

UTRATA WŁASNOŚCI TECHNICZNO-UŻYTKOWYCH ELEMENTÓW TECHNIKI NURKOWEJ W PROCESACH EKSPLOATACJI

Zbigniew Talaśka

Akademia Marynarki Wojennej, Katedra Technologii Prac Podwodnych, Gdynia

STRESZCZENIE

Autor podjął próbę usystematyzowania i porównania różnych rodzajów utraty własności techniczno-użytkowych obiektów związanych z techniką nurkową z innymi obszarami działalności człowieka, w których wykorzystywane są urządzenia techniczne w procesach eksploatacji. Za podstawę przyjął obszerną literaturę opisującą m.in. zagadnienia zużywania się części maszyn, ich uszkodzenia, awarie itp. zjawiska, występujące praktycznie w „życiu” każdego obiektu technicznego. Specyfika techniki nurkowej sprawia, że jest to stosunkowo mało analizowany segment działalności pod względem eksploatacyjnym. W oparciu o przeprowadzone analizy publikacji oraz materiały własne autor dokonał ich przeglądu i dopasowania pod kątem podobieństwa utraty własności techniczno-użytkowych różnych elementów techniki nurkowej w stosunku do podziałów i kryteriów stosowanych w ogólnie rozumianej eksploatacji.

Słowa kluczowe: inżynieria mechaniczna, eksploatacja techniki nurkowej, uszkodzenia sprzętu nurkowego i obiektów hiperbarycznych.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2020 Vol. 73 Issue 4 pp. 27 – 46

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2020-0021

Strony: 10, rysunki: 14, tabele: 0

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 27.01.2020 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 27.04.2020 r.



WSTĘP

POJĘCIA

Wszystkie obiekty techniczne tracą z biegiem czasu swoją początkową wartość użytkową począwszy od momentu zakończenia procesu produkcyjnego i rozpoczęcia eksploatacji, aż do całkowitego wycofania ich z użytkowania. Należy zauważyć, że w tym czasie następuje stałe pogarszanie ich stanu technicznego. Oznacza to naturalny, postępujący proces nawet przy bardzo prawidłowym ich użytkowaniu oraz obsłudze [1]. Szybkość zmian, w zakresie technicznym, zależy przede wszystkim od intensywności ich wykorzystywania, a także od jakości prowadzenia procedur obsługowych. Nie bez znaczenia są również inne aspekty, jak m.in. postęp techniczny czy uwarunkowania ekonomiczne.

Na utratę właściwości techniczno-użytkowych obiektów technicznych wpływ ma szereg bardzo zróżnicowanych między sobą procesów wynikających z oddziaływania warunków otoczenia, jak i powstających w samym obiekcie. Mogą one przebiegać stopniowo lub gwałtownie. Stopniowy charakter obniżania (degradacji) wartości użytkowej polega na oddziaływaniu procesów starzenia w dłuższym okresie czasu. Natomiast gwałtowna ich utrata odbywa się z reguły nagle i w zdecydowanej większości zachodzących zdarzeń w sposób nieprzewidywany.

W literaturze związanej z tematyką eksploatacji występuje szereg pojęć określających rodzaje i stany utraty właściwości techniczno-użytkowych obiektów technicznych. Do najważniejszych z nich, zdaniem autora, należą m.in. :

Starzenie fizyczne rozumiane jako procesy fizyczne, powodujące nieodwracalne zmiany własności użytkowych obiektów technicznych. Rozpoczynają się najczęściej z chwilą wprowadzenia obiektu do użytkowania. Zależą od wielu czynników działających na niego zarówno z zewnątrz, jak i od wewnątrz. Do czynników zewnętrznych zaliczyć można np.: wpływ atmosfery, środowiska wodnego, współpracujących ze sobą obiektów technicznych itp. Do czynników wewnętrznych należą natomiast procesy mechaniczne, mechaniczno-fizyczne i mechaniczno-chemiczne, występujące przede wszystkim w trakcie użytkowania i przechowywania [2]. Powodują one uszkodzenia starzeniowe trwające w czasie. Polegają one na stopniowej utracie własności fizycznych wskutek destrukcyjnego oddziaływania otoczenia oraz zmian zachodzących w samym obiekcie technicznym.

Zużycie jako proces powodujący pogarszanie się w czasie stanu technicznego i użytkowego obiektu technicznego. Jest nieodłącznym zjawiskiem towarzyszącym wszystkim urządzeniom technicznym. W krańcowym przypadku zużycie uniemożliwia ich prawidłową eksploatację. Ogólnie przebiega ono „miarowo” w okresie od wprowadzenia do użytku, aż do jego całkowitej likwidacji. Ważnym zagadnieniem jest, aby w okresie istnienia obiektu technicznego było wykonywane terminowe obsługa, zgodne z instrukcjami i zaleceniami producenta. Przy prawidłowej eksploatacji obiekt techniczny nie powinien stwarzać istotnych problemów, a proces zużycia powinien przebiegać w sposób „normalny” (miarowy) i wynikać głównie z określonego zastosowania oraz znanego użytkownikowi wpływu warunków otoczenia. Oznacza to, że powolna utrata właściwości techniczno-użytkowych obiektu technicznego podlega fizycznemu, naturalnemu starzeniu.

Usterka jest pojęciem słabo zdefiniowanym. W literaturze podawane są synonimy jak: defekt, nieprawidłowość w maszynie, nieduża wada w urządzeniu czy drobna awaria lub „lżejsza” postać awarii. Spotyka się opinie, w których autorzy stwierdzają, że usterka może przerodzić się w awarię. Analizując to pojęcie na podstawie różnych źródeł należałoby wyciągnąć wniosek, że usterka najczęściej powoduje krótkotrwałą niesprawność działania obiektu technicznego. W ujęciu technicznym usterkę należy traktować jako zakłócenie działania obiektu technicznego bez spowodowania istotnego ograniczenia w jego użytkowaniu i nie mającego wpływu na działanie całości. Na ogół można usunąć ją w stosunkowo szybkim czasie i przywrócić sprawność techniczno-użytkową obiektu technicznego bez nadmiernych nakładów finansowych.

Uszkodzenie jest jednym z istotnych zdarzeń towarzyszącym w procesie użytkowania obiektu technicznego. Najczęściej definiuje się je jako zdarzenie losowe, w którym obiekt techniczny przechodzi w czasową lub stałą utratę swoich własności techniczno-użytkowych. Oznacza to wejście w czasokres częściowej zdadności lub całkowitej niezdatności do wykonywania swoich funkcji, utrzymania lub nieutrzymania właściwych parametrów pracy zgodnych z dokumentacją techniczną [3]. Jest to zdarzenie niezamierzone. Może wystąpić w sposób nagły, jako wynik przekroczenia dopuszczalnych, granicznych parametrów pracy lub stopniowy, jako wynik normalnego starzenia się obiektu technicznego w procesie eksploatacji. Uszkodzenie niejednokrotnie nazywane lub kojarzone jest z **awarią**. Pojęcie to ma praktycznie takie same znaczenie i jest podobnie definiowane. Jednym z elementów różniących je między sobą jest m.in. rozległość skutków zaistnienia [1]. W przypadku powstania awarii jej zakres może być bardziej rozległy i dotkliwy, niż przy wystąpieniu uszkodzenia.

Zniszczenie jest to praktycznie całkowite, nieodwracalne pozbawienie właściwości techniczno-użytkowych obiektu technicznego do wypełniania jego funkcji. Następuje pod wpływem przenoszonej przez niego energii. Stan destrukcji doprowadza do takiej sytuacji, w wyniku której nie ma możliwości przywrócenia jego do użytkowania i dalszej eksploatacji. Obiekt techniczny, jako pojedynczy lub jeden z całości, musi być usunięty i zastąpiony nowym.

W celu określenia i przybliżenia mechanizmów powstawania utraty właściwości techniczno-użytkowych obiektów technicznych stosowane są liczne klasyfikacje i podziały w zależności od przyjętych kryteriów. Często są one istotnie zróżnicowane i związane z określonymi działami techniki oraz stosowanymi w nich technologiami.

