

INSPEKTOR

TECHNIKA I BEZPIECZEŃSTWO

3-4/2024

WYWIAD Z PREZESEM URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO

KULTURA BEZPIECZEŃSTWA
SINE QUA NON

RACJONALNE PODEJŚCIE
DO ZARZĄDZANIA RYZYKIEM

BADANIA MATERIAŁOWE
DLA ENERGETYKI

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA
DYREKTYWA EED

CYBERBEZPIECZEŃSTWO
W BRANŻY DŹWIGOWEJ
KONSERWACJA PREDYKCYJNA Z AI

DYREKTYWY
PED/SPVD





PN-EN ISO 50001

CERTYFIKACJA SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

- Skuteczny system zarządzania energią (EnMS) ■
- Poprawa efektywności energetycznej ■
- Optymalizacja kosztów (redukcja zużycia energii) ■
- Redukcja emisji gazów cieplarnianych ■
- Spełnienie wymagań znowelizowanej Dyrektywy EED ■
- Zwolnienie z obowiązku przeprowadzania cyklicznych audytów energetycznych przedsiębiorstwa ■

**SPRAWDŹ OFERTĘ UDT-CERT
DLA GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM**





Szanowni Państwo,

zapraszam do kolejnego, inspirującego numeru naszego magazynu. Otwieramy go wywiadem z Panem dr. inż. Pawłem Urbańczykiem, Prezesem Urzędu Dozoru Technicznego, który od tego roku nadaje kierunek naszej organizacji. Następnie poznają Państwo wiele ciekawych opracowań, w których nasi eksperci dzielą się wiedzą i doświadczeniem na temat zmian przepisów, analiz ryzyka, cyberbezpieczeństwa, badań materiałowych oraz metod oceny stanu technicznego urządzeń i ich bezpiecznej eksploatacji. Otworzyliśmy także nasze łamy dla przedstawicieli środowisk naukowo-badawczych, by mogli zaprezentować ciekawe dla czytelników specjalistyczne opracowania.

Tradycyjnie zapraszam Państwa do sięgania do poprzednich wydań magazynu UDT, w których można zapoznać się z kolejnymi częściami cykli tematycznych (www.udt.gov.pl/inspektor-on-line). Polecam także bardzo serdecznie wydania specjalne magazynu „INSPEKTOR”. Ostatnio prezentowaliśmy Państwu szeroko możliwości badawcze Centralnego Laboratorium Dozoru Technicznego. W innych numerach opisane były zagadnienia dla branż energetycznej oraz chemicznej i petrochemicznej.

Życzę udanej lektury

Redaktor Naczelna
Dr inż. Małgorzata Suś-Ryszkowska
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego



www.udt.gov.pl/inspektor-on-line



w numerze

- 4 WYWIAD Z DR INŻ. PAWŁEM URBAŃCZYKIEM, PREZESEM UDT
- 8 ZMIANY OTOCZENIA PRAWNEGO UDT ENERGETYKA JĄDROWA
- 10 KULTURA BEZPIECZEŃSTWA WARUNKIEM SINE QUA NON
- 14 RACJONALNE PODEJŚCIE DO ZARZĄDZANIA RYZYKIEM ZASADA ALARP
- 20 BADANIA DLA ENERGETYKI DEGRADACJA STALI AUSTENITYCZNYCH
- 30 ANALIZA ODKSZTAŁCEŃ W OCENIE USZKODZEŃ ZMĘCZENIOWYCH W STALI ŻAROWYTRZYMAŁEJ 14MOV6-3
- 38 ZWIĘKSZANIE WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ ZŁĄCZY SPAWANYCH PRZETAPIANIE BRZEGU SPOINY ŁUKIEM TIG
- 42 METODA OCENY RYZYKA LOPA ANALIZA WARSTW ZABEZPIECZEŃ
- 52 EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PO NOWELIZACJI DYREKTYWY EED (2023/1791)
- 58 CYBERBEZPIECZEŃSTWO W DŹWIGACH NOWE ROZPORZĄDZENIA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE)
- 62 KONSERWACJA PREDYKCYJNA Z WYKORZYSTANIEM AI W BRANŻY DŹWIGOWEJ
- 66 BEZPIECZEŃSTWO URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH FORUM JEDNOSTEK OCENY ZGODNOŚCI CABF PED/SPVD MODUŁY OPARTE NA ZAPEWNIENIU JAKOŚCI W DYREKTYWIE CIŚNIENIOWEJ PED
- 74 PROJEKTOWANIE ZBIORNIKÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH PRZY ZASTOSOWANIU METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH (MES)
- 78 OCHRONA ODGROMOWA I PRZECIWPROMEIENIOWA W INFRASTRUKTURZE ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH
- 84 URZĄDZENIA CIŚNIENIOWE NA PLACACH BUDÓW BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACJI
- 89 URZĄDZENIA INSTALOWANE W OBIEKTACH MIESZKALNYCH I HANDLOWYCH PO ZAKOŃCZONYM ETAPIE BUDOWY
- 94 WIRTUALNY ŚWIAT UDT

BIULETYN URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO

INSPEKTOR
TECHNIKA I BEZPIECZEŃSTWO

Wszelkie prawa zastrzeżone © Urząd Dozoru Technicznego
Redakcja zastrzega sobie prawa do skracania i redagowania tekstów.

Bezpłatny biuletyn Urzędu Dozoru Technicznego
ul. Szcześliwicka 34, 02-353 Warszawa
inspektor@udt.gov.pl, www.udt.gov.pl

Redaktor Naczelna:
Małgorzata Suś-Ryszkowska



WSZYSTKO ZACZYNA SIĘ I KOŃCZY NA LUDZIACH



DR INŻ. PAWEŁ URBAŃCZYK

Prezes Urzędu Dozoru Technicznego

Z UDT związany od ponad 22 lat. Posiada nie tylko praktyczną wiedzę dotyczącą funkcjonowania organizacji i jej otoczenia prawnego, ale również zna realia rynkowe związane z realizacją strategicznych projektów i inwestycji, w ramach których UDT występuje jako jednostka inspekcyjna, notyfikowana i certyfikująca. Kierował projektami dla energetyki zawodowej i ciepłej. Był odpowiedzialny za zarządzanie wielozadaniowymi zespołami ekspertów UDT. Jest również wykładowcą w Akademii UDT. W 2016 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej. Uczestniczył jako ekspert w konferencjach krajowych i międzynarodowych w dziedzinie dozoru technicznego. Jest autorem i współautorem artykułów o tematyce materiałów dla energetyki, publikowanych na łamach prasy krajowej, a także współautorem publikacji naukowo-technicznych. Członek Polskiej Akademii Nauk Oddział w Katowicach – Komisja Energetyki. Za wkład w funkcjonowanie UDT, wiedzę ekspercką oraz pracę na rzecz bezpieczeństwa publicznego otrzymał w 2022 r. odznaczenie Zasłużony dla Dozoru Technicznego.

Wywiad z dr. inż. Pawłem Urbańczykiem, Prezesem Urzędu Dozoru Technicznego

– rozmawia Małgorzata Suś-Ryszkowska, redaktor naczelna biuletynu „Inspektor. Technika i Bezpieczeństwo”.

Panie Prezesie, jest Pan związany z naszą firmą od ponad dwudziestu dwóch lat, a od tego roku sprawuje Pan pieczę i nadaje kierunek całemu UDT. Czy może Pan przybliżyć swoje dotychczasowe doświadczenie naszym czytelnikom i opisać Pana pierwsze wrażenia po objęciu nowego stanowiska?

Pracownicy, Koleżanki i Koledzy z UDT znają moją historię ze wspólnej pracy na rzecz budowania bezpieczeństwa. Zaczynałem od samego początku i przeszedłem wszystkie szczeble kariery dozorowej. Najpierw zdobyłem doświadczenie na stanowisku radcy w ówczesnym Oddziale UDT w Dąbrowie Górniczej. Potem angażowałem się w różne obszary naszej działalności, poczynając od inspekcyjnej, po prowadzenie szkoleń oraz zadania z obszaru certyfikacji i oceny zgodności UDT-CERT. W zakresie tej działalności UDT jest jednostką notyfikowaną (JN) do ośmiu dyrektyw i dwóch rozporządzeń Parlamentu Europejskiego. Tutaj kluczową rolę jest praca eksperta JN, dzięki której uczestniczyłem w projektach związanych z energetyką zawodową. Byłem również kierownikiem strategicznych przedsięwzięć dla energetyki węglowej w zakresie oceny zgodności. Przez te wszystkie lata zawsze bliska mi była także działalność popularyzująca bezpieczeństwo techniczne.

Teraz, jako osoba zarządzająca UDT, odpowiadam za całą organizację. Wiem, że inspekcje, certyfikacje i badania, które przeprowadzają nasi pracownicy, nie byłyby możliwe, gdyby nie wsparcie koleżanek i kolegów z działów administracyjno-technicznych z oddziałów i z centrali. Role wspomagające są wręcz kluczowe z punktu widzenia sprawnego funkcjonowania całego Urzędu Dozoru Technicznego. Dlatego tak ważna jest dla mnie współpraca departamentów w centrali z oddziałami terenowymi. Organizacje, które bazują na zaufaniu oraz dobrej współpracy wewnętrznej i odwołują się w codziennej pracy do swoich wartości, mogą po prostu zdziałać więcej. Mimo że z wykształcenia jestem inżynierem, wiem, że



kompetencje miękkie w organizacji są bardzo ważne dla budowania zaangażowanych zespołów. Im większe zaangażowanie wewnętrzne, tym większe zadowolenie klientów ze współpracy z nami. Dla mnie kierunek rozwoju UDT to rozwój ludzi i ich dobrostan. Z myślą o odpowiedzialności za nich rozpocząłem pracę na stanowisku prezesa.

Bierzemy udział w realizacji strategicznych projektów i inwestycji w infrastrukturze krytycznej Polski. Utrzymanie bezpieczeństwa energetycznego jest filarem starań wszystkich zaawansowanych gospodarek. Wkraczamy w obszary energetyki jądrowej, odnawialnych źródeł energii, elektromobilności, a przy tym wciąż bazową rolę odgrywa energetyka zawodowa konwencjonalna. Jak Pan postrzega rolę naszej organizacji w tych dziedzinach?

Działania na rzecz zapewniania bezpieczeństwa energetycznego potrzebują wsparcia w zakresie bezpieczeństwa technicznego i to jest właśnie zadanie UDT. Odbieramy i badamy urządzenia, które pracują na rzecz infrastruktury krytycznej. Tak też się dzieje w całej energetyce. Wykonywanie zadań, zarówno inspekcyjnych, jak i tych w obszarze certyfikacji lub oceny zgodności, pozwala nam poznać funkcjonowanie różnych branż przemysłowych. Mam na myśli m.in. chemię, petrochemię i energetykę. Inspekcje przeprowadzamy też w rozproszonych zakładach, firmach, w obiektach użyteczności publicznej, gdzie nasi eksperci wykonują swoje czynności, dbając o bezpieczeństwo publiczne. Znajomość przekroju działalności tych firm ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia zarządzania całą naszą organizacją i współpracą z klientami. Wiemy, co należy robić w kwestii bezpieczeństwa naszych klientów, bo znamy ich specyfikę działania.

Dobrym przykładem jest tutaj obszar związany z produkcją energii z odnawialnych źródeł (OZE). UDT od kilku lat certyfikuje przedsiębiorców oraz personel wykonujący określone w przepisach czynności przy urządzeniach zawierających fluorowane gazy cieplarniane (tzw. F-gazy) i substancje zubożające warstwę ozonową (SZWO). Jesteśmy też obecni w energetyce wiatrowej. Prowadzimy certyfikację przedsiębiorców wyko-

nujących czynności i przeglądy serwisowe elementów technicznych elektrowni wiatrowych. Działamy „ustawowo” również w obszarze elektromobilności, w której bezpieczeństwo jest ważne nie tylko podczas jazdy samochodem, ale też w czasie ładowania tych pojazdów. Jakość i efektywność infrastruktury ładowania zyskuje na znaczeniu. UDT certyfikuje ponadto instalatorów pomp ciepła, słonecznych systemów grzewczych i fotowoltaicznych, kotłów i pieców na biomasę oraz płytowych systemów geotermalnych, jak również akredytuje ośrodki szkoleniowe przygotowujące do egzaminu osoby chcące uzyskać certyfikat.

OZE dla energetyki jest bardzo ważne, ale elektrownie wiatrowe i panele fotowoltaiczne, pomimo ich rosnącej liczby, zapewne nie będą kompleksowym rozwiązaniem. Dotychczas nie ma wystarczająco skutecznej metody akumulacji energii, zatem okresowość wytwarzania energii z tych instalacji nie zapewnia ciągłości dostaw. Jakie inne kierunki rozwoju energetyki mogą się pojawić i tym samym znaleźć wsparcie UDT?

Odpowiedź jest wszystkim dobrze znana: energetyka jądrowa. W tym właśnie kierunku silnie rozwijamy nasze kompetencje i budujemy zaplecze personalne. Mogę potwierdzić, że na polskim rynku jesteśmy w tej chwili jedną z instytucji najlepiej przygotowanych do wykonywania czynności związanych z działaniami w energetyce jądrowej. Działamy od 110 lat, a obecnie pod dozorem mamy ponad 1,6 mln urządzeń. Ze względu na specyfikę elektrowni jądrowych i ich otoczenia jest to dla nas wyzwaniem, ale faktem też jest, że większość urządzeń, którymi będziemy się zajmować, jest nam już znana. Na co dzień badają je nasi inżynierowie w całej Polsce. Obecnie mamy już system dostosowany do uprawniania wytwarzających, modernizujących i naprawiających z obszaru energetyki jądrowej.

Widzimy jednak, że jeżeli chodzi o przemysł emisyjny, czyli energetykę konwencjonalną, to wciąż będzie miała określony udział w miksie energetycznym. Mówimy oczywiście o dążeniu do źródeł zero- i niskoemisyjnych, ale mamy nadal na uwadze energetykę zawodową, tj. związaną z wytwarzaniem ciepła i energii z paliw kopalnych. Branża i operatorzy





związani z produkcją energii w blokach konwencjonalnych borykają się z dużymi problemami. Ze względów środowiskowych przewidziane na modernizację siły nie będą rosły, a są pewne założenia dotyczące wyłączenia części źródeł węglowych w energetyce konwencjonalnej. Urząd Dozoru Technicznego jest gotowy do wsparcia operatorów i eksploatujących przy podejmowaniu decyzji o dopuszczaniu do dalszej bezpiecznej eksploatacji urządzeń, które pracują w konwencjonalnych blokach energetycznych.

Dbamy o stan techniczny zarówno urządzeń jednostkowo występujących w otoczeniu użytkowników, takich jak wózki jezdniowe lub schody ruchome, jak i kompleksowych instalacji procesowych lub przesyłowych. Także ogólnodostępne urządzenia, takie jak tzw. windy, są bezpiecznie użytkowane dzięki pracy naszych specjalistów. Jak wyjaśniłby Pan czytelnikom spoza branż z nami związanych, na czym tutaj polega rola UDT?

Prowadzimy inspekcje tam, gdzie urządzenia i ich zespoły mogą stwarzać zagrożenia. Część z nich, wymienionych przez Panią, np. wózki jezdniowe lub schody ruchome, dźwigi osobowe lub towarowe, jest po prostu na co dzień narzędziem pracy albo korzystają z nich niewykwalifikowane osoby tam, gdzie urządzenia te są ogólnodostępne. Jesteśmy instytucją, która ma dbać o bezpieczeństwo publiczne i zapewniamy je poprzez wykonywanie czynności inspekcyjnych w wielu branżach. Na tym polega właśnie praca naszych inspektorów. Chcemy, by ludzie czuli się bezpiecznie, bez konieczności posiadania wiedzy, że te urządzenia są dozorowane. Jesteśmy obecni niemal w każdej dziedzinie życia publicznego. Dbamy o użytkowników, wykonujemy badania techniczne, często będąc niedostrzegani. Wiele osób jeździ tzw. windą, a również te urządzenia podlegają naszym badaniom. Wszyscy też korzystamy z energii elektrycznej lub paliw napędzających silniki, a przy ich wytwarzaniu i magazynowaniu eksploatowane są urządzenia techniczne dozorowane przez UDT. Priorytetem jest, aby człowiek czuł się bezpieczny w sklepie, gdzie obok niego towary układane są za pomocą wózka jezdniowego, aby czuł się spokojny, idąc obok placu budowy, gdzie pracuje akurat żuraw wieżowy, aby bez stresu wszedł do dźwigu osobowego czy na schody ruchome. To nasz priorytet od dziesiątków lat – niezmienny i stały w dzisiejszym szybko ewoluującym świecie.

Jesteśmy obecni w otoczeniu przemysłowym, biznesowym i gospodarczym jako jednostka inspekcyjna, notyfikowana i certyfikująca. Czy takie działanie zapewnia spójność podejścia i szeroki ogląd stanu technicznego i predykcji bezpiecznej żywotności urządzeń technicznych? Jak te pozornie różne role się uzupełniają?

Staramy się kompleksowo podchodzić do naszych klientów. Potwierdzamy wysoką jakość usług i produktów, certyfikując wyroby, systemy i per-

sonel. Działamy w przedsiębiorstwach lub w części zakładów jako jednostka inspekcyjna oraz jako jednostka notyfikowana i certyfikująca, co oznacza, że już od etapu projektu możemy weryfikować bezpieczeństwo eksploatacji urządzenia. Wykonujemy badania, przeprowadzamy ocenę zgodności i potwierdzamy certyfikatem, że urządzenie spełnia wymagania odpowiednich dyrektyw. Jako jednostka inspekcyjna, w ramach prawa krajowego, oceniamy, czy urządzenie jest gotowe do pracy, i wydajemy decyzję zezwalającą na eksploatację. Niejako przejmujemy odpowiedzialność za to urządzenie do końca jego użytkowania. W zależności od tego, z jakim urządzeniem mamy do czynienia, wykonujemy badania jego stanu okresowo i doraźnie.

Intensywnie też rozwijamy obszary badań, w tym badań nieniszczących i laboratoryjnych. Chcemy wychodzić naprzeciw eksploatującym, wykonując na przykład badania zastępcze, nie zatrzymując urządzeń, czyli prowadząc je w ruchu instalacji, np. wykorzystując metodę emisji akustycznej. Możemy monitorować stan techniczny urządzeń, wykrywając uszkodzenia i oceniając ryzyka. Wsparciem inspektorów i ekspertów jednostek UDT są także roboty lub bezzałogowe statki powietrzne. Coraz częściej zastępują już lub uzupełniają pracę specjalistów, co często idzie w parze z oceną i analizami prowadzonymi zdalnie lub hybrydowo. Testujemy także obszary rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej. Jest to istotny element wspomagania bezpiecznych inspekcji i badań przez pracowników UDT. W pewnych niebezpiecznych obszarach, np. podczas prac wykonywanych na wysokości lub w toksycznych atmosferach, maszyny będą coraz częściej wspierać człowieka przy wykonywaniu czynności inspekcyjnych.

UDT jest organizacją ekspercką. Zatrudniamy ponad tysiąc trzysta inżynierów. W pewnym sensie można porównać naszą kadre do zespołów medycznych – są specjaliści od leczenia układu krążenia, a inni zajmują się układem kostnym lub nerwowym. Jak można opisać badania techniczne i ocenę stanu urządzeń bardzo różniących się od siebie?

Nasi eksperci zajmują się bardzo szerokim spektrum urządzeń technicznych, tak wysoko specjalizowanych, że potrzebne są: ściśle konkretna wiedza, kompetencje i najczęściej duże doświadczenie inżynierskie. UDT tworzą ludzie z unikatowymi umiejętnościami i wiedzą. Oczywiście nieustannie musimy nadążać za zmianami. Szczególnie teraz, kiedy w dobie transformacji energetycznej bardzo dynamicznie zmienia się rynek. My też musimy reagować na bieżąco i zdobywać wiedzę w nowych obszarach. Największym potencjałem nie jest UDT jako urząd, ale ludzie, którzy go tworzą. To nasi eksperci, inspektorzy, którzy mają bardzo duży zakres wiedzy technicznej. Jesteśmy gotowi, by współpracować i wspierać zmieniające się otoczenie przemysłowe. Oprócz bezpieczeństwa fizycznego, obecnie trzeba mieć na uwadze bezpieczeństwo w cyberprzestrzeni. Do



tęgo również się przygotowujemy. Śledzimy także rozwój sztucznej inteligencji, która ma już wpływ na funkcjonowanie urządzeń, od projektu po eksploatację, ponieważ przedsiębiorcy implementują najnowsze rozwiązania. Na AI patrzymy z dużym zainteresowaniem. Nie zastąpi człowieka, ale może być dla niego wsparciem.

W UDT budujemy wiedzę i kształtujemy ścieżki zdobywania kompetencji w bardzo ukierunkowany sposób. Mamy do czynienia z pewnymi grupami urządzeń, m.in. ciśnieniowymi lub transportu bliskiego. Trudno jednak na pewnym etapie złożoności np. instalacji lub grupy urządzeń być ekspertem od wszystkiego. Konieczne jest ukierunkowanie inspektorów i ekspertów UDT w odpowiednich dziedzinach. Kwestie związane na przykład z zatwierdzaniem dokumentacji projektu metodami obliczeniowymi, oceną stosowanych materiałów do wytwarzania lub wprowadzanych technologii wytwarzania wymagają wiedzy eksperckiej na najwyższym poziomie. Obszary automatyki zabezpieczającej lub badań nieniszczących potrzebują bardzo dużego nakładu czasu i pracy na zdobywanie wiedzy i praktykę w tym zakresie. Rozwijamy nasze kadry nie tylko przez szkolenia i doświadczenie, ale także współpracując z uczelniami i ośrodkami badawczo-rozwojowymi w całej Polsce.

Często mówi się, że najważniejsze jest najsłabsze ogniwo, a tym nierzadko określa się człowieka. W instytucji, której działania determinuje bezpieczne, bądź nie, funkcjonowanie urządzeń, ma to szczególne znaczenie. Jakie są kierunki rozwoju organizacji oraz propagowania wiedzy na zewnątrz dla bezpieczeństwa?



Istotny obszar naszej działalności to podnoszenie kwalifikacji i popularyzowanie wiedzy technicznej. Warto w tym miejscu wspomnieć, jakie są najczęstsze przyczyny wypadków. Należą do nich brak zgłoszenia urządzenia do UDT albo użytkowanie go w złym stanie technicznym. Często przyczyną bywa również korzystanie z urządzenia niezgodnie z instrukcją eksploatacji albo przez osoby, które nie mają do tego odpowiednich uprawnień. Bardzo ważna jest świadomość istoty bezpieczeństwa pracy osób eksploatujących lub konserwujących oraz czy ich umiejętności są potwierdzone. Oprócz działań inspekcyjnych, wykonujemy także zadania związane ze sprawdzaniem kwalifikacji osób, które obsługują urządzenia i konserwują je. Sprawdzamy wiedzę techniczną teoretyczną i praktyczną, a następnie potwierdzamy ją pozytywnym wynikiem egzaminu.

Duży nacisk kładziemy na budowanie wiedzy technicznej i podnoszenie jej u osób wytwarzających, eksploatujących, serwisujących i modernizu-

jących urządzenia i instalacje. Poza publikowaniem poradników lub wytycznych popularyzujemy bezpieczeństwo w ramach Akademii UDT.

Co jakiś czas niestety mają miejsce zdarzenia niebezpieczne. Po każdym wypadku UDT powołuje komisję, która bada i analizuje jego przyczyny. Za każdym razem wyciągamy wnioski z takiego zdarzenia. Zdajemy sobie sprawę, że niebezpiecznych zdarzeń całkowicie nie wyeliminujemy, ale badania wykonywane przez naszych inspektorów niezmiennie wpływają na podnoszenie poziomu bezpieczeństwa publicznego.

Jedną z ról, jakie pełni UDT, jest wpływanie na podnoszenie kultury bezpieczeństwa technicznego. Jak Pan postrzega kulturę bezpieczeństwa i jej znaczenie dla organizacji?

Bezpieczeństwo jest jedną z wartości UDT. Leży u podstaw całego naszego działania. Kultura bezpieczeństwa obejmuje zarówno procedury, jak i tzw. dobre praktyki. W szczególności jest to zbiór wartości, zachowań oraz postaw każdego pracownika. Potwierdzone kompetencje i spisane tryby postępowania pomagają uporządkować i kształtować podejście do kwestii bezpieczeństwa. Wpływamy na bezpieczeństwo techniczne, zaczynając od nas samych, a codzienne działania i decyzje pracowników są tego potwierdzeniem. Przestrzegamy zasad bezpieczeństwa również w życiu prywatnym, bo kultura bezpieczeństwa nie obowiązuje nas tylko przez osiem godzin w pracy. Jej elementem jest zdolność do rozumienia ludzi, współpracy i korzystania z doświadczeń innych osób oraz otwartość do szerokiego spojrzenia na problem. To również świadomość własnych ograniczeń pozwalająca na przyjmowanie odmiennego punktu widzenia. Istotnym wsparciem są wdrożone zróżnicowane środki i sposoby komunikacji. Dzięki nim pracownicy powinni swobodnie zgłaszać wątpliwości i zadawać pytania. W kulturę bezpieczeństwa bowiem wpisane jest budowanie otwartości i szczerości w dyskusjach oraz zaufanie między pracownikami i kadrą zarządzającą. Zatem dbałość o bezpieczeństwo to praca zarówno indywidualna, jak też całych zespołów w organizacji. I tu wracamy do tego, co powiedziałem wcześniej. Ludzie są najważniejsi, bo wszystko kończy się i zaczyna na ludziach. Pracownicy utożsamiają się z kulturą bezpieczeństwa, kiedy szef daje im poczucie bezpieczeństwa i jest dla nich przykładem. Takie warunki sprzyjają kreatywności i realizacji celów organizacji. Wierzę, że nasi pracownicy nadal będą mieli świetne pomysły i będą reagowali na dynamiczne zmiany rynku.

Dziękuję za rozmowę. Życzę Panu wytrwałości i siły do realizacji tak wielu celów.

ZMIANY OTOCZENIA PRAWNEGO UDT ENERGETYKA JĄDROWA



MGR MICHAŁ BUKOWSKI

Główny Specjalista ds. Legislacji i Postępowań
Departament Prawno-Organizacyjny
Urząd Dozoru Technicznego

W ostatnich latach jesteśmy w Polsce świadkami intensywnych prac legislacyjnych w obszarze energetyki jądrowej, co wynika z przyspieszenia procesu powstawania w Polsce pierwszej elektrowni jądrowej. Ma to również związek z dokonującą się transformacją energetyczną Polski oraz zobowiązaniami, jakie stoją przed nami jako członkiem Unii Europejskiej. Dotyczą m.in. dekarbonizacji i zmniejszenia zależności od paliw kopalnych, które generują zmianę umożliwiającą osiągnięcie celów pakietu klimatycznego. Do tego dochodzimy poprzez zmianę struktury źródeł energii i budowę elektrowni jądrowych.

Podjęte decyzje w zakresie transformacji energetycznej sprawiły, że konieczna była rewizja istniejących przepisów prawnych w obszarze energetyki jądrowej. Niezbędne okazało się również stworzenie nowych ram prawnych zapewniających bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Bezpieczeństwo to najważniejsza z wartości, jaką kieruje się Urząd Dozoru Technicznego, dotyczy to także bezpieczeństwa energetycznego, jądrowego czy *stricte* bezpieczeństwa funkcjonowania urządzeń i urządzeń technicznych w elektrowni jądrowej.

Warto przypomnieć, że Urząd Dozoru Technicznego już od kilkunastu lat jest instytucją i partnerem, któremu przypisane zostały kompetencje związane z nadzorem nad urządzeniami i urządzeniami technicznymi, które będą funkcjonować w elektrowniach jądrowych. Unikalne kompetencje i ponad 100-letnie doświadczenie w zakresie inspekcji urządzeń technicznych sprawiły, że UDT został włączony zapisami prawnymi w obszar energetyki jądrowej.

W roku 2011 UDT, zgodnie z ustawą z dnia 13 maja 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw [1], stał się częścią systemu zapewniającego bezpieczeństwo jądrowe oraz ochronę radiologiczną pracowników i ogółu ludności w Polsce.

Ustawa z dnia 13 maja 2011 r. sprawiła, że Urząd Dozoru Technicznego wraz z innymi podmiotami stał się częścią systemu koordynacji kontroli i nadzoru nad obiektami jądrowymi.

Współpraca organów i wzajemne przekazywanie informacji przez podmioty zaangażowane w proces budowy, uruchomienia i późniejszej dalszej eksploatacji obiektu jądrowego stanowi niezwykle ważny aspekt bezpieczeństwa. Prezes Urzędu Dozoru Technicznego jest uprawniony przez ustawę do wydawania opinii oraz przekazywania informacji Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki o bezpieczeństwie urządzeń i urządzeń technicznych w elektrowni jądrowej.

Z punktu widzenia dozoru technicznego najważniejszy przepis, który wzmacnia bezpieczeństwo obiektu jądrowego, to przepis art. 3 ww. ustawy wprowadzający zmiany do ustawy o dozorcze technicznym.

Z pozoru niewielkie zmiany tej ustawy pozwoliły na wydanie dwóch niezwykle ważnych aktów prawnych:

- 1) rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorcze technicznemu w elektrowni jądrowej [2] oraz**
- 2) rozporządzenia Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozorcze technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorcze technicznemu w elektrowni jądrowej [3].**

**Czy
wiesz, że ...**

Obecnie na świecie pracuje ponad 430 jądrowych bloków energetycznych o łącznej mocy ponad 370 000 MW [8].

Warto dodać, że nowelizacja ustawy o dozorcze technicznym związana była również z wdrożeniem do polskiego prawa postanowień dyrektywy Rady 2009/71/Euratom z dnia 25 czerwca 2009 r. ustanawiającej wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych [4], a ww. rozporządzenia wdrażają w zakresie swojej regulacji jej postanowienia.

Znowelizowane przepisy art. 5 i art. 8 ustawy o dozorcze technicznym stworzyły podstawę prawną do objęcia dozorem technicznym określonych rodzajów urządzeń technicznych i urządzeń w elektrowni jądrowej ze względu na realizowaną przez nie funkcję bezpieczeństwa, a także określiły warunki techniczne dozoru technicznego dla tych urządzeń, co jest konieczne dla prawidłowego wykonywania czynności dozoru technicznego.

Czy wiesz, że ...

Na świecie aktualnie buduje się ponad 60 nowych reaktorów jądrowych, kolejnych 154 reaktorów jest już zamówionych bądź zaplanowanych w programach energetycznych [9].

Przez ostatnie dwa lata prace legislacyjne związane były również z kwestiami dotyczącymi finansowania budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. W tym celu Rada Ministrów przyjęła uchwałę w sprawie zapewnienia finansowania budowy elektrowni jądrowej o mocy elektrycznej do 3750 MWe na obszarze gmin Choczewo lub Gniewino i Krokowa, a Sejm RP uchwalił ustawę z dnia 9 marca 2023 r. o zmianie ustawy o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących oraz niektórych innych ustaw [5].

W tym też kontekście rewizji wymagały przepisy o dozorcze technicznym, a konkretnie rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 listopada 2010 r. w sprawie wysokości opłat za czynności jednostek dozoru technicznego [6]. Konieczna była nowelizacja z uwagi na fakt, że ww. rozporządzenie nie regulowało kwestii opłat za czynności jednostek dozoru technicznego w elektrowniach jądrowych. Celem nowelizacji rozporządzenia było więc określenie wysokości opłat przy wykonywaniu czynności jednostek dozoru technicznego w odniesieniu do rodzajów urządzeń i urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej, tj. urządzeń określonych w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 14 sierpnia 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wysokości opłat za czynności jednostek dozoru technicznego [7], które weszło w życie 11 września 2024 r., wprowadziło cennik opłat za czynności dozoru w obszarze dotychczas nieregulowanym.

Czy wiesz, że ...

Elektrownie jądrowe funkcjonują w 14 z 27 państw Unii Europejskiej. Energetyka jądrowa jest wykorzystywana w: Belgii, Bułgarii, Czechach, Finlandii, Francji, Hiszpanii, Holandii, Niemczech, Rumunii, Słowacji, Słowenii, Szwecji, na Węgrzech i w Wielkiej Brytanii [9].

W poszczególnych przepisach rozporządzenia wprowadzono również zmiany dostosowujące obecnie obowiązujące przepisy do czynności w elektrowni jądrowej, w szczególności:

1. dokonano zmiany § 1 rozporządzenia, dostosowując jego brzmienie, tak aby odnosiło się również do opłat za czynności wykonywane przez jednostki dozoru technicznego w elektrowni jądrowej;
2. w § 4 rozporządzenia w ust. 2 dokonano zmiany i dodano ust. 3, tak aby wystawianie duplikatów dokumentów w ust. 2 miało zastosowanie tylko w odniesieniu do czynności w zakresie urządzeń „tradycyjnych”, ponieważ część dokumentów, o których mowa w tej jednostce redakcyjnej, nie będzie miała zastosowania w elektrowni jądrowej, np. poświadczenie dla zbiornika ciśnieniowego służącego do napędu pojazdu, natomiast kwestię takich samych czynności związanych z wystawieniem duplikatu, ale odnoszących się do czynności w elektrowni jądrowej regulować będzie dodany ust. 3;



Czy wiesz, że ...

W odległości do ok. 310 km od granic Polski działa osiem elektrowni jądrowych [9].

Najbliżej granicy Polski znajduje się elektrownia w Czechach. Elektrownia jądrowa Dukovany jest położona 119 km od polskiej granicy. W bloku pracują cztery reaktory, każdy z nich o mocy 440 MW [9].

3. w art. 1 pkt 6 projektu rozporządzenia dodano § 6a, który upoważnia do zwiększenia stawki opłaty o 50% za specyficzną, skomplikowaną technicznie czynność wewnątrz reaktora jądrowego.

Literatura:

[dostęp: 11.2024]

1. Ustawa z dnia 13 maja 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. Nr 132, poz. 766).
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. z 2014 r. poz. 111).
3. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla urządzeń technicznych lub urządzeń podlegających dozorowi technicznemu w elektrowni jądrowej (Dz. U. poz. 909).
4. Dyrektywa Rady 2009/7/EURATOM z dnia 25 czerwca 2009 r. ustanawiająca wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych (Dz. Urz. UE L 172 z 02.07.2009, str. 18 oraz Dz. Urz. UE L 260 z 03.10.2009, str. 40).
5. Ustawa z dnia 9 marca 2023 r. o zmianie ustawy o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. poz. 595).
6. Obwieszczenie Ministra Rozwoju z dnia 19 kwietnia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie wysokości opłat za czynności jednostek dozoru technicznego (Dz. U. z 2016 r. poz. 696).
7. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 14 sierpnia 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wysokości opłat za czynności jednostek dozoru technicznego (Dz. U. poz. 1294).
8. <http://www.iaea.org/programmes/a2/>
9. Energetyka jądrowa - Kompendium wiedzy - Ciekawostki <https://swiadomieoatomie.pl/Energetyka-jadrowa/Kompendium-wiedzy/Ciekawostki>
10. <https://www.cez.cz/cs/pro-media/ke-stazeni/fotogalerie/elektrarny-pro-moderni-energetiku/jaderne-elektrarny-153157>

KULTURA BEZPIECZEŃSTWA – WARUNKIEM SINE QUA NON



MGR INŻ. SEBASTIAN KOZIKOWSKI

Ekspert Urządzeń Ciśnieniowych
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego



MGR KATARZYNA ŻYWIECKA

Główna Specjalistka ds. Analiz Rynku
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego



MGR INŻ. RADOSŁAW ŁUKASIAK

Starszy Specjalista
Urządzeń Ciśnieniowych
Oddział w Warszawie
Urząd Dozoru Technicznego

Kultura bezpieczeństwa stanowi istotny aspekt naszego życia zarówno w sferze zawodowej jak i prywatnej. Tworzy zestaw wartości, norm i praktyk mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa. To nie tylko przestrzeganie przepisów i procedur, ale przede wszystkim świadomość i zaangażowanie wszystkich osób. Celem kultury bezpieczeństwa jest zwrócenie uwagi na zasady, zgodnie z którymi podejmujemy codzienne działania i decyzje dotyczące bezpieczeństwa.



