



ANDRZEJ JAROMINIAK

Rozmycia przy mostach i ich monitorowanie – część 2

Przyrządy monitorujące rozmycia zainstalowane na stałe

Stały system monitorowania rozmyc przy moście może zawierać jedno urządzenie pomiarowe lub kilka rodzajów. Są one instalowane na elementach mostu albo w dnzie cieku w pobliżu podpór mostu. Dane uzyskiwane za pomocą stałych urządzeń monitorujących głębokość dna mogą być spisywane ręcznie z urządzenia lub przekazywane telemetrycznie do punktu odbioru na moście albo obok niego. Następnie dane z monitorowania mogą być transmitowane telefonem komórkowym, stacjonarnym lub przez satelitę do biura analizującego rozmycia. Współczesne systemy przekazują także dane do internetu i przez niego osoby upoważnione mają dostęp do tych danych.

Stosując monitorowanie stałe należy określić liczbę i położenie przyrządów. Oprzyrządowanie wszystkich filarów i przyczółków może nie być praktyczne lub efektywne kosztowo.

Wymaganymi cechami przyrządów stałych są:

- przydatność do zainstalowania na filarach i przyczółkach lub blisko podpór mostu,
- mierzenie maksymalnych głębokości rozmycia z dokładnością do co najmniej 30 cm,
- możliwość odczytywania wyników pomiaru głębokości dna cieku w miejscu pomiaru lub zdalnie,
- przydatność w warunkach powodzi i opadów burzowych.

Jest pożądane, aby przyrządy stałe cechowała także:

- przydatność do użycia w większości mostów istniejących i do zainstalowania w mostach budowanych,
- odporność na działanie lodu, szczątków i wandalizmu,
- stosunkowo niski koszt,

- możliwość obsługi przez personel utrzymujący drogi.

Rodzaje i mechanizmy działania stałych przyrządów monitorujących rozmycia zestawiono w tabeli 4, a charakterystyki tych przyrządów – w tabeli 5.

Stała sonda tyczkowa obniża się pod wpływem grawitacji, wraz z rozmywanym dnem cieku. Na tyczce jest podziałka (wtedy dane zapisuje się manualnie) lub tyczka jest połączona (np. taśmą) z licznikiem mechanicznym, który rejestruje obniżenia dna cieku. Tyczka powinna mieć zwiększoną stopę minimalizującą zagłębienie jej w dnzie pod ciężarem własnym.

Tabela 4. Stałe przyrządy monitorujące rozmycia, według [11]

Rodzaj przyrządu	Mechanizm działania
Sonda tyczkowa	Tyczka obniża się grawitacyjnie z rozmywanym dnem cieku; rejestracja danych manualna lub mechaniczna
Obniżający się pierścień	Pomiar poziomu pierścienia nawleczonego na pionową rurę osadzoną w dnzie cieku; pierścień obniża się z rozmywanym dnem
Czujniki erozji	Czujnik umieszczony w podłożu dna cieku wysyła sygnał, gdy rozmycie osiąga poziom czujnika
Sonar	Poziomy dna cieku określane przetwornikiem akustycznym
Czujnik nachylenia	Pochyłomierz rejestruje obroty elementów mostu
Reflektometry elektromagnetyczny TDR i optyczny OTDR	Zmiany poziomu dna monitorowane przez czas obiegu impulsu elektromagnetycznego lub świetlnego
Czujniki filmu piezometrycznego	Polimerowa błona piezometryczna zainstalowana na zasypnym/wbitym pręcie rejestruje rozwój wymytego wyboju

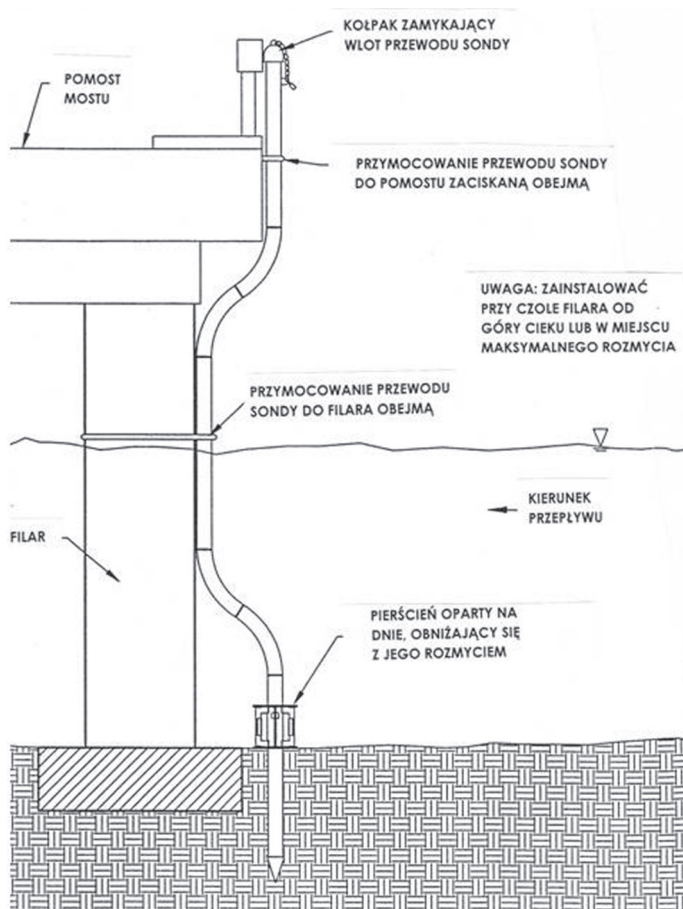
Tabela 5. Ocena oprzyrządowania stałego, według [11]

Rodzaj przyrządu	Najlepiej stosować	Zalety	Ograniczenia
Sonda tyczkowa	Koryta cieków z dnem gruboziarnistym	Urządzenie proste pod względem mechanicznym	Głęboka woda; zagłębienie w dno; blokowanie przez szczątki
Obniżający się pierścień magnetyczny/radioaktywny	Koryta niedużych cieków	Urządzenie proste pod względem mechanicznym	Wrażliwe na lód i szczątki; pomiar tylko maksymalnego rozmycia; zawieszanie się pierścienia na rurze
Czujniki erozji	Cieki sezonowe	Niektóre są tanie; niski koszt utrzymania części zasypanych, nie są narażone na działanie szczątków, lodu i na wandalizm	Nie zapewniają ciągłego monitorowania rozmyc; ograniczona żywotność baterii
Sonar	Mosty przez dolne i środkowe odcinki rzek	Rejestracja danych; historia rozmyc w czasie; system można wykonać z elementów „z półki”	Odczyty mogą być zakłócone przez szczątki, duże obciążenie osadami, napowietrzenie wody i lód
Czujniki nachylenia	W każdym moście	Można instalować na elementach mostu	Dane przemieszczeń mostu mogą nie być wynikiem podmycia podpór
Reflektometr TDR i OTDR	Koryta cieków, w których występuje lód	Solidność; odporność na lód, szczątki i wysokie przepływy	Ograniczenie maksymalnymi długościami kabla i sond, rozmycia

