%]; C [raz na C lat]
A, S	10; 10	Boczny kanał w płaskim terenie	100; 1
GP	20; 5	Kolektor w płaskim terenie	50; 2
G, Z	50; 2	Kolektor lub kanał boczny przy spadkach terenu powyżej 2%	20; 5
L, D	100; 1	Kolektor lub kanał boczny przy spadku terenu powyżej 4%	10; 10

▼ Tablica 2. Zalecane parametry deszczu wg normy PN-EN 752 [5]

Charakterystyka terenu	p [%]; C [raz na C lat]
Tereny wiejskie (pozamiejskie)	100; 1
Tereny mieszkaniowe	50; 2
Centra miast, tereny usług i przemysłu	25; 4
Podziemne urządzenia komunikacyjne, przejścia dla pieszych	10; 10

W tabelicy 2 podano częstości deszczu obliczeniowego wg obowiązującej normy [6] do projektowania kanalizacji zewnętrznych.

Czas trwania deszczu miarodajnego odpowiada czasowi dopływu wód opadowych do odbiornika, który może stanowić np. rów, mulda, przepust itd. Jeśli czas trwania deszczu miarodajnego jest krótszy niż 10 minut, wówczas do dalszych obliczeń przyjmuje się wartość równą 10 minut. Dzieje się tak, gdyż urządzenia odwadniające potrafią zmagazynować ilość wód dopływającą do nich w czasie krótszych opadów. Dla dużych pochyłości terenu stanowiących bardzo korzystne warunki spływu wód opadowych należy jednak sprawdzić obliczenia dla deszczu 5-minutowego.

Natężeniem deszczu nazywamy stosunek wysokości opadu do jednostki czasu, w jakim ten opad nastąpił.

Zależy ono od czasu trwania opadu, jego częstotliwości i zasięgu. Obecnie w Polsce, najczęściej stosowanym w projektowaniu odwodnienia terenów jest model opadów Błaszczyka (z 1954 r.), wzorowany na strukturze formuły Gorbaczewa:

$$q = \frac{6,631 \sqrt[3]{H^2 C}}{t_d^{0,667}}$$

gdzie:

q - natężenie deszczu miarodajnego [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$]

t_d - czas trwania deszczu [min]

H - wysokość opadu normalnego (średniego z wielolecia) [mm]

C - częstość występowania deszczu o natężeniu q [lata].

W Polsce przy obliczaniu odwodnienia wykorzystuje się [2, 4, 6, 7]:

- metodę stałych natężeń deszczu
- metodę granicznych natężeń deszczu
- metodę współczynnika opóźnienia.

Metoda stałych natężeń deszczu jest metodą skróconą, stosowaną głównie w projektach wstępnych oraz do obliczania zlewni o powierzchni nie większej niż 50 ha. Wykorzystuje ona zależność między natężeniem deszczu, a powierzchnią zlewni. Zakłada się, że czas deszczu jest równy czasowi przepływu przez kanał i wyznacza się go dla całej zlewni przy założonym prawdopodobieństwie pojawienia się deszczu. Najczęściej czas trwania deszczu przyjmuje się równy 10 min dla kanałów bocznych, natomiast dla kanałów głównych 15 minut [7]. Ogólna postać wzoru na ilość wód opadowych Q to:

$$Q = \frac{1}{n\sqrt{F}} \psi q F$$

gdzie:

Q - ilość opadu [dm^3/s]

$\frac{1}{n\sqrt{F}}$ - współczynnik opóźnienia wg Burki-Zieglera

ψ - współczynnik spływu

F - powierzchnia zlewni [ha]

n - współczynnik zależny od spadku i formy zlewni, równy od 4 do 8.

Metodą zalecaną przy wymiarowaniu kanalizacji i systemów odwodnienia dróg jest metoda granicznych natężeń deszczu. Polega ona na określeniu dla każdego punktu w sieci deszczu miarodajnego. Obliczenia rozpoczyna się od założenia prędkości przepływu wody w kanale dla najwyższego odcinka. Przy wymiarowaniu kanalizacji, sieć liczy się tylko w węzłach, wielkości natężenia deszczu miarodajnego wyznaczone na tej podstawie są obowiązujące dla całego odcinka powyżej rozpatrywanego węzła.