Rys. 1. Diagram kultury bezpieczeństwa

PRZYWÓDZTWO, ZARZĄDZANIE I KULTURA BEZPIECZEŃSTWA

Na zarządzanie jakością składają się polityka jakości, tworzenie i wdrażanie planu zapewnienia jakości oraz kontrola połączona z rozwojem zarządzania jakością. Najczęściej zadawanym pytaniem jest: „Czy zarządzanie jakością jest częścią bezpieczeństwa, czy też bezpieczeństwo jest częścią zarządzania jakością?” [1].

Odpowiedź na to pytanie nie jest jednoznaczna. Zależy od funkcji pełnionej przez daną osobę i jak dana osoba się w tej funkcji odnajduje. Istotne jest też, jak dużą posiada wiedzę w zakresie wykonywanych czynności.

To liderzy oraz menadżerowie dobierają kadrę w taki sposób, aby elektronicznie ją-drowe funkcjonowały bezpiecznie. Dlatego rola liderów oraz menadżerów jest tak istotna dla bezpiecznej eksploatacji obiektów jądrowych.

Gdy mówimy o bezpieczeństwie, odnosimy się również do zarządzania bezpieczeństwem oraz do kultury bezpieczeństwa.



Rys. 2. Diagram korelacja między: przywództwem, zarządzaniem bezpieczeństwem, kulturą bezpieczeństwa i zarządzaniem jakością [1]

Przywództwo jest kluczem w uświadamianiu, że każdy pracownik jest odpowiedzialny za jakość i bezpieczeństwo całej organizacji.

Bezpieczeństwo i jakość wzajemnie się uzupełniają i tworzą swoistą symbiozę.

Kultura bezpieczeństwa w organizacji ma wpływ na rodzaj systemu zarządzania bezpieczeństwem, a z kolei system zarządzania bezpieczeństwem wpływa na kulturę bezpieczeństwa.

Przywództwo generuje zmiany i ruch	Zarządzanie zapewnia porządek i spójność
Wyznaczanie kierunku	Planowanie i budżetowanie
<ul style="list-style-type: none"> tworzenie przekonującej wizji klarowanie „big picture” wyznaczanie strategii 	<ul style="list-style-type: none"> ustalanie agend ustalanie harmonogramów przydzielanie zasobów
Ukierunkowanie ludzi	organizowanie obsady (staff)
<ul style="list-style-type: none"> komunikowanie celów zabieganie o zaangażowanie budowanie zespołów i koalicji 	<ul style="list-style-type: none"> tworzenie struktury określanie i wyznaczanie funkcji ustanawianie zasad i procedur
Motywowanie i inspirowanie	Kontrola i rozwiązywanie problemów
<ul style="list-style-type: none"> inspirowanie i dodawanie energii wzmocnienie pozycji podwładnych zaspokajanie niezaspokojonych potrzeb 	<ul style="list-style-type: none"> tworzenie zachęt projektowanie kreatywnych rozwiązań podjęcie działań naprawczych

Rys. 3. Przywództwo vs. zarządzanie

EFEKT CHŁODZENIA – KONTRA DO BEZPIECZEŃSTWA

Terminy „efekt chłodzenia” lub „mrozące środowisko pracy” są ważne dla organizacji działających w obszarze EJ. I jak przewrotnie wskazuje amerykańska NRC (amerykański Urząd Dozoru Jądrowego, ang. Nuclear Regulatory Commission), wcale nie odnoszą się do zimowej pogody.

W NRC termin "chłodzenie" odnosi się do przekonania, że zgłaszanie obaw dotyczących bezpieczeństwa jest tłumione. Pracownicy często zniechęceni są do zgłaszania wątpliwości. Dzieje się tak albo wprost, przez dyskryminację, albo przez powolną reakcję lub jej kompletny brak. W zależności od tego, czy takie działanie jest podtrzymywane przez jedną osobę, czy przez grupę pracowników, mówimy o "efekcie zmrożenia" albo "chłodnym środowisku pracy".

Aby wyeliminować sytuacje, w których pracownicy wahają się wyrazić swoje obawy dotyczące bezpieczeństwa, amerykański regulator zachęca ich do bezpośredniego zgłaszania tych spraw swoim przełożonym. Jednak żeby to było możliwe, pracownicy wyrażając swoje obawy, muszą się czuć komfortowo. NRC zdaje sobie sprawę, że jeśli pracownicy doświadczają nękania, zastraszania, odwetu, dyskryminacji lub innych zniechęcających zachowań ze strony kierownictwa, może to prowadzić do stworzenia w miejscu pracy „chłodzącego” klimatu. W takim środowisku pracownicy mogą powstrzymać się od zgłaszania obaw dotyczących bezpieczeństwa.

Jeśli pracownik w zakładzie regulowanym przez NRC zdecyduje się zgłosić zarzut do NRC, a nie do swojego pracodawcy, to może wskazywać, że środowisko w których pracuje wskazuje na efekt "chłodzenia". NRC analizuje trendy zgłaszanych zarzutów. Biorąc je pod lupę, może identyfikować cenne informacje nt. środowiska pracy w zakładach podległych dotyczące m.in kwestii zapewnienia bezpieczeństwa psychologicznego.

Niezależnie od motywacji – czyli czy w organizacji istnieje milczące przyzwolenie na „zmrożenie”, czy też aktywne budowanie „schłodzonego środowiska”, zawsze dzieje się to kosztem bezpieczeństwa.

Jaki może być ciężar konsekwencji?

- W najlepszym przypadku stracimy cenne źródło informacji służące utrzymaniu i poprawie bezpieczeństwa, czyli głos i zaangażowanie personelu.
- W umiarkowanym – zapomnimy o otwartości i zaufaniu (bezpiecznym środowisku pracy i bezpieczeństwie psychologicznym).
- W najgorszym – a przypominamy, że odnosimy się do organizacji EJ i samych obiektów jądrowych – jeśli w wyniku obaw przed dyskryminacją czy odwetem pracownicy nie będą zgłaszać wątpliwości dotyczących bezpieczeństwa – może dojść do incydentu lub radiologicznej katastrofy [2, 3].

ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW

Kultura bezpieczeństwa jądrowego jest ważnym, jeśli nie najważniejszym elementem funkcjonowania elektrowni jądrowych. Nie oznacza to jednak, że ta branża jest wolna od popełniania błędów.

Istotne jest wczesne reagowanie na sytuacje potencjalnie niebezpieczne oraz umiejętność wyciągania wniosków z popełnianych błędów zarówno wewnątrz organizacji, jak i poza nią. Dzielenie się doświadczeniem z innymi pracownikami odgrywa tu kluczową rolę. Członkowie organizacji nie powinni obawiać się przyznania do popełnionego błędu, a sam proces postępowania powinien przebiegać zgodnie z załączonym schematem.



Rys. 4. Schemat reagowania na sytuacje potencjalnie niebezpieczne [1]

Zarówno w energetyce jądrowej, jak też w innych gałęziach, gdzie bezpieczeństwo odgrywa zasadniczą rolę, nie ma mowy o zamiataniu błędów pod dywan albo liczeniu na to, że problem pozostawiony sam sobie w końcu się rozwiąże.

LESSON LEARNED, CZYLI WYCIĄGANIE WNIOSKÓW

Dbłość o szczegóły w przemyśle nuklearnym odgrywa kluczową rolę. Konsekwencje bagatelizowania aspektów związanych z bezpieczeństwem mogą być tragiczne w skutkach, zarówno lokalnie, jak i globalnie.

„Dobre wyniki w branży jądrowej muszą być napędzane doskonałością w operacjach jądrowych i bezkompromisowym podejściem do bezpieczeństwa. Jeśli to nastąpi, zdolność organizacji jądrowej do bezpiecznego zarządzania technologią jądrową może być zagrożona. Pomimo zwiększonej świadomości na całym świecie na temat kluczowej roli, jaką odgrywa zarządzanie bezpieczeństwem i kulturą bezpieczeństwa w wynikach bezpieczeństwa instalacji jądrowych, wiele organizacji jądrowych w ostatnich latach doświadczyło poważnych spadków w tych aspektach. To z kolei doprowadziło do rozległych i kosztownych programów naprawczych oraz wzmożonego nadzoru regulacyjnego” [1].

Wczesne wykrywanie, rozwiązywanie problemów, wyciąganie wniosków i wprowadzanie działań korygujących jest jedynym słusznym podejściem.

Zarządzanie organizacją, które skupia się głównie na osiągnięciu korzyści finansowych, stanowi istotny problem dla zachowania standardów bezpieczeństwa oraz kultury bezpieczeństwa. Najczęściej wymienianymi przeszkodami są [1]:

- niewystarczające wsparcie organizacji,
- słabe umiejętności przywódcze i kierownicze,
- brak uznania potrzeby rozwijania dobrej kultury bezpieczeństwa,
- brak obiektywnej oceny siebie,
- reorganizacja i/lub redukcja zatrudnienia, w tym utrata doświadczonych pracowników,
- zaległości w utrzymaniu i aktualizacji procedur,
- zbyt późne podejmowanie działań (w reakcji na, a nie wyprzedzająco) związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem i problemami kulturowymi podjęte przez organizację, a także przez regulatora.

Wspólną cechą powyższych przypadków była niezdolność kierownictwa organizacji do docenienia lub rozpoznania symptomów, ich znaczenia, a także niepodjęcie skutecznych działań naprawczych na wczesnym etapie, pomimo sygnałów ze strony organów regulacyjnych i innych podmiotów.



JEDNYM Z ZAREJESTROWANYCH PRZYKŁADÓW JEST TEN ZAREJESTROWANY W EJ ARKANSAS NUCLEAR ONE

Z raportu NRC wynika, że z punktu widzenia kultury bezpieczeństwa najistotniejszymi przyczynami spadku wydajności były nieskuteczne zarządzanie zmianą w odniesieniu do redukcji zasobów i zachowania przywódcze. W rzeczywistości licencjodawca zmniejszył zasoby w całej swojej flocie w 2007 i 2013 roku, ale nie wziął odpowiednio pod uwagę wyjątkowych potrzeb kadrowych wynikających z posiadania dwóch jednostek o różnych konstrukcjach.

Dodatkowo nieoczekiwany wzrost liczby odejść pracowników w latach 2012–2014 spowodował utratę doświadczonego personelu, co doprowadziło do zmniejszenia zdolności do wykonywania pracy oraz zwiększone zapotrzebowanie na szkolenia i nadzór nowej kadry. W obu przypadkach regulator zapewnił kontynuację planów działania licencjodawców, przeprowadził szereg inspekcji i dokonał oceny kultury bezpieczeństwa.

ONAGAWA I FUKUSHIMA – CHARAKTERYSTYKA ODMIENNEJ KULTURY BEZPIECZEŃSTWA JĄDROWEGO



Rys. 5. Japońskie elektrownie jądrowe (Onagawie udało się uniknąć katastrofy w roku 2011 po trzęsieniu ziemi) [7]

Elektrownia jądrowa Onagawa w Japonii jest często podawana jako przykład silnej kultury bezpieczeństwa. Poniżej przedstawiono kilka kluczowych aspektów potwierdzających stawianą tezę.

LOKALIZACJA I KONSTRUKCJA

Jeszcze przed rozpoczęciem budowy w 1968 r. Tohoku Electric dokonało przeglądu literatury i przeprowadziło rozmowy nt. tsunami z lokalną ludnością (technologia symulacji jeszcze nie istniała w tym czasie). Z biegiem lat

firma mogła coraz dokładniej przewidywać przyszłe poziomy fal tsunami, przeprowadzając symulacje numeryczne i liczne badania. W 1970 r. wstępne prognozy wykazały, że w tym regionie średnia wysokość fali może osiągnąć ok. 3 m. Na podstawie tych informacji zdecydowano o wybudowaniu zakładu Onagawa na wysokości 14,8 m nad poziomem morza, co stanowiło niemal pięciokrotność szacowanej przeciętnej wysokości fali tsunami dla tego obszaru. Decyzja ta okazała się kluczowa dla ochrony elektrowni podczas trzęsienia ziemi i tsunami w 2011 r.

PROTOKOŁY BEZPIECZEŃSTWA

Wiceprezes Tohoku Electric w latach 1960–1975, Yanosuke Hirai, rygorystycznie podchodził do promowania protokołów bezpieczeństwa, co doprowadziło do ustanowienia silnej kultury bezpieczeństwa. Wszyscy pracownicy w Onagawa wiedzieli, jakie kroki należy podjąć, gdy wydano ostrzeżenie przed tsunami lub gdy zbliżało się tsunami.

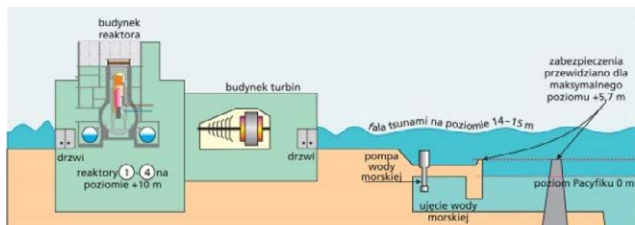
REAGOWANIE KRYZYSOWE

Tohoku Electric miało również inne podejście do reagowania kryzysowego niż Tokyo Electric Power Company (TEPCO – operator EJ w Fukushima) – bardziej zorganizowane, oparte na współpracy i kontrolowane. Okresowe sesje szkoleniowe przypominające pracownikom o ekstremalnych sytuacjach również pozwoliły im zachować zimną krew podczas katastrofy.

NASTAWIENIE

W przeciwieństwie do TEPCO, w którym dominacja firmy na rynku była oznaką nieskazitelnosci, Tohoku Electric priorytetowo traktowało bezpieczeństwo reaktora jądrowego w firmie.

Fukushima-Daiichi, którą pierwotnie również zamierzano zbudować na znacznie większej wysokości, tj. ok. 20 m n.p.m., ostatecznie jednak powstała na niższym posadowieniu.



Rys. 6. Zalanie reaktorów 1-4 przez falę tsunami w Elektrowni jądrowej Fukushima [8]

Bezpośrednią przyczyną awarii w EJ Fukushima Daiichi był podwójny kataklizm tj. trzęsienie ziemi o sile największej w historii Japonii i następujące po nim tsunami. Jednak by wyciągnąć wnioski z awarii w EJ Fukushima, równie ważne jak przyczyny bezpośrednie, a być może nawet ważniejsze, były przyczyny pośrednie awarii. Należały do nich błędy i zaniechania ludzi oraz instytucji odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa elektrowni jądrowych. Żle wybrano lokalizację tej elektrowni – nie tylko w rejonie dużych zagrożeń sejsmicznych, lecz przede wszystkim w rejonie zagrożonym tsunami. Co gorsze – błędnie oszacowano maksymalną projektową wysokość fali tsunami tj. na 5,7 m, podczas gdy w rzeczywistości osiągnęła ona 14–15 m.

Bezpośrednim następstwem wydarzeń z 11 marca 2011 r. było przeprowadzenie nadzwyczajnych analiz odporności wszystkich elektrowni jądrowych na terenie Unii Europejskiej (tzw. stress testy).

Kompleksowy przegląd odporności obiektów obejmował analizę możliwego wpływu skrajnych warunków zewnętrznych na ich bezpieczeństwo, efektywność systemu zabezpieczeń (tzw. obrony w głąb) oraz organizacyjny i techniczny poziom przygotowania do ochrony ludzi i środowiska podczas ciężkiej awarii w skrajnych warunkach zewnętrznych. Tylko elektrownie, które zdały ten swoisty egzamin z odporności, mogły kontynuować pracę.

Awaria doczekała się także odpowiedzi ze strony Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, która nakreśliła Plan działań na rzecz wzmocnienia bezpieczeństwa jądrowego (Action Plan on Nuclear Safety). Został on przyjęty przez wszystkie państwa członkowskie, a jego wdrażanie objęło na przestrzeni pięciu lat ponad 1000 różnych aktywności mających na celu dogłębną analizę, wyłączenie wniosków i zaimplementowanie ich w różnych obiektach jądrowych. Co znacząco wpłynęło na podniesienie poziomu bezpieczeństwa jądrowego na świecie.

Wnioski wyciągnięte z przeprowadzanych analiz zostały trwale odzwierciedlone w znowelizowanej w 2014 r. unijnej dyrektywie w sprawie bezpieczeństwa jądrowego (NSD, ang. Nuclear Safety Directive). Nowelizacja ta wprowadziła rozwiązania, które w jeszcze większym stopniu wymuszają na państwach członkowskich Euratom zagwarantowanie, że bezpieczeństwo obiektów jądrowych jest i będzie najwyższym priorytetem.

Nowoczesne bloki jądrowe cechuje niezwykle wysoki współczynnik bezpieczeństwa. Określenie „potrójne C” (z ang. Control, Cool and Contain), czyli kontroluj proces, zapewnij chłodzenie i utrzymaj wewnątrz obudowy bezpieczeństwa, jest wpisane w filozofię ochrony w głąb. Ma ona na celu wielowarstwowe zabezpieczenia i zwielokrotnioną redundancję i różnorodność układów, tak by zapewnić bezpieczeństwo elektrowni, pracowników, jak również społeczeństwa na możliwie najwyższym poziomie.

Kluczową rolę odgrywają systemy pasywne, czyli takie, które wykorzystują naturalne zjawiska fizyczne, jak skraplanie, grawitacja i naturalna cyrkulacja, a inicjacja ich działań nie wymaga aktywności operatora. Takie rozwiązania są charakterystyczne dla reaktorów najnowszej generacji, zwanej III+, które mają zostać wybudowane w naszym kraju.

W naszym cyklu artykułów o kulturze bezpieczeństwa podkreślamy, jak istotne jest budowanie środowiska pracy, w którym każdy czuje się bezpiecznie i pewnie. Bezpieczeństwo to nie tylko brak zagrożeń, ale także otwartość na dzielenie się wiedzą i doświadczeniem, wspieranie wiarygodności oraz świadome przywództwo. To również to również bezpieczeństwo psychologiczne, które pozwala na swobodne zgłaszanie obaw i przyznawanie się do błędów bez obawy przed konsekwencjami. Tylko w takim środowisku możemy rozwijać angażującą kulturę opartą na zwinnych zespołach, które codziennie podejmują decyzje zgodnie z zasadami bezpieczeństwa. Zachęcamy do dalszego pogłębiania wiedzy na temat kultury bezpieczeństwa oraz zapoznania się z poprzednimi artykułami w magazynie „Inspektor” 1/2024 [5] oraz 2/2024 [6].

Literatura:

1. Safety culture in nuclear installations Guidance for use in the enhancement of safety culture, International Atomic Energy Agency, wyd. Wiedźnia – grudzień 2002, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1329_web.pdf [dostęp: 11.2024].
2. The Importance of Paying Attention to “Chill” – U.S. NRC Blog (nrc-gateway.gov).
3. Chilled work environment for raising and addressing safety Concerns at the watts bar nuclear plant, March 23, 2016, Watts Bar Work Environment for Raising and Addressing Safety Concerns at Watts Bar Nuclear Plant. (nrc.gov) [dostęp: 11.2024].
4. Arkansas nuclear one – nrc supplemental inspection report, June 9, 2016 <https://www.nrc.gov/docs/ml1616/ml16161b279.pdf> [dostęp: 11.2024].
5. Magazyn UDT “Inspektor - Technika i Bezpieczeństwo” nr 1/2024 https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_1_2024_WCAG.pdf
6. Magazyn UDT “Inspektor - Technika i Bezpieczeństwo” nr 2/2024 https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_2_2024_WCAG.pdf
7. Onagawa: Japońska elektrownia jądrowa, która nie uległa zatopieniu 11 września, Airi Ryu, Najmedin Meshkati, publ. 2014, Onagawa: The Japanese nuclear power plant that didn't melt down on 3/11 - Bulletin of the Atomic Scientists [dostęp: 11.2024]
8. Awaria w elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi spowodowana najsilniejszym od 140 lat trzęsieniem ziemi w Japonii, publ. 2013, ncbj.edu.pl

RACJONALNE PODEJŚCIE DO ZARZĄDZANIA RYZYKIEM ZASADA ALARP



DR INŻ. MARCIN WOŁEJKO

Centrum Kompetencyjne ds. Automatyki
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego



R. PR. MATEUSZ ŁUKASZCZYK

Starszy Specjalista
Oddział w Poznaniu
Urząd Dozoru Technicznego
Doktorant wdrożeniowy
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

PRAWA I WOLNOŚĆ JEDNOSTKI, W TYM PRAWO I WOLNOŚĆ DO PODEJMOWANIA DZIAŁALNOŚCI GOSPODARCZEJ, MOGĄ BYĆ OGRANICZANE WÓWCZAS, GDY JEST TO KONIECZNE W DEMOKRATYCZNYM PAŃSTWIE PRAWNYM DLA JEGO BEZPIECZEŃSTWA, DLA OCHRONY ŚRODOWISKA, ZDROWIA ALBO WOLNOŚCI I PRAW INNYCH JEDNOSTEK. WOLNOŚĆ JEDNEJ JEDNOSTKI NIE MOŻE NARUSZAĆ WOLNOŚCI INNEJ, DLATEGO WOLNOŚĆ LUB DOBRO JEDNEGO MUSZĄ BYĆ RÓWNOWAŻONE WOLNOŚCIĄ LUB DOBREM DRUGIEGO.

- Jak to wyważyć?
- Jak mądrze ocenić relację pomiędzy poszczególnymi wolnościami lub dobrami?
- Jak np. ustalić właściwą proporcję pomiędzy prawem przedsiębiorcy do wytwarzania i sprzedawania urządzeń technicznych lub prawem do budowy instalacji przemysłowej a prawem innych osób do ochrony życia, zdrowia, mienia i środowiska, dla których takie urządzenia czy instalacje stwarzają ryzyko?

Nie istnieje bezpieczeństwo absolutne, ponieważ ograniczają je możliwości techniczne, finansowe, organizacyjne czy logistyczne danego projektu.

W sukurs przychodzi tutaj znana w systemie anglosaskim, a przyjęta m.in. w prawie brytyjskim, zasada ALARP wyrażająca racjonalne oraz proporcjonalne podejście do zarządzania ryzykiem w systemach bezpieczeństwa.

Zasada racjonalnego podejścia do zarządzania ryzykiem znana jest w języku angielskim pod kilkoma skrótami.

ALARP (as low as reasonably practicable; tak nisko jak to rozsądnie/racjonalnie wykonalne)

ALARA (as low as reasonably achievable; tak nisko jak to rozsądnie/racjonalnie osiągalne)

SFAIRP (so far as is reasonably practicable; tak daleko jak to rozsądnie/racjonalnie wykonalne).

Zakłada ona, że **bezpieczeństwo należy zapewnić tak dalece, a ryzyko ograniczyć do tak niskiego poziomu, jak to jest możliwe w granicach zdrowego rozsądku, przy uwzględnieniu innych czynników, takich jak czas, pieniądze i poziom techniki.**

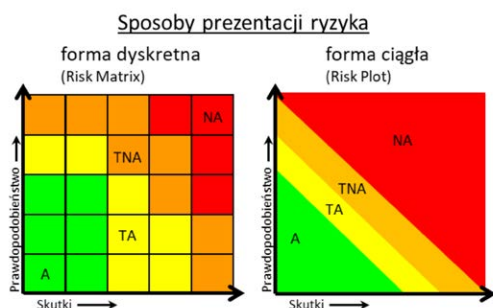
Stosowanie zasady ALARP i posiadanie dokumentacji ALARP może stanowić dowód zapewnienia bezpieczeństwa rozstrzygający wątpliwości, jakie mogą powstawać przy ocenie zastosowanych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w kontekście obowiązujących przepisów prawa.

ZASADĘ ALARP NALEŻY STOSOWAĆ, UWZGLĘDNIAJĄC WYMAGANIA PRAWNE, NORMATYWNE ORAZ DOBRĄ PRAKTYKĘ INŻYNIERSKĄ.

Możemy ją odnaleźć w przepisach prawa dotyczących projektowania i wytwarzania urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych (dyrektywa ciśnieniowa PED 2014/68/UE). Wprowadzono ją także do norm europejskich z zakresu bezpieczeństwa czy bezpieczeństwa funkcjonalnego. Była też w 2007 roku przedmiotem rozstrzygnięcia Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej, który nie zanegował jej stosowania w unijnym prawie pracy [13].

KIEDY STOSUJEMY ALARP?

W zarządzaniu bezpieczeństwem posługujemy się m.in. matrycą lub płaszczyzną ryzyka w celu wizualizacji wartości ryzyka (rys. 1).



Rys. 1. Typowe sposoby prezentacji ryzyka

Na płaszczyźnie ryzyka granice obszarów ryzyka są zwykle kombinacją lub iloczynem wartości konsekwencji (C) i prawdopodobieństwa (P) wystąpienia określonych konsekwencji¹⁾. Zwykle, dla celów decyzyjnych, określane są obszary ryzyka, np. A, TA, TNA oraz NA²⁾, dla których definiuje się konkretne działania lub reguły, np. zakaz podejmowania produkcji lub nakaz jej zatrzymania, gdy ryzyko jest w obszarze NA.

- 1) Częstość błędem jest wskazywanie P jako prawdopodobieństwa zdarzenia inicjującego lub zdarzenia szczytowego (tzw. zdarzenia niebezpiecznego). Matryce mogą być kalibrowane dla P będącego prawdopodobieństwem zdarzenia niebezpiecznego wyłącznie przy założeniu, że każde zdarzenie niebezpieczne prowadzi do materializacji się konsekwencji, lub przy założeniu, że redukcja prawdopodobieństwa wystąpienia konsekwencji jest stała przy każdym zdarzeniu niebezpiecznym lub zdarzeniu niebezpiecznym z określonej grupy. Byłyby to konserwatywne założenia i zwykle nie są praktykowane. Natomiast spotykane są błędy odczytu wartości z matrycy ryzyka wynikające z opisanej pomyłki.
- 2) A (Akceptowalne/Acceptable), TA (Tolerowalne Akceptowalne/Tolerable Acceptable), TNA (Tolerowalne – Nieakceptowalne/Tolerable – Not Acceptable), NA (Nieakceptowalne/Not Acceptable)

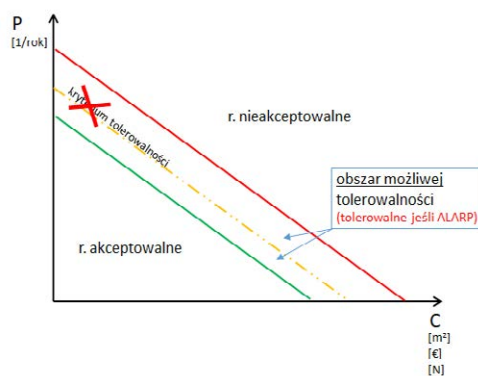
W tym celu na odpowiednio wyskalowanej matrycy lub płaszczyźnie należy wyznaczyć co najmniej trzy obszary ryzyka, a przede wszystkim ich linie graniczne:

a) ryzyka akceptowalnego (A) – czyli obszaru, w którym ustala się brak konieczności dalszych działań redukujących ryzyko, a jedynie obowiązek monitorowania, czy przewidywane czynniki wpływu na scenariusze zdarzeń

pozostają bez zmian, tj. czy częstość zdarzeń inicjujących lub warunkujących nie ulega zmianie lub czy nie zidentyfikowano nowych zdarzeń lub nowych scenariuszy prowadzących do danej grupy zdarzeń niebezpiecznych;

b) ryzyka nieakceptowalnego (NA) – czyli obszaru, w którym nie można z żadnym uzasadnieniem i w żadnym czasie pozostawić scenariuszy zdarzeń – ryzyko musi być zredukowane lub należy odstąpić od działania lub zaprzestać jego prowadzenia.

Pomiędzy tymi obszarami pozostaje obszar ryzyka potencjalnie TOLEROWALNEGO, rozumianego jako możliwego do tolerowania pod warunkiem istnienia dowodów na ALARP (**Tolerable if ALARP**), czyli **ryzyko zredukowane tak bardzo, jak to racjonalnie uzasadnione**.



Rys. 2. Szkic koncepcji granic obszarów ryzyka na płaszczyźnie ryzyka oraz obszaru ALARP

Celem redukcji zawsze pozostaje obszar ryzyka akceptowalnego, a w myśl zasady ALARP tylko metodycznie uzasadnione i udokumentowane względy mogą pozwolić na zaprzestanie dalszej redukcji ryzyka bez narażania się na zarzut niedopełnienia obowiązków czy niedołożenia wystarczającej staranności w zapewnianiu bezpieczeństwa.

Oczywiście kryteria dla początku obszaru NA są zwykle ostrzejsze, gdy obszar potencjalnych konsekwencji sięga poza obszar przedsiębiorstwa (rys. 2).

KRYTERIA AKCEPTOWALNOŚCI RYZYKA

Chociaż **przepisy prawa** nakładają obowiązki związane z zarządzaniem ryzykiem w postaci prowadzenia oceny ryzyka, monitorowania oceny ryzyka (w szczególności przepisy prawa pracy) lub wskazują ogólne metody jej prowadzenia (jak przepisy oceny zgodności, gdzie należy eliminować i ograniczać ryzyko, stosować odpowiednie środki ochronne oraz informować o ryzyku), **rzadko kiedy definiują jednoznaczne kryteria akceptacji tego ryzyka**.

Najczęściej spotykamy się z brakiem określenia ścisłych kryteriów akceptowalności ryzyka w przepisach prawa lub normach.

W przypadku braku odpowiednich wymagań prawnych lub normatywnych podmiot odpowiedzialny za ryzyko (tzw. właściciel ryzyka) jest zobowiązany przyjąć własne kryteria akceptowalności ryzyka, **biorąc pod uwagę opinię ekspertów, zdania interesariuszy, własne doświadczenie oraz stosując dobrą praktykę inżynierską**.

Czy można zapewnić bezpieczeństwo, pomijając praktyczne możliwości jego zapewnienia?

Właściciele ryzyka muszą brać pod uwagę uwarunkowania techniczne, finansowe, organizacyjne czy logistyczne danego projektu.

REASONABLY PRACTICABLE – WYJAŚNIENIE POJĘCIA

Jako pomoc służyć może zasada ALARP.

Ciążar zasady ALARP skupia się na pojęciu *reasonably practicable* (rozsądnie wykonalny), które bardzo dobrze opisuje brytyjska publikacja „Wprowadzenie do zdrowia i bezpieczeństwa pracy” – wydanie szóste 2016 [1] (tłumaczenie oraz podkreślenia własne):

„Jest to najbardziej powszechny poziom obowiązków w prawie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia i został zdefiniowany przez sędziego Asquitha w sprawie Edwards przeciwko National Coal Board (1949) w następujący sposób:

„Rozsądnie wykonalne” jest terminem węższym niż „fizycznie możliwe” i wydaje mi się sugerować, że właściciel musi dokonać obliczenia, w którym ilość ryzyka jest umieszczona na jednej skali, a poświęcenie związane ze środkami niezbędnymi do uniknięcia ryzyka (czy to w czasie, pieniądzu, czy kłopotach) jest umieszczona na drugiej skali. Jeżeli zostanie wykazane, że istnieje **rażąca dysproporcja (oryg. gross disproportion)** między nimi – ryzyko jest nieznaczne w stosunku do poświęcenia – pozwani zwalniają się z tego obowiązku. Innymi słowy, jeśli ryzyko obrażeń jest bardzo małe w porównaniu z kosztami, czasem i wysiłkiem, aby je zmniejszyć, nie jest konieczne podejmowanie żadnych działań. Ważne jest, aby pamiętać, że pieniądze, czas i kłopoty muszą **„rażąco przeważać”,** a nie równoważyć ryzyko (...). Ten obowiązek wymaga osądu ze strony pracodawcy (lub jego doradcy) i wyraźnie wymaga przeprowadzenia oceny ryzyka wraz z odnotowaniem wniosków. Ciągłe monitorowanie jest również wymagane w celu zapewnienia, że ryzyko nie wzrasta.



Rys. 3. Ilustracja zasady ALARP i „rażącej przewagi” kosztów nad korzyściami w bezpieczeństwie

ALARP W DYREKTYWIE PED 2014/68/UE – PODSTAWA PRAWNA

Zasada ALARP ma podstawę prawną w unijnym prawodawstwie harmonizacyjnym dotyczącym projektowania i wytwarzania urządzeń ciśnieniowych oraz zespołów urządzeń ciśnieniowych w niżej wskazanym zakresie. Podajemy wersję angielską [2] i niemiecką [3] przepisu zawartego w **pkt 1.2. ZAŁĄCZNIKA I ZASADNICZE WYMAGANIA BEZPIECZEŃSTWA UWAGI OGÓLNE dyrektywy PED 2014/68/UE**, których treść prawidłowo oddaje sens zasady ALARP (podkreślenia własne):

„In choosing the most appropriate solutions, the manufacturer shall apply the principles set out below in the following order: – eliminate or reduce hazards **as far as is reasonably practicable**”.

„Bei der Wahl der angemessensten Lösungen hat der Hersteller folgende Grundsätze, und zwar in der angegebenen Reihenfolge, zu beachten: – Abwendung oder Verminderung der Gefahren, soweit dies nach vernünftigem Ermessen möglich ist”.

Treść ww. przepisów została prawidłowo implementowana do krajowych porządków prawnych odpowiednich państw członkowskich. Przykładowo w prawie brytyjskim w akcie prawnym The Pressure Equipment (Safety) Regulations 2016 [4] czy w prawie austriackim w akcie prawnym Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über Druckgeräte (Druckgeräteverordnung – DGVO) [5], przy czym w wersjach krajowych przepisów wdrożono dokładną treść unijnych przepisów prawa. W wersji angielskiej dyrektywy zasada **ALARP (as far as is reasonably practicable)** została bezpośrednio zaczerpnięta z brytyjskiego prawodawstwa dotyczącego zdrowia i bezpieczeństwa w pracy – Health and Safety at Work etc. Act 1974 [6], gdzie ta zasada jest wyrażona w sformułowaniu **so far as is reasonably practicable (SFAIRP)**.

Natomiast w wersji niemieckiej dyrektywy zastosowano sformułowanie: „soweit dies nach vernünftigem Ermessen möglich ist”, które moglibyśmy przetłumaczyć dosłownie: „o ile po rozsądnej ocenie jest to możliwe”. Niemieckie tłumaczenie dyrektywy oddaje zatem precyzyjnie właściwy sens tej zasady.

Wersja polska dyrektywy PED 2014/68/UE w **ZAŁĄCZNIKU I – ZASADNICZE WYMAGANIA BEZPIECZEŃSTWA** w pkt 1.2. stanowi [7]:

Wybierając najwłaściwsze rozwiązania, producent musi stosować zasady ustalone poniżej w następującym porządku: – usuwać lub zmniejszać niebezpieczeństwo, **w zakresie, w jakim jest to praktycznie wykonalne.**

Postanowienie dyrektywy PED 2014/68/UE zostało implementowane do polskiego porządku prawnego rozporządzeniem Ministra Rozwoju w sprawie wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych [8] w § 16 ust. 2 pkt 1):

W celu spełnienia wymagania, o którym mowa w ust. 1, stosuje się odpowiednie rozwiązania, uwzględniając w następującej kolejności:
1) zasadę wyeliminowania lub zminimalizowania zagrożeń, **w zakresie, w jakim jest to praktycznie wykonalne.**

Przyjęcie w polskiej wersji językowej dyrektywy PED 2014/68/UE oraz w wyżej wskazanym rozporządzeniu wdrażającym dyrektywę sformułowania „w zakresie, w jakim jest to praktycznie wykonalne”, z uwagi na możliwość szerokiej interpretacji tego zapisu, może budzić wątpliwości co do prawidłowego tłumaczenia, a w konsekwencji co do możliwości oraz obowiązku stosowania zasady ALARP w polskim przemyśle.

Niemniej jednak dyrektywa ciśnieniowa PED 2014/68/UE w **ZAŁĄCZNIKU I – ZASADNICZE WYMAGANIA BEZPIECZEŃSTWA** pkt 4. UWAGI WSTĘPNE przy interpretacji zasadniczych wymagań nakazuje uwzględniać nie tylko zagadnienia bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, ale również aktualny stan wiedzy i praktykę oraz czynniki techniczne i ekonomiczne – jak poniżej.

Zasadnicze wymagania bezpieczeństwa mają być interpretowane i stosowane w taki sposób, aby uwzględniały stan wiedzy oraz praktykę aktualną w momencie projektowania i wytwarzania, jak również względy natury technicznej i ekonomicznej, które są zgodne z wysokim stopniem ochrony zdrowia i bezpieczeństwa.

W tym fragmencie polska wersja językowa przepisu jest analogiczna z wersją angielską i niemiecką.

Właściwy sens zasady ALARP, uwzględniający oczywiście jej techniczny i brytyjski kontekst, oddawałoby w języku polskim następujące zdanie: **„Tak dalece, jak to jest rozsądnie/racjonalnie wykonalne/uzasadnione”.**

Taka interpretacja tego przepisu byłaby również zgodna z wersją niemiecką i angielską dyrektywy, których tłumaczenia dają dużo większą elastyczność projektantom i producentom w zakresie stwierdzenia, czy dany poziom ryzyka jest wystarczająco dobry/niski, czyli akceptowalny.

Celnie ujął tę kwestię Steve Lewis, stawiając następujące pytanie w tytule publikacji Risk Criteria – When is low enough good enough? [9]

W rozumieniu dyrektywy PED producent byłby zobowiązany eliminować lub minimalizować zagrożenie tak dalece, jak to jest rozsądnie/racjonalnie wykonalne/uzasadnione, uwzględniając stan wiedzy, praktykę oraz względy natury technicznej i ekonomicznej, które są zgodne z wysokim stopniem ochrony zdrowia i bezpieczeństwa.

ALARP W NORMACH

Zasada ALARP została także wprowadzona do norm z zakresu bezpieczeństwa czy bezpieczeństwa funkcjonalnego.

PN-EN 61508-5:2010 Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/programowalnych elektrycznych systemów związanych z bezpieczeństwem - Część 5: Przykłady metod określania poziomów nienaruszalności bezpieczeństwa [10] – w szczególności Załącznik C.

PN-EN 61511-3: 2017-07 Bezpieczeństwo funkcjonalne Przyrządowe systemy bezpieczeństwa do sektora przemysłu procesowego Część 3: Wytyczne do określania poziomów wymaganych nienaruszalności bezpieczeństwa [11] – w szczególności Załącznik K

Norma PN-EN 62061:2008 Bezpieczeństwo maszyn - Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem, która jest **zharmonizowana z dyrektywą maszynową 2006/42/WE, odsyła do stosowania ww. norm: IEC 61508 i IEC 61511.**

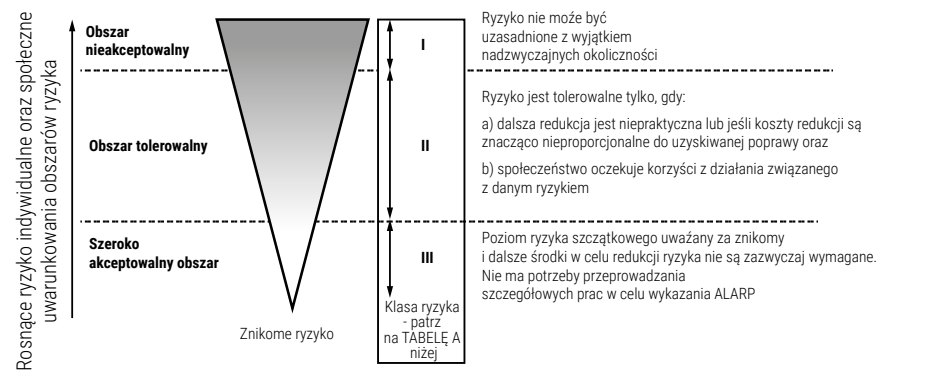
Chociaż stosowanie norm technicznych jest dobrowolne, są one postrzegane jako uznana praktyka inżynierska w projektowaniu, a jednocześnie stanowią środek spełnienia i uzupełnienia norm prawnych.

Warto przyrzeć się bliżej koncepcji ALARP ujętej w załącznikach informacyjnych norm PNEN 61508 (ZAŁĄCZNIK C) [10] oraz PN-EN 61511 (ZAŁĄCZNIK K) [11].

Załączniki uznają zasadę ALARP za szczególne podejście do ustalenia ryzyka tolerowalnego. Przy czym intencją twórców norm nie jest przedstawienie ostatecznego opisu metody, ale raczej zilustrowanie ogólnych zasad. Podejście to obejmuje proces ciągłego doskonalenia – w jego ramach rozważane są wszystkie opcje, które mogłyby jeszcze bardziej zmniejszyć ryzyko pod kątem korzyści i kosztów. Koncepcja ALARP może być stosowana podczas określania SIL (sama w sobie nie jest jednak metodą określania SIL). Załączniki wskazują, że osoby zamierzające zastosować metody w nich wskazane powinny zapoznać się z materiałami źródłowymi, czyli publikacją UK HSE (2001) „Reducing Risks, Protecting People” ISBN 0717621510 (dostępna online pod adresem: Reducing Risks: Protecting People - HSE’s decision making process).

Normy IEC 61508 [10] oraz IEC 61511 [11] prezentują obszar ryzyka leżący pomiędzy obszarem NA a obszarem A w podobny sposób (różnice są niewielkie).

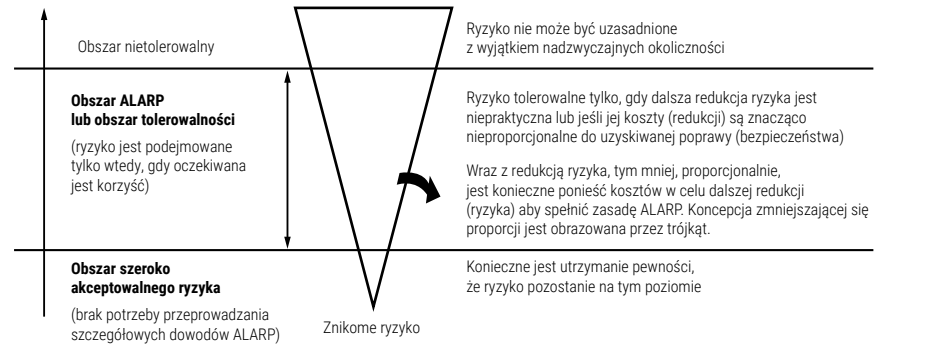
Poniżej zilustrowano obszary ryzyka wg (A) IEC 61511 [11] oraz (B) IEC 61508 [10]:



ILUSTRACJA A - Ryzyko tolerowalne i ALARP - IEC 61511

Tabela A - Interpretacja klas ryzyka - IEC 61511

Klasa/kategoria ryzyka	Interpretacja
Klasa I	Ryzyko nietolerowalne
Klasa II	Ryzyko niepożądane i tolerowalne tylko, gdy (dalsza) redukcja ryzyka jest niepraktyczna lub jeśli koszty są znacząco nieproporcjonalne do uzyskiwanej poprawy (bezpieczeństwa)
Klasa III	Znikome ryzyko



ILUSTRACJA B - Ryzyko tolerowalne i ALARP - IEC 61508

Tabela B - Interpretacja klas ryzyka - IEC 61508

Klasa/kategoria ryzyka	Interpretacja
Klasa I	Ryzyko nietolerowalne
Klasa II	Ryzyko niepożądane i tolerowalne tylko, gdy (dalsza) redukcja ryzyka jest niepraktyczna lub jeśli koszty są znacząco nieproporcjonalne do uzyskiwanej poprawy bezpieczeństwa
Klasa III	Ryzyko tolerowalne, jeśli koszt redukcji ryzyka przewyższyłby uzyskaną poprawę
Klasa IV	Znikome ryzyko

UWAGA: Warto zwrócić uwagę, że obie normy wskazują, iż w obszarze tolerowalności ryzyka, oprócz redukcji ryzyka ALARP, także korzyści z jego podejmowania powinny być udziałem społeczeństwa lub strony narażonej na to ryzyko. Ten aspekt rzuca dodatkowe światło na tzw. odpowiedzialność społeczną przedsiębiorstw (CSR, ang. Corporate Social Responsibility).

Norma IEC 61511 [11] jest jakby „bardziej wymagająca”, ponieważ rekomenduje w całym obszarze możliwej tolerowalności (Class II) wykazanie niepraktyczności dostępnych opcji redukcji ryzyka lub „znaczącej dysproporcji” kosztów redukcji ryzyka nad efektami redukcji (korzyściami).

Norma IEC 61511 zaleca:

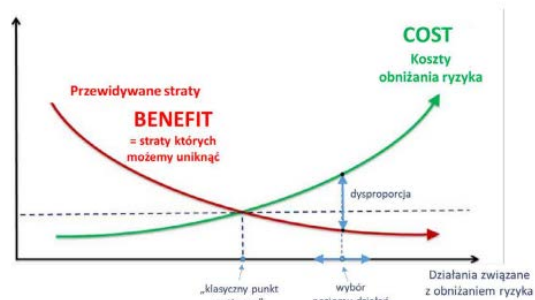
<p>“Below that (unacceptable) level, a risk is considered to be “tolerable”: provided that it has been reduced to the point where the benefit gained from further risk reduction is outweighed by the cost of achieving that risk reduction, and provided that generally accepted standards have been applied towards the control of the risk. The higher the risk, the more would be expected to be spent to reduce it. A risk which has been reduced in this way is considered to have been reduced to a level which is “as low as is reasonably practicable” (ALARP)”.</p>	<p>Poniżej tego (niedopuszczalnego) poziomu ryzyko uznaje się za „tolerowalne”: pod warunkiem, że zostało ono zredukowane do punktu, w którym koszty osiągnięcia redukcji ryzyka przeważają nad korzyściami uzyskanymi z dalszej redukcji ryzyka, oraz pod warunkiem, że ogólnie uznane standardy zostały zastosowane w celu kontroli ryzyka. Im wyższe ryzyko, tym więcej należałoby wydać na jego ograniczenie. Ryzyko, które zostało zmniejszone w ten sposób, uważa się za zmniejszone do poziomu jw. (ALARP).</p>
---	--

Norma IEC 61508 [10] jest „bardziej precyzyjna” i w obszarze możliwej tolerowalności, lecz bliżej ryzyka nieakceptowalnego, proponuje wyróżnienie dwóch obszarów. Pierwszym jest **obszar (Class II), gdzie wskazuje potrzebę wykazania „znaczącej dysproporcji” kosztów redukcji ryzyka nad efektami lub niepraktyczności dostępnych opcji redukcji ryzyka.** Drugim jest obszar **(Class III), w którym zaleca już tylko przewagę kosztów redukcji ryzyka nad efektami.**

Norma IEC 61508 stanowi:

<p>“Below that (unacceptable) level, there is the tolerability region where an activity is allowed to take place provided the associated risks have been made as low as reasonably practicable. Tolerable (risk) here is different from acceptable: it indicates a willingness to live with a risk so as to secure certain benefits, at the same time expecting it (risk) to be kept under review and reduced as and when this can be done. Here a cost benefit assessment is required either explicitly or implicitly to weigh the cost and the need or otherwise for additional safety measures. The higher the risk, the more proportionately would be expected to be spent to reduce it (risk). At the limit of tolerability, expenditure in gross disproportion to the benefit would be justified. Here the risk will by definition be substantial, and equity requires that a considerable effort is justified even to achieve a marginal reduction”.</p>	<p>Poniżej tego (niedopuszczalnego) poziomu znajduje się obszar tolerancji, w którym działanie jest dozwolone pod warunkiem, że związane z nią ryzyko zostało zredukowane do poziomu tak niskiego, jak to racjonalnie uzasadnione. Tolerowalne (ryzyko) różni się od akceptowalnego: oznacza gotowość do ponoszenia ryzyka w celu zapewnienia określonych korzyści, przy jednoczesnym założeniu, że będzie ono (ryzyko) poddawane przeglądowi i redukowane, jeśli i kiedy tylko będzie to możliwe. W tym obszarze wymagana jest albo jawnie, albo pośrednio ocena/analiza kosztów i potrzeb wprowadzenia dodatkowych środków bezpieczeństwa. Im wyższe ryzyko, tym bardziej proporcjonalne wydatki będą oczekiwane w celu jego ograniczenia (ryzyka). Na granicy tolerowalności wydatki znacząco nieproporcjonalne do korzyści byłyby uzasadnione. W tym obszarze ryzyko z definicji będzie znaczące, a sprawiedliwość wymaga, aby znaczny wysiłek/nakład był uzasadniony nawet w celu osiągnięcia marginalnej redukcji.</p>
---	--

Mówiąc o znaczącej dysproporcji, dobrze jest przypomnieć sobie znany szkic wyjaśniający zasadę optymalizacji kosztów zarządzania ryzykiem (rys. 4). Dla celów niniejszej publikacji dokonano w nim pewnych modyfikacji, aby wykazać różnice pomiędzy kosztem uważanym za optymalny a kosztem uwzględniającym znaczącą dysproporcję.



Rys. 4. Koszty zarządzania ryzykiem – koszt optymalny i pytanie o znaczącą dysproporcję

Jeśli za koszty (na rys. 4) uzna się poświęcenie związane ze środkami niezbędnymi do uniknięcia ryzyka (czy to w czasie, pieniądzu, czy nakładach pracy), to uzyskujemy dysproporcję, porównując te koszty z korzyściami, a mówiąc inaczej – z uniknięciem potencjalnych strat dla zdrowia, życia – także w odniesieniu do przyszłości osób narażonych. W tym miejscu należy otwarcie przyjąć, że w celu zastosowania analizy kosztów i korzyści – o ile koszty są relatywnie łatwo identyfikowalne i policzalne, o tyle obliczenie korzyści wiąże się z koniecznością oszacowania w jednostkach monetarnych aspektów takich jak możliwe do uniknięcia ofiary, utrata zdrowia, często pogorszenie się komfortu życia itp., zależnie od przyjętej szczegółowości metodologii. Należy przy tym pamiętać, że ciągle mówimy o prawdopodobieństwie skutków, a nie o nieuchronnych skutkach. Z całą stanowczością należy odrzucić pojawiające się czasami błędne zrozumienie i niesłuszne zarzuty do metody CBA dokonywania oceny wartości zdrowia i życia.

W stosowanej przy ALARP analizie korzyścią są życie i zdrowie oraz inne aspekty ważne społecznie, potencjalnie uratowane dzięki inwestycjom w bezpieczeństwo.

Do celów podejmowania decyzji w ALARP należy zatem ustalić dodatkową regułę dla przewagi kosztów redukcji ryzyka nad korzyściami – czyli kiedy będziemy stwierdzać, że dysproporcja jest znacząca. Tutaj najbardziej znanym wskaźnikiem jest tzw. *disproportion factor* (DF), czyli poziom przewagi kosztów nad korzyściami uznawany za granicę racjonalności.





PODSUMOWANIE

Dokumentacja uzyskania ALARP powinna być nieodłącznym składnikiem dokumentacji potwierdzającej zapewnienie bezpieczeństwa urządzenia technicznego, zespołu urządzeń oraz instalacji przemysłowej. Osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo w imieniu przedsiębiorcy powinny móc w każdej chwili legitymować się aktualnym dowodem na ryzyko tak niskie, jak to racjonalnie uzasadnione (ALARP) z zastosowaniem jednej z metod doboru kryteriów dysproporcji.

Zasadę ALARP należy stosować, uwzględniając wymagania prawne, normatywne oraz dobrą praktykę inżynierską.

ALARP wymaga także stałej weryfikacji aktualności: przed wprowadzeniem zmian, po ich wprowadzeniu oraz okresowo – uwzględniając zmieniające się możliwości techniczne oraz stan techniczny urządzeń. Jest to istotne w kontekście obowiązku zapewnienia bezpiecznego miejsca pracy przez pracodawcę, w tym obowiązku monitorowania stanu bezpieczeństwa i higieny pracy.

Wyobrażalne jest, że dokumentacja ALARP może mieć charakter poufny z uwagi na wrażliwe dane właściciela ryzyka ujawniające politykę bezpieczeństwa, w tym tzw. *risk appetite* lub *risk aversion* przedsiębiorstwa. Powinien być to jednak dokument dostępny dla właściwych instytucji państwowych odpowiedzialnych za ocenę zapewnienia bezpieczeństwa, np. dla Państwowej Inspekcji Pracy czy UDT, oraz dostępny dla strony społecznej reprezentującej pracowników przedsiębiorstwa.

W miarę zaangażowania przedsiębiorstwa w tzw. CSR (Corporate Social Responsibility) dokument ALARP każdej inwestycji stanowiącej ryzyko dla społeczeństwa powinien być dostępny publicznie w odpowiednim trybie.

Bezpieczeństwo powinno być zaprojektowane i okresowo weryfikowane.

Zachęcamy do lektury rozszerzonego materiału dot. zasady ALARP w artykułach „Racjonalne podejście do zarządzania ryzykiem. Zasada ALARP – aspekt prawny. Część I” oraz „Racjonalne podejście do zarządzania ryzykiem. Zasada ALARP – metodyka. Część II” opublikowanych w wydaniu specjalnym Inspektora - Chemia, Petrochemia, Rafineria [12]. Odsyłamy także do źródeł literaturowych podanych na końcu artykułów.

LITERATURA:

1. Introduction to Health and Safety at Work Sixth edition 2016, rozdz. I (chapter I), s. 14 (p. 14) – dostęp 27.11.2024
2. DIRECTIVE 2014/68/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 15 May 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment – dostęp 27.11.2024
3. RICHTLINIE 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt – dostęp 27.11.2024
4. The Pressure Equipment (Safety) Regulations 2016 – dostęp 27.11.2024
5. Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über Druckgeräte (Druckgeräteverordnung – DGVO) – dostęp 27.11.2024
6. The Health and Safety at Work etc Act 1974 – dostęp 27.11.2024
7. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń – dostęp 27.11.2024
8. ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ROZWOJU z dnia 11 lipca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych (Dz.U. z 2019 r. poz. 211, tj.) – dostęp 27.11.2024
9. Steve Lewis "Risk Criteria – When is low enough good enough?" – dostęp 27.11.2024]
10. PN-EN 61508-5:2010 Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/ programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem - Część 5: Przykłady metod określania poziomów nienaruszalności bezpieczeństwa
11. PN-EN 61511-3: 2017-07 Bezpieczeństwo funkcjonalne Przyrządowe systemy bezpieczeństwa do sektora przemysłu procesowego Część 3: Wytyczne do określania poziomów wymaganych nienaruszalności bezpieczeństwa
12. „Racjonalne podejście do zarządzania ryzykiem. Zasada ALARP – aspekt prawny. Część I” oraz „Racjonalne podejście do zarządzania ryzykiem. Zasada ALARP – metodyka. Część II” opublikowanych w wydaniu specjalnym Inspektora - Chemia, Petrochemia, Rafineria; strony 25-34; – dostęp 27.11.2024
13. WYROK TRYBUNAŁU (trzecia izba) z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie C-127/05 KOMISJA PRZECIWKO ZJEDNOCZONEMU KRÓLESTWU [dostęp: 11.2024]

PROCESY DEGRADACJI W STALACH AUSTENITYCZNYCH



DR INŻ. ROBERT WERSTA

Kierownik Działu Oceny Zgodności
Oddział we Wrocławiu
Urząd Dozoru Technicznego



DR INŻ. HANNA PURZYŃSKA

Dyrektor Centrum Badań Materiałów
Górnośląski Instytut Technologiczny w Gliwicach
Sieć Badawcza Łukasiewicz



DR INŻ. MAŁGORZATA SUŚ-RYSZKOWSKA

Główny Specjalista
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego



PROF. DR HAB. INŻ. ADAM ZIELIŃSKI

Dyrektor Górnośląskiego
Instytutu Technologicznego w Gliwicach
Sieć Badawcza Łukasiewicz



Poszukiwania nowych źródeł energii, a szczególnie tych związanych z produkcją energii ze źródeł odnawialnych, towarzyszą obecnie dążeniom do ochrony klimatu. Bezpieczne funkcjonowanie w miksie energetycznym wymaga wykorzystania wszystkich źródeł energii, a znaczącą rolę nadal odgrywają konwencjonalne źródła energii, choć badania naukowo-rozwojowe kierowane są na zwiększanie ekologicznego bezpieczeństwa tradycyjnej energetyki. W tym obszarze kładzie się również nacisk na poprawę efektywności energetycznej w celu zwiększenia wydajności i redukcji zużycia energii. Niezmiennie kluczową rolę w takich branżach odgrywa inżynieria materiałowa. Wytrzymałość eksploatacyjna urządzeń technicznych zależy od tworzyw, z jakich są wykonane, sposobu ich łączenia oraz metodyki ich badań. Wysokotemperaturowe stale i stopy nierdzewne są wykorzystywane w sektorze energetycznym, zwłaszcza tam, gdzie działa wysoka temperatura i występuje agresywne środowisko przy długotrwałej eksploatacji pod obciążeniem. Stała współpraca branż przemysłowych oraz jednostek inspekcyjnych ze światem nauki i badań determinuje poprawę bezpiecznej efektywności.

W ENERGETYCE ORAZ PRZEMYŚLE CHEMICZNYM I PETROCHEMICZNYM WYKORZYSTYWANE SĄ CZĘSTO ŻAROODPORNE I ŻAROWYTRZYMAŁE STALE AUSTENITYCZNE. DUŻE ZAPOTRZEBOWANIE NA TE TWORZYWA METALICZNE WYNIKA Z ICH SZCZEGÓLNYCH WŁAŚCIWOŚCI, TAKICH JAK ODPORNOŚĆ NA KOROZJĘ, DOBRA ODKSZTAŁCALNOŚĆ PLASTYCZNA CZY SPAWALNOŚĆ W SZEROKIM ZAKRESIE TEMPERATUR.

Stale żarowytrzymałe są stosowane tam, gdzie panuje wysoka temperatura oraz dochodzi do naprężeń i obciążeń mechanicznych. Stal nierdzewna żarowytrzymała powstaje dzięki wprowadzeniu do niej dodatków stopowych, takich jak molibden, kobalt, wanad, wolfram oraz tytan, chrom i krzem. Te materiały konstrukcyjne stosowane są przy budowie nowoczesnych bloków na parametry nadkrytyczne. Obecne są również w modernizacji długo eksploatowanych bloków energetycznych o parametrach podkrytycznych.

Wśród tych materiałów istotne miejsce zajmuje stal S304H, która stosowana jest w budowie elementów ciśnieniowych kotłów o nadkrytycznych parametrach pracy. Stal S304H charakteryzuje się wysoką żaroodpornością oraz wytrzymałością na pełzanie, co jest wynikiem silnego umocnienia roztworowego i wydzieleniowego [2, 3]. Z powodu wysokiej wytrzymałości na pełzanie w podwyższonej temperaturze oraz dobrej odporności na korozję wysokotemperaturową i utlenianie w parze wodnej rekomendowana jest do długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania do temperatury 650-660°C [4].

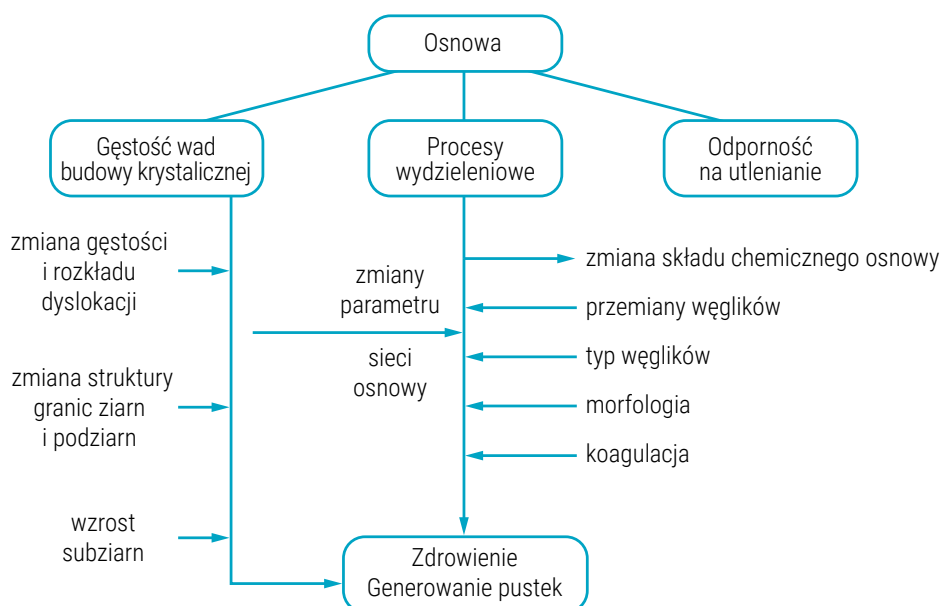
Degradacja materiałów określana jest jako niekorzystna zmiana właściwości eksploatacyjnych materiałów konstrukcyjnych wynikająca z procesów zachodzących w trakcie ich użytkowania. Ocena jakości oraz szybkości zmian strukturalnych zachodzących w wyniku działania czynników zewnętrznych, takich jak środowisko, naprężenia czy temperatura, jest kluczowa w kontroli bezpiecznej eksploatacji.

Mechanizm degradacji, inaczej pisząc, definiowany jest jako proces, który z czasem powoduje zmiany materiału (w skali mikro lub makro), szkodliwe dla stanu materiału lub jego własności mechanicznych [1].

Mechanizmy degradacji mają zazwyczaj charakter narastający, kumulujący się, a w niektórych przypadkach niemożliwy do naprawienia. Typowe mechanizmy degradacji obejmują korozję, atak chemiczny, pełzanie, erozję, zmęczenie, pękanie i starzenie termiczne [5]. Termin „mechanizm degradacji” stosowany jest już powszechnie w wielu obszarach przemysłu.

DEGRADACJA MATERIAŁU

Podstawowym wymogiem stawianym wszystkim żarowytrzymałym materiałom jest długotrwałe zachowanie określonych cech mechanicznych w podwyższonej temperaturze, tj. w temperaturze eksploatacji. Odporność materiału na działanie naprężeń i temperatury w ujęciu materiałoznawczym rozważana jest często jako zagadnienie stabilności lub niestabilności stanu struktury i właściwości materiału. W analizach materiałoznawczych przyjmowane są określone kryteria i mechanizmy tych zjawisk (rys. 1).

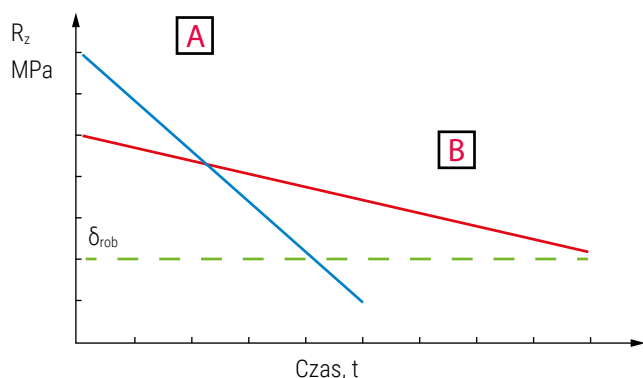


Rys. 1. Czynniki powodujące niestabilność i degradację struktury [7]

Żarowytrzymałość jest to odporność na odkształcenia, tj. zdolność metali i ich stopów do przenoszenia obciążeń. Dotyczy to stałych lub zmiennych obciążeń oraz krótko- lub długotrwałych w wysokiej temperaturze. Ta właściwość połączona jest z odpornością na wielokrotne zmiany temperatury. Występować może razem z żaroodpornością, tj. odpornością na korozję w wysokich temperaturach.



Dość powszechnym terminem określającym stan materiału jest pojęcie degradacji, które wskazuje na negatywne zmiany w mikrostrukturze i właściwościach powodowane wieloma procesami fizykochemicznymi i wydzieleniowymi obniżającymi zdolność materiału do przenoszenia wymaganych obciążeń i tym samym ograniczające trwałość eksploatacyjną (rys. 2).



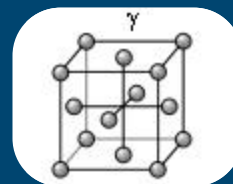
Rys. 2. Schematyczne charakterystyki: A – materiału o dużej niestabilności oraz B – materiału o dużej stabilności własności wytrzymałościowych na pełzanie

Określany jako degradacja stan materiału jest odnoszony do jego mikrostruktury oraz właściwości [19]. W wyniku pełzania zmiany te związane mogą być z różnymi zjawiskami.

MIKROSTRUKTURA	WŁAŚCIWOŚCI
<ul style="list-style-type: none"> • Rozpad głównych faz struktury w stalach o osnowie ferrytycznej (perlit, bainit, martenzyt) • Procesy wydzieleniowe – przemiany faz międzywęzłowych i międzymetalicznych, zmiana morfologii i rozmieszczenia • Rozwój uszkodzeń wewnętrznych • Procesy korozyjne 	<ul style="list-style-type: none"> • Zmniejszenie odporności na pełzanie – wzrost szybkości pełzania, zmniejszenie czasowej wytrzymałości na pełzanie • Obniżenie podstawowych właściwości mechanicznych w temperaturze pokojowej i podwyższonej • Podwyższenie temperatury przejścia w stan kruchy (progu kruchości)

MIKROSTRUKTURALNE FAZY KRystaliczne

Stopy metali są wytwarzane głównie przez topienie i odlewanie co najmniej dwóch składników i krystalizację ze stanu ciekłego. W wyniku tych procesów z cieczy, będącej zwykle roztworem wszystkich składników, mogą powstać różne fazy. Wpływają one na umocnienie, odkształcenie plastyczne i dekohezję stali w temperaturze pokojowej i podwyższonej.



Podstawową fazą strukturalną stali, charakteryzującą się wysoką odpornością na korozję i wytrzymałością w wysokich temperaturach, jest austenit. Aby otrzymać stabilną strukturę austenitu w całym zakresie temperatury, konieczny jest odpowiedni dobór pierwiastków zwanych austenitotwórczymi.

FAZY STALI STOPOWYCH

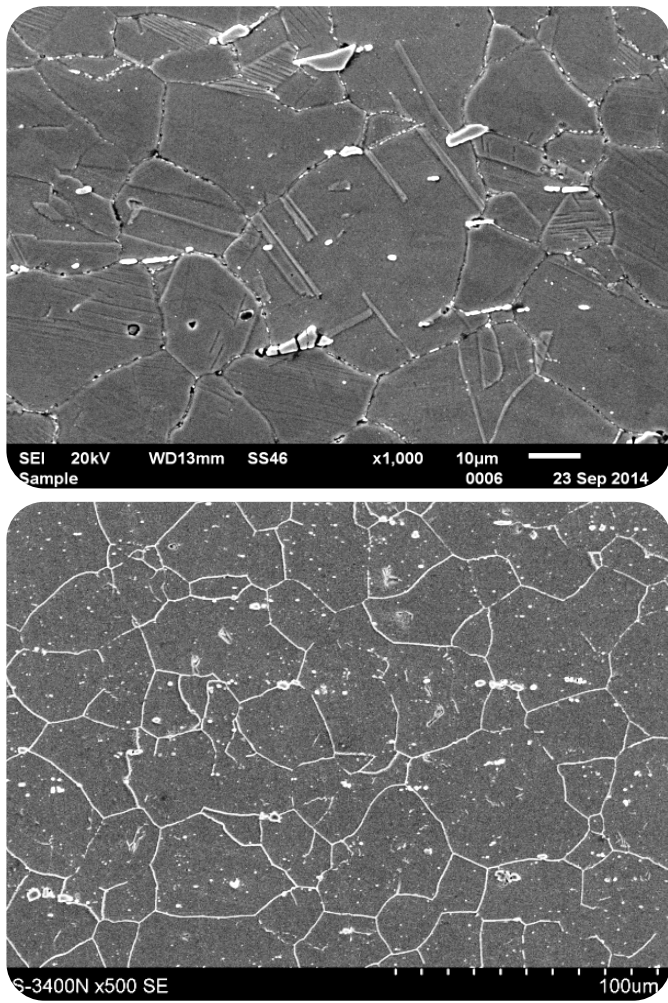
- Roztwory stałe (pierwiastki austenitotwórcze to nikiel, mangan i azot)
- Związki chemiczne (np. Tlenki Al_2O_3 , siarczki MnS)
- Fazy międzywęzłowe i międzymetaliczne (np. węgliki, azotki, σ -FeCr, Z)
- Mieszanki faz (eutektyki – spoiny)
- Metal czysty (np. miedź) w super 304h, Sanicro 25
- Odmiana alotropowa – grafit, który może powstawać w niskostopowej stali ferrytycznej 16M wskutek **długotrwałego przegrzania stali**

GLÓWNE MECHANIZMY UMOCNIEŃ STALI AUSTENITYCZNYCH

- Umocnienie roztworu stałego
 - Umocnienie wydzieleniowe
 - Umocnienie granicami ziaren

W stanie dostawy, najczęściej po przesycaniu, wysokostopowe stale Cr-Ni charakteryzują się strukturą austenityczną z licznymi bliźniakami oraz zazwyczaj z wydzieleniami węglików pierwotnych nierozpuszczonych podczas przesycania (rys. 3). Są to zależnie od składu chemicznego węgliki TiC, NbC (MC, N) lub faza Z (NbCrN).

Wydzielenia pierwotnych węglików NbC (TiC) mają za zadanie związać atomy węgla, aby ograniczyć wydzielenie węglików $M_{23}C_6$. Wydzielenia pierwotne węglików NbC (TiC, MX) dodatkowo w stalach austenitycznych skutecznie hamują rozrost ziarna. Węgliki pierwotne NbC (TiC) należy jednak w stalach austenitycznych traktować jako wydzielenia niekorzystne, gdyż na ich granicy międzyfazowej węgiel-osnowa może zachodzić zarodkowanie i rozwój pęknięć pełzaniowych.



Rys. 3. Przykłady mikrostruktury stali TP347HFG oraz Super 304H po przesycaniu z wydzieleniami węglików pierwotnych, SEM [20]

Struktura stali austenitycznych w stanie przesyconym jest strukturą metastabilną, która w czasie starzenia lub eksploatacji w podwyższonej temperaturze będzie ulegać stopniowej zmianie, w różny sposób wpływając na ich właściwości mechaniczne i odporność korozyjną.

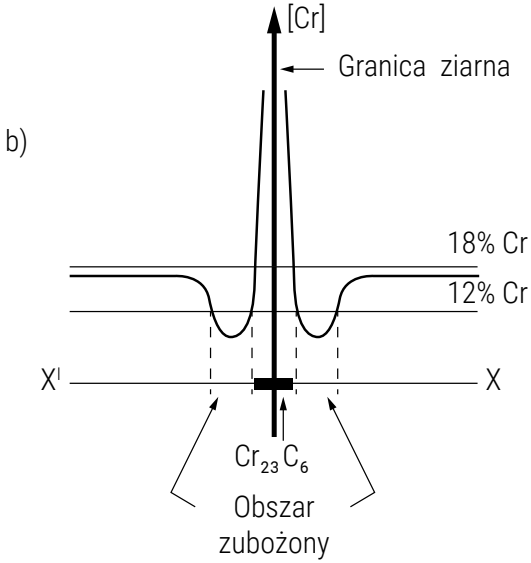
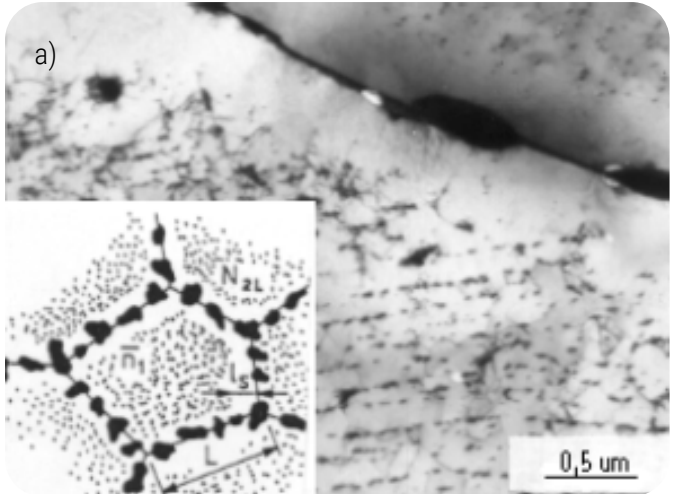
ZMIANY FAZOWE I PROCESY WYDZIELENIOWE

Procesy izotermicznego starzenia oraz prób pełzania i długotrwałej eksploatacji w podwyższonej temperaturze stwarzają warunki do wystąpienia procesów wydzieleniowych i przemian węglików, węglikoazotków i faz międzymetalicznych [21, 32].

Procesy wydzieleniowe mają złożony, zarówno korzystny, jak i niekorzystny, wpływ na właściwości wytrzymałościowe w temperaturze pokojowej i podwyższonej, a także na plastyczność i podatność do pękania. W dużym stopniu decyduje o tym rodzaj wydzieleni, ich ilość, kształt, wielkość i rozmieszczenie w osnowie.

Długotrwałe oddziaływanie podwyższonej temperatury wpływa na [23, 25]:

- procesy wydzielenia faz wtórnych: węgliki/azotki: $M_{23}C_6$, MX (MC), faza Z, ϵ -Cu, fazy międzymetaliczne: Lavesa, G, sigma σ , x,
- procesy dyfuzyjne i przemiany faz wtórnych, ich koagulację i sferoidyzację oraz uprzywilejowane sytuowanie po granicach ziaren,
- ubożenie osnowy w pierwiastki umacniające, w tym procesy mięknięcia osnowy wskutek tworzenia się obszarów struktury austenitu wolnych od wydzieleni szczególnie w strefie przygranicznej ziaren (rys. 4).



Rys. 4. a) Przykład substruktury austenitu z dyspersyjnymi wydzieleniami MC i strefą wolną od wydzieleni po długotrwałej eksploatacji stali T321H [50], b) schemat zubożenia strefy przygranicznej w chrom [26]

Faza sigma (σ) ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne i odporność na korozję w stalach żarowytrzymałych super 304H [6]. Jest to krucha faza międzymetaliczna. Powstawać może w stalach austenitycznych i ferrytycznych w wyniku długotrwałego wygrzewania w zakresie temperatur 500-900°C. Gdy jest obecna, może prowadzić do degradacji mikrostruktury stali i obniżenia właściwości mechanicznych, np. wytrzymałości na rozciąganie. Wpływa również negatywnie na odporność na korozję wżerową i naprężeniową. Wzrost twardości wiąże się ze spadkiem udarności.

Uprzywilejowanymi miejscami wydzielenia faz wtórnych w strukturze materiału są granice ziaren, gdyż jako defekty powierzchniowe są miejscami ujścia wakansów. Powoduje to zmniejszenie koncentracji defektów punktowych w obszarach przygranicznych. Wydzielaniu na granicach ziaren i wzrostowi wydzieli sprzyja również ich krystalograficzne zdefektowanie i podwyższona energia, które ułatwiają dyfuzję po granicach ziaren.

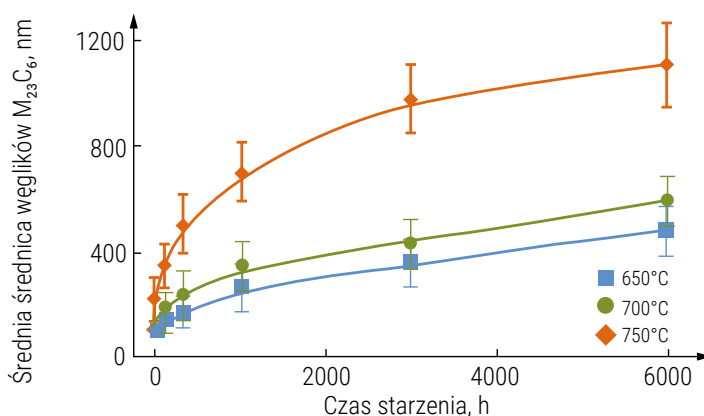
Powstawanie i wzrost szerokości strefy wolnej od wydzieli (rys. 4) jest zjawiskiem niekorzystnym, wpływającym negatywnie na odporność na pełzanie. W przygranicznych mikroobszarach zubożonych w wydzielenia następuje szybszy w porównaniu do wnętrza ziarna spadek właściwości wytrzymałościowych. Proces pełzania w tych obszarach jest znacznie szybszy w porównaniu do wnętrza, co prowadzi do przedwczesnego powstawania uszkodzeń pełzaniowych.

Zaawansowanie procesów wydzieleniowych powoduje również spadek stężenia chromu i niklu i innych dodatków stopowych w osnowie, co wpływa negatywnie na stabilność struktury austenitycznej. Przyspiesza też procesy zdrowienia kształtujące strukturę dyslokacyjną oraz substrukturę podziaren i tym samym zmniejsza umocnienie oraz odporność korozyjną.

Rodzaj wydzieli i ich udział objętościowy zależy od składu chemicznego stali, granicznej rozpuszczalności węgla i pierwiastków stopowych w osnowie oraz historii eksploatacji: temperatury, czasu, ciśnienia, a szczególnie od pracy w warunkach obciążeń nieustalonych – zmiennych [23, 25].

W procesie umocnienia austenitycznych stali żarowytrzymałych główną rolę odgrywają węgliki $M_{23}C_6$, gdzie M = Cr, Mn, Mo, Fe, W, które są roztworem wtórnym bogatym, o osnowie chromu.

Zakres temperatury wydzielenia węglika $M_{23}C_6$ w stalach austenitycznych to 600-950°C. Uprzywilejowanymi miejscami wydzielenia są dyslokacje wewnątrz ziaren oraz granice ziaren i bliźniaków [12, 14, 16, 36] (rys. 18b i 19b). Węglik $M_{23}C_6$ charakteryzuje się dość niską stabilnością termiczną, co prowadzi w czasie starzenia/eksploatacji do wzrostu wielkości tych wydzieli oraz tworzenia ciągłej siatki wydzieli po granicach (rys. 5).

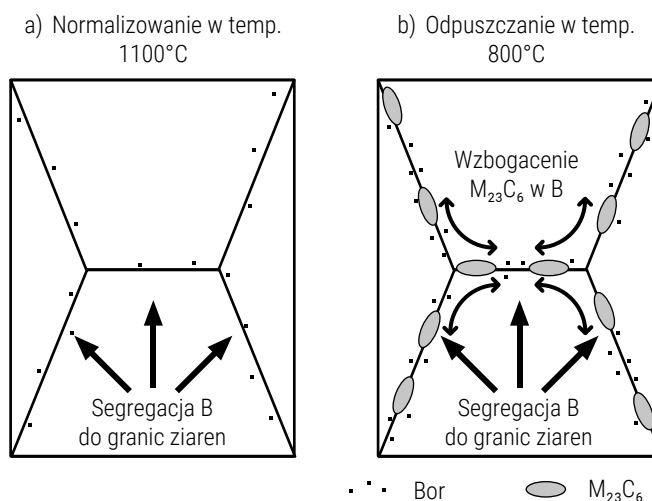


Rys. 5. Wpływ czasu i temperatury na stabilność geometryczną węglika $M_{23}C_6$ [41]

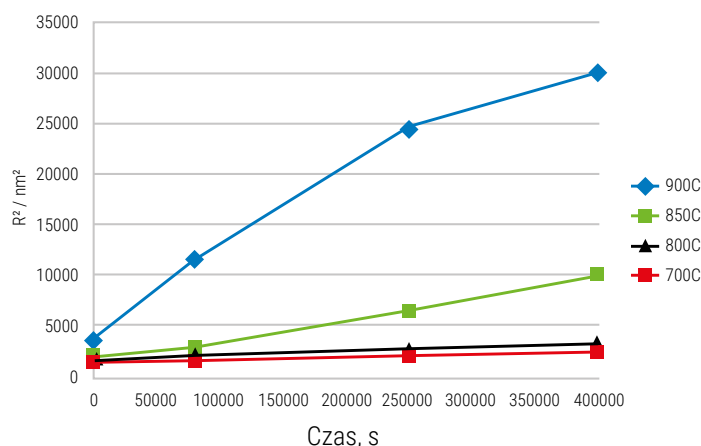
STAL SUPER 304H

Zastosowany w stali Super 304H mikrodotadek boru zastępuje w węgliku $M_{23}C_6$ atomy węgla, co zwiększa jego stabilność. Tworzące się węglkoborki $M_{23}(C,B)_6$, wydzielające się głównie na granicach ziaren, zwiększają odporność na pełzanie (rys. 6, 13).

Węglkoborek $M_{23}(C, B)_6$ w porównaniu do węglika $M_{23}C_6$ charakteryzuje się lepszym dopasowaniem sieci z osnową, większą stabilnością termodynamiczną. Przez dłuższy okres eksploatacji zachowuje dyspersyjną postać oraz przeciwdziała wydzieleniu się fazy sigma [33].



Rys. 6. Schemat oddziaływania mikrodotadku boru na strukturę [26]

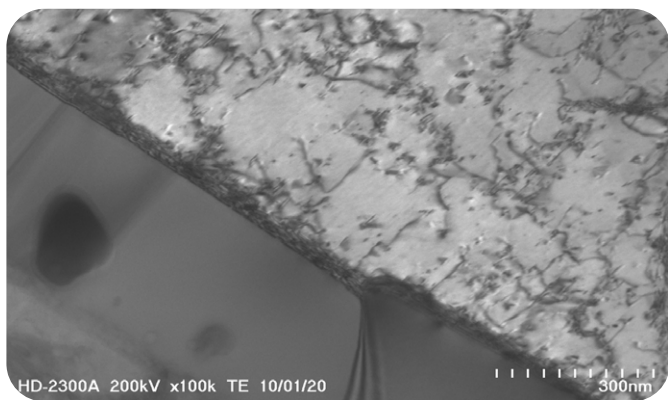


Rys. 7. Zmiany średniej średnicy cząstek MX w stali TP347HFG w zależności od czasu i temperatury starzenia

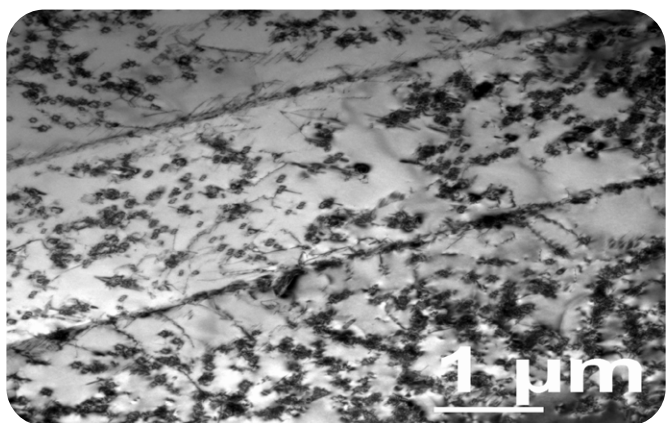
Węglik typu MC i węglikoazotki M(C,N) są najbardziej stabilne długotrwałe, gdzie M: Ti, Nb, V – o dużym powinowactwie do węgla i azotu. Wydzielają się na ogół równomiernie w osnowie na dyslokacjach i błędach ułożenia, a także na granicach ziaren.

Drobnodispersyjne wydzielenia MX (MC) stanowią bardzo skuteczne przeszkody dla swobodnego przemieszczania dyslokacji, kotwiczą i hamują możliwość ruchu dyslokacji i pomimo niewielkiego ich udziału objętościowego bardzo silnie umacniają stal. Ich obecność, stabilność geometryczna i termiczna (do około 800°C) oraz morfologia zapewniają długotrwałą stabilność pozytywnego oddziaływania na odporność na pełzanie stali (rys. 8–9).

- Długotrwałe oddziaływanie podwyższonej temperatury i ciśnienia aktywizuje przemiany węglkowe i wydzielanie faz międzymetalicznych typu σ oraz Z (FeCrN), które korzystnie wpływają tylko w początkowych stadiach wydzielania, dopóki zachowują względnie drobnodispersyjną formę i równomierne rozmieszczenie w osnowie. Z przedłużaniem czasu ekspozycji (pełzania) procesy dyfuzyjne i przemiany faz powodują ich koagulację i rozrost z preferencyjnym lokowaniem po granicach ziaren i bliźniaków. Dotyczy to szczególnie fazy σ [22, 35] (rys. 8, 9).

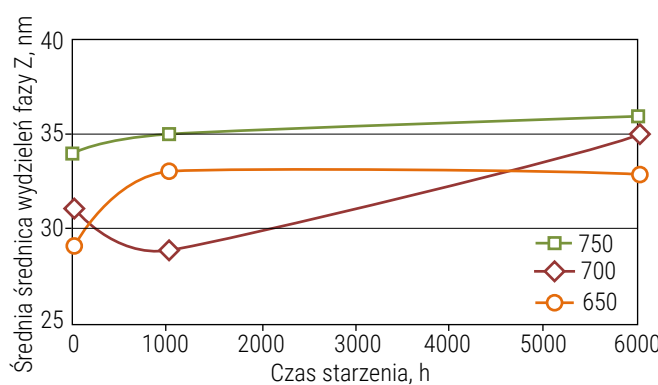


Rys. 8. Duże wydzielenie fazy σ i dyspersyjnej fazy TiC w stali T321H po długotrwałej eksploatacji [21]



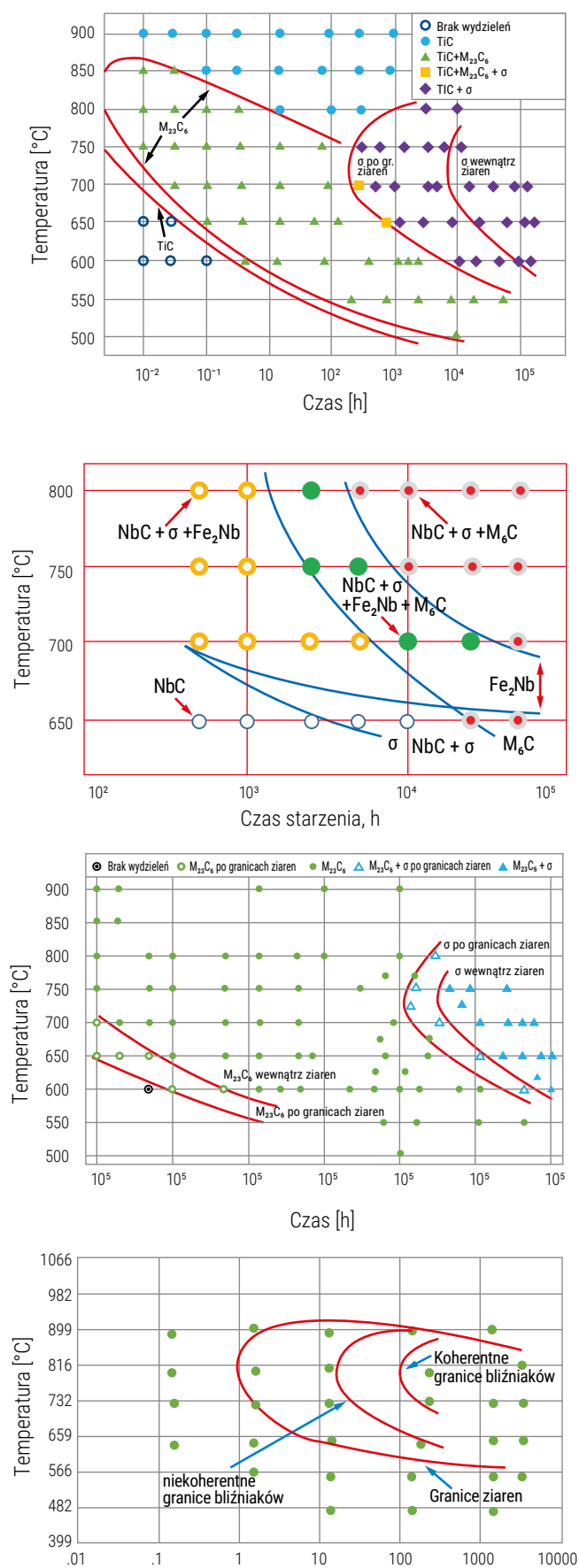
Rys. 9. Równomierne rozmieszczenie fazy Z i MX oraz węglików $M_{23}C_6$ po starzeniu w 700°C stali Sanicro 25 [8]

- Dużo korzystniej od fazy σ zachowują się cząstki fazy Z, które wykazują stabilność wymiarową (rys. 10). Tego typu morfologia wydzieleni z jednej strony blokuje poślizg dyslokacji, zwiększając odporność na pełzanie, a z drugiej zmniejsza plastyczność i ciągliwość mierzoną pracą łamania. W konsekwencji ułatwia to generowanie uszkodzeń pełzaniowych i zwiększa podatność na pęknięcie.



Rys. 10. Wpływ czasu i temperatury na wielkość cząstek fazy Z (NbCrN) [41]

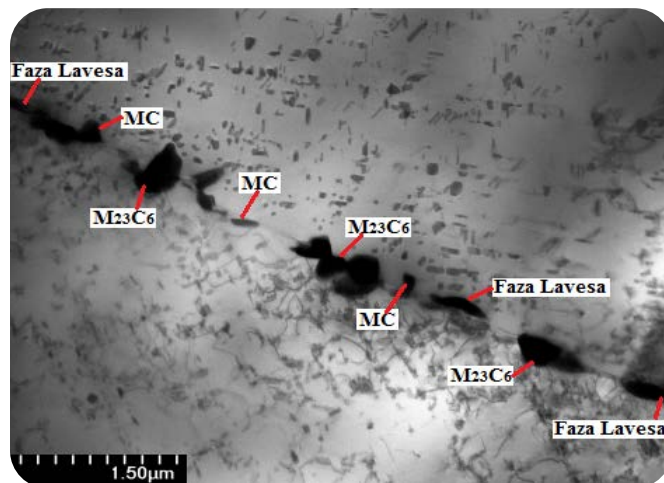
Dotychczasowe badania w zakresie procesów wydzieleniowych zachodzących w austenitycznych stalach nowej generacji: T321H, T347HFG, Super 304 H HR3C prowadzone na świecie pozwoliły na opis kinetyki wydzielania zachodzącego w warunkach izotermicznych oraz prób pełzania [11, 43]. Procesy te zwykle przedstawia się na wykresach CTW (czas-temperatura-wydzielanie). Przykładowe wykresy przedstawiono na rys. 11.



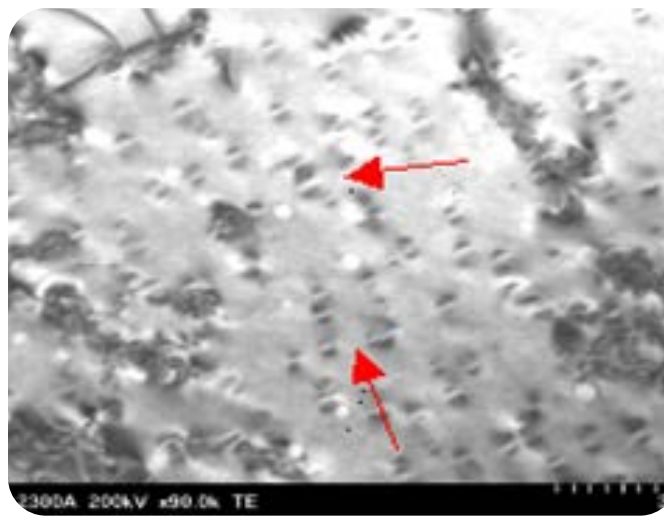
Rys. 11. Wykresy CTW zakresów wydzielenia faz wtórnych w: a) T321H, b) stali T347HFG, c) stali Super 304H, d) sekwencja wydzielenia węglika $M_{23}C_6$ na granicach ziaren i bliźniaków w stali 316L [11, 9]

W stali Super 304H oraz Sanicro 25 wprowadzono dodatek miedzi w ilości około 3%, który w postaci fazy ϵ -Cu bardzo korzystnie wpływa na umocnienie.

Dodatek ten ma drobnodispersyjną postać o wielkości (rzędu 10 nm) zachowującą koherencję z osnową [28, 38]. Cząstki te (rys. 13) stanowią bardzo skuteczne przeszkody dla swobodnego przemieszczania się dyslokacji, kotwiczą i hamują możliwość ich ruchu i poślizgu.



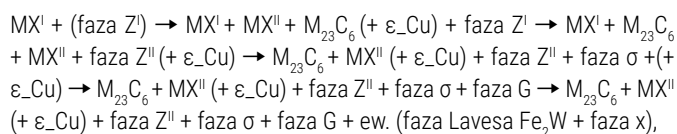
Rys. 12. Przykład dyspersyjnych wydzieleni MX w stali Sanicro 25 po starzeniu w 700°C [13]



Rys. 13. Koherentne wydzielenia fazy ϵ -Cu w stali Super 304H po starzeniu w 700°C/5 godz. [8]

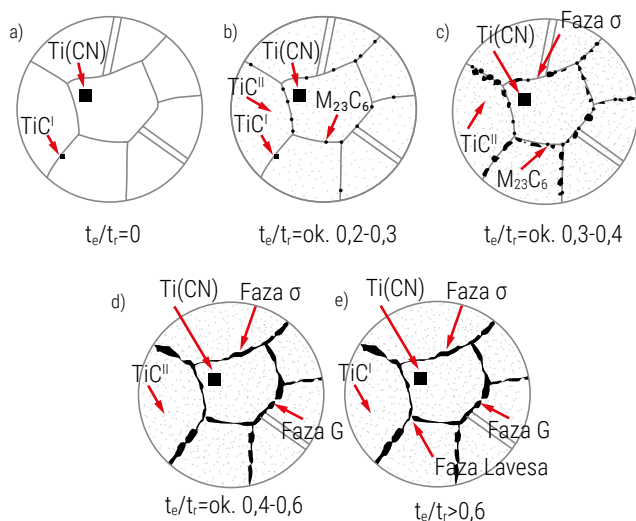
ZMIANY MIKROSTRUKTURALNE A WYCZERPANIE MATERIAŁU

Liczne badania zmian mikrostruktury [15, 18, 29, 30, 31, 32, 34, 37, 38] zachodzących w referencyjnych stalach austenitycznych z miedzią i mikrodotadkiem niobu i azotu pozwoliły na ustalenie sekwencji przemian w warunkach długotrwałego oddziaływania temperatury [9]:



gdzie: MX^I – węgliki/węglikoazotki pierwotne,
 MX^{II} – węgliki/węglikoazotki wtórne.

Kompleksowe badania mikrostruktury stali T321H po długotrwałej eksploatacji przeprowadzone w kraju stworzyły podstawy opisu sekwencji wydzielania faz wtórnych i pozwoliły na opracowanie strukturalnych modeli degradacji struktury, które mogą być podstawą oceny stanu wyczerpania materiału [21, 22].



Rys. 14. Schemat faz ewolucji mikrostruktury stali T321H i przypisany im stopień wyczerpania [22, 23]

Prowadzone w kraju badania w tym zakresie zmierzają do opracowania podobnych modeli i klasyfikacji stanu zdegradowania stali Super 304H. Przydatność takiego narzędzia będzie obiektywna, kiedy równocześnie materiał po długotrwałym starzeniu i o określonym stanie struktury zostanie poddany próbom pełzania. Pozwoli to na ustalenie związku pomiędzy wyczerpaniem materiału a stanem jego zdegradowania, analogicznie jak w przypadku stali o osnowie ferrytycznej [25, 39].

Można wyróżnić dwa rodzaje zmian w materiale prowadzące do zwiększenia szybkości pełzania [24].

- Pierwszym z nich jest wyczerpanie, gdy zmiany następują w strukturze i nie występuje proces dekohezji.

Wyczerpanie jest utratą zdolności materiału do odkształcenia plastycznego w wyniku przebiegu procesu pełzania.

- Drugim procesem jest uszkodzenie, gdy powstają i rozwijają się uszkodzenia wewnętrzne, a nie towarzyszą im zmiany struktury.

Uszkodzenie w wyniku pełzania to nieodwracalne zmiany struktury, spowodowane przez oddziaływanie temperatury i naprężenia mechanicznego w długotrwałym czasie.

Zwykle oba procesy przebiegają równolegle, a jeden z nich jest dominujący w zależności od stadium pełzania.

Wyczerpanie jest definiowane jako stosunek czasu eksploatacji (przebiegu pełzania w materiale danego elementu) do czasu do zerwania. Miarą stopnia wyczerpania jest stosunek tych wartości. Stopień wyczerpania jest wartością względną i przy zerwaniu jest równy 1 lub 100% [23, 24]. Miarą stopnia wyczerpania może być również stosunek czasu przebiegu pełzania w danym elemencie do czasu zerwania.

DEGRADACJA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH STALI AUSTENITYCZNYCH

Długotrwała eksploatacja, tj. próba pełzania lub długotrwałe izotermiczne starzenie stali austenicznych, prowadzi do zmian ich mikrostruktury odnoszących się głównie do procesów wydzieleniowych, a w konsekwencji do degradacji struktury.

Procesy wydzieleniowe nie stanowią jeszcze stanu degradacji rozumianej jako pogorszenie właściwości użytkowych. Opisane elementy mikrostruktury będące skutkiem długotrwałego oddziaływania temperatury i naprężenia mają bezpośredni wpływ na zmiany właściwości użytkowych – mechanicznych oraz fizykochemicznych.

Do głównych mechanizmów i kryteriów degradacji wpływających destabilizująco na stan stali austenicznych zalicza się [9, 10, 17, 43]:

- procesy związane ze zmianą morfologii faz wtórnych – koagulacji, sferoidyzacji i rozmieszczenia,
- wzrost kruchości stali w wyniku wydzielania się po granicach ziaren i bliźniaków węglików głównie $M_{23}C_6$ oraz fazy σ sigma czy fazy Z (NbCrN),
- ubożenie osnowy w pierwiastki stopowe oraz tworzenie się przygranicznych stref wolnych od wydzielań,
- migrację granic ziaren,
- procesy przegrupowania dyslokacji polegające na ich anihilacji, zmniejszeniu lub zaniku pętli dyslokacyjnych oraz powstawania granic małego kąta.

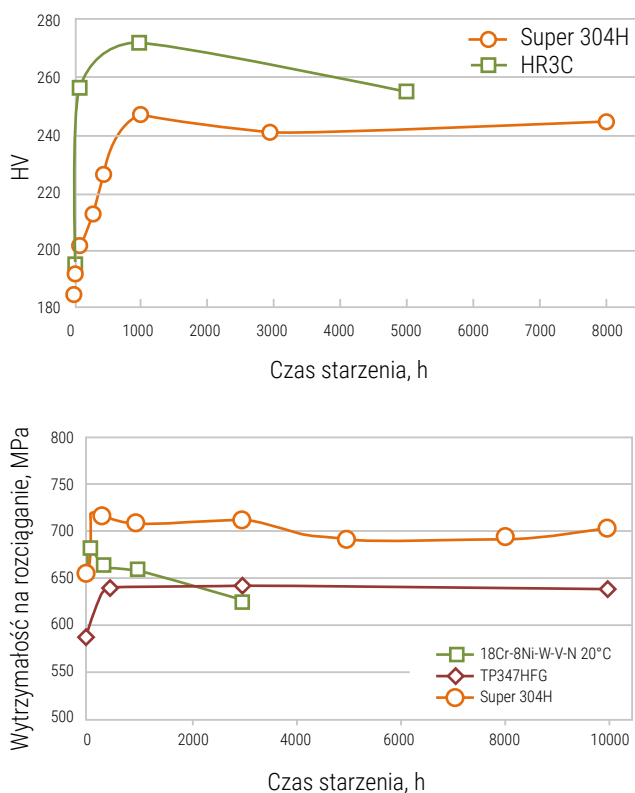
Wydłużenie czasu bezpiecznej eksploatacji elementów i urządzeń wykonanych z żarowytrzymałych stali austenicznych wiązać należy z dążeniem do spowolnienia wyżej wymienionych zmian w mikrostrukturze. Osiąga się to poprzez:

- zachowanie stabilności dyspersyjnych wydzielań wewnątrz ziaren,
- ograniczanie wydzielania po granicach ziaren,
- opóźnienie w wydzielaniu się faz międzymetalicznych, głównie fazy sigma,
- zachowanie przez długi czas umocnienia roztworowego atomami pierwiastków międzywęzłowych i substytucyjnych [9].

Procesy te determinowane są składem chemicznym danej stali. Na kinetykę i rodzaj zachodzących przemian fazowych (węglików i faz międzymetalicznych) mają wpływ rzeczywiste warunki eksploatacji, a głównie zmienność temperatury i obciążeń.

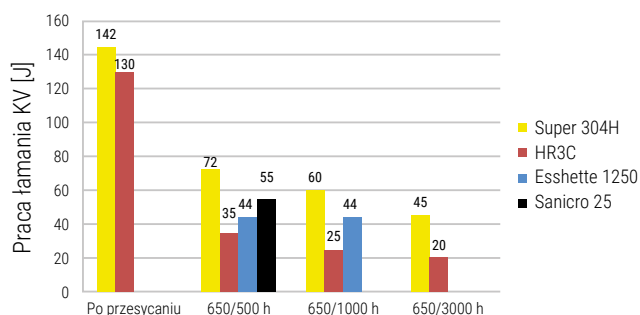
W prowadzonych analizach ustalania funkcjonalnych związków przyczynowo-skutkowych w relacjach mikrostruktura, właściwości a parametry natury eksploatacyjnej należy pamiętać o podstawowej zasadzie. Każdy obiekt, każdy odmienny gatunek stali należy rozpatrywać indywidualnie, a do szacowania trwałości eksploatacyjnej należy przyjmować wynik najmniej optymistyczny [25].

Zmiany mikrostruktury związane z procesem wydzieleniowym w niewielkim stopniu wpływają na wartości granicy plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie w temperaturze pokojowej i podwyższonej, a także na twardość [40, 44] (rys. 15).



Rys. 15. Charakterystyki zmian twardości i wytrzymałości na rozciąganie przykładowych stali austenitycznych po starzeniu w 650°C [40]

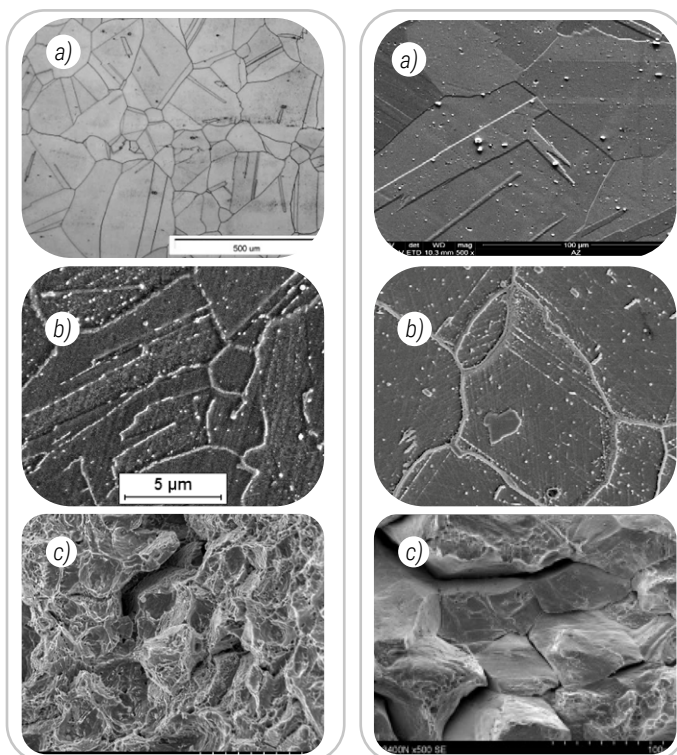
Cechą mechaniczną materiału szczególnie czułą na stan mikrostruktury, w tym wielkość ziarna austenitu i morfologię wydzielań, jest praca łamania wyznaczana w próbie udarności, która zwykle kojarzona jest z odpornością na pękanie w warunkach obciążeń dynamicznych (rys. 16). Wyraźnie przejawia się to zwłaszcza w przypadku stali HR3C [14–17, 30, 34].



Rys. 16. Wpływ czasu starzenia w 650°C na pracę łamania KV wybranych stali austenitycznych [8]

Proces cyklicznego starzenia w temperaturze 650°C odpowiadający temperaturze eksploatacji tej stali skutkuje wyraźnym spadkiem udarności poniżej niespełniającego wymogu kryterium minimalnej wartości 27 J. Przełomy udarnościowe wykazują wyraźnie zróżnicowaną morfologię złomu.

W przypadku stali Super 304H zachodzi pękanie mieszane transkryształiczne łupliwego i ciągliwego przełomu, co dobrze koreluje z drobnym ziarnem tej stali nr 8 wg ASTM (rys. 17). Natomiast w przypadku stali HR3C o wielkości ziarna nr 3–4 zachodzi pękanie kruche, co związane jest z grubym ziarnem austenitu nr 3–4 wg ASTM i uprzywilejowanym rozmieszczeniem węglików $M_{23}C_6$ po granicach ziaren i bliźniaków (rys. 18).



Rys. 17. Struktura stali Super 304H; a) w stanie dostawy i b) po starzeniu 650°C/1000 godz. oraz c) przełom transkryształiczny mieszany [16]

Rys. 18. Struktura stali HR3C; a) w stanie dostawy i b) siatka węglików po starzeniu 650°C/500 godz. oraz c) przełom z przewagą pęknięć kruchych [16]

WYKORZYSTANIE WYNIKÓW BADAŃ

Względnie duża niestabilność mikrostruktury w warunkach oddziaływania podwyższonej temperatury i związany z tym znaczny spadek ciągliwości do wartości poniżej 27 J był powodem odstąpienia od zastosowania stali HR3C na elementy przegrzewaczy pary budowanych kotłów na nadkrytyczne parametry pary. Z tego powodu problematyka związana z badaniami związków pomiędzy wpływem temperatury i szeroko rozumianych parametrów eksploatacyjnych na właściwości użytkowe i trwałość eksploatacyjną stali Super 304H jest priorytetową tematyką wielu realizowanych badań.

Rury ze stali Super 304H zainstalowane w krajowych blokach na parametry nadkrytyczne są obiektem zainteresowania badaczy w ramach profilaktycznego podejścia do utrzymania, zanim osiągną czas obliczeniowy 100 tys. godzin. Dotychczasowy stan wiedzy na temat wpływu długotrwałego oddziaływania temperatury i zmian struktury odnosi się głównie do oceny podstawowych cech mechanicznych, tj. granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze pokojowej i podwyższonej, twardości oraz pracy łamania w próbie udarności [27, 29, 32, 42].