Na podstawie analizy licznie prezentowanych w publikacjach kryteriów można zaobserwować, że wiele z nich jest stosunkowo zbliżonych ze sobą. Autorzy prezentują podobne definicje i opisy. Na tej podstawie

można dokonać wyboru istotnych i ogólnych, które wystarczająco charakteryzują utratę własności techniczno-użytkowych obiektów technicznych, niezależnie od przeznaczenia, funkcjonalności, specyfiki użytkowej itp.

Do istotnych, zdaniem autora, należy zaliczyć m.in.:

1. Klasyfikację wg głównych przyczyn zaistnienia uszkodzeń [3]:

- a) konstrukcyjne powstające wskutek błędów projektowania i konstruowania obiektu technicznego, najczęściej przy nie uwzględnieniu obciążeń ekstremalnych tzn. wartości, które w istotny sposób przekraczają obciążenia nominalne, prowadząc wprost do uszkodzeń;
- b) produkcyjne (technologiczne) powstające wskutek błędów i niedokładności procesów wytwórczych (technologicznych) np. niedotrzymanie wymiarów (tolerancja wymiarów), wady materiałów użytych do stworzenia obiektu technicznego (surowców), wadliwa obróbka mechaniczna, cieplna itp.;
- c) eksploatacyjne powstające w wyniku nieprzestrzegania wymaganych zasad eksploatacji obiektu technicznego, oddziaływania czynników zewnętrznych niezgodnych z warunkami zastosowania określonego obiektu, co w konsekwencji prowadzi m.in. do utraty parametrów użytkowych, osłabienia i przedwczesnego zużycia obiektu i/lub przekroczenia stanu granicznego;
- d) starzeniowe i zużyciowe zawsze towarzyszące procesom eksploatacji obiektów technicznych i będące rezultatem postępujących, nieodwracalnych zmian prowadzących do pogorszenia wytrzymałości i zdolności współdziałania poszczególnych elementów.

2. Podział ze względu na rodzaj niszczenia lub zniszczenia obiektów technicznych [2,3]:

- a) mechaniczny, w którym rozróżnia się m.in.:
 - geometryczny wynikający z kształtu, błędów kształtu, jakości wykonania, klasy obróbki itp.;
 - kinematyczny powodowany rodzajem ruchu, prędkością itp.;
 - dynamiczny pochodzący od rodzaju obciążenia, występujących sił, nacisków jednostkowych itp.;
- a) materiałowy wynikający z doboru materiałów na elementy, ich właściwości technicznych, jakości, jak również materiałów umożliwiających wzajemną współpracę (np. smarowanie itp.);
- b) środowiskowy (w tym chemiczny) wywołowany wewnętrznym lub zewnętrznym wpływem najbliższego otoczenia elementu(ów) jak wilgoć, opary, związki chemiczne itp. i/lub środowiskiem naturalnym, jak morskie i śródlądowe akweny wodne i inne; powodują one różne typy korozji, starzenie gumy, pokryć, izolacji itp., działając niezależnie od eksploatatora;
- c) cieplny wywołowany różnymi zdarzeniami powodującymi m.in. znaczny wzrost lub spadek temperatury w samym obiekcie technicznym, jak również pochodzący z otoczenia, a wpływający destrukcyjnie na każdy etap pracy obiektu technicznego;
- a) elektryczny powodowany powstawaniem ładunków elektrostatycznych, wywołujący elektro-korozję itp.

3. Podział uszkodzeń ze względu na ich wpływ na działanie obiektu technicznego [4]:

- b) krytyczne, które wykluczają możliwość dalszego użytkowania obiektu;
- c) ważne, które wymagają niezwłocznego podjęcia działań związanych z przywróceniem zdatności obiektu do użytkowania;
- d) mało ważne, które występują, gdy podjęcie działań związanych z przywróceniem obiektowi zdatności może być odłożone w czasie;
- e) nieistotne, których wpływ na działanie obiektu można pominąć.

Wg [4] można przyjąć, że: uszkodzenie „mało ważne” i „nieistotne” to **usterka**, a „krytyczne” i „ważne” to **uszkodzenie**.

TECHNIKA NURKOWA

Jedną z definicji określa, że nurkowanie to całość działań przedsięwzięć związanych z przebywaniem człowieka w toni wodnej lub atmosferze o podwyższonym ciśnieniu (tzw. warunkach hiperbarii) w sprzęcie nurkowym umożliwiającym wykonywanie prac podwodnych i powrót do warunków panujących na powierzchni [5].

Należy zauważyć, że nurkowanie rozumiane jako wykonywanie pracy w środowisku wodnym, jest specyficznym obszarem działalności człowieka. Niesie ono stosunkowo duże ryzyko oraz ilość niebezpiecznych dla zdrowia i życia sytuacji.

Podwodna działalność człowieka w zależności od typu nurkowania i wykorzystywanej technologii, wymaga podjęcia określonych przedsięwzięć w zakresie: organizacyjnym, technicznym i medycznym. W aspekcie technicznym oznacza to zastosowanie i użycie relatywnie dużej ilości zróżnicowanych konstrukcyjnie obiektów technicznych. Muszą się one charakteryzować wysoką jakością i szczególnymi właściwościami, które wymusza otoczenie wodne i panujące w nim zmienne ciśnienie oraz bardzo zróżnicowane warunki środowiskowe. Wymienione czynniki, niezależnie od szeregu innych, determinują sposób doboru odpowiednich do sytuacji technologii nurkowych, w których zastosowane będzie najbardziej właściwe, bezpieczne i uzasadnione technicznie wyposażenie.

Zgodnie z polską normą obronną [6] technika nurkowa to techniczne układy i urządzenia służące do przeprowadzenia i zabezpieczenia nurkowania. W literaturze przedmiotu występuje szereg różnych podziałów techniki nurkowej, rozumianej jako określony zestaw (zasób) obiektów technicznych (sprzętu, urządzeń) tworzących systemy, w zależności od przyjętych kryteriów odniesienia. W każdym z nich można wyróżnić określone, charakterystyczne typy urządzeń wykorzystywanych w konkretnych nurkowaniach.

Technikę nurkową można ogólnie podzielić na dwie zasadnicze grupy :

- a) sprzęt nurkowy,
- b) urządzenia techniczne i obiekty hiperbaryczne wchodzące w układy oraz systemy nurkowe.

Pierwszą grupę stanowi wyposażenie i urządzenia techniczne nakładane bezpośrednio na ciało nurka. Składa się na nie autonomiczny lub inny typ urządzenia doprowadzającego gaz oddechowy, skafander, środki ochrony głowy, odzież ocieplająca i ochronna, buty lub płetwy, kompensatory pływalności, pasy nośne, stelaże, liny sygnałowe, noże, narzędzia oraz wyposażenie dodatkowe [6].

Do drugiej grupy należą:

- a) urządzenia lub zestawy urządzeń technicznych wraz z wyposażeniem umożliwiającym bezpieczne przebywanie nurka(-ów) pod zwiększonym ciśnieniem, zarówno w środowisku nawodnym lub podwodnym,
- b) wszystkie techniczne elementy składowe systemów nurkowych konstrukcyjnie połączonych i współpracujących ze sobą w celu umożliwienia skutecznej realizacji określonych zadań zgodnie z przyjętą technologią,
- c) obiekty hiperbaryczne rozumiane jako obiekty techniczne zaprojektowane i przeznaczone do użytkowania przez człowieka (nurka) z przestrzenią (objętością), w której panuje określone nadciśnienie.

KOROZJA

Analizowane przypadki utraty właściwości techniczno-użytkowych techniki nurkowej umożliwiły pogrupowanie ich i przypisanie do stosowanych w literaturze kryteriów oraz podziałów. Pierwszym nasuwającym się spostrzeżeniem było to, że pod wieloma względami ich mechanizmy są zbliżone z tymi powstającymi w innej działalności, niż nurkowa.