Maksymalne natężenie deszczu oblicza się na podstawie wyznaczonego czasu trwania deszczu miarodajnego, który spełnia jednocześnie rolę współczynnika opóźnienia. Natężenie deszczu miarodajnego

wyznacza się z formuły Błaszczyka, przy czym czas jego trwania t_{dm} nie może być mniejszy od 10 minut.
Ilość wód odpadowych w węźle oblicza się z formuły:

$$Q_1 = q_1 \psi_z F$$

Współczynnik spływu ψ_z wyznacza się dla całej zlewni, jako średnią ważoną ze współczynników cząstkowych i powierzchni na jakiej występują. Metodą bazującą na rzeczywistym natężeniu deszczu jest metoda współczynnika opóźnienia. W 1940 r. Reinhold opublikował ogólne zasady projektowania odwodnienia terenów zurbanizowanych, w tym w szczególności kanalizacji obiektów komunikacyjnych typu autostrady, mosty i wiadukty, przejścia i przejazdy pod ulicami czy lotniska, w których sformułował model fizyczny opadów. Podstawą wymiarowania są natężenia deszczu o czasie trwania 15 minut i częstości występowania $C = 1$ rok (100%). Wartości te w ($dm^3/(s \cdot ha)$) podał Reinhold: dla Warszawy 84, Szczecina 87, Gdańska 93, Elbląga i Wrocławia 112, Opola 117.

Średnio dla tej części Europy można przyjmować $q_{15,1} = 100 dm^3/(s \cdot ha)$.

$$Q = q_{15,1} \varphi(t_d, C) \psi_s F$$

Współczynnik opóźnienia odpływu wyznacza się z zależności:

$$\varphi(t_d, C) = \frac{38}{t_d + 9} ({}^4\sqrt{C} - 0,3684)$$

W metodzie tej stosuje się szczytowy współczynnik spływu ψ_s wyrażony jako stosunek spływu powierzchniowego do odbiornika do wielkości opadu na zlewnie.

Osobliwości metody natężeń granicznych, jak i metody współczynnika opóźnienia podano w opracowaniu [6].

Odwodnienie powierzchniowe dróg

Do otwartych urządzeń składowych odwodnienia powierzchniowego zalicza się:

- muldy przydrożne – stosuje się jako elementy odwodnienia dróg klas A, S, GP przebiegających w wykopie, mają w przekroju poprzecznym kształt kołowy odcinkowy; szerokość muldy wynosi od 1,0 do 2,5 m, głębokość minimum 20 cm, ale nie więcej niż 0,2 szerokości (fot. 1)



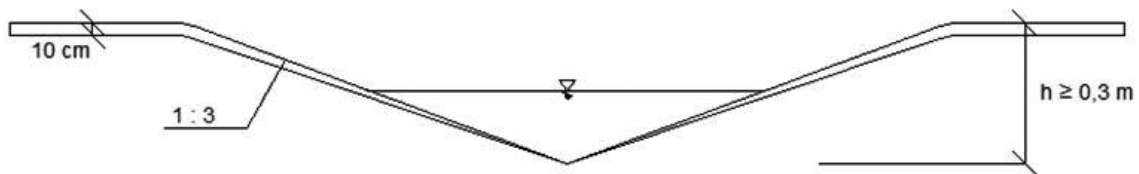
Fot. 1. Mulda przy jezdni autostrady A4

Fot. 2. Uszkodzenie skarpy przez deszcz nawałny na skutek braku rowu stokowego

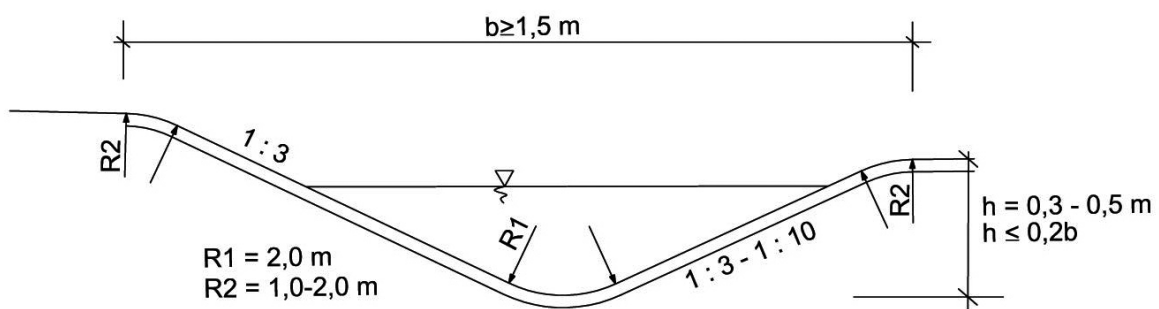
■ rowy trójkątne – stosuje się na drogach klasy A, S i GP, w szczególności w celu ułatwienia utrzymania, w przypadku gdy wysokość skarpy nasypu lub wykopu jest mniejsza niż 1,0 m; głębokość rowu powinna wynikać ze sposobu odwodnienia korpusu drogi, standardowo wynosi od 0,3 m do 0,8 m; pochylenie skarpy wewnętrznej nie powinno być większe niż 1:3, skarpy zewnętrznej nie większe niż 1:5 wg WT [8], natomiast norma dla skarpy zewnętrznej podaje wartości pochylenia w granicach 1:3-1:10, a z dnem wyokrąglonym łukiem kołowym o promieniu 0,5 m [3]

