



ANDRZEJ JAROMINA

Rozmycia przy mostach i ich monitorowanie – część 1

Najczęstszą przyczyną awarii i katastrof mostów są rozmycia dna i brzegów cieków przy ich podporach

[5]. Rozmycie następuje wskutek erozyjnego działania płynącej wody, która odspaja i przemieszcza grunty podłoża cieków. Koszty napraw, odbudowy lub wymiany mostów uszkodzonych przez podmycia są duże. Jednak stanowią tylko około 20% kosztów pośrednich ponoszonych przez społeczeństwo wskutek zamknięcia ruchu na przeprawach mostowych. Stąd do głównych celów racjonalnej gospodarki mostowej powinno należeć niedopuszczanie do kosztownych zakłóceń ruchu na mostach. Temu służą działania zapobiegające rozmyciom koryt cieków i terenów zalewowych przy przeprawach mostowych. Podstawą działań prewencyjnych jest kontrola zmian głębokości cieków. Standardowa kontrola polega na wizualnej inspekcji koryta cieków przy mostach, prowadzonej w regularnych odstępach czasu oraz w czasie wielkiej wody i po jej opadnięciu. Częścią inspekcji wizualnej po powodzi bywają podwodne kontrole fundamentów mostu przez nurków. Typowo wymaga się, aby co dwa lata były mierzone poziomy dna cieków przy każdej podporze mostu. Wystąpienie rozmycia stwierdza się porównując zmierzone poziomy z poziomami historycznymi dna. Ale takie standardowe postępowanie nie zapewnia bezpieczeństwa użytkowników mostu. Do tego jest konieczne monitorowanie dna cieków w czasie wysokich przepływów. Gdy nie jest robione, to administrator mostu powinien ocenić, czy jest on zagrożony podmyciami i gdy ma wątpliwości – zamknąć most dla ruchu.

Prace nad monitorowaniem rozmycia przy mostach trwają ponad 100 lat, mimo to nadal powodzie powodują awarie i katastrofy, a możliwości poprawnego prognozowania rozmycia są bardzo ograniczone. Do głównych powodów należą trudności przeprowadzania batymetrii cieków przy mostach w okresach występowania dużych i szybkich przepływów wody, często z zakłóceniami. Stąd współczesne zainteresowanie monitorowaniem rozmycia, które umożliwia kontrole stanu dna cieków przy mostach w czasie powodzi i dostarcza dane empiryczne do wzorów prognozujących rozmycia na podstawie modelowych badań laboratoryjnych i analiz teoretycznych. Bez uwzględnienia parametrów zmierzonych w czasie powodzi, charakteryzujących występujące wtedy warunki przepływu i procesy transportu materiałów dna cieków, uzyskiwane prognozy są niepewne.

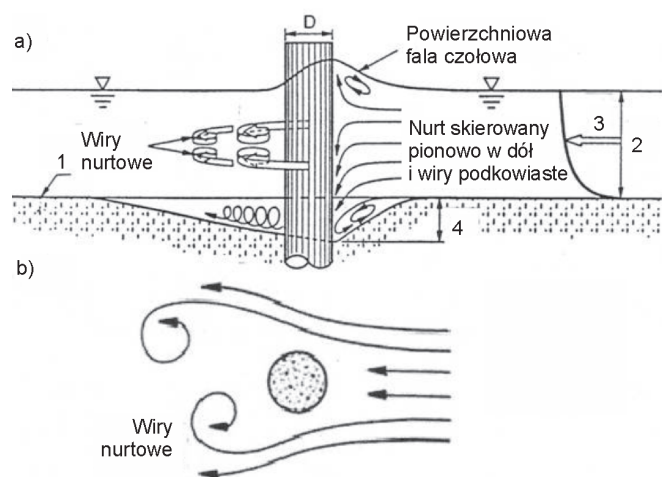
Charakterystyka rozmycia

Zmiany stanu dna cieków wskutek erozji i osadzania gruntu są procesem dynamicznym, w zasadzie ustawicznym. Rozmycia występują w dwóch postaciach: przemieszczania ma-

teriału gruboziarnistego tuż nad dnem, warstwą o miąższości zwykle około dwóch średnic ziaren gruntu oraz unoszenia drobnych cząstek zawieszonych w przepływającej wodzie. Rozmycia są szczególnie intensywne w czasie powodzi, gdy szybko płynąca woda, mająca dużą energię, eroduje dno i przenosi jego materiał, ale występuje także poza okresami powodzi. Dlatego zaleca się, aby w projektowaniu mostów uwzględniać nie tylko warunki występujące w czasie groźnych, 100-letnich powodzi, ale także kumulowanie się w czasie życia mostu znacznie mniejszej erozji powodowanej normalnym przepływem cieków.

Płynąca woda wywiera na grunty dna siły: unoszącą i przenoszącą. Gdy wypadkowa tych sił osiąga wartość wytrzymałości gruntu na ścinanie, to rozpoczyna się proces rozmycia. Natomiast zmniejszenie prędkości przepływu wody, zmiana geometrii lub/i wzrost oporów dna, powodują osadzanie niesionego przez wodę materiału gruntowego – proces sedymentacji. Krytyczna wartość naprężenia ścinania zależy od gruntu: w piasku jest bardzo mała, w gruncie spoistym o niskim stopniu plastyczności – duża. Stąd szybkość rozmywania dna zależy od rodzaju jego gruntu: maksymalne rozmycie gruntów niespoistych następuje w ciągu godzin, zaś mocnych gruntów spoistych trwa miesiącami, a nawet latami. Z tym, że przy takim samym przepływie i w podobnych warunkach miejscowych maksymalne rozmycie, zarówno gruntów spoistych, jak i niespoistych, po upływie różnego czasu, ostatecznie, osiąga zbliżoną głębokość.