Kolejnym był fakt, że podstawową przyczyną powstawania utraty właściwości techniczno-użytkowych techniki nurkowej były przede wszystkim zdarzenia o charakterze eksploatacyjnym. W tej grupie występowały różne rodzaje niszczenia. W największej liczbie pojawiały się zużycia spowodowane zjawiskami korozyjnymi. Wynika to przede wszystkim z faktu bezpośredniego oddziaływania różnego typu środowisk wodnych (płynów) na wykorzystywany sprzęt i wyposażenie nurka oraz urządzenia techniczne i hiperbaryczne w nich zanurzone. Szczególnie technika użytkowana w akwenach morskich o różnym stopniu zasolenia sprzyja rozwojowi ognisk korozyjnych. Dodatkowym elementem nakładającym się na procesy korozyjne były uszkodzenia mechaniczne powodujące m.in. niszczenie powłok ochronnych, które sprzyjały ich inicjacji.

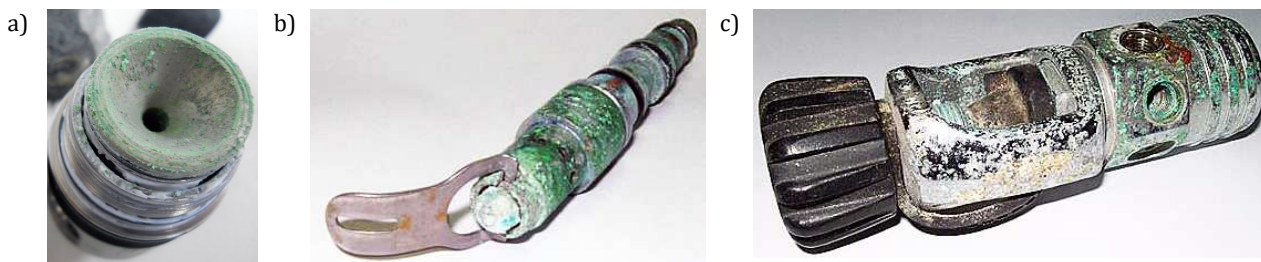
W fachowej literaturze opisanych jest wiele rodzajów korozji, które scharakteryzowano zgodnie z przyjętymi kryteriami. Ogólnie korozję opisuje się jako proces niszczenia metali pod wpływem chemicznej lub elektrochemicznej reakcji z otaczającym środowiskiem. Przebiega ona z różną intensywnością zależną od warunków użytkowania obiektu technicznego z uwzględnieniem ich składu i struktury. Istotnym zatem mechanizmem powstawania procesów korozyjnych dla techniki nurkowej, zdaniem autora, są m.in. jej dwa typy [1] :

Korozja chemiczna powodująca niszczenie metali w wyniku działania na nie suchych gazów lub cieczy nieprzewodzących prądu elektrycznego. Warstwa korozyjna powstaje w wyniku zaadsorbowania gazu, który następnie zostaje zdysocjowany dzięki powinowactwu z metalem lub wskutek podwyższenia temperatury.

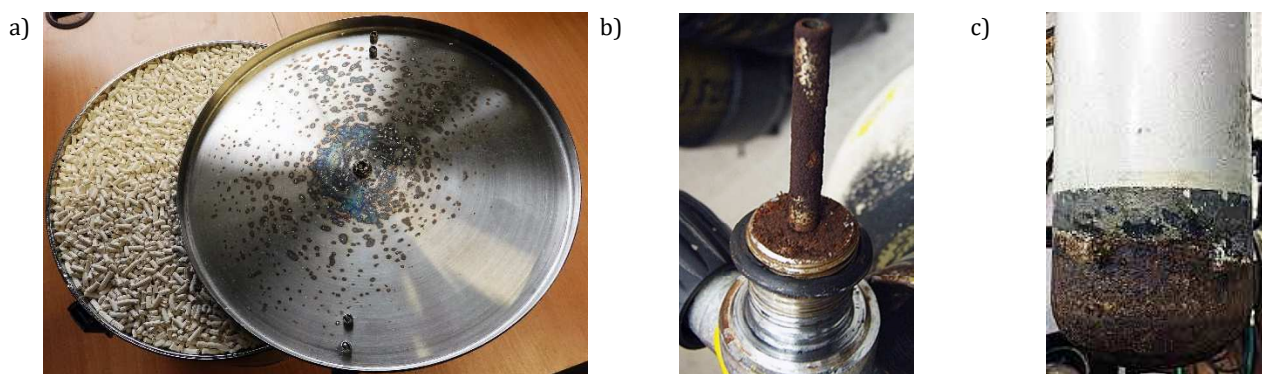
Korozja elektromechaniczna powodująca niszczenie metalu wskutek zetknięcia się go z wodą lub roztworem, które mogą stanowić elektrolit przewodzący prąd między lokalnymi ogniwami znajdującymi się na powierzchni metalu. Tworzeniu się ogniw sprzyjają zanieczyszczenia występujące w metalach oraz niejednorodność ich składu chemicznego i struktury.

Korozji ulega większość metali stosowanych w ogólnie rozumianej technice. Zachodzące w wyniku jej działania niszczenie towarzyszy eksploatacji zdecydowanej większości obiektów technicznych. Straty spowodowane korozją znacznie przewyższają skutki zużywania mechanicznego.

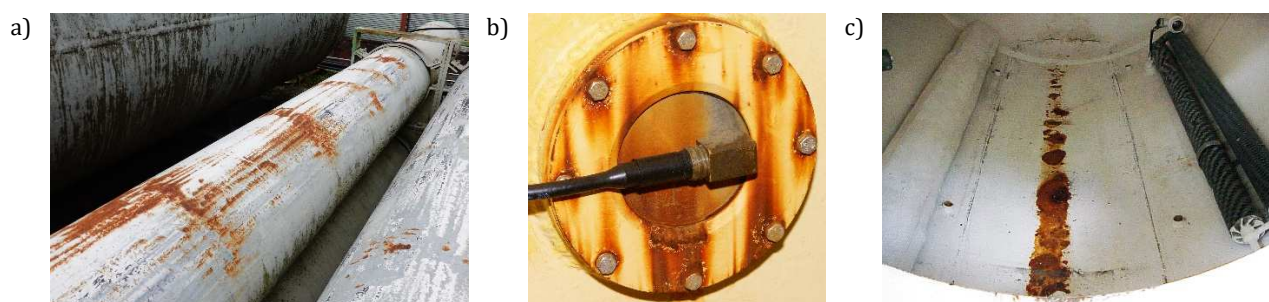
Na rys. 1,2,3 pokazano przykłady niszczenia sprzętu nurkowego i elementów techniki nurkowej wspomagającej ekspozycje nurkowe o charakterze eksploatacyjnym, spowodowanych procesami korozyjnymi.



Rys. 1 Przykłady niszczenia elementów techniki nurkowej spowodowane procesami korozyjnymi:
 a) korozja I stopnia automatu oddechowego spowodowana wodą morską [7];
 b), c) zawór redukcji II stopnia i I stopień redukcji automatu oddechowego [8].



Rys. 2 Przykłady niszczenia elementów techniki nurkowej spowodowane procesami korozyjnymi:
 a) pokrywa pojemnika na wapno sodowane pochłaniacza CO₂ instalowanego w komorze hiperbarycznej;
 b) zawór odcinający nurkowej butli zasilającej pokryty rdzą [7];
 c) dolna część nurkowej butli zasilającej [9].



Rys. 3 Przykłady niszczenia elementów techniki nurkowej spowodowane procesami korozyjnymi:
 a) zbiornik układu zasilania powietrzem komór dekompresyjnych o ciśnieniu 150 bar;
 b) korozja elektrochemiczna;
 przejścia elektrycznego przez płaszcz komory dekompresyjnej, wywołana obecnością różnych typów metali;
 c) dno komory dekompresyjnej.

USZKODZENIA MECHANICZNE

Drugą liczną grupę obiektów techniki nurkowej, w której następowała utrata własności techniczno-użytkowych w wyniku eksploatacji, stanowiły uszkodzenia mechaniczne.

