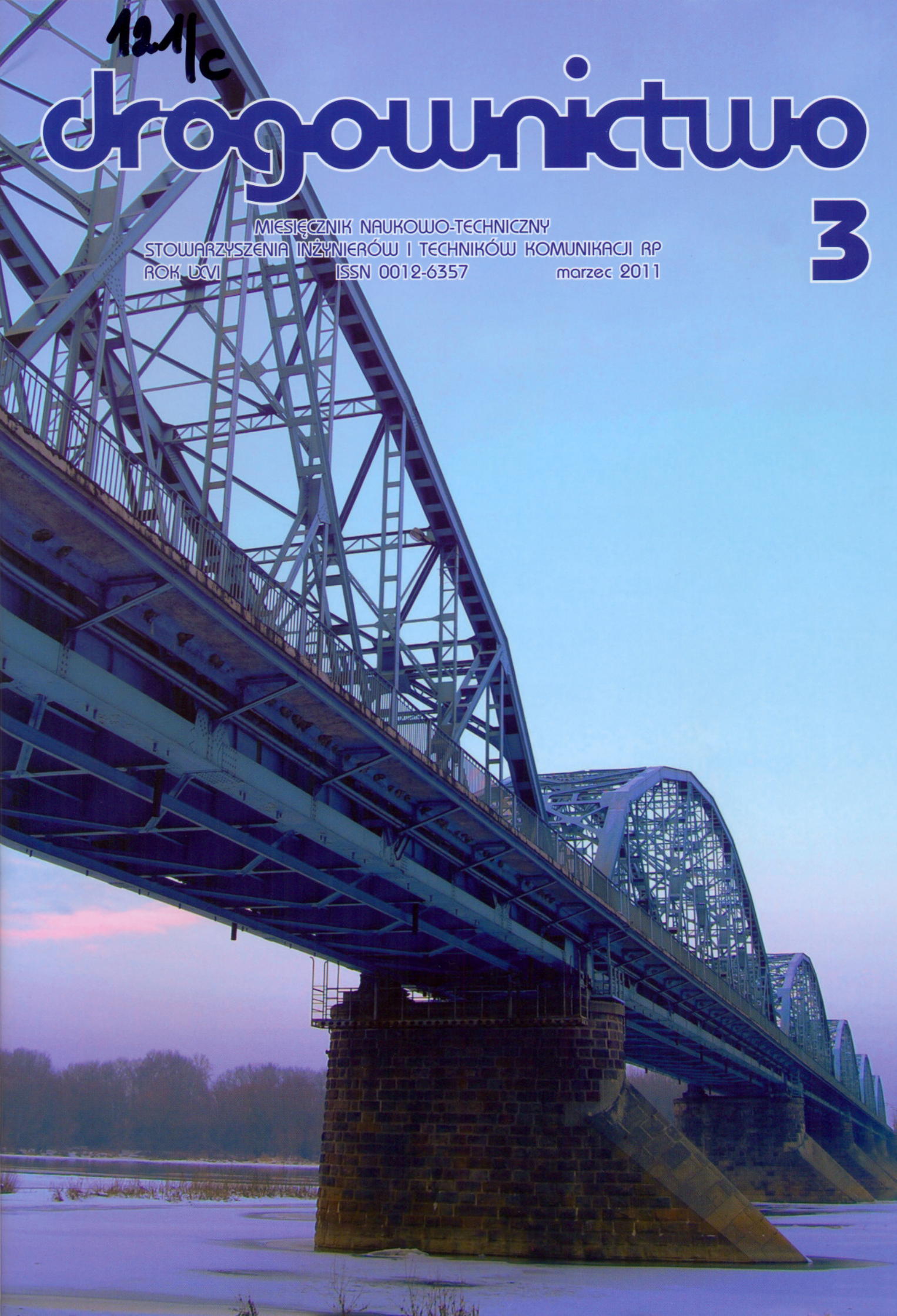


121/c

drogownictwo

MIESIĘCZNIK NAUKOWO-TECHNICZNY
STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW KOMUNIKACJI RP
ROK LXXVI ISSN 0012-6357 marzec 2011