Jeżeli ciek napotyka filar, to interakcja wody, filara i dna cieków bardzo komplikuje jego przepływ (rys.1). Generalnie,



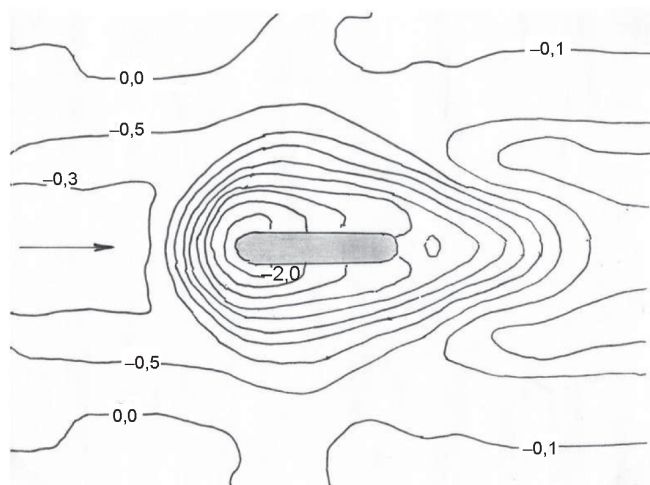
Rys.1. Szkic głównych wirów i nurtów przepływu cieków przy filarze w kształcie walca: a) widok z boku, b) widoku z góry; 1 – dno, 2 – głębokość cieków, 3 – rozkład w pionie prędkości przepływu, 4 – maksymalna głębokość wymytego wyboju, według [13a]

przed filarem (od góry ciek) występują: powierzchniowa fala czołowa, nurt skierowany pionowo w dół oraz wiry podkowiaste wywołane interakcją nurtu pionowego i dna ciek. Natomiast od strony dołu ciek, za filarem, występują wiry nurtowe (kilwateru). Wiry podkowiaste obracają się blisko dna i to one głównie rozmywają dno przed filarem. W płytkiej wodzie wiry te osłabia fala powierzchniowa. Wiry nurtowe są spowodowane rozdzielaniem przez filar przepływającej wody, przesuwają się w dół ciek i szybko zanikają. Oś wiru nurtowego jest prawie pionowa. Wir zasysa w płynącą wodę grunt z dna, tworząc zawieszinę, której cząstki osiadają, gdy wir zanika.

Rozróżnia się trzy kategorie rozmyć: ogólne, miejscowe (przy filarze/przyczółku) i skutek przewężenia ciek oraz długotrwałą agradację (namulisko) lub degradację. W większości przypadków występują przy moście wszystkie te zjawiska.

Rozmycie ogólne – jest efektem unoszenia przez wodę gruntu z całej szerokości dna ciek. Powoduje to dość równomierne jego obniżenie. Występuje w długim czasie, może wyerodować w przekroju mostowym dużą ilość materiału dna, zanika gdy przekrój przepływu pod mostem, zmniejszony jego podporami, zostaje zwiększony do przekroju ciek powyżej mostu.

Rozmycie miejscowe (lokalne) – jest powodowane przez wiry podkowiaste, które porywają i unoszą grunt dna przed filarem, tworząc wybój. Głębokość lokalnego rozmycia zależy od geometrii oraz położenia względem nurtu filara i jego fundamentu, prędkości i głębokości przepływającej wody oraz cech gruntu w podłożu ciek (rys. 2).



Rys. 2. Warstwice rozmycia dna przy filarze o przekroju poziomym prostokątnym z zaokrąglonymi końcami; strzałka wskazuje kierunek przepływu ciek

Rozmycie wskutek przewężenia koryta ciek – jest erozją powodowaną znacznym zwiększeniem prędkości przepływu wody pod mostem. Jest tym większe, im przekrój przepływu pod mostem jest mniejszy od naturalnego przekroju koryta ciek przed mostem. Szybko płynąca woda unosi dużą ilość gruntu z podłoża ciek. Rozmycie zwiększa się drastycznie, gdy przed filarami zgromadzą się szczątki przynieszone przez wodę, które dodatkowo ograniczają przekrój przepływu.

Agradacja lub degradacja. Polega na ogólnej, występującej w długim czasie, zmianie poziomu dna na długim odcinku ciek. Może być spowodowana: zbudowaniem zapory, zmianą charakterystyki zlewni w górze ciek (np. zmianą użytkowania terenu), wykopywaniem kruszywa z koryta ciek itp. Jeżeli most i nasypy dojazdów nie zmieniają znacząco naturalnych warunków przepływu ciek, to ryzyko uszkodzeń mostu przez rozmycia występujące w długim czasie, jest stosunkowo małe. Natomiast, jeżeli przeprawa mostowa i związane z nią budowle hydrotechniczne znacznie zmniejszają naturalny przekrój przepływu lub przeprawa jest zlokalizowana w miejscu zwężenia ciek, to wtedy zagrożenie rozmyciami przy moście jest duże. Ryzyko rozmyć znacznie się zwiększa w czasie powodzi i w skrajnych przypadkach doprowadza do katastrofy mostu.

Odpowiednio wczesne wykrycie niebezpiecznego rozmycia koryta ciek przy moście umożliwia podjęcie działań powstrzymujących erozję i zapobiegających nieszczęściu. Główną trudność wykrywania niebezpiecznych rozmyć sprawia ich występowanie w czasie powodzi, gdy stan wody w ciek jest wysoki, woda płynie z dużą prędkością, przenosi grunt dna i rozmaite szczątki (od niewielkich krzaków, po całe drzewa, a nawet fragmenty budynków itp.). Część z nich zatrzymuje się na podporach mostu. Opadaniu wielkiej wody towarzyszy zmniejszenie prędkości przepływu i osadzanie na dnie ciek niesionego gruntu. Zapewnia on wyboje wymyte w czasie powodzi, kamuflując skutki erozji. Dlatego inspekcja dna ciek po opadnięciu wody nie daje podstawy do wiarygodnej oceny zagrożenia bezpieczeństwa mostu. Następne powodzie łatwo wymywają osad z wybojów i zwiększają ich głębokość. W rezultacie może to doprowadzić do awarii lub katastrofy mostu.