■ rowy opływowe (rys. 3) – są odmianą rowów trójkątnych, ze względu na kształt przekroju poprzecznego lepiej wpisują się w teren w porównaniu z trójkątnymi; należy je stosować na drogach klasy A i S oraz GP; rów opływowy stosuje się w wykopie, przy krawędzi korony drogi, jeżeli jej korpus ma odwodnienie wgłębne lub jest wykonany z materiału niewymagającego odwodnienia wgłębne; można go stosować przy wysokości skarpy nasypu do 2 m w wypadku niestosowania skrajnej bariery ochronnej; szerokość rowu opływowego nie powinna być mniejsza niż 1,5 m, a głębokość nie powinna być większa niż 1/5 jego szerokości; dno należy wyokrąglić promieniem o wartości 2,0 m, krawędzie górne promieniami o wartości 1,0-2,0 m

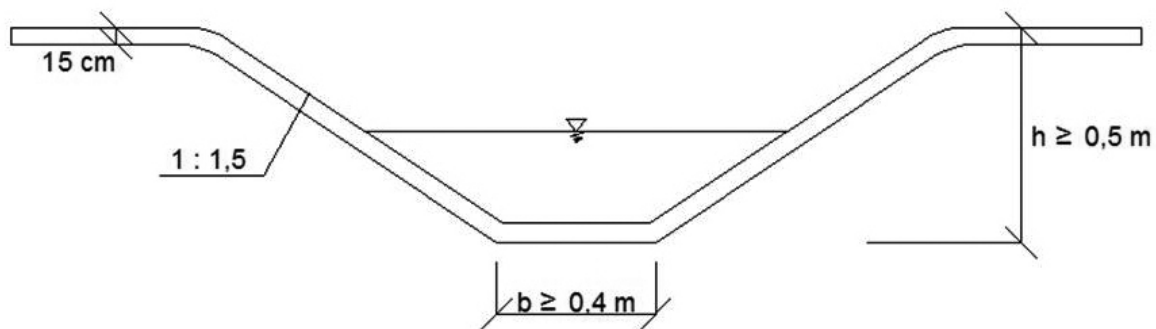
■ rowy trapezowe (rys. 4) – stosuje się na drogach wszystkich klas, z wyjątkiem autostrad i dróg ekspresowych, gdy nie przewiduje się umieszczania skrajnej bariery ochronnej; dno rowu powinno mieć szerokość co najmniej 0,4 m, a głębokość rowu nie powinna być mniejsza niż 0,5 m, przy czym jeżeli górna część korpusu drogi jest odwadniana drenami lub warstwą odsączającą, to dno rowu powinno być poniżej poziomu wylotu drenu, sączka lub warstwy odsączającej nie mniej niż 0,2 m, a na odcinku wododziału nie mniej niż 0,1 m; pochylenie skarpy rowu nie powinno być większe niż 1:1,5



