

Urządzenia Mechaniczne i Elektryczne – Zebrane Doświadczenia Problemy utrzymania w Raporcie Grupy Roboczej WG-138 PIANC

Dr inż. Ryszard A. Daniel

Ministerstwo Infrastruktury i Środowiska, Rijkswaterstaat, Holandia

Problemy utrzymania konstrukcji żeglugowych to zagadnienie o rosnącym znaczeniu dla dróg wodnych. Przyczyną wielu (o ile nie wszystkich) awarii i zakłóceń w pracy tych konstrukcji jest właśnie niewłaściwe lub niewystarczające ich utrzymanie. Praktyka dostarczyła i nadal dostarcza licznych doświadczeń

na tym polu. Świadomość tego będzie prawdopodobnie rosnąć w przyszłości, a to ze względu na:

- rosnącą liczbę konstrukcji żeglugowych,
- globalizację i wynikające z niej rosnące znaczenie niezawodnej i bezpiecznej żeglugi.

Dlatego doświadczeniom zebranym przy utrzymaniu konstrukcji żeglugowych była poświęcona znaczna część prac Grupy Roboczej WG-138 PIANC. Niniejszy artykuł przedstawia wybór najistotniejszych z tych doświadczeń. Autor prowadził ten temat w ramach prac Grupy Roboczej. Artykuł jest tłumaczeniem z języka angielskiego referatu przedstawionego przez autora na konferencji „Smart Rivers” w Liège i Maastricht we wrześniu 2013 roku [8, 9]. Konferencja ta zbiegła się w czasie z zakończeniem prac Grupy Roboczej i publikacją jej raportu [17]. Jego prezentacja miała miejsce na specjalnie ku temu zorganizowanej sesji.

KRYTERIA WYBORU STRATEGII UTRZYMANIA

Istnieją różne strategie utrzymania (o czym w następnym paragrafie), zatem należy szukać strategii dającej najlepsze wyniki dla konkretnej konstrukcji lub grupy konstrukcji. Pojawia się wówczas pytanie, jak określić, co jest „najlepsze”, tzn., według jakich kryteriów mierzyć i oceniać wspomniane strategie. Wiele przemawia za tym, by podejść do tego pytania w sposób przejrzysty i systematyczny (tzn. nie intuicyjny). Nowoczesne zarządzanie oferuje szereg instrumentów takiego podejścia, jak np.:

- metody **LCO** (*Life Cycle Optimization*), czyli Optymalizacji Cyklu Użytkowania;
- wartościowanie metodyką **RAMS** [1], zorientowaną na Niezawodność (*Reliability*), Dostępność (*Availability*), Utrzymanie (*Maintainability*) i Bezpieczeństwo (*Safety*);
- metody **AM** (*Asset Management*), czyli Zarządzania Zasobami lub – w ekonomicznym znaczeniu – Aktywami, np. [14].
- **RM, RISMAN** (*Risk Management*), czyli różne metody Zarządzania Ryzykiem.

W każdym z tych i podobnych instrumentów główny nacisk leży na coraz to innym kryterium lub grupie kryteriów. W wymienionych instrumentach są to odpowiednio: środowisko naturalne, cztery kryteria RAMS, finanse, możliwości kontroli. Zależnie od definicji kryterium te obejmują też szerszy lub węższy zakres aspektów. Najbardziej przydatne w wyborze strategii utrzymania wydają się być kryteria RAMS Rijkswaterstaat'u, uzupełnione o Środowisko **E** (*Environment*) i Koszty **C** (*Costs*), a więc **RAMSEC**:

- Niezawodność (*Reliability*),
- Dostępność (*Availability*),
- Utrzymanie (*Maintainability*),
- Bezpieczeństwo (*Safety*),
- Środowisko (*Environment*),
- Koszty (*Costs*).

Inne wymieniane czasem w literaturze kryteria, to np.: *Politics*, *Local economy*, *Aesthetics*. Ich uwzględnienie zależy od znaczenia w miejscowych warunkach.

Zakresy proponowanych kryteriów:

Niezawodność: Przez niezawodność rozumiemy niezawodność samej konstrukcji wodnej lub w każdym razie tych jej elementów, których działanie zależy od utrzymania. Niezawodnością nazywamy prawdopodobieństwo, że konstrukcja spełni

wymaganą funkcję w określonych warunkach i w określonym przedziale czasu. Np. hydrauliczny układ napędowy, który ulega awarii, jeśli co roku nie wymienimy w nim uszczelek, jest wysoce niezawodny, o ile wymiana tych uszczelek jest objęta programem utrzymania. Wprawdzie żadaną niezawodność podaje się zwykle w tzw. „twardych” wymaganiach projektowych, jednak pozostaje ona również kryterium oceny ze względu na swój probabilistyczny charakter.

Dostępność: Również dostępność odnosi się do konstrukcji wodnej w całości. Nie chodzi więc o dostęp ekip utrzymania ruchu do jej podzespołów, gdyż ta sprawa podlega kryterium utrzymania. Tu przedmiotem troski jest to, by konstrukcja była jak najdłużej dostępna dla żeglugi, ochrony przeciwpowodziowej czy też jakiegokolwiek innego celu, któremu ona służy. Istnieje zawiła, probabilistyczna oraz prosta, deterministyczna definicja dostępności. Oto druga: Dostępność to stosunek czasu, w którym konstrukcja spełnia żadaną funkcję do całego okresu żywotności (*life cycle*) konstrukcji. Np. śluza, która wymaga długich lub częstych remontów wrót, jest konstrukcją o słabej dostępności.

Utrzymanie: Punktami odniesienia kryterium utrzymania są głównie: ilość, złożoność i czasochłonność prac utrzymania ruchu (tak planowych, jak nieprzewidzianych) oraz dostęp do podzespołów wymagających tych prac. Również to kryterium można zdefiniować w sposób prosty, deterministyczny lub złożony, probabilistyczny. Oto pierwsza z tych definicji: Kryterium utrzymania to miara pewności, że prace wymagane w celu zapewnienia odpowiedniego działania konstrukcji będą wykonane zgodnie z planem. Wysoką ocenę w tym kryterium zapewniają m.in. takie środki, jak: obecność części zamiennych w pobliżu konstrukcji, drabiny i pomosty robocze, „uszy” dla zawiesi dźwigów itp.

Bezpieczeństwo: Grupa Robocza przyjęła definicję bezpieczeństwa z metodyki RAMS: Bezpieczeństwo jest miarą tego, w jakim stopniu wyeliminowano zagrożenie dla człowieka. Istotne w kryterium bezpieczeństwa są tylko fizyczne lub psychiczne uszkodzenia zdrowia lub inne zagrożenia dla ludzi. Zagrożenia innego rodzaju, np. dla środowiska, mienia, zwierząt itp. nie są rozpatrywane. Powinny one jednak, o ile występują, znaleźć miejsce w ocenach innych kryteriów. Nie zapominajmy też, że przedmiotem uwagi jest w naszym przypadku bezpieczeństwo związane z pracami utrzymania ruchu, a nie np. żeglugi w ogólności.

Środowisko: Znaczenie aspektów ochrony środowiska przy wyborze strategii utrzymania jest bezsporne. Kryterium środowiska wyraża stopień, w jakim prace utrzymania ruchu (bezpośrednio na obiekcie lub pośrednio, np. w warsztatach) oraz użyte materiały są „przyjazne środowisku”. Preferowane będą prace niestwarzające (ryzyka) zanieczyszczenia, mające neutralny lub pozytywny wpływ na faunę, nisko-energochłonne itd. Zakres tego kryterium można w razie potrzeby rozszerzyć tak, by obejmowało ono np. także estetykę i inne lokalne aspekty prowadzonych prac.

Koszty: Wybór odpowiedniej strategii utrzymania jest praktycznie niemożliwy bez uwzględnienia jej kosztów. Niskie koszty zawsze będą preferowane. Najbardziej powszechna jest praktyka uwzględniania przy wyborze tylko tych kosztów, które ponosi jednostka administrująca drogą wodną. Ewentualne koszty ponoszone przez inne strony powinny wtedy znaleźć

wyraz w innych kryteriach, np. koszty ograniczeń i zakłóceń żeglugi podczas robót – w kryterium dostępności. Można jednak – za wzajemnym porozumieniem – odstąpić od tej zasady i rozpatrywać także koszty innych zainteresowanych, jeśli okaże się to wygodniejsze.

Kryteria wyboru strategii utrzymania nie są – i nie mogą być – zbyt sztywne, gdyż istnieje duże zróżnicowanie lokalnych wymagań, priorytetów, technologii, ekonomicznych i innych uwarunkowań. Doświadczenia zebrane w tym zakresie dają się ująć w skrócie następująco:

Inżynier znajduje się często na rozdrożu między pragnieniem stosowania obiektywnych, wymiernych i dobrze wyważonych kryteriów wyboru a potrzebą przyjęcia budżetowych, administracyjnych lub innych preferencji klienta. W tej sprawie nie jest łatwo o jednoznaczną radę. Za każdą z tych dróg przemawiają zwykle istotne argumenty.