Uszkodzenia mechaniczne, nazywane również zużyciem mechanicznym, to procesy o podłożu wzajemnych oddziaływań mechanicznych na elementy składowe, z których zbudowane są obiekty techniczne. Podstawą tych procesów najczęściej jest określona forma wzmożonego obciążenia i ruch elementów składowych. Mogą one pochodzić z otoczenia wewnętrznego i zewnętrznego jak np. uderzenia, otarcia, zgniecenia, zanieczyszczenia itp. oraz ze współpracy z innym elementem konstrukcyjnym. Sytuacje te z reguły doprowadzają do powstawania nadmiernego tarcia, luzów, zbyt dużych nacisków, zmęczenia materiału, zmiany kształtu, właściwości obiektu i szeregu innych.

Analizowane przypadki utraty właściwości techniczno-użytkowych techniki nurkowej, przy uwzględnieniu kryterium rodzaj i sposób ich powstania, wskazywały m.in. na:

- niewłaściwy sposób montażu współpracujących ze sobą elementów konstrukcyjnych,
- zakłócenia współpracy elementów konstrukcyjnych spowodowane zanieczyszczeniami i brakiem należytej konserwacji oraz nieprzestrzeganiem procedur eksploatacyjnych określonych przez producenta,
- mechaniczne uszkodzenia powierzchni elementów obiektów technicznych,
- mechaniczne uszkodzenia elastycznych elementów łączących urządzenia,
- utrata szczelności elementów konstrukcyjnych urządzeń.

NIEPRAWIDŁOWY MONTAŻ

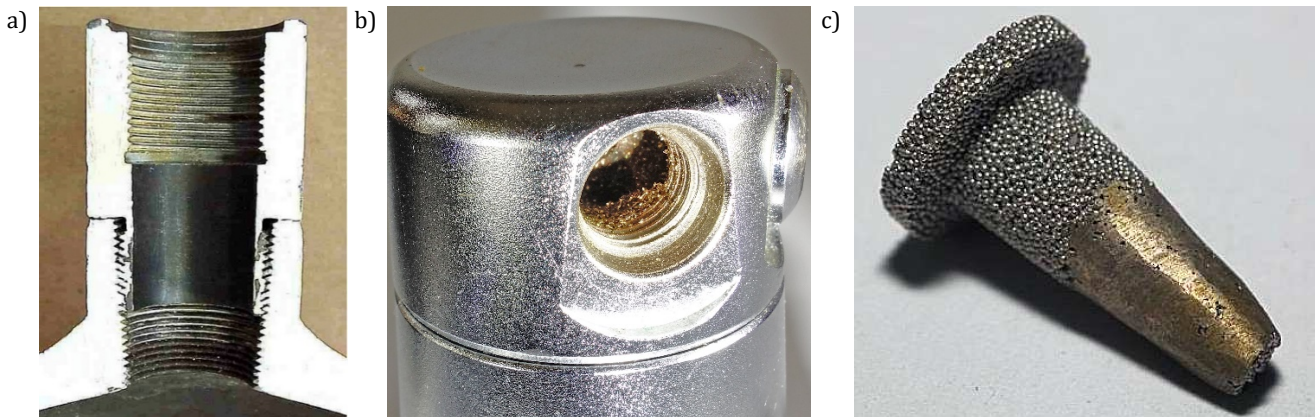
Na rys. 4 przedstawiono przykłady niewłaściwego sposobu montażu i dopasowania współpracujących ze sobą elementów sprzętu nurkowego. Pierwszy z nich pokazuje uszkodzenie powstałe w wyniku wkręcenia cylindrycznego adaptera o gwincie metrycznym do szyjki nurkowej butli zasilającej z gwintem stożkowym. Tego typu sytuacja grozi wyrwaniem montowanego elementu z szyjki butli. Najczęściej zachodzi w wyniku wzrokowej pomyłki w ocenie rodzaju gwintu lub rutyny w sposobie działania. W konsekwencji powstają warunki bardzo poważnego zagrożenia zdrowia, a nawet życia dla osoby z niej korzystającej lub ją obsługującej. W kolejnym przykładzie pokazano uszkodzenie gwintu portu LP w głowicy I stopnia automatu oddechowego. Powstało ono w wyniku wielokrotnego, niewłaściwego wkręcania końcówki elastycznego węża średniego ciśnienia w głowicę. Brak zachowania osiowości podczas wykonywania tej czynności, doprowadził do uszkodzenia gwintu w głowicy i zgromadzenia się w jej wnętrzu opiłek metalu. Ostatni przykład przedstawia mechaniczne „dopasowanie” i wmontowanie filtra w I-y stopień automatu oddechowego. W wyniku oszlifowania części

filtra, wykonanego z miękkiego materiału, doszło do zmniejszenia czynnej powierzchni filtrującej na drodze przepływu gazu oddechowego ze źródła zasilania do automatu oddechowego [9].

ZANIECZYSZCZENIA

Zanieczyszczenia techniki nurkowej w postaci pozostałości piasku, tworzących się „mazi” organicznych czy „szlamu” pochodzenia olejowego i ich kombinacje są najczęściej zaniedbaniami procedur konserwacyjnych. Zwykle powstają w wyniku długotrwałego pozostawiania sprzętu zawilgoconym, nieumytym, a także składowania w wilgotnym, ciepłym środowisku. Przedmiotowe stany skutecznie obniżają parametry użytkowe i mogą zakłócić współpracę pomiędzy elementami konstrukcyjnymi. Widocznym efektem jest wzrost tarcia pomiędzy częściami, ciężka ich współpraca, zakłócenia w przepływie gazu oddechowego itp.

Na rys. 5 pokazano przykłady zanieczyszczenia elementów składowych II stopnia automatu oddechowego.



Rys. 4 Przykłady niewłaściwego sposobu montażu współpracujących ze sobą elementów sprzętu nurkowego:

- a) wkręcenie cylindrycznego adaptera o gwincie metrycznym do szyjki nurkowej butli zasilającej z gwintem stożkowym [10];
 b) uszkodzenie gwintu portu LP w głowicy I stopnia automatu oddechowego w wyniku niewłaściwego wkręcania;
 c) oszlifowanie części filtra I stopnia, automatycznie obniżające jakość i skuteczność jego działania [11].

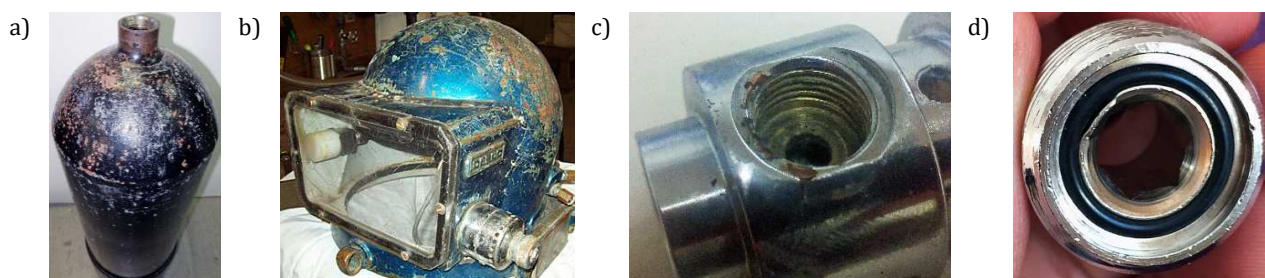


Rys. 5 Przykłady zanieczyszczenia II stopnia automatu oddechowego [8,12].

ODDZIAŁYWANIE FIZYCZNE

Są to zdarzenia pochodzące od wzajemnego, fizycznego oddziaływania na siebie różnych elementów konstrukcyjnych funkcjonalnie powiązanych ze sobą, jak i obcych, niezwiązanych, wywodzących się z najbliższego otoczenia. W ich wyniku powstają m.in. obicia, zadrapania, wgniecenia, zagięcia, lokalne pęknięcia, przerwania i szereg innych. Często lokalizują się na powierzchniach obiektów technicznych zabezpieczonych powłokami ochronnymi, jak np. farby, chromowanie, ocynkowanie i inne. Mogą powstawać zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz elementu techniki nurkowej. Utrata tych zabezpieczeń szczególnie sprzyja pojawianiu się różnych typów ognisk korozji. Do tej grupy uszkodzeń należą także wszelkie uszkodzenia zniekształcające geometrię obiektu, powodujące pogorszenie współpracy z innymi elementami lub wręcz je uniemożliwiające.