W celu umożliwienia obserwacji zmian dna cieków przy mostach w czasie powodzi, są od około ćwierć wieku prowadzone w różnych krajach prace nad monitorowaniem dna w warunkach powodziowych. W artykule przedstawiono współczesny stan technik tego monitorowania.

Oprzędkowanie do monitorowania rozmyć

Przyrządy monitorujące rozmycia dzielą się na przenośne i zainstalowane na stałe. W szczególnych przypadkach korzysta się ze sprzętu do badań geofizycznych, kamer podwodnych i czujników lasera zielonego. Ogólną charakterystykę przydatności przyrządów podano w tabeli 1.

Tabela 1. Przydatność przyrządów do monitorowania, według [11]

Rodzaj przyrządów	Zalety	Ograniczenia
Przenośne	Pomiar punktowy lub pełne kartografowanie; użycie w wielu mostach	Pracochłonność; często wymagane specjalne platformy udostępniające
Stale	Ciągłość monitorowania, niski koszt użycia; łatwość użytkowania	Maksymalne rozmycie może nie być w miejscu zainstalowania instrumentu; utrata sprzętu
Geofizyczne	Wyjaśnianie wątpliwości dotyczących dawnych rozmyć	Pracochłonność i wymagane specjalistyczne doświadczenie

Przyrządy przenośne stosuje się, gdy wystarczają sporadyczne pomiary głębokości dna cieku, np. po dużych powodziach lub gdy rzadko sprawdza się dno przy wielu mostach. Natomiast z oprzyrządowania stałego korzysta się wtedy, gdy dno cieku powinno być kontrolowane często lub regularnie, np. raz dziennie, raz w tygodniu, albo nieustannie. Podstawą wyboru przyrządów jest nie tylko wymagana częstość zbierania danych, ale także zalety i ograniczenia przyrządów, warunki miejscowe przy moście i bezpieczeństwo ruchu drogowego. Przykładami warunków, które wpływają na przydatność sprzętu monitorującego są: głębokość i poziom wielkiej wody oraz wysokość nad nią pomostu. Jeżeli pomost jest wysoko na wodę, to stosowanie z niego przyrządów przenośnych jest skomplikowane. Pomiary z łodzi przez jej załogę można przyjąć tylko wtedy, gdy przepływ pod mostem jest bezpieczny (jest odpowiednio duże światło pionowe). Instalowanie niektórych rodzajów stałych przyrządów pomiarowych mogą komplikować duże wymiary w planie fundamentów filarów i głęboka woda. Pomiary utrudniają znaczne ilości gruntu i szczątków niesione przez wodę, zgromadzone przed filarem szczątki i/lub lód oraz duża prędkość przepływu wody. Bezpieczeństwo ruchu drogowego wymaga zamykanie jego pasów, gdy instaluje się lub serwisuje stałe oprzyrządowanie oraz wykonuje z pomostu pomiary głębokości cieku przyrządami przenośnymi. Czynniki środowiskowymi wpływającymi pośrednio na przydatność stałego oprzyrządowania są: wielkość i charakterystyka hydrauliczna cieku, promień łuku jego koryta, pochylenie brzegów i cechy terenu zalewowego w rejonie mostu.

Różnorodność geometrii mostów i warunków miejscowych powoduje, że nie ma uniwersalnego przyrządu i uniwersalnej metodologii monitorowania rozmyć. Każdy przyrząd i metodologia ma swoje zalety i ograniczenia. Dlatego w przypadku dużych mostów jest celowe stosowanie kilku systemów monitorowania i różnych sposobów wykrywania rozmyć. Największą efektywność monitorowania rozmyć uzyskuje się stosując jednocześnie przyrządy stałe i przenośne. Umożliwia to także porównywanie i weryfikację danych uzyskanych w różny sposób. Zwiększa to wiarygodność wyników monitorowania i ułatwia znalezienie miejsc maksymalnego rozmycia. Wybór oprzyrządowania bywa skomplikowany. W przypadku niektórych mostów nie ma jednoznacznie właściwego rozwiązania i trzeba mieć świadomość, że monitorowanie nie zawsze będzie zadowalające.

Przyrządy przenośne

Przyrządy przenośne są stosowane, gdy rozmyć przy moście nie monitoruje oprzyrządowanie stałe, a gdy jest zainstalowane, to do uzyskiwania danych z miejsc poza zasięgiem oprzyrządowania stałego, np. do kontroli dna cieku wzdłuż przęsła mostu.

Przyjmując monitorowanie przyrządami przenośnymi należy określić wymaganą częstość, szczegółowość i dokładność zbierania danych z uwzględnieniem, że w czasie kontroli dna może nie dać się przeprowadzić pełnych pomiarów batymetrycznych przy każdym filarze lub przyczółku.

Systemy monitorowania rozmyć przyrządami przenośnymi zawierają na ogół cztery elementy:

- instrument mierzący poziomy dna cieku,

- urządzenie doprowadzające ten instrument do miejsc pomiaru,
- urządzenie lokalizujące w poziomie miejsca pomiarów,
- urządzenie przechowujące dane z monitorowania.

Instrumenty pomiarowe

Instrumenty pomiarowe przenośne dzielą się na:

- sondy manualne (fizyczne),
- sonary,
- instrumenty geofizyczne.