Ewentualne kompromisy, co do obiektywizmu i równowagi ocen, nie powinny jednak być przyjmowane bez oporu. Ważne jest, aby klient (zlecniodawca) zdawał sobie w pełni sprawę z długoterminowych kosztów i innych skutków swych preferencji.

Niezależnie od przyjętych kryteriów wyboru zaleca się, aby cała analiza prowadzona była w sposób rzeczowy, wymierny i przejrzysty. Daje to wszystkim zainteresowanym stronom możliwość ocen własnych stanowisk w przyszłości i wyciągnięcia wniosków.

STRATEGIE – OGÓLNA OCENA

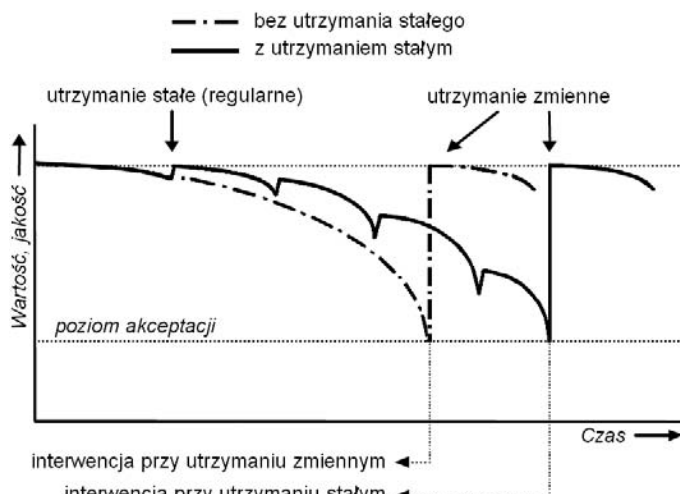
Praktykowane strategie utrzymania można ogólnie podzielić na trzy grupy:

- utrzymanie korekcyjne („*fix as fail*” = zreperuj po defekcie)
- utrzymanie prewencyjne („*change before fail*” = wymień przed defektem)
- utrzymanie mieszane i inne.

W terminologii zarządzania zasobami, czyli tzw. „*asset management*” [10], zakłada się, że utrzymanie korekcyjne ma charakter zmienny, a utrzymanie prewencyjne ma charakter stały, regularny. Jest to uproszczenie, gdyż niektóre prace korekcyjne (np. wymiana pewnych części po ich defekcie) można opóźnić i prowadzić w sposób regularny. Na ogół jednak można takie założenie przyjąć.

Zasadniczy podział na utrzymanie korekcyjne i prewencyjne, jak również definicje obydwu stanowią tu pewien kompromis wśród członków Grupy Roboczej. Niektórzy specjaliści, np. z St. Lawrence Seaway w Kanadzie, rozróżniali również „utrzymanie przewidywane” jako oddzielną grupę. Niektórzy inni woleliby za punkt wyjścia przyjąć utrzymanie „planowane” i „nieplanowane”. Jeszcze inni określali utrzymanie korekcyjne i prewencyjne nieco inaczej. Ponieważ czytelnicy mogą mieć również różne zdania w tej materii, warto mieć na uwadze przyjęte definicje przy lekturze niniejszego artykułu.

Ogólne zależności między strategiami utrzymania a okresem użyteczności (*service life*) przedstawiono na rys. 1. Szczegółowy ich opis można znaleźć w literaturze. Obecnie skoncentrujemy się na ich ocenie w świetle doświadczeń z konstrukcjami żegludowymi w ostatnich dziesięcioleciach.



Rys. 1. Zależność wartości obiektu od strategii utrzymania

Utrzymanie korekcyjne

Definicja „*fix as fail*” utrzymania korekcyjnego spowodowała sporo dyskusji. Okazuje się, że w obiegu są również inne definicje. Głównym punktem dyskusji było określenie, czym jest „*failure*” (defekt, awaria). Do dalszych prac Grupa Robocza przyjęła następujące określenie tego terminu: Dana część lub podzespół ulega awarii, gdy przestaje spełniać wymagania określone w dokumentacji technicznej. To niekoniecznie musi oznaczać, że część ta „nie działa”, tzn., że nie jest w stanie spełniać swej głównej funkcji. Silnik, który drga i powoduje hałas przekraczający poziom podany w dokumentacji, uległ awarii, mimo że jest on jeszcze w stanie napędzać urządzenie. Awaria ta jest sygnałem, że silnik należy wymienić, chociaż właściciel urządzenia może tę akcję opóźnić. Awaria podzespołu niekoniecznie więc oznacza koniec jego pracy.

Znane powiedzenie „Lepiej zapobiegać niż leczyć” nie zawsze stosuje się do konstrukcji żegludowych. Ogólnie rzecz biorąc, niesłuszny jest pogląd, że utrzymanie korekcyjne jest z definicji gorsze od prewencyjnego. Utrzymanie korekcyjne („*fix as fail*”) może być ekonomicznie lub operacyjnie korzystniejsze, gdy spełnione są następujące warunki:

- administrator drogi wodnej posiada lub zakontraktował silną, wysoko wykwalifikowaną służbę utrzymania,
- prowadzi się wystarczające zapasy części i materiałów zamiennych,
- awaria danej części lub podzespołu nie stwarza od razu sytuacji zagrożenia,
- awaria ma taki charakter, że naprawę lub wymianę można przeprowadzić szybko, przy możliwym do przyjęcia wyłączeniu z żeglugi lub ograniczeniu innej funkcji obiektu.

Doświadczenia zebrane w krajach reprezentowanych w Grupie Roboczej pozwalają na wytyczenie orientacyjnych ram i wskaźników dla utrzymania korekcyjnego. Wymienienie ich wszystkich wychodzi poza zakres raportu Grupy. Najogólniejsze z nich brzmią następująco:

- 1) Jeżeli awaria lub jej reperacja wyłącza z użytku główną funkcję konstrukcji (np. przerwa w żegludze), okres nie-

dostępności tej funkcji nie powinien przekraczać orientacyjnie:

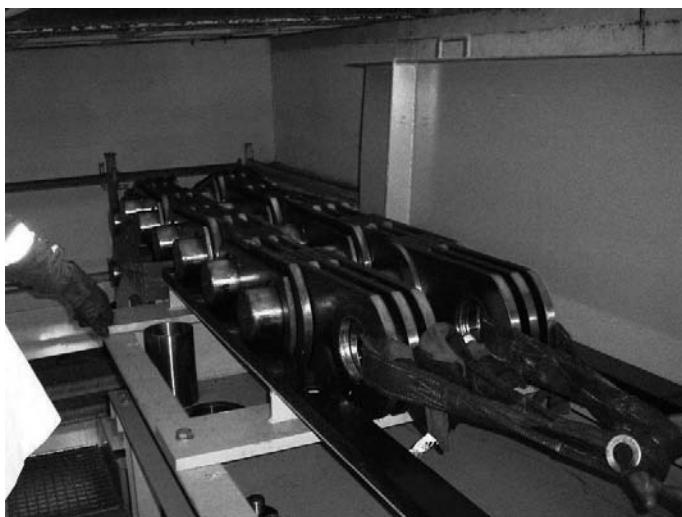
- 1 godziny na intensywnie uczęszczanych drogach wodnych;
- 6 godzin na sporadycznie uczęszczanych drogach wodnych.

2) Najbardziej efektywnym i zalecanym podejściem utrzymania korekcyjnego jest zwykle:

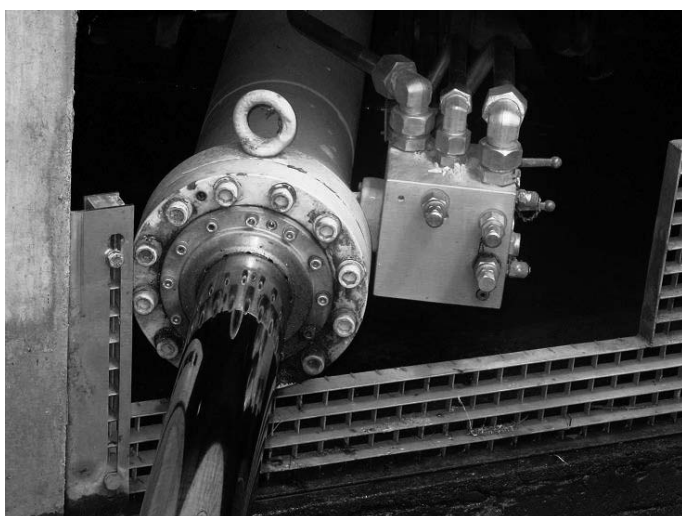
- wymiana uszkodzonego podzespołu;
- zawieszenie go do warsztatu i tam reperacja.

Reperowanie podzespołu lub części na obiekcie jest zwykle niezalecane.

3) W przypadku, gdy wspomniany cykl trudno jest zastosować (np. przy dużych wymiarach lub skomplikowanym montażu podzespołu), należy zapewnić warunki do reperacji lub usprawnienia podzespołu na miejscu. Przykładem jest tu stół rewizyjno-smarowniczy łańcuchów nośnych jazu Lith na Mozie w Holandii (rys. 2). Genezę i szczegóły tego urządzenia można znaleźć w literaturze [5, 6].



