

Magazyn **AUTOSTRADY**

ELAMED
WYDAWNICTWO
www.elamed.pl

ISSN 1730-0703

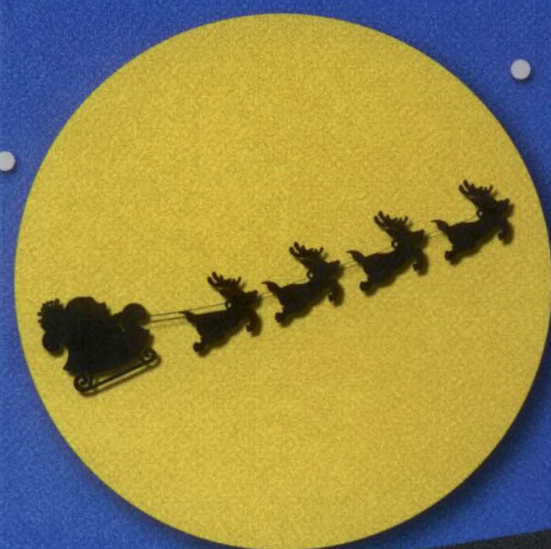
Budownictwo drogowo-mostowe

12/2012
grudzień

Organizacja ruchu w czasie remontu

Ważenie pojazdów

Bariery ochronne



**Zimowe
utrzymanie dróg**

Inżynieryjne wyposażenie budowli równi logistycznych

Zamierzeniem niniejszego artykułu jest pokazanie kierunku tworzenia rozwiązań technicznych systemu konstrukcyjnego równi logistycznych. Są to przede wszystkim nawierzchnie i urządzenia odwodnień specyficzne dla tego rodzaju budowli inżynieryjnych. Sugestie pewnej selektywności w wyborze zestawów szerokiej oferty rynku w tym zakresie mogą pozwolić projektantom na skuteczniejsze optymalizowanie kosztów budowy i eksploatacji tych urządzeń w stosunku do ich skutecznej wydajności w kontroli spływu wód opadowych w obszarze budowli stanowiących równie logistyczne.

Przez równie logistyczne należy rozumieć budowle inżynierskie stanowiące elementy wyposażenia sieci układu komunikacyjnego dróg lądowych, które są urządzone w strefach dróg transportowych, zapewniające funkcjonalną eksploatację całej sieci transportowej. Równie są wyposażone w szereg urządzeń technicznych, charakterystycznych dla ich funkcji i przeznaczenia w logistyce sieci transportowych. Precyzując to określenie, można sformułować, że budowla równi logistycznej jest obiektem budowlanym stanowiącym wyodrębniony obszar wyposażony w różne rodzaje obiektów budowlanych, w tym głównie nawierzchnie dróg lądowych i system kontroli spływu wód powierzchniowych z obszaru równi. Określenie to uzupełnia wyszczególnienie przykładów budowli jako równi logistycznych, spośród których należy wymienić:

- terminale i budowle portów lotniczych, morskich i kolejowych oraz miejsca obsługi podróży autostrad i dróg szybkiego ruchu,
- terminale kontenerowe jako urządzone powierzchnie składowania, przeładunku i spedycji kontenerów w multimodalnych, intermodalnych, bimodalnych oraz kombinowanych systemach transportu lądowego, wodnego i lotniczego,
- równie stacji dróg szynowych różnych funkcji eksploatacji handlowo-technicznej (osobowe, towarowe, postojowe, trakcyjne, przeładunkowe),
- powierzchniowe strefy węzłów i skrzyżowań jedno- i wielopojazdowych dróg samochodowych,
- obszary centrów handlowo-usługowych i magazynowych centrów logistycznych wraz z parkingami i placami składowo-manewrowymi,
- place składowania masowych materiałów sypkich i przestrzennych oraz wytwórnie prefabrykatów i materiałów budowlanych,
- obszary terminali paliw stałych i płynnych z przynależnymi urządzeniami drogowymi.

