



Geodezyjny monitoring okrętu Vasa

Starzenie pod kontrolą

XVII-wieczny okręt wojenny Vasa to jedna z największych atrakcji nie tylko Sztokholmu, ale i całej Szwecji. By zachować ten bezcenny zabytek dla przyszłych pokoleń, niezbędne było objęcie go unikatowym systemem monitoringu.

Jerzy Królikowski

Pierwsze, co czuje się po wejściu latem do Muzeum Vasy w Sztokholmie, to przenikliwy chłód. Jego źródłem nie jest jednak surowy skandynawski klimat, ale zaawansowany system wen-

tylacji, który musi utrzymywać w tym rozległym obiekcie stałą temperaturę 18,5°C oraz wilgotność 51–59%. W ocenie naukowców właśnie takie parametry powietrza są optymalne dla głównego bohatera płacówki – szwedzkiego okrętu wojennego Vasa, który co roku ogląda nawet półtora mi-

liona turystów. Wrażenie robią nie tylko imponujące wymiary i waga jednostki, ale także ponad pół tysiąca zdobiących ją barokowych rzeźb z przedstawieniami m.in. szwedzkiego króla, rzymskich cesarzy, postaci z mitologii, a nawet polskiego szlachcica w karykaturalnej pozie.

Ale wyjątkowość zabytku wynika przede wszystkim z tego, że statek przeleżał na dnie jednej z bałtyckich zatok, bagatela, 333 lata, a mimo to dotrwał do naszych czasów w zaskakująco dobrym stanie. Paradoksalnie to zasługa mało słonej i mocno zanieczyszczonej wody



Fot. Jerzy Królikowski

strukcję. Są to pionierskie prace, gdyż nikt wcześniej nie stanął przed zadaniem zakonserwowania tego typu obiektu. Wiele działań realizowanych jest metodą prób i błędów. By te błędy były jak najmniejsze, okręt objęto systemem monitoringu geodezyjnego – oczywiście również pionierskiego.

● Jaka piękna katastrofa

Budowę okrętu Vasa zlecił król Szwecji Gustaw II Adolf z dynastii Wazów, zwany Lwem Północy. Prace ruszyły w roku 1626, gdy kraj ten był u szczytu swojej militarnej potęgi, a zamówiony galeon miał tę potęgę potwierdzać. Jednostka ważyła 1210 ton (więcej niż 4 jumbo jety), miała 69 metrów długości i 12 metrów szerokości, a najwyższy maszt wznosił się blisko 30 metrów nad pokładem. Całość zbudowano ze szlachetnego czarnego dębu, ozdobiono mnóstwem pieczołowicie wykonanych kolorowych rzeźb oraz uzbrojono w 64 działa rozmieszczone na dwóch pokładach. Okręt powstał m.in. z myślą o wojnie z Rzeczpospolitą, która pod rządami Zygmunta III Wazy uważała Gustawa II Adolfa za uzurpatora do szwedzkiego tronu.

Jednostce nie udało się jednak wypłynąć choćby poza Sztokholm. Do jej zatopienia wystarczył silniejszy po-

dmuch wiatru. Gdy statek mocno się przechylił, przez otwarte furty działowe wlała się woda. Okręt zatonął na oczach tłumów 10 sierpnia 1628 r., przepłynąwszy podczas swojego dziewiczego rejsu zaledwie milę.

Ta spektakularna wizerunkowa porażka oczywiście wymagała natychmiastowego wskazania winnych i ich ukarania. Śledczy pod uwagę brali m.in. winę kapitana, załogi bądź projektantów i budowniczych okrętu. Ba, rozważano nawet polski sabotaż! Ostatecznie skończyło się na niczym. Dziś większość ekspertów jest zgodna, że główną przyczyną zatonięcia było nieprawidłowe zaprojektowanie okrętu, w tym jego złe wyważenie. Z powodu wysokiego i wąskiego kadłuba oraz niewystarczającej ilości balastu środek ciężkości znajdował się bowiem zbyt wysoko. W tym kontekście brak wskazania winnych nie powinien dziwić, gdyż projekt okrętu własnym podpisem zaakceptował... król Gustaw II Adolf.