Rys. 2. Stół rewizyjno-smarowniczy łańcuchów nośnych jazu, Holandia



Rys. 3. Standardowy rozgałęźnik hydrauliczny przy silowniku napędowym wrót śluzy, Niemcy

4) Konsekwencją wspomnianego podejścia jest zalecenie, by wszystkie mechaniczne i elektryczne podzespoły były konstruowane w łatwo wymienialnych modułach. Przykład takiego modułu stanowi standardowy rozgałęźnik hydraulicznego napędu wrót śluzy w południowych Niemczech (rys. 3).

5) Utrzymanie korekcyjne jest, ogólnie rzecz biorąc, bardziej zalecane przy podzespołach, których defekt nie powoduje awarii całego układu. Podzespoły, których funkcjonowanie jest nieodłączne w działaniu całego układu, należy raczej utrzymywać prewencyjnie.

6) W przypadku utrzymania korekcyjnego jest rzeczą zasadniczej wagi, aby zakłócenia lub defekty podzespołów były wykrywane szybko. Prowadzenie częstych przeglądów oraz instalowanie urządzeń detekcyjnych (czujników) jest więc potrzebą pilniejszą, niż w przypadku utrzymania prewencyjnego.

Utrzymanie prewencyjne

Definicja utrzymania prewencyjnego jako „*change before fail*” była początkowo również źródłem dyskusji. Okazało się, że i inne definicje są stosowane. Dla celów raportu Grupy przyjęto następującą interpretację terminu „utrzymanie prewencyjne”: Zasadniczą cechą tej strategii utrzymania jest to, że podzespoły są wymieniane (lub usprawniane, dopasowywane, dostrajane itp.) zanim ulegną awarii („*failure*”). Samo pojęcie awarii jest tak samo definiowane, jak w przypadku utrzymania korekcyjnego. Zatem silnik z podanego wyżej przykładu powinien w utrzymaniu prewencyjnym być wymieniony, zanim jego drgania i hałas pracy przekroczą określony w dokumentacji limit. Powodem takiego podejścia może być: upływający okres obsługi gwarantowany przez dostawcę, przewidywany na podstawie pomiarów wzrost poziomu drgań, okresowe wstrzymanie żegluga dla prac utrzymania itp.

Utrzymanie prewencyjne będzie zwykle preferowane, gdy zajdzie jedna lub więcej z wymienionych okoliczności:

- 1) Administrator obiektu nie dysponuje służbą utrzymania zdolną usunąć awarię lub zakłócenie w krótkim czasie.

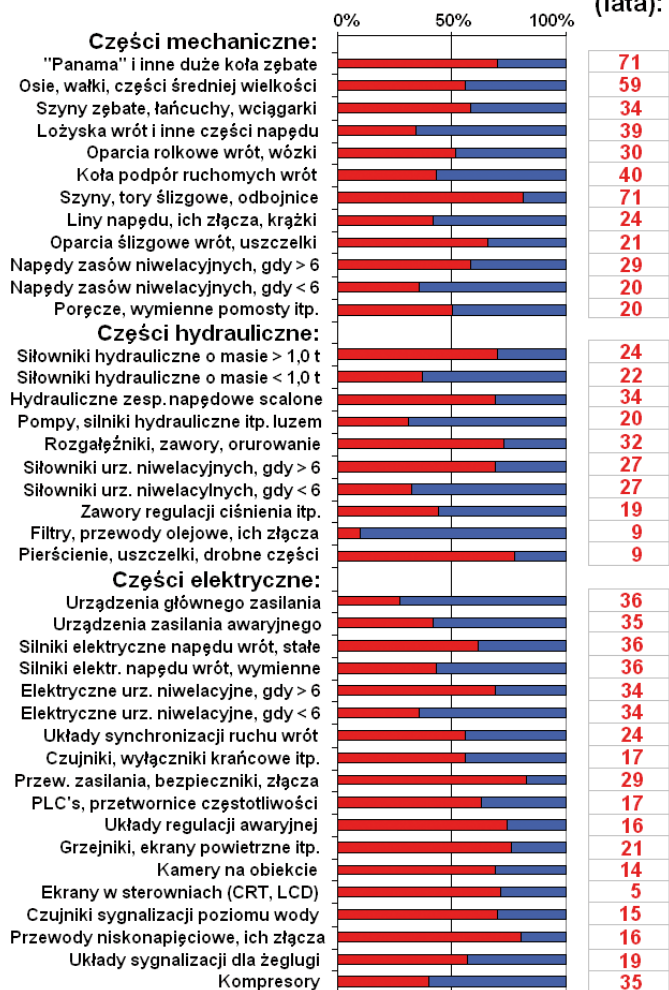


Rys. 4. Starta tuleja górnego łożyska (kulistego) wrót Śluz Orańskich w Amsterdamie

- 2) Przyjęto zasadę nieprowadzenia własnego składu zamiennych części i materiałów.
- 3) Awaria podzespołu stwarza natychmiastową sytuację zagrożenia, np. urządzenie napędowe współpracujące w przenoszeniu parcia wody [2, 4] lub łożysko przenoszące również ciężar wrót [19] (rys. 4).
- 4) Czas wykrycia i/lub usunięcia awarii jest zbyt długi i prowadzi do niedopuszczalnych przerw w funkcjonowaniu konstrukcji żegludowej.

Niełatwo jest wprowadzić jednoznaczny podział na podzespoły, których utrzymanie powinno mieć charakter korekcyjny (zmienny) i prewencyjny (regularny). Podział taki zależy również od szeregu lokalnych czynników, takich jak: warunki rynkowe, organizacja zarządu drogami wodnymi, miejscowe technologie, różnorodność konstrukcji i urządzeń żegludowych, środki transportu i odległości do pokonania przez ekipy utrzymania, lokalne preferencje itp. Grupa Robocza podjęła jednak próbę podania orientacyjnych wskazówek w tej sprawie w oparciu o praktykę w krajach jej członków (rys. 5). Miarą preferencji jest tu za każdym razem długość czerwonego i niebieskiego pasma reprezentującego odpowiednio utrzymanie korekcyjne i prewencyjne. Ze względu na to, że zebrane dane wykazywały pewne różnice, w raporcie podano wartości uśrednione.

Utrzymanie: ■ Korekcyjne, ■ Prewencyjne, Żywotność (lata):



Rys. 5. Strategie utrzymania podzespołów i części oraz ich żywotność

Zbierając powyższe dane, Grupa Robocza zaobserwowała dużą zbieżność strategii utrzymania praktykowanych w różnych krajach. Nieliczne przypadki niezgodności można było na ogół przypisać lokalnym „kątom widzenia” lub terminologii. Przykładem jest utrzymanie dużych (przeważnie odlewanych) części mechanicznych, jak koła przekładni zębatych. Członkowie Grupy byli w zasadzie zgodni, że części takich nie trzeba wymieniać zanim ulegną one awarii zgodnie z przyjętą wyżej definicją (tzn. przestaną spełniać warunki dokumentacji). Mimo to zdania co do odpowiedniej strategii utrzymania były różne, a mianowicie:

- członkowie amerykańscy wypowiadali się za utrzymaniem prewencyjnym, mając na uwadze potrzebę przeglądów, smarowania itp., a więc czynności o charakterze bezsprzecznie prewencyjnym,
- członkowie europejscy nie kwestionowali potrzeby tych czynności, ale za miarodajny uważali cykl pracy przekładni; skoro pracuje ona aż do awarii, to jej utrzymanie jest „fix as fail”, czyli korektywne.

Dlatego pierwsze dwie pozycje w wykazie na rys. 5 mogą być nieco mylące, gdyż wykaz ten zawiera wartości średnie. Zaleca się ich interpretację z uwzględnieniem podanego tu wyjaśnienia.

Wszystkie indywidualne (w znacznej mierze też krajowe) proporcje utrzymania korekcyjnego i prewencyjnego różnych podzespołów i części zestawiono w arkuszu obliczeniowym [18]. Oto najogólniejsze wnioski z tego zestawienia:

- 1) Nie daje się wyciągnąć żadnego wniosku co do przewagi jednej strategii utrzymania nad drugą w sensie ogólnym. Obydwie, tj. utrzymanie korekcyjne i prewencyjne, są szeroko stosowane.
- 2) Stosowane programy utrzymania zawierają elementy obu strategii (korekcyjnej i prewencyjnej) w odniesieniu do niemal wszystkich podzespołów i części.
- 3) Nie znaleziono potwierdzenia, że utrzymanie prewencyjne generalnie wydłuża żywotność (*service life*). Sprawa ta przedstawia się różnie dla różnych podzespołów.
- 4) Żywotność podzespołów i części mechanicznych jest nadal dłuższa niż hydraulicznych. Technologia napędów hydraulicznych ma tu wciąż dystans do nadgonienia.
- 5) Żywotność podzespołów i części elektrycznych nie jest – ku zdziwieniu ekspertów – wyraźnie najkrótsza z trzech rozpatrywanych grup. Wyróżnia się szczególnie długa żywotność silników elektrycznych w konstrukcjach żegludowych.