Charakterystyki sond i sonarów zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyki przyrządów przenośnych, według [11]

Rodzaj przyrządu	Najlepiej stosować	Zalety	Ograniczenia
Sondy manualne (tyczki obsługiwane ręcznie)	Małe mosty; małe i średnie cieki	Prosta technologia	Wymagana dokładność; warunki powodziowe
Sonar	Duże mosty; duże cieki	Dokładność; daje dane punktowe i pełną batymetrię	Warunki powodziowe

Sondy manualne. Najbardziej rozpowszechnionymi oraz najtańszymi są tyczki i linki z obciążnikiem. Do tych urządzeń należy także pręt pomiarowy używany przez nurka. Na sondzie jest podziałka. Wyniki pomiarów zapisuje się ręcznie. Sondy manualne stosuje się z mostu lub łodzi. Dostarczają dane punktowe (a nie ciągły profil). Są generalnie przydatne w przypadku niedużych cieków i mostów. Ograniczeniami przydatności tych sond są: duża głębokość i duża prędkość przepływu (są nieprzydatne w warunkach powodzi), luźne grunty dna, w które łatwo zagłębia się tyczka, co fałszuje wynik pomiaru oraz nagromadzone na dnie szczątki i/lub lód. Pomiary sondą może wykonywać przyuczony pracownik. Zaletami sond są: niezależność od napowietrzenia wody i dużej zawartości w niej osadów.

Sondę tyczkową można użyć jako stałe narzędzie monitorowania lokalnej głębokości dna cieku i pomiary zautomatyzować. Można tę sondę wyposażyć np. w sonar (fot. 1).



Fot. 1. Pomiar głębokości cieku przenośną sondą manualną wyposażoną w sonar, według [11]

Sonary. Nadajnik sonaru wysła w kierunku dna ciekłu wiązkę energii akustycznej, a odbiornik rejestruje czas powrotu części energii odbitej od dna. Znaąc czas, który upłynął od wygenerowania impulsu do jego powrotu oraz prędkość impulsu w wodzie, można określić odległość między nadajnikiem i dnem ciekłu. Prędkość propagacji fali akustycznej w wodzie zależy od współczynnika sprężystości objętościowej i masy właściwej (gęstości) wody, które zmieniają się z jej temperaturą. Dlatego, aby dokładnie określać głębokość dna należy w czasie pomiarów sonarem mierzyć temperaturę wody.

Nazwa sonar jest akronimem **SOund NAVigation and Ranging**. Wczesne systemy sonaru, nazywane ASDICS (od *Anti-submarine Detection Investigation Committee*), służyły w czasie I wojny światowej do wykrywania okrętów podwodnych. Sonary były intensywnie rozwijane w czasie II wojny światowej. Początkowo w badaniach podmyć mostów stosowano rybacki sonar jednowiązkowy. Przyczyną rozpowszechnienia go w mostownictwie był niski koszt. Inne systemy sonaru: burtowy, skanujący i wielowiązkowy, powszechnie używane w pomiarach oceanograficznych i hydrograficznych, dokładnie obrazujące duże obszary dna, są rzadko wykorzystywane do monitorowania rozmyć w ciekach śródlądowych. Współcześnie najczęściej stosuje się: echosondy (sondy akustyczne), fazometry i akustyczne sondy głębokości. Są to sonary aktywne, czyli zawierające nadajnik i odbiornik (sonary bierne – wyłącznie odbiornik). Na początku lat 90. opracowano w USA „sonar widoku rozmycia” (*Sonar Scour Vision System*). Jego system zawiera nadajnik obrotowy i omiatający o wysokiej rozdzielczości (675 kHz). Zebrane nim wzdłuż mostu dane można połączyć w czasie rzeczywistym w trójwymiarowy obraz dna z obu stron mostu, obejmujący obszar szerokości do 90 m. Ostatnio w technologii sonaru udoskonalono metody nadawania, odbioru i przetwarzania sygnałów, a także ich obróbkę cyfrową.

Do monitoringu rozmyć dna cieków są stosowane następujące rodzaje sonarów: echosondy, wielowiązkowe, skaningowe burtowe (boczne), skaningowe sektorowe oraz wielowiązkowe z obiektywami.

Echosonda. Emituje przez wodę w kierunku dna ciekłu impuls energii akustycznej, mierzy czas, w którym impuls dociera do dna i po odbiciu od niego wraca do przetwornika. Na podstawie zmierzonego czasu określa głębokość wody. Częstotliwości impulsów są między 24 kHz i 340 kHz. Wyższe dają większą rozdzielczość (rozdzielczość) i małą penetrację dna. Typowo do monitoringu rozmyć stosuje się częstotliwość 240 kHz. Impuls energii ma postać wachlarzowej wiązki. Wiązka mająca większy kąt wierzchołkowy pokrywa większą powierzchnię dna, mająca mały – dokładniej obrazuje głębokości dna. Współczesne echosondy umożliwiają zmianę kąta wierzchołkowego i są wyposażone w GPS lub tachimetr elektroniczny. Ograniczeniem echosondy jest punktowy pomiar głębokości dna.

Sonar wielowiązkowy. Generuje kilka wachlarzowych wiązek energii akustycznej, które pokrywają dno ciekłu. Wiązki różnią się prędkością i kątem wierzchołkowym. Sonarem wielowiązkowym można kartografować duże obszary dna ciekłu oraz ustalać kształt i wielkość podwodnych anomalii.