Rys. 2. Rów trójkątny



Rys. 3. Rów opływowy



Rys. 4. Rów trapezowy

- rowy stokowe - wykonuje się w kształcie trapezowym, stosuje się w celu przejęcia wody powierzchniowej napływającej ze stoku (fot. 2); rów stokowy powinien być wykonany co najmniej 3,0 m powyżej krawędzi przecięcia się skarpy wykopu z terenem; gdy istnieje obawa, że rów stokowy nawodni skarpy wykopu, powinien być uszczelniony lub odsunięty od skarpy wykopu; pochylenie skarp rowu stokowego nie powinno być większe niż 1:1,5
- ściek drogowy - to zagłębienie o głębokości do 0,3 m (fot. 3) włącznie z umocnionym dnem, zbierające i odprowadzające wodę; ścieki powinno się stosować w wypadku, gdy woda powierzchniowa spowodowałaby uszkodzenie elementów korpusu drogi oraz na obszarze, z którego odprowadzenie wody powierzchniowej bezpośrednio do ziemi lub do odbiornika wody nie jest dopuszczalne; ścieki mogą być stosowane do odwodnienia jezdni na łukach przy wysokości skarpy powyżej 2,0 m, pasa awaryjnego, utwardzonego pobocza, opaski, chodnika, drogi rowerowej, pasa dzielącego, przy ścianie oporowej, ekranie akustycznym i jako umocnienie dna rowu
- bystrotok (bystrza), kaskady - elementy, które są stosowane na odcinkach rowów o pochyleniu ponad 15%.



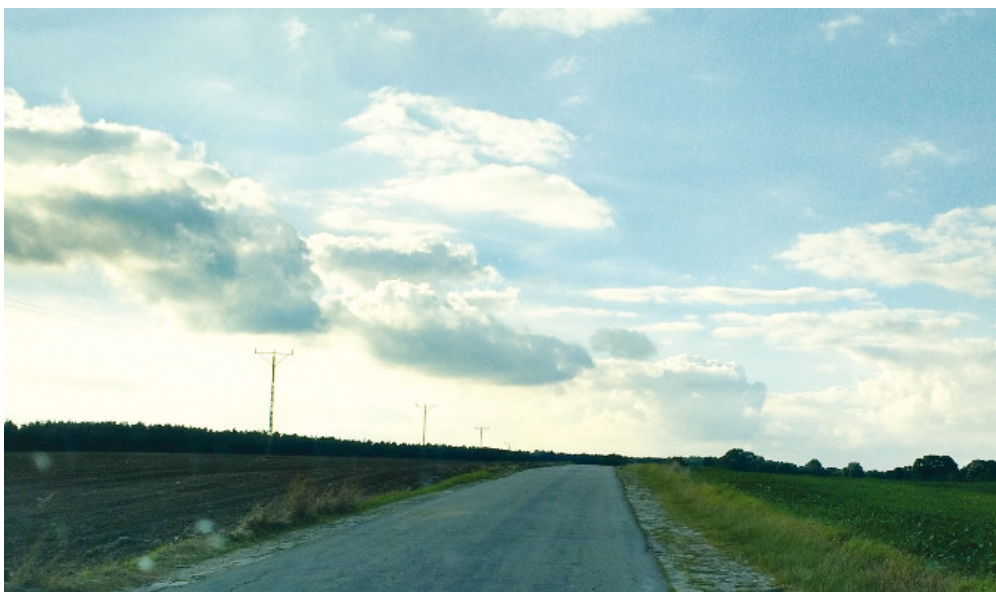
Fot. 3. Ściek korytkowy jako element odwodnienia pasa dzielącego



Fot. 4. Uszkodzenia dna rowu przez opady

Przy projektowaniu minimalny spadek podłużny rowu powinien wynosić 0,2% [8]. W wyjątkowych sytuacjach dopuszcza się stosowanie pochylenia równego 0,1% na odcinkach nie większych niż 200 m.

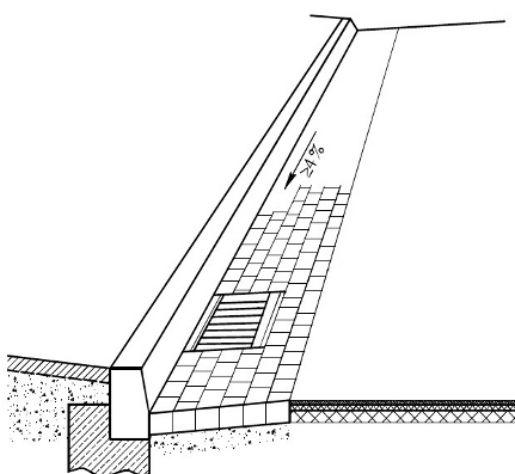
Rowy niejednokrotnie wymagają umocnienia dna (fot. 4) – szczegółowe zasady umacniania dna w zależności od prędkości przepływu lub pochylenia dna rowu podaje norma [3]. Rowy trójkątne i opływowe oraz muldy są rozwiązaniami korzystnymi ze względu na bezpieczeństwo ruchu drogowego i powinny być stosowane w strefie bezpieczeństwa przy projektowaniu dróg wybaczących błędy kierowcy. W związku z powyższym należałoby rozszerzyć zakres ich stosowania na niższe klasy albo uzależnić ich stosowanie od prędkości projektowej np. $V_p \geq 70$ km/h. Wadą ich jest powierzchnia zajmowanego terenu. W przypadku dróg gminnych i powiatowych przy występowaniu gruntów przepuszczalnych lub przy zastosowaniu drenażu, sączków można zrezygnować z stosowania rowów przydrożnych (fot. 5).