UTRZYMANIE SIŁAMI WŁASNYMI CZY ZLECONE?

W krajach reprezentowanych w Grupie Roboczej zaobserwowano różne modele organizacji utrzymania konstrukcji żegludowych. Podobne różnice można zauważyć także w innych krajach. Do przeciwnych poglądów na utrzymanie należały dwa następujące:

- 1) Samowystarczalność: Utrzymanie służących żegludzie obiektów ma olbrzymie znaczenie dla infrastruktury kraju. Dlatego powinno ono być prowadzone wewnętrznie, własnymi siłami instytucji administrującej drogi wodne.

- 2) Kontraktowanie: W gospodarkach korporacyjnych rolą administracji jest nie wypieranie rynku, lecz jego wspieranie. Należy dążyć do tego, by także utrzymanie obiektów żeglugowych odbywało się siłami przedsiębiorstw rynkowych.

Istniejące modele organizacyjne często reprezentują rodzaj kompromisu między obydwoma wspomnianymi poglądami.

Istnieją korzystne i niekorzystne doświadczenia z obydwoma wymienionymi podejściami. W niniejszym artykule podaje się jedynie ogólne wytyczne wyboru lepszego z nich dla konkretnej drogi wodnej, regionu czy innego obszaru. Grupa Robocza nie brała tu pod uwagę lokalnych politycznych uwarunkowań, choć i te mogą w praktyce współokreślać pole wyboru. Założono również, że zarząd i obsługa konstrukcji żeglugowych (np. śluz, jazów) pozostaje w rękach instytucji publicznych. Miało to bowiem miejsce we wszystkich krajach reprezentowanych w Grupie, chociaż w niektórych z nich sprawa ta była przedmiotem dyskusji.

Doświadczenia zebrane na konstrukcjach żeglugowych pozwalają na sformułowanie następujących ogólnych zaleceń:

- 1) Wybór między utrzymaniem siłami własnymi a jego kontraktowaniem mocno zależy od możliwości lokalnego rynku. W rejonach z wieloma odpowiednimi wysoko wykwalifikowanymi i ekonomicznie silnymi przedsiębiorstwami podzlecenie będzie częściej korzystniejsze. Na obszarach o słabszym rynku (mało przedsiębiorstw, niska specjalizacja itp.) wybór padnie częściej na utrzymanie siłami własnymi.
- 2) Powyższa zależność nie jest stała. Możliwości rynkowe zmieniają się, a postępująca globalizacja przyspiesza ten proces. Godna polecenia jest dlatego rewaluacja polityki utrzymania co kilka lat.
- 3) Drugim kryterium wpływającym na powyższy wybór jest rachunek kosztów. Liczą się tu zarówno koszty łączne, jak i relacje kosztów własnych i ponoszonych przez strony trzecie. Podjęte decyzje powinny także uwzględniać cenę innych, pośrednich korzyści utrzymania siłami własnymi oraz koszty szkolenia, treningów itp. personelu zewnętrznego. Wszystkie koszty należy oceniać w dłuższych przedziałach czasu, np. 5 ÷ 10 lat, tak by zniwelować wpływ okresowych skoków w całym okresie kontraktu.
- 4) Ważnym aspektem w omawianym wyborze jest także gospodarka wiedzą (*knowledge management*). Konstrukcje żeglugowe mogą mieć dość unikalny charakter, zależnie od regionu lub kraju. Dysponowanie wiedzą o nich może mieć zalety w określonych sytuacjach. Argument ten przemawia zwykle za utrzymaniem siłami własnymi.
- 5) Raz dokony wybór, niezależnie jaki on jest, nie powinien być zbyt często zmieniany. W interesie wszystkich zaangażowanych stron (rynek, żegluga, administracja i inne) leżą bowiem ustalone, jasne reguły i role w utrzymaniu obiektów. Częste zmiany podważają akceptację tych reguł, wprowadzają chaos i zagrożenia. Przykładem jest tu awaria przęsła Jazu Lith na Mozie (rys. 6), która nastąpiła w okresie przejścia między utrzymaniem własnym a wykonawcy zewnętrznego [5, 6]. Raz ustalonej organizacji utrzymania nie należy (poza drobnymi usprawnieniami) zmieniać przez około 10 lat.



Rys. 6. Awaria przęsła Jazu Lith na Mozie, Holandia

- 6) Powyższe nie powinno powstrzymywać rozwoju teorii utrzymania. Należy bowiem iść z czasem wraz z rozwojem rynku i przyspieszającymi ten rozwój procesami globalizacji. Zaleca się zatem przeprowadzać co kilka lat ocenę prowadzonej polityki utrzymania. Zasadnicze zmiany tej polityki należy jednak wprowadzać z mniejszą częstotliwością.
- 7) Ewentualną decyzję o kontraktowaniu można wprowadzić w życie w różnych zakresach i na różnych szczeblach. Grupa Robocza zaleca wprowadzanie kontraktowania fazami. Fazy takie mogą przykładowo obejmować kolejno:
 - dostawy materiałów i podzespołów, włącznie z ich instalacją i utrzymaniem przez dostawcę na obiekcie.
 - przeglądy (regularne i nieplanowane) włącznie z ocenami stanu technicznego, zaleceniami, próbami sprawności itp.
 - wszystkie prace utrzymania ruchu zgodnie z programem i specyfikacją klienta.
 - wszystkie prace utrzymania ruchu zgodnie z własnym programem i specyfikacją kontrahenta.
- 8) Ostatnia z wymienionych faz prowadzi do kontraktowania samej funkcjonalności obiektu (*performance based contracts*, PBC). Zarząd dróg wodnych nie prowadzi, nie nadzoruje ani nawet nie organizuje wtedy utrzymania. Jego wykonawcy nie rozliczają się już nawet z samych prac utrzymaniowych, lecz tylko z tego, czy obiekt nadal funkcjonuje należycie, np. czy śluza jest dostępna dla żeglugi, czy nie. Doświadczenie wskazuje, że fazy tej nie należy wprowadzać, zanim nie opanuje się zadowalająco fazy poprzednich.
- 9) Mimo to, kontraktowanie w systemie PBC może mieć zalety. Kontrakty takie angażują zwykle niewiele własnego personelu poza audytorami i menadżerami kontraktu. Wypada też optymalnie dobrać czas trwania kontraktu. Jeśli np. będzie on za krótki, wykonawca może zaniżać własne koszty i zwlekać z wykonaniem pewnych krytycznych robót, gdyż nie jest pewny, czy otrzyma kolejny kontrakt.

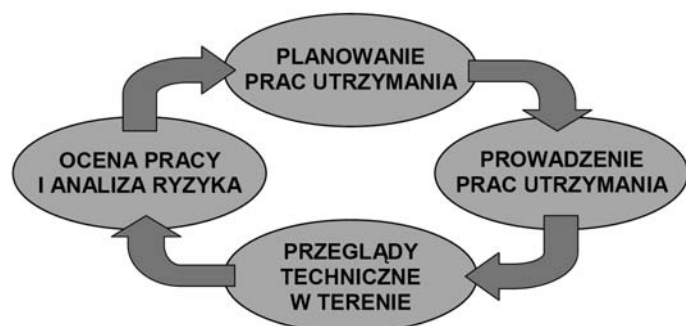
10) W następnym podrozdziale będzie pokazane (rys. 8), że znaczna część przerw działania jest powodowana zakłóceniami układów regulacji. Doświadczenia z terenu południowych Niemiec [11, 12] wskazują, że przyczynę tę można znacznie ograniczyć, gdy zarząd dróg wodnych programuje PLC's (*Programable Logic Controllers*) we własnym zakresie.

11) Kontraktując utrzymanie, trzeba mieć świadomość, że z drogi tej w pewnym momencie nie ma powrotu. Gdy specjalistyczne prace raz zostaną przekazane wykonawcy rynkowemu, trudno będzie odbudować własny wykwalifikowany personel do tych prac w przypadku zmiany polityki utrzymania ruchu. Jedną z przyczyn jest tu stosunkowa wyjątkowość i złożoność konstrukcji żeglugowych.

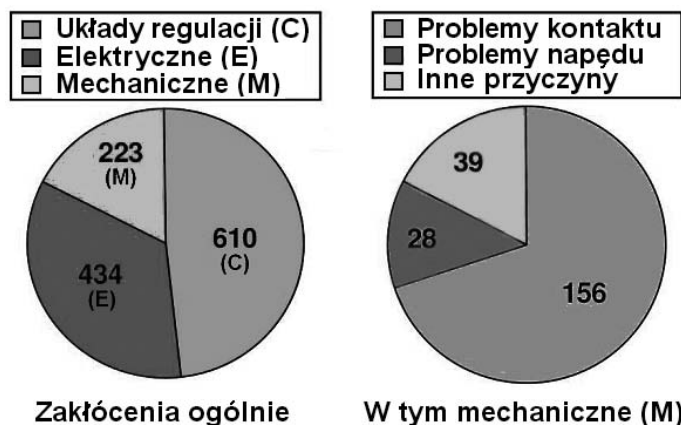
12) Kontraktowanie utrzymania nie zwalnia właściciela obiektu z obowiązku zapewnienia bezpiecznych warunków pracy dla załóg wykonawcy. Zależnie od okoliczności, takich jak: wysokość, dostęp, ciężar ręcznie przemieszczanych materiałów i narzędzi itp., należy zapewnić samemu lub zlecić zapewnienie odpowiednich warunków bezpieczeństwa.