3





KRZYSZTOF
GRADKOWSKI

Politechnika Warszawska
k.gradkowski@il.edu.pl

Specyfika odwodnienia równi drogowych

Równią drogową autor nazywa dużą powierzchnię o nawierzchni twardej o niewielkich pochyleniach na parkingach i placach manewrowych, placach składowych i przeładunkowych, placach wytwórni materiałów drogowych, ale także placów przy stacjach poboru opłat na autostradach, parkingów w miejscach obsługi podróżnych itp. W artykule przedstawiono metody obliczania spływu wód na równiach i propozycję selektywności zastosowania elementów odwodnienia z szerokiej oferty rynku, aby ukierunkować projektantów na optymalizację i skuteczność rozwiązań.

Charakterystyka zlewni równi

Do prawidłowego zaprojektowania systemu urządzeń kontroli spływu powierzchniowego z danego obszaru równi, należy określenie wielkości spływu czyli ilość wody opadowej, która w ciągu rozpatrywanego czasu spływa ze zlewni równi do odbiornika wód opadowych. Ogólny wzór do obliczania spływów deszczowych ma postać:

$$Q = \varphi \cdot \psi \cdot q \cdot F \quad (1)$$

gdzie:

Q – wielkość spływu [dm^3/s],

φ – współczynnik opóźnienia odpływu (mniejszy od 1), który jest różny od przyjętej metody obliczenia ilości wód opadowych;

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[2]{F}} < 1 \quad (2)$$

n – współczynnik zależny od kształtu zlewni i spadków terenu, równy od 4–8

⇒ gdy prędkość spływu wynosi ok. 1,2 m/s przyjmuje się $n = 6$

⇒ gdy prędkość jest mniejsza od 1,2 m/s i stosunek długości zlewni do szerokości jest dwukrotny można przyjmując $n = 4$

⇒ gdy prędkość jest większa niż 1,2 m/s, a stosunek wymiarów zlewni jest około 1, można przyjmując $n = 8$

(gdy $\varphi > 1$ przyjęto $\varphi = 1$)

ψ – współczynnik spływu (mniejszy od 1),

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

F – powierzchnia zlewni [ha].

Na podstawie odpowiednich tabel opracowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej uzyskujemy charakterystyki opadów deszczu występujących w danym rejonie. Możemy też określić, ile razy w ciągu ostatniego stulecia występowało przekroczenie danego natężenia deszczu, czyli prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu. Głównym kryte-

rium przy ustalaniu i wyborze prawdopodobieństwa występowania są względy ekonomiczne tzn. porównanie zwiększonych kosztów budowy z ewentualnymi stratami spowodowanymi podtopieniem rozpatrywanego rejonu lub zadanego obszaru równi, w przypadkach opadów nawałnicowych, czyli deszczy ponad miarodajnych i ponadnormatywnych. W rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. określono prawdopodobieństwo p pojawienia się deszczu miarodajnego w zależności od klasy drogi:

- $p = 10\%$ ($c = 10$ lat) – na drodze klasy A (autostrada) lub S (droga ekspresowa),
- $p = 20\%$ ($c = 5$ lat) – na drodze klasy GP (droga główna ruchu przyspieszonego),
- $p = 50\%$ ($c = 2$ lata) – na drodze klasy G (droga główna) lub Z (droga zbiorcza),
- $p = 100\%$ ($c = 1$ rok) – na drodze klasy L (droga lokalna) lub D (droga dojazdowa).