Na rys. 6 pokazano przykłady uszkodzeń mechanicznych powstałych w wyniku oddziaływania fizycznego.



Fot. 6 Przykłady mechanicznych uszkodzeń elementów powstałych w wyniku oddziaływania fizycznego:

- a) nurkowa butla zasilająca;
 b) hełm nurkowy [13];
 c) miejscowa utrata powłoki chromu na elemencie automatu oddechowego [14];
 d) uszkodzenie gniazda uszczelnienia typu „O”-ring [15];

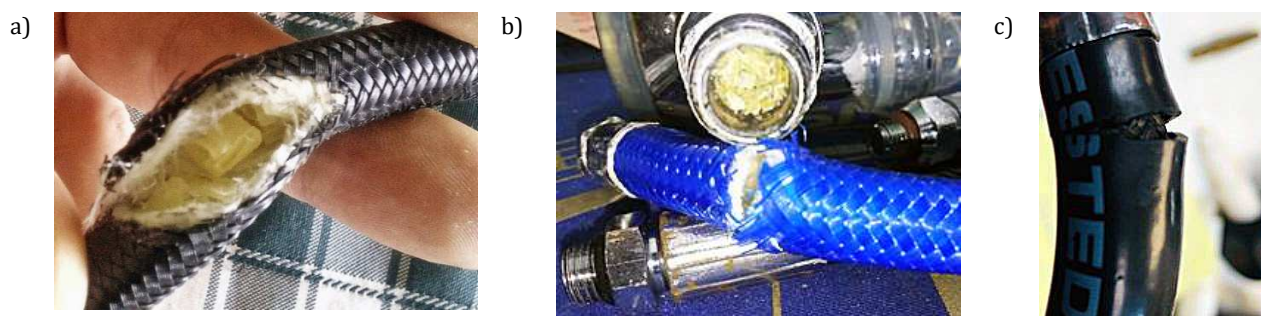
POŁĄCZENIA ELASTYCZNE

Połączenia elastyczne stanowią niezbędny element łączący określone części składowe techniki nurkowej w funkcjonalną, współpracującą całość. Znajdują one szerokie zastosowanie zarówno w sprzęcie nurkowym, jak i w urządzeniach oraz obiektach hiperbarycznych. Konstrukcyjnie stanowią giętkie przewody rurowe przystosowane do pracy w różnych środowiskach i zmiennych ciśnieniach. Wykonywane są z elastycznych materiałów jak np. termoplastycznego polietero-poliuretanu z założonym wzmacniającym opłotem z tworzywa lub metalu i często obłożone zewnętrzną powłoką gumową. Użytkowane są również przewody wykonane z teflonu oraz jako giętkie przewody metalowe z rur fałdowanych. Oba typy najczęściej umieszczane są w opłotach ze stali nierdzewnej [16].

Połączenia elastyczne stanowią grupę elementów techniki nurkowej, w której podstawową formą utraty właściwości techniczno-użytkowych jest przede wszystkim starzenie. Producenci zalecają, aby szczególnie węże w oplocie, przy normalnym użytkowaniu, wymieniać co pięć lat [17]. Mają one ograniczoną żywotność bez względu na wygląd zewnętrzny zarówno opłotu oraz osłony gumowej. Wynika to m.in. z faktu, że określone materiały zastosowane do ich produkcji mają tendencję do rozpadu w wyniku hydrolizy. Cykliczne podgrzewanie i ochładzanie, powstające podczas nurkowania, sprzyja degradacji polegającej na krystalizacji materiału wewnętrznej części węża (wyściółki). W efekcie powstają „kryształki” utrudniające przepływ gazu oddechowego i przemieszczające się w kierunku II stopnia automatu oddechowego [17,18].

Połączenia elastyczne, jako element techniki nurkowej, podlegają również uszkodzeniom czysto mechanicznym. Są to m.in. lokalne przetarcia, pęknięcia, przerwania ciągłości materiału, rozerwania czy ścieranie i/lub pęknięcia zewnętrznej powłoki ochronnej np. z gumy. Typowym uszkodzeniem jest też korozja metalowych, zaciskanych końcówek węży (łączników), umożliwiających ich połączenia z innymi elementami konstrukcyjnymi.

Na rys. 7 pokazano przykłady uszkodzeń połączeń elastycznych stosowanych w nurkowych aparatach oddechowych.



Fot. 7 Przykłady uszkodzeń połączeń elastycznych stosowanych w nurkowych aparatach oddechowych:

- a) wnętrze węża oddechowego z widocznymi kryształkami pochodzącymi od jego wyściółki [18];
 b) wąż zasilający uszkodzony od wewnątrz [7];
 c) przerwanie ciągłości zewnętrznej, gumowej powłoki węża zasilającego [14].

UTRATA SZCZELNOŚCI

Powstanie nieszczelności z reguły zachodzi w statycznych lub dynamicznych połączeniach rozłącznych. Powodem jest najczęściej zakłócenie współpracy pomiędzy łączonymi elementami z umieszczonym między nimi uszczelnieniem. Najczęściej nie powoduje natychmiastowej utraty zdolności do dalszego użytkowania. Obniża jednak parametry techniczno-użytkowe w czasie, mogące w konsekwencji doprowadzić do groźnych w skutkach zdarzeń. Stan ten wymaga podjęcia zdecydowanych działań obsługowych.

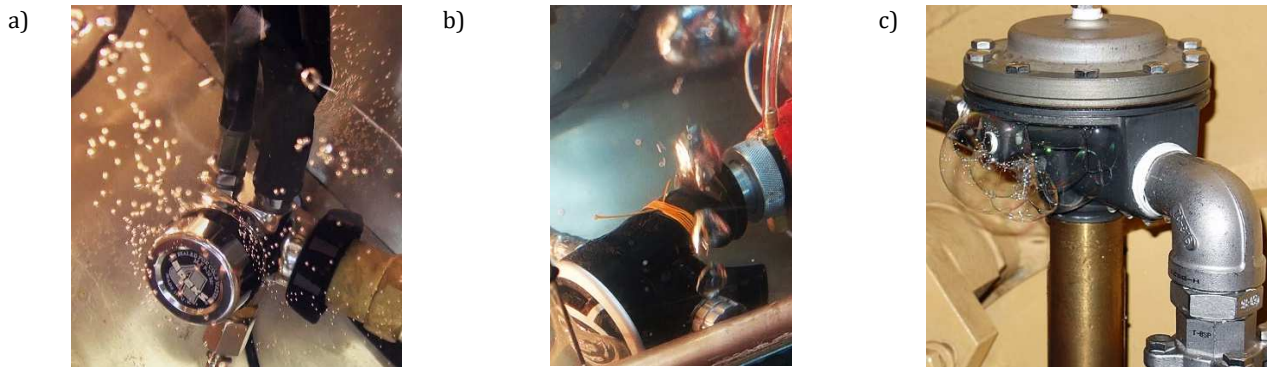
Przyjmując kryterium sposób wykorzystania stosowane są uszczelnienia typu stacjonarnego i ruchowego. Do pierwszego rodzaju należą te, w których połączone części składowe pozostają w bezruchu względem siebie np. zawór odcinający wkręcony w szyjkę butli zasilającej. W przypadku połączeń ruchowych elementy współpracujące są uszczelniane

jednym z wielu ich typów. Szczególnie szeroko stosowanym w technice nurkowej jest uszczelnienie „o”-ringowe. Wykorzystywane jest zarówno w sprzęcie, jak i systemach nurkowych.

W zależności od zastosowanego materiału i sposobu użytkowania ulegają one uszkodzeniom. Do typowych należy ich starzenie polegające na wysychaniu i pękaniu, co powoduje utratę szczelności. Dodatkowo brak należytego smarowania i zbyt chropowata powierzchnia elementów uszczelnianych dopełniają całości. Często przyczyną bywa także „zaciąganie” materiału „o”-ringów pomiędzy współpracujące części podczas niewłaściwie prowadzonego montażu.