MONITOROWANIE I PRZEGLĄDY STANU TECHNICZNEGO

Przeważająca część prac utrzymania ruchu (w szczególności całe utrzymanie zmienne) jest określana i planowana na podstawie raportów przeglądów technicznych. Przeglądy te są waż-



Rys. 7. Cykl systemu kontroli jakości w utrzymaniu



Zakłócenia ogólnie

W tym mechaniczne (M)

Rys. 8. Przyczyny wyłączeń z żeglugi na drogach wodnych w Limburgii

nym elementem każdego programu utrzymania. W systematyce kontroli jakości (*quality assurance*, QA) można to wyrazić za pomocą cyklu przedstawionego na rys. 7:

Nowoczesne utrzymanie jest sterowane ryzykiem. Oznacza to, że układom, podzespołom i poszczególnym ich częściom o zasadniczym znaczeniu w funkcjonowaniu całej konstrukcji żeglugowej poświęca się więcej uwagi niż układom, podzespołom i częściom o znaczeniu drugorzędym. Zasada ta odnosi się do utrzymania w ogólności, szczególnie jednak do monitorowania¹ i przeglądów stanu technicznego ze względu na znaczenie tych czynności w planowaniu zakresu i częstotliwości prac utrzymania. Doświadczenie wskazuje jednak, że praktyka odbiega czasem od tej zasady. Ocena ryzyka nie zawsze jest pierwszoplanową troską. Wypada zalecić zatem następujące sprawy:

- 1) Jest wysoce wskazane, by dobrać odpowiednie proporcje monitorowania (przeważnie automatycznego) i przeglądów w terenie (przeważnie przez człowieka). Najlepszą drogą oceny różnych możliwości na tym polu jest metodyka zarządzania ryzykiem.
- 2) Przykładem takiej metodyki jest OCA, *Operational Condition Assessment* (Operacyjna Ocena Stanu) – skomputeryzowany proces przeglądów wprowadzany w US Army Corps of Engineers². Jego celem jest ustanowienie jednolitych baz danych do zarządzania ryzykiem. Takie bazy danych pozwalają na wprowadzanie priorytetów w utrzymaniu np. w przypadku ograniczeń budżetowych.
- 3) Dobrym przewodnikiem technik monitorowania stanu technicznego jest dwujęzyczna (niemiecko-angielska) praca ekspertów NAMUR [15].
- 4) Automatyczne monitorowanie stanu technicznego jest przydatne do kontroli zarówno procesów normalnej pracy, jak i stanów awarii i zakłóceń. W tabl. 1 podano główne grupy parametrów, do regulacji których w większości przypadków można zastosować automatyczne monitorowanie.
- 5) Automatyczne monitorowanie stanu technicznego musi, oczywiście, być niezawodne i dobrze zrozumiałe dla personelu obiektu. To nie zawsze ma miejsce w praktyce. Np. wspomnianą już awarię przęsła Jazu Lith na Mozie (rys. 6) można częściowo przypisać ignorowaniu przez załogę automatycznych sygnałów przeciążenia, naciskaniu na klawisz „Reset” i kontynuowaniu podnoszenia przęsła.
- 6) Wszystkie przeglądy stanu technicznego i prace utrzymania ruchu należy raportować i w dostępny, przejrzysty sposób dokumentować. Nieprowadzenie dokumentacji tych prac jest działaniem nieodpowiedzialnym i powinno być stanowczo eliminowane. Grupa Robocza zaleca przechowywanie raportów z przeglądów i dokumentacji prac utrzymania (najlepiej w formie dygitalnej) wiecznie lub przez cały okres użytkowania urządzenia.
- 7) Programy utrzymania powinny, o ile to możliwe, być łączone z odpowiednim systemem zarządzania ryzykiem

¹ W języku polskim zaczyna przyjmować się termin „monitoring”, którego tu celowo jednak nie używamy.

² Korpus Inżynierii Armii USA, częściowo zmilitaryzowana instytucja zarządu i utrzymania dróg wodnych i konstrukcji hydrotechnicznych w Stanach Zjednoczonych.

Tabl. 1. Główne parametry i stany, do regulacji których stosuje się automatyczne monitorowanie

Czujniki kontroli normalnych procesów pracy przez PLC's:	
1.	Temperatura olejów hydraulicznych, silników elektrycznych, przetwornic częstotliwości
2.	Ciśnienie olejów hydraulicznych w charakterystycznych punktach układu, stan filtrów olejowych
3.	Droga ruchu wrót, zasuw, tłocznik silowników hydraulicznych itp., synchronizacja tego ruchu
4.	Czas ruchu wrót, zasuw, silników elektrycznych, silowników hydraulicznych, przekładni zębatych i innych głównych podzespołów
5.	Poziomy oleju hydraulicznego w zbiornikach
6.	Wyłączniki krańcowe, elektryczne sygnały punktów start-stop pracujących części, pomiary poziomu wody, napięcia prądu itp.
Czujniki wskazań stanów awarii i zakłóceń:	
1.	Przekroczenia temperatury pracy urządzeń mechanicznych i hydraulicznych
2.	Przekroczenia ciśnienia oleju w elementach układów hydraulicznych
3.	Zasięgi ruchu i czasy poszczególnych operacji wykraczające poza parametry normalnej pracy lub ich nie osiągające
4.	Nienormalne poziomy napięć i natężeń prądu w różnych punktach obwodu
5.	Przekroczenia obciążeń napędów mechanicznych
Bezpośrednia automatyczna sygnalizacja zakłóceń:	
1.	Awaryjne lub przerwy w zasilaniu głównym
2.	Defekty przewodów i złącz elektrycznych
3.	Awaryjne podzespoły elektryczne, jak PLC's, przetwornice częstotliwości, części z sygnalizacją przebiegu, wyłączniki krańcowe
4.	Mechaniczne lub inne spadki obciążenia nie mieszczące się w parametrach normalnej pracy
5.	Blokady ruchu wrót i zasuw hydraulicznych

(*Risk Management*) lub zasobami (*Asset Management*)³. W każdym zaś przypadku zidentyfikowane ryzykowne sytuacje powinny być w centrum uwagi przy planowaniu zakresu i budżetu prac utrzymania konstrukcji żeglugowej.

- 8) Głównym ryzykiem w konstrukcjach żeglugowych są sytuacje prowadzące do wstrzymań żeglugi. Stanowczo zaleca się, aby zarząd dróg wodnych prowadził rejestrację takich sytuacji, z podziałem na ich przyczyny. W diagramie na rys. 8 podano przykład najogólniejszych wyników takiej rejestracji. Dotyczy on awarii, których skutkami były wstrzymania żeglugi trwające co najmniej jedną godzinę. Dane o tych awariach były zebrane przez regionalny zarząd dróg wodnych w Limburgii, Holandia [3, 7].

³ Teoria i metody *Risk Management* oraz *Asset Management* rozwijają się bardzo dynamicznie w ostatnich dekadach. Dostępna literatura jest tu przede wszystkim angielskojęzyczna, stąd też angielska terminologia.

- 9) Podobnie jak prace utrzymaniowe, przeglądy stanu technicznego mogą być także stałe (regularne) lub zmienne. Pierwsze bardziej odpowiadają utrzymaniu prewencyjnemu, a drugie korekcyjnemu. Przeglądy zmienne powinny być zawsze prowadzone po awariach.
- 10) Przeglądy stanu technicznego (szczególnie te regularne) należy prowadzić na podstawie ustalonych arkuszy zbierania danych, list kontrolnych i tym podobnych dokumentów. Dokumenty te, wywodzące się z dokumentacji projektowej, powinny obejmować wszystkie elementy będące przedmiotem przeglądu oraz – każdorazowo – zakres i charakter przeglądu.
- 11) W celu porównywalności ocen stanu technicznego konstrukcji porównywalne muszą być także zbierane dane i ich zapis. Ważne jest np., aby mierzone charakterystyki, ich poziomy odniesienia, punkty pomiaru, warunki pomiaru itp. były zawsze takie same.
- 12) Nowe, lepsze lub wygodniejsze techniki pomiaru należy stosować, ale pod warunkiem, że gwarantują one zachowanie ciągłości zbioru danych o pracy urządzenia. Trzeba przy tym uważać, by nie dać się omamić rynkowi oferującemu wciąż nowe gadgety na tym polu, które nie gwarantują takiej ciągłości.
- 13) Grupa Robocza stanowczo doradza przechowywanie wszystkich raportów przeglądów w formie cyfrowej, zaś wszystkich wyników przeglądów (tak w danych liczbowych, jak i opisowych) w skomputeryzowanych bazach danych (*databases*). Bazy takie powinny umożliwiać sumowanie, uśrednianie i inne opracowywanie danych na różnych szczeblach i w różnych zakresach w celu oceny działania i analizy ryzyka (rys. 7).
- 14) Systematyczne i skomputeryzowane zbieranie danych nie może sprowadzić przeglądów do wypełniania baz danych. Prowadzący przegląd inspektor powinien czuć się zachęcany do raportowania własnych obserwacji i ocen – oraz dysponować łatwo dostępnymi drogami ku temu.
- 15) Doświadczenie uczy, że przeglądy w terenie zwykle nie alarmują administratora obiektu dostatecznie jasno o tym, że sprawność konstrukcji spadła poniżej poziomu akceptacji (rys. 1). Przyczyny tego są złożone. Z jednej strony administrator czasem nie chce o tym słyszeć; z drugiej zaś inspektorzy koncentrują się bardziej na zbieraniu danych niż na ich ocenie. W wyniku tego utrzymanie zmienne pochłania zdecydowanie największą część budżetów utrzymania. W tabl. 2 podano przykładowe dane z Holandii.