Wiadomo też, że czas trwania deszczu jest trudny do określenia, jednakże parametr ten znacząco wpływa na dobór wielkości urządzeń odbierających wodę opadową. Na podstawie obserwacji ombrometrycznych określono następujące czasy trwania deszczu miarodajnego na; 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 i 180 minut. Na podstawie badań i obliczeń stwierdzono, że czas trwania deszczu obliczeniowego odpowiada czasowi dopływu wód opadowych do odbiorników w rodzaju muld, kanalizacji i zbiorników. Wynika to też z określenia natężenia deszczu J . Jest to wysokość opadu h przypadająca na jednostkę czasu t wyrażana stosunkiem $J = h/t$ [mm/min]. Przy obliczaniu odwodnienia deszczowego przyjmuje się zazwyczaj natężenie deszczu podawane w $\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$ określane na podstawie wzoru:

$$q = a \cdot J, \left[\frac{\text{dm}^3}{(\text{s} \cdot \text{ha})} \right] \quad (3)$$

przy założeniu, że:

$$a = \frac{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} \cdot 1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 166,7, \left[\frac{\text{dm}^3 \cdot \text{min}}{\text{mm} \cdot \text{ha} \cdot \text{s}} \right]$$

otrzymujemy;

$$q = 1,667 \cdot J, \left[\frac{\text{dm}^3}{(\text{s} \cdot \text{ha})} \right] \quad (4)$$

W równaniu (4) q jest ilością deszczu w litrach (dm^3), który spada w czasie 1 sekundy na powierzchnię 1 hektara przy natężeniu $J = 1$ mm/min. Deszcz miarodajny, a ściślej natężenie deszczu miarodajnego q jest to stosunek współczynnika A – zależny od prawdopodobieństwa pojawienia się desz-

czu oraz średniej rocznej wysokości opadu h , do czasu trwania deszczu t [min]

$$q = \frac{A}{t^{0,667}}, [dm^3] \quad (5)$$

Wartości współczynnika A w równaniu (5) można ustalić z tabeli 1.

Tabela 1. Wartości współczynnika A

Wartość prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu p [%]	Wartość współczynnika A zależnie od średniej rocznej wysokości opadu h [mm]			
	do 800	do 1000	do 1200	do 1500
5	1276	1290	1300	1378
10	1013	1083	1134	1202
20	804	920	980	1025
50	592	720	750	796
100	470	572	593	627

Istotnym elementem do określenia ilości splywu wód opadowych Q jest współczynnik splywu ψ , który jest charakterystyczny dla każdej zlewni.

$$\psi = \frac{Q_{sp}}{Q_{op}} < 1 \quad (6)$$

ψ – współczynnik splywu,

Q_{sp} – wielkość splywu z danej powierzchni, $\left[\frac{dm^3}{s}\right]$

Q_{op} – wielkość opadu na daną powierzchnię, $\left[\frac{dm^3}{s}\right]$

Współczynnik według równania (6), zmniejsza powierzchnię zlewni ($\psi < 1$) i powstaje wtedy tzw. zlewnia zredukowana. Wartość współczynnika splywu zależy od takich czynników, jak: rodzaj pokrycia terenu, czas trwania deszczu, natężenie deszczu, pochyłość terenu, budowa geologiczna wierzchnich warstw, początkowy stan wilgotności powierzchni, ciepłota powierzchni, co jest odzwierciedleniem okoliczności, że część wód opadowych wsiąka w teren, a część wyparowuje od razu przy zetknięciu się z nagrzaną powierzchnią albo po zakończeniu deszczu. Gdy na danym terenie zlewni występują różne współczynniki splywu wówczas można wyznaczyć współczynnik zastępczy Ψ_z

$$\Psi_z = \frac{\psi_1 \cdot F_1 + \psi_2 \cdot F_2 + \dots + \psi_i \cdot F_i}{F_1 + F_2 + \dots + F_i} < 1 \quad (7)$$

gdzie;