Stosowane są również inne sposoby uszczelniania jak np. taśmy teflonowe. Wykorzystuje się je przede wszystkim w połączeniach stacjonarnych. Źle wykonane prowadzą do powstania nieszczelności. W każdej sytuacji uszkodzone uszczelnienie powinno być wymienione na nowe.

Na rys. 8 pokazano przykłady utraty szczelności elementów techniki nurkowej.

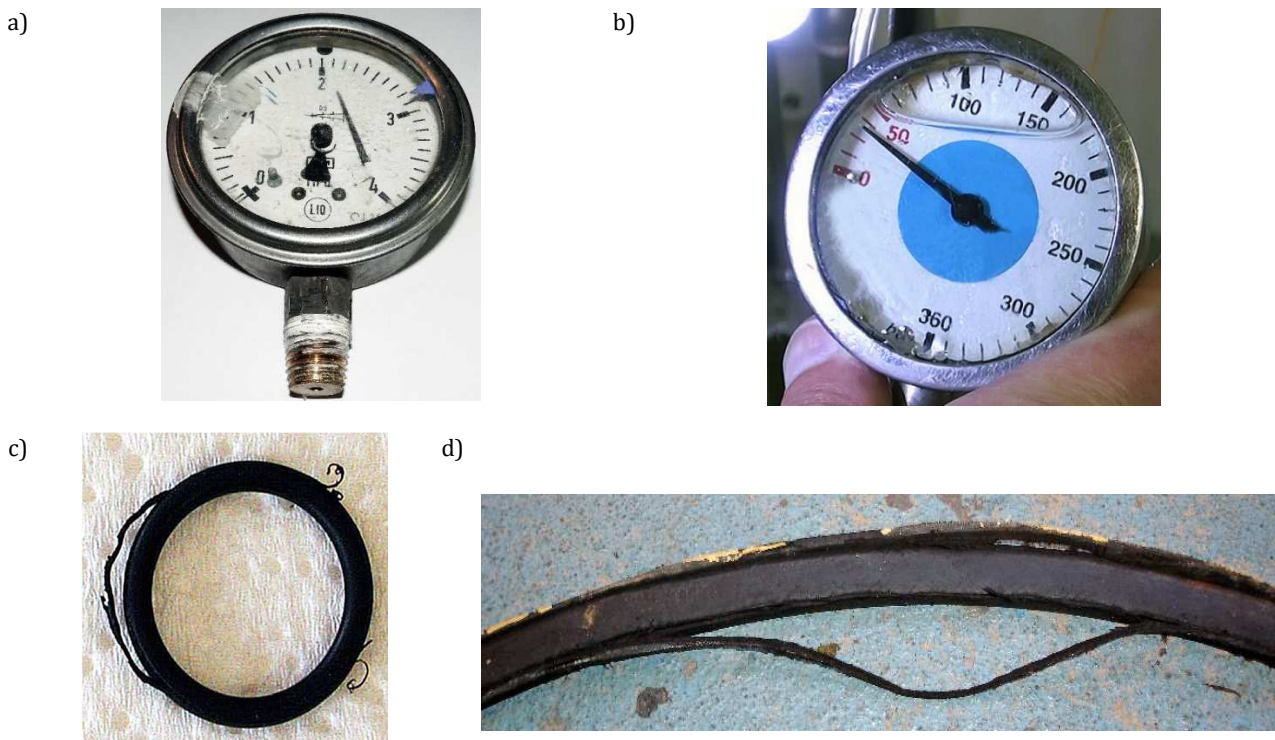


Fot. 8 Przykłady utraty szczelności elementów techniki nurkowej:
 a) I stopnia automatu oddechowego – uszczelnienie typu „o”-ring;
 b) pokrętła regulacji II stopnia automatu oddechowego – uszczelnienie typu „o”-ring;
 c) reduktora ciśnienia w układzie zintegrowanego systemu oddychania w komorze dekompresyjnej – uszczelnienie taśmą teflonową.

ZNISZCZENIA

W procesach użytkowania techniki nurkowej zachodzą przypadki jej zniszczenia. Na ogół występują dwa stany: zniszczenie w normalnym procesie użytkowania lub w wyniku gwałtownego zdarzenia. W obu przypadkach jest ono nieodwracalne. Określone elementy składowe lub kompletne urządzenia nie podlegają naprawie i muszą być zastąpione nowymi.

Na rys. 9 pokazano zniszczenia elementów techniki nurkowej w normalnym procesie użytkowania.



Fot. 9 Przykłady zniszczenia elementów techniki nurkowej w normalnym procesie użytkowania:
 a) manometr z powietrznej instalacji zasilającej komory dekompresyjnej zniszczony po długotrwałej pracy;
 b) manometr do pomiaru ciśnienia w buci zasilającej automat oddechowy zalany;
 c) uszczelnienie typu „O”-ring w automacie oddechowym [19];
 d) uszczelnienie wlotu komory dekompresyjnej po długotrwałym użytkowaniu.

Gwałtowne procesy zniszczenia są szczególnie charakterystyczne dla techniki nurkowej, która pracuje w obecności środowiska tlenowego. Są to m.in. tlenowe instalacje zasilające, jak również aparaty oddechowe o półzamkniętym i zamkniętym obiegu gazu oddechowego (tzw. rebreathery). Zagadnienie to związane jest z dwoma pojęciami, stanowiącymi jednocześnie fundamentalne zasady, których nieprzestrzeganie prowadzi do bardzo groźnych w skutkach wypadków. Są to:

Czystość tlenowa oznaczająca minimalny dopuszczalny poziom czystości sprzętu nurkowego, systemu tlenowego lub jego elementów zapewniający bezpieczne użytkowanie w warunkach tlenowych [6].

Czysty element to część układu, systemu, który jest całkowicie oczyszczony lub posiada powierzchnie oczyszczone, które zostały poddane detekcji i zachowują odpowiedni, dozwolony poziom zanieczyszczeń [6]. Oznacza to ich brak w instalacjach i układach tlenowych, gdzie mogą działać jak źródło paliwa lub iskra zapłonowa np. włókna, smary, oleje, pyły, opiłki, zadziory, nierówności, cząstki stałe itp.

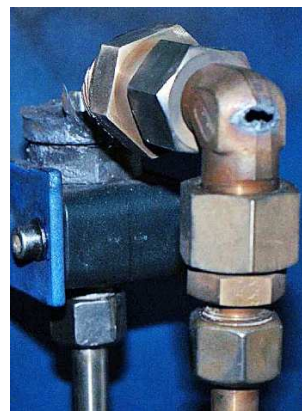
Kompatybilność tlenowa oznaczająca odpowiedni dobór materiałów konstrukcyjnych, które mogą ze sobą współpracować w środowisku czystego tlenu i mieszanin gazowych o dużej jego zawartości, nie wywołując powstania zapłonu lub szybkiego zużycia. Istotne są kryteria stosowalności określonych materiałów jak m.in. : minimalna temperatura zapłonu, ciepło właściwe oraz przewodność termiczna. Kompatybilne tlenowo są takie materiały jak stale nierdzewne, mosiądze, nie powodujące powstawania ładunków elektrostatycznych, smary i uszczelnienia przystosowane do współpracy z tlenem itp. [16]. Duże znaczenie mają też wartości prędkości przepływu tlenu w instalacjach i urządzeniach oraz kształty geometryczne elementów konstrukcyjnych.