Ogólnie uważa się, że w praktyce występują dwie kategorie wielkości równi logistycznych, to jest równie małe o powierzchni utwardzonej lub utwardzonej w częściach powierzchni (do 1 ha) i równie duże o powierzchni powyżej 1 ha. Ogólnie są to na ogół usytuowane poziomo obszary, nawierzchniowo urządzone, na któ-

Słowa kluczowe

równia logistyczna, odwodnienie nawierzchni drogowej, szczelność nawierzchni, nawierzchnie równi logistycznych

Key words

logistics downward, road surface drainage, surface sealing

Summary

The aim of this article is to show the direction of developing technological solutions of logistics plane's design system. These are mainly roads and drainage equipment specific to this type of civil engineering. Any suggestions helping in choosing the best system from these available in the market, may allow designers to minimize costs and improve their operation while controlling the rainwater runoff around a building which also is a logistics downward.

rych mogą być lokalizowane prócz placów manewrowo-składowych również budynki i budowle jako urządzenia stałe o różnych funkcjach użytkowych (magazyny, biura, wiaty, rampy, taśmociągi, silosy, stacje energetyczne itp.).

Inżynieryjne i podstawowe urządzenia takich budowli poza kubiturami budynków to głównie wyposażenie powierzchni budowli równi w odpowiedni do funkcji użytkowej rodzaj nawierzchni drogowej i szynowej oraz system urządzeń odwodnienia i kontroli spływu wód opadowych i roztopowych.

Nawierzchnie równi logistycznych

Stosowane w budowlach równi nawierzchnie drogowe są to z reguły nawierzchnie typu ciężkiego, betonowe (w tym i brukowo-kostkowe) lub bitumiczne na podbudowach betonowych (fot. 1). Budowle równi są na ogół sytuowane na jednym poziomie lub w niewielkim spadku profilu dostosowanym do pochylenia terenu i zbiorczego systemu wód opadowych. W wielu przypadkach urządzone równie nie są budowane i administrowane przez zarządy dróg publicznych. Jednak w większości przypadków budowle



Fot. 1. Nawierzchnia z kostki betonowej na równi placu kontenerowego

Warstwa konstrukcji nawierzchni	Materiał	Grubość [mm]
warstwa jezdna	kostka betonowa	100
warstwa wiążąca	podsyпка	30
podbudowa zasadnicza	beton cementowy C10	325
podbudowa pomocnicza	kruszywo łamane o cięglym uziarnieniu CBR > 50%	150
ulepszone podłoże	kruszywo naturalne, pospółka, CBR > 15%	250
podłoże gruntowe	CBR = 3%	-

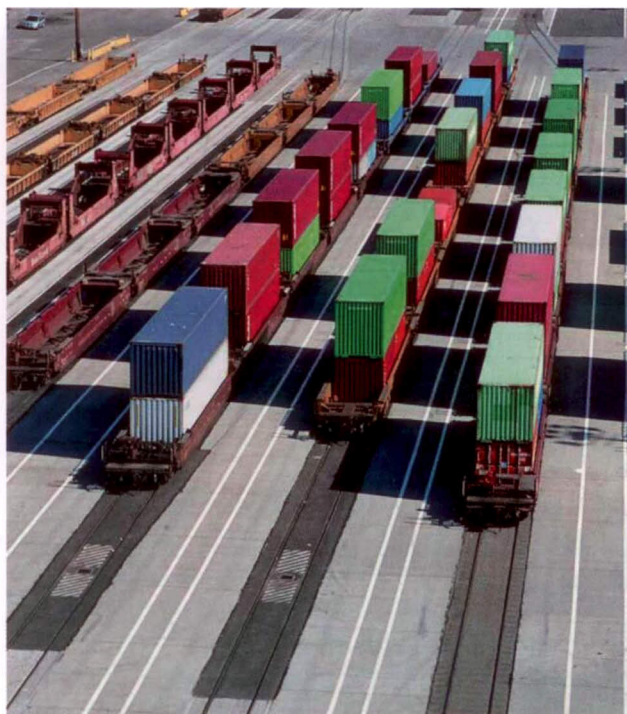
Tab. 1. Układ nawierzchni drogowej

równi logistycznych należą do różnych prywatnych podmiotów gospodarczych. Niemniej nawierzchnie tych równi mają układ konstrukcyjny warstw zbliżony do ogólnokatalogowych, pomimo indywidualnego projektowania. Nawierzchnie budowli równi logistycznych mogą być zróżnicowane konstrukcyjnie i na ogół zawierają niejako wewnątrz swoich obszarów obok nawierzchni drogowych nawierzchnie dróg szynowych, w tym także elementy nawierzchni szynowych suwnic, bramownic oraz inne lekkie nawierzchnie drogowe, na przykład stref parkowania samochodów osobowych w obrębie miejsc obsługi klientów. Wyraźnie upowszechnił się układ nawierzchni drogowej opisany w tab. 1.

W wielu przypadkach w miejsce betonu C10 (tzw. chudziaka) stosuje się betony C30 lub C40, redukując grubość podsyпки do 10 cm. 40-centymetrową grubość podbudowy pomocniczej i ulepszanego podłoża można zredukować o połowę, stosując zbrojenie geosiatkami.

Nawierzchnie równi są zróżnicowane konstrukcyjnie i mogą zawierać, niejako wewnątrz swoich obszarów, także elementy nawierzchni szynowych (suwnice, bocznice) lub inne lekkie nawierzchnie drogowe, na przykład stref parkowania samochodów osobowych w obrębie miejsc obsługi podróżnych (MOP).

Prawie we wszystkich przypadkach obowiązuje zasada takiej konstrukcji nawierzchni szynowej, która umożliwi swobodny ruch samochodowy oraz ciężkich urządzeń ładunkowych poruszających się na kołach pneumatycznych. Stąd też są to konstrukcje nawierzchni drogowej zbliżone do konstrukcji nawierzchni dróg samochodowych na jednopoziomowych skrzyżowaniach z drogami szynowymi. Przykład fragmentu budowli równi logistycznej wyposażonej w nawierzchnie dla dróg samochodowych i szynowych przedstawia fot. 2. Ze zrozumiałych względów w obszarze uzbrojenia równi logistycznej w nawierzchnie kolejowo-drogowe unika się lokalizowania rozjazdów szynowych, co nie onacza całkowitego ich wykluczenia. Remonty nawierzchni dwurodzajowych



Fot. 2. Nawierzchnia samochodowa i szynowa na równi logistycznej

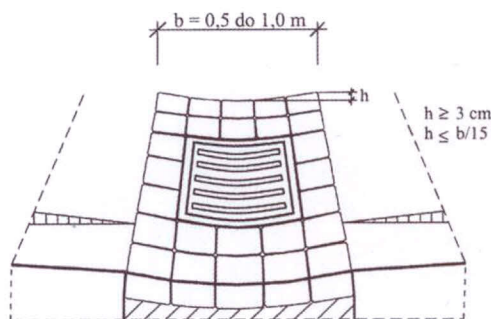
wykonuje się kompleksowo przy jednoczesnej regulacji torów i nawierzchni drogowej.

Odbiory wód spływu powierzchniowego z równi logistycznych

Szczegółowe wymagania techniczne systemów urządzeń kontroli spływu wód opadowych równi logistycznych nie odbiegają istotnie od ogólnych wymagań stawianych grupom urządzeń odwodnień. Nie mniej za ważne kryteria jakości rozwiązań technicznych systemów urządzeń odwodnienia budowli równi logistycznych należy uznać:

- pełną sprawność w eksploatacji polegającą na całkowitym odbiorze opadowych i roztopowych wód nieodparowanych, zapewniających bezpieczeństwo użytkowania,
- autonomiczność systemu odprowadzenia zebranych wód spływu powierzchniowego, niezależnego od systemu odwodnienia sąsiednich odcinków dróg lądowych i innych budowli inżynierskich,
- trwałość i stałość zachowania parametrów sprawności technicznej systemu urządzeń odwodnienia określających stateczność i bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych.

Z punktu widzenia projektowania uzupełniających urządzeń odwodnienia powierzchni równi logistycznych z nawierzchniami drogowymi należy przede wszystkim zastrzec, że nawierzchnie drogowe należą do typu szczelnego. Szczelność nawierzchni drogowej i kolejowej polega na tym, że spływ wód opadowych odbywa się bezpośrednio po zewnętrznej powierzchni lub po stropach zakrytych warstw podbudowy betonowej o zmiennych lokalnie spadkach. Bezpośrednia infiltracja wglębna wody opadowej do podłoża nawierzchni równi jest znikoma. Na obszarach terminali paliwowych i stacji benzynowych warstwy nawierzchni wyposażone są dodatkowo w geomembrany (nieprzepuszczalne folie z materiałów syntetycznych), po których następuje również ►



Rys. 1. Rynna muldowa i wpust rynnowy



Rys. 2. Wpust punktowy niecki powierzchni parkingowej

- spływ wód opadowych, jeśli takie przedostają się przez nieszczelności nawierzchni.

Charakterystyka zlewni budowli równi logistycznych

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. Należy zwrócić uwagę, że powierzchnie zlewni stanowią w równym stopniu powierzchnie wieloprzestrzennych obiektów magazynowych, jak i powierzchnie uszczelnionej nawierzchni drogowej. Zasady te były przedstawione w (2). Ogólny wzór do obliczania spływów deszczowych ma postać:

$$Q = \phi \cdot \psi \cdot q \cdot F \quad [1]$$

gdzie:

- Q – ilość spływu [dm^3/s],
- ϕ – współczynnik opóźnienia odpływu (mniejszy od 1), który jest różny od przyjętej metody obliczenia ilości wód opadowych.

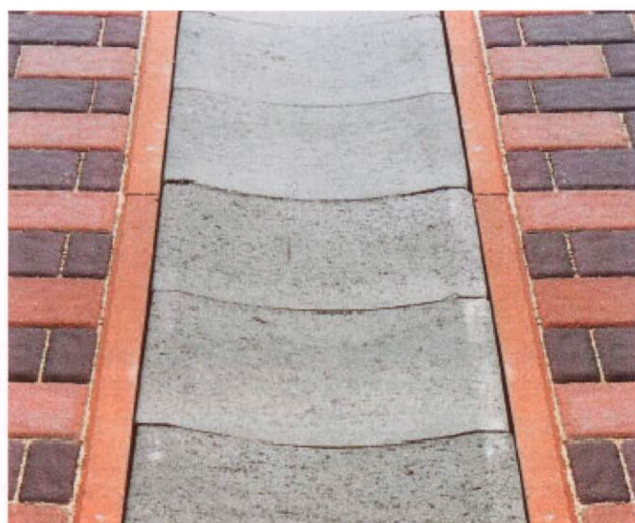
Kolejny wzór ma postać:

$$\phi = \frac{1}{n \sqrt{F}} < 1 \quad [2]$$

gdzie:

- 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 przyjąć $n = 4$,
 - gdy prędkość jest większa niż 1,2 m/s, a stosunek wymiarów zlewni wynosi około 1, można przyjąć $n = 8$,
- 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 deszczów występujących w danym rejonie. Możemy też określić, ile razy w przeciągu ostatniego stulecia występowało przekroczenie danego natężenia deszczu, czyli prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu. Głównym kryterium przy ustalaniu i wybo-



Fot. 3. Rynna muldowa i wpust rynnowy



Fot. 4. Wpust punktowy niecki powierzchni parkingowej

rze 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 ponadmiarodajnych i ponadnormatywnych. Dla dróg i budowli publicznych *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r.* określa na podstawie deszczu miarodajnego prawdopodobieństwo pojawienia się opadów 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 również, 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 wyrażane 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:

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

Wyrażenie [4] to ilość deszczu w litrach (dm^3), który spada w czasie 1 sekundy na powierzchnię 1 hektara przy natężeniu $J = 1 \text{ mm/min}$. Deszcz miarodajny, a ściślej natężenie deszczu miarodajnego q , jest to stosunek współczynnika A – zależny od prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu oraz średniej rocznej wysokości opadu h , do czasu trwania deszczu t [min]:

$$q = \frac{A}{t^{0,667}} [\text{dcm}^3] \quad [5]$$

Wartości współczynnika A dla określenia [5] można ustalić na podstawie tab. 2.

Istotnym elementem do określenia ilości spływu wód opadowych Q jest współczynnik spływu ψ , który jest charakterystyczny dla każdej zlewni. Wartość współczynnika spływu obliczamy ze wzoru:

$$\psi = \frac{Q_{sp}}{Q_{op}} < 1 \quad [6],$$

gdzie:

- ψ – współczynnik spływu [-],
- Q_{sp} – wielkość spływu z danej powierzchni,
- Q_{op} – wielkość opadu na daną powierzchnię.

Współczynnik według [6] zmniejsza powierzchnię zlewni ($\psi < 1$) i powstaje wtedy tzw. zlewnia zredukowana. Wartość współczynnika spływu zależy od takich czynników, jak: rodzaj pokrycia terenu, czas trwania deszczu, natężenie deszczu, pochyłość terenu, budowa geologiczna wierzchnich warstw, początkowy stan wilgotności powierzchni, ciepota 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 ustaniu deszczu. Gdy na danym terenie zlewni stanowiącej równie logistyczne występują różne współczynniki spływu, 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 spływu,
- ψ_i – współczynnik spływu dla i -tej powierzchni składowej,
- F_i – wartość i -tej powierzchni składowej.

Wyznaczenie zastępczego współczynnika spływu według [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 podróżnych.

Pewne uproszczenia i praktyczne rezultaty w określeniu ilości wód spływu można uzyskać, stosując metodę graficzną Vicari-Haufa, którą stosuje się do sprawdzania sieci już zaprojektowanych lub wybudowanych według schematu rys. 1. Obliczenia rozpoczyna się w danym punkcie, dla którego wyznacza się wielkość przepływu. Punkt ten jest najniższym punktem w rozpatrywanej sieci kanalizacyjnej. Każdy z kanałów ma swoją zlewnię i zakładając czas trwania deszczu td oraz odpowiadające mu natężenie deszczu q , można wyznaczyć przepływy dla poszczególnych odcinków sieci.

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 sposoby urządzeń odwodnienia równi

Specyfika budowy urządzeń odwodnienia tego typu budowli jako równi logistycznych 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 jest odbierana wpustami punktowymi lub liniowymi (rys. 2), które z założenia powinny być zawsze drożne.

Powierzchnię zlewni odwadnianej 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 [m^2],
- B_w – szerokość odwadnianej powierzchni [m],
- L – odstęp między wpustami [m].

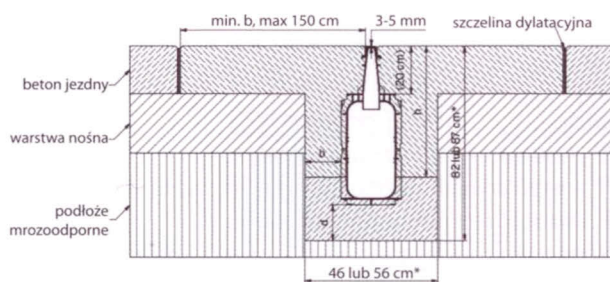
Dopływ liniowy do ścieku odwadniającego wyznacza się ze wzoru:

$$q_w = \psi q B_w \zeta \quad [9]$$

gdzie:

- q_w – dopływ liniowy do ścieku [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$],
- ψ – współczynnik spływu, zaleca się stosowanie -0,9,
- q – natężenie deszczu miarodajnego [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$],
- B_w – szerokość odwadnianej powierzchni [m],
- ζ – współczynnik bezpieczeństwa, zaleca się stosowanie -1,5.

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



Rys. 3. Rynna zamknięta szczelna ze szczeliną dopływu z powierzchni równi

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

Tab. 2. Natężenie deszczów miarodajnych

$$\triangleright Q_w = q_w \cdot L \quad [10]$$

- Q_w – dopływ ze zlewni wpustu [dm^3/s],
- q_w – dopływ liniowy do ścieku [$\text{dm}^3/(\text{s}^* \text{m})$],
- L – odstęp między wpustami [m].

Na powierzchniach równi logistycznych 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 (przedstawione na rys. 1 i fot. 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 na pneumatykach, jej głębokość nie powinna przekraczać 1/15 szerokości. Ze względu na parametry hydrauliczne minimalna głębokość rynny muldowej wynosi 3 cm, zaś minimalne pochylenie podłużne takiej rynny wynosi dwa promile. 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 przebiegać niezależnie od spadku krawędzi jezdni. Rynna skrzynkowa jest z reguły „przejezdna” i musi dodatkowo odpowiadać wymaganiom statycznym i dynamicznym dla odpowiedniej kategorii ruchu. Rynny skrzynkowe zapewniają ciągle odwodnienie powierzchni, a wykonane z monoblocków polimerobetonu są łatwe w budowie.



Fot. 5. Szczelina rynny odwodnienia powierzchniowego równi terminali lotniskowych

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

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

Pewien specyficzny sposób odwodnień stanowią powierzchnie równi stacyjnych, które z założenia mają przesiąkliwą nawierzchnię i wówczas budowa drenów i rowów w ich tradycyjnym ujęciu jest najbardziej uzasadniona ekonomicznie (rys. 5).

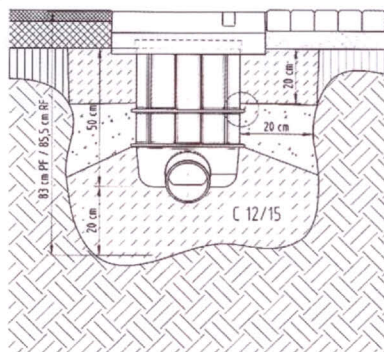
Dodatkowym elementem zmniejszającym ilość dopływającej wody do urządzeń drenarskich równi stacyjnych jest opóźnienie wynikające z czasu infiltracji wody opadowej przez nawierzchnie szynowe, a w szczególności przez zanieczyszczone warstwy podsyпки tłuczniowej. W skrajnych przypadkach zanieczyszczenia podsyпки są tak duże, że następują pełne uszczelnienie i znikome przesiąkanie. Jest to stan awaryjny nawierzchni kolejowej, niezależnie od kategorii torów na danym odcinku, który nie powinien być brany pod uwagę. Obszary różnorodnych typów budowli równi logistycznych wymagają nieco odmiennych ujęć projektowych, aczkolwiek w metodyce podstawowej są zbieżne. System urządzeń odwodnienia równi stacyjnych, podobnie jak i inne równie, powinien być wyposażony w niezależny od urządzeń zewnętrznych system podczyszczania wód spływu. Baterie osadników powinny być lokalizowane na kolektorach zbiorczych (rys. 6), przed odpływem wód spływu do odbiorników trwałych.

Następnie pełny odbiór wód opadowych z urządzeń zbierających zespołów urządzeń odwodnienia powinien być dokonany przez odpowiedni system kanalizacji deszczowej, z odprowadzeniem zebranej wody do deszczowej kanalizacji ogólnospławnej lub cieków.

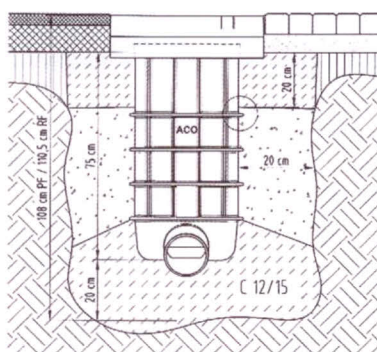
Zanieczyszczenia wód zlewni drogowych

Na wartość stężeń zanieczyszczeń w spływach opadowych z dróg wpływają przede wszystkim charakterystyka zjawiska opadowego

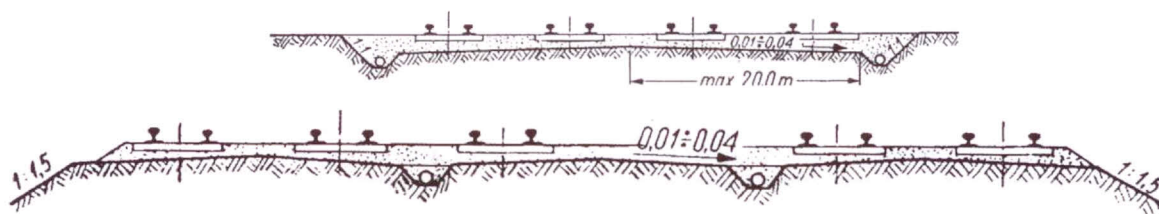
Kompletna zabudowa wersji niskiej



Kompletna zabudowa wersji wysokiej



Rys. 4. Wpusty zabudowane nawierzchnią drogową



Rys. 5. Przekroje równi stacyjnych z klasycznymi drenami przewodowymi

(intensywność, czas trwania, długość okresu pogody bezopadowej), rodzaj drogi i natężenia ruchu samochodowego oraz otoczenie drogi. Wszystkie te czynniki wywołują znaczne wahania stężeń zanieczyszczeń w spływach opadowych, przy czym najwyższe zanieczyszczenia występują w pierwszym okresie spływu. Jak widać z wyników badań (tab. 3), najbardziej istotnym zanieczyszczeniem wód opadowych jest zawiesina ogólna, której stężenie przekracza często 100-krotnie wartości dopuszczalne przez ministra środowiska. Zanotowano również wysokie stężenia ChZT oraz stężenia chlorków (pochodzących ze stosowania środków odładczych w okresie zimowym). Zebrana woda z równi logistycznych zlokalizowanych poza terenami zurbanizowanymi, na których na ogół nie ma systemów kanalizacyjnych, powinna być odprowadzona do odpowiednich zbiorników filtrujących lub otwartych, szczelnych zbiorników retencyjnoparujących oraz cieków naturalnych (jeżeli jest to dopuszczalne).

W każdym jednak przypadku wody spływu powierzchniowego powinny być oczyszczone wstępnie poprzez przepływ przez: osadniki, odstożniki i separatory. Wynika to z aktualnie obowiązujących wymagań w zakresie środowiskowej ochrony wód, których dochowanie jest warunkiem wykonania wszelkich budowli, w tym budowli równi logistycznych. *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r.* określa sytuacje, w których wody opadowe są uważane za ścieki oraz kiedy i jak należy je oczyszczać. Wyróżniamy dwa rodzaje powierzchni zanieczyszczonych:

- zlewnie przemysłowe, składowe, bazy transportowe, porty, lotniska, miasta, budowle kolejowe, drogi krajowe, powiatowe i wojewódzkie klasy G, tereny parkingów o powierzchni > 0,1 ha,
- powierzchnie szczelne obiektów magazynowania i dystrybucji paliw.

Zanieczyszczone wody opadowe i roztopowe pochodzące z powierzchni równi nieujęte w szczelne systemy kanalizacyjne przed wprowadzeniem do gruntowego środowiska podpowierzchniowego nie powinny zawierać zawiesin ogólnych oraz węglowodorów

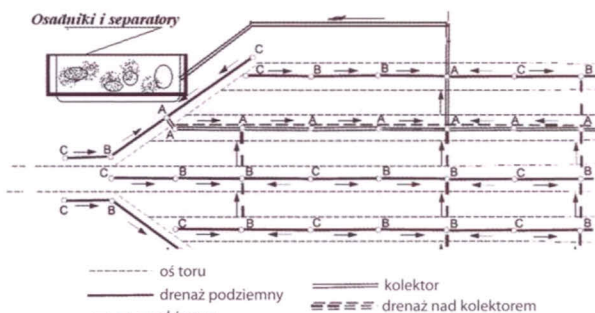
ropopochodnych w ilościach większych niż: $Zog \leq 100 \text{ mg/dm}^3$ i węglowodory ropopochodne $\leq 15 \text{ mg/dm}^3$. W przypadku zlewni z grupy A wymagane np. dotyczy spływów opadowych powstających z opadów o natężeniu $q = 15 \text{ dm}^3 / (\text{s} \times \text{ha})$, w przypadku zlewni z grupy B – spływów opadowych powstających z opadów o częstotliwości występowania raz w roku i czasie trwania nie mniej niż 15 min, lecz nie mniejszych niż powstających z opadów o natężeniu $q = 77 \text{ dm}^3 / (\text{s} \times \text{ha})$. Wody opadowe pochodzące z innych powierzchni (np. wyłącznie z powierzchni dachów lub zlewni) lub w ilościach większych od wymienionych powyżej mogą być odprowadzane do środowiska bez oczyszczania. Ww. rozporządzenie nie przesądza jednak wymaganego stopnia oczyszczenia ścieków opadowych i nie narzuca określonej sprawności stosowanych urządzeń podczyszczających. Zależy ona od rzeczywistego poziomu zanieczyszczeń w ściekach pochodzących z konkretnej zlewni. Ogólnie jako urządzenia wstępnego oczyszczania wody spływającej po powierzchni także z równi logistycznych stosuje się:

- zbiorniki sedymentacyjno-retencyjne (tymczasowe i stałe),
- stawy o rozszerzonej retencji („suche”),
- stawy napowietrzane i hydrofitowe,
- infiltracyjne systemy kanalizacji deszczowej,
- studzienki osadowo-filtracyjne,
- baseny infiltracyjne i filtracyjne,
- filtry gruntowe poziome,
- filtry roślinne z makrolitami,
- oczyszczalnie hydrofitowe,
- separatory substancji ropopochodnych,
- urządzenia dezynfekcji wody.

Zastosowanie każdego spośród wymienionych urządzeń wynika każdorazowo z konkretnej sytuacji projektowej dyktowanej potrzebami aktualnymi i przyszłymi. Najczęściej jednak kolektory zbierające wodę powierzchniową z obszaru równi logistycznych powinny być wyposażone w układ podczyszczania ▸

Rodzaj zlewni	Wartości zanieczyszczeń									
	ChZT [mgO ₂ /l]		Stężenie zawiesiny [mg/l]		Stężenie SEEN [mg/l]		Stężenie substancji ropopochodnych [mg/l]		Stężenie chlorków [mg/l]	
	Zakres	Średnie	Zakres	Średnie	Zakres	Średnie	Zakres	Średnie	Zakres	Średnie
Trasy szybkiego ruchu – opad	14-701	157	18-806	164	5,3-2,5	12	b.d.*	b.d.*	b.d.*	b.d.*
Trasy szybkiego ruchu – roztopy	155-29 237	5537	119-6224	1923	7,5-1,56	48	b.d.*	b.d.*	10-38 431	7425
Ulice – opad	120-1140	420	61-2238	477	1,1-1,14	30	0,6-2,4	1,2	b.d.*	b.d.*
Ulice – roztopy	746-1120	1272	794-2285	2248	3,9-3,0	17	3,7-1,9	11	8850-27 000	9967
Ulice – śnieg	1360-6160	3560	2140-11 118	4842	57-245	151	b.d.*	b.d.*	2700-11 850	6337
Stacje paliw – opad	53-4250	656	20-1035	239	0,3-11,5	30	0,3-9,2	20	b.d.*	b.d.*
Stacje paliw – roztopy	b.d.*	4250	b.d.*	5310	b.d.*	103	b.d.*	82	b.d.*	b.d.*
Parkingi – opad	16-337	191	41-716	84	2,1-3,4	2,3	1,2-2,2	1,7	b.d.*	b.d.*
Parkingi – deszcz i roztopy, śnieg	96-3760	698	95-6814	1048	8,2-20,0	21	b.d.*	3,3	9,5-332,0	692
Dachy – opad	6,4-2,00	53	2,1-2,90	31	0,5-2,4	1,2	0,3-1,9	0,9	b.d.*	b.d.*
Dachy – roztopy	b.d.*	82	b.d.*	38	b.d.*	1,5	1,1	1,1	b.d.*	b.d.*

Tab. 3. Zestawienie parametrów statystycznych wskaźników zanieczyszczenia spływów opadowych i roztopowych w różnych rodzajach zlewni
* brak danych



Rys. 6. Zakres autonomności odwodnienia równi stacyjnej



R – regulator przepływu
OS – osadnik
SEP I – separator koalescencyjny z zamknięciem przeciwolewowym – separator klasy I

Rys. 7. Schemat zespołu podczyszczającego wody spływu powierzchniowego z równi logistycznych

przeciążeniem hydraulicznym, przez tak zwane zawory zwrotne. Wadliwe zaprojektowanie odprowadzeń urządzeń odwodnienia powierzchniowego prowadzi niekiedy do stworzenia płytkich 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 przenikanie do podłoża gruntowego. Przykład taki dla zlewni około 8 ha przy pomijalnej powierzchni „zielonej” opisano w (1). 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 (4).

Podsumowanie

Reasumując, należy zwrócić uwagę, że systemy urządzeń odwodnienia budowli stanowiących równie logistyczne wymagają specyficznych rozwiązań technicznych polegających na skutecznym i pełnym odbiorze wszelkich wód opadowych i roztopowych, z nawierzchni typu samochodowego lub szynowego. 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. □

Piśmiennictwo

- Chlipalski J.: *Kilka uwag do odprowadzania wód opadowych*. „Drogownictwo”, nr 8/2005.
- Gradkowski K.: *Specyfika odwodnienia równi drogowych*. „Drogownictwo”, nr 3/2011.
- Helman-Grubba M., Marcinkowski M., Falkowski W.: *Skuteczna ochrona wód w otoczeniu dróg – teoria i praktyka*. Ekol-Unicon, Gdańsk 2006.
- Wysakowski A.: *Odwodnienie parkingów i miejsc obsługi podróżnych*. „Inżynier Budownictwa”, nr 10/2010.

➤ wstępnego zebranej wody, na przykład według schematu rys. 7 według (3).

Dla wód deszczowych odprowadzanych z terenów takich równi, jak stacje i terminale paliw płynnych, bazy przeładunkowe, bazy środków transportu, najważniejszymi parametrami wraz z ich dopuszczalnym stężeniem są:

- substancje ropopochodne o dopuszczalnym stężeniu 15 mg/dm³,
- substancje ekstrahujące się eterem naftowym o dopuszczalnym stężeniu 50 mg/dm³,
- zawiesina ogólna o dopuszczalnej ilości 50 mg/dm³.

W wypadku zawałowych spływów deszczowych, ze spływem pomijającym urządzenia podczyszczające i kierowanych bezpośrednio do odbiornika bez oczyszczenia, należy pamiętać o ważnym dodatkowym wymaganiu zabezpieczenia urządzeń przed