Sonar skaningowy burtowy (boczny). Emituje wąskie wiązki energii akustycznej w kształcie wachlarza, prostopa-

dle do kierunku ruchu przetwornika impulsów. Wierzchołkowy kąt wiązki liczy od 35° do 60°. Ciągły obraz dna i obiektów na dnie daje łączenie uzyskiwanych obrazów wzdłuż kierunku ruchu przetwornika. Sonary burtowe działają z częstotliwością w zakresie 83÷800 kHz. Większa częstotliwość daje lepszą rozdzielczość, ale obejmuje mniejszy obszar dna. Zaletą sonaru burtowego jest szybkość i skuteczność szczegółowego obrazowania dużej powierzchni dna, bez względu na przejrzystość wody; pokazuje topografię i teksturę dna. Ograniczeniami sonaru burtowego jest m.in. niezdolność generowania szczegółowych obrazów elementów pionowych nawet przy obrocie przetwornika oraz nie wykrywanie wąskich liniowych obiektów równoległych do wiązki.

Sonar skaningowy sektorowy. Działa podobnie jak sonar burtowy – emituje impulsy akustyczne w kształcie wachlarza, ale obraca się w stałym położeniu (burtowy wymaga wzdłużnego ruchu przetwornika) i jest umieszczony blisko dna. Obrazy zapisuje seriami warstw obracający się przetwornik. Komputer łączy je w ciągły obraz z pionową grafiką mozaikową lub podaje widok z góry ukształtowania dna. Operacyjne częstotliwości sonarów sektorowych wynoszą 330 kHz ÷ 2,25 MHz. Do obrazowania dna stosuje się 675 kHz. Główną zaletą sonaru sektorowego jest szczegółowość obrazowania dna i elementów podwodnych, niezależnie od czystości wody. Głównym ograniczeniem – niezdolność do szybkiego generowania szczegółowych obrazów dużych obszarów dna.

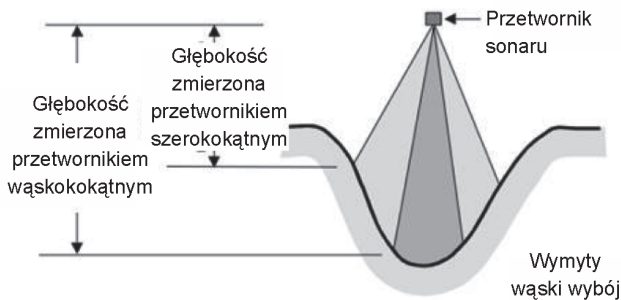
Sonar wielowiązkowy z obiektywami. Jest sonarem skanującym, który się nie obraca. Zawiera umieszczone obok siebie obiektywy, przez które wysła wiązki energii akustycznej i uzyskuje obraz dna w jednym cyklu nadawania/odbioru. Częstotliwości operacyjne wynoszą zwykle 0,7÷1,8 MHz; wyższe dają lepszą rozdzielczość, ale mniejszy zakres. Wiele systemów tego sonaru umożliwia manualnie nastawianie częstotliwości i przez to zwiększanie rozdzielczości obrazu oraz jego zasięgu. Na przykład, sonar z obiektywami, działający z częstotliwością 0,7 MHz obejmuje około 70 m dna, a z częstotliwością 1,8 MHz – mniej niż 15 m. Zaletą sonaru z obiektywami jest niezależność obrazowania dna od przezroczystości wody, ale jakość obrazów pogarsza się z odległością od sonaru. Daje obrazy w czasie rzeczywistym i umożliwia tworzenie filmów o jakości bliskiej fotograficznej (inne sonary dają obrazy nieruchome). Głównymi ograniczeniami jest nieduży zasięg i mała szerokość wiązek energii, co utrudnia ocenianie rozmyć dużych obszarów dna.

Echosondy i sonary wielowiązkowe nadają się do ogólnego kartografowania obniżeń rozmycia dna, sonar burtowy – do poszukiwania obiektów podwodnych na dużych powierzchniach; sonary skaningowe sektorowe i wielowiązkowe z obiektywami są stosowane głównie jako stałe oprzyrządowanie mostów.

Wyniki pomiarów sonarem bardzo zależą od częstotliwości generowanej fali akustycznej i szerokości wiązki jej energii. Od częstotliwości zależy dokładność obrazu i zapotrzebowanie mocy. Np. impulsy akustyczne o częstotliwości 200 kHz, mające postać wiązki o małej szerokości dają dokładne głębokości dna, a bardzo niepewne informacje o grubości zalegających na nim osadów, gdyż impuls nie penetruje ich warstwy. Natomiast impulsy o małej częstotliwości, 20 kHz, wykrywają powierzchnie międzyfazowe pod powierzchnią dna takie, jak dno wymytego wyboju wypełnionego osadami.

Dlatego najlepiej, gdy sonar działa z częstotliwością niską i wysoką, gdyż wtedy wykrywa także miękkie, półpłynne osady pokrywające mocniejsze dno.

Na dokładność pomiaru głębokości wymytego w dnie wyboju ma duży wpływ kąt wierzchołkowy wiązki energii. Na rys. 3 pokazano rezultaty pomiarów uzyskiwane przy stosowaniu wiązki z dużym i małym kątem. Pierwsza odbija się od ścian wyboju, podając błędną głębokość rozmycia. Unika się tego błędu stosując wiązkę z małym kątem.



Rys. 3. Efekty pomiaru głębokości wyboju wymytego w dnie cieku sonarem generującym wiązkę energii akustycznej z dużym i małym kątem wierzchołkowym („szeroką” i „wąską”), według [8]

Sonary dobrze działają w ciekach o głębokości co najmniej 3 m, płynących z prędkością mniejszą niż 4 m/s. Natomiast w ciekach o głębokości 2 m i mniejszej oraz płynących z prędkością powyżej 3 m/s, dokładność sonaru bywa problematyczna. Wyniki pomiaru pogarsza: duża turbulencja przepływu wody, jej napowietrzenie, duża ilość stałych cząstek zwieszonych w wodzie, nagromadzony na dnie gruby osad, szczątki i lód. Sygnały bywają zakłócone przez szumy powodowane wieloma odbiciami, od brzegu, dna cieku i filarów. Sprzęt komputerowy i pakiety oprogramowania są stosunkowo drogie.