Po zamknięciu śledztwa podjęto kilka prób podniesienia okrętu. W ówczesnych realiach było to jednak zadanie niewykonalne. Jedyne, co się udało, to wydobycie armaty przy użyciu dzwonów nurkowych. Okręt popadł następnie w zapomnienie aż na trzy stulecia – świat przypominał sobie o Vase dopiero

w 1956 r., gdy na dnie zatoki Saltsjön odnalazł go archeolog amator Anders Franzén. Krótka po tym ruszyły prace nad podniesieniem wraku, co ostatecznie udało się w kwietniu 1961 roku. I od razu rozpoczął się wyścig z czasem, by spowolnić rozkład okrętu. Początkowo skupiono się na jego zwilżaniu, później rozpoczęto powolne osuszanie połączone z systematycznym spryskiwaniem jednostki politlenkiem etylenu (PED). Galeon wystawiono na widok publiczny w 1962 roku, a w obecnym budynku muzeum jest dostępny od roku 1989.

● Miarka to za mało

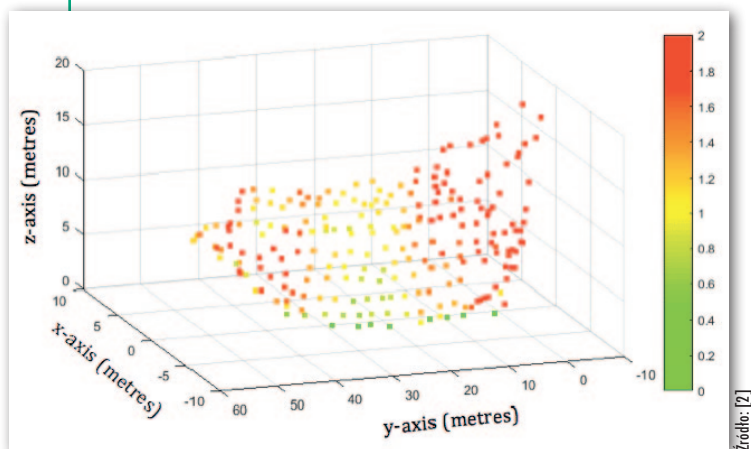
Przez blisko cztery dekady od wydobycia prawdziwa geodezja była przy konserwacji Vasy praktycznie nieobecna. Jak przyznają pracownicy muzeum, wykorzystywano co najwyżej... miarkę. Jednocześnie było jasne, że konstrukcja okrętu ulega coraz większym deformacjom. Od momentu wydobycia mechaniczna wytrzymałość drewnianych struktur galeonu spadła bowiem o 40%, a w niektórych miejscach nawet o 80%. Nie wiadomo było jednak, gdzie związane z tym deformacje występują ani jaka jest ich wielkość. W połowie lat 90. podjęto decyzję o konieczności objęcia Vasy systemem monitoringu. Za-

w zatoce Saltsjön, gdzie przez trzy wieki spoczywał okręt. Jednak po wydobyciu na powierzchnię tempo rozkładu znacznie przyspieszyło. Nad jego spowolnieniem od kilku dekad nieustannie pracuje sztab naukowców z różnych specjalności, uczelni i krajów. Efektem tych działań jest nie tylko wspomniany system wentylacji, ale np. opracowanie substancji konserwującej drewno czy specjalnych bolców wzmacniających kon-

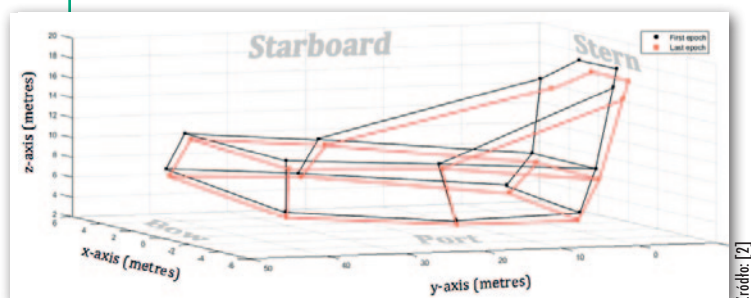
Kurator Muzeum Vasy Monika Ask oraz technik konserwator Ove Olsen w trakcie pomiarów