Na rys. 10 pokazano zniszczenia elementów techniki nurkowej powstałe w wyniku gwałtownego zdarzenia.

c)



d)



Rys. 10 Przykłady zniszczenia sprzętu nurkowego i elementów techniki nurkowej w wyniku gwałtownego zdarzenia:

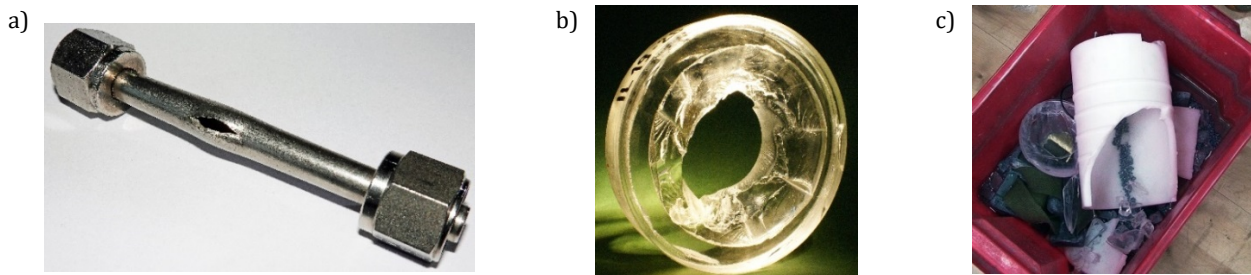
a) b) pożary aparatów nurkowych typu rebreather [20,21];

c) korpus i głowica zaworu odcinającego w instalacji przetłaczarki tlenu;

d) zawór bezpieczeństwa z instalacji tlenowej zasilania komory dekompresyjnej [fot. Krzysztof Czermak].

W określonych sytuacjach zniszczenie może mieć również pozytywny charakter. Dotyczy to stosowania prób niszczących elementów techniki nurkowej. Charakter tych działań ma podłoże przede wszystkim badawcze i poznawcze. Podstawowym ich celem jest sprawdzenie granicznych, maksymalnych możliwości pracy pojedynczej części i/lub ich współpracy w konkretnym rozwiązaniu technicznym. Są one niezbędne do zapewnienia możliwie najwyższych standardów bezpieczeństwa konstrukcji techniki nurkowej udostępnianej potencjalnym użytkownikom.

Na rys. 11 pokazano przykłady prób niszczących elementów techniki nurkowej.



Rys. 11 Przykłady elementów techniki nurkowej poddanych próbom niszcącym:
 a) fragment instalacji gazowej zasilającej komorę dekompresyjną poddany ciśnieniu 60 MPa;
 b) szkło acrylowe iluminatora komory dekompresyjnej zniszczone przy ciśnieniu ok. 25 MPa;
 c) obudowa kamery filmowej zniszczona ciśnieniem środowiska wodnego odpowiadającej wartości ok. 3 MPa.

BŁĘDY KONSTRUKCYJNE

Producenci techniki nurkowej dążą do tworzenia i produkowania wyrobów na możliwie najwyższym poziomie. Ważną rolę w tych procesach odgrywają towarzystwa klasyfikacyjne, jednostki certyfikujące itp., które nadają tym produktom odpowiednie certyfikaty dopuszczające je do użytkowania. Kupujący technikę nurkową, będąc świadomym zagrożenia wynikającego z nurkowania, w miarę możliwości zaopatrują się w sprzęt o najwyższych standardach bezpieczeństwa. Dlatego też utrata własności techniczno-użytkowych techniki nurkowej, spowodowanych ewidentnymi błędami konstrukcyjnymi, stanowi nieliczne przypadki. Nie mniej takie się zdarzają.

Na rys. 12 pokazano przykłady elementów wykorzystywanych w układach techniki nurkowej o wadliwej konstrukcji. W obu przypadkach w trakcie konstruowania przewidziano materiał o zbyt małej grubości. W konsekwencji pojemnik służący do ochrony komputera od środowiska wodnego w komorze dekompresyjnej został zgnieciony. Drugi element stanowił część gwintowaną zaworu bezpieczeństwa wkręcaną w zbiornik rozchodowy powietrza nurkowego. Średnica rdzenia gwintu w stosunku do wewnętrznej średnicy przelotu zaworu była zbyt mała. W wyniku oddziaływania zmiennego w czasie ciśnienia nastąpiło zmęczenie materiału i powstało pęknięcie na średnicy rdzenia. Konsekwencją była nieszczelność i zagrożenie mogące doprowadzić do wyrwania zaworu z gniazda.



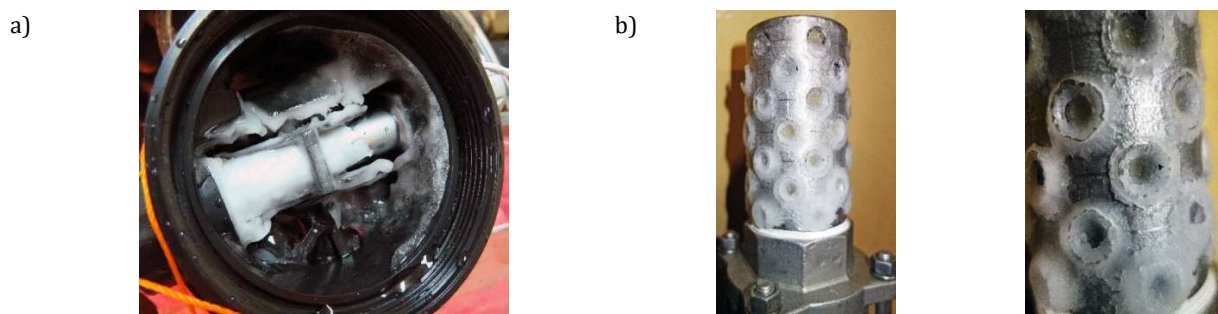
Rys. 12 Przykłady elementów wykorzystywanych w układach techniki nurkowej o wadliwej konstrukcji:
 a) pojemnik ciśnieniowy do komputera stanowiska badań wysiłkowych;
 b) część gwintowana zaworu bezpieczeństwa zamontowanego w gnieździe zbiornika rozchodowego powietrza.

ZAMROŻENIA

Nietypowym sposobem utraty właściwości techniczno-użytkowych określonych elementów techniki nurkowej są zamrożenia. Powstają one głównie w wyniku efektu Joula-Thompsona. Stan ten może doprowadzić do zablokowania przepływu gazu w sprzęcie nurkowym i instalacjach zasilających. Odblokowanie przepływu następuje po „rozmarzeniu”. Szczególnie narażone na ten efekt są automaty oddechowe pracujące w obiegu otwartym. Należy zaznaczyć, że zamrożenie automatu jest bardzo niebezpieczne i niesie ze sobą spore ryzyko powstania groźnego wypadku nurkowego.

Z technicznego punktu widzenia jest to sytuacja ogólnie krótkotrwała. Efektem jest całkowite uniemożliwienie normalnej pracy, najczęściej zaworu redukcyjnego II stopnia i doprowadzenie do swobodnego wypływu powietrza z butli zasilających. Trudno jest jednoznacznie określić czy czasowe zamrożenie jest usterką czy uszkodzeniem lub inną formą utraty sprawności działania. Nie powoduje ono trwałego uszkodzenia urządzenia, a po upływie określonego czasu automat (element, urządzenie) dalej pracuje zgodnie ze swoim przeznaczeniem.

Na rys. 13 pokazano przykłady zamrożenia elementów techniki nurkowej.



Rys. 13 Przykłady zamrożenia elementów techniki nurkowej:
 a) II stopień automatu oddechowego użytkowany w wodzie o temperaturze ok. 4 °C;
 b) filtr wmontowany w zawór odcinający instalacji odlotowej z komory dekompresyjnej.

PRZYPADEK

Nietypowym i zarazem „zabawnym” był przypadek utraty właściwości techniczno-użytkowych przedstawiony na fot. 14. Obiekt stanowił elastyczny, wysokociśnieniowy wąż zasilania gazem oddechowym w instalacji nurkowej. Na zewnętrznej jego stronie producent wykonał obłożenie metalowego oplotu elastycznym tworzywem. Po połączeniu elementów składowych instalacji przedmiotowym węzłem i doprowadzeniu ciśnienia gazu pojawił się „gazowy bąbel”. Elastyczny wąż nie wykazywał żadnych objawów nieszczelności czy uszkodzenia w miejscu powstania bąbla, które wymagałoby natychmiastowej jego wymiany. Zewnętrzny ogląd zasugerował, że drobna nieszczelność mogła powstać na jednej z dwóch zaciśniętych na końcach węża metalowych złączach, podłączonych od strony wyższego ciśnienia. Gaz przedostał się przestrzeniami metalowego oplotu i rozwarstwił elastyczny oplot w miejscu najbliższego jego przylegania.