Instrumenty geofizyczne. Do monitoringu rozmyć są stosowane systemy ciągłego profilowania odbiciami sejsmicznymi (CSP – *continuous seismic-reflection profiling*) oraz georadar (GPR – *ground penetrating radar*). Mierzą czas między wysłaniem i powrotem fali energii odbitej od powierzchni międzyfazowych. Techniki geofizyczne różnią się generowanymi sygnałami i cechami fizycznymi ośrodków, które powodują odbicia.

Instrumenty CSP generują sygnały akustyczne podobnie jak sonar, ale o niższej częstotliwości (na ogół 2-16 kHz). Sygnały te są odbijane od powierzchni kontaktu ośrodków o różnych cechach akustycznych. Natomiast GPR generuje sygnały elektromagnetyczne, których odbicia następują w powierzchniach dzielących ośrodki o różnych cechach elektrycznych. Sygnały CSP są rozpraszane przez gaz, pęcherze powietrza i gęstą zawiesinę w wodzie. Dlatego ta technika nie nadaje się w ośrodkach organicznych, wydzielających gazy. Natomiast sygnały GPR są wrażliwe na przewodność elektryczną, stąd szybko tłumie je słona woda i grunty przewodzące takie jak iły i pyły.

Systemy CSP działają z częstotliwością stałą lub skokową. Systemy stałej częstotliwości stosowane do monitorowania rozmyć generują sygnały 3,5-, 7,0- i 14-kHz. Sygnał 3,5-kHz przenika grunty drobnoziarniste do głębokości kilkunastu

metrów, wykrywa w podłożu dna warstwy miąższości około 75 cm, natomiast sygnał 14-kHz przenika do 5-6 m i wykrywa warstwy 30 cm. System działający z częstotliwością skokową generuje sygnał zmieniający się skokowo od 2 do 16 kHz, który przenika w dno do 15 m, wykrywa w wybojach warstwy osadów miąższości 30 cm. Oba systemy CSP umożliwiają określanie geometrii wymytnych wybojów i miąższość ich wypełnienia oraz wykrywają fundamenty wystające z dna.

GPR generuje sygnały o częstotliwości 80-, 100- lub 300-MHz. Są transmitowane z anteny pływającej na powierzchni wody, przechodzą przez nią w podłoże cieku i odbijają się od powierzchni kontaktu ośrodków o różnych cechach elektrycznych. Monitorowanie rozmyć GPR jest możliwe, gdy głębokość wody nie przekracza 4,5 m i jej przewodność właściwa jest mniejsza od $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ (mikrosimensów/cm). Sygnały GPR przenikają w dno do około 12 m i wykrywają warstwy gruntu miąższości 60 cm. Za pomocą GPR można określać geometrię wybojów, miąższość w nich osadów oraz osadów zalegających na dnie rzek. Nadaje się do wykrywania rozmyć historycznych – spowodowanych przez dawne powodzie. Georadar źle działa w gruntach ziarnistych zagęszczonych, w wilgotnych iltach i pyłach oraz w słonej wodzie.

Rozpowszechnienie do monitorowania rozmyć technologii geofizycznych jest ograniczone przez koszt aparatury i doprowadzania jej do miejsc badań, skomplikowanie aparatury oraz trudności interpretacji wyników badań, często wymagającej posiadania dokładnych informacji o fundamentach mostu i wywiercenia przy nim otworu geotechnicznego w celu kalibracji uzyskanych danych.

Najnowsza aparatura do badań geofizycznych jest mniej kosztowna i umożliwia komputerową obróbkę uzyskiwanych nią danych. Zmniejsza to koszt i upraszcza stosowanie tej technologii do monitorowania rozmyć.

Urządzenia doprowadzające instrumenty monitorujące do miejsc pomiarów

Instrumenty przenośne doprowadza się do miejsc pomiaru poziomów dna cieku albo z mostu, albo z powierzchni wody. System doprowadzania instrumentu do miejsc pomiaru ma podstawowe znaczenie dla efektywności monitorowania rozmyć. Ograniczone możliwości doprowadzania mogą powodować, że miejsca najbardziej groźnych rozmyć pozostaną poza kontrolą.

Doprowadzanie z mostu. Stosuje się do tego żurawie na podwoziu samochodowym. Żuraw ma wysięgnik przegubowy, na którego końcu jest zainstalowany instrument mierzący głębokość dna cieku. Ten system nadaje się także w warunkach przepływu powodziowego. Przykładem jest opracowany dla FHWA (*Federal Highway Administration*) żuraw obsługujący przetwornik sonaru. Nadaje się do stosowania z pomostów znajdujących się 5÷15 m powyżej zwierciadła wody (fot. 2).

Innym przykładem zainstalowanego na ciężarówce żurawia z systemem doprowadzania instrumentu pomiarowego do miejsca monitorowania jest żuraw z wysięgnikiem dostosowanym do dużych prędkości przepływu cieku. Pomiaru mogą być robione z mostów o różnej wysokości nad wodą i różnej geometrii, także z ograniczoną skrajnią pionową pod mostem i ze wspornikami chodnikowymi o znacznym wysięgu. Umożliwia pomiar rozmyć tyczką i linką z obciążnikiem,



Fot. 2. Doprowadzanie sonaru do miejsca monitorowania z użyciem przegubowego wysięgnika żurawia zainstalowanego na ciężarówce, według [10]

sondą sonarową i sonarem na pływaku. Wyniki pomiaru są transmitowane bezprzewodowo do rejestratora danych na ciężarówce.

Doprowadzanie z powierzchni wody. Instrument mierzący głębokość można doprowadzać do pomiaru łodzią z żagłogą. Jednak w czasie powodzi bywa to niebezpieczne. Wymaga odpowiednio wysokiego światła pionowego pod mostem i możliwości wodowania w pobliżu mostu dużej łodzi (w warunkach powodzi użycie małej jest niebezpieczne). Generalnie, względy bezpieczeństwa przemawiają za stosowaniem łodzi bezzałogowej, zdalnie sterowanej lub na pływaku zakotwiczonym przed mostem, od strony góry cieku. Z doświadczeń amerykańskich wynika, że w czasie powodzi nośnikiem instrumentu pomiarowego może być zdalnie sterowany, mały płaskodenny ślizgacz z silnikiem zaburtowym o mocy 8 KM (Mueller i Landers, 1999). Sonar można umieścić na pływaku z płyty piankowej lub z PCV, mającym postać kulistą, narty wodnej lub deski do pływania na kolanach. Takie pływaki nadają się w warunkach powodziowych

do pomiarów pod mostem i wzdłuż filarów. Dla stabilności pływaka w szybko, burzliwie płynącej wodzie ważna jest jego wielkość. Położenie w poziomie każdego pomiaru można określić korzystając z GPS.

Instrumenty pomiarowe można także doprowadzać do miejsc pomiaru z wózków inspekcyjnych. Są one szczególnie przydatne, gdy pomost jest wysoko nad wodą.

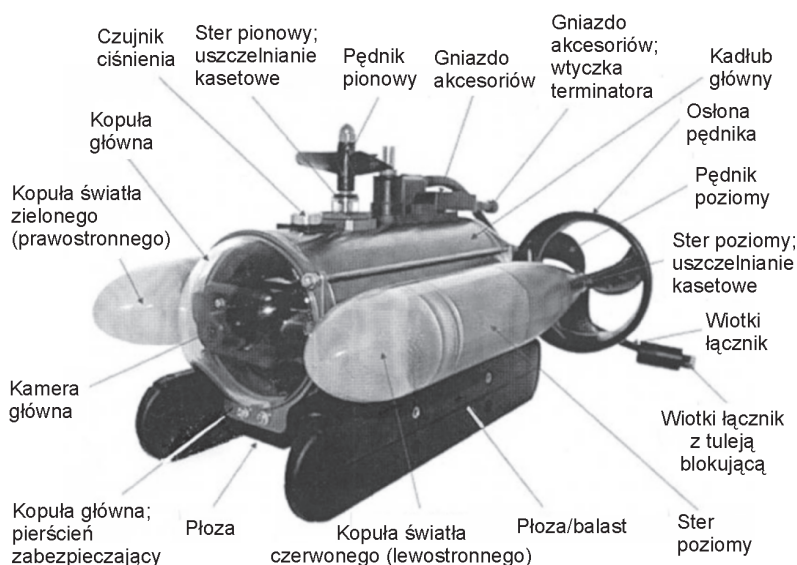
Podwodne zdalnie sterowane pojazdy-roboty ROV (Remote-Operated Vehicles). Jest wielka liczba ich odmian. Przykład pokazano na rys. 4.

Są wykorzystywane do badań dna przy mostach przez duże przeszkody wodne, w czasie małych prędkości przepływu wody. Ich wyposażenie mogą stanowić: światło stroboskopowe, kamera wideo wysokiej rozdzielczości, aparat fotograficzny do zdjęć czarno-białych w słabym oświetleniu i aparat do stereofotogrametrii, sonar boczny i wielowiązkowy. ROV można wyposażyć w czujniki światłowodowe i elektroniczne, w pamięć danych i systemy transmisyjne. Zastosowanie żyrokompasu, dopplerowskiej nawigacji akustycznej, nawigacji bezwładnościowej i sonaru bocznego oraz sonaru z jednostki pływającej, pozwala uzyskiwać trójwymiarowe obrazy dna z niezwykłą dokładnością 25 mm. ROV opracowane do celów militarnych są autonomicznymi pojazdami, sterowanymi „pamięcią” komputerową. W zastosowaniach cywilnych preferuje się systemy ROV połączone przewodem z pływającą jednostką nawodną. Przewód służy do zasilania pojazdu w energię oraz dokładniejsze sterowanie nim i zapewnia więcej rozmaitych funkcji niż system bezprzewodowy. Przez przewód są transmitowane od jednostki pływającej dane z pomiarów i obrazy. Ostatnio podwodne techniki fotograficzne zrewolucjonizowało opracowanie przez NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) wyjątkowo wrażliwego filmu (ASA 2.000.000). Jednak zamulenie wody cieków śródlądowych bardzo utrudnia stosowanie w nich technik fotograficznych. Natomiast nadają się one do monitorowania rozmyć dna przy mostach morskich.

Efektywność działania ROV powoduje szybki rozwój ich zastosowań. Stopniowo przejmują wiele prac dotychczas wykonywane przez nurków.

Urządzenie lokalizujące w poziomie miejsca pomiarów

Miejsce każdego pomiaru głębokości cieku przyrządem przenośnym powinno być zlokalizowane względem podpór mostu. W tym celu stosuje się standardowe techniki geodezyjne tachimetrem lub zautomatyzowanym instrumentem określającym azymut. Jednak ich użycie w czasie powodzi, gdy woda zalewa brzegi, a nabrzeżna roślinność zasłania linie celowania, bywa utrudnione. Ponadto są to pomiary pracochłonne i powolne. Dlatego zalecane jest stosowanie GPS, którym określanie położenia jest szybkie i dokładne. System ten wykorzystuje konstelację satelitów okrążających Ziemię. Jego zaletą, w stosunku do tradycyjnych technik geodezyjnych, jest zbędność widoczności między punktami kontrolnymi, możliwość korzystania także w nocy i w złej pogodzie – co jest ważne w warunkach powodzi. Wadą GPS jest nieprzydat-



Rys. 4. Zdalnie sterowany pojazd podwodny (ROV) produkcji Video Ray [Internet]

ność w miejscach, w których nad terenem występują przeszkody takie jak korony drzew lub most.