Fot. Anneli Karlsson, Vasa Museum/SMTM

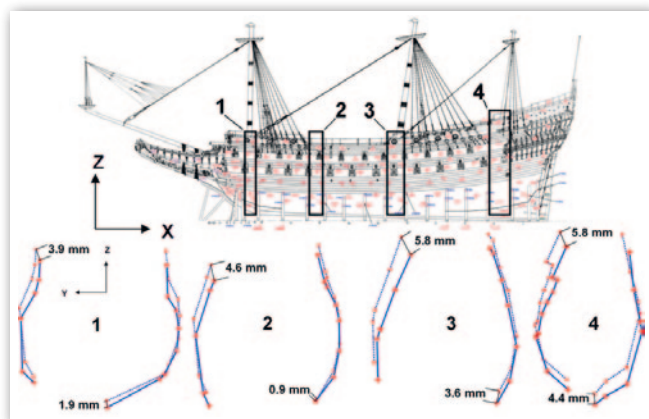




Średnia prędkość przemieszczeń dla monitorowanych punktów w mm/rok



Trójwymiarowa wizualizacja przemieszczeń monitorowanych punktów w 50-krotnym powiększeniu



Wizualizacja deformacji kadłuba na potrzeby opracowania nowych podpór

danie to powierzono naukowcom z Wydziału Geodezji i Satelitarnego Pozycjonowania Królewskiego Instytutu Technicznego (KTH). Muzeum chciało, by system był z jednej strony bardzo dokładny, zapewniał porównywalność wyników w długim okresie oraz pozwalał na łatwą rozbudowę. Z drugiej strony miał być też prosty w obsłudze, no i nie puścić placówki z torbami.

Rekonstrukcja rzeźby polskiego szlachcica pochodząca z okrętu

Podobnie jak w przypadku metod konserwacji okrętu specjaliści z KTH nie mogli skorzystać z gotowego rozwiązania, lecz musieli opracować cały system niemal od podstaw. Pewną inspirację stanowił jedynie monitoring wdrożony na zabytkowym okręcie Cutty Sark w londyńskiej dzielnicy Greenwich, w sąsiedztwie którego trwały szeroko zakrojone prace budowlane.

Ostatecznie zdecydowano, że monitoring Vasy będzie bazował na pomiarach tachymetrycznych. W tym celu na betonowych elementach konstrukcji muzeum zamontowano 24 pryzmaty stanowiące punkty osnowy. Ich współrzędne w układzie lokalnym wyznaczono z dokładnością od 0,1 do 0,6 mm. Następnie na okręcie umieszczono 350 specjalnie zaprojektowanych celów z czerwonej folii odbłaskowej. Przylepiono je przede wszystkim na niewielkich odwiertach wydrążonych wcześniej w celu zbadania stopnia penetracji drewna przez PED. Choć liczba tych punktów wydaje się spora, to rozmiary okrętu w połączeniu z kolorem folii sprawiają, że są one dla turystów niemal niewidoczne.

• Żmudne zbieranie danych

System monitoringu ruszył w roku 2000. Początkowo bazował na pomiarach realizowanych cztery razy do roku przy użyciu zmotoryzowanego tachimetru Leica

TDA5005. Lokalizacje stanowisk nie są stałe, więc w każdej sesji pomiarowej w pierwszej kolejności wyznacza się współrzędne instrumentu w nawiązaniu do najbliższych punktów osnowy. Następnie tachimetr automatycznie kieruje obiektyw na kolejne punkty na okręcie, a obowiązkiem operatora jest jedynie dokładne docelowanie. By zachować wysoką wiarygodność wyników, każdy punkt mierzony jest dwukrotnie z dwóch stanowisk. Podczas każdej sesji z około 50 stanowisk rozmieszczonych na wszystkich pięciu poziomach muzeum wykonuje się blisko 2 tys. pomiarów z dokładnością w granicach 1 mm. Teoretycznie do wykonania tych prac wystarczyłoby dwóch pracowników. By jednak uniknąć przemęczenia żmudnymi i powtarzalnymi czynnościami, w pomiarach uczestniczy 5 osób. Każda sesja pomiarowa trwa do dwóch tygodni, a kilka kolejnych dni zajmuje opracowanie wyników.