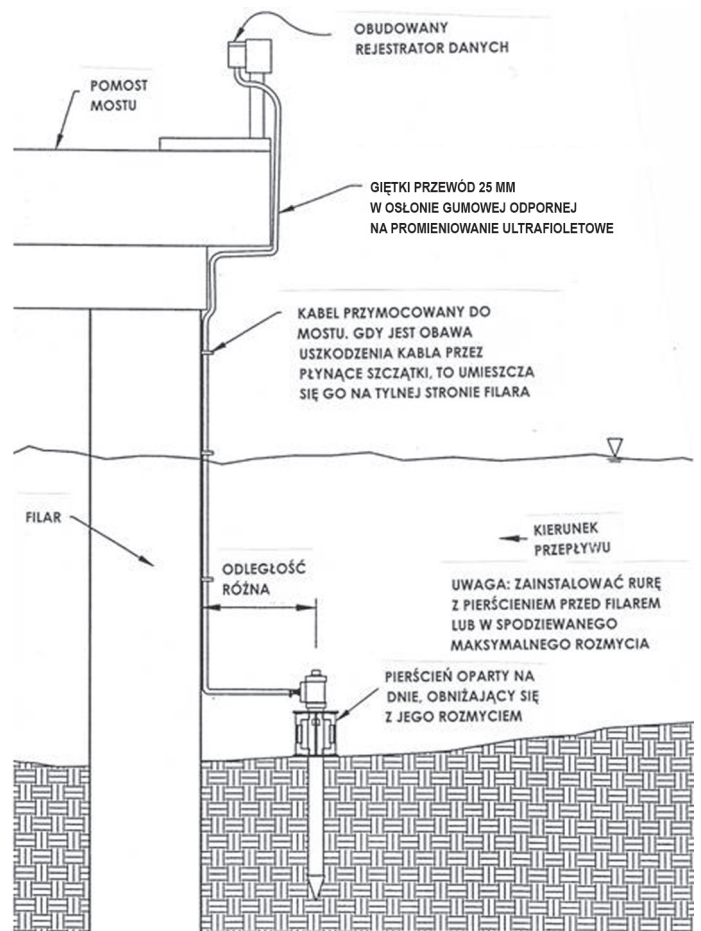
Tyczki najlepiej nadają się w korytach cieków z dnem gruboziarnistym lub ze zwartego gruntu spoistego. Ograniczeniami przydatności tyczek są: drobne osady i słabe grunty dna, w które tyczka zagłębia się, co powoduje błędne wyniki, a także szczątki i lód, które blokują obniżanie się tyczki.

Obniżający się pierścień przedstawiony na rys. 7, 8 i 9. Przed podporą mostu, od strony góry cieku, gdzie występują największe rozmycia lokalne, umieszcza się rurę (wbija lub osadza w wywierconym w dnie otworze). Na rurę nawleka się pierścień w kształcie podkowy, zwykle wyposażony w magnesy i opiera się na dnie cieku. Gdy dno jest erodowane, to wraz z nim obniża się także pierścień. Głębokość rozmycia określa się po powodzi, ustalając poziom pierścienia detektorem metalu opuszczanym w rurze. Uzyskuje się jedynie wartość rozmycia maksymalnego. Dokładność pomiaru wynosi ± 15 cm. Urządzenie jest proste pod względem mechanicznym. W zasadzie dobrze działa we wszystkich warunkach. Jego ograniczeniami są blokowanie pierścienia na rurze przez szczątki przyniesione przez wodę i przemieszczenia rury, gdy nie jest połączona z podporą mostu.

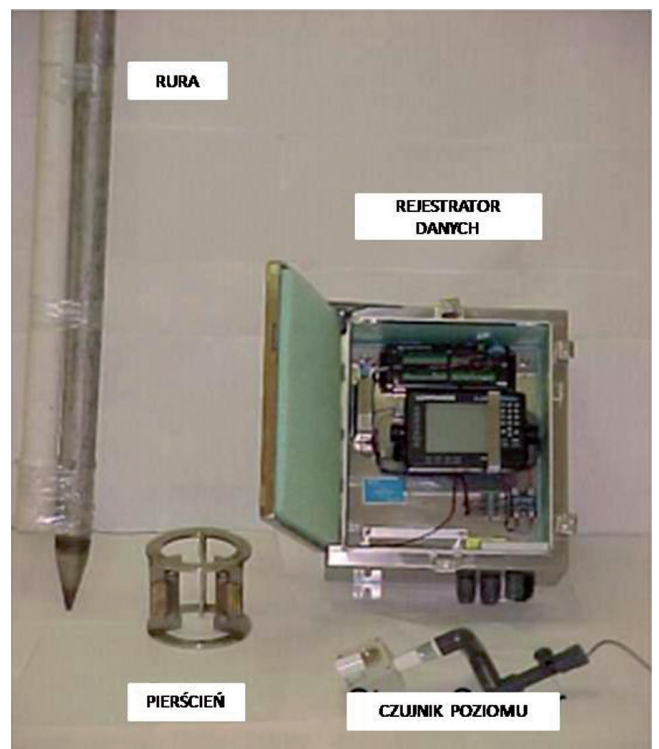
Urządzenie wymyślono w latach 70. w Nowej Zelandii do pomiaru maksymalnych rozmyć przy filarach mostów. Nazwano je *Scubamouse* (nurkująca mysz). Początkowo stosowano rury z PCW, ale były uszkodzane przez szczątki płynące w ciekach. W rurę opuszczano detektor wyposażony



Rys. 7. System monitorowania rozmyć za pomocą pierścienia opartego na dnie, obniżającego się wraz z jego rozmyciem, dostosowany do manualnej rejestracji danych, według [14b]



Rys. 8. System monitorowania rozmyć za pomocą opartego na dnie pierścienia, o zautomatyzowanym zapisie danych, według [14b]



Rys. 9. Podstawowe elementy systemu monitorowania za pomocą obniżającego się pierścienia, według [9]

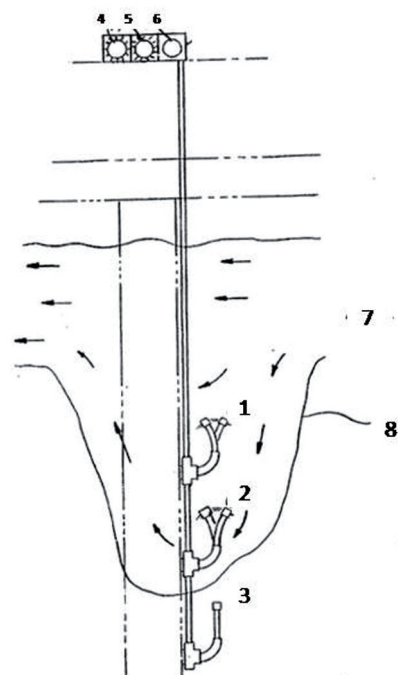
w brzęczyk, który wydawał dźwięki, gdy detektor wyczuwał magnesy pierścienia.

We współczesnych urządzeniach jest stosowana rura stalowa z umieszczonym w niej, w znanych rozstawach, szeregiem wyłączników, aktywowanych magnetycznie (rys. 9). Gdy pierścień obniża się, to jego pole magnetyczne zamyka kolejne wyłączniki, przez co położenie pierścienia jest wyczuwane elektronicznie. Rejestrator danych automatycznie odczytuje poziom pierścienia. Zwykle dokonuje odczytów co godzinę i transmituje dane raz dziennie do komputera w centrum obserwacji rozmyć (np. w rejonie drogowym). Gdy pierścień osiąga określony poziom alarmowy, to rejestrator wysyła sygnał do sieci pagerów, podając numer mostu i kod podpory. Umożliwia to identyfikację miejsca wystąpienia groźnego rozmycia i podjęcie odpowiednich działań prewencyjnych (np. zamknięcie mostu). Bywa też stosowana rura stalowa, pierścień radioaktywny i opuszczany w rurze detektor promieniowania. Monitorowanie tym urządzeniem jest zwykle zautomatyzowane.

Urządzenia zautomatyzowane są zasilane z akumulatora o około dwuletniej żywotności.

Czujniki erozji są umieszczane na różnych głębokościach w podłożu dna cieku lub w narzucie zabezpieczającym podporę mostu przed rozmyciem. Gdy rozmycie osiąga głębokość czujnika, to jego nadajnik wysyła sygnał radiowy albo odbija sygnał generowany przez nadajnik na moście. Informacje o rozmyciu są przekazywane z pewnym opóźnieniem. Prędkość przepływu cieku konieczna do aktywizacji czujnika to ponad 10 cm/s.