Tabl. 2. Ogólny podział rocznych kosztów utrzymania w Holandii (dane z 2009 roku)

Grupa konstrukcji żeglugowych	Koszty utrzymania (k€)		
	Regularne	Zmienne	Łączne
Śluzы żeglugowe	14 791,-	46 771,-	61 563,-
Jazy rzeczne	1 108,-	6 973,-	8 081,-
Bariery przeciwpowodziowe	1 526,-	9 074,-	10 600,-

- 16) W ostatnich latach obserwuje się znaczny rozwój zdalnego monitorowania (częściowo też korygowania) stanu technicznego. Doświadczenia na konstrukcjach żeglugowych są w tej dziedzinie – jak dotychczas – zachęcające. Grupa Robocza dostrzega potencjalne korzyści tego rozwoju. Jednocześnie jednak nie podziela ona zdania, że przeglądy i oceny stanu technicznego mogą w całości odbywać się bez udziału człowieka. Ludzkie zaangażowanie jest tu potrzebne pod wieloma względami.
- 17) Metody zdalnego monitorowania stanu technicznego bywają szczególnie pomocne do zobrazowania sytuacji w celu wstępnej diagnozy. Służą temu m.in. obrazy i graficzne projekcje w systemie SCADA oraz pulpity ze wskazaniami stanów PLC's. Ważnym polem zastosowań jest też zbieranie wszystkich istotnych danych o zachowaniu się układu – włącznie z jego stanami awaryjnymi – w dziennikach zdarzeń (*log files*). Najwygodniej jest to robić przy użyciu komputera PC [11, 12]. Diagnozy na podstawie tak zobrazowanych danych powinny jednak być stawiane przez wykwalifikowany personel.

POZIOMY UTRZYMANIA RUCHU

Nowoczesny system utrzymania konstrukcji wodnych (jak służby żeglugowe, jazy rzeczne, bariery przeciwpowodziowe) powinien łączyć w sobie dwie następujące, zdawałoby się sprzeczne, cechy:

- Powinien on działać w ramach jasnych struktur organizacyjnych i według sprawnych, zrozumiałych i ogólnie akceptowanych procedur.
- Nie powinien być formalistyczny, umożliwiając szybkie i możliwie jak najskuteczniejsze utrzymanie przy minimum „papierowej roboty”.

Jedną z dróg ku pogodzeniu tych dwóch wymagań jest wprowadzenie tzw. „poziomów utrzymania”. Metoda ta wywodzi się z opartego na złożonych procesach produkcyjnych przemysłu, szczególnie przemysłu samochodowego. Nieprzypadkowo zapewne najlepsze wyniki i doświadczenia w jej stosowaniu zgłaszane są z dróg wodnych w południowych Niemczech. Jednak również i inne regiony mogą ją z powodzeniem stosować.

Problemy utrzymania ruchu mają oczywiście różne wymiary i różną złożoność. Podstawową zasadą „poziomów utrzymania” jest kierowanie tych problemów na poziomy organizacyjne in-

stytucji zarządzającej, które tym wymiarom oraz tej złożoności odpowiadają, i tam właśnie ich rozwiązywanie. Na rys. 9 przedstawiono schematycznie poziomy utrzymania, tak jak zostały wprowadzone i są praktykowane przez regionalny Zarząd Dróg Wodnych Południowych Niemiec. Poniżej podano ogólną charakterystykę działań na poszczególnych poziomach zgodnie z [12].

Poziom 1: Załoga służby lub zespołu służ. Załoga służby żeglugowej lub centrum operacyjnego kilku zdalnie obsługiwanych służb zgłasza zakłócenie i podejmuje próbę jego usunięcia. Czyni ona to własnymi siłami lub – jeśli ma na to umowę – siłami wykonawcy zewnętrznego. Jeżeli usunięcie zakłócenia przekracza te siły, włącza się Poziom 2.

Poziom 2: Lokalne służby utrzymania. Personel lokalnej służby utrzymania (w niektórych krajach, np. w Holandii, zakontraktowany wykonawca) wymienia urządzenie, przeprowadza jego przegląd, reperuje i testuje. Wymienia przy tym złe działające części, instaluje nowe oprogramowanie i dostraja parametry regulacji. Wszystko to odbywa się w warsztatach poza obiektem żeglugowym.

Poziom 3: Służby utrzymania regionalnego zarządu. Personel służb utrzymania regionalnego zarządu opracowuje nowe wersje oprogramowania PLC's i wizualizacji na ekranach w systemie SCADA (kontrola za pomocą kamer), usuwa awarie o szerokim zakresie, zestawia i analizuje dane z przeglądów oraz inicjuje usprawnienia istniejących (często standardowych) urządzeń i procedur.

Poziom 4: Rynek, przemysł. Instytuty badawcze, biura projektów, producenci i dostawcy systemów i urządzeń oraz inni partnerzy rynkowi rozwijają nową technologię i rozwiązują problemy, których nie udało się zadowalająco rozwiązać na poziomach 1, 2 i 3. Partnerzy ci organizują także wprowadzanie tych rozwiązań w życie lub asystują przy tym wprowadzaniu.

Przykład: Praca wrót Śluz Houtribsluizen w Holandii ulegała zakłóceniom na skutek ścierania się łożysk mocujących siłowniki napędu hydraulicznego (rys. 10). Załoga służ (Poziom 1), nie będąc w stanie usunąć zakłóceń własnymi siłami, zwróciła się o serwis do lokalnych służb utrzymania. Służby te (Poziom 2) przeprowadziły przegląd techniczny określający szybkość, zasięg i charakter ścierania się łożysk. Nie czuły się one jednak kompetentne do rozwiązania problemu i zwróciły się o pomoc do służb regionalnego zarządu (Poziom 3). Tam zarządzono okresowe wstrzymanie żeglugi i przeprowadzono wymianę wszystkich łożysk omawianego rodzaju na nowe. W wyniku późniejszej ewaluacji tego wydarzenia podjęto decyzję o wyborze innego rodzaju i innego dostawcy (Poziom 4) wspomnianych łożysk dla całego Regionu IJsselmeer.

Na użytek polskiego czytelnika autor pragnie dodać, że metoda ta – jak zresztą każda inna – sama w sobie nie gwarantuje jeszcze rozwiązania problemu. Liczą się tu także inne czynniki, jak wyszkolenie techniczne i wyposażenie służb utrzymania, finanse, poziom technologiczny partnerów rynkowych itp. Znałe są też przypadki, że podany w powyższym przykładzie cykl działań nie doprowadził do trwałego usunięcia zakłóceń; sprawa wróciła na jeden z niższych poziomów i dopiero tam w „drugim podejściu” problem rozwiązano. Tym niemniej opisana tu metoda jest godna polecenia jako strategia ogólna, nie wykluczająca odstępstw w uzasadnionych przypadkach.