Ψ_z – zastępczy współczynnik splywu

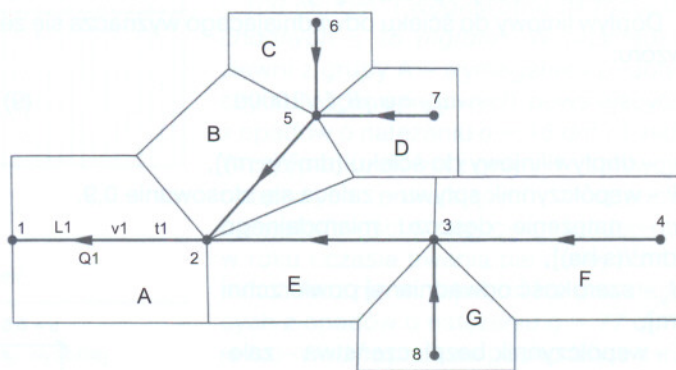
ψ_i – współczynnik splywu dla i -tej powierzchni składowej

F_i – wartość i -tej powierzchni składowej.

Wyznaczenie zastępczego współczynnika splywu według równania (7) ma szczególne znaczenie wówczas, gdy na części powierzchni równi występują trawniki i powierzchnie zieleni urządzonej. Dzieje się tak na przykład w obrębie miejsc obsługi podróŜnych.

Pewne uproszczenia i praktyczne rezultaty w określeniu ilości wód splywu, można uzyskać, stosując metodę graficzną Vicari-Hauffa – którą stosuje się do sprawdzania sieci już zapro-

jektowanych lub wybudowanych, według schematu z rysunku 1. Obliczenia rozpoczyna się w danym punkcie, dla którego wyznacza się wielkość przepływu. Punkt ten jest najniŜszym punktem w rozpatrywanej sieci kanalizacyjnej. KaŜdy z kanałów ma swoją zlewnię i zakładając czas trwania deszczu t_d oraz odpowiadające mu natężenie deszczu q wyznaczyć można przepływy dla poszczególnych odcinków sieci.

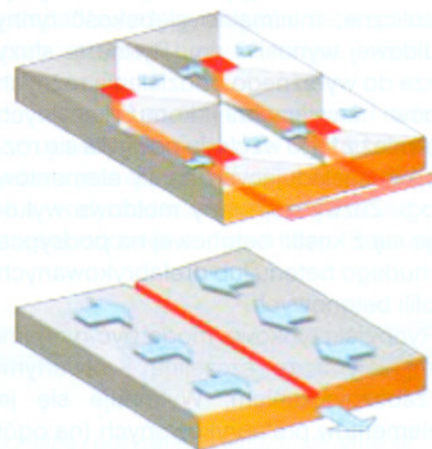


Rys. 1. Układ sieci kanalizacyjnej do obliczeń metodą Vicari-Hauffa

Sprawdzenia takie, na ogół prowadzą do wniosku o konieczności zwiększenia przekrojów przepływu na poszczególnych odcinkach lub rozbudowy fragmentów sieci. Jest to wynik zmieniających się warunków zasilania sieci kanalizacji spławnej.

Techniczne rozwiązania odwodnienia równi

Specyfika budowy urządzeń odwodnienia tego typu budowli jako równi drogowych polega głównie na strukturze odwodnień poprzez pochylenia powierzchniowe, przy ograniczonych możliwościach budowy systemów drenarskich zarówno przewodowych, jak i bezprzewodowych. Ograniczone zastosowanie mają też otwarte rowy spławne, bez uszczelnień dna i skarp. W rozwiązaniach technicznych systemu odwodnienia, powierzchnię zlewni wód opadowych stanowią niemal pełne powierzchnie równi logistycznych. Spływająca po powierzchni woda odbierana jest wpustami punktowymi lub liniowymi (rys. 2), które z założenia powinny być zawsze droŜne.



Rys. 2. Zasada działania urządzeń odwodnienia powierzchniowego

Powierzchnię zlewni odwadniającej przez pojedynczy wpust wyznacza się najczęściej jako iloczyn jej szerokości i długości:

$$F_w = B_w \cdot L \quad (8)$$

gdzie:

F_w – powierzchnia odwadniana przez pojedynczy wpust [m²],

B_w – szerokość odwadnianej powierzchni [m],

L_w – odstęp między wpustami [m].