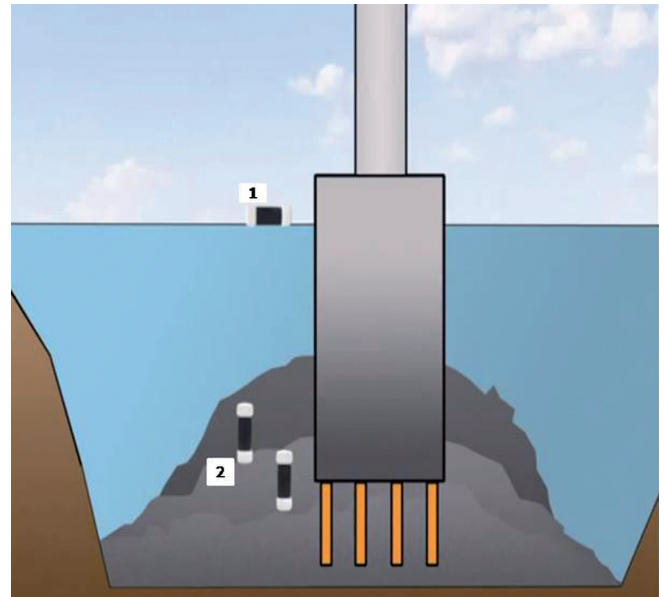
Jest wiele rozmaitych rozwiązań czujników erozji i pojawiają się nowe (rys. 10). Są relatywnie tanim uzupełnieniem innych instrumentów zainstalowanych na stałe. Mogą być umieszczone także z dala od mostu, co nie jest możliwe w przypadku innych rodzajów stałych przyrządów monitorujących rozmycia. Źródła energii czujników powinny być niezawodne przez długi okres ich bierności, gdyż nie ma możliwości kontrolowania ich aktywności.



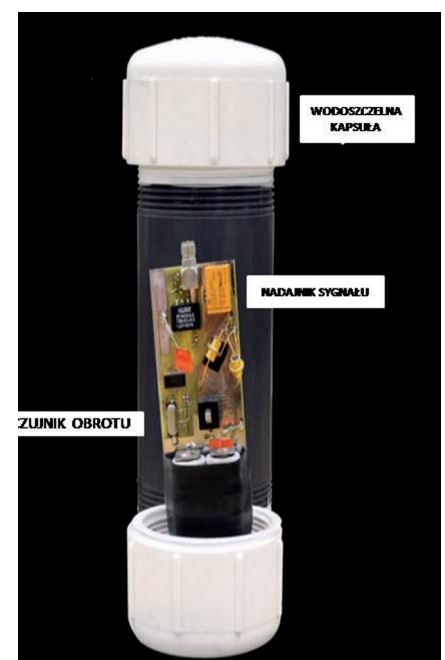
Rys. 10. Monitorowanie rozmyć według patentu EPO459749A1; 1, 2 – czujniki erozji poruszane przez przepływającą wodę, 3 – czujnik nieruchomy zagłębiony w dnie cieku, 4, 5 – świecące kolorowe lampy połączone z poszczególnymi czujnikami, włączane przy ruchach czujników 1 i 2, 6 – lampa nie świecąca, połączona z nieruchomym czujnikiem 3, 7 – przepływający cieki, 8 – dno cieku

Brytyjczycy wynaleźli system monitorowania erozji zagłębionymi w dno wiotkimi taśmami z wielokierunkowymi elektronicznymi czujnikami ruchu, nazwany *Tale Tail* („opowiadający ogon”). Czujniki są połączone przewodami z odbiornikiem sygnałów elektrycznych na moście i zakopane z taśmami na różnych poziomach w dnie cieku przy podporze mostu. Gdy erozja odsłania taśmę, to przepływająca woda pobudza czujnik/czujniki, które przekazują sygnały do odbiornika.

Amerykanie opracowali system zawierający zespół pojedynczych czujników osadzanych w podłożu dna cieku (rys. 11 i 12). Czujnik jest małym cyfrowym elektronicznym nadajnikiem, pobierającym mało energii z baterii litowej (jej bierna żywotność wynosi 9 lat).



Rys. 11. Monitorowanie rozmyć swobodnymi czujnikami erozji; 1 – czujnik nadający sygnały, który wypłynął na powierzchnię wody wskutek rozmycia dna i obrócił się do pozycji poziomej, 2 – czujniki osadzone w dnie cieku [University of Pittsburg, Swanson School of Engineering, internet]



Rys. 12. Swobodny czujnik erozji, który wysyła sygnały po wypłynięciu na powierzchnię cieku i obrocie do pozycji poziomej [University of Pittsburg, Swanson School of Engineering, internet]

Gdy rozmycie osiąga głębokość czujnika, to wypływa ona na powierzchnię cieku i wysyła drogą radiową swój identyfikator cyfrowy. Sygnał jest wykrywany przez odbiornik na moście lub w jego pobliżu. Odbiornik stale nasłuchuje sygnałów emitowanych przez uaktywnione czujniki. Dekodujący interfejs odszyfrowuje numer aktywnego czujnika, określa gdzie nastąpiło rozmycie i do jakiej głębokości. Wszystkie dane z monitoringu kontroluje i automatycznie zapisuje urządzenie rejestrujące.

Czujniki wypływające można instalować w podłożu cieku stosując wbijaną, inwentarzową rurę lub konwencjonalną wiertnicę ze świdrem ślimakowym o rurowej żerdzi. Rura/żerdź ma na dole uchylne zamknięcie. Po doprowadzeniu rury/świdra do projektowej głębokości, opuszcza się czujnik przez wnętrze rury/żerdzi i w czasie wyciągania rury/świdra zasypuje otwór nad czujnikiem gruntem podłoża cieku. Czujniki wypływające są także instalowane, gdy koryta cieków są suche, w czasie umacniania dna przy podporach, np. narzutem kamiennym i w czasie budowy podpór mostowych.