Literatura:

1. Klinkosz T., Analiza mechanizmów degradacji, Magazyn Urzędu Dozoru Technicznego „Inspektor” wydanie specjalne: Chemia Petrochemia Rafineria, 2024, https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_CHEMIA_WCAG.pdf [dostęp: 11.2024].
2. Golański G. i in., Microstructure and mechanical properties of HR3C austenitic steel after service, Archives of Materials Science and Engineering, 2016, 81, 62–67.
3. Golański G., Sroka M., Zielińska-Lipiec A., Zieliński A., Sroka M., Effect of long-term service on microstructure and mechanical properties of martensitic 9% Cr Steel, Journal of Materials Engineering and Performance, 2017, Vol. 26. 3, 1101–1107.
4. Wersta R., Zieliński A., Struktura stali S304H po 20 000 godzin starzenia, Magazyn Urzędu Dozoru Technicznego „Inspektor” wydanie specjalne: Energetyka Konwencjonalna Ciepłownictwo, 2023, https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_ENERGETYKA_WCAG.pdf [dostęp: 11.2024].
5. API RP 581 Risk-Based Inspection Methodology, THIRD EDITION, APRIL 2016, ADDENDUM 2, OCTOBER 2020.
6. Golański G., Zieliński A., Purzyńska H., Precipitation processes in creep-resistant austenitic steels, Austenitic Stainless Steels. New Aspects, (ed. by T. Tański), In-Tech publication, 2018.
7. Hernas A., Żarowytrzymałość stali i stopów. Gliwice: Wyd. Politechniki Śl., 1999.
8. Hernas A., Dobrzański J., Pasternak J., Fudali S., Charakterystyki nowej generacji materiałów dla energetyki, Gliwice: Wyd. Politechniki Śl., 2015.
9. Golański G., Żarowytrzymałe stale austenityczne. Monografia 73. Częstochowa: Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2017.
10. Golański G., Lis A.K., Słania J., Zieliński A., Microstructural aspect of long term service of the austenitic TP347 HFG stainless steel. Arch. Metall. Mater. 2015, 60 (4), s. 2901-2904.
11. Iseda A., Okada H., Semba H., Long term creep properties and microstructure of S304H, TP347 HFG, and HR3C for A-USC boilers. Energy Mater. 2007, 2 (4), s. 199-206.
12. Zurek J., Yang S.-M., Lin D.-Y., Huttel T., Singheiser L., Quadackers W.J., Microstructural stability and oxidation behavior of Sanicro25 during long-term steam exposure in the temperature range 600–750°C. Mater. Corr. 2015, 66 (4), s. 315-327.
13. Hernas A., Fudali S., Pasternak J., Evaluation of welded joints properties and microstructure of new austenitic steels Sanicro 25 and HR6W. W: Proc. of 10th Liege Conf. 2014.
14. Zhifang P., Wen R. i in., The effects of equivalent width of grain boundary carbide plates on impact toughness of HR3C super heater tubes in service. W: IV Int. Conf. „Powerwelding”, Bełchatów, 2015.
15. Golański G., Kolan C., Zieliński A. i in., Microstructure and mechanical properties of HR3C steel after service. Arch. Mater. Sc. Eng. 2016, 81 (2), s. 62-67.
16. Hernas A., Bednarczyk I., Fudali S., Hajda J., Mikrostruktura i ciągliwość stali HR3C po starzeniu cyklicznym w 650°C. Energetyka. 2016, 11, s. 664-666.
17. Zieliński A., Sroka M., Hernas A., Kremzer M., The effect of long-term impact of elevated temperature on changes in microstructure and mechanical properties of HR3C steel. Arch. Metall. Mater. 2016, 61 (2), s. 761-766.
18. Ziewiec A., Tasak E., Metalurgiczne problemy przy spawaniu stali S304H. W: Mater. Konf. POWERWELDING, Ostaniec, 2011.
19. Viswanathan R., Sarver J., Tanzosh J.M., Boiler materials for ultra-supercritical coal power plants-steamside oxidation. J. Mater. Eng. Perform. 2006, 15, s. 255-274.
20. Kościelniak B., Hernas A., Staszewski M., Analiza odporności na utlenianie w parze wodnej i korozję wysokotemperaturową nowych stali austenitycznych. W: Mater. XII Konf. N-T RAFAKO SA, Bełchatów 2015.
21. Hernas A., Augustyniak B., Degradation of superheater tubes made of austenitic T321H steel after long term service. W: 9th Conf. on Materials for Advanced Power Eng., Liege, 2010.
22. Paszkowska H., Hernas A., Zieliński A., Dobrzański J., Microstructural and mechanical properties changes of T321H steel after long time creep service. J. Arch. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 2013, 58 (1), s. 16-23.
23. Purzyńska H., Dobrzański J., Ewolucja mikrostruktury i właściwości użytkowych austenitycznej stali X8CrNiTi18-10 (T321H) podczas długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania. Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza 69 (3) (2017), s. 11–38.
24. Dobrzański J., Materiałoznawcza interpretacja trwałości stali dla energetyki, Scientific International Journal of the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering, Volume 3, 2011.
25. Dobrzański J., Trwałość elementów ciśnieniowych bloków energetycznych. Monografia nr 12. Gliwice: Wyd. Instytutu Metalurgii Żelaza, 2019.
26. Golański G., Procesy degradacji mikrostruktury stali austenitycznych. Seminarium Szkol. UDT O. Łódź „Problemy eksploatacyjne stali nowej generacji w instalacjach przemysłowych”, Łódź 2017.
27. Zieliński A., Dobrzański J., Purzyńska H., Golański G., Properties, structure and creep resistance of austenitic steel Super304H. Mater. Testing. 2015, 57 (10), s. 859-865.
28. Yu H., Chi Ch., Precipitation behavior of Cu-rich phase in 18Cr9Ni3CuNbN austenitic heatresistant steel at early aging stage. Chinese Journal of Materials Research. 2015, 29 (3), s. 195-200.
29. Zieliński A., Structure and properties of Super 304H steel for pressure elements of boilers with ultra-supercritical parameters. J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 2012, 55 (2), s. 403-409.
30. Wang B., Liu Z.-D., Cheng S.-Ch., Liu Ch.-M., Wang J.-Z., Microstructure evolution and mechanical properties of HR3C steel during long-term aging at high temperature. Journal of Iron and Steel Research International. 2014, 21 (8), s. 765-773.
31. Sourmail T., Precipitation in creep resistant austenitic stainless steels. Mater. Sc. Techn. 2001, 17 (1), s. 1-14.
32. Ou P., Xing H., Wang X.L., Sun J., Tensile yield behavior and precipitation strengthening mechanism in Super304H steel. Mater. Sc. Eng.: A. 2014, 600, s. 171-175.
33. Kurban M., Erb U., Aust K.T., A grain boundary characterization study of boron segregation and carbide precipitation in alloy 304 austenitic stainless steel. Sc. Mater. 2006, 54 (6), s. 1053-1058.
34. Golański G., Kolan C., Zieliński A., Klimaszewska K., Merda A., Sroka M., Kłosowicz J., Microstructure and mechanical properties of HR3C steel after service. Arch. Mater. Sc. Eng. 2016, 81 (2), s. 62-67.
35. Hsieh Ch.-Ch., Wu W., Overview of intermetallic sigma (σ) phase precipitation in stainless steels. International Scholar Research Network, 2012, Article ID 732471.
36. Faulkner R.G., Grain boundaries in creep-resistant steels. W: Creep resistant steels, (ed. Abe F., Kern T.-U., Viswanathan R.). Cambridge: Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. 2008, s. 329-349.
37. Chen S.W., Zhang C., Xia Z.X., Ishikawa H., Yang Z.G., Precipitation behavior of Fe2Nb Laves phase on grain boundaries in austenitic heat resistant steels. Mater. Sc. Eng.: A. 2014, 615, s. 183-188.
38. Bai J. W., Liu P.P., Zhu Y.M., Chi C.Y., Yu X.Y., Xie X.S., Zhan Q., Coherent precipitation of copper in Super304H austenitic steel. Mater. Sc. Eng.: A. 2013, 584, s. 57-62.
39. Wytyczne UDT nr 1/2015. Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów pracujących w warunkach pełzania. Warszawa 2015.
40. Chi Ch., Yu H., Xie X., Advanced Austenitic Heat Resistant Steels for Ultra-Super-Critical (USC) Fossil Power Plants. Alloy Steel-Properties and Use. InTech Publ. 2011, s. 171-200.
41. Wang J.Z., Liu Z.D. i in. Effect of ageing at 700°C on microstructure of heat resistant steels. J. of Iron and and Steel Res. International. 2013, 20 (4).
42. Wang J.Z., Liu Z.D. i in. Effect of ageing at 700°C on microstructure of heat resistant steels. J. of Iron and and Steel Res. International. 2013, 20 (4).
43. Dobrzański J., Zieliński A., Austenityczne stale S304H i HR3C na elementy ciśnieniowe kotła nadkrytycznego. W: POWERWELDING 2013 „Materiały i technologie stosowane w budowie kotłów o temperaturze pary do 700°C, Gliwice 2013.
44. Vach M., Kunikowa T., Domankova M. i in., Evolution of secondary phases in austenitic stainless steels during long-term exposures at 600, 650 and 800°C. Mater. Character. 2008, 59 (12), s. 1792- 1798.
45. Zieliński A., Structure and properties of S304H steel for pressure elements of USC boiler. J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 2012, 55 (2), s. 403-409.

ANALIZA ODKSZTAŁCEŃ W OCENIE USZKODZEŃ SPOWODOWANYCH ZMĘCZENIEM NISKOCYKLOWYM W FERRYTYCZNEJ STALI ŻAROWYTRZYMAŁEJ 14MOV6-3



MGR INŻ. MAGDALENA JAKUBOWSKA

Starszy Specjalista ds. Badań Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych w Poznaniu
Urząd Dozoru Technicznego
Doktorantka wdrożeniowa Instytutu Metalurgii
i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie



DR INŻ. MARIUSZ ŁUCKI

Główny Specjalista ds. Rozwoju Badań Laboratoryjnych
Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego
Urząd Dozoru Technicznego



DR HAB. INŻ. ANNA SYPIEŃ

Prof. instytutu Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie



ZMĘCZENIE NISKOCYKLOWE (LCF) JEST JEDNYM Z NAJWAŻNIEJSZYCH MECHANIZMÓW DEGRADACJI ELEMENTÓW KOTŁÓW ENERGETYCZNYCH, TAKICH JAK RUROCIĄGI PAROWE, KOMORY SPALANIA CZY PRZEGRZEWACZE PARY. PROCES TEN WYNIKA Z CYKLICZNEGO DZIAŁANIA NAPRĘŻEŃ MECHANICZNYCH I TERMICZNYCH, KTÓRE PRZEKRACZAJĄ GRANICĘ PLASTYCZNOŚCI MATERIAŁU. TYPOWYM ŹRÓDŁEM TAKICH NAPRĘŻEŃ W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH SĄ DYNAMICZNE ZMIANY OPERACYJNE, NP. CZĘSTE ROZRUCHY, PRZESTOJE CZY WAHANIA OBCIĄŻEŃ, KTÓRE GENERUJĄ LOKALNE ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE. TE WIELOKROTNE ODKSZTAŁCENIA POWODUJĄ INICJACJĘ MIKROPEKNIĘĆ, ICH PROPAGACJĘ ORAZ OSTATECZNE USZKODZENIE MATERIAŁU [1].

Proces zmęczenia można podzielić na kilka etapów: powstawanie lokalnych odkształceń plastycznych, inicjację mikropęknięć, ich propagację oraz ostateczne zniszczenie elementu. W trakcie cyklicznych obciążeń w materiale dochodzi do reorganizacji dyslokacji, formowania subziaren oraz aktywacji pasm poślizgu, które odgrywają kluczową rolę w inicjacji pęknięć. W stalach ferrytycznych inicjacja zmęczeniowa zachodzi także w obecności wtrąceń niemetalicznych, które mogą działać jako miejsca koncentracji naprężeń [2, 3].

W ostatnich latach, wraz ze wzrostem liczby dynamicznych zmian operacyjnych w tradycyjnej energetyce, problem zmęczenia niskocyklowego staje się coraz bardziej istotny. Częstsze rozruchy i przestoje generują wysokie naprężenia termiczne, które w połączeniu z ciśnieniami roboczymi znacznie przyspieszają degradację materiałów. Dlatego istotne jest stosowanie zaawansowanych metod badawczych, takich jak dyfrakcja elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD) czy techniki synchrotronowe, aby dokładniej zrozumieć mechanizmy odkształceń i degradacji mikrostrukturalnej zachodzące podczas LCF.

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Do przeprowadzenia badań zmęczeniowych wykorzystano próbki ze stali 14MoV6-3 w stanie wyjściowym oraz po 164 000 i 302 000 godzin eksploatacji w warunkach podwyższonej temperatury (540°C) i ciśnienia (14,2 MPa). Materiał w stanie podstawowym charakteryzował się następującymi parametrami wytrzymałościowymi: $R_m = 610$ MPa, $R_e = 320$ MPa, $A = 18\%$. W tab. 1 przedstawiono skład chemiczny stali w stanie wyjściowym zbadany za pomocą spektrometru emisyjnego z wzbudzeniem iskrowym typu Q8 Magellan wraz z odniesieniem do normy PN-EN 10216-2 [4].

Zmęczenie niskocyklowe różni się od zmęczenia wysokocyklowego (HCF) zarówno pod względem charakterystyki odkształceń, jak i liczby cykli do wystąpienia awarii. W przypadku LCF większość cyklu „życia” elementu jest związana z rozwojem pęknięć, podczas gdy w HCF dominującym procesem jest ich inicjacja. W stalach ferrytycznych, takich jak 14MoV6-3, mikropęknięcia rozwijają się głównie w pasmach poślizgu wewnątrz ziaren lub wzdłuż granic ziaren, często w miejscach koncentracji naprężeń. Charakterystyczną cechą LCF jest występowanie zarówno odkształceń plastycznych, jak i sprężystych, co prowadzi do cyklicznego umocnienia lub osłabienia materiału, w zależności od warunków obciążenia [2].

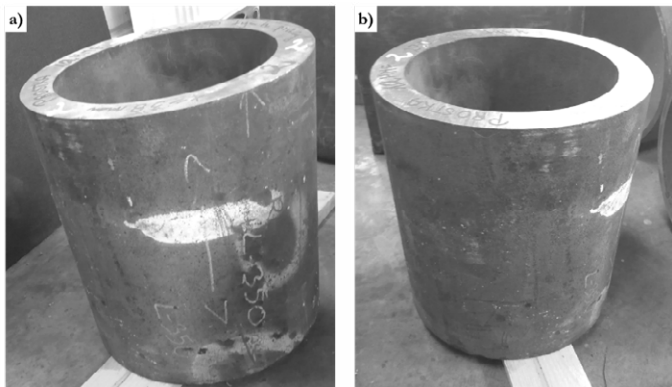
Celem pracy badawczej była analiza mechanizmów zmęczenia niskocyklowego stali 14MoV6-3 z wykorzystaniem zaawansowanych technik badawczych. Uzyskane wyniki umożliwiają identyfikację kluczowych parametrów mikrostrukturalnych wpływających na trwałość zmęczeniową oraz dostarczają informacji niezbędnych do prawidłowej oceny trwałości elementów kotłów energetycznych.

Tabela 1. Wyniki badań składu chemicznego materiału w stanie wyjściowym wykonane przy użyciu spektrometru emisyjnego w porównaniu do normy PN-EN 10216-2 [4].

Nr próbki	Skład chemiczny %										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	V
14MoV6-3 Niepewność	0,144 ± 0,005	0,225 ± 0,005	0,471 ± 0,012	0,011 ± 0,001	0,0066 ± 0,0089	0,378 ± 0,006	0,090 ± 0,003	0,555 ± 0,015	0,013 ± 0,001	0,122 ± 0,004	0,248 ± 0,005
14MoV6-3 wg PN-EN 10216-2	0,10÷0,18	0,15÷0,35	0,40÷0,70	≤ 0,040	≤ 0,040	0,30÷0,60	≤ 0,30	0,50÷0,65	≤ 0,020	≤ 0,25	0,22÷0,35

• Badania zmęczenia niskocyklowego

Z rury grubościenniej o średnicy zewnętrznej 350 mm oraz grubości ścianki 25 mm pobrano próbki do badań zgodnie z wymaganiami normy dotyczącymi ich kształtu i wymiarów [5]. Materiały wycięto z odcinka prostego pary świeżej, który zwykle pracuje pod ciśnieniem 14,2 MPa. Elementy, z których pobrano próbki do badań zmęczeniowych, zostały przedstawione na rys. 1.

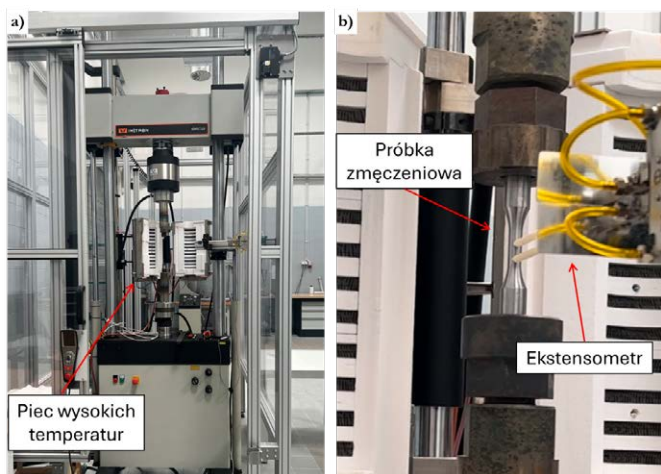


Rys. 1. Wytypowane materiały do badań: 1 – prostka po 164 000 h eksploatacji, 2 – prostka po 302 000 h eksploatacji



Testy zmęczeniowe przeprowadzone zostały na serwohydraulicznej maszynie zmęczeniowej INSTRON 8502 pracującej w obiegu zamkniętym, będącej na wyposażeniu **Centralnego Laboratorium Dozoru Technicznego**.

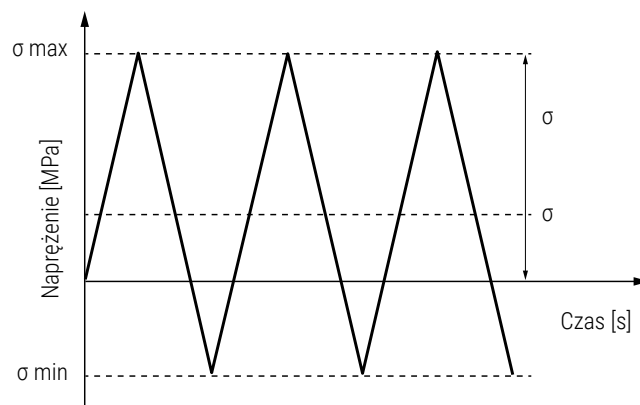
Zastosowano nagrzewanie oporowe do nagrzewania próbki w piecu do temperatury projektowej 540°C, a także wykorzystano tryb badań umożliwiający przeprowadzenie testów pod kontrolowanym naprężeniem. Wykorzystane oprzyrządowanie do wykonania prób zmęczeniowych przedstawiono na rys. 2. Maszyna zmęczeniowa INSTRON 8502 została wyposażona w komorę grzewczą, której maksymalny zakres temperatury to 1000°C. Dodatkowo umożliwia ona monitorowanie temperatury próbek przy pomocy termopar przytwierdzonych do badanego obiektu, a także pomiary odkształcenia przy użyciu ekstensometru z ceramicznymi mackami o bazie pomiarowej 12,5 mm.



Rys. 2. Wykorzystane oprzyrządowanie do przeprowadzenia prób zmęczeniowych, a) widok maszyny Instron 8502, b) widok próbki w uchwytach maszyny z mackami ekstensometru

Program badawczy polegał na przeprowadzeniu testów zmęczenia niskocyklowego LCF (Low Cycle Fatigue) do całkowitego zerwania N_f . Przedstawiony program obciążenia zamieszczono na rys. 3a, b.

a)



b)

Oznaczenie elementu	Materiał	Czas eksploatacji [h]	Użyte naprężenia [MPa]	
			σ_{max}	σ_{min}
p_164	14MoV6-3	164 000	203	-203
p_302		302 000	195	-195

Rysunek 3. Dane eksperymentalne badań zmęczeniowych: a) schemat cyklu zmęczenia niskocyklowego LCF, b) parametry stosowane w testach dla badanych materiałów

• Badania mikrostrukturalne

Badania mikrostrukturalne oraz szczegółową analizę mikrostruktury i odkształceń badanych próbek stali 14MoV6-3 po testach zmęczeniowych przeprowadzono z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej (SEM) oraz dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD). W celu ujawnienia mikrostruktury próbki wytrawiono w roztworze 5% nitalu oraz poddano je polerowaniu wibracyjnemu. Analizy EBSD przeprowadzono za pomocą mikroskopu skaningowego FEI QUANTA 3D FEG, wyposażonego w kamerę EBSD Symmetry S2. Pomiar wykonano przy kącie nachylenia próbki 70°, napięciu 20 kV, odległości roboczej 10,0 mm. Mikrostruktura była badana w kierunku prostopadłym do płaszczyzny obserwacji. Analiza jakościowa obejmowała mapy orientacji, mapy fazowe oraz obrazu IQ. Natomiast analiza ilościowa skupiała się na parametrach takich jak: Kernel Average Misorientation (KAM), Geometrically Necessary Dislocations (GND) oraz Grain Reference Orientation Deviation (GROD).

• Analiza fazowa

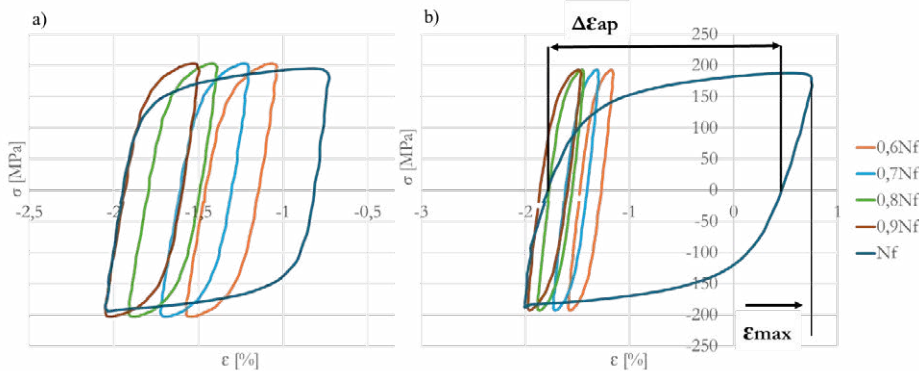
Badania z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego przeprowadzono na liniach pomiarowych P07B w DESY Hamburg. Analizy umożliwiły ilościową ocenę gęstości dyslokacji, mikronaprężeń oraz charakterystyki wydzieli węglkowych w próbkach poddanych testom zmęczeniowym. Dzięki zastosowaniu wysokoenergetycznego promieniowania możliwe było skanowanie całej objętości próbek. Synchrotronowa analiza została użyta jako metoda walidacji danych uzyskanych z technik lokalnych (SEM/EBSD).

WYNIKI BADAŃ

• Badania zmęczenia niskocyklowego LCF

Badania zmęczenia niskocyklowego (LCF) stali 14MoV6-3 przeprowadzono na podstawie analizy parametrów pętli histerezy (σ_a , σ_{ap} , σ_{ac}), co pozwoliło na opis właściwości cyklicznych materiału zgodnie z normą ASTM E606 [7].

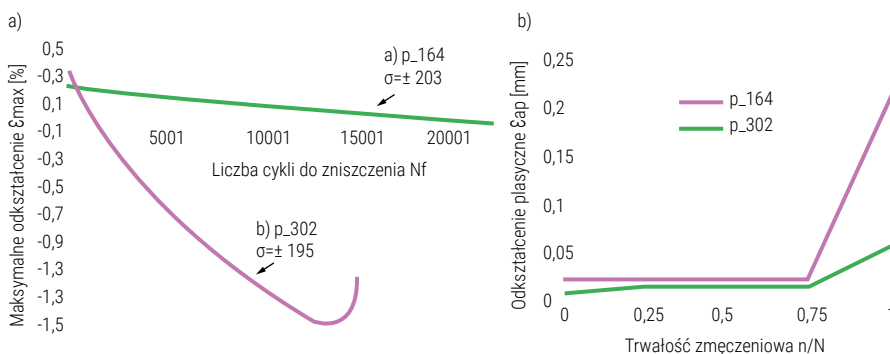
Obserwowano zmiany pętli histerezy w funkcji liczby cykli obciążenia, przy warunkach kontrolowanego naprężenia ($\sigma_a = \text{const.}$). Przesunięcia pętli histerezy wzdłuż osi odkształcenia wskazywały na zwiększenie maksymalnego odkształcenia na cykl (ϵ_{\max}) oraz progresywną degradację materiału (rys. 4).



Rys. 4. Pętli histerezy funkcji σ - ϵ testów zmęczenia niskocyklowego LCF ($t = 0$ s, $T = 540^\circ\text{C}$) dla próbek: a) p_164, b) p_302

Analiza próbki po 164 000 h eksploatacji (p_164) wykazała, że na początkowych etapach cyklu życia (0,6–0,7 Nf) materiał charakteryzował się dominującymi odkształceniami sprężystymi proporcjonalnymi do naprężeń. W fazie pośredniej (0,8–0,9 Nf) obserwowano stopniowe spłaszczenie pętli histerezy, co świadczyło o obniżeniu modułu sprężystości oraz wzroście odkształceń plastycznych. Na końcowym etapie życia (Nf) materiał próbki po 302 000 h eksploatacji (p_302) wykazywał znaczne poszerzenie zakresu plastycznego odkształcenia ($\Delta\epsilon_{ap}$), co wskazywało na zaawansowaną degradację i zwiększoną absorpcję energii przez materiał.

Zależność maksymalnego odkształcenia (ϵ_{\max}) od liczby cykli obciążenia pokazano na rys. 5a. Dla próbek próbki po 164 000 h eksploatacji (p_164) ϵ_{\max} zmniejszało się stopniowo, wskazując na stabilny proces zmęczenia. Natomiast dla próbki po 302 000 h eksploatacji (p_302) odkształcenie plastyczne było bardziej widoczne, a spadek ϵ_{\max} był wyraźniejszy, co odpowiadało największym zakresom deformacji plastycznych.



Rys. 5. a) maksymalne odkształcenie na cykl ϵ_{\max} uzyskane podczas testów zmęczenia niskocyklowego LCF, b) odkształcenie plastyczne na cykl ϵ_{ap} w funkcji trwałości zmęczenia dla badanych materiałów: p_164, p_302

Rysunek 5b przedstawia odkształcenie plastyczne na cykl ($\Delta\epsilon_{ap}$) w funkcji trwałości zmęceniowej (równanie 1). Największe $\Delta\epsilon_{ap}$ zaobserwowano w próbkach próbki po 302 000 h eksploatacji, co potwierdziło występowanie cyklicznego zmiękczenia materiału. W celu ilościowego opisu tego procesu wprowadzono współczynnik zmiękczenia $\delta_{\Delta\epsilon}$, którego wartość rosła wraz ze wzrostem amplitudy naprężenia. Wyniki badań dowodzą, że materiał po dłuższym czasie eksploatacji wykazuje większą podatność na degradację plastyczną w warunkach LCF, co jest istotne z punktu widzenia oceny trwałości elementów energetycznych.

$$\delta_{\Delta\epsilon} = \Delta\epsilon_{ap(N)} - \Delta\epsilon_{ap(1)}$$

(1),

gdzie $\Delta\epsilon_{ap(1)}$ to zakres plastycznego odkształcenia w pierwszym cyklu, natomiast $\Delta\epsilon_{ap(N)}$ to zakres w ostatnim cyklu.

- Wpływ odkształcenia zmęceniowego na mikrostrukturę oraz skład fazowy żarowytężonej stali 14MoV6-3

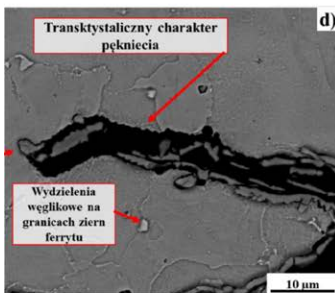
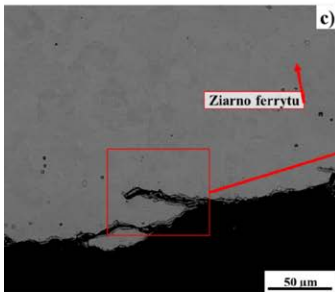
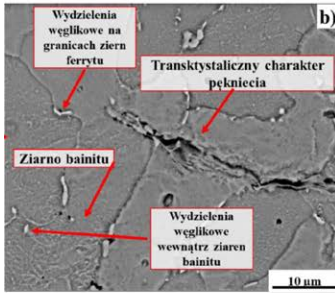
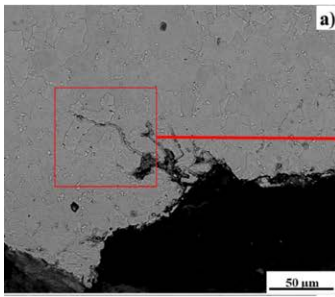
Analiza mikrostruktury oraz składu fazowego stali 14MoV6-3 po testach zmęceniowych (LCF) pozwoliła na identyfikację kluczowych procesów degradacji materiału wynikających z oddziaływania cyklicznych naprężeń.

Badania przeprowadzono na próbkach próbki po 164 000 (p_164) i 302 000 godzinach eksploatacji (p_302) z różnym stopniem zaawansowania procesów uszkodzeń.

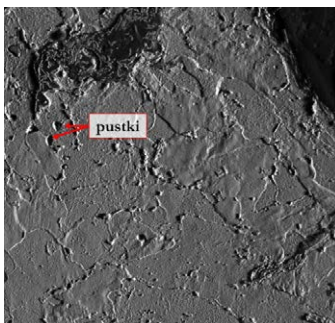
Uzyskane wyniki obrazują zmiany w strukturze ziaren, rozmieszczeniu i morfologii węglików oraz lokalnych deformacjach, które są kluczowe dla oceny trwałości stali w warunkach wysokotemperaturowych. Badania mikrostrukturalne wykazały istotne różnice w strukturze materiału w zależności od czasu eksploatacji.

- Dla próbki p_164 mikrostruktura składała się głównie z ziaren bainitycznych w trakcie procesu zaniku, a wydzielenia węglkowe zlokalizowane były zarówno na granicach ziaren ferrytu, jak i wewnątrz ziaren bainitu (rys. 6a, b).

- Natomiast w próbce p_302 dominującą strukturę stanowiły ziarna ferrytu z wydzieleniami węglkowymi skoncentrowanymi na granicach ziaren (rys. 6c, d). Obserwacje ujawniły również obecność pustek w materiale p_302 w pobliżu granic ziaren w sąsiedztwie pęknięć zmęczeniowych (rys. 7). Pustki te mogły działać jako inicjatory pęknięć oraz wpływać na intensyfikację procesu degradacji. Podobne zjawiska odnotowali Carroll i wsp. [6], którzy wykazali, że długotrwałe cykliczne obciążenia w wysokich temperaturach prowadzą do rozwoju wewnętrznych uszkodzeń w stalach wysokostopowych.



Rys. 6. Mikrostruktura (SEM BSE) stali 14MoV6-3 po testach zmęczeniowych LCF: a, b) materiał p_164_LCF, c, d) materiał p_302_LCF



Rys. 7. Mikrostruktura (SEM SE) materiału p_302_LCF w obszarze pęknięcia zmęczeniowego z widocznymi pustkami

Metoda EBSD (Electron Backscatter Diffraction) umożliwia szczegółową analizę mikrostruktury materiałów poprzez analizowanie orientacji krystalograficznej, granic ziarn oraz rozkładu faz w badanym obszarze.

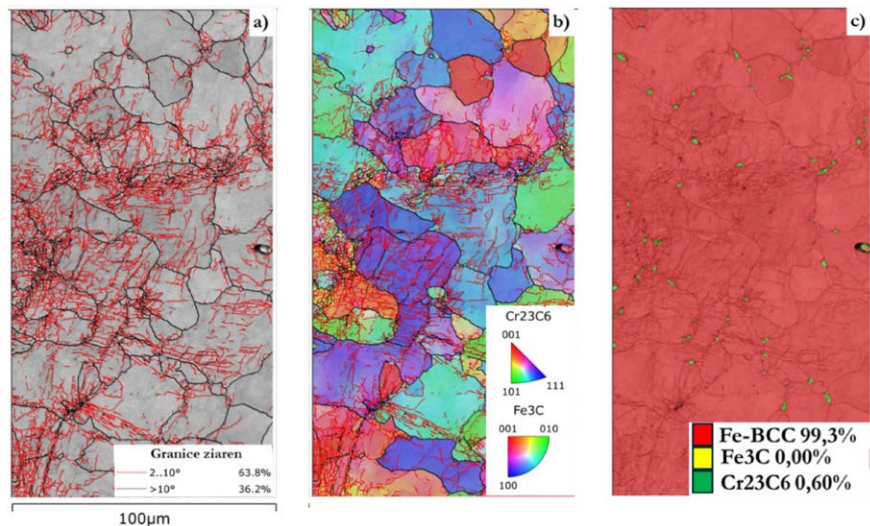
W technice tej elektrony, które rozpraszają się wstecznie w badanej próbce, tworzą charakterystyczne wzory dyfrakcyjne. Na podstawie analizy tych wzorów generowane są mapy, które dostarczają kluczowych informacji o stanie mikrostruktury. Mapa IQ (Image Quality) przedstawia jakość wzorów dyfrakcyjnych uzyskiwanych w trakcie badania.

Obszary o wyraźnych, jasnych wzorach wskazują na dobrze ułożone ziarna, podczas gdy ciemniejsze regiony są oznaką defektów strukturalnych, takich jak dyslokacje czy lokalne odkształcenia.

W kontekście stali 14MoV6-3 mapa IQ (rys.8a) pozwoliła zidentyfikować obszary intensywnego odkształcenia wynikające z cyklicznych naprężeń. Obszary o ciemniejszych odcieniach szarości wskazują na akumulację dyslokacji – defektów w strukturze krystalicznej, będących wynikiem działania naprężeń.

Mapa orientacji krystalograficznej (IPF – Inverse Pole Figure) przedstawia różnice w orientacji ziarn i ich deformacje w odpowiedzi na obciążenia mechaniczne.

Mapa orientacji krystalograficznej (rys. 8b) ujawniła, że ziarna w pobliżu pęknięcia były zdeformowane i miały różnorodne orientacje, co sugeruje lokalne naprężenia związane z cyklicznymi obciążeniami. W badaniach stali energetycznych mapa IPF jest kluczowa dla analizy wpływu cyklicznych naprężeń na zmianę orientacji ziarn w sąsiedztwie pęknięć. Mapa fazowa (rys. 8c) potwierdziła dominację fazy żelazo alfa (BCC) oraz obecność wydzieli węglkowych ($Cr_{23}C_6$), które wzmacniają materiał, ale jednocześnie mogą sprzyjać koncentracji naprężeń w czasie eksploatacji.



Rys. 8. Analiza EBSD materiału p_302_LCF po badaniach zmęczeniowych LCF: mapa IQ, b) mapa orientacji krystalograficznej (IPF), c) mapa fazowa

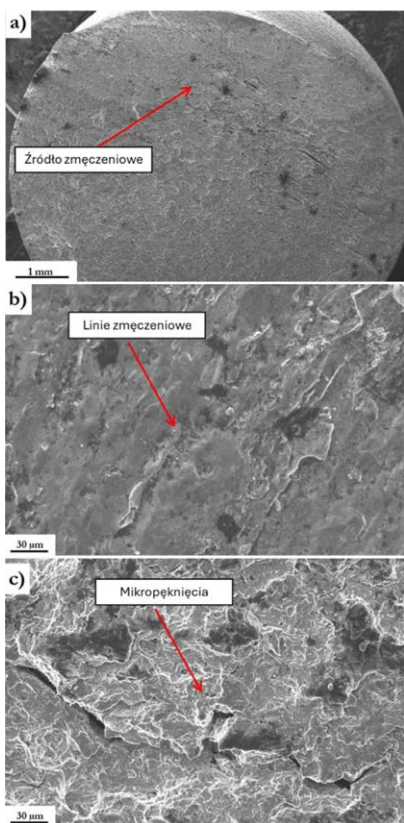
Wyniki analizy EBSD (rys. 8) dla próbki p_302 wskazują na wzrost udziału granic ziarn małego kąta dezorientacji (LAGB) do 63,8% w stosunku do granic dużego kąta (HAGB 36,2%). LAGB są oznaką obecności dyslokacji i lokalnych odkształceń plastycznych w strukturze materiału, co potwierdza intensyfikację procesów deformacyjnych i wzrost naprężeń w wyniku cyklicznych obciążeń. HAGB, charakteryzujące się większym kątem dezorientacji między sąsiadującymi ziarnami, są mniej podatne na lokalne odkształcenia, a ich mniejszy udział wskazuje na bardziej zdeformowany stan materiału w próbce p_302 w porównaniu do p_164 (tab. 2).

Tabela 2. Zestawienie udziału granic małego kąta (LAGB_2–10°) oraz dużego kąta (HAGB > 10°) dla materiałów p_164 oraz p_302 w funkcji odległości od pęknięcia próbki

Próby zmęczenia niskocyklowego (LCF)					
[μm]		0–200	300–500	700–900	1900–2100
p_164	LAGB 2–10°	18,1	11,9	14,5	20,8
	HAGB >10°	81,9	88,1	85,5	79,2
p_302	LAGB 2–10°	38,60	16,40	18,50	22,00
	HAGB >10°	61,40	83,60	81,50	78,00

Przełom pęknięcia dla materiału p_302 charakteryzował się rozwojem pęknięć transkrystalicznych z licznymi liniami zmęczeniowymi oraz mikropęknięciami w sąsiedztwie głównego pęknięcia (rys. 9). Linie zmęczeniowe, widoczne jako charakterystyczne ślady na przełomie, były wynikiem cyklicznych naprężeń oraz odzwierciedlały postępujące uszkodzenia. Mikropęknięcia, powstałe na skutek lokalnych koncentracji naprężeń, przyczyniły się do przyspieszenia propagacji głównego pęknięcia. Pustki na granicach ziaren zaobserwowane w materiale p_302 wskazują na bardziej zaawansowane procesy degradacji, co potwierdza znaczenie czasu eksploatacji w akumulacji defektów strukturalnych.

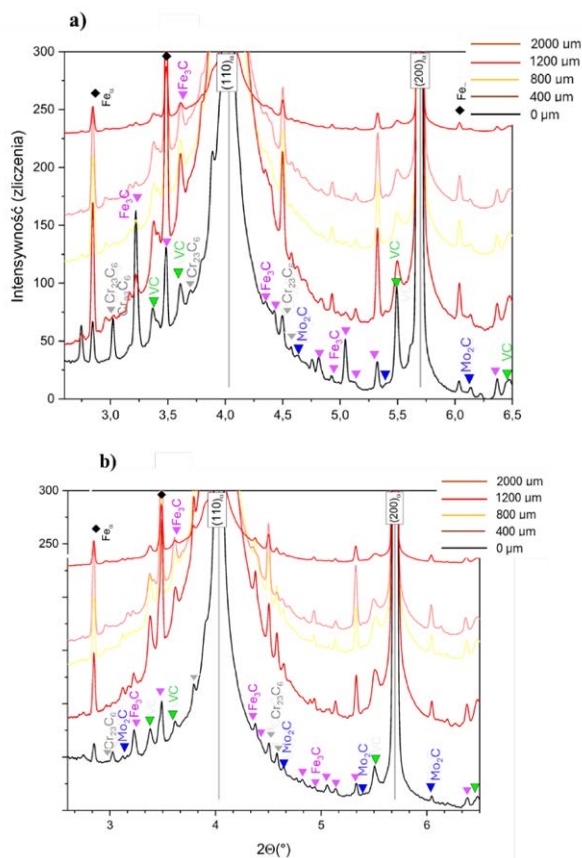
Dla obu badanych materiałów pęknięcia wykazywały nieregularne krawędzie, które przecinały strukturę głównie w sposób transkrystaliczny. Mechanizm ten, wynikający z lokalnych koncentracji naprężeń oraz interakcji między ziarnami o różnej orientacji krystalograficznej, jest zgodny z wynikami Holdswortha [7], który zaobserwował podobne zjawiska w stali niskostopowej. Transkrystaliczny charakter pęknięć wskazuje na większą odporność granic ziaren na propagację uszkodzeń, co skutkuje ich lokalnym ograniczeniem wzdłuż granic. Wyniki te są również zbliżone z obserwacjami Mariappan i wsp. [8], którzy podkreślili kluczową rolę mikrostruktury w określaniu charakteru propagacji pęknięć w stalach wysokochromowych.



Rys.9. Przełom pęknięcia materiału prostki po 302 000 h eksploatacji po badaniu zmęczeniowym LCF (p_302_LCF), a) widok przełomu, b) widok linii zmęczeniowych oraz c) mikropęknięcia

Dzięki zdolności promieniowania synchrotronowego do penetracji głębszych warstw materiału możliwe było przeprowadzenie ilościowej analizy rozkładu węglików od powierzchni pęknięcia do wnętrza próbki.

Badania synchrotronowe umożliwiły identyfikację węglików Fe₃C, Cr₂₃C₆, VC oraz Mo₂C w badanych próbkach. Wyniki wskazały, że intensywność pików węglików Mo₂C i VC wzrastała wraz z odległością od pęknięcia, szczególnie w głębszych warstwach materiału p_302 (rys. 10). Wzrost tej intensywności odzwierciedlał lokalne zmiany w mikrostrukturze wynikające z cyklicznych naprężeń. Wykazano, że w materiale p_164 intensywność wydzieleni węglikowych była wyższa niż w p_302, co wskazuje na większą stabilność strukturalną materiału po krótszym czasie eksploatacji. W bardziej odległych warstwach materiału dominowały węgliki typu Mo₂C i VC, co sugeruje skłonność do ich formowania w strefach o niższych odkształceniach i temperaturach. Wyniki te są zgodne z badaniami Gwoździka i wsp. [9], którzy wykazali silny wpływ temperatury na rozpad węglików w stalach niskostopowych.



Rys. 10. Dyfraktogramy promieniowania synchrotronowego ze zidentyfikowanymi typami węglików dla materiałów kolan wykonane od powierzchni pęknięcia do głębokości 2000 μm, a) k_164, b) k_302 [10]

Analiza mikroodkształcenia w płaszczyźnie prostopadłej do pęknięcia po próbie zmęczenia niskocyklowego (LCF)

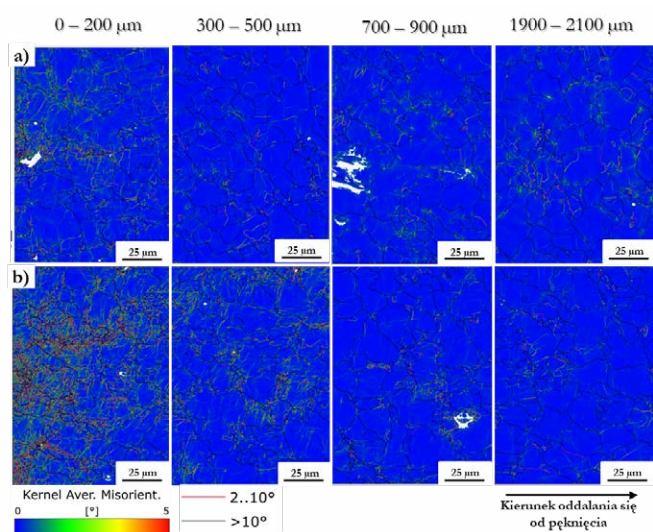
Analiza parametrów mikroodkształcenia w stali 14MoV6-3 po próbach zmęczenia niskocyklowego (LCF) dla próbek p_164 oraz p_302 została przeprowadzona przy pomocy analizy EBSD (parametry KAM, GROD oraz GND). Zastosowano również badania synchrotronowe umożliwiające identyfikację gęstości dyslokacji i charakterystykę gradientów odkształceń w głębszych warstwach materiału. Połączenie tych metod pozwoliło na kompleksową ocenę stopnia lokalnych deformacji, rozmieszczenia dyslokacji, zmian orientacji ziaren w płaszczyźnie prostopadłej do pęknięcia, jak również dostarczyły szczegółowych informacji na temat wpływu cyklicznych naprężeń na strukturę stali.

Poniżej przedstawiono znaczenie analizowanych parametrów do oceny mechanizmów degradacji materiałów pracujących w warunkach zmęczenia niskocyklowego.

KAM (Kernel Average Misorientation) to średnie odchylenie orientacji pomiędzy sąsiadującymi punktami pomiarowymi (pikselami) w obrębie jednego ziarna, mierzone w stopniach. Parametr ten pozwala na ocenę lokalnych gradientów orientacji krystalograficznej, które wynikają z nagromadzenia dyslokacji i lokalnych naprężeń plastycznych. Wyższe wartości KAM wskazują na intensywność odkształcenia w danym obszarze, co czyni go skutecznym narzędziem do lokalnej analizy deformacji.

GND (Geometrically Necessary Dislocations) jest bezpośrednio powiązany z wartościami KAM, ponieważ oba parametry odzwierciedlają nagromadzenie dyslokacji w mikrostrukturze materiału. GND opisuje liczbę dyslokacji niezbędnych do zrównoważenia lokalnych gradientów odkształcenia krystalograficznego, które także są mierzone przez KAM. Wysokie wartości GND wskazują na intensywną deformację plastyczną w materiale, co znajduje odzwierciedlenie w zwiększonych wartościach KAM w tych samych obszarach. Dzięki temu oba parametry razem pozwalają precyzyjnie wskazać miejsca największych odkształceń.

GROD (Grain Reference Orientation Deviation) to parametr opisujący odchylenie orientacji ziaren od ich idealnej, referencyjnej orientacji w przestrzeni. Wartości GROD pozwalają na ocenę stopnia jednorodności strukturalnej ziarna oraz jego lokalnych deformacji. Wysokie wartości GROD są związane z intensywnymi odkształceniami plastycznymi i wskazują na zaburzenie orientacji krystalograficznej w obrębie ziarna. Parametry te wspólnie mierzą lokalne i globalne odkształcenia w materiale, dostarczając kompleksowego obrazu deformacji plastycznych, nagromadzenia dyslokacji oraz jednorodności strukturalnej mikrostruktury w analizowanym obszarze.



Rys. 11. Mapy rozkładu parametru KAM w funkcji odległości od pęknięcia kolana po próbach LCF: a) materiał p_164, b) materiał p_302

Na rys. 11 przedstawiono mapy rozkładu parametru KAM w funkcji odległości od pęknięcia próbki dla materiałów prostki po 164 000 oraz 302 000 godzinach pracy podczas próby LCF.

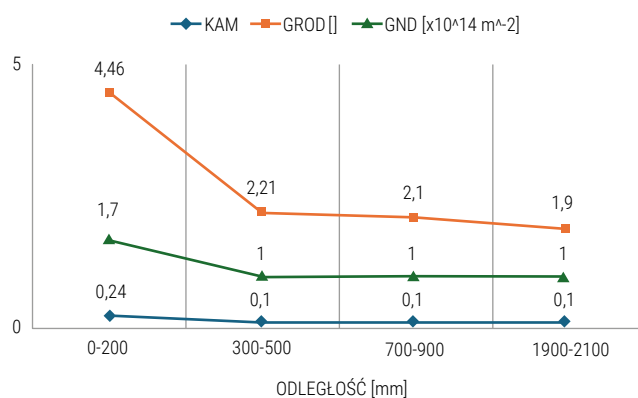
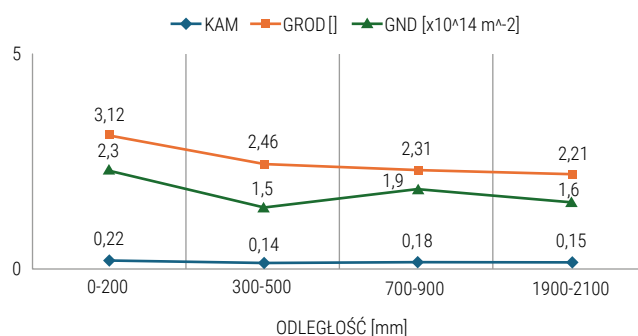
Zaobserwowano, że parametr KAM osiągał najwyższe wartości w obszarze najbliższym pęknięciu, co świadczyło o dużej lokalnej koncentracji dyslokacji i intensywnych procesach odkształceń plastycznych.

Obniżenie wartości KAM w dalszych odległościach od pęknięcia wskazywało tym samym na redukcję lokalnych naprężeń i mniej zdeformowaną mikrostrukturę.

Wzrost KAM blisko pęknięcia koreluje bezpośrednio z wynikami parametru GND, który również wykazywał na najwyższą gęstość dyslokacji w strefach intensywnych naprężeń.

Na rys. 12 przedstawiono ilościowe zestawienie parametru GROD, odzwierciedlającego odchylenie orientacji ziaren od ich początkowego stanu. Podobnie jak parametr KAM oraz GND wykazał on najwyższe wartości w strefach blisko pęknięcia, co potwierdzało intensywne lokalne naprężenia i odkształcenia w strefie pęknięcia spowodowanego procesem zmęczenia niskocyklowego.

W pobliżu pęknięcia dominowały granice małego kąta (LAGB), co wskazuje na procesy formowania podziaren i zdrowienia mikrostruktury, będące odpowiedzią na cykliczne obciążenia. W miarę oddalania się od pęknięcia udział granic dużego kąta (HAGB) wzrastał, co odzwierciedlało stopniową stabilizację mikrostruktury. Podobne tendencje zaobserwowano w badaniach Rui i wsp. [11], gdzie stwierdzono, że akumulacja dyslokacji oraz koncentracje naprężeń w sąsiedztwie pęknięcia prowadzą do inicjacji mikro-pęknięć oraz intensyfikacji lokalnych deformacji plastycznych.

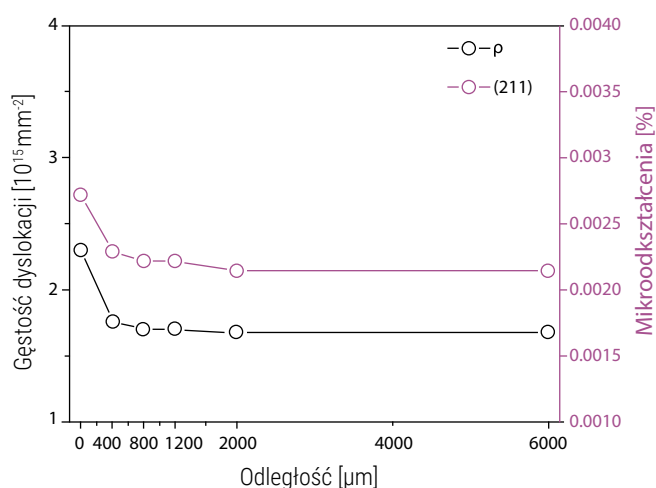


Rys. 12. Zestawienie parametrów KAM, GROD, GND po próbach zmęczenia niskocyklowego dla badanych materiałów: a) p_164, b) p_302

Uzyskane wyniki parametrów KAM, GROD i GND odnoszą się tylko do badanej powierzchni. W celu analiz w większej objętości materiału

zastosowano wysokoenergetyczne promieniowanie synchrotronowe, co pozwoliło na dokładne określenie gradientów deformacji oraz identyfikację zmian mikrostrukturalnych.

Dyfraktogram analizy synchrotronowej dla materiału p_302 wskazuje na obecność dominujących kierunków deformacji w sieci krystalicznej, związanych z maksymalną koncentracją naprężeń w sąsiedztwie pęknięcia (rys. 13). Wyniki te potwierdzają obserwacje z map EBSD, szczególnie w zakresie parametrów KAM i GND, które wskazują na lokalne akumulacje dyslokacji i intensywną reorganizację struktury krystalicznej. Synchrotronowe badania gęstości dyslokacji (ρ) wykazały ich znaczną koncentrację w obszarach blisko pęknięcia, co koreluje z wysokimi wartościami parametru KAM uzyskanymi w tej samej strefie.



Rys. 13. Rozkład gęstości dyslokacji oraz mikroodkształceń w funkcji odległości od pęknięcia dla materiału kolana obliczone na podstawie badań synchrotronowych, po badaniach zmęczenia niskocyklowego dla materiału prostki p_302

Analiza mikroodkształceń z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego potwierdziła także przestrzenny rozkład naprężeń w badanych próbkach.

Wysokie wartości mikroodkształceń blisko pęknięcia są zgodne z intensywnymi procesami deformacji, które sprzyjają akumulacji defektów strukturalnych, takich jak granice małego kąta (LAGB) oraz lokalne koncentracje naprężeń. W dalszych odległościach od pęknięcia obserwowany spadek wartości mikroodkształceń wskazuje na stabilizację struktury i mniejszą intensywność procesów deformacyjnych, co znajduje odzwierciedlenie w niższych wartościach parametrów EBSD (KAM, GND, GROD).

WNIOSKI

Badania materiałów p_164 oraz p_302 stali 14MoV6-3 po próbach zmęczenia niskocyklowego (LCF) wykazały istotne zmiany mikrostrukturalne odzwierciedlające wpływ cyklicznych naprężeń na ich degradację.

Przeprowadzone analizy z uzyskanych wyników badań można podsumować, formułując następujące wnioski:

Cykliczne obciążenia mechaniczne w warunkach zmęczenia niskocyklowego (LCF) prowadzą do lokalnych deformacji plastycznych w sąsiedztwie pęknięć. W miarę oddalania się od tych obszarów obserwuje się stopniową stabilizację mikrostruktury.

Materiał eksploatowany przez 302 000 godzin wykazywał bardziej zaawansowane procesy degradacji w porównaniu do próbki o krótszym czasie eksploatacji, co przejawiało się obecnością pustek na granicach ziaren oraz reorganizacją mikrostruktury.

Węglik obecny w badanym materiale odgrywa istotną rolę w umacnianiu mikrostruktury i wpływa na rozkład naprężeń w sąsiedztwie pęknięć. W próbce eksploatowanej krócej wykazano większą stabilność tych faz, co wskazuje na mniejsze zmiany mikrostrukturalne.

Wyniki badań wykazały, że zastosowanie zaawansowanych technik badawczych, takich jak EBSD i analizy synchrotronowe, pozwala na kompleksową ocenę degradacji materiału oraz lepsze zrozumienie zachodzących procesów mikrostrukturalnych.

Pęknięcia zmęczeniowe w badanych materiałach miały charakter transkrystaliczny, co sugeruje mechanizm ochrony granic ziaren przed propagacją uszkodzeń, związany z lokalnymi zmianami mikrostruktury.

Przeprowadzone badania podkreślają znaczenie analiz mikrostrukturalnych w ocenie trwałości elementów eksploatowanych w warunkach zmęczenia niskocyklowego. Otrzymane wyniki mogą stanowić podstawę do opracowania wytycznych oceny stanu materiałów w aplikacjach energetycznych.

Literatura:

- Szymaniec, M. (2015). Trwałość połączeń spawanych wybranych stali przy cyklicznym zginaniu. ResearchGate.
- Schijve, J. (2008). Fatigue of structures and materials (2nd ed.). New York, NY: Springer.
- Urząd Dozoru Technicznego. (2017). Mechanizmy degradacji występujące w przemyśle energetyki zawodowej. Materiały własne.
- PN-EN 10216-2, Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych. Warunki techniczne dostawy. Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych z określonymi własnościami w temperaturze podwyższonej.
- ISO 1099:2017. Metallic materials. Fatigue testing – Axial force-controlled method.
- Carroll, M., & Carroll, L. (2011). Influence of hold time on creep-fatigue behavior of an advanced austenitic alloy. Idaho National Laboratory.
- Holdsworth, S. R. (2010). Creep-fatigue testing and assessment guideline. EPRI Technical Report, 1019778. December.
- Mariappan, K., Shankar, V., & Bhaduri, A. K. (2020). Effect of change in microstructures due to simulation temperatures on the low cycle fatigue behavior of P91 steel. International Journal of Fatigue, 140, 105847.
- Gwoździk, M., Motylenko, M., & Rafaja, D. (2019). Microstructure changes responsible for the degradation of the 10CrMo9-10 and 13CrMo4-5 steels during long-term operation, Materials Research Express, 7(1), 016515.
- Jakubowska, M. (2024). Wpływ zmęczenia niskocyklowego oraz interakcji zmęczenie – pełzanie na degradację stali 14MoV6-3 pracującej w podwyższonych temperaturach. Rozprawa doktorska, Urząd Dozoru Technicznego, Warszawa.
- Rui, S.-S., Shang, Y.-B., Qiu, W., Niu, L.-S., Shi, H.-J., Matsumoto, S., & Chuman, Y. (2017). Fracture mode identification of low alloy steels and cast irons by electron back-scattered diffraction misorientation analysis, Journal of Materials Science & Technology, 33(12), 1582–1595.



WZROST TRWAŁOŚCI ORAZ WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ ZŁĄCZY SPAWANYCH PRZEZ OBRÓBKĘ ŁUKIEM TIG



MGR INŻ. MARIUSZ ŁABĘDŹ

Starszy Specjalista Urzędzeń
Transportu Bliskiego
Oddział w Krakowie Biuro w Tarnowie
Urząd Dozoru Technicznego

CEN:
TC147 Cranes – Safety
WG2 Design – General

W obszarach złączy spawanych konstrukcji występuje koncentracja naprężeń, co może prowadzić do inicjacji i propagacji pęknięć zmęczeniowych. Aby zwiększyć trwałość oraz wytrzymałość takich konstrukcji, optymalizuje się proces spawania oraz stosuje się dodatkowe metody, takie jak np. przetapianie brzegu spoiny łukiem TIG.

JEDNYM Z PODSTAWOWYCH ZJAWISK MAJĄCYCH WPŁYW NA TRWAŁOŚĆ STALOWYCH KONSTRUKCJI PRACUJĄCYCH W WARUNKACH OBCIĄŻEŃ ZMIENNYCH JEST ZMĘCZENIE WYSTĘPUJĄCE W OBRĘBIE ZŁĄCZY SPAWANYCH.

W porównaniu z litą częścią konstrukcji (blachy, rury, odkuwki itd.) spoiny charakteryzują się większą podatnością na pęknięcia z kilku powodów, m.in.:

- obecność naprężeń spawalniczych,
- koncentracja naprężeń (w szczególności na brzegach spoin),
- obecność wad spawalniczych.

Badania naukowe wpływu powyższych zjawisk na trwałość oraz wytrzymałość złączy spawanych zaowocowały opracowaniem rozmaitych rozwiązań.

Istniejące metody wydłużania żywotności oraz zwiększania wytrzymałości zmęczeniowej złączy spawanych można podzielić na dwie grupy [1, 2, 6].

I. Metody skutkujące poprawą geometrii w obrębie złącza spawanego

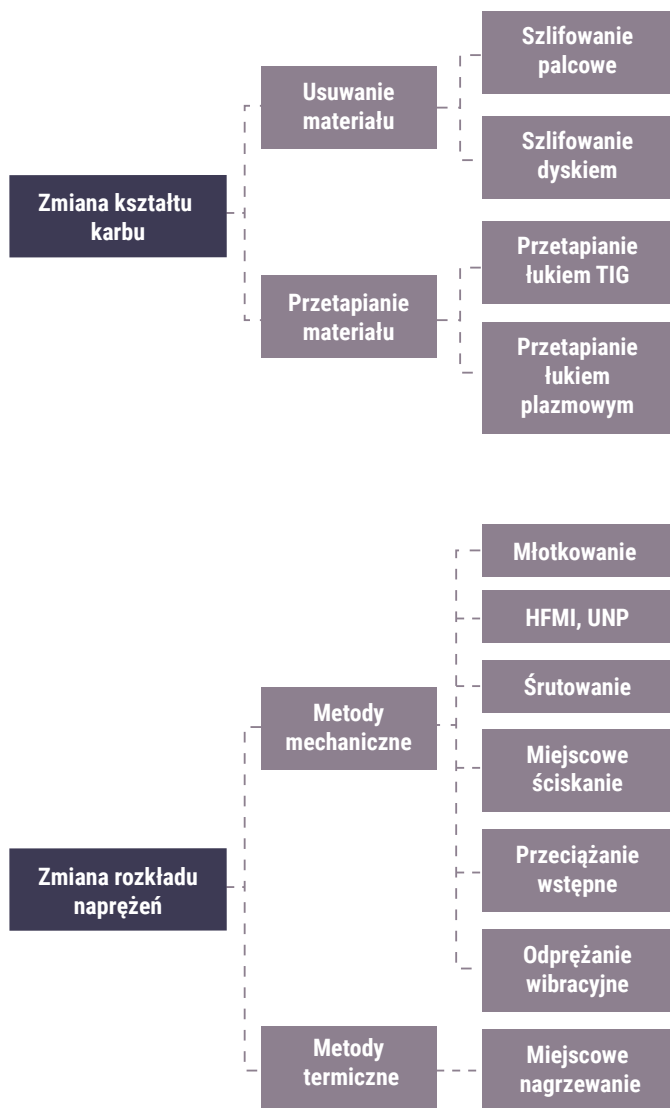
Celem tych metod jest zmniejszenie współczynnika koncentracji naprężeń poprzez zmianę kształtu karbu polegającą na modyfikacji przejścia materiału spoiny w materiał rodzimy. Skutkiem tego jest zapewnienie łagodnego przejścia na granicy spoina–materiał rodzimy. Drugim korzystnym aspektem jest eliminowanie części istniejących niezgodności spawalniczych.

II. Metody skutkujące zmniejszeniem poziomu niekorzystnych naprężeń

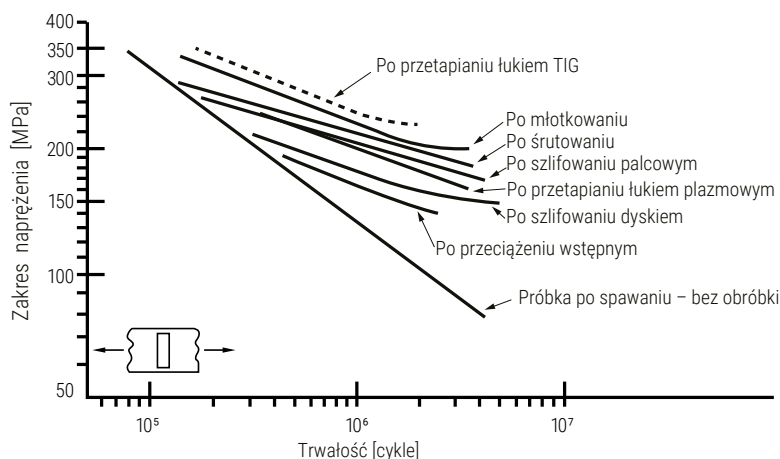
Ich celem jest zmiana rozkładu naprężeń polegająca głównie na wprowadzeniu naprężeń ściskających.

METODY WYDŁUŻANIA TRWAŁOŚCI ORAZ ZWIĘKSZANIA WYTRZYMAŁOŚCI ZŁĄCZY SPAWANYCH

Poniżej zaprezentowano przegląd zaszyfrowanych metod oraz przykładowe porównanie ich efektów [2].



Rys. 1. Przegląd metod zwiększających trwałość oraz wytrzymałość zmęczeniową złączy

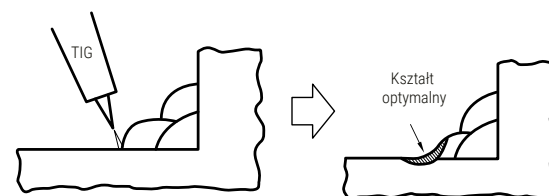


Rys. 2. Przykładowe porównanie efektów zastosowania różnych metod [2]

OBRÓBKA SPOINY POPRZECZ PRZETAPIANIE JEJ BRZEGU ŁUKIEM TIG (ANG. TIG ARC REMELTING LUB TIG-DRESSING)

Metoda polega na przetapianiu łukiem TIG (ang. Tungsten Inert Gas) części wykonanej wcześniej spoiny.

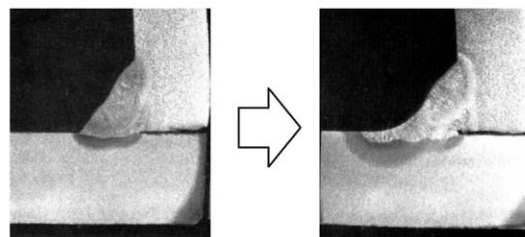
Palnik TIG jest prowadzony wzdłuż brzegu spoiny (rys. 3), bez zastosowania materiału dodatkowego. W konsekwencji uzyskuje się płynne i łagodne przejście materiału spoiny w materiał rodzimy.



Rys. 3. Przetapianie brzegu spoiny łukiem TIG

Skutkiem przetapiania powinno być:

- zmniejszenie koncentracji naprężeń wzdłuż brzegu spoiny na skutek poprawy jej geometrii,
- zmniejszenie lub wyeliminowanie wpływu istniejących niezgodności spawalniczych (np. wtrąceń żużla, mikropęknięć) [3].



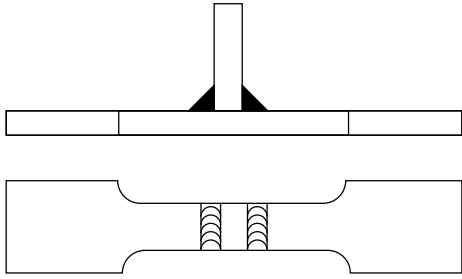
Rys. 4. Efekt przetapiania brzegu spoiny pachwinowej łukiem TIG [3, 8]

Proces jest stosunkowo wrażliwy na zanieczyszczenia (zgorzelina walcownicza, rdza, olej, farba itd.), dlatego konieczne jest należyte oczyszczenie obszaru spawania. Na efekt końcowy ma wpływ wiele parametrów, takich jak gaz osłonowy, prędkość posuwu, prąd spawania, położenie palnika itp.

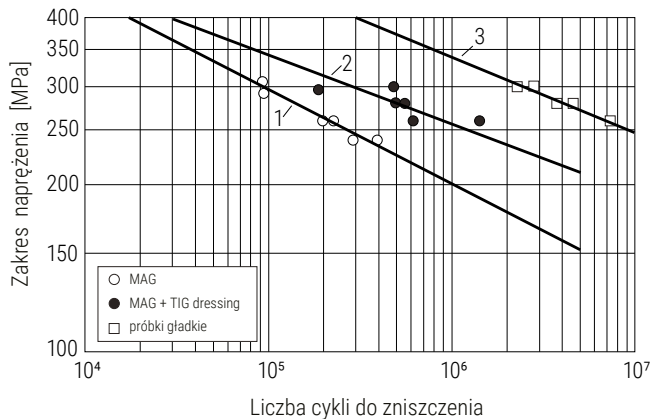
Przykładowe zalecenia dotyczące procesu, wraz z parametrami, zostały opisane w literaturze oraz normach.

- ▶ Recommendations for fatigue design of welded joints and components – International Institute of Welding [7];
- ▶ BS 7608:2014+A1:2015 – Guide to fatigue design and assessment of steel products [11].

Przeprowadzono wiele badań naukowych, których wyniki potwierdzają skuteczność oraz przydatność metody. Poniżej zaprezentowano przykładowe rezultaty [10]. Badano trzy rodzaje próbek wykonanych ze stali S355J0, o kształcie jak na rys. 5 (próbki gładkie oraz próbki ze złączem spawanym). Próbki były poddane rozciąganiu w warunkach zmęczeniowych.



Rys. 5. Kształt badanej próbki



Rys. 6. Wyniki badań, krzywe S-N dla:

- 1 – próbki ze złączem spawanym wykonanym metodą MAG,
- 2 – próbki ze złączem spawanym wykonanym metodą MAG, brzozy spoin przetopione metodą TIG,
- 3 – próbki gładkie (bez złącza spawanego) [10].

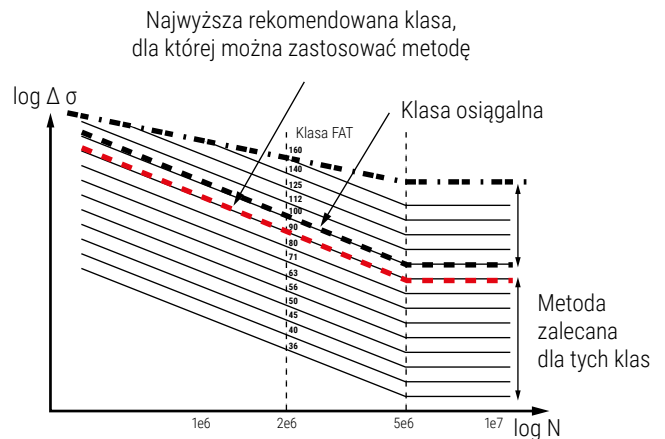
W wyniku badań stwierdzono wzrost wytrzymałości zmęczeniowej próbek po przetapieniu TIG w stosunku do próbek po spawaniu (bez obróbki TIG) o 33% przy liczbie cykli 2×10^6 .



ZASTOSOWANIE METODY

Według danych prezentowanych przez International Institute of Welding [7, 8] przy prawidłowo przeprowadzonym procesie możliwe jest uzyskanie wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej złącza spawanego nawet o 1/3 dla klasy niższej lub równej FAT 90 (klasa wytrzymałości zmęczeniowej ang. *fatigue class*).

Ze względu na brak danych eksperymentalnych dla stali o bardzo wysokiej wytrzymałości zalecenia stosowania metody dotyczą zasadniczo spawania łukowego z częściowym lub pełnym przetopem spoiny w stalach o granicy plastyczności nieprzekraczającej 900 MPa oraz grubościach ścianek nie mniejszych niż 6 mm, pracujących w środowisku niekorozyjnym lub w warunkach ochrony antykorozyjnej. Metoda może być również wykorzystywana w przypadku niektórych stopów aluminium.



Rys. 7. Możliwe do osiągnięcia korzyści oraz ograniczenia w stosowaniu metody przetapienia TIG wg IIW; krzywe S-N dla stali [8]

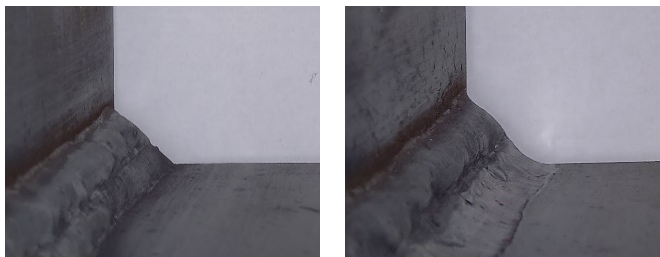
Warto zwrócić uwagę na zapisy normy PN-EN ISO 5817:2014-05 - Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) - Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.

Wskazuje ona, że w przypadku konieczności wykonania złącza spawanego w poziomie jakości o bardziej rygorystycznych wymaganiach niż poziom B niezbędne może się okazać zastosowanie dodatkowych zabiegów produkcyjnych, jak np. wygładzanie metodą TIG.

W ślad za powyższym praktyczne wykorzystanie metody przetapienia brzozy spoiny łukiem TIG zalecane jest przykładowo w normie PN-EN 13001-3-1+A2:2018-05 - Dźwignice - Ogólne zasady projektowania - Część 3-1: Wyznaczanie ograniczeń i właściwości stalowych ustrojów nośnych.

Obróbka poprzez przetapienie łukiem TIG została wskazana jako jedna z możliwych do zastosowania metod w sytuacji, gdy złącze zostało zaprojektowane w poziomie jakości B* (wymagania wyższe niż dla poziomu B wg PN-EN ISO 5817).

Praktyczne zastosowanie opisywanej metody w rozumieniu normy [13] dotyczy nowych ustrojów nośnych dźwignic, czyli urządzeń, które z założenia obciążane są cyklicznie. Są to przykładowo żurawie (wieżowe, samojezdne, przenośne, stacjonarne), suwnice (pomostowe, bramowe) czy też dźwignice w zastosowaniach morskich (offshore). W przypadku tych urządzeń trwałość ich konstrukcji niemal zawsze determinowana jest zmęczeniem materiału.



Fot. 1. Przykładowy wygląd złącza; po lewej – spoina wykonana metodą MAG, po prawej – dodatkowo brzeg spoiny przetopiony metodą TIG

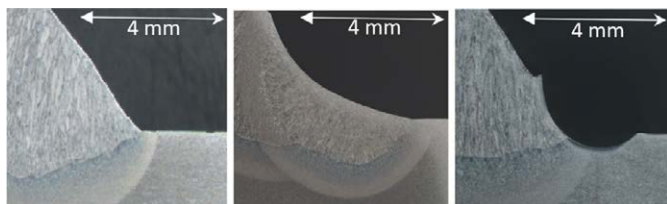
Badano także przydatność metody w procesach napraw pęknięć zmęczeniowych zlokalizowanych w obszarze brzegu spoiny.

Jest to bardziej skomplikowane, ponieważ podstawową kwestią do rozstrzygnięcia jest właściwa detekcja pęknięcia, jego charakteru oraz rzeczywistych rozmiarów w elemencie. Literatura nie podaje jednoznacznie wielkości pęknięć, które można usunąć poprzez przetapianie metodą TIG. Udowodniono jednak, że możliwe jest znaczne wydłużenie trwałości próbek posiadających pęknięcia (liczne przypadki opisane w powołaniach literaturowych [1, 6]).

Jako praktyczny przykład zastosowania metody w tym przypadku można wskazać procedurę napraw pęknięć występujących na konstrukcjach stalowych mostów opisaną w [4]. Instrukcja ta zezwala na usuwanie niewielkich pęknięć eksploatacyjnych występujących w obszarze brzegu spoiny pod oczywistym warunkiem całkowitego usunięcia niezgodności. Należy zauważyć, że naprawy tego typu nie są działaniami rutynowymi z uwagi na występujące trudności techniczne. Również od personelu (spawacza i nadzoru) zajmującego się tymi czynnościami wymaga się szczególnych umiejętności oraz bardzo dobrej znajomości zagadnienia.

Rozwinięciem metody przetapiania łukiem TIG jest jej połączenie z wysokoczęstotliwościową mechaniczną obróbką udarową, zwaną HFMI (ang. *high frequency mechanical impact*), opisywaną w literaturze również pod nazwą HiFIT (ang. *high frequency impact treatment*).

Połączenie obydwu metod może przyczynić się do jeszcze większego wydłużenia trwałości zmęczeniowej w porównaniu z zastosowaniem wyłącznie metody TIG [6]. Kombinacja ta z jednej strony zapewnia zmniejszenie współczynnika koncentracji naprężeń poprzez poprawę geometrii złącza, z drugiej natomiast przyczynia się do zmiany rozkładu naprężeń za sprawą wprowadzenia naprężeń ściskających.



Fot. 2. Od lewej: próbka bezpośrednio po spawaniu; po przetapianiu TIG; po dodatkowej obróbce HFMI [6]

BADANIA DLA BEZPIECZEŃSTWA

Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń technicznych, w tym urządzeń transportu bliskiego, zależy od wielu czynników. Na każdym etapie życia konstrukcji, od projektu, przez wytworzenie, eksploatację, serwisowanie, aż do osiągnięcia resursu, kluczową rolę odgrywa człowiek. Prowadzone są badania, symulacje, doświadczenia i obliczenia, po to aby podnieść poziom bezpieczeństwa i zminimalizować ryzyko niefortunnego zdarzenia, awarii, katastrofy. W konstrukcjach inżynierskich istotne miejsce zajmują połączenia rozłączne i nierozłączne, a wśród tych ostatnich złącza spawane. Dlatego wciąż szukamy sposobów zwiększenia ich trwałości, szczególnie w warunkach zmiennych obciążeń zmęczeniowych. Świadomość i poznanie zależności między strukturą złącza, ich parametrami a pracą urządzenia jest ważnym krokiem do bezpieczeństwa.

KONSULTACJA MERYTORYCZNA:

MGR INŻ. PAWEŁ RAJEWSKI
Ekspert Urzędów Technicznych
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego

Literatura:

- Al-Karawi H., von Bock F., Polach R.U., Al-Emrani M.: Fatigue crack repair in welded structures via tungsten inert gas remelting and high frequency mechanical impact. Chalmers University of Technology, Sweden; Hamburg University of Technology, Germany. *Journal of Constructional Steel Research*, 2020.
- Johnson J.: Fatigue life improvement techniques for welds. Process Barron, Alabama, USA, 2017.
- Van Es S.H.J., Kolstein M.H., Pijpers R.J.M., Bijlaard F.S.K.: TIG-dressing of High Strength Steel Butt Welded Connections – Part 1: Weld Toe Geometry and Local Hardness. Delft University of Technology, 5th Fatigue Design Conference, 2013.
- Fisher J.W., Hausammann H., Sullivan M., Pense A.: Detection and repair of fatigue damage in welded highway bridges. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 206. Transportation Research Board. Washington, USA, 1979.
- Lago J., Bokuvka O., Novy F., Oravcova M.: The weld toe improved by a laser remelting process in comparison with a classic TIG-dressing technology. Research Centre of University of Zilina, Slovakia, 2014.
- Al-Karawi H., Al-Emrani M.: *The efficiency of HFMI treatment and TIG remelting for extending the fatigue life of existing welded structures*. *Steel Construction* 14, no. 2, pp. 95–106, 2021.
- Hobbacher A.: Recommendations for fatigue design of welded joints and components. Recommendations no. IIV-1823-07/XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07. International Institute of Welding, Paris, 2008.
- Haagensen P.J., Maddox S.J.: Post Weld Improvement of Steel and Aluminium Structures. Recommendations no. XIII-1815-00. International Institute of Welding, 2001.
- Nussbaumer A., Imhof D.: On the practical use of weld improvement methods. Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland, 2001.
- Perović Z.D., Investigation of the fatigue strength of the welded joints treated by TIG dressing. University of Montenegro, Podgorica, 2008.
- Norma BS 7608:2014+A1:2015 - Guide to fatigue design and assessment of steel products.
- Norma PN-EN ISO 5817:2014-05 - Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) - Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- Norma PN-EN 13001-3-1+A2:2018-05 - Dźwignice - Ogólne zasady projektowania - Część 3-1: Wyznaczanie ograniczeń i właściwości stalowych ustrojów nośnych.

LOPA

ANALIZA WARSTW ZABEZPIECZEŃ



**MGR INŻ.
JACEK ŻACZYŃSKI**

Kierownik Działu Technicznego
Oddział w Szczecinie
Urząd Dozoru Technicznego



**MGR INŻ.
DAMIAN FIEDOROWICZ**

Kierownik Działu Oceny Zgodności
Oddział w Szczecinie
Urząd Dozoru Technicznego

W całym cyklu artykułów przybliżamy Państwu tę bardzo szeroko stosowaną technikę analizy ryzyka LOPA (Layer of Protection Analysis). Szczegółowo prezentujemy procedurę prowadzenia analizy LOPA. Zaczęliśmy od procedury prowadzenia analizy LOPA, a następnie w szczegółach omawiamy kolejne jej kroki. W poprzednich częściach omówiliśmy zasady wyboru scenariuszy awaryjnych, identyfikacji zdarzeń inicjujących, niezależnych warstw zabezpieczeń oraz obliczenia częstotliwości zdarzenia awaryjnego i ryzyka. W kolejnych częściach opisujemy „podstawowe wymagania” (core attributes), które muszą spełnić zabezpieczenia, aby być IPL oraz odpowiadamy na pytanie „czy zakład jest gotowy na zastosowanie analizy LOPA?”. Analizujemy też wszystkie etapy metodyki LOPA na podstawie przykładu. Dotychczasowe opracowania były publikowane w magazynach INSPEKTOR 1/2024 oraz INSPEKTOR 2/2024.

ANALIZA WARSTW ZABEZPIECZEŃ (LOPA) TO PÓLIŁOŚCIOWA METODA ANALIZY ORAZ OCENY RYZYKA OD 20 LAT POWSZECHNIE STOSOWANA GŁÓWNIEM W PRZEMYSŁE CHEMICZNYM ORAZ PETROCHEMICZNYCH. W PORÓWNIANIU DO ILOŚCIOWYCH ANALIZ RYZYKA LOPA OSIĄGA PODOBNE REZULTATY PRZY RÓWNOCZESNYM OGRANICZENIU KOSZTÓW ORAZ WYKORZYSTANIA POTENCJAŁU LUDZKIEGO. JEDNOCZEŚNIE JEST METODĄ BARDZIEJ SZCZEGÓŁOWĄ NIŻ ANALIZY JAKOŚCIOWE. DAJE MOŻLIWOŚĆ ODKRYCIA SŁABYCH I MOCNYCH STRON STOSOWANYCH SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA (WARSTW ZABEZPIECZEŃ), ABY SKUTECZNIEJ CHRONIĆ PRACOWNIKÓW, ZAKŁAD I SPOŁECZEŃSTWO.

LOPA TO SPOŚÓB NA OCENĘ SCENARIUSZY AWARYJNYCH, KTÓRE POWODUJĄ NAJPOWAŻNIEJSZE SKUTKI W POWIĄZANIU Z WYSOKIM PRAWDOPODOBIEŃSTWEM ICH WYSTĄPIENIA.

Zgodnie z zapowiedzią tę część cyklu artykułów poświęcamy na omówienie podstawowych wymagań stawianych zabezpieczeniom IPL (**IPL – Independent Protection Layer**) tzw. **Niezależnym Warstwom Zabezpieczeń**.

W poprzednich częściach artykułu pisaliśmy już, że istotą LOPA jest identyfikacja istniejących zabezpieczeń oraz wybór spośród nich zabezpieczeń IPL. Ten krok jest kluczowym momentem podczas analizy, gdyż tylko zabezpieczenia zakwalifikowane jako IPL wpływają na redukcję poziomu ryzyka.

Prawidłowa identyfikacja niezależnych warstw zabezpieczeń IPL wpływa bezpośrednio na wyniki przeprowadzanych analiz. Błędy na tym etapie wprowadzają poczucie fałszywego bezpieczeństwa, a co za tym idzie, **akceptację niedoszacowanego ryzyka**, bezpośrednio obniżając całkowity poziom bezpieczeństwa. Pozorne osiągnięcie ryzyka na poziomie akceptowalnym lub tolerowanym może prowadzić do zaniechania stosowania zabezpieczeń rozumianych jako szeroko akceptowana dobra praktyka inżynierska. W związku z tym należy dołożyć należytej staranności, podejmując decyzję o uznaniu danego zabezpieczenia za IPL.

Aby zabezpieczenie mogło zostać zakwalifikowane jako IPL, musi spełnić poniższych siedem wymagań podstawowych core attributes:	ZAPAMIĘTAJ! Wszystkie IPL są zabezpieczeniami, ale nie wszystkie zabezpieczenia są IPL.
1. niezależność,	
2. funkcjonalność,	
3. nienaruszalność,	
4. niezawodność,	
5. audytowalność,	
6. bezpieczeństwo dostępu,	
7. zarządzanie zmianami.	

1. NIEZALEŻNOŚĆ

Pierwszym, fundamentalnym atrybutem jest **niezależność**, co oznacza, że każde zabezpieczenie IPL musi być niezależne od zdarzenia inicjującego (*initiating event*, IE) oraz innego zabezpieczenia IPL występującego już w analizowanym scenariuszu.

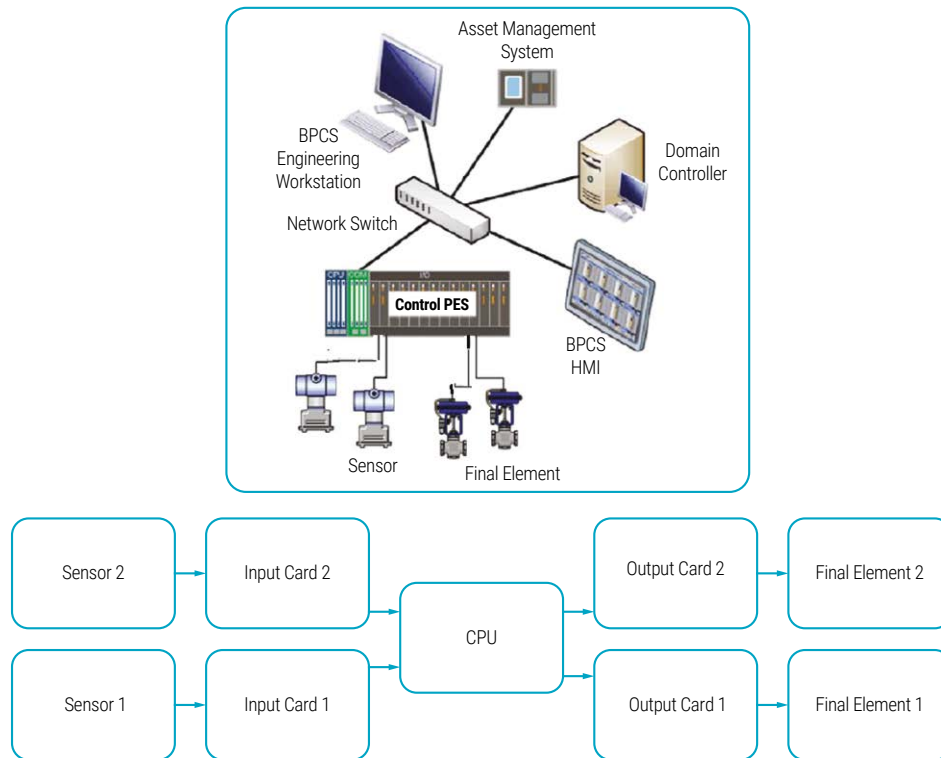
Niezależność uważa się za osiągniętą tylko wtedy, gdy działanie wybranego IPL lub jego komponentów nie jest zależne od awarii innego IPL lub IE. W przypadku gdy efektywna wydajność jednego elementu zależy od prawidłowego działania innego urządzenia, **warunek niezależności nie jest spełniony**.

Niezależność jest ważną koncepcją, chociaż absolutna niezależność jest zazwyczaj nieosiągalna. Zakłady mają wspólne media (np. powietrze PIA), zazwyczaj jeden personel konserwacyjny, wspólne urządzenia kalibracyjne i ustalonych dostawców, którzy dostarczają szereg podobnych komponentów do zastosowań w całym obiekcie. Jednak IPL powinny być wystarczająco niezależne, tak aby stopień współzależności nie był statystycznie istotny.

W metodyce LOPA do oceny niezależności IPL obejmujących układy podstawowego systemu sterowania procesem BPCS (ang. *Basic Process Control System*) stosuje się dwa podejścia – jak poniżej.

PODEJŚCIE A	PODEJŚCIE B
<p>Aby urządzenie lub działanie (np. operatora) zostało uznane za IPL, musi być niezależne zarówno od zdarzenia inicjującego, jak i od każdego zdarzenia umożliwiającego oraz od każdego innego urządzenia, systemu lub działania, które jest już uznawane za IPL dla tego samego scenariusza.</p> <p>Podejście A przyjmuje konserwatywne stanowisko, że każda awaria sprzętu BPCS wpływa na prawidłową pracę wszystkich innych układów zaimplementowanych w ramach BPCS.</p> <p>Jest ono stosowane w przypadku LOPA, ponieważ jego zasady są jasne i konserwatywne. Zapewnia wysoki poziom ochrony przed awariami o wspólnej przyczynie między IE i IPL lub między dwoma IPL.</p>	<p>Podejście B pozwala na użycie dwóch funkcji BPCS w jednym scenariuszu awaryjnym, jako dwóch zabezpieczeń IPL, lub jako zabezpieczenia IPL przy równoczesnym założeniu, że zdarzeniem inicjującym IE jest układ BPCS (z niezależnością wymaganą dla niektórych komponentów).</p> <p>To podejście opiera się na założeniu, że jeśli funkcja BPCS ulegnie awarii, prawdopodobne jest, że komponentem, który ją wywołał, jest przetwornik (czujnik) lub element końcowy (np. zawór), a nie sterownik logiczny BPCS (CPU). Doświadczenie przemysłowe wskazuje, że wskaźniki awaryjności czujników i końcowych elementów sterujących są zwykle znacznie wyższe niż wskaźniki awaryjności sterownika logicznego BPCS. To znaczy, że aby dwa układy BPCS były uważane za IPL, wszystko musi być niezależne z wyjątkiem płyty głównej – niezależne czujniki, niezależne karty wejściowe, niezależne karty procesora, niezależne karty wyjściowe i niezależne elementy końcowe (rys. 1) – z zastrzeżeniem Patrz: ramka „UWAGA”.</p>





Rys. 1. Podejście B. Dwie pętle BPCS ze współdzielonym procesorem CPU mogą być wykorzystywane w jednym scenariuszu po przeprowadzeniu dodatkowych analiz oraz potwierdzeniu, że całkowite PRD < 0,01/rok [3, 4]

UWAGA

Zastosowanie podejścia B wymaga, aby analityk ryzyka miał doświadczenie w projektowaniu BPCS, dysponował odpowiednimi danymi na temat rzeczywistej niezawodności BPCS i rozumiał, jak identyfikować i uwzględnić awarie o wspólnej przyczynie. Podejście B wymaga również zaangażowania się kierownictwa w egzekwowanie rygorystycznych praktyk niezbędnych do kontrolowania błędów systemowych, błędów zależnych oraz błędów o wspólnej przyczynie.

Przed użyciem podejścia B należy upewnić się, że istnieje wystarczająca ilość danych analitycznych i testowych, aby wykazać, że BPCS dla konkretnego procesu jest zaprojektowany i zarządzany w taki sposób, że dwa układy BPCS w połączeniu mogą osiągnąć ogólny wskaźnik awaryjności na poziomie < 0,01/rok.

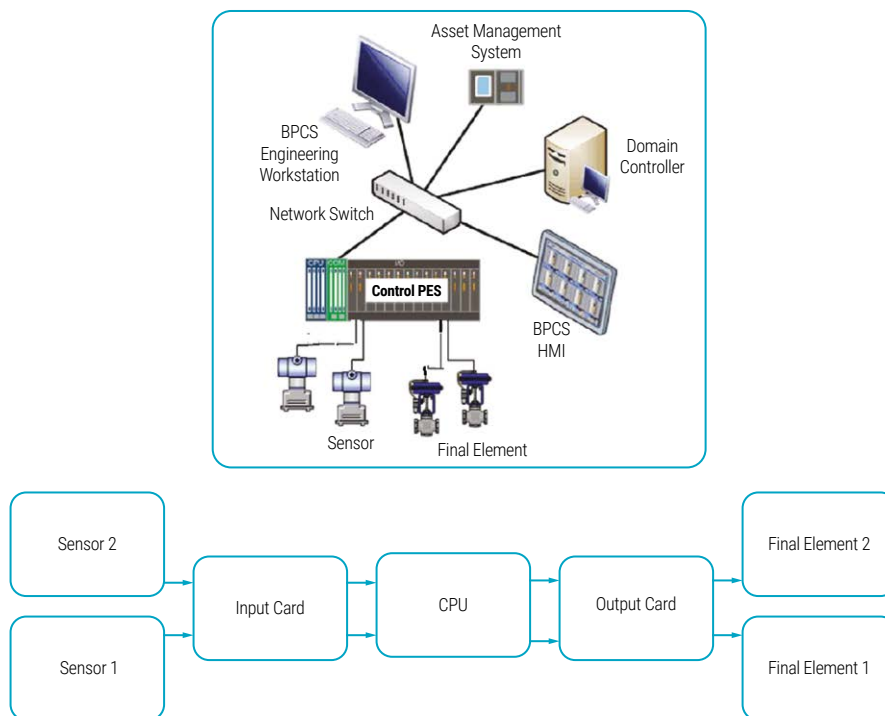
Analiza ta powinna obejmować co najmniej:

- ocenę potencjalnych wspólnych przyczyn, wspólnego trybu i systematycznych błędów między BPCS IE i IPL lub dwoma BPCS IPL, aby określić, że ich wpływ jest wystarczająco niski;
- pisemną specyfikację obejmującą pętle bezpieczeństwa w systemie, takie jak schematy przyrządów, schematy P&ID, schematy pętli i specyfikacje funkcjonalne;
- w przypadku ogólnego podejścia do walidacji danych ocenę poprzedniej historycznej wydajności procesora BPCS, kart wejścia/wyjścia, czujników, elementów końcowych, reakcji człowieka itp.;
- w przypadku podejścia do walidacji danych specyficznych dla danej instalacji ocenę danych z inspekcji, konserwacji i testów w znaczącym okresie w celu wykazania, że system osiąga deklarowaną wydajność;
- ocenę bezpieczeństwa dostępu do sprzętu i oprogramowania;
- zarządzanie zmianami i kontrolą wersji sprzętu i oprogramowania, w tym wartości nastaw, konfiguracji i nadpisów operatora.

Analiza tego typu wymaga większej wiedzy specjalistycznej i bardziej szczegółowego zrozumienia projektu sprzętu i oprogramowania BPCS niż zwykle jest wykorzystywana w zespołach LOPA.

W związku z tym wymagana jest dodatkowa weryfikacja i ocena funkcjonalna przeprowadzona przez osobę kompetentną w zakresie takiej analizy, aby upewnić się, że integralność i niezawodność BPCS są wystarczające.

Dopiero po wykonaniu powyższej analizy i dowiedzeniu, że współczynnik awaryjności dwóch wspólnych układów BPCS < 0,01 /rok, w prowadzonej analizie LOPA można zastosować podejście B.



Rys. 2. Podejście B. Dwie pętle BPCS ze współdzielonym procesorem i współdzielonymi kartami I/O. Ta architektura jest generalnie niedopuszczalna do zaliczania dwóch pętli BPCS w jednym scenariuszu. Jest to zgodne z CCPS LOPA (2001), który zalecał, aby nie zaliczać drugiej funkcji w BPCS, gdy karta wejściowa lub wyjściowa jest wspólna dla obu pętli [3, 4]

Jeżeli mówimy o niezależności, należy wspomnieć o sytuacjach, w których system bezpieczeństwa IPL może działać skutecznie tylko wtedy, gdy inny system jest przynajmniej częściowo skuteczny. Poniżej kilka typowych przykładów.

- Zawór bezpieczeństwa jest dobierany na scenariusz pożaru, a obliczenia jego doboru zakładają, że izolacja zbiornika jest na tyle sprawna, że ogranicza przepływ strumienia ciepła.
- Szeroko stosowane rozwiązania w przemyśle oil&gas związane ze stosowaniem zaworów bezpieczeństwa (*pressure safety valve*, PSV) uwzględniają zabudowanie na rurociągach dolotowych i wylotowych PSV-ów zaworów odcinających. W takich przypadkach skuteczność działania zaworów bezpieczeństwa jako IPL opiera się na założeniu, że wszystkie zawory odcinające w obrębie PSV ustawione są w odpowiednich pozycjach.

W powyższych przypadkach opisane zawory bezpieczeństwa same w sobie **nie stanowią niezależnych IPL**. Skuteczne zapobieganie skutkom awarii zależy od funkcjonowania **obu elementów**. Zamiast pojedynczego zaworu bezpieczeństwa w takich przypadkach **oba elementy* należy traktować jako jeden IPL**, a deklarowane PFD (Probability of Failure on Demand) nie może być mniejsze niż PFD najmniej niezawodnego elementu w systemie.

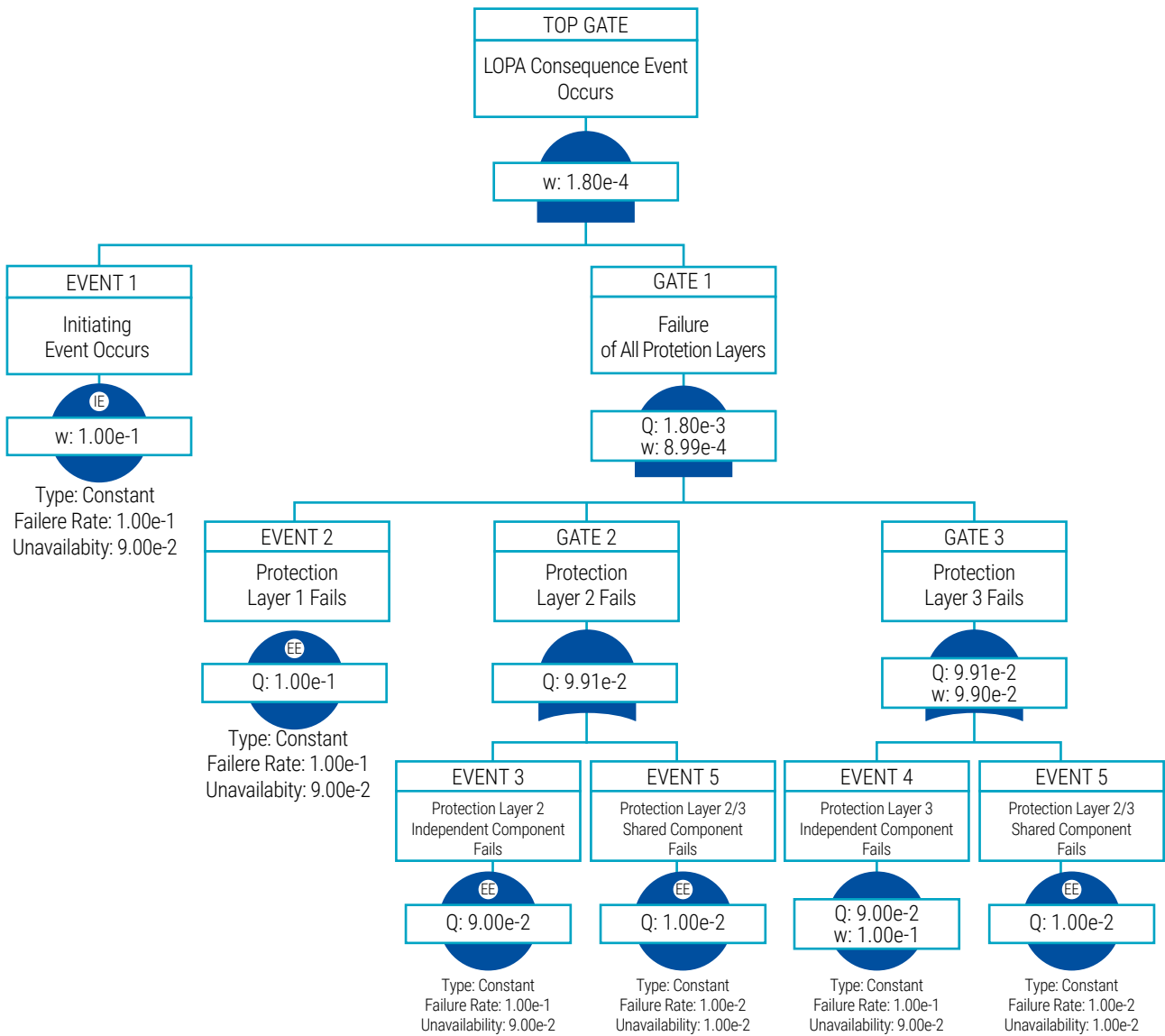
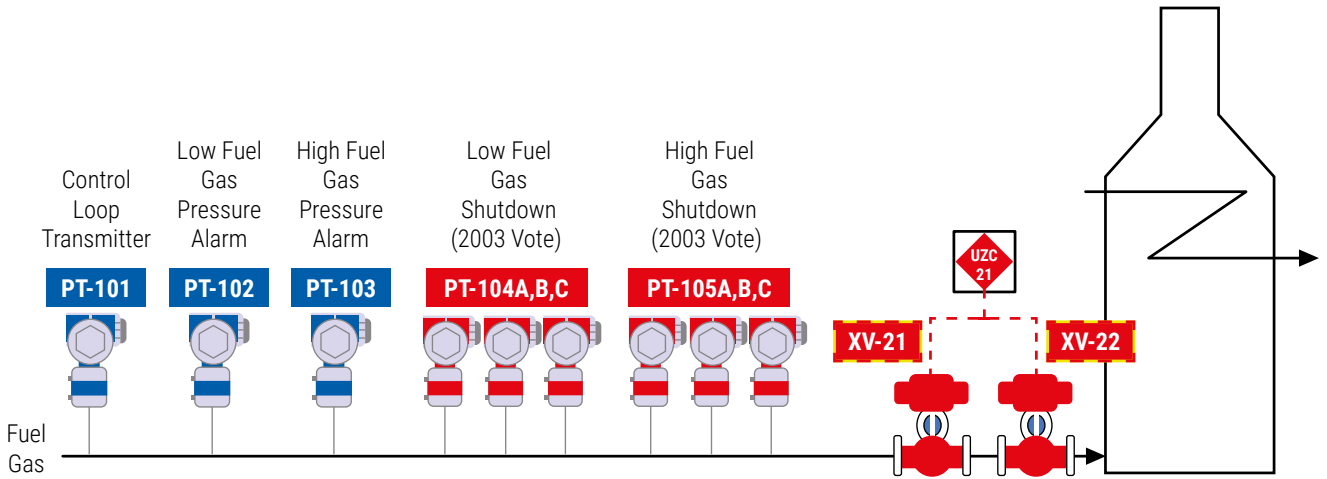
*np. zawór bezpieczeństwa + otwarcie zaworów ocinających „działanie operatora” lub zawór bezpieczeństwa + izolacja zbiornika

UWAGA

W przypadku instalacji, gdy funkcje bezpieczeństwa korzystają ze wspólnych elementów, np. elementów wykonawczych (BMS w kotłach parowych lub piecach technologicznych), gdzie zawory odcinające na „ścieżkach” gazu opałowego są wspólne dla wszystkich funkcji bezpieczeństwa, wykorzystywanie analizy LOPA w celu szacowania ryzyka lub analizy SIL jest niewłaściwe.

Konserwatywne zasady w LOPIE wykluczają możliwość kwalifikacji wszystkich funkcji bezpieczeństwa jako IPL (brak spełnienia wymogu niezależności).

W takich przypadkach analiza LOPA powinna być zastąpiona lub rozszerzona o analizę ilościową FTA (Fault Tree Analysis) w celu oszacowania PFD wszystkich funkcji bezpieczeństwa z uwzględnieniem błędów o wspólnej przyczynie.



Rys. 3. Ścieżka gazowa dla typowego pieca rafineryjnego, FTA – analiza drzewa błędów [7]

2. FUNKCJONALNOŚĆ

Zabezpieczenia, aby można je było uznać za IPL, muszą zostać zweryfikowane pod kątem funkcjonalności.

IPL musi wykonywać swoją zamierzoną funkcję w rzeczywistych warunkach roboczych procesu podczas niebezpiecznego zdarzenia, a szereg różnych czynników musi być wziętych pod uwagę, aby zapewnić skuteczne działanie IPL. Niektóre z tych czynników zostały wymienione poniżej.

- Podstawa projektowa IPL ma zastosowanie do konkretnego scenariusza, dla którego jest zaliczana. Stosowanie norm i standardów technicznych (takich jak EN, NFPA, ASME, API itp.) może pomóc w zapewnieniu, że zastosowane zabezpieczenia kwalifikują się jako IPL.
- IPL jest skuteczny dla analizowanego trybu działania (rozruch, zatrzymanie, normalna praca itp.).
- Gdy reakcja operatora jest częścią IPL, istnieje dobrze napisana procedura i skuteczny program szkoleniowy, aby zapewnić, że operatorzy rozumieją zagrożenie i są w stanie skutecznie reagować na alarm.
- IPL jest w stanie wykonać swoją funkcję w wystarczającym czasie, aby zapobiec skutkom scenariusza awaryjnego. W przypadku IPL związanego z działaniem człowieka należy potwierdzić, że operator ma wystarczająco dużo czasu na przywrócenie procesu do stanu bezpiecznego.

Funkcjonalność przypisuje unikalne i odpowiednie cechy zabezpieczeniom IPL. Na przykład zawór bezpieczeństwa jest zaprojektowany tak, aby otwierał się przy ciśnieniu wystarczająco niskim, a jego przepustowość wraz rurociągami są wystarczająco duże, aby zapobiec przekroczeniu ciśnienia projektowego w zbiorniku.

Krytycznym aspektem funkcjonalności jest działanie IPL w ściśle określonym czasie. Gdy wystąpi zdarzenie inicjujące, stan procesu może się szybko zmienić ze stanu normalnego, bezpiecznego, w stan niebezpieczny. Odchylenie procesu od stanu normalnego może ostatecznie doprowadzić do poważnej katastrofy przemysłowej.

Ocena IPL jest ważna, aby potwierdzić, że IPL może pomyślnie wykonać swoje działanie i że proces może powrócić do stanu bezpiecznego w zakresie czasu bezpieczeństwa procesu (Proces Safety Time, PST).

PST to okres między wystąpieniem awarii w procesie lub jego systemie sterowania a wystąpieniem skutków niebezpiecznego zdarzenia.

PRZYKŁAD

W momencie awarii układu regulacji ciśnienia zaczyna ono rosnąć powyżej normalnych wartości roboczych, czyli nastąpiło odchylenie od stanu normalnego. Następnie ciśnienie w dalszym ciągu rośnie, przekraczając ciśnienie obliczeniowe np. zbiornika. W tym momencie mamy do czynienia ze stanem awaryjnym, ale dopiero po wzroście ciśnienia do wartości dużo powyżej wartości obliczeniowych możemy spodziewać się rozerwania zbiornika, zatem czas pomiędzy awarią układu regulacji a rozerwaniem zbiornika jest naszym czasem PST.

Każde zabezpieczenie uznane za IPL w LOPA musi skutecznie wykonywać swoją funkcję, tzn. musi działać szybciej, niż pogarsza się stan procesu, zapobiegając w ten sposób ostatecznym konsekwencjom, np. rozerwaniu zbiornika, eksplozji uwolnionych węglowodorów lub wybuchowi pożaru itp.

PRZYKŁAD

Czas reakcji wymagany dla działania operatora jako IPL zależy od niżej wymienionych czynników.

1. Jeśli oparty jest na alarmie, jest to czas, w którym czujnik wykrywa limit krytyczny i ogłasza go pracownikowi (czas powiadomienia).
2. Czas, w którym człowiek wykrywa alarm lub inne wskazanie nieprawidłowej sytuacji (czas wykrywania).
3. Czas, w którym pracownik decyduje o sposobie działania (czas decyzji).
4. Czas na zdiagnozowanie problemu; kroki mogą obejmować ustalenie, czy alarm jest fałszywy (czas diagnozy).
5. Czas potrzebny pracownikowi na wykonanie wymaganej czynności, w tym przywrócenie procesu do stanu normalnego, sprowadzenie procesu do stanu bezpiecznego lub wyłączenie procesu (czas działania).
6. Czas wymagany na powrót procesu do stanu bezpiecznego po zakończeniu działania IPL (czas przywrócenia procesu).

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli zdiagnozowanie problemu lub działanie operatora wymaga od niego, aby wszedł do obszaru(-ów) objętego scenariuszem zagrożenia, powinno się również rozważyć, czy czas bezpieczeństwa procesu jest wystarczający, aby pracownik mógł potwierdzić powodzenie (lub niepowodzenie) swojego działania i bezpiecznie opuścić obszar.



Jeśli czas bezpieczeństwa nie jest wystarczający, działania operatora nie można uznać za skuteczne, a co za tym idzie, za IPL.

Jeżeli natomiast całkowite wykrycie i odpowiedź, wliczając jakiegokolwiek opóźnienie (np. brak operatora na stanowisku w momencie aktywacji alarmu), mogą zostać osiągnięte w wymaganym czasie, odpowiedź operatora spełnia ograniczenia czasowe, jest tym samym skuteczna i można zakwalifikować ją do IPL.

Autorzy podręcznika *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment [1]* zalecają łatwy do zapamiętania zestaw słów kluczowych do przesiewania kandydatów IPL w zakresie funkcjonalności.

3 Ds	4 Enoughs
Detect	Big enough
Decide	Fast enough
Deflect	Strong enough
	Smart enough

Wiele warstw zabezpieczających ma zdolność do:

1. wykrywania (**detect**), że wystąpiła przyczyna inicjująca i scenariusz zmierza w kierunku niepożądanych konsekwencji;
2. decydowania (**decide**) o podjęciu działań, które mogą zapobiec wystąpieniu niepożądanych konsekwencji;
3. zapobiegania (**deflect**) rozwijaniu się scenariusza awaryjnego lub wystąpieniu jego skutków.

PRZYKŁAD

Sprężyna w zaworze bezpieczeństwa wykrywa (detect) wzrost ciśnienia, sprężyna decyduje (decide) o otwarciu zaworu, a prawidłowo zaprojektowany zawór bezpieczeństwa jest wystarczająco duży (big enough), szybki (fast enough), aby zapobiec zagrożeniu (deflect) przekroczenia przez ciśnienie w zbiorniku poziomu ciśnienia projektowego.

3. NIENARUSZALNOŚĆ

Nienaruszalność oznacza, że IPL ma wystarczającą niezawodność, aby móc całkowicie zapobiec konsekwencjom scenariusza awaryjnego.

Nienaruszalność warstwy ochronnej jest związana z redukcją ryzyka, której można rozsądnie oczekiwać, biorąc pod uwagę projekt, instalację i zarządzanie warstwą ochronną. Zrozumienie wielkości redukcji ryzyka możliwej do osiągnięcia przez konkretny IPL jest niezbędne do ustalenia, czy istnieje wystarczająca ochrona przed konsekwencjami scenariusza awaryjnego.

Na nienaruszalność wpływają również procedury i praktyki stosowane przez organizację w celu zminimalizowania prawdopodobieństwa błędu ludzkiego, który mógłby doprowadzić do awarii IPL. Ostatecznie niezawodność zarówno sprzętu, jak i ludzkich IPL ograniczona jest przez skuteczność systemów zarządzania.

Aby IPL był niezawodny, musi być dostępny w razie potrzeby.

Możliwość wykrywania i korygowania awarii w odpowiednim czasie skraca czas, w którym proces działa w warunkach zakłóceń, w operacjach przejściowych (takich jak konserwacja lub wyłączenie) lub bez ochrony w pełni funkcjonalnego IPL.

PRZYKŁAD

Jeśli operator natychmiast zauważy awarię poprzez obserwację, wskazanie lub alarm, można podjąć działania naprawcze w stosunkowo krótkim czasie. Stopień, w jakim awaria zostanie ujawniona, wpływa na dostępność IPL i zwiększa niezawodność systemu.

Nienaruszalność IPL zależy od niezawodności jej komponentów i zamierzonej funkcji.

**PRZYKŁAD**

Jeśli odpowiedź operatora na alarm jest uważana za IPL, a wybrana wartość PFD wynosi 0,1, to całkowita nienaruszalność IPL zależy nie tylko od działania samego operatora, ale również od niezawodności czujnika i powiązanego systemu sterowania (BPCS), który generuje alarm, oraz od tego, kiedy i jak operator podejmie działanie.

Dlatego dla układów sterowania, aby zachować ich niezawodność, zaleca się przeprowadzanie częstych kontroli, takich jak testy funkcjonalne, testy kontrolne, weryfikacja i walidacja czujników i systemu sterowania. Podobnie odpowiedniość działań operatora należy zapewnić za pomocą pisemnych procedur, regularnych szkoleń i weryfikacji ich skuteczności.

W przypadku niektórych IPL, takich jak przyrządowe funkcje bezpieczeństwa (SAFETY INSTRUMENTED FUNCTION, SIF) zaleca się przeprowadzać testy funkcjonalne wraz z symulacjami stanów niebezpiecznych, aby zweryfikować ich skuteczność.

Odpowiedni wybór wartości PFD (Probability of Failure on Demand), jak widzimy, nie jest rzeczą prostą i nie wystarczy wybrać jej z tabel z podręcznika LOPA.

Aby zachować niezawodność IPL-ów na wymaganym poziomie, zaleca się wdrożyć i przestrzegać procedur zarządzania bezpieczeństwem procesowym i funkcjonalnym.

Autorzy metody zauważyli również ten problem, że wiele organizacji wybiera wartości PFD z podręczników i artykułów lub uzyskuje je z obliczeń opartych na dyskretnych wskaźnikach awaryjności komponentów z baz danych, a następnie zakłada, że te wartości mają zastosowanie w ich sytuacji.

Takie podejście nie jest dobrym założeniem.

Nadrzędnym czynnikiem niezawodności komponentu lub niezawodności działania człowieka jest często lokalne środowisko sprzętu i lokalna kontrola błędów ludzkich.

PRZYKŁAD

PSV w obsłudze czystego gazu ma zdecydowanie inną niezawodność niż PSV w obsłudze olefin lub kwasów.

Odpowiedzią na ten problem była publikacja w 2015 r. książki CCPS *Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers* [3], która dobrze omawia tę kwestię.

Ponadto niektóre organizacje zakładają, że ich komponenty mają znacznie lepszą niezawodność (niższy PFD lub IEF), niż podano w podręczniku wskazanym powyżej, mimo tego, że nie posiadają wystarczającej historii operacyjnej, np. zakład istnieje od 5 lat. Dodatkowo organizacja nie do końca rozumie, jak oszacować wskaźnik awaryjności takich komponentów.

PRZYKŁAD

Częstym błędem w szacowaniu PFD IPL-ów np. dla PSV jest nieuwzględnianie:

- zaworów odcinających na rurociągach dolotowych i wylotowych zaworów bezpieczeństwa,
- rodzaju medium – czystego, obojętnego czy krystalizującego i korozyjnego,
- sposobu zabudowy podwójnych zaworów bezpieczeństwa,
- wartości nastaw zaworów bezpieczeństwa dla dwóch zaworów pracujących równolegle.

Używanie wartości IEF (ang. *Initiating Event Frequency*) lub PFD niższych niż podane w tablicach danych niezawodnościowych jak w podręczniku wspomnianym powyżej musi być uzasadnione i wykazane pisemnie (zarejestrowane).

Następnym, lecz nie mniej ważnym problemem jest utrzymywanie oraz kontrola IPL w taki sposób, aby podane wartości PFD dla IEF lub IPL zgodnie z tabelami z podręcznika CCPS można było zastosować w analizie LOPA. Jeżeli IPL nie był utrzymywany, tzn. konserwowany, testowany, zgodnie z instrukcjami lub procedurami, to nie można mu przypisać żadnej wartości PFD.

PRZYKŁAD

Przeanalizujmy zawór bezpieczeństwa. Jeżeli nie był on konserwowany oraz testowany zgodnie z przyjętymi w procedurach terminami oraz zakresem konserwacji, to nie możemy mu przypisać żadnej wartości redukcji ryzyka. Dodatkowo LOPA zakłada, że po konserwacji i testach zawór ten ma PFD jak nowy.

Zasady LOPA wymagają, aby organizacje utrzymywały swoje IPL w taki sposób, aby można było udowodnić wartość PFD taką, jakiej chce się użyć w obliczeniach LOPA.

4. NIEZAWODNOŚĆ

Niezawodność to cecha IPL związana z jej wyposażeniem, działającym zgodnie z przeznaczeniem, w określonych warunkach, przez określony czas.

Do określenia wymaganej niezawodności IPL niezbędne jest całościowe zrozumienie:

- projektu IPL,
- procesu technologicznego, który jest chroniony przez IPL,
- przypisanej funkcji w ramach tego procesu,
- środowiska, w którym IPL będzie działać.

IPL jest uważany za niezawodny, gdy w sytuacji, kiedy jest to wymagane, działa zgodnie z założeniami, nie ma częstych okresów przestoju i nie działa bez przyczyny (częściowo lub całkowicie). Niezawodność jest zatem związana z działaniem IPL zgodnie z przeznaczeniem w środowisku operacyjnym przez przewidywany czas.

Ta koncepcja obejmuje więcej niż teoretyczne prawdopodobieństwo, że poszczególne elementy systemu będą działać prawidłowo, gdy będzie to wymagane. W przypadku niektórych IPL, aby osiągnąć ich wystarczającą niezawodność, potrzebne są określone praktyki projektowe, operacyjne, inspekcyjne i konserwacyjne.

PRZYKŁAD

Zawór bezpieczeństwa może być zaprojektowany dla określonego środowiska procesowego, np. korozyjnego, i być poddawany rygorystycznym testom opartym na zdefiniowanych procedurach i specyfikacjach w celu zapewnienia niezawodności.

Szczególną uwagę na to wymaganie należy zwrócić podczas określania jako IPL działania operatora w odpowiedzi na ALARM.

Aby uznać je za niezawodne i skuteczne, należy potwierdzić, że:

- istnieją pisemne procedury definiujące działanie operatora oraz dokumenty potwierdzające, że operator je zna,
- operator jest zawsze obecny w miejscu, gdzie alarm jest aktywowany,
- operator jest w stanie zidentyfikować problem na podstawie alarmu,
- operator ma wystarczająco dużo czasu na podjęcie skutecznego działania,
- operator został przeszkolony i dokładnie wie, jakie działanie na wypadek konkretnego alarmu ma wykonać,
- operator przechodzi w tym zakresie regularne szkolenia.

Jak możemy zauważyć, przykład związany z odpowiedzią na alarm płynnie przechodzi przez atrybuty związane z funkcjonalnością, nienaruszalnością oraz niezawodnością, nie jest to bynajmniej przypadek czy błąd. W pierwszym podręczniku *LOPA – book* z 2001 r. wymagania podstawowe, *core attributes*, składały się z trzech cech:

1. niezależność,
2. skuteczność,
3. audytowalność.

Na podstawie powyższego możemy stwierdzić, że cecha skuteczności została podzielona na trzy: funkcjonalność, nienaruszalność oraz niezawodność.

5. AUDYTOWALNOŚĆ

Audytowalność to zdolność do potwierdzenia, że warstwa zabezpieczeń zakwalifikowana jako IPL spełnia podstawowe wymagania – *core attributes*.

Proces audytu musi potwierdzić, że IPL jest skuteczny w zapobieganiu konsekwencjom scenariusza awaryjnego, jeśli działa zgodnie z przeznaczeniem.

Audyt powinien również potwierdzić, że projekt IPL, montaż, testy funkcjonalne i systemy konserwacji są wykonywane prawidłowo, aby osiągnąć określony PFD.

- Testy funkcjonalne muszą potwierdzić, że wszystkie komponenty np. dla SIF (czujniki, układ logiczny, elementy końcowe itp.) są sprawne i spełniają wszystkie stawiane im wymagania.

- Systemy konserwacji są okresowo audytowane w celu sprawdzenia, czy istniejące procesy administracyjne zapewniają, że konserwacja jest wykonywana zgodnie z wymaganiami, a dokumentacja projektu, konserwacji i testów kontrolnych jest utrzymywana.

Proces audytu powinien dokumentować stan IPL, wszelkie modyfikacje wprowadzone od ostatniego audytu i śledzić do zakończenia wszelkie wymagane działania związane z naprawami.

Proces zarządzania zmianą MOC (Management of Change) jest audytowany w celu zapewnienia, że zmiany w materiałach, parametrach operacyjnych, sprzęcie, procedurach i organizacji są prawidłowo przeglądane i dokumentowane, a wszelkie punkty działań zalecone w przeglądzie zostały wykonane.

Jak widzimy, procedury audytowania IPL są nierozdzielnie połączone z pozostałymi *core attributes*, bo nie można w żaden inny sposób określić, czy np. wspomniany już wielokrotnie zawór bezpieczeństwa PSV da się zakwalifikować jako IPL.

W celu poprawnej kwalifikacji jako IPL dokumentacja PSV powinna umożliwiać potwierdzenie, że PSV spełnia wszystkie podstawowe wymagania core attributes.

W tym celu dokumentacja powinna zawierać:

- podstawę wymiarowania PSV (dobór),
- wszystkie scenariusze awaryjne wymagające zadziałania zaworu wraz z wymaganym przepływem,
- specyfikację projektową zaworu,
- wymagany przepływ w warunkach zrzutowych dla najgorszego scenariusza,
- szczegóły instalacji (np. układ rurociągów dopływowych i zrzutowych),
- procedury testowe i konserwacyjne, w tym protokoły potwierdzające ciśnienie nastawy.

Bez powyższych dokumentów analityk ryzyka odpowiedzialny za prawidłowe przeprowadzenie LOPA nie może zakwalifikować PSV jako IPL.

6. BEZPIECZEŃSTWO DOSTĘPU

Bezpieczeństwo dostępu obejmuje stosowanie kontroli fizycznych i/lub administracyjnych w celu zmniejszenia ryzyka nieautoryzowanych zmian w systemie, które mogą uszkodzić lub dezaktywować urządzenia zabezpieczające. Dotyczy to np. zmian nastaw progów działania alarmów lub przyrządowych funkcji bezpieczeństwa.

Przemysł procesowy stosuje szereg środków w celu zmniejszenia ryzyka nieautoryzowanych zmian w systemie.

PRZYKŁADOWE RODZAJE ZABEZPIECZEŃ PRZED NIEAUTORYZOWANYMI ZMIANAMI

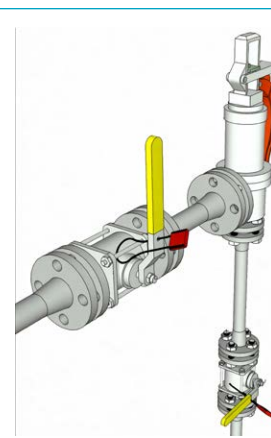
- Bezpieczeństwo dostępu do układów sterowania i automatyki zabezpieczającej stosuje się, aby zapobiec przypadkowym lub nieautoryzowanym modyfikacjom BPCS lub SIS (Safety Integrity System). Z jednej strony przypadkowa zmiana w układzie BPCS może prowadzić do rozwoju scenariusza awaryjnego, z drugiej zmiana nastaw progów działania alarmów lub by-pass przyrządowych funkcji bezpieczeństwa (SIF) może dezaktywować zabezpieczenia IPL.
- System zarządzania / procedura *Lock out, tag out* lub *lockout-tagout (LOTO)*, *Lock open / Lock closed*; *Car seal open / Car seal closed* to procedura bezpieczeństwa stosowana w celu zapewnienia, że ważne ze względów bezpieczeństwa zawory odcinające są ustawione w prawidłowych pozycjach i zabezpieczone przed przypadkową ich zmianą. Do tego celu używane są różne systemy wymuszające użycie dodatkowego narzędzia, np. klucza, aby móc zmienić ich pozycję. Dotyczy to najczęściej zaworów odcinających na dolocie i wylocie z zaworów bezpieczeństwa PSV lub ważnych ze względów bezpieczeństwa zaworów procesowych.

Typowy system zarządzania LOTO obejmuje następujące elementy:

1. listę zaworów i/lub urządzeń, w których system jest zastosowany,
2. udokumentowaną pozycję dla każdego zaworu NC/NO (normal closed / normal open),
3. okresowe kontrole pozycji bezpiecznych poszczególnych zaworów i urządzeń zabezpieczonych,
4. okresowe, niezależne audyty na instalacji w celu potwierdzenia, że poszczególne zawory są w prawidłowych pozycjach,
5. okresowe audyty dokumentacji inspekcyjnej w celu zapewnienia, że rutynowe inspekcje są wykonywane zgodnie z wymogami organizacyjnymi.



Rys. 4a. System LOTO na zaworze odcinającym [https://www.lockout-safetyproducts.com/product/cable-lockout/ – dostęp: 11.2024]



Rys. 4b. System car seal na zaworach odcinających w obrębie PSV [https://totallockout.blogspot.com/2012/11/what-does-car-seal-open-car-seal-closed.html – dostęp: 11.2024]

7. ZARZĄDZANIE ZMIANAMI

Zarządzanie zmianą (MOC - Management of Change) to formalny proces wykorzystywany do przeglądania, zatwierdzania i dokumentowania zmian: procedur, materiałów, procesów, sprzętu lub obiektów.

Modyfikacje procesu lub trybu działania, takie jak zmiany surowców, warunków przetwarzania lub sprzętu, mogą tworzyć nowe scenariusze awaryjne lub zmniejszać skuteczność istniejących IPL.

Zmiany procesu mogą być dobrowolne, np. w celu zwiększenia produktywności. Zmiany mogą być również wymuszone, np. przestarzały sprzęt może ulec awarii i zostać zastąpiony innym, ponieważ oryginalny model może być już niedostępny.

Wszystkie zmiany procesu, działania lub prowadzenia konserwacji należy oceniać, aby upewnić się, że:

- wcześniej zidentyfikowane scenariusze LOPA są nadal ważne,
- można zidentyfikować nowe scenariusze utworzone przez zmianę,
- istniejące warstwy zabezpieczeń spełniają cały czas wymagania IPL.



W przypadku IPL zmiana może obejmować wyłączenie sprzętu z eksploatacji (*by-pass*) w celu przeprowadzenia testów lub tymczasową pracę z uszkodzonym IPL. Zarządzanie przeglądami zmian z odpowiednimi uzgodnieniami zapewni, że wdrożone zostaną środki kompensacyjne, które zapewnią redukcję ryzyka równą tej zapewnianej przez uszkodzony IPL. Bez odpowiednich środków ostrożności i środków kompensacyjnych proces będzie w stanie wyższego ryzyka, niż oszacowała LOPA.

Każda zmiana procedury, harmonogramu, metody, komponentu, oprogramowania, materiału lub procesu powinna być kontrolowana.

Proces kontroli powinien obejmować:

- identyfikację zmiany i jej podstawy technicznej,
- przeprowadzanie przeglądów ryzyka i alternatywnego planowania kontroli ryzyka,
- zatwierdzenie zmiany,
- określenie ograniczeń dotyczących tymczasowych zmian i objęść (np. demontaż PSV w celu konserwacji),
- dokumentowanie zmian i przeglądów ryzyka,
- walidację jakości wdrożenia procedury zarządzania zmianą,
- aktualizowanie powiązanych dokumentów, takich jak procedury, zapisy, harmonogramy i listy części,
- szkolenie i przekazywanie zmian pracownikom,
- zapewnienie dostępności odpowiedniego i kompetentnego personelu do utrzymania IPL.

Krytycznie ważne jest, aby zmiany, które mogą mieć wpływ na częstotliwość IE lub PFD IPL, były starannie zarządzane w celu zapewnienia ciągłego bezpieczeństwa operacji.

PODSUMOWANIE

LOPA to półościowa metoda analizy oraz oceny ryzyka od 20 lat powszechnie stosowana w przemyśle chemicznym i petrochemicznym. Służy do określenia, czy istniejące warstwy zabezpieczeń, zwane w metodologii LOPA niezależnymi warstwami zabezpieczeń IPL, są wystarczające dla danego scenariusza awaryjnego, tzn. czy ryzyko wystąpienia skutków awarii jest na poziomie tolerowanym.

Zgodnie z metodologią LOPA tylko zabezpieczenia zakwalifikowane jako IPL wpływają na redukcję ryzyka.

Dlatego w celu przeprowadzenia oceny, czy dane zabezpieczenia kwalifikują się jako IPL, należy przeprowadzić ocenę, czy spełniają one wymagania podstawowe *core attributes*, tzn.: niezależność, funkcjonalność, nienaruszalność, niezawodność, audytowalność, bezpieczeństwo dostępu i zarządzanie zmianami.

Wymienione powyżej *core attributes* muszą zostać zweryfikowane, aby zakwalifikować zabezpieczenia jako IPL.

- Należy pamiętać, że każdy IPL jest zabezpieczeniem, ale nie każde zabezpieczenie można zakwalifikować jako IPL.
- Istotne jest, aby zespół LOPA szczegółowo przeanalizował każde zabezpieczenie w odniesieniu do podstawowych wymagań opisanych w tej części artykułu oraz zdecydował, które zabezpieczenia zostaną uznane za IPL i jaką wartość PFD można im przypisać.
- Możemy postawić śmiałą tezę, że kwalifikacja warstw zabezpieczeń jako IPL jest najistotniejszym procesem w LOPA. Prawdopodobieństwo tej oceny bezpośrednio wpływa na wyniki analizy, a zarazem na bezpieczeństwo instalacji procesowej.
- „Kredytowanie”, czyli przypisywanie redukcji ryzyka zabezpieczeniom, w stosunku do których powyższe wymagania nie są spełnione, jest poważnym błędem i podważa jej wyniki.

W następnej, a zarazem ostatniej części artykułu wskażemy najczęściej popełniane błędy w stosowaniu LOPA, odpowiemy na pytanie, czy organizacja jest przygotowana na zastosowanie metodologii LOPA, oraz przeanalizujemy wszystkie kroki analizy LOPA na podstawie przykładu.

Literatura:

1. CCPS. 2001. *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment*. New York: AIChE.
2. CCPS. 2007. *Guidelines for Safe and Reliable Instrumented Protective Systems*. New York: AIChE.
3. CCPS. 2015. *Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis*. New York: AIChE.
4. Summers, A. 2014. *Safety Controls, Alarms, and Interlocks as IPLs*. „Process Safety Progress”, Vol. 33, No. 2, June 2014, p. 186-194.
5. William G. Bridges, Arthur M. Dowell III. 2016. *Identify SIF and Specify Necessary SIL, and Other IPLs, as Part of PHA/HAZOP – or – Why It is Not Necessary to “Boldly Go beyond HAZOP and LOPA”*. „Process Safety Progress”, Vol. 35, No. 4, December 2016, p. 349-359.
6. Arthur M. Dowell III. 2011. *Is It Really an Independent Protection Layer?* „Process Safety Progress”, Vol. 30, No. 2, June 2011, p. 126-131.
7. Edward M. Marszał, John Applegate. „Supporting LOPA with Fault Tree Analysis” *Chemical Engineering Progress*. February 2024, p. 23-34

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PO NOWELIZACJI DYREKTYWY EED (2023/1791)

Jak nowe przepisy UE wpływają na zarządzanie energią w firmach?
Obowiązki, audyty energetyczne i wdrożenie ISO 50001



DR INŻ. ANETA GŁUSZEK

Kierownik Wydziału Oceny Zgodności
Departament Certyfikacji i Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego

**AUDYT ENERGETYCZNY PRZEDSIĘBIORSTWA (AEP) TO JAK WIZYTA W WARSZTACIE SAMOCHODOWYM, GDZIE SPECJALISTA DO-
KŁADNIE SPRAWDZA, JAK „PRACUJE” NASZA FIRMA POD WZGLĘDEM ZUŻYCIA ENERGII. AUDYT ENERGETYCZNY POZWAŁA ZIDEN-
TYFIKOWAĆ, GDZIE FIRMA MARNUJE ENERGIĘ, JAKIE SĄ JEJ SŁABE PUNKTY, POZWAŁA WSKAZAĆ DZIAŁANIA SŁUŻĄCE POPRAWIE
EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I OBLICZYĆ OSZCZĘDNOŚCI ENERGETYCZNE ORAZ REDUKCJĘ EMISJI CO₂. JEST TO PODEJŚCIE,
KTÓRE DAJE SZYBKĄ DIAGNOZĘ STANU ZUŻYCIA ENERGII, A TAKŻE SPEŁNIA AKTUALNE WYMOGI PRAWNE W PRZYPADKU DUŻYCH
PRZEDSIĘBIORSTW, KTÓRE ZGODNIE Z USTAWĄ Z DNIA 20 MAJA 2016 R. O EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SĄ ZOBOWIĄZANE DO
PRZEPROWADZENIA AUDYTU ENERGETYCZNEGO PRZEDSIĘBIORSTWA CO CZTERY LATA. TAKI AUDYT TO BARDZIEJ JEDNORAZOWY
"LIFTING" ORGANIZACJI W ZAKRESIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ, GDYŻ NIE MA CIĄGŁEGO MONITOROWANIA, ANALIZOWA-
NIA I OPTYMALIZACJI ZUŻYCIA ENERGII.**

**SYSTEMATYCZNE PODEJŚCIE DO CIĄGŁEJ POPRAWY EFEKTYWNOŚCI UŻYTKOWANIA ENERGII WYMAGA WDROŻENIA PRZEZ PRZED-
SIĘBIORSTWO SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ (SZE).**

WYMOGI DYREKTYWY EED (2023/1791) I DROGA DO ISO 50001

Nowelizacja dyrektywy o efektywności energetycznej (Energy Efficiency Directive, EED), przyjęta w 2023 r. jako dyrektywa 2023/1791, kładzie nacisk na zwiększenie oszczędności energii i wzmocnienie roli systemów zarządzania energią w przedsiębiorstwach. Celem nowej dyrektywy EED jest przyspieszenie działań zmierzających do dekarbonizacji gospodarki i zwiększenia efektywności energetycznej, co jest kluczowe dla realizacji unijnych założeń w ramach Europejskiego Zielonego Ładu i strategii klimatycznej UE.

Audyt energetyczny przedsiębiorstwa (AEP) jest jak wizyta w warsztacie samochodowym, gdzie specjalista dokładnie sprawdza, jak funkcjonuje nasza firma pod względem zużycia energii. Taki audyt to bardziej jednorazowy „lifting” organizacji w zakresie efektywności energetycznej, gdyż nie zakłada ciągłego monitorowania, analizowania i optymalizacji zużycia energii. Systematyczne podejście do ciągłej poprawy efektywności użytkowania energii wymaga wdrożenia SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ (SZE)

Na mocy nowych przepisów system zarządzania energią (SZE) stanie się obowiązkowy dla przedsiębiorstw zużywających więcej niż 85 TJ (23,61 GWh) energii rocznie.

Wdrożenie ISO 50001 wiąże się z formalnym zarządzaniem energią i tworzeniem odpowiednich procedur, polityk, a także z wdrożeniem monitoringu, który pozwala na identyfikowanie i eliminowanie marnotrawstwa energii w firmie.

Z kolei przedsiębiorstwa, które średniorocznie zużywają więcej niż 10 TJ (2,78 GWh) energii i nie mają wdrożonego systemu zarządzania energią, będą musiały cyklicznie przeprowadzać audyty energetyczne.

Państwa członkowskie UE mają czas na transpozycję nowej dyrektywy EED (2023/1791) do krajowych systemów prawnych do dnia 11 października 2025 roku.

NOWE KRYTERIA OBJĘCIA OBOWIĄZKIEM AUDYTÓW ENERGETYCZNYCH

Dyrektywa 2023/1791 wprowadziła szereg zmian, które wywierają istotny wpływ na przedsiębiorstwa w Unii Europejskiej.

Obowiązek przeprowadzania audytów energetycznych przestaje być powiązany wyłącznie z rozmiarem przedsiębiorstwa i obejmuje teraz wszystkie firmy, które przekraczają określony próg średniorocznego zużycia energii, niezależnie od ich wielkości.

Powstaje więc obowiązek przeprowadzania audytów energetycznych również dla **średnich i mniejszych przedsiębiorstw**, które rocznie zużywają więcej niż **10 TJ (2,78 GWh) energii**, przy uwzględnieniu wszystkich rodzajów nośników energii. Dotychczas tylko duże przedsiębiorstwa były zobligowane do przeprowadzania audytów energetycznych, a sektor MŚP był zwolniony z tego obowiązku.

Przedsiębiorstwa i branże w Polsce, które mogą zużywać między 10 a 85 TJ energii rocznie, to zazwyczaj mniejsze firmy przemysłowe lub większe przedsiębiorstwa usługowe, charakteryzujące się umiarkowanym zapotrzebowaniem na energię.

Nowe przepisy są bardziej wymagające, mają ujedynolnić podejście do audytów energetycznych i zapewnić, że przedsiębiorstwa o wysokim zużyciu energii, niezależnie od swojej wielkości, będą aktywnie dążyć do oszczędności energetycznych oraz redukcji emisji gazów cieplarnianych.

PRZYKŁADY PRZEDSIĘBIORSTW I BRANŻ W POLSCE, KTÓRE MOGĄ ZUŻYWAĆ MIĘDZY 10 A 85 TJ ENERGII ROCZNIE

• MAŁE I ŚREDNIE ZAKŁADY PRODUKCJI ŻYWNOSCI

Przetwórnictwo żywności (np. mleczarnie, piekarnie, producenci napojów) często zużywają spore ilości energii na potrzeby chłodzenia, ogrzewania i przetwarzania surowców.

• MAŁE ZAKŁADY CHEMICZNE I KOSMETYCZNE

Producenci kosmetyków, detergentów lub niewielkich ilości chemikaliów zazwyczaj potrzebują energii do procesów produkcji, pakowania i przechowywania, choć ich zużycie energii jest niższe niż w dużych zakładach chemicznych.

• PRZEMYSŁ FARMACEUTYCZNY

Średnie firmy farmaceutyczne, zajmujące się produkcją leków, suplementów diety czy witamin, często zużywają umiarkowane ilości energii na potrzeby utrzymania odpowiednich warunków produkcji, co może obejmować sterylizację i kontrolę jakości.

• CENTRA HANDLOWE I OBIEKTY HANDLU DETALICZNEGO

Większe centra handlowe zużywają energię na oświetlenie, klimatyzację i wentylację, a także na systemy chłodzenia dla sklepów spożywczych i gastronomicznych.

• DUŻE HOTELE I OŚRODKI WYPOCZYNKOWE

Duże hotele i ośrodki turystyczne mogą osiągać zużycie energii na poziomie 10–85 TJ rocznie, szczególnie jeśli oferują dodatkowe udogodnienia, takie jak: baseny, spa oraz restauracje.

• ZAKŁADY WODOCIĄGOWE I OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW

Zakłady wodno-kanalizacyjne, jak te zarządzane przez Miejskie Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji (MPWiK), potrzebują energii na pompowanie, uzdatnianie wody i procesy oczyszczania ścieków, co powoduje umiarkowane zużycie energii.

• BRANŻA DRUKARSKA I PRODUKCJI PAPIERU

Średniej wielkości drukarnie, w tym te specjalizujące się w produkcji opakowań, oraz zakłady produkujące papier, mogą osiągać takie poziomy zużycia energii ze względu na energochłonne procesy druku i obróbki papieru.

• CENTRA DANYCH (DATA CENTERS)

Duże centra danych, obsługujące infrastrukturę cyfrową dla polskich firm, banków czy instytucji rządowych, zużywają spore ilości energii głównie na potrzeby chłodzenia serwerów i podtrzymania ciągłości pracy.



AUDYT ENERGETYCZNY PRZEDSIĘBIORSTWA I SERIA NORM EN 16247

Dyrektywa 2023/1791 oraz zalecenie Komisji UE 2024/2002 sugerują, ale nie nakazują jednoznacznie stosowania normy EN 16247-1 przy przeprowadzaniu audytów energetycznych przedsiębiorstw. Istnieją cztery kolejne części normy EN16247, które dostarczają dodatkowych informacji odnośnie audytów budynków, procesów, transportu czy kompetencji audytorów energetycznych.

Zalecenie Komisji UE 2024/2002 ma charakter wytycznych, co oznacza, że nie nakłada ono bezpośrednich zobowiązań prawnych na przedsiębiorstwa ani państwa członkowskie UE. Zamiast tego wskazuje najlepsze praktyki i standardy, które powinny być stosowane, aby realizować cele unijnej polityki energetycznej zgodnie z dyrektywą 2023/1791.

Zalecenie Komisji (UE) 2024/2002 z dnia 24 lipca 2024 r. ustanawia wytyczne dotyczące interpretacji art. 11 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 w odniesieniu do systemów zarządzania energią i audytów energetycznych.

Wytyczne Komisji mają wspierać przedsiębiorstwa w efektywnej realizacji audytów energetycznych poprzez ustanowienie jednolitych standardów, ale ich wdrożenie zależy od interpretacji i przepisów krajowych. Oznacza to, że norma EN16247-1 nie jest formalnie obowiązkowa, jednak jej stosowanie mocno się

rekomenduje, ponieważ jest ona uznawana za standard zapewniający wysoką jakość i spójność audytów energetycznych.

CO WYBRAĆ? – DECYZJA ZALEŻY OD CELÓW FIRMY

**ZUŻYCIE
ENERGII ROCZNIE
10 ÷ 85 TJ**

Jeśli firma zużywa rocznie więcej niż 10 TJ (2,78 GWh) energii, ale mniej niż 85 TJ (23,61 GWh), to mogą być rozważane zarówno **audyt energetyczny**, jak i **wdrożenie systemu zarządzania energią**.

Zgodnie z dyrektywą 2023/1791 w takim przypadku nie ma jeszcze obowiązku wdrożenia systemu zarządzania energią (SZE), ale jest on rekomendowany.

Jeśli firma planuje długoterminowe podejście do efektywności energetycznej i chce systematycznie zarządzać energią, lepszym wyborem dla niej będzie wdrożenie systemu zarządzania energią zgodnie z ISO 50001.

Chociaż początkowa inwestycja będzie wyższa, SZE daje długofalowe korzyści związane z oszczędnościami energetycznymi, zwiększoną efektywnością i poprawą wizerunku firmy poprzez zdobycie międzynarodowego certyfikatu ISO 50001.

DODATKOWE ASPEKTY

- Jeśli firma planuje rozszerzenie działalności, zwiększenie zużycia energii w przyszłości lub chce pozytywnie wyróżniać się na tle konkurencji, to wdrożenie SZE może przynieść więcej korzyści w dłuższym okresie.
- Jeśli firma znajduje się w sektorze, gdzie efektywność energetyczna i wizerunek ekologiczny mają duże znaczenie, na przykład w kontekście ubiegania się o kontrakty z większymi partnerami biznesowymi, **certyfikat ISO 50001** może dać przewagę konkurencyjną.

ANALIZA PORÓWNAWCZA

Kryterium	System Zarządzania Energią (SZE)	Audyt energetyczny przedsiębiorstwa
Częstotliwość działań	Ciągły proces zarządzania energią, monitoringu i optymalizacji.	Jednorazowa analiza z okresowym powtarzaniem, np. co 4 lata.
Wpływ na efektywność energetyczną	Długoterminowa poprawa efektywności dzięki ciągłemu monitoringowi i doskonaleniu procesów.	Tymczasowa poprawa efektywności w wyniku wdrożenia zaleceń audytowych.
Wpływ na emisję CO ₂	Redukcja śladu węglowego poprzez stałe zmniejszanie zużycia energii, co wspiera cele ESG firmy.	Tymczasowe zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, o ile zalecenia audytowe są wdrażane.
Koszty	Wyższe koszty początkowe wdrożenia, implementacji systemu i certyfikacji.	Niższe koszty przeprowadzenia – jednorazowy wydatek na audyt.
Wymagania techniczne i kadrowe	Wymaga wyspecjalizowanego personelu i dostosowania istniejących procedur (wymaga szkolenia pracowników).	Niższe wymagania kadrowe – wymaga zaangażowania personelu na czas audytu.
Możliwość integracji z innymi systemami	Możliwość integracji z innymi systemami zarządzania, np. jakością, BHP – co zwiększa kompleksowość zarządzania w firmie.	Brak integracji – jest to jednorazowa analiza, bez wdrażania systemowych procedur.
Certyfikat	Możliwość uzyskania certyfikatu ISO 50001, który świadczy o zaawansowanym zarządzaniu energią i zgodności z międzynarodowymi standardami.	Brak możliwości uzyskania certyfikatu; audyt jest jedynie raportem, bez certyfikacji.
Przydatność dla firm	Idealny dla firm, które chcą systematycznie poprawiać zarządzanie energią.	Idealny dla firm, które szukają szybkiej jednorazowej analizy – audyt daje wyniki i identyfikację obszarów do oszczędności energetycznych.
Korzyści	<ul style="list-style-type: none"> Długoterminowe oszczędności energii i kosztów operacyjnych. Stać kontrola i monitoring. Lepsza zgodność z przyszłymi regulacjami, gdyby przepisy w przyszłości wymagały od firm z określonego sektora wdrożenia SZE. Zwiększenie świadomości energetycznej w firmie. Zwiększenie konkurencyjności i atrakcyjności dzięki certyfikatowi ISO 50001. redukcja emisji CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> Szybka identyfikacja słabych punktów w zakresie zużycia energii i konkretne rekomendacje potencjalnych oszczędności, które można wdrożyć. Niskie koszty początkowe (w porównaniu z wdrożeniem systemu zarządzania energią). Pomaga w spełnieniu wymogów prawnych.
Wady	<ul style="list-style-type: none"> Wysokie koszty początkowe i inwestycje w infrastrukturę monitorującą. Ryzyko wysokich kosztów utrzymania systemu. Czasochłonność wdrożenia i konieczność ciągłego zarządzania. 	<ul style="list-style-type: none"> Brak długoterminowego zarządzania energią. Audyt to jednorazowa analiza. Konieczność powtarzania audytu dla aktualizacji danych. Ograniczone możliwości do generowania długoterminowych korzyści ESG oraz monitorowania wpływu na ślad węglowy organizacji.

**ZUŻYCIE
ENERGII
ROCZNIE
> 85 TJ**

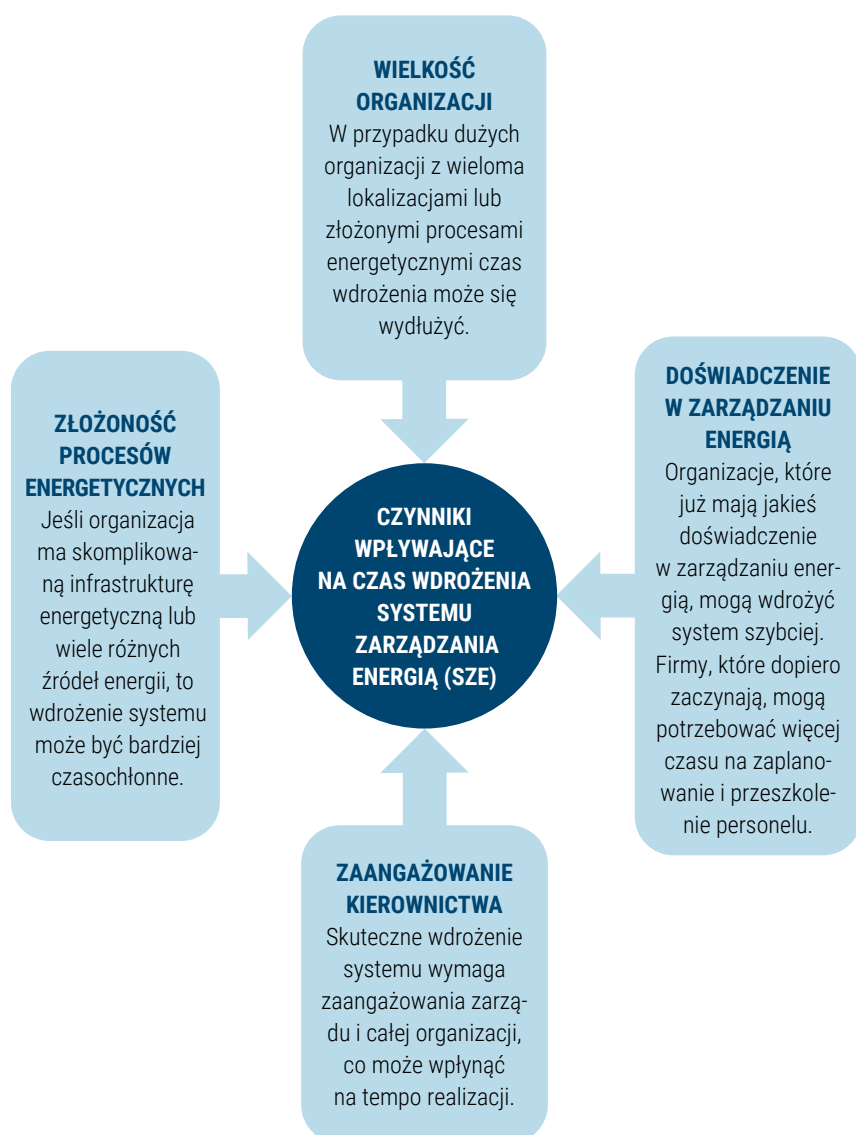
Przedsiębiorstwa, które przekraczają zużycie energii na poziomie 85 TJ/rok (23,61 GWh), to głównie duże zakłady przemysłowe z branż, które mają największy wpływ na krajowe zużycie energii i emisję gazów cieplarnianych. Są to m.in. następujące branże: przemysł hutniczy i stalowy, chemiczny, cementowy, papierniczy