Rys. 9. Poziomy działań utrzymania ruchu na drogach wodnych południowych Niemiec



Rys. 10. Zużyte i nowe łożysko przegubu mocującego napęd wrót

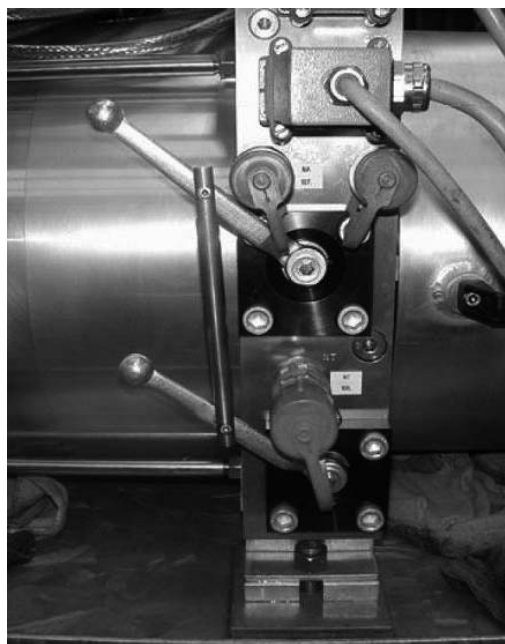
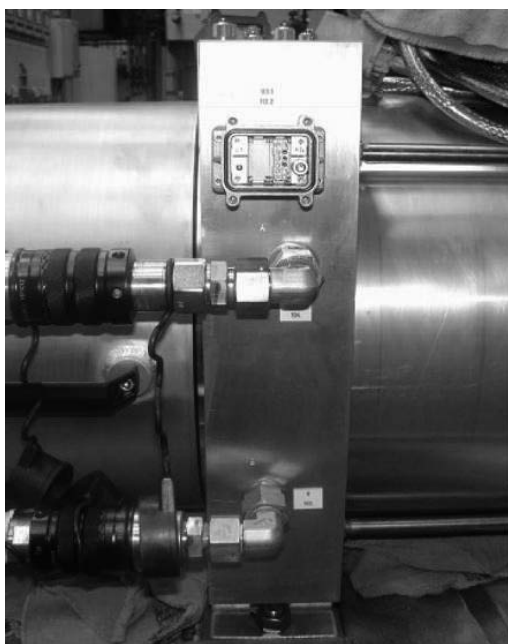
Zwraca się uwagę, że stosowanie metody „poziomów utrzymania” nie oznacza, że przepływ informacji o zakłóceniach podzespołów, zapotrzebowaniu na ich utrzymanie, fizycznie przeprowadzonych pracach utrzymania, ich procedurach itp. może być ograniczony do wspomnianych poziomów. Jak uprzednio wspomniano, ważne jest, by wszystkie istotne dane o utrzymaniu były systematycznie zbierane, aktualizowane i łatwo dostępne na wszystkich poziomach.

KONCEPCJE ZDALNEGO UTRZYMANIA

Szereg regionów i poszczególnych dróg wodnych na świecie ma warunki sprzyjające do standaryzacji układów mechanicznych i elektrycznych. Dotyczy to szczególnie ważnych, długich dróg wodnych z wieloma śluzami, z których wszystkie muszą spełniać te same parametry żeglugowe określone wspólną tzw. „klasą żeglugi”. Wysoka standaryzacja, a w ślad za nią niska

różnorodność prowadzą wówczas do lepiej zdefiniowanych i sprawniej kontrolowanych procesów.

Powyższe dotyczy procesów zarówno obsługi, jak i utrzymania. Jeżeli te drugie będą dobrze zdefiniowane i kontrolowane, stworzy to warunki do ich zautomatyzowania, a następnie zdalnego sterowania. Zadanie to jest wprawdzie bardziej złożone niż zdalne sterowanie procesami obsługi, ale również technicznie wykonalne. Zachęcające doświadczenia w tej dziedzinie zanotowano m.in. na szlaku Ren – Dunaj w południowych Niemczech. Czynności utrzymania, takie jak: aktualizacja oprogramowania (tzw. „runtime software”), ponowne uruchomienie systemu, czy nawet fizyczna wymiana niektórych zużytych części, mogą być wtedy inicjowane i sterowane z jakiegokolwiek miejsca na świecie – oczywiście przy użyciu dobrze zabezpieczonych łącz internetowych. W osiągnięciu tego celu pomagają zmodulowana budowa układów, podzespołów i części. Przykładem mogą tu być hydrauliczne zespoły napędowe zaopatrzone w zwarte moduły aparatury kontrolnej (rys. 11).



Rys. 11. Zmodulowane wyjścia olejowe (z lewa) i kontrolne (z prawa) zespołu hydraulicznego napędu wrót śluzy, Niemcy

Koncepcje i zastosowania zdalnie sterowanego utrzymania ruchu będą na pewno rozwijały się w nadchodzących dekadach, tak jak to ma dziś miejsce ze zdalną obsługą. Wypada tu jednak nadmienić, że rozwój ten przyjmowany jest zarówno z entuzjazmem, jak i z pewnym sceptycyzmem. Entuzjaści podkreślają tu korzyści ekonomiczne i eliminację ryzyka błędu człowieka („human error”) w systemach regulacji i kontroli. Sceptycy krytykują natomiast „odczłowieczony”, straszący drutem kolczastym wygląd zdalnie sterowanych śluz i innych obiektów żeglugowych oraz społeczne skutki takiego rozwoju. Również w Grupie Roboczej zdania w tej sprawie były i pozostały podzielone.

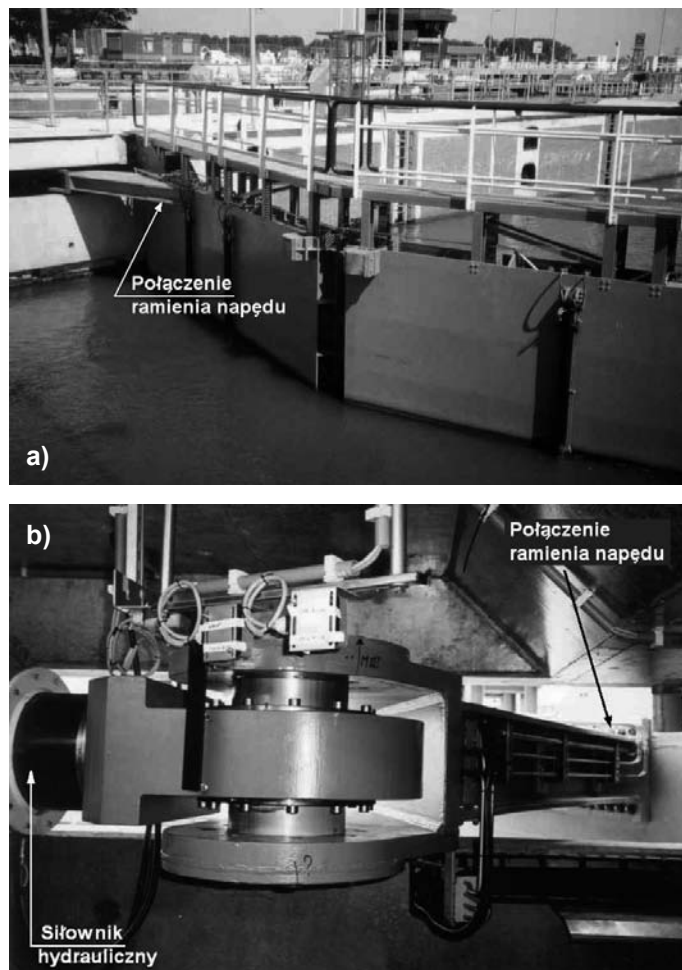
DIAGNOZOWANIE ZAKŁÓCEŃ

Prawidłowa diagnoza przyczyn zakłóceń jest sprawą zasadniczą zarówno w poszczególnych pracach utrzymania, jak i w wyborze najbardziej odpowiedniej strategii utrzymania. Dlatego też diagnozowanie zakłóceń powinno spełniać szereg wymagań. Diagnozowanie to powinno głównie:

- być organizowane i zarządzane przez menadżerów ze świadomością co najmniej charakteru i ryzyka występujących zakłóceń,
- być prowadzone przez wykwalifikowany personel, bardzo dobrze znający technologię przedmiotowych zespołów i urządzeń,
- być prowadzone na poziomach utrzymania zdolnych do postawienia prawidłowych diagnoz zakłóceń,
- być objęte systemem kontroli jakości służb utrzymania odpowiedniego zarządu śluz i innych obiektów żeglugowych.

Nowoczesna technologia dostarcza narzędzi pomocnych nie tylko w sygnalizacji, ale też – w dużej mierze – w diagnozowaniu zakłóceń. Sprawdzone przykłady tego można znaleźć m.in. w zaleceniach ekspertów NAMUR [15]. W inżynierii mechanicznej, elektrycznej, a także lądowej stosuje się dziś szeroko (sterowane zdalnie lub nie) monitorowanie i oceny stanu technicznego przy użyciu czujników, wskaźników, standardowych badań, diagnostycznych schematów itp. Niemożliwe jest podanie tu wyczerpującego przeglądu tych instrumentów. Ich stosowanie należy na pewno zalecać, jednakże błędem jest na ogół oczekiwanie, że dostępność tych instrumentów pozwoli na prowadzenie obsługi i utrzymania obiektów przez mniej wykwalifikowany personel. Wniosek ten potwierdzają doświadczenia na wielu śluzach i innych konstrukcjach żeglugowych w ostatnich latach.

Przykładem może być seria awarii złącza ramienia napędu wrót wspornych Śluz Orańskich w Amsterdamie (rys. 12) w czasie prób rozruchowych. Wrota te są napędzane stosunkowo mocnymi hydraulicznymi siłownikami, które muszą utrzymywać je w stanie zamkniętym przy znacznym, odwrotnie skierowanym parciu wody. Przy ekstremalnej wartości takiego parcia – występującej raz na kilka lat – układ hydrauliczny pracuje pod ciśnieniem 20 MPa. Dokumentacja rozruchowa była jednak tak złożona, że mniej doświadczona ekipa wykonawcy włączała to ciśnienie setki razy dziennie podczas prób, błędnie uważając, że jest to normalny stan pracy układu. To – obok innych przyczyn – spowodowało kilkakrotne zerwanie połączenia ramienia napędowego [3, 7].



Rys. 12. Wrota wsporne Śluz Orańskich w Amsterdamie

KIERUNKI DALSZEGO ROZWOJU UTRZYMANIA

Grupa Robocza wyraziła przekonanie, że znaczenie utrzymania układów mechanicznych i elektrycznych w obiektach na drogach wodnych będzie w przyszłości stale rosło. W krajach rozwiniętych już teraz utrzymanie zajmuje pierwsze miejsce w budżetach zarządów dróg wodnych, coraz bardziej wyprzedzając budowę nowych obiektów. Tendencja ta będzie trwała nadal. Przyczyny tego są następujące:

- 1) Drogi wodne, w szczególności zaś żegluga śródlądowa, mają obecnie trwałe miejsce w zachodnich gospodarkach. Podczas gdy sprawność transportu wodnego będzie wciąż rosła, nie należy spodziewać się budowy wielu nowych dróg wodnych.
- 2) Istniejąca sieć żeglownych dróg wodnych nie może być zbyt poszerzona bez istotnych skutków dla przestrzennego planowania i środowiska naturalnego. Uwaga musi się koncentrować na podwyższaniu jakości i efektywności istniejących dróg wodnych.
- 3) Działają grupy nacisku, np. w Ameryce Północnej, nawołujące do usuwania istniejących konstrukcji żeglugowych (jazy rzeczne, śluzy) i przywracania pierwotnego habitatu rzek. Aczkolwiek głosy te spotykają się przeważnie ze sprzeciwem, prawdopodobnie wymuszają one



Rys. 13. Ruchoma bariera morska na Wschodniej Skaldzie z ustandaryzowanymi napędami zamknięć, Holandia

działania w celu poprawy sprawności i ekologicznych danych dróg wodnych.

- 4) Nowoczesna technologia oraz metody zarządzania (np. *asset management*, analizy ryzyka) umożliwiają bardziej sprawną gospodarkę istniejącymi drogami wodnymi, co kładzie także nacisk na ich sprawność techniczną.

W krajach rozwijających się (np. Chiny, Indie, Południowa Ameryka) należy spodziewać się budowy nowych dróg wodnych. Jednak również w tych krajach potrzeba utrzymania, a w ślad za nią jego budżet, stopniowo przewyższa potrzebę i budżet budowy nowych dróg wodnych.

W celu sprostania rosnącemu zapotrzebowaniu utrzymanie mechanicznych i elektrycznych urządzeń żeglugowych będzie rozwijać się, przybierając coraz bardziej profesjonalne formy. Grupa Robocza przewiduje, ogólnie rzecz biorąc, następujące kierunki tego rozwoju:

- 1) Prace utrzymania będą na ogół organizowane w sposób coraz bardziej systematyczny. Miejsca na dodatkowe, indywidualnie planowane utrzymanie będzie coraz mniej lub nie będzie go wcale, o ile utrzymanie to nie będzie wynikało z przyczyn nieprzewidywalnych.
- 2) Systematycznie zorganizowane utrzymanie będzie głęboko zakorzenione w systemach kontroli jakości, takich jak to ogólnie przedstawiono na rys. 7 w tym artykule.
- 3) Zakres, charakter i częstotliwość prac utrzymania będą coraz częściej i w coraz bardziej bezpośredni sposób określane za pomocą nowoczesnych metod zarządzania zasobami (*asset management*), [10, 13]. Parametry pracy podzespołów i części układu będą tą drogą optymalizowane i będą wynikać z pożądanych parametrów pracy całych śluz, jazów lub nawet całych dróg wodnych.
- 4) W wyniku powyższego wzrośnie znaczenie zbierania, przechowywania i opracowywania danych o zachowaniu się układów. Będzie to najprawdopodobniej dotyczyło wszystkich podzespołów i wszystkich poziomów utrzymania. Tylko dostateczne i prawidłowe dane pozwalają na obliczenie godnych zaufania wskaźników. Dobrym przewodnikiem na tym polu jest raport PIANC [16]. Na

wskaźnikach tych będzie opierało się programowanie, planowanie i wykonawstwo prac utrzymania.

- 5) Ogólnie patrząc, obydwie główne strategie utrzymania, tj. prewencyjne (wymień przed defektem) i korekcyjne (zreperuj po defekcie) pozostaną w użyciu. Niesłuszny jest pogląd, że którakolwiek z nich jest lepsza w absolutnym znaczeniu. Wybór między nimi będzie z reguły miał miejsce na poziomie konkretnych części i podzespołów i w zgodzie z systematyką zarządzania zasobami.
- 6) Obie drogi utrzymania – siłami własnymi i kontraktowanie – będą nadal praktykowane w najbliższej przyszłości. Wybór między nimi będzie zależał od czynników dyskusowanych w niniejszym artykule. Można jednak spodziewać się, że postępująca globalizacja i liberalizacja rynków będzie prowadziła do wzrostu udziału utrzymania kontraktowanego w terminie dłuższym.
- 7) Należy spodziewać się wzrostu standaryzacji, zarówno podzespołów i części (rys. 13), jak i metod utrzymania ruchu. Doświadczenia ze standaryzacją prac utrzymania w krajach członków Grupy Roboczej są – ogólnie biorąc – zachęcające. Wyzwaniem dla inżynierów jest jednak, jak pozostać otwartym na rozwiązania innowacyjne, eksperymenty itp. przy jednoczesnym zachowaniu korzyści płynących ze standaryzacji.

LITERATURA

1. Bakker J. i inni: Leidraad RAMS, Sturen op prestaties van Systemen. Rijkswaterstaat, Drukkerij Gianotten, Tilburg, 17 maart 2010 (hol.).
2. Daniel R. A., Peters D-J: Sluisdeuren op maat: Traditioneel of Innovatief. Bouwen met Staal nr 151, november 1999 (hol.).
3. Daniel R. A.: Contact problems in lock gates and other hydraulic closures in view of investigations and field experience. Praca doktorska. Politechnika Gdańska, WILiŚ, październik 2005, http://pbc.gda.pl/Content/6124/phd_daniel_ryszard.pdf.
4. Daniel R. A.: Nawidukt – bezkolizyjne połączenie żeglugowe nad infrastrukturą lądową. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4/2009.

5. Daniel R. A., Tromp A., Groot de M.: Damage and Repair of an Old Weir Gate in the Meuse after a Calamity. Proceedings of the PIANC Congress, Liverpool, May 2010.
6. Daniel R. A.: Awaria i odbudowa stalowych zamknięć jazu Lith na Mozie. Materiały XXV Konferencji „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, maj 2011.
7. Daniel R. A.: Contact behavior of lock gates and other hydraulic closures. LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 2011.
8. Daniel R. A.: Mechanical & Electrical Engineering – Lessons Learnt, Maintenance in PIANC WG-138 Report. Proceedings of the PIANC Conference „Smart Rivers”, Liège-Maastricht, September 2013.
9. Daniel R. A.: Z Konferencji „Smart Rivers” Światowego Stowarzyszenia Wspierania Infrastruktury Wodnej i Żeglugowej PIANC, Maastricht i Liège, 24-27 września 2013. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2013.
10. Holland G.: British Waterways Asset Management Model, proceedings of the PIANC MMX Congress, Liverpool, May 2010.
11. Kühlewind R., Müller C., Thier H., Wegen J.: Gebäudehydraulik in Plug-and-drive-Technologie. VDBUM-INFORMATION, 2000.
12. Kühlewind R.: Remote control of locks in Southern Germany. Proceedings of the 31st PIANC Congress, Estoril, May 2006.
13. Manen S. E., Bogaard J. A. van den: Living PAM Chapter 7 – Maintenance modelling and applications. Rijkswaterstaat, Utrecht 2011.
14. NAMUR: NAMUR Recommendation NE 91: Requirements for Online Plant Asset Management Systems. VDI/VDA-GMA Technical Committee 6.14, Leverkusen 2001.
15. NAMUR: NAMUR Recommendation NE 107: Self-Monitoring and Diagnosis of Field Devices Requirements. VDI/VDA-GMA Technical Committee 6.14, Leverkusen 2001.
16. PIANC WG-32: Performance indicators of Inland Navigation Waterways – User Guideline. Report of the PIANC InCom Working Group 32, Brussels, 2010.
17. PIANC WG-138: Mechanical and Electrical Engineering – Lessons Learnt from Navigation Structures. Report of the PIANC InCom Working Group 138, Brussels, 27 March 2013.
18. PIANC WG-138: Percentages of corrective and preventive maintenance on various components. In appendix to PIANC WG-138 report [3], Brussels, March 2013.
19. Slot H.: Onderzoek schade bovenlagers in de sluisdeuren van de Oranjesluizen. Raport niepublikowany, TNO, Eindhoven, december 2004 (hol).