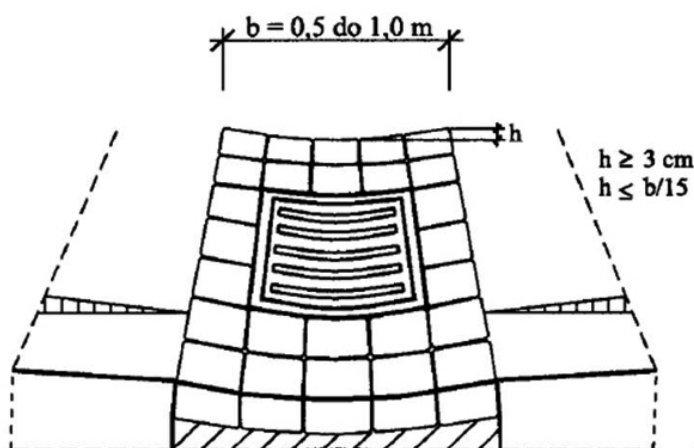
Odwodnienie powierzchniowe ulic i powierzchni komunikacyjnych

Ścieki należy stosować jako standardowe rozwiązanie odwodnienia szczelnych nawierzchni drogowych na obszarach zabudowanych:

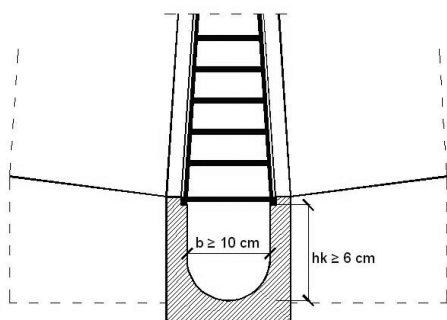
- w przekrojach ulicznych należy lokalizować je przy krawędzi jezdni jako ścieki przykrawężnikowe (rys. 5)
 - na placach postojowych należy lokalizować je przy zewnętrznej ich krawędzi jako ścieki przykrawężnikowe lub w pewnej odległości od tej krawędzi jako ścieki międzyjezdniowe (rys. 6)
- na placach, parkingach, wjazdach do garaży wykonywanych jako ścieki skrzynkowe, ścieki szczelinowe (rys. 7, 8).



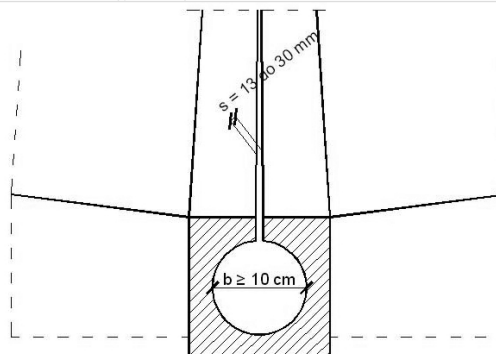
Rys. 5. Ściek przykrawężnikowy zwykły [9]



Rys. 6. Ściek międzyjezdniowy [2]



Rys. 7. Ściek skrzynkowy (korytka z rusztem) [1]



Rys. 8. Ściek szczelinowy [1]

W przypadku ścieków skrzynkowych korytka wykonywane są z elementów prefabrykowanych, natomiast ruszty z żeliwa lub stali ocynkowanej [2]. Rozróżnia się sześć klas obciążeń, na jakie oddziałują korytka w miejscu występowania [1]:

- klasa A - 15 kN, powierzchnie przeznaczone dla pieszych i rowerzystów
- klasa B - 125 kN, drogi i powierzchnie dla pieszych oraz parkingi dla samochodów osobowych
- klasa C - 250 kN, obszar przykrawężnikowy chodników i poboczy ulic
- klasa D - 400 kN, pasy ruchu ulic, pasy dla pieszych
- klasa E - 600 kN, obszar, na którym odbywa się ruch pojazdów o wyjątkowo dużym obciążeniu na oś
- klasa F - 900 kN.