Z biegiem lat system był oczywiście modernizowany. W 2002 roku rozbudowano go o kolejnych 50 punktów – tym razem zlokalizowanych wewnątrz okrętu, na obu pokładach działowych. Co istotne, w przypadku 33 z nich zamiast folii zastosowano pryzmaty, co dzięki technologii automatycznego rozpoznawania celu (ATR) usprawnia pomiar. Do prac zaprzęgnięto ponadto nowszy instru-



Fot. Jerzy Krótkowski

ment – obecnie służy do tego Leica Nova TS50. Przy okazji częstotliwość monitoringu zmniejszono do 2 sesji rocznie. Pomiary wykonywane są w okresach najmniejszego ruchu turystycznego. Jak szacują przedstawiciele muzeum, gdyby monitoring realizować tylko w standardowych godzinach zamknięcia muzeum, jedna sesja zajmowałaby nawet miesiąc. Ograniczanie dostępu do obiektu w szczycie sezonu oznaczałoby zaś spore straty. Poza turystami pomiary utrudnia słabe oświetlenie, uwarunkowane oczywiście ochroną powierzchni statku. Problem ten rozwiązano, stosując specjalny lekki wózek z 3 lampami zasilanymi bateriami.

● Milimetry jak na dłoni

Pierwsze wyniki monitoringu opublikowano w 2003 r. na podstawie raptem 6 sesji pomiarowych. Potwierdziły one podejrzenia konserwatorów – drewno stanowi „żywy” materiał, który reaguje na to, co się dzieje w jego otoczeniu. Najbardziej wyraźnym trendem dostrzeżonym w danych jest osiadanie okrętu w średnim tempie 1 mm/rok. W ocenie ekspertów uzyskane wyniki nie są jednak niepokojące.

Po blisko 15 latach zestaw danych ze znacznie dłuższego okresu (22 sesje) wziął pod lupę zespół naukowców z KTH oraz Wyższej Szkoły Väst. Stosując bardziej zaawansowane metody przeliczeniowe, potwierdzili, że deformacje zachodzą głównie w pionie, przy czym największe są na dziobie i rufie, czyli w miejscach, które nie są podtrzymywane przez specjalne podpory. Tempo osiadania dochodzi tam do 2 mm/rok, a przyspieszenie wynosi maksymalnie 0,1 mm/rok². Stwierdzono także nieznaczny obrót kadłuba zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

Wyniki powyższych prac wpłynęły na decyzję o zaprojektowaniu zupełnie nowych podpór, tak aby ciężar jednostki spoczywał na nich bardziej równomiernie. Jest



Bogato zdobiona rufa statku

to obecnie jedno z głównych wyzwań stojących przed zespołem ekspertów dbających o kondycję Vasy.

● Można lepiej. Ale czy warto?

Monitoring Vasy stanowi świetny przykład tego, że mimo szybkiego postępu technologicznego w geodezji tachimetria wciąż są przydatnym narzędziem pomiarowym nawet w zaawansowanych projektach. Oczywiście niejedyn czytelnik zauważył, że prace te można realizować dokładniej, szybciej oraz bardziej szczegółowo, choć-

by wykorzystując skanery laserowe. Zmiana technologii utrudniałaby jednak porównywanie wyników z całego okresu monitoringu. Dochodzi tu także kwestia nadmierowości danych i niebagatelny dla muzeum problem kosztów i trudności obsługi.

Ale przedstawiciele muzeum nie pozostawiają złudzeń – nawet najnowocześniejsze i najbardziej zaawansowane technologie nie zatrzymają rozkładu Vasy. Proces ten można jedynie spowolnić. Cieszy jednak, że niemałe zasługi w tych wysiłkach mają również geodeci.

Jerzy Królikowski

Literatura

- [1] J. Jacobson: Measuring the Vasa, „Transactions on the Built Environment”, vol. 65, 2003;
- [2] M. Eshagh, F. Johansson, L. Karlsson, M. Horemuz: A case study on displacement analysis of Vasa warship, „Journal of Geodetic Science” 8/2018;
- [3] Vasa Museet: Deformation monitoring, <https://www.vasamuseet.se/en/research/support-vasa/deformation-monitoring>
- [4] Leica Geosystems: Easing the ravages of time, <https://leica-geosystems.com/ko-kr/case-studies/monitoring/easing-the-ravages-of-time>
- [5] T. Lechner, I. Bjurhager, R. Klinger: Strategy for developing a future support system for the Vasa warship and evaluating its mechanical properties, „Heritage Science”, 1/2013.