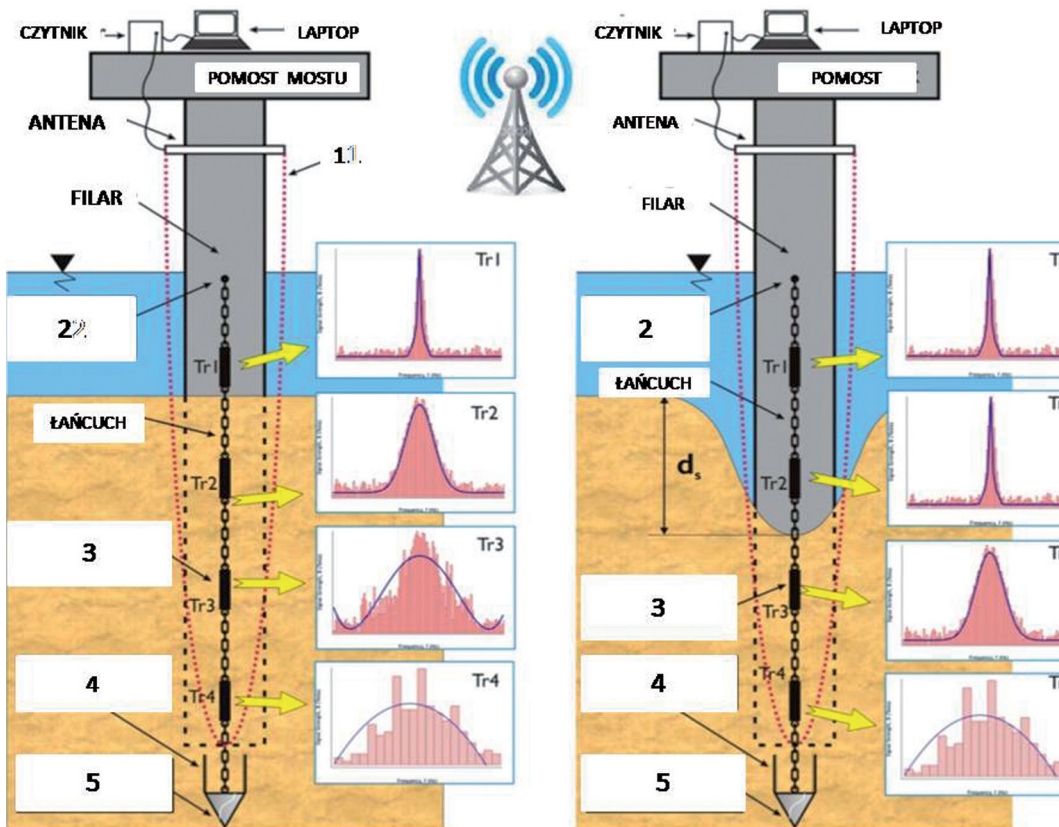
W Stanach Zjednoczonych zastosowano czujniki erozyjne z technologią identyfikacji częstotliwości radiowej (RFID – *Radio Frequency IDentification*). Głównymi elementami tego rozwiązania są: czytnik niskiej częstotliwości ($\approx 134,2$ kHz), transponder (radiolokacyjne urządzenie odzewowe), antena w kształcie prostokąta z jedną lub kilkoma pętlami i system łączności. W technologii monitoringu rozmyć RFID wykorzystano zjawisko radiowego zdalnego wykrywania

transpondera, gdy jest zorientowany prostopadłe do płaszczyzny anteny (zorientowany równolegle jest niewykrywalny). Transpondery są przymocowane w określonych miejscach wzdłuż łańcucha osadzonego w dnie cieku, w miejscu oczekiwanego rozmycia (rys. 13). Antena jest zainstalowana bezpośrednio nad łańcuchem. Gdy transponder jest w gruncie, to urządzenie odzewowe znajduje się w pozycji prostopadłej do płaszczyzny anteny i jest radiowo dostrzegane. Odstonięciu transpondera wskutek erozji towarzyszy zmiana przez przepływającą wodę położenia urządzenia odzewowego na równoległe do płaszczyzny anteny i zanik dostrzegania jego sygnału. Brak sygnału świadczy o osiągnięciu przez rozmycie głębokości transpondera. Trwają prace nad połączeniem systemu RFID i satelitarnej technologii przekazywania do bazy informacji o rozmyciach w czasie rzeczywistym.

Koncepcję czujników erozyjnych stosuje się także do monitorowania rozmyć z wykorzystaniem reflektometrów.

Sonar. Jako stałe oprzyrządowanie mostów są głównie stosowane sonary skaningowe sektorowe i wielowiązkowe z obiektami. Elementy systemu stałego sonaru monitorującego rozmycie dna przedstawiono na rys. 14.

Sonar instalowany jest przy czole (rys. 15) lub blisko czoła filara, pod kątem do jego boku, tuż przed przodem fundamentu, nad miejscem, w którym występują największe rozmycia dna. Przetwornik bywa umieszczony na wsporniku (rys. 16).

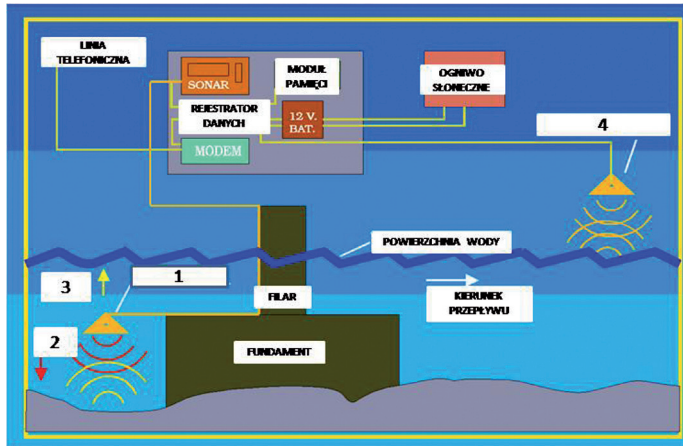


Rys. 13. Czujniki erozji systemu RFID rozmieszczone wzdłuż łańcucha: z lewej stan przed rozmyciem dna, z prawej – po rozmyciu; 1 – element anteny prostokątnej z jedną pętlą (może być ich więcej), 2 – górny koniec łańcucha przymocowany do filara, 3 – obudowa transpondera (długości 120 mm), w której płynąca woda obraca do poziomu nadajnik, 4 – zakotwienie dolnego końca łańcucha w dnie cieku, 5 – stalowy stożek wbity w dno z użyciem odzyskiwanej rury, stanowiący zakotwienie łańcucha [Arizona State University, internet]

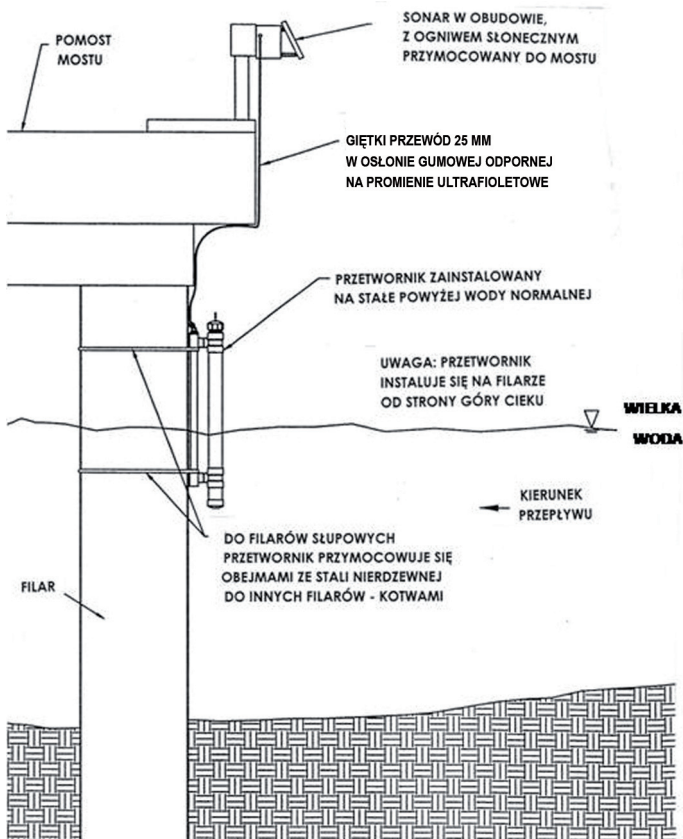
Dobrym rozwiązaniem jest instalowanie przetwornika na elemencie wysuwającym z filara. Ułatwia to ochronę przetwornika przed uszkodzeniami przez przytływające szczątki i lód. Sonary mogą śledzić zarówno proces rozmycia, jak i wypełniania ich osadami. Działanie systemu sonaru można różnie zaprogramować. Na ogół, realizuje szybką serię pomiarów i uśrednia ich wyniki, określając odległości między przetwornikiem i dnem cieku. Zwykle uzyskuje dane co 30 minut i transmituje przez satelitę co 6 godzin, a gdy zostaje przekroczona progowa głębokość rozmycia – zwiększa częstotliwość transmisji oraz wysyła sygnał alarmu do pagerów ludzi odpowiedzialnych za bezpieczeństwo mostu.