Kolejnym elementem składowym efektywnego odwodnienia powierzchni ulic i powierzchni

komunikacyjnych są wpusty deszczowe. Ich zadaniem jest ujęcie wody przy pomocy ścieków drogowych i doprowadzeniu jej do kanalizacji deszczowej za pomocą przykanalików. Podziemną część wpustu deszczowego stanowi studnia, natomiast wierzchnią żeliwna nasada [7]. Wyróżnia się następujące wpusty deszczowe:

- z nasadami jednospadowymi
- z nasadami muldowymi
- z nasadami z wlewem bocznym
- z nasadami kombinowanymi.

Nasada jednospadowa znajdująca się na wpuście deszczowym służy do ujęcia wody opadowej spływającej ściekami przykrawężnikowymi. Jest to najczęściej stosowany typ nasad żeliwnych.

Odwodnienie wgłębne

Zadaniem odwodnienia wgłębego jest ujęcie wód, przede wszystkim w strefie przemarzania gruntu, co prowadzi do obniżenia poziomu wód gruntowych. Dodatkową zaletą jest odprowadzenie wód podziemnych i zrównoważenie stosunków wodnych pod obiektem.

Elementami odwodnienia wgłębego są drenaż głęboki i płytki. Pierwszy z nich zakłada się poniżej głębokości przemarzania gruntu, drugi natomiast występuje w postaci warstwy filtracyjnej na naturalnym podłożu. Prowadzi do zatrzymania podciągania kapilarnego oraz wody przedostającej się do wierzchniej warstwy konstrukcji, co znacznie wpływa na zwiększenie nośności naturalnego podłoża gruntowego.

Sączkami poprzecznymi woda prowadzona jest do rowów drogowych, kanalizacji lub drenażu głębokiego [1]. Odwodnienie wgłębne może być stosowane do:

- odprowadzenia wody z warstwy odsączającej i wody przedostającej się z powierzchni pasa drogowego do gruntu
- obniżenia poziomu wody gruntowej, jeżeli spód konstrukcji nawierzchni jest wyniesiony mniej niż 1,0 m nad poziom wody gruntowej.

Do obniżenia poziomu wody gruntowej można stosować drewny (sączki). Należy je umieszczać w zależności od potrzeb, pod dnem rowu, dnem ścieku lub w pasie dzielącym. W wypadku napływu wody gruntowej w wykopie w kierunku korpusu drogi można stosować dren odcinający. Od strony korony drogi powinien on być uszczelniony. Jeżeli woda gruntowa wypływa na skarpę wykopu, należy stosować dren skarpowy. Dren powinien być umieszczony poniżej głębokości przemarzania gruntu. Dopuszcza się wykonanie płytkiego drena do odprowadzenia wody z warstwy odsączającej. W przypadku projektowania drenażu francuskiego, czyli sączka kamiennego uzupełnionego o przegrodę filtracyjną wykonaną z geosyntetyku, należy zwracać szczególną uwagę na odpowiedni dobór geosyntetyku w zależności od uziarnienia gruntu otaczającego dren. Szczegółowe zasady projektowania drenażu francuskiego zawarto w publikacji [10].

Podsumowanie

Problem odwodnienia dróg i ulic jest bardzo szeroki. Omówiono problem odpowiedniego obliczenia wielkości spływów oraz scharakteryzowano elementy odwodnienia powierzchniowego dróg i ulic. Nie poruszono zagadnień związanych z odprowadzeniem wód deszczowych do gruntu, a więc m.in. zbiorników infiltracyjnych, drenaży rozsączających, jak i skrzynek rozsączających oraz zagadnień ochrony środowiska przy projektowaniu odwodnienia.

Literatura

1. Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg i przystanków Komunikacyjnych, PG1, z.1., Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 2009.
2. Edel R., *Odwodnienie dróg*, WKŁ, Warszawa, 2006.
3. PN-S-02204:1997 Drogi samochodowe -Odwodnienie dróg.
4. Błaszczak W., Roman M., Stamatello H., *Kanalizacja*, Tom 1, Arkady, Warszawa, 1974.
5. PN-EN 752:2008 Zewnętrzne systemy kanalizacyjne.
6. Kotowski A., *Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki,

Warszawa, 2011.

7. Słyś D., *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2013.
8. Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz.U. z 2016, nr 124.
9. Szling Z., Pacześniak E., *Odwodnienie budowli komunikacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
10. Ajdukiewicz J., *Drenaże francuskie*, Materiały Budowlane, nr 10/2004, 11/2004.

dr inż. Stanisław Majer
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie