

Nowe wyzwania w projektowaniu odwodnienia dróg

New challenges in road drainage design



Stanisław Gaca

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Krakowska
ORCID 0000-0002-1757-6984

sgaca@pk.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono główne problemy związane z zapewnieniem sprawnego odprowadzenia wód z jezdni i innych części dróg. Wskazano najważniejsze uwarunkowania funkcjonalne, środowiskowe i bezpieczeństwa ruchu wpływające na projektowanie urządzeń odwodnienia dróg. Szczególną uwagę zwrócono na uwzględnienie zmian klimatycznych w projektowaniu odwodnienia dróg oraz potrzebę szerszego stosowania analiz ryzyka w wymiarowaniu urządzeń odwodnienia. Uwarunkowania środowiskowe analizowano głównie w aspekcie potrzeb stosowania infiltracji i retencji wód odprowadzanych ze zlewni drogowych. W artykule podano także uwarunkowania projektowania ramp drogowych w sposób zapewniający sprawny spływ wody. W podsumowaniu zestawiono najważniejsze problemy wymagające dalszych analiz i prac badawczych w celu racjonalnego projektowania odwodnienia dróg.

Słowa kluczowe: *Odwodnienie Dróg; Wymiarowanie Urządzeń Odwodnienia; Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego*

Abstract: The article presents the main problems related to ensuring efficient drainage of water from the roads. The most important functional, environmental, and road safety conditions influencing the design of road drainage devices were indicated. Particular attention was paid to climate change in the design of road drainage and the need for wider use of risk analyses in the dimensioning of drainage devices. Environmental conditions were analyzed mainly regarding the need for infiltration and retention of water discharged from road catchments. The article also presents the conditions for designing road ramps to ensure efficient water flow. The summary presents the most important problems requiring further analysis and research in order to design road drainage rationally.

Keywords: *Road Drainage; Dimensioning Of Drainage Devices; Road Safety*

Wstęp

Potrzeba sprawnego odwodnienia dróg wydaje się być oczywistym stwierdzeniem, które jednak nie zawsze znajduje potwierdzenie w praktyce ich projektowania i utrzymania.

Takie krytyczne stwierdzenie wynika z obserwacji występowania następujących zjawisk:

- rozlewiska wody i długie odcinki spływu strug wody po jezdni, szczególnie na odcinkach dróg zamiejskich i ulic o minimalnych pochyleniach. W takich przypadkach pogarszają się warunki współpracy opony z nawierzchnią i w skrajnych przypadkach może dojść do całkowitej utraty

pryczepności pomiędzy oponą i nawierzchnią (aquaplaning), co jest jednym z potencjalnych zagrożeń bezpieczeństwa ruchu, rozlewiska lub szerokie strugi wody płynącej przy krawężniach dróg, jako następstwo wyniesienia poboczy ponad krawężel jezdni lub niewystarczającej przepustowości wpustów deszczowych do kanalizacji. Jeśli takie rozlewiska lub strugi wody znajdą się w śladzie kół poruszających się pojazdów, to może dojść do utraty kontroli toru jazdy pojazdu (niesymetryczne rozłożenie oporu ruchu lub wystąpienie zjawiska aquaplaningu). Ponadto w takich sytuacjach piesi i rowerzyści na drogach

zamiejskich nie mogą poruszać się zgodnie z przepisami przy krawędzi jezdni, a w przypadku ulic komfort ruchu pieszych ulega drastycznemu pogorszeniu przez możliwość ich ochlapywania,

- uszkodzenia krawędzi jezdni i deformacje gruntowych poboczy, jako następstwo nadmiernego zwilgocenia podłoża gruntowego wywołanego m.in. utrudnionym spływem wody powierzchniowej z jezdni i poboczy,
- uszkodzenia nawierzchni, w tym koleiny i spękania siatkowe wywołane m.in. obniżeniem nośności warstw podłoża w konstrukcji nawierzchni jako efekt działania

wód gruntowych lub wód opadowych przenikających do podłoża,

- uszkodzenia skarp nasypów i wykopów wywołane ich zawilgoceniem powodującym zmiany parametrów wytrzymałościowych, w tym wytrzymałości na ścinanie,
- podtapianie terenów w otoczeniu dróg spowodowane m.in. niewydolnością urządzeń odwodnienia powierzchniowego dróg i ich otoczenia lub nieprawidłowym odprowadzeniem wód z tych urządzeń do odbiorników.

W/w problemy związane z brakiem sprawnego odwodnienia infrastruktury drogowej są tak oczywiste i znane od wielu lat, że zasadnym jest postawienie pytania o przyczyny, które powodują, że znaczna część istniejących rozwiązań infrastruktury drogowej nie spełnia kryteriów sprawnego odwodnienia. Zdaniem autora może to wynikać m.in. z:

- ograniczeń wiedzy inżynierskiej i rutynowego traktowania projektowania urządzeń odwodnienia jako typowych, bez szerszego spojrzenia na kompleks powiązań tego projektowania ze sprawnością i bezpieczeństwem ruchu, z uwarunkowaniami klimatycznymi, zarządzaniem zasobami wodnymi i uwarunkowaniami środowiskowymi,
- przyjmowania błędnych założeń projektowych np. w odniesieniu do szacowania miarodajnego spływu wód powierzchniowych ze zlewni i niejednoznacznego zdefiniowania pojęcia „sprawności odwodnienia” jako kryterium oceny poprawności projektowanych rozwiązań,
- pomijania w projektowaniu pełnej analizy kosztów cyklu życia z preferencjami kosztów budowy, co często wyklucza rozwiązania najbardziej korzystne z uwagi na ich długotrwałą eksploatację,
- niedoceniań zadań utrzymania sprawności urządzeń odwodnie-

nia i braku bardziej precyzyjnych przepisów wymuszających podejmowanie takich działań.

Opisane powyżej problemy wymagają pilnego podjęcia działań naprawczych, zmierzających co najmniej do eliminacji z praktyki inżynierskiej spotykanych błędów, w tym przez wypełnianie luk wiedzy oraz promocję tzw. dobrych praktyk”. Staje się to tym bardziej ważne, że w nowej strukturze przepisów techniczno-budowlanych w drogownictwie obligatoryjne wymagania w odniesieniu do odwodnienia dróg i ulic potraktowane są bardzo ogólnie i pozostawiono dużą swobodę projektantom w doborze rozwiązań najlepszych [2].

Aktualnym wyzwaniem środowiska naukowego i inżynierskiego w poszukiwaniach racjonalnych rozwiązań odwodnienia dróg i ulic jest aktualizacja dotychczasowych i sformułowanie nowych zaleceń projektowych uwzględniających:

- wpływ zmian klimatu na szacowaną wielkość opadów i dobór przepustowości urządzeń odwodnienia spełniających oczekiwane poziomy niezawodności ich funkcjonowania,
- odprowadzanie wód ze zlewni drogowych w sposób minimalizujący zakłócenia naturalnych procesów obiegu wody w przyrodzie, z preferencjami dla „pozostawiania wód na miejscu wystąpienia opadu”,
- poprawę sprawności i bezpieczeństwa ruchu drogowego poprzez eliminację miejsc z niesprawnym odwodnieniem, pogarszających warunki współpracy opony z nawierzchnią oraz projektowanie urządzeń odwodnienia w taki sposób, aby nie stanowiły one fizycznych przeszkód powodujących zagrożenia bezpieczeństwa ruchu,
- rosnącą rolę urządzeń przejmujących wody opadowe jako elementów krajobrazu w ramach kształtowania przyjaznej człowiekowi miejskiej przestrzeni

publicznej,

- trwałość urządzeń odwodnienia i łatwość ich utrzymania w całym okresie użytkowania, przy minimalizacji zakłóceń w ruchu drogowym.

Syntetyczne przedstawienie stanu wiedzy i propozycji wybranych zaleceń projektowych odnoszących się do części z w/w wyzwań jest przedmiotem niniejszego opracowania.

Wybrane problemy i tendencje w projektowaniu odwodnienia dróg

Projektowanie odwodnienia dróg stało się współcześnie złożonym zadaniem, wymagającym od projektanta umiejętnego powiązania wiedzy co najmniej o:

- elementach składowych systemu odwodnienia umożliwiającym skuteczne przejmowanie wód opadowych i gruntowych wraz z wiedzą o rozwiązaniach konstrukcyjnych tych elementów,
- ilości wód, którymi należy zarządzać w ramach systemu odwodnienia dróg, wraz z konsekwencjami oddziaływania na środowisko, przy zastosowaniu różnych wariantów projektowych,
- naturalnym bilansie wodnym terenów w otoczeniu projektowanych dróg i ewentualnych potrzebach oraz możliwościach utrzymania tego bilansu bez zakłóceń,
- przepustowości, stanie i trwałości już istniejących elementów systemu odwodnienia (jeśli występują) wraz z oszacowaniem ryzyka podtopień lub powodzi,
- wpływie projektowanych urządzeń odwodnienia na rozwiązania innych części dróg i ich funkcjonowanie,
- potencjalnych skutkach awarii lub przeciążeń urządzeń odwodnienia i sposobach reagowania na nie,
- wymaganiach i ograniczeniach



1. Schemat powiązania różnych wymagań w projektowaniu odwodnienia dróg (źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

- konstrukcyjnych związanych z budową, funkcjonowaniem i utrzymaniem,
- kosztach analizowanych w cyklu życia drogi.

Zakres niezbędnych danych i analiz poprzedzających projektowanie urządzeń odwodnienia zależał będzie od lokalnych uwarunkowań i będzie różny np. dla dróg zamiejskich i ulic. Jednak w każdym przypadku konieczne jest zintegrowane podejście do projektowania odwodnienia dróg uwzględniające grup danych odnoszących się do zarządzania odpływem wód powierzchniowych, zarządzania ryzykiem zanieczyszczenia wód i zarządzania ryzykiem powodzi. Schematyczne powiązanie w/w grup danych i wynikające z nich zintegrowane podejście do projektowania odwodnienia dróg pokazano na rys. 1.

Wyznaczanie objętości wód spływających ze zlewni drogowych

Podstawowym warunkiem poprawnego projektowania urządzeń odwodnienia jest określenie objętości wód, które system odwodnienia powinien przejmować. W tym zakresie dotychczasowe przepisy krajowe rekomendowały obliczanie miarodajnego odpływu wód ze zlewni drogowych z wykorzystaniem prostych krajowych wzorów [3, 10, 16], opracowanych w połowie lat 50. ubie-

głego wieku na podstawie wyników wieloletnich obserwacji opadów. Dostępne są także modele obliczeń pochodzących z lat 90. ubiegłego wieku, ale one też nie uwzględniają w wystarczającym stopniu wiedzy na temat regionalnej i długookresowej zmienności opadów w Polsce [11]. Dlatego uzasadnione jest stwierdzenie, szczególnie w kontekście obserwowanego od kilkunastu lat zjawiska częstego występowania ekstremalnych opadów deszczu, o konieczności weryfikacji dotychczasowych metod obliczania miarodajnego odpływu wód ze zlewni drogowych.

Ekstremalne opady deszczu (deszcze dużych natężeń opadu i długich czasach ich trwania) mogą powodować niekorzystne zjawiska obejmujące: czasowe zatapianie jezdni i innych części drogi, erozję nasypów i wykopów ze spływami gruntu na jezdnię, przeciążenia systemów odwadniających powodujące ich uszkodzenia, pogorszenie sprawności i bezpieczeństwa ruchu pojazdów oraz pieszych. Jeśli wynikające ze zmian klimatu zmiany charakterystyk opadów okresowych i średniorocznych nie zostaną poprawnie uwzględnione w projektowaniu odwodnienia dróg, to ich skutkiem może być także nadmierne podniesienie poziomu wód stojących z ich niekorzystnym oddziaływaniem na podłoże i konstrukcję nawierzchni (długotrwałe podtopienia), nadmierne zawilgocenie

budowli ziemnych i utrata ich stateczności oraz podtopienia terenów przylegających do drogi. Dlatego niezwykle ważne jest wiarygodne określenie natężenia deszczu miarodajnego jako podstawy wymiarowania urządzeń odwodnienia dróg. Uwaga ta dotyczy nie tylko sposobu obliczania wielkości spływu wody ze zlewni, ale także potrzeby szerszego i bardziej indywidualnego niż dotychczas stosowania analiz ryzyka w ocenach sprawności odwodnienia.

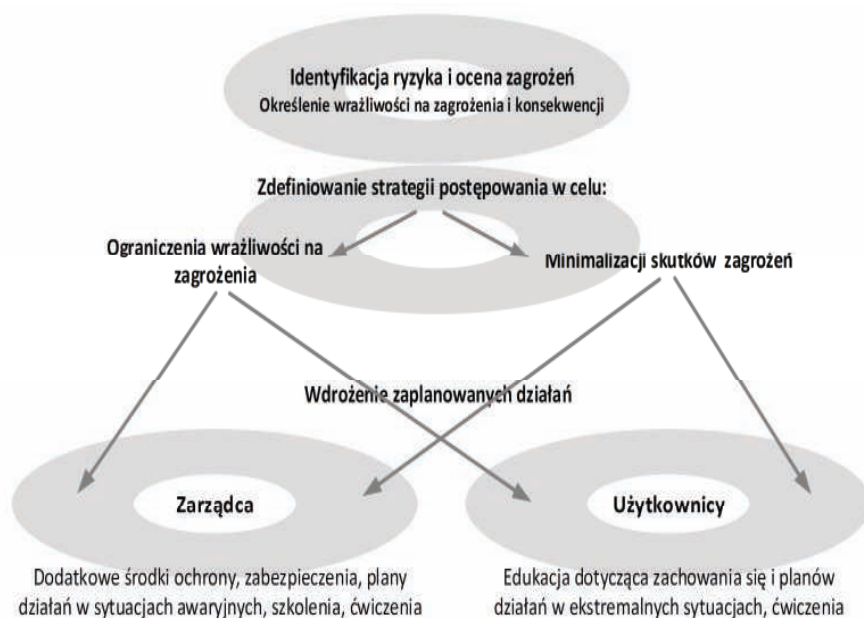
W ujęciu ogólnym ryzyko należy rozpatrywać jako funkcję trzech zmiennych, tj. występowania zagrożeń, podatności na zagrożenia i konsekwencji zrealizowania się określonego scenariusza wystąpienia zagrożeń. W przypadku analiz i projektowania odwodnienia ryzyko może być rozumiane jako prawdopodobieństwo wystąpienia szkód o określonej skali, jeśli pojawią się opady o natężeniu większym niż natężenie przyjęte do wymiarowania urządzeń odwodnienia. Miarą „szkody” w przypadku analiz skuteczności odwodnienia może być np. fizyczne uszkodzenie składowych części drogi, czas trwania wyłączenia drogi z użytkowania, istotne pogorszenie jej właściwości użytkowych, spowodowanie znaczących szkód przez zalanie obszaru w otoczeniu drogi, przekroczenie dopuszczalnego poziomu zanieczyszczenia wód odbiornika itp.

Podany powyżej postulat wykorzystywania analiz ryzyka w projektowaniu odwodnienia dróg jest tylko częściowo uwzględniony w dotychczasowych przepisach techniczno-budowlanych, w których zostały podane prawdopodobieństwa występowania deszczów miarodajnych p (częstość występowania deszczu C) do przyjmowania w obliczeniach odpływu wody ze zlewni. Prawdopodobieństwa te można utożsamiać z umownymi poziomami oczekiwanej niezawodności funkcjonowania dróg i dlatego zostały one powiązane z ich klasami oraz funkcjami, co pokazano w tabeli 1.

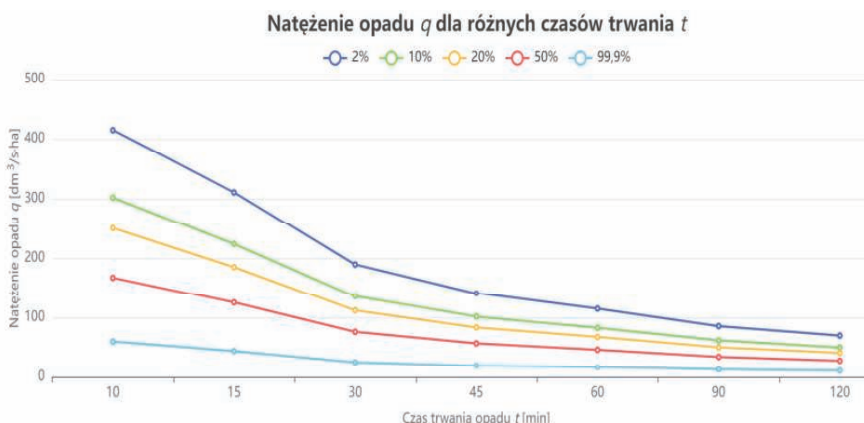
Niezależnie od zaleceń poda-

Tab. 1. Zalecane do stosowania w obliczeniach urządzeń do odwodnienia prawdopodobieństwo p (częstości C) występowania deszczów miarodajnych

Odwadniane drogi lub ich części		Prawdopodobieństwo p [%]	Częstość C [lata]
Drogi zamiejskie	klasy A lub S	10	10
	klasy GP	20	5
	klasy G lub Z	50	2
	klasy L lub D	100	1
	miejsca obsługi podróży przy drogach klasy A lub S	10	10
	parkingi przy drogach klasy GP	20	5
Ulice	tereny mieszkaniowe	≤ 50	≥ 2
	centra miast, tereny usługowe i przemysłowe	≤ 20	≥ 5
	infrastruktura zaliczana do krytycznej z uwagi na funkcjonowanie sieci ulic	10	10
	najbardziej wrażliwe na zalania i podtopienia sekcje infrastruktury (np. wjazdy do tuneli, przejścia i przejazdy podziemne)	5	20



2. Schemat metody postępowania w celu minimalizacji skutków zagrożeń związanych ze zmianami klimatu (źródło: opracowanie własne na podstawie [18])



3. Przykład danych z atlasu opadów IMGW do wyznaczania natężenia opadu (źródło: <https://klimat.imgw.pl/opady-maksymalne>)

nych w tabeli 1 wskazane jest ich rozszerzenie o indywidualną analizę uwzględniającą rzeczywistą rolę określonych odcinków dróg w sieci, niezależnie od ich klasy, ze szczególnym uwzględnieniem krytycznych elementów sieci (np. odcinki dróg w tunelach, dojazdy do mostów, krytyczne połączenia wybranych stref miasta itp.), a także z uwzględnieniem wrażliwości otoczenia dróg na przeciążenia systemu odwodnienia i możliwości oraz zasadność stosowania działań redukujących poziom ryzyka. Potrzeba indywidualnego podejścia do przyjmowania prawdopodobieństwa występowania opadów w obliczeniach urządzeń odwodnienia jest wymiarowanie zbiorników infiltracyjnych z uwzględnieniem wrażliwości otoczenia tych zbiorników na ich przepełnienie. W takich przypadkach na terenach rolniczych mogłoby to być np. prawdopodobieństwo 10%, na terenach mieszkaniowych 5%, a w centrach miast 3%. Ze względu na specyfikę funkcjonowania zbiorników infiltracyjnych są to zalecenia inne niż podane w tabeli 1.

Ogólne ujęcie analizy ryzyka jako skutków zmian klimatu, w tym związanych z opadami deszczu, bardziej szczegółowo opisano w [17]. W tym samym opracowaniu zaproponowano także pokazany na rys. 2 schemat metody postępowania w celu minimalizacji skutków zagrożeń związanych ze zmianami klimatu.

Przy wyborze metod obliczania miarodajnych odpływów wód ze zlewni drogowych w jednoznaczny sposób zaleca się korzystanie z lokalnych probabilistycznych modeli opadowych wykorzystujących nowoczesny warsztat statystyczny. Modele takie, opracowane na podstawie danych opadowych z ostatnich ponad 30 lat, są dostępne i umożliwiają bardziej wiarygodne oszacowanie natężenia deszczu miarodajnego przy założonym prawdopodobieństwie jego wystąpienia [12, 14]. W [10] podano przykłady porównań wyników obliczeń natężeń deszczu miarodajnego przy

zastosowaniu formuły Błaszczyka i danych z atlasu opadów uwzględniającego także regionalne zróżnicowanie charakterystyk opadów. Z porównania tego wyniku, że stosowanie formuły Błaszczyka podanej w [16] powoduje istotne zaniżanie wartości natężenia deszczu miarodajnego, a względny błąd oszacowania tego natężenia może osiągać nawet 50%, w zależności od czasu trwania deszczu, jego prawdopodobieństwa i lokalizacji zlewni. Taki wynik porównań jednoznacznie wskazuje na celowość posługiwania się bardziej aktualnymi modelami opadów.

Na rys. 3 pokazano przykład możliwości wyznaczania natężenia opadów deszczu miarodajnego w wybranym rejonie (przykład danych z Balic k. Krakowa) z wykorzystaniem danych zebranych z 30 lat (1986–2015).

Dysponując takimi danymi jak na przykładowym rys. 3 możliwe jest znacznie szersze niż dotychczas

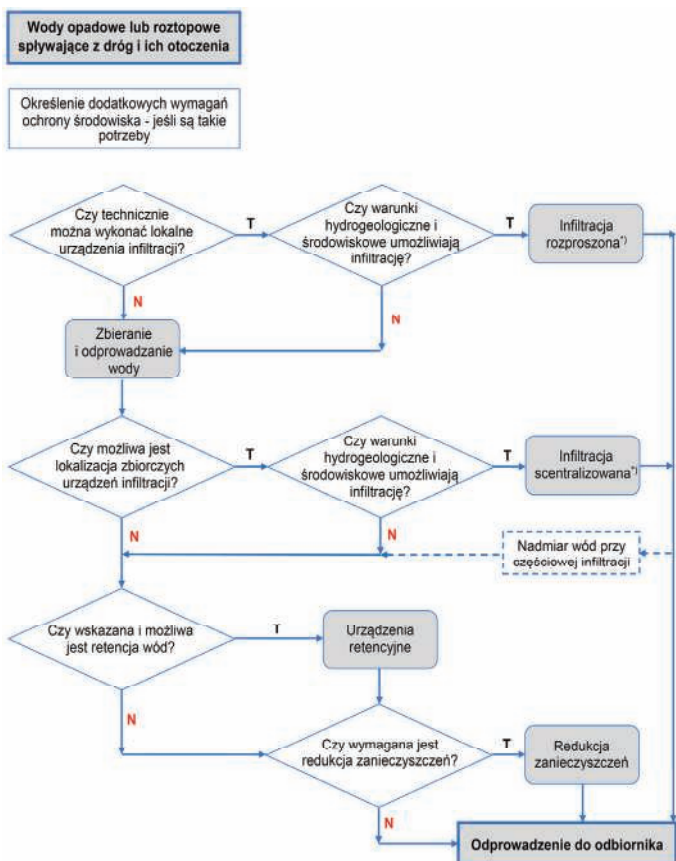
dodatkowo szacowanie skutków występowania opadów zaliczanych do ekstremalnych, tj. z prawdopodobieństwem 1÷5%. Analizując np. odcinek autostrady przy zalecanym w przepisach projektowania prawdopodobieństwie deszczu miarodajnego 10% i przykładowym czasie jego trwania 15 minut, otrzymujemy natężenie deszczu miarodajnego 226 l/s/ha, ale jeśli przyjmiemy np., że określony odcinek autostrady jest krytycznym elementem sieci i zasadnym byłoby wyznaczenie natężenia deszczu miarodajnego z prawdopodobieństwem 2%, to wówczas natężenie tego deszczu wyniesie 310 l/s/ha, tj. wartość większą o 37% w stosunku do standardowego założenia. Taka różnica powinna skutkować istotnym zwiększeniem wymiarów urządzeń odwodnienia w podanym przykładzie odcinka autostrady.

Brak ogólnodostępnych krajowych danych o najczęściej występujących przyczynach zawodności urządzeń odwodnienia dróg unie-

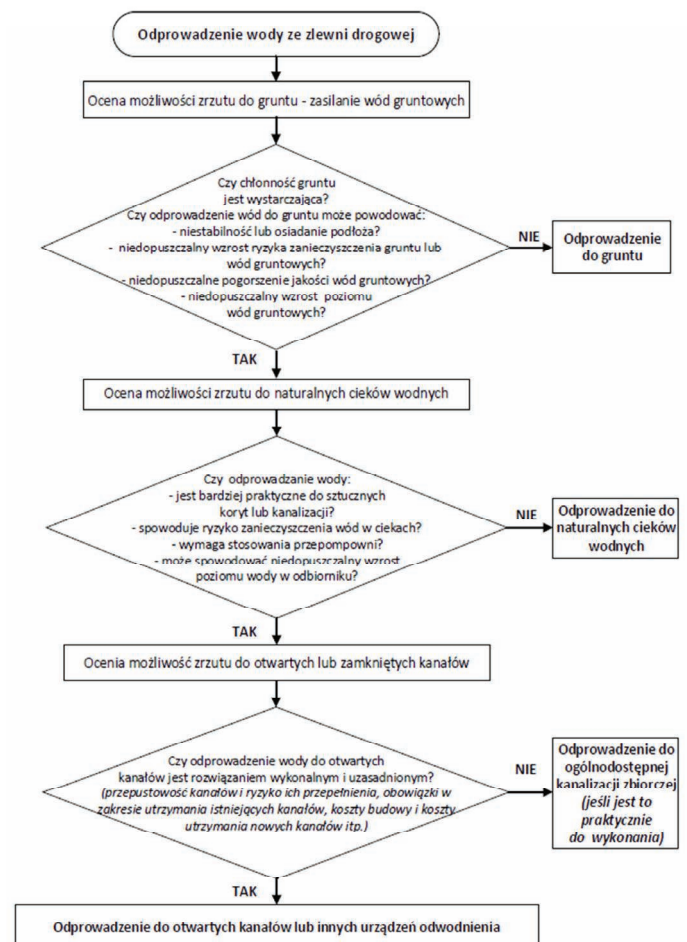
możliwia ocenę stopnia wpływu braku zapewnienia ich wystarczającej przepustowości na wspomnianą zawodność, ale np. w badaniach wykonanych w Szwecji stwierdzono, że niewłaściwy dobór wymiarów urządzeń odwodnienia jest przyczyną ok. 23% wszystkich zakłóceń sprawności ich funkcjonowania [6].

Odprowadzenie wód ze zlewni drogowych

Kolejnym problemem w projektowaniu odwodnienia infrastruktury drogowej jest poszukiwanie takich sposobów odprowadzanie wód ze zlewni drogowych, aby minimalizować zakłócenia naturalnych procesów obiegu wody w przyrodzie. Wyjściowym założeniem w tym przypadku powinno być „pozostawianie wód na miejscu wystąpienia opadu”, o ile jest to tylko możliwe ze względu na uwarunkowania techniczne i środowiskowe. Oznacza to stosowanie w znacznie szerszym



4. Schemat blokowy wyboru sposobu postępowania z wodami opadowymi lub roztopowymi (źródło: opracowanie własne na podstawie [4])



5. Schemat blokowy uwarunkowań wyboru sposobu przejścia wód ze zlewni drogowych (źródło: opracowanie własne na podstawie [1])

zakresie niż dotychczas urządzeń infiltracji rozproszonej i zbiorczej oraz retencji wód. Powszechnie stosowane w praktyce zalecenie „możliwie szybkiego odprowadzenia wód z pasa drogowego ulicy do kanalizacji deszczowej” wymaga modyfikacji przez uwzględnienie także innych sposobów zagospodarowania wód spływających ze zlewni drogowej. Przykładem takiej zmiany są zalecenia podane np. w brytyjskich i niemieckich przepisach projektowania [1, 4], co zilustrowano pokazanymi na rys. 4 i 5 schematami wspomagającymi podejmowanie decyzji przy wyborze sposobów odprowadzenia wód.

Zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 4 procedura postępowania z wodami opadowymi lub roztopowymi powinna w pierwszym kroku uwzględniać możliwość ich infiltracji w urządzeniach rozproszonych wzdłuż drogi, a jeśli nie jest to możliwe, to należy wody zbierać i odprowadzać do urządzeń infiltracyjnych zbiorczych. Tylko w przypadku braku możliwości zastosowania wspomnianych rozwiązań rekomenduje się odprowadzenie wody do innych odbiorników z dodatkowym zaleceniem stosowania urządzeń retencyjnych. Takie postępowanie powinno być rozważane także w sytuacji dostępności sieci kanalizacyjnych. W przypadku każdego sposobu odprowadzenia wody ze zlewni drogowej konieczna jest analiza stopnia zanieczyszczenia tych wód i potrzeby ich ewentualnego oczyszczania. Podobne podejście do sposobu przejmowania wód ze zlewni drogowych jest pokazane na schemacie na rys. 5, na którym dodatkowo zestawione są praktyczne pytania kontrolne ułatwiające projektantowi podejmowanie decyzji.

Odprowadzanie wód do gruntu z wykorzystaniem urządzeń infiltracji rozproszonej jest stosunkowo mało rozpowszechnioną praktyką, kojarzoną dotychczas głównie z muldami i studniami infiltracyjnymi przy drogach zamiejskich, ale w ostatnich latach pojawia się coraz więcej roz-

wiązań zalecanych do stosowania także w warunkach miejskich. Należą do nich np. wypełnione materiałem filtracyjnym muldy i rowy infiltracyjne, tzw. rigole, nawierzchnie przepuszczalne, powierzchnie infiltracyjne wspomagane przez drenaż, komory rozsączające. Urządzenia te mogą łączyć funkcje infiltracji z funkcją retencji wody. Zalecenia funkcjonalne i techniczne ich stosowania podano m.in. w [5, 9, 18].

Zagadnienia oczyszczania wód spływających ze zlewni drogowej są obecnie powszechnie znane w praktyce projektowej, ale nadal można wskazać na błędy projektowe polegające na pomijaniu lub błędnych ocenach naturalnych metod podczyszczania wód opadowych i roztopowych. Ich podczyszczanie powinno się rozpoczynać już w miejscu ich opadu i na drodze spływu do odbiornika, a w mniejszym stopniu z wykorzystywaniem systemów zbiorczych (scentralizowanych). Podobnie jak w przypadku obliczania natężenia deszczu miarodajnego, również w przypadku oceny potrzeby stosowania podczyszczania wody powinno się stosować analizy ryzyka, z uwzględnieniem wrażliwości odbiorników wody i ich naturalnych właściwości ochronnych. Taki nurt projektowania powinien być rozwijany w aktualizowanych przepisach techniczno-budowlanych.

Kryterium bezpieczeństwa ruchu w projektowaniu odwodnienia dróg

Bezpieczeństwo ruchu jest podstawowym kryterium projektowania i eksploatacji infrastruktury drogowej, co obejmuje także urządzenia odwodnienia powierzchniowego. Istotnymi w tym przypadku są następujące aspekty projektowania:

- sprawne odwodnienie jezdni, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc z utrudnionym spływem wody przy pochyleniach wypadkowych mniejszych od 0,5 ÷ 1,0%. Miejscami takimi mogą być nie tylko odcinki ramp dro-

gowych o bardzo małych pochyleniach wypadkowych, ale także odcinki szerokich umocnionych powierzchni, w tym jezdni, o długich liniach spływu wody,

- konstrukcja urządzeń odwodnienia i ich lokalizowanie w taki sposób, aby nie stanowiły one fizycznych przeszkód powodujących poważne skutki w przypadku najechania pojazdem na te urządzenia,
- na odcinkach dróg, które w przypadku ekstremalnych opadów mogą być zalewane należy zapewnić warunki ich dostatecznej wczesnej dostrzegalności i widoczności na zatrzymanie przed przeszkodą, przy założeniu wydłużonej drogi hamowania,
- bezpieczeństwo i komfort ruchu pieszych i rowerzystów poprzez eliminowanie przepływu strug wody po pasach ruchu przeznaczonych dla pieszych i rowerzystów, tak aby nie zmuszać ich do wchodzenia/wjeżdżania na pasy ruchu przeznaczone dla samochodów.

W [7, 15] wykazano, że kluczowymi czynnikami wpływającymi na możliwość poślizgu pojazdów na łuk poziomym są: prędkość pojazdu, promień łuku, przechyłka na łuku, grubość warstwy wody oraz szorstkość nawierzchni. Przy dopuszczeniu w krajach UE używania opon o minimalnej głębokości bieżnika 1,6 mm warstwa wody o grubości 2 mm i więcej będzie stanowić istotne zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, już przy prędkości większej od 60 km/h. Takie grubości warstwy wody mogą występować w na rampach drogowych, jeśli nie będą one poprawnie skonstruowane, tzn. nie zapewnią spływu wody warstwami o grubości mniejszej niż 1,5 mm. Krytycznymi odcinkami ramp mogą być odcinki o wypadkowym pochyleniu 0,5 ÷ 1,0%, w zależności od szerokości jezdni i innych umocnionych części drogi, z których spływ wody prowadzony jest jedną stru-

gą (warstwą) oraz w zależności od dopuszczalnej prędkości pojazdów. Na grubość warstwy wody wpływa natężenie deszczu, długość odcinka spływu i pochylenie wzdłuż linii spływu wody po jezdni. Dlatego trudno jest w uproszczony sposób podać graniczne wartości pochyłeń wypadkowych powierzchni rampy, przy których grubość warstwy wody nie przekroczy wartości krytycznej związanej z dopuszczalną prędkością, a także teksturą nawierzchni. Na podstawie danych zestawionych w [13] można przyjąć, że rzeczywiste pochylenie wypadkowe jezdni nie może być mniejsze od 0,5%. Jednak spełnienie tego warunku nie jest wystarczające do stwierdzenia, że zapewniony będzie sprawny spływ wody z rampy drogowej. Sprawność spływu rozumiana jako zapewnienie bezpiecznych warunków ruchu powinna być zweryfikowana przez analizę linii spływu wody i sprawdzenie czy grubości warstwy wody nie przekracza granicznej wartości. Przy ustalaniu dopuszczalnej grubości warstwy wody zaleca się uwzględnić dodatkowo dopuszczalną prędkość pojazdów. Tak złożone zależności pomiędzy natężeniem opadu, długością linii spływu wody, pochyleniami wzdłuż linii spływu wody i dopuszczalną prędkością powodują, że dotychczasowe zalecenia w zakresie projektowania ramp drogowych powinny być z powodu potrzeb odwodnienia określane bardziej precyzyjnie.

Na konieczność szczególnie starannego projektowania odcinków ramp drogowych wskazują także dane o wypadkach rejestrowanych w czasie opadów deszczu [8] i na odcinkach ramp. Ryzyko wypadków na odcinkach ramp jest w czasie opadów 2÷4 razy większe niż na odcinkach prostych o suchej jezdni, a udział wypadków z udziałem pojedynczych pojazdów na odcinkach ramp drogowych w czasie opadów deszczu może osiągać 50% [13].

Szczególnie trudnymi do rozwiązania są rampy drogowe projektowane na odcinkach dróg o ma-

łych pochyleniach podłużnych, co utrudnia zapewnienie odpowiednich spadków wypadkowych. W takich sytuacjach projektant, mając na uwadze bezpieczeństwo ruchu, powinien poszukiwać rozwiązań poprawiających sprawność odwodnienia ramp. Rozwiązaniami tymi mogą być:

- zwiększenie pochylenia niwelety drogi na odcinku rampy. Wymaga to jednak dodatkowej kontroli długości linii spływu i grubości warstwy wody,
- zwiększenie promienia łuku poziomego do wartości umożliwiającej pochylenia poprzecznego na łuku takiego samego, jak na prostej. Jest to rozwiązanie zalecane przy małych kątach zwrotu trasy, gdyż zwiększenie promienia łuku w takich przypadkach nie powoduje istotnej zmiany przebiegu trasy drogi,
- zastosowanie warstwy ściernicowej z asfaltobetonu porowatego. Wymaga to zapewnienia niestandardowego odprowadzenia wody z tej warstwy np. przez ścieki o specjalnej konstrukcji z bocznymi wlotami wody, wbudowany w konstrukcję nawierzchni drenaż przy krawędzi jezdni lub ułożenie warstwy drenażowej na poboczu,
- wbudowanie w nawierzchnię zakrytych ścieków przejmujących spływ wody w miejscach przekroczeń dopuszczalnej grubości warstwy wody,
- specjalne konstrukcje rampy z podziałem jej powierzchni na części ze spadkiem wypadkowym zapewniającym sprawny spływ wody (tzw. koperta). W takich przypadkach powstają jednak krawędzie na załamaniach jezdni pogarszające komfort jazdy,
- ograniczenie dopuszczalnej prędkości w czasie występowania opadów deszczu (znaki zmiennej treści lub znaki stałe o wzorze graficznym dopiero planowanym do wprowadzenia),
- rowkowanie powierzchni rampy

w celu ułatwienia spływu wody wytworzonymi rowkami. Jest to sposób dopuszczalny do zastosowania w przypadku istniejących nawierzchni, ale nie zalecany do stosowania bezpośrednio po wykonaniu nowej nawierzchni.

Upowszechnienie w praktyce inżynierskiej powyższych rozwiązań przyczyni się do eliminacji wielu spotykanych dotychczas błędów odwodnienia ramp drogowych.

Podsumowanie

Przedstawiony w artykule przegląd wybranych problemów odwodnienia dróg jest tylko częściowym wskazaniem kierunków koniecznych zmian w praktyce inżynierskiej w nowych ramach prawnych pozostawiających inżynierom dużą swobodę w zakresie wyboru sposobów i szczegółowych rozwiązań odprowadzania wody ze zlewni drogowych. Poza dostępnymi przykładami tzw. „dobrej praktyki” w odwodnieniu dróg, pozostaje wiele luk wiedzy wymagających jej pilnego uzupełnienia w dostosowaniu do krajowej specyfiki opadów atmosferycznych i gospodarki wodnej, a także budowy i zarządzania infrastrukturą drogową. Taka potrzeba jest zdaniem autora oczywista, mimo iż nie jest ona powszechnie dostrzegana w krajowym środowisku inżynierskim, o czym świadczą wyniki badań ankietowych wykonanych z udziałem autora w grupie 151 jednostek związanych z drogownictwem. Bliżko 70% jednostek w przeprowadzonych w 2018 roku badaniach ankietowych stwierdziło, że nie ma potrzeby wprowadzania zmian dotychczasowych przepisów techniczno-budowlanych w zakresie projektowania odwodnienia. Wbrew temu przekonaniu należy wskazać następujące ogólne problemy, które powinny być przedmiotem dalszych krajowych badań, studiów i analiz:

- rozwój narzędzi analiz ryzyka związanych z projektowaniem i

- eksploatacją odwodnienia dróg wraz z prognozami zmian klimatycznych, w tym występowania ekstremalnych opadów i ich skutków w odniesieniu do różnych aspektów funkcjonowania infrastruktury drogowej,
- retencja wód opadowych spływających ze zlewni drogowych i możliwości wykorzystania tych wód do celów gospodarczych,
 - zasady monitorowania i określenie wymaganych standardów utrzymania urządzeń odwodnienia dróg jako części ogólnego systemu zarządzania infrastrukturą drogową,
 - modele kompleksowego szacowania kosztów odwodnienia dróg w cyklu życia drogi wraz z wpływem odwodnienia na koszty sprawności i bezpieczeństwa ruchu,
 - podczyszczanie wód z wykorzystaniem naturalnego potencjału ochronnego gruntu i roślinności.

Wyniki takich badań, studiów i analiz powinny być wykorzystane w opracowaniu uzupełniających zaleceń projektowania i eksploatacji urządzeń odwodnienia dróg. ◀

Materiały źródłowe

[1] Design Manual for Roads and Bridges. Drainage General Information, CG 501 Design of highway drainage systems. Version 2.1.0. <https://www.standardsforhighways.co.uk> (23.11.2023 r.)

[2] Dz.U. 2022 poz. 1518. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych.

[3] Edel R., *Odwodnienie dróg*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa, 2022.

[4] FGSV 539. Richtlinien für Entwässerung von Straßen. REwS – Ausgabe 2021, FGSV Verlag, Köln, 2022.

[5] Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung. Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, 2015. <https://www.hamburg.de/contentblob/4458538/e b 8 a d 8 6 c a 2 1 c d 3 0 6 5 b - be624605bfb809/data/wassersensible-strassenraumgestaltung.pdf> (23.11.2023 r.)

[6] Kalantari Z., Folkson L. Road Drainage in Sweden: Current Practice and Suggestions for Adaptation to Climate Change. *Journal of Infrastructure Systems*. American Society of Civil Engineers. 2013 June. DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000119.

[7] Kumar A., Gupta A. Review of Factors Controlling Skid Resistance at Tire-Pavement Interface. *Hindawi, Advances in Civil Engineering*, 2021(8),1-16. <https://doi.org/10.1155/2021/2733054>

[8] Lee J., Chae J., Yoon T., Yang H. Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling – A case study of Seoul City. *Accident Analysis and Prevention*, 2018, 112, 1–10. DOI:10.1016/j.aap.2017.12.013

[9] Lejcuś K. i inni. Katalog Dobrych Praktyk – Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych. Gmina Wrocław, Wydział Inżynierii Miejskiej. Wrocław, 2017.

[10] Licznar P. i inni. Empiryczna weryfikacja formuły Błaszczyka do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego. *Ochrona środowiska*, 2018, nr 2, vol, 40, 17-22.

[11] Licznar P. i inni. Empiryczna weryfikacja modelu Bogdanowicz-Stachy do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego. *Ochrona środowiska*, 2018, nr 3, vol, 40, 21-28.

[12] Licznar P. i inni. Metodyka opracowania polskiego atlasu natężeń

deszczów (PANDA). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2020.

[13] Lippold Ch., Vettters A. Ressel W., Alber S. Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen. Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 319*, Bergisch Gladbach, 2019.

[14] Ozga-Zieliński B. i inni. Modele probabilistyczne opadów maksymalnych o określonym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia – projekt PMAXTP. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2022.

[15] Peng J., Chu L., Wang T., Fwa T.F. Analysis of vehicle skidding potential on horizontal curves. *Accident Analysis and Prevention*. 2021, Vol. 152, 105960. DOI:10.1016/j.aap.2020.105960

[16] PN-S-02204:1997: Drogi samochodowe – Odwodnienie dróg.

[17] Project No. TR80A 2008:72148 Risk Management for Roads in a Changing Climate. A Guidebook to the RIMAROCC Method - Final version. ERA-NET ROAD. https://www.fehrl.org/index.php?m=32&mode=download&id_file=10736 (22.11.2023 r.)

[18] Sommer H., Post M., Estupinan F. *Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen. Übersicht verfügbarer Anlagen*, Stand 09/2015. 3. überarbeitete Auflage. http://www.sieker.de/daten/download/DSWT/Broschüre_Dezentrale_Regenwasserbehandlung.pdf (23.11.2023 r.)