Dopływ liniowy do ścieku odwadniającego wyznacza się ze wzoru:

$$q_w = \Psi q B_w \zeta / 10000 \quad (9)$$

q_w – dopływ liniowy do ścieku [dm³/(s·m)],

Ψ – współczynnik spływu – zaleca się stosowanie 0,9,

q – natężenie deszczu miarodajnego [dm³/(s·ha)],

B_w – szerokość odwadnianej powierzchni [m],

ζ – współczynnik bezpieczeństwa – zaleca się stosowanie – 1,5,

10000 – przelicznik z m² na hektar.

Dopływ wód opadowych z odwadniającej przez wpust zlewni wyznacza się ze wzoru:

$$Q_w = q_w \cdot L \quad (10)$$

Q_w – dopływ ze zlewni wpustu [dm³/s],

q_w – dopływ liniowy do ścieku [dm³/(s·m)],

L – odstęp między wpustami [m].

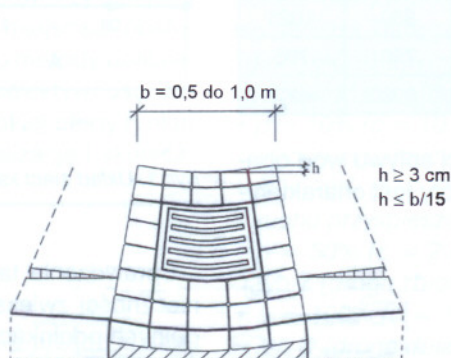
Na powierzchniach równi stosuje się najczęściej rynny muldowe, skrzynkowe i szczelinowe. Ogólna charakterystyka tych urządzeń ułatwia pełne wykorzystanie ich parametrów technicznych w systemie urządzeń odwodnienia powierzchniowego. Rynny muldowe (rys. 3), na ogół wykonuje się pomiędzy różnymi pochyleniami powierzchni komunikacyjnych. Szerokość rynien wynosi od 0,5 m do 1,0 m. Ponieważ rynna muldowa z zasady umożliwia przejazd pojazdów, jej głębokość nie powinna przekraczać 1/15 szerokości. Ze względu na parametry hydrauliczne, minimalna głębokość rynny muldowej wynosi 3 cm. Rynna ta służy także do wyraźnego oddzielania różnych typów nawierzchni komunikacyjnych i również z tego względu powinna się różnić od sąsiadujących z nią elementów drogi. Zazwyczaj rynny muldowe wykonuje się z kostki betonowej na podsypce z chudego betonu lub prefabrykowanych profili betonowych.

Rynny skrzynkowe mogą być rynnami zamkniętymi ze szczeliną i otwartymi z zabezpieczeniem. Wykonuje się je z elementów prefabrykowanych (na ogół betonowych) zamykanych od góry płytą

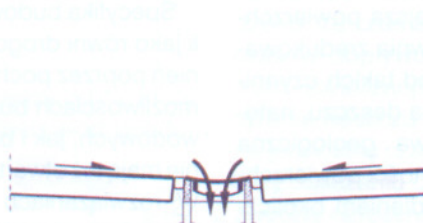
żeliwną z okrągłymi otworami lub w postaci szczelin. Szerokość rynny skrzynkowej wynosi co najmniej 10 cm, natomiast jej wysokość nie mniej niż 6 cm. Spadek dna rynny może być niezależny od spadku krawędzi jezdni. Rynna skrzynkowa jest z reguły „przejezdna” i musi dodatkowo odpowiadać wymaganiom statycznym i dynamicznym przy odpowiedniej kategorii ruchu. Rynny skrzynkowe zapewniają ciągłe odwodnienie powierzchni, a wykonane z monoblocków polimerobetonu są łatwe w budowie.