Miejsce pomiaru z użyciem żurawia samochodowego lokalizuje jego komputer pokładowy, na podstawie kąta pochylenia wysięgnika, odległości sonaru od przegubu wysięgnika i położenia przegubu względem punktu odniesienia na moście.

Charakterystyki systemów lokalizacji miejsc monitorowania podano w tabeli 3. Metody przybliżone są stosowane w przypadku pomiarów rozpoznawczych i inspekcyjnych. Ich dokładność wynosi około 1,0 m, natomiast metod dokładnych – 0,3 m.

Urządzenia przechowujące dane z monitorowania

Dane z monitorowania rozmyć instrumentami przenośnymi na ogół są zapisywane ręcznie. Jest jednak tendencja do gromadzenia tych danych w sposób zautomatyzowany. Korzysta się wtedy z rejestratorów danych hydrometeorologicznych, laptopów i komputerów. Rejestratory są wyposażone w kompaktowe urządzenia gromadzące dane. Niedogodne dla użyt-

Tabela 3. Systemy lokalizacji miejsc pomiaru głębokości, według [11]

Metody	Przydatność	Zalety	Ograniczenia
Przybliżone	Rozpoznanie lub inspekcja	Zbędność specjalnego przeszkolenia i sprzętu	Dokładność
Tradycyjnej geodezji lądowej	Małe ciekły; geodezja powierzchni	Zwykle techniki stosujące popularny sprzęt geodezyjny	Pracochłonność; stanowisko na brzegu
GPS	Miejsca bez przesłony nad ziemią	Prędkość; dokładność	Nie działa pod mostem

kowników jest stosowanie przez poszczególnych producentów rejestratorów specyficznych oprogramowań. Sprzęt komputerowy w warunkach polowych jest nieporęczny i bywa nieodporny na deszcz, brud i pył. Natomiast zaletą sprzętu komputerowego jest możliwość integracji oprogramowania i redukcji programów ekspozycji wyników (wykreślania lub kartografii), często w rzeczywistym czasie zbierania danych.

Wykaz piśmiennictwa będzie podany w części 2 artykułu w kolejnym numerze „Drogownictwa”

Kategoryzacja pionowych znaków drogowych



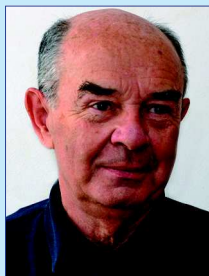
LESZEK KORNALEWSKI

IBDiM
lkornalewski@ibdim.edu.pl



JACEK MALASEK

IBDiM
jmalasek@ibdim.edu.pl



ZENON SZCZEPANIAK

IBDiM
zszczepaniak@ibdim.edu.pl

Stale zwiększająca się liczba pojazdów poruszających się po drogach, przy jednoczesnym znacznie wolniejszym rozwoju sieci drogowej, wymusza konieczność stosowania nowoczesnych metod zarządzania ruchem, które łagodziłyby niepożądane skutki tych zjawisk.

Zarządzanie ruchem jest zespołem działań umożliwiającym najlepsze wykorzystanie infrastruktury transportowej, takiej jak: drogi, ulice, parkingi i urządzenia na nich zainstalowane w celu zapewnienia bezpiecznego i efektywnego ruchu osób i towarów.

Obecnie zarządzanie ruchem polega na stałym monitorowaniu i podejmowaniu działań interwencyjnych przede wszystkim w sytuacjach:

- wystąpienia zatłoczeń,
- zaistnienia zdarzenia drogowego lub innego incydentu wymagającego interwencji,
- nietypowego wydarzenia, wymagającego zmian w organizacji ruchu,
- czasowej zmiany organizacji i ograniczeń ruchu przy prowadzeniu robot drogowych,

- zjawisk pogodowych utrudniających ruch, takich jak mgła, opady śniegu, powódzie itp.

Podstawowymi celami zarządzania ruchem w szczególności są:

- poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- uporządkowanie i ułatwienie ruchu pojazdów i pieszych,
- zwiększenie przepustowości dróg,
- zmniejszenie kosztów ruchu,
- zmniejszenie szkodliwego wpływu ruchu na środowisko.

W nowoczesnym zarządzaniu ruchem drogowym mają zastosowanie Inteligentne Systemy Transportowe (ITS), na które składają się urządzenia telematyczne zainstalowane wzdłuż drogi i wewnątrz pojazdu – systemy zarządzania prędkością oraz systemy wspomagające wybór najlepszej trasy podróży.

Podstawowymi zadaniami ITS jest gromadzenie, przetwarzanie i dostarczanie danych w czasie rzeczywistym o aktualnych warunkach ruchu w sieci drogowej.

Systemy zarządzania ruchem z zastosowaniem urządzeń ITS składają się z trzech segmentów:

- zbieranie informacji za pośrednictwem detektorów,
- przetwarzanie danych w centrum zarządzania ruchem (lub urządzeniach lokalnych),
- dostarczanie informacji kierowcom lub sterowanie ruchem pojazdów.

Przekazywanie informacji kierowcom, a także sterowanie ruchem pojazdów można osiągnąć poprzez stosowanie znaków o zmiennej treści (ztt).