Czujniki nachylenia (pochyłomierze, inklinometry). Mierzą zmiany kątów położenia elementów mostu. Są instalowane powyżej wody na filarach, przyczółkach

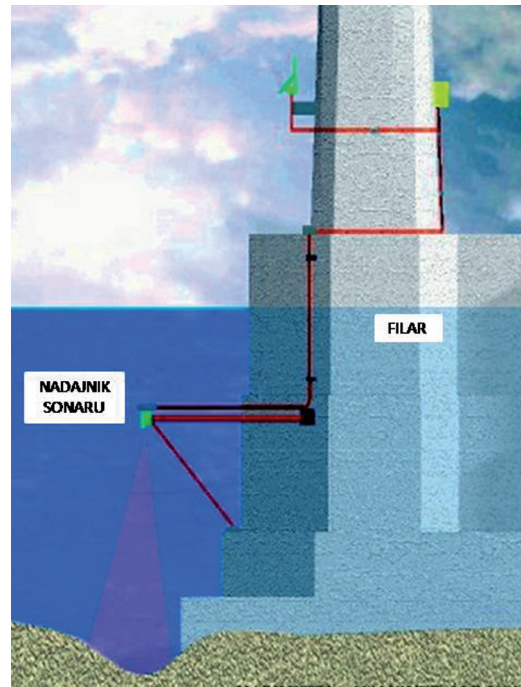
i elementach konstrukcji przęsł. Czyni to instalację czujników nachylenia łatwiejszą i tańszą od innych stałych instrumentów monitorowania. Są instalowane parami – jeden wychwyci obroty wzdłuż mostu, drugi – prostopadłe (zwykle równoległe do kierunku przepływu cieku). Gdy wskutek podmycia podpora osiada lub/i obraca się, to czujniki wykrywają zmiany nachylenia elementów, na których są zainstalowane. Zmierzone zmiany umożliwiają wnioskowanie o zachowaniu się podpór mostu. Czujniki nachylenia nie informują o głębokościach rozmyć.



Rys. 14. Elementy systemu stałego sonaru monitorującego rozmycie dna przy filarze; 1 – przetwornik, 2 – sygnał wysyłany, 3 – sygnał powracający, 4 – przetwornik poziomu cieku [Oregon Water Science Center Study, Dep. of the Interior Geological Survey, internet]



Rys. 15. System monitorowania rozmyć dna cieku sonarem zainstalowanym na stałe powyżej poziomu wody, według [14b]



Rys. 16. Sposób instalowania na stałe pod wodą aktywnego sonaru monitorującego rozmycie przed filarem mostu [Hardesty and Hanover, ETI's Scour Tracker™, internet]

Most monitorowany czujnikami nachylenia musi mieć odpowiedni zapas nośności do wytrzymania pewnych ruchów podpór, aby po wykryciu ich przemieszczeń był czas na zamknięcie i naprawę mostu. Ruchy i obroty elementów konstrukcji mostu mogą być spowodowane nie tylko podmyciem podpór, ale także przeciążeniami, wyjątkową temperaturą, uszkodzeniem elementu konstrukcyjnego itp., dlatego ustalenie przyczyny ruchów mostu może wymagać czasu. Generalnie, trudno określić wartość kąta obrotu elementu konstrukcji świadczącego o zagrożeniu mostu. Stąd, aby określić kąt alarmowy, przy którym będzie jeszcze wystarczająco dużo czasu na zamknięcie mostu, zalecana jest jego obserwacja w warunkach normalnego użytkowania. Na przykład Departament Transportu Kalifornii monitorował pochylomierzami przez kilka miesięcy (powinien przez rok) normalne ruchy filarów mostu i na tej podstawie ustalił dla każdego kąty alarmowe.

Reflektometr czasu przebiegu impulsu energii elektromagnetycznej (TDR – *Time Domain Reflectometers*) wysyła impulsy elektromagnetyczne w dół stalowej sondy zagłębionej w dnie cieku i mierzy czas powrotu przez drugą, równoległą sondę, części energii odbitej w powierzchniach kontaktu ośrodków o różnych cechach dielektrycznych (np. woda/grunt) otaczających sondy. Umożliwia to określanie poziomu dna. Mierząc czas przebiegu impulsów w realnym czasie można korelować zmiany poziomu dna z procesami przeniesienia gruntów przez wodę oraz określać wpływ warunków hydraulicznych i lodowych w cieku na erozję jego koryta. Reflektometry TDR nadają się do stosowania w warunkach powodziowych i oblodzenia. Można nimi wykrywać zmiany głębokości dna mniejsze od 2,5 cm.

Reflektometry elektromagnetyczne opracowano do lokalizacji nieciągłości linii przesyłowych energii elektrycznej. W inżynierii budowlanej są stosowane do badań betonu i sta-

bilizacji gruntów spoiwami, głębokości zamarzania gruntu, określania gęstości suchego gruntu, monitorowania poziomu wody gruntowej, rozkładu wilgotności w gruncie, pomiarów przemieszczeń itp.

Przydatność TDR do monitorowania rozmyć wynika z dużego kontrastu między stałymi dielektrycznymi wody (około 81) i gruntów w dnie cieku (zależy od stopnia nasycenia ich wodą, przy suchych – od 2 do 7).

System TDR zawiera generator impulsów, odbiornik i stałowe rurowe sondy osadzone pionowo w dnie cieku. Generator wysyła impuls elektromagnetyczny z szybko rosnącą częstotliwością: od około 20 Hz do 1,5 GHz. Część energii impulsu odbita od powierzchni kontaktu woda/dno wraca do nadajnika. Pozostała część energii przechodzi przez powierzchnię kontaktu i płynie do następnych granic zmiany stałej dielektrycznej (lub do końca sondy). Odbiornik mierzy czas, w którym odbity sygnał wraca do nadajnika. Znając prędkość fali, można obliczyć odległość jej przebiegu, m.in. głębokość dna cieku. Schemat przepływu danych uzyskanych reflektometrem (TDR) z miejsca badania rozmycia do internetu pokazano na rys. 17.