Rynny szczelinowe mogą być typu szczelnego i rozsączającego napływającą prostopadłe wodę.

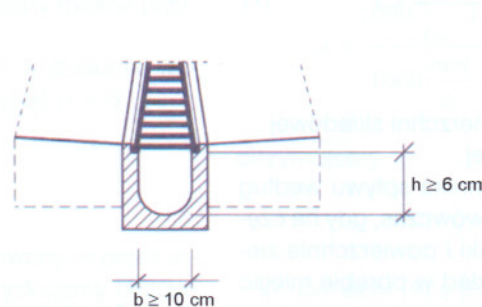
Spływ wód po lokalnie pochylonych powierzchniach szczelnych nawierzchni powinien być skierowany do wpustów i wlotów przewodów typu kanalizacyjnego oraz rynien zwykłych i wydzielonych.



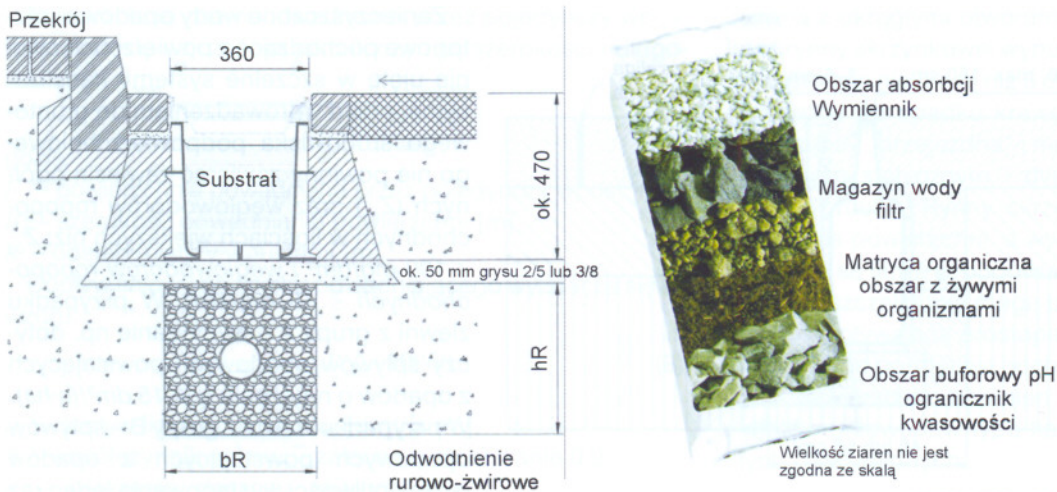
Rys. 3. Rynna muldowa i wpust rynnowy



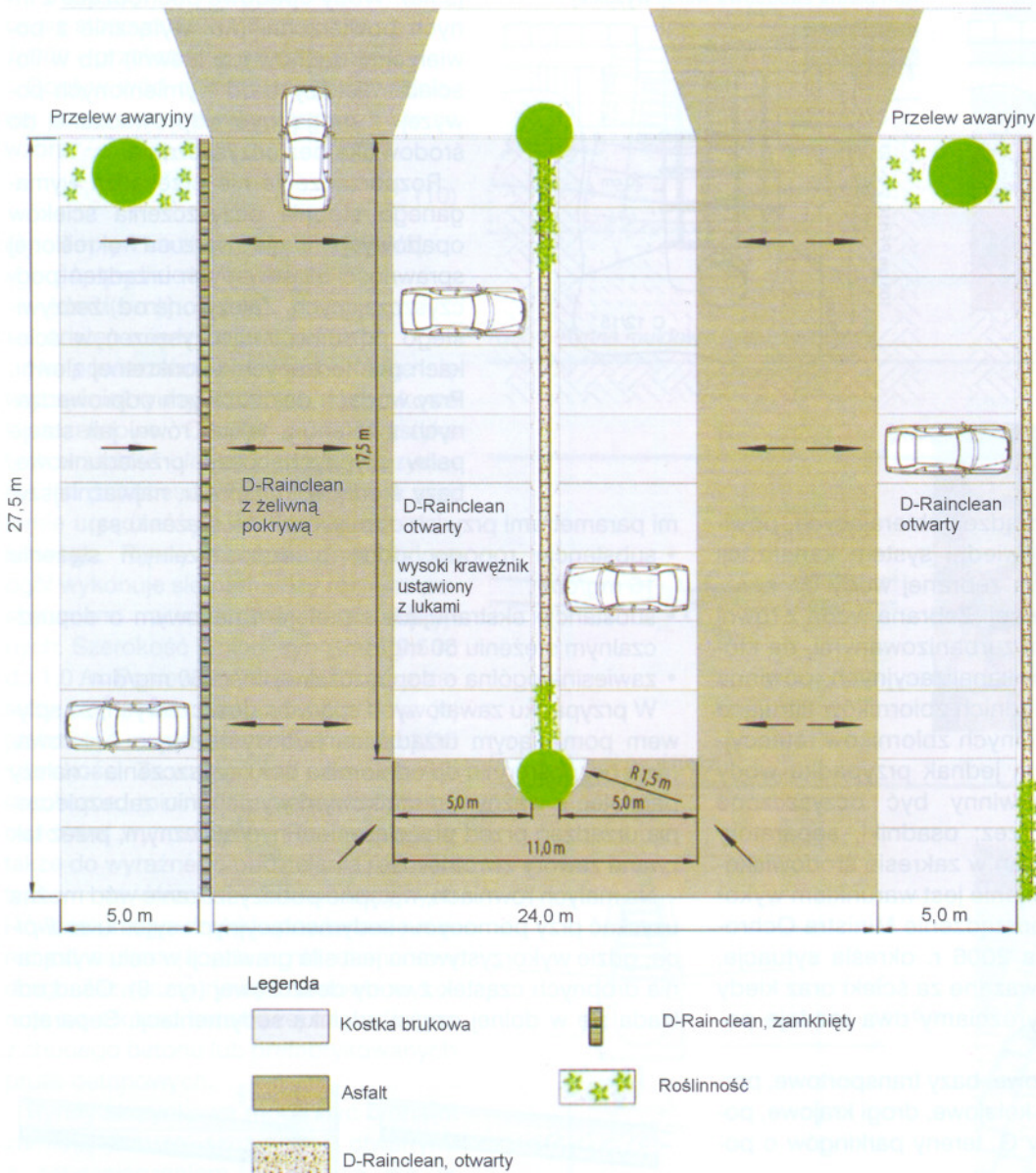
Rys. 4. Wpust punktowy



Rys. 5. Rynna skrzynkowa otwarta z zabezpieczeniem



Rys. 9. Koryta filtracyjne z wypełnieniem substratem i układ filtru substratu



Rys. 10. Przykład odwodnienia parkingu rynnami filtrującymi

przepływu zapobiega przedostawaniu się cząstek do urządzenia chłonnego. Dzięki eksploatacji ze spiętrzeniem ustawicznym osad pozostaje w fazie mułowej. Umożliwia to czyszczenie urządzenia przy zastosowaniu klasycznej metody przepłukiwania. Dopływ odbywa się przez boczne złącze rurowe i/lub kratkę wlotową.

Procesy sedymentacji wymagają czasu, przy czym właśnie cząstki najdrobniejsze, obciążone substancjami szkodliwymi, opadają na dno powoli. Proces ten jest wspomagany przez system *sedi-pipe*: przebiegająca na całej długości rura z odwrotnym spadkiem skraca znacznie drogę opadania cząstek. Większość opadów rocznych (np. 85%) występuje z niewielką lub średnią intensywnością (np. 84% z nich osiąga mniej niż 22 l/s/ha). Rury systemu *sedi-pipe* osiągają przy tym bardzo dobre wydajności osadzania, w szczególności w przypadku cząstek < 0,06 mm.