Pytaniem do rozstrzygnięcia pozostało czy zaistniały przypadek należało zakwalifikować jako usterkę czy uszkodzenie?



Rys. 14 Przypadek rozwarstwienia obłożenia wykonanego z tworzywa od metalowego oplotu ciśnieniowego, elastycznego węża instalacji nurkowej.

WNIOSKI

Artykuł z pewnością nie wyczerpał wielu aspektów związanych z zaprezentowanym tematem. Wynika to z faktu, że ogólnie rozumiana eksploatacja obiektów technicznych, jako istotna działalność człowieka, jest bardzo rozległym i często złożonym zagadnieniem.

Na podstawie przeglądu publikatorów i zgromadzonych materiałów oraz przeprowadzonej ich analizy można wyciągnąć następujące wnioski :

- Mechanizmy utraty własności techniczno-użytkowych obiektów techniki nurkowej w zdecydowanej większości nie różnią się od tych występujących w innych dziedzinach techniki, nie związanej ze sprzętem nurkowym oraz urządzeniami i wyposażeniem hiperbarycznym. Wpasowują się one również w podziały i kryteria stosowane w dziedzinie eksploatacji technicznej. Odstępstwo stanowią m.in. nurkowe aparaty oddechowe o obiegu otwartym. W określonych warunkach możliwe są czasowe zakłócenia ich podstawowej funkcji użytkowej spowodowanej procesem zamrażania. Zdarzenia te występują w czasie rzeczywistym i mogą być przyczyną zagrożenia zdrowia oraz życia nurka.
- Istotnym elementem różniącym technikę nurkową od innych, nie nurkowych obiektów technicznych, jest m.in. jej praca pod zwiększonym, zmiennym ciśnieniem gazu i środowiska wodnego. Bezpośrednio w tych warunkach przebywa człowiek-nurek. Dlatego też sprzęt i urządzenia wykorzystywane do realizacji pracy nurka pod wodą muszą charakteryzować się wysoką jakością wykonania, sprawnością działania i w maksymalnym stopniu zapewniać bezpieczeństwo jego użytkowania. Narzuca to stosowanie odpowiednich materiałów konstrukcyjnych, wyposażenia, komponentów i wielu innych elementów składowych w dobrej klasie wykonania, odpornych na

działanie otoczenia zewnętrznego. Nie bez znaczenia jest też czas jego niszczącego oddziaływania na nurkowe obiekty techniczne, który powinien być dla nich stosunkowo wydłużony. Oznacza to konieczność uzyskania większej odporności techniki nurkowej na wszelkie formy zmniejszania jej wartości techniczno-użytkowych w czasie.

- Na mobilną technikę nurkową, tzn. nietrwale związaną z określoną lokalizacją, wpływ ma przemieszczanie jej w różne położenia geograficzne. Lokowanie kompletnych systemów nurkowych w zmiennym otoczeniu atmosferycznym, jak i wodnym, powoduje sprzyjające warunki do obniżania wartości techniczno-użytkowych niemal wszystkich jej elementów składowych. Największa liczba analizowanych przypadków wyraźnie wskazywała, że niszczenie techniki nurkowej spowodowane było przede wszystkim przez różne typy korozji. Drugą liczną grupę stanowiły przypadki obniżania i utraty sprawności technicznej w wyniku procesów eksploatacyjnych.
- W szeregu przypadkach zachodziły przesłanki wskazujące, że przyczynami uszkodzeń było niewłaściwe użytkowanie i obsługiwane techniki nurkowej. Podstawową przyczyną tych sytuacji było nieprzestrzeganie zaleceń producenta w zakresie instrukcji użytkowania oraz wskazywanych terminów przeglądów i napraw. Często, niewłaściwym postępowaniem użytkowników jest samodzielne wykonywanie przedmiotowych czynności. Oznacza to brak korzystania z wyspecjalizowanych zakładów naprawczych, dysponujących zapleczem technicznym i odpowiednio przeszkolonym personelem. Znaczenie miały też zaniedbania w obsłudze techniki nurkowej po jej wykorzystaniu, nienależycie wykonywana konserwacja, przechowywanie i składowanie.
- Toczący się postęp techniczny i powstające wraz z nim technologie wskazuje, że również w technice nurkowej dokonują się zmiany. Dużą rolę odgrywają nowe rodzaje materiałów konstrukcyjnych, które będą wypierały obecnie stosowane. Przykładem mogą być nurkowe butle zasilające wykonywane z materiałów kompozytowych. Praktycznie likwidują problem korozji, występujący w dotychczasowych konstrukcjach stalowych. Jednak wraz z nimi pojawił się inny typ uszkodzeń, jakim są m.in. ich rozerwania.

BIBLIOGRAFIA

1. Moduł 1. Wymagania eksploatacyjne maszyn i urządzeń elektrycznych. Kształcenie na odległość <https://docplayer.pl/12329364-Modul-1-wymagania-eksploatacyjne-maszyn-i-urzadzen-elektrycznych.html>;
2. Opracowanie – <https://www.wimpoig.utp.edu.pl/Opracowanie/Projektowanie%20EM/R.II.pdf>;
3. Opracowanie – <http://wimpoig.utp.edu.pl/Opracowania/Genewizowanie/R.2.pdf>;
4. Stanisław Legutko „Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń” Podręcznik WSiP ISBN:83-02-08998-2 Gandal.com.pl;
5. Norma Obronna NO-07-A118:2015 Nurkowanie w celach militarnych. Terminologia i klasyfikacja. MON;
6. Norma Obronna NO-07-A098 2010 „Nurkowanie w celach militarnych. Systemy nurkowe. Czystość tlenowa, wymagania i procedury” MON;
7. <https://www.diveunderwaterworld.com/life-support-servicing-equipment.htm>;
8. <https://www.caribinn.com/repairs-and-some-other-things/>;
9. <https://www.tdisdi.com/erdi-news/inspecting-cylinders/>;
10. https://www.nies.ch/doc/tr/tr168_tauchflaschen.pdf;
11. <https://pacificadive.wordpress.com/2012/08/01/please-be-aware-equipment-service/>;
12. <https://www.mauidreamsdiveco.com/2015/10/Solutions-for-Stinky-Scuba-Gear>;
13. <https://www.divedesco.com/divingequipment/services>;
14. <http://www.keylargodivecenter.com/reg-repair/>;
15. <https://www.scubaboard.com/community/threads/din-to-yoke-adapter-question.551337/>;
16. Nicos Raftis „Podręcznik mieszania gazów” Wielki Błękit sp. z o.o. Warszawa 2009 ISBN – 978-83-61217-16-9;
17. https://alertdiver.eu/en_US/articles/invisible-crystals-and-regulator-failures;
18. http://scubatechphilippines.com/scuba_blog/regulator-hose-diving-emergency/;
19. http://www.brianb.org/images/Scuba/Homemade/Gas%20Booster/gas_booster.htm;
20. Jeff M. Godfrey „Oxygen – Best Practices for Scientific Rebreather Diving Operations” Univesity of Connecticut, Marine Sciences and Technology Center, 1080 Shennecossett Road, Groton, CT 06340, USA
In : Neal W. Pollock, PhD, Steven H. Sellers, Jeffrey M. Godfrey „Rebreathers and Scientific Diving” Workshop Proceedings February 16-19, 2015 Wrigley Marine Science Center, Catalina Island, CA;
21. <https://www.scubaboard.com/community/threads/ccr-incident-in-dive4life.541027/>.

dr inż. Zbigniew Talaska

Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte
81-103 Gdynia 3 ul. Śmidowicza 69
Katedra Technologii Prac Podwodnych
tel. + 58 626 27 46, fax. +58 625 38 82
e-mail : z.talaska@amw.gdynia.pl