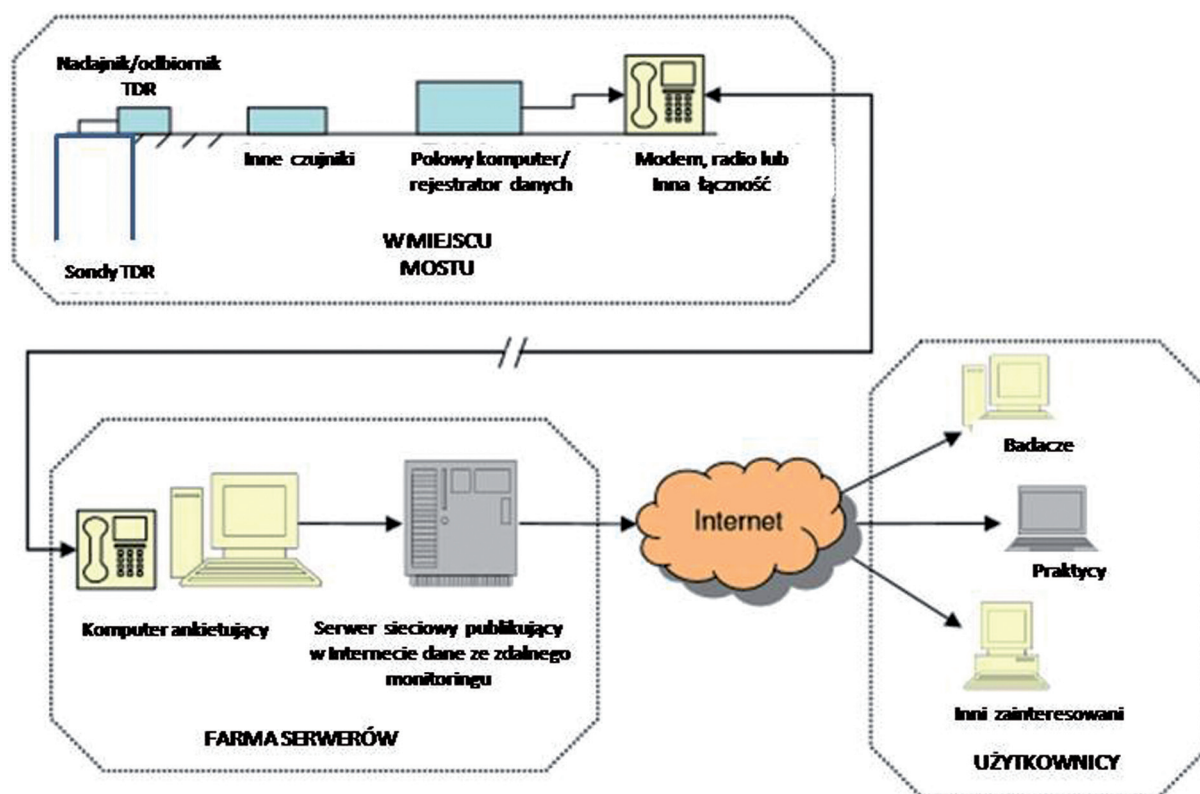
TDR bywa stosowany także w systemie czujników erozyjnych. W tym rozwiązaniu osadza się metodą wiertniczą w dnie cieku pionowy kabel elektryczny z przymocowanymi w jednakowych rozstawach kilkoma małymi kołnierzami. Rozmycie dna wystawia kołnierz na działanie przepływającej wody, powodując poprzeczną deformację kabla – w niej odbija się impuls generowany przez TDR. Analizując kształt fali odbitego impulsu można określić głębokość rozmycia. Wyerodowanie następnego kołnierza czyni system nieużytecznym.

Ostatnio opracowano w systemie TDR innowacyjną sondę taśmową, którą cechuje czułość, dokładność i odpor-

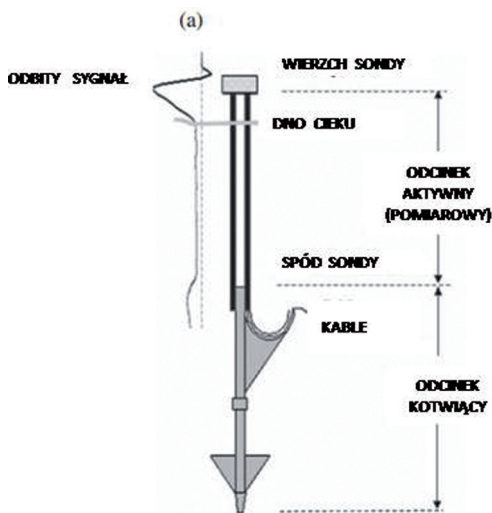
ność na działanie szczątków niesionych przez wodę. Jest umieszczana w otworze wywierconym w dnie cieku. Elementami sondy są dwie taśmy metalowe ze stali wysokowęglowej, każda szerokości 12,7 mm i grubości 0,254 mm. Są przedzielone dwumilimetrową warstwą teflonu. Aby zapewnić sztywność i wytrzymałość sondy, taśmy są umieszczone w ceowniku z włókna szklanego o wymiarach 50 × 14 × 3,2 mm i przymocowane do niego taśmą klejącą. Oporność właściwa sondy w powietrzu wynosi blisko 50 omów, stała dielektryczna taśmy klejącej – około 3,0, teflonu 2,1, powietrzna 1,0, włókna szklanego 6. Potencjał elektryczny w środku taśmy ma wartość 1 V, a na zewnątrz taśm – wartość -1V. Indukcja elektryczna wynosi 0. Pole elektryczne sondy zanurzonej w wodzie jest określane metodą elementów skończonych.

Reflektometr optyczny czasu przebiegu impulsu energii światła (OTDR – *Optical Time Domain Reflectometers*) wykorzystuje światłowód. Dotychczas światłowody stosowano do wieloletnich pomiarów odkształceń konstrukcji głównie z betonu sprężonego. Do monitorowania rozmyć dostosował reflektometry optyczne Korpus Inżynierów Armii Stanów Zjednoczonych. Dolny odcinek światłowodowego czujnika rozmyć, zakończony rodzajem martwej kotwicy i ewentualnie balastem, osadzany jest w dnie cieku do głębokości większej niż prognozowane maksymalne rozmycie (rys. 18).

Górny odcinek światłowodu jest w wodzie. Z górnym jego końcem jest połączony zespół optoelektroniczny, który generuje w światłowodzie cyklicznie impulsy światła, odbiera impulsy odbite od nierówności ścian światłowodu, określa czas obiegu impulsów i na tej podstawie oblicza głębokość, na której nastąpiło odbicie. Impuls odbija się w miejscu kon-



Rys.17. Schemat przepływu danych monitorowania rozmycia reflektometrem (TDR) z miejsca badania do internetu, według [6]



Rys. 18. Reflektometr optyczny czasu przebiegu impulsu energii światła (OTDR) opracowany przez Korpus Inżynierów Armii Stanów Zjednoczonych, według [13]

taktu wody z dnem, gdzie występuje odkształcenie światłowodu. Zespół optoelektroniczny przekazuje dane do systemu przetwarzania, analizy i ekspozycji. Światłowód jest w elastycznej osłonie z miękkiego tworzywa. Wzdłuż światłowodu, wewnątrz osłony, znajduje się induktor umożliwiający

powstawanie mikrowgłębi mających postać poprzecznych grzbietów. Od nich odbija się impuls światła.

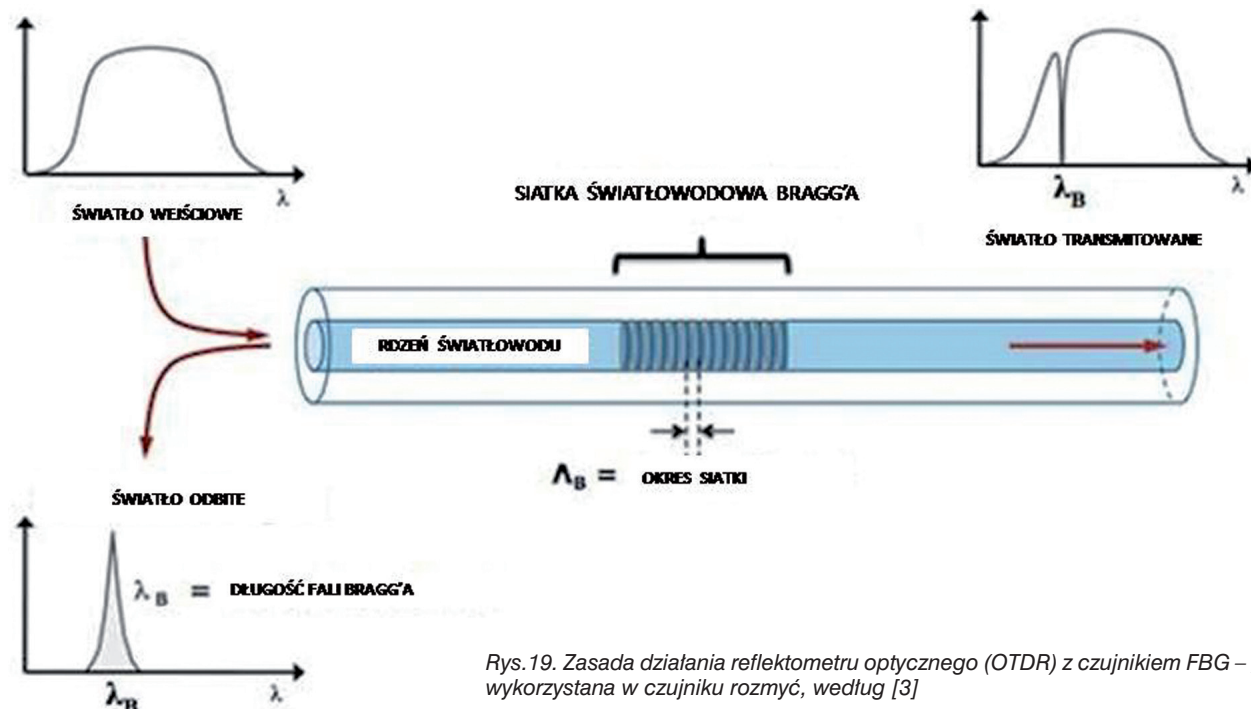
Zaletą OTDR jest niezależność od rodzaju gruntów w dnie cieku. Tej cechy nie mają reflektometry elektromagnetyczne – w niektórych gruntach, zwłaszcza ilastych, występuje silne tłumienie i osłabianie odbitych impulsów – wtedy system TDR ich nie wyczuwa.