Wprawdzie ulewne deszcze zdarzają się rzadko, ale wskutek wysokich prędkości przepływu następowaloby wówczas wypłukiwanie osadu z rury. Zapobiega temu zastosowany, odpowiedni separator przepływu. Tworzy on przestrzeń o uspokojonym przepływie, w której osadzone cząstki nie są ponownie wzbijane przy ulewnym deszczu. Napływ odbywa się tylko powyżej separatora przepływowego.

Dla małych równi, o powierzchni do 1 ha warunki ochrony wód gruntowych mogą być również wykonane poprzez zastosowanie koryt filtracyjnych (rys. 9), otwartych lub zamkniętych, które są wypełnione substratem.

Przykład tego typu rozwiązań przedstawiono na rysunku 10, gdzie zastosowano rozwiązanie koryt otwartych

i zamkniętych systemu *D-Reinclean* wypełnionych substratem. Substrat jest to filtr sorpcyjny wykonany z warstw odpowiednio dobranych kruszyw, który nie tylko desorbuje i strąca metale ciężkie w rodzaju ołów, kadm, miedź i cynk znajdujące się w spływającej powierzchniowo wodzie, ale również wiąże i degraduje oleje. Filtr ten powinien być wymieniany, przy czym jego skuteczna żywotność, na małym parkingu o częstej wymianie samochodów osobowych lub ulicy osiedlowej wynosi około 20 lat. Odpowiedni dobór kruszyw i ziem pozwala na aktywność filtra jedynie w warunkach przepływu, a nie w warunkach jego braku. Zastoiska wodne w substracie powodują jego całkowitą destrukcję i pozbawienie funkcji dezaktywującej związki chemiczne.

Wadliwe zaprojektowanie odprowadzeń urządzeń odwodnienia powierzchniowego prowadzi niekiedy do stworzenia niewielkich basenów, zwłaszcza po intensywnych deszczach i roztopach. Przypadki te są znane z parkingów wielkich centrów handlowych, gdzie wysokie, ograniczające krawężniki stwarzały dodatkowe przeszkody odpływu, a szczelne nawierzchnie całkowicie zredukowały przesiąkanie do podłoża gruntowego. Przykład taki przy zlewni około 8 ha przy pomijalnej powierzchni „zielonej” opisano w artykule [2]. Skuteczne i gospodarne rozwiązanie odwodnienia

parkingów to wykorzystanie mieszanych konstrukcji nawierzchni, szczelnych i nieszczelnych oraz mieszanych sposobów spływu i odbioru wód opadowych. Tradycyjne sposoby podejścia do rozwiązań odwodnienia małych równi, w rodzaju parkingów dla samochodów osobowych można odnaleźć w artykule [3].

Konkludując powyższe treści, należy zwrócić uwagę, że systemy urządzeń odwodnienia równi wymagają specyficznych rozwiązań technicznych polegającym na skutecznym i pełnym odbiorze wszelkich wód opadowych i roztopowych, z nawierzchni typu drogowych. W niektórych przypadkach można uzyskać wstępne oczyszczanie wód spływu powierzchniowego przy jednoczesnym ich odbiorze. O takich rozwiązaniach każdorazowo jednak, powinien decydować rachunek kosztów poszczególnych rozwiązań alternatywnych.

Bibliografia

- [1] Gradkowski K.; *System urządzeń kontroli spływu wód opadowych w obszarze węzła drogowego*. „Drogownictwo” nr 8, 2009, s. 269–273
- [2] Chlipalski J.; *Kilka uwag do odprowadzania wód opadowych*. „Drogownictwo” nr 8, 2005, s. 352–353
- [3] Wysokowski A.; *Odwodnienie parkingów i miejsc obsługi podróżnych*. „Inżynier Budownictwa” 10/2010, s. 70–73 ■