Oprócz wymienionych rodzajów urządzeń monitorowania rozmyć bywają stosowane m.in.:

- czujniki z piezoelektryczną błoną filmową, która zamienia deformację czujnika w sygnał elektryczny; czujnik zasypany w dnie (nieruchomy) nie generuje sygnału do reflektometru TDR; po odsłonięciu przez erozję jest poruszany przez płynącą wodę, co powoduje wysłanie sygnału;
- czujnik światłowodowy zawierający siatkę/filtr Bragga, rys. 19 (FBG – *Fiber Bragg Grating*); siatka działa jak selektywne zwierciadło/filtr optyczny – odbija światło o określonej długości fali; pojedynczy światłowód z siatką Bragga jest zainstalowany wzdłuż pręta wbitego w dno cieku i wystającego nad dno; przepływająca woda wygina wystający odcinek; pogłębienie dna przez rozmycie zwiększa długość i wygięcie tego odcinka, co obniża poziom odbicia światła od siatki Bragga – wykrywa to czujnik FBG; na tej podstawie określana jest aktualna głębokość dna.

Z doświadczeń amerykańskich (mają ich najwięcej) wynika, że urządzenia monitorujące rozmycia powinny cechować:

- dokładność działania,
- niezawodność i trwałość,
- odporność na uszkodzenia,
- proste zasady działania i kalibracji,
- łatwość instalowania i obsługi,
- minimalne serwisowanie,
- przydatność do różnych rodzajów mostów,
- możliwość pomiaru także parametrów hydraulicznych cieku i stanu konstrukcji mostu,
- efektywność ekonomiczna.



Rys. 19. Zasada działania reflektometru optycznego (OTDR) z czujnikiem FBG – „siatką Bragga”, wykorzystana w czujniku rozmyć, według [3]

Koszty monitorowania rozmyć

Ważnym czynnikiem wyboru systemu monitorowania rozmyć są koszty. Koszty przyrządów można łatwo ustalić u dostawców, natomiast instalacji i obsługi – trudno, gdyż zależą od warunków miejscowych i ilości zbieranych danych. Pogląd na temat relacji kosztów niektórych przyrządów do monitorowania w Stanach Zjednoczonych dają tabele 6 i 7. Zawierają informacje orientacyjne, gdyż w praktyce koszty zależą od unikatowej specyfiki warunków miejscowych.

Tabela 6. Szacunkowe koszty przyrządów przenośnych w Stanach Zjednoczonych, według [11]

Rodzaje przyrządów	Koszt przyrządu w USD	Koszt operowania
Sondy obsługiwane ręcznie	<500	Zmienny; ze względów bezpieczeństwa zespołu minimum 2-osobowego
Sonary przenośne	rybacki – 500 mierzący – ± 15.000	Zmienny; ze względów bezpieczeństwa zespołu minimum 2-osobowego
Tradycyjnej geodezji lądowej	± 10.000	Zespołu 2-, 3-osobowego
GPS	o dokładności < 1 m – 5000, centymetrowej – 20.000	Zespołu 1-, 2-osobowego

Koszt systemu monitorowania obejmuje: podstawowe oprzyrządowanie monitorujące rozmycia, rejestrator danych, elementy montażowe (śruby kotwiące, konstrukcje podpierające itp.), przewody i źródło energii. Na koszty instalowania, utrzymania i napraw urządzeń monitorowania mogą bardzo wpływać różne czynniki. Oprzyrządowanie dużych mostów przez głębokie cieki jest kosztowniejsze niż małych przez okresowe lub płytkie cieki. Koszty instalacji monitorowania zwiększają: skomplikowana geometria filarów, duża wyso-

Tabela 7. Szacunkowe koszty przyrządów stałych w Stanach Zjednoczonych, według [11]

Rodzaj przyrządu	Koszt przyrządu o zdalnej technologii [USD] ⁽¹⁾	Koszt każdego dodatkowego przyrządu [USD]	Koszt instalowania	Koszty obsługi/utrzymania
Sonda tyczkowa	7.500 – 10.000	7.500 – 10.000	średni; instalacja minimum 5 osobodni	duży
Obniżający się pierścień magnetyczny/radioaktywny	13.000 – 15.000	10.500 – 12.500	średni; instalacja minimum 5 osobodni	umiarkowany
Czujniki erozji	10.100 – 10.600	1.100 – 1.600	średni; zależy od liczby instalowanych czujników	mały
Sonar	12.000 – 18.000	10.000 – 15.500	średni do dużego; instalacja 2–5 osobodni	średni do dużego
Czujnik nachylenia	10.000 – 11.000	8.000 – 9.000	mały	mały
Reflektometr (TDR)	5.500 – 21.700	500	mały	średni

⁽¹⁾ Koszt przypadający na przyrząd zmniejsza się z liczbą przyrządów obsługiwanych przez stacje zdalne i/lub stacje główne.

kość pomostu nad wodą, długość przewodów elektrycznych, stosowanie w podwodnych elementach instalacji materiałów trwałych, transmisja danych przez satelitę i internet, zamykanie pasa ruchu lub mostu, korzystanie ze sprzętu udostępniającego miejsca instalowania oprzyrządowania (jednostki pływającej, pojazdu inspekcyjnego) oraz zatrudnienie zespołów wiertniczych i nurkowych. Koszty zależą także od liczebności i doświadczenia personelu instalującego oprzyrządowanie i od wymagań instalacyjnych.

Koszty monitorowania można zminimalizować ograniczając przyjazdy do mostu, tzn. przez zastosowanie w systemach stałego oprzyrządowania zdalnego przekazywania danych. Chociaż zwiększa to początkowe nakłady, to znacznie zmniejsza koszty długotrwałego uzyskiwania danych. Pobieranie ich w miejscu mostu wymaga bowiem przyjazdu zespołu ludzi, zapewnienia im bezpiecznego dostępu do rejestratorów danych (często zamknięcia pasa ruchu lub mostu), użycia łodzi lub pojazdu inspekcyjnego. Zdalne przekazywanie danych zwiększa bezpieczeństwo ruchu publicznego oraz umożliwia uzyskiwanie danych z monitorowania w realnym czasie występowania powodzi i nawałnic, a przez to wcześniejsze wykrywanie zagrożeń.

Podsumowanie

1. Monitorowanie koryt cieków przy mostach narażonych na rozmycia jest warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa ruchu publicznego. Jeżeli nie jest prowadzone systematyczne monitorowanie przyrządami przenośnymi lub zainstalowanymi na stałe, to odpowiedzialność za skutki katastrofy spowodowanej rozmyciem ponosi administrator mostu.

2. Instrumenty przenośne zalecane są wtedy, gdy monitorowanie ma obejmować duży obszar dna cieku i/lub przy wielu mostach. Instrumenty przenośne umożliwiają łatwe przystosowanie (elastyczność) i szybkie zastosowanie monitorowania.

Jednak, jeżeli powinno mieć duży zakres, to zbieranie danych instrumentami przenośnymi jest pracochłonne i kosztowne. Ponadto, monitorowanie przenośnymi instrumentami może wymagać użycia specjalnych urządzeń doprowadzających te instrumenty do miejsc pomiaru głębokości cieku.

3. Instrumenty stałe powinny być stosowane wtedy, gdy jest wymagane ciągłe monitorowanie rozmyć dna, także w czasie powodzi. Należy uwzględnić, że miejsce maksymalnego rozmycia może się zmienić i znaleźć poza zasięgiem instrumentu monitorującego. Zmiana bywa związana z warunkami geomorficznymi koryta cieku, bywa następstwem błędnego wyboru miejsca zainstalowania instrumentu, mogą ją spowodować zmiany koryta cieku z upływem czasu.

4. W artykule scharakteryzowano podstawowe przyrządy stosowane do monitorowania rozmyć. Jest ich jednak

więcej i stale pojawiają się nowe, wykorzystujące rozmaite zjawiska fizyczne. Systemy monitorowania rozmyć stanowią atrakcyjną dziedzinę dla inwencji twórczej.

Bibliografia

- [1] F. Ansari, *Simple Cost-Effective Scour Sensor*. Research Report. Illinois Center for Transportation, Illinois, 2010
- [2] Y. Dong, R. Song, H. Liu, *Bridge Structural Health Monitoring and Deterioration Detection – Synthesis of Knowledge and Technology*. Final Report. Fairbanks, 2010
- [3] K. Garret, *Solve sensing challenges with optical sensor*. Electrical Design News, Nov. 2012
- [4] B.C. Gerwick Jr.: *Construction of Marine and Offshore Structures*. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, 2007
- [5] A. Jarominiak, A. Rosset, *Katastrofy i awarie mostów*, WKŁ, Warszawa 1986
- [6] D.E. Kosnik, *Internet-Enabled Remote Monitoring of Civil Infrastructure with TDR*. Purdue University, West Lafayette, 2006
- [7] B.W. Melville, S.E. Coleman: *Bridge Scour. Water Resources Publications*, LLC, Highlands Ranch, US, 2000
- [8] D.S. Mueller, M.N. Landers, *Portable Instrumentation for Real-Time Measurement of Scour Bridge*. FHWA-RD-99-085. George Pike McLean. 1999
- [9] H. Nassif, A.O. Ertekin, J. Davis, *Evaluation of Bridge Scour Monitoring Methods*. FHWA-NJ-2003-009, 2002
- [10] J.D. Schall, G.R. Price, *Portable Scour Monitoring Equipment*. NCHRP Report 515. Transport Research Board of the National Academies, 2004
- [11] *Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures Experience, Selection and Design Guidance*. Third Edition. FHWA – NHI – 09-111. HEC 23, 2009
- [12] *Monitoring Scour Critical Bridges*. NCHRP Synthesis 396. Transportation Research Board of National Academies. N.York, 2009
- [13] NCHRP Synthesis 396. *Monitoring Scour Critical Bridges*. Transportation Research Board of National Academies. N. York, 2009
- [14] *Compendium of Papers ASCE Water Resources Engineering Conference 1991–1998*. Reston 1998:
 - a. R. Ettema, B.W. Melville, B. Barkdoll: *Pier Width and Local Scour Depth. Stream Stability and Scour at Highway Bridges*. Compendium of Papers ASCE Water Resources Engineering Conferences 1991-1998. Edited by E.V. Richardson and P.F. Lagasse. ASCE, Fort Collins, 1998.
 - b. P.F. Lagasse, E.V. Richardson, J.D. Schall, J.R. Richardson, G.R. Price: *Fixed Instrumentation for Monitoring Scour at Bridges*. Stream Stability and Scour at Highway Bridges.
 - c. D.S. Mueller, M.N. Landers: *Detailed Field Measurement of Scour Processes During Floods*.
 - d. A.C. Parola, D.J. Hagerty, D.S. Mueller, B.W. Melville, G. Parker, J.S. Usher: *The Need for Research on Scour at Bridge Crossings*. Stream Stability and Scour at Highway Bridges.
 - e. G. Placzek, F.P. Heani, R. Trent: *Using Geophysical Data to Assess Scour Development*.
- [15] US Patent 6526189. Scour sensor assembly 06/13/2001 ■

Informacja o Normie Europejskiej EN 13808

W dniu 8 maja 2013 r. Komitet Techniczny CEN/TC 336 *Bituminous binders* zatwierdził nowe wydanie normy EN 13808:2013 „**Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Zasady klasyfikacji kationowych emulsji asfaltowych**”, która w istotny sposób zmienia zasady klasyfikacji kationowych emulsji asfaltowych.

W czerwcu 2011 r. na 21 posiedzeniu Podkomitetu ds. Asfaltów została powołana Grupa Robocza, której zadaniem było opracowanie Załącznika krajowego NA, zawierającego wymagania dla kationowych emulsji asfaltowych, dostosowanego do wymagań zapisanych w prEN 13808:2011.

Przewodniczącym Grupy Roboczej został Paweł Czajkowski z LOTOS Asfalt. W skład Grupy Roboczej wchodzili przedstawiciele producentów asfaltów, emulsji asfaltowych, instytucji badawczych oraz firm związanych z drogownictwem.

W wyniku pracy Grupy Roboczej powstał Załącznik krajowy, zawierający 9 rodzajów kationowych emulsji asfaltowych, podzielonych w zależności od rodzaju zastosowania.

W dniu 18 października 2013 r. Polski Komitet Normalizacyjny wprowadził metodą uznania Normę Europejską EN

13808:2013 jako Polską Normę **PN-EN 13808:2013-10E**. Norma ta została opublikowana wraz z opracowanym w Grupie Roboczej Załącznikiem krajowym NA.

W dniu 1 listopada 2013 r. ukazał się Komunikat Nr 5 **Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego w sprawie stosowania Polskich Norm wycofanych, jako dokumentów odniesienia w ocenie zgodności**, który ogłasza:

„Wykaz Polskich Norm wycofanych, których status pozostaje aktualny w procedurach oceny zgodności określonych w odpowiednich przepisach.

Utrata aktualności wymienionych Polskich Norm stosowanych w ocenie zgodności następuje w terminach podanych w ogłoszeniu.

Nadanie Polskim Normom wycofanym statusu aktualnych do stosowania w ocenie zgodności w określonym terminie nie narusza innych przepisów określających w sposób odmienny ten termin (np. daty domniemania zgodności w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej).”

W w/w komunikacie umieszczono (Sektor Chemii, str. 7) normę PN-EN 13808:2010, która wprowadzała Normę Europejską EN 13808:2005.

Norma PN-EN 13808:2010 w ocenie zgodności jest aktualna do 1 maja 2014 roku.

W 2014 roku norma **PN-EN 13808:2013-10E** będzie wydana w języku polskim. Treść normy wraz z Załącznikiem krajowym NA została opracowana przez Podkomitet ds. Asfaltów.

Kraków, 28.11.2013 r.
Sekretarz Podkomitetu ds. Asfaltów
Elżbieta Trzaska

Tabela: Wyciąg z Komunikatu Nr 5

PN wycofana	Tytuł PN	Data wycofania	Zastąpiona przez	Aktualna w ocenie zgodności do
Sektor Chemii				
PN-EN 13808:2010	Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Zasady klasyfikacji kationowych emulsji asfaltowych	2013-10-18	PN-EN 13808:2013-10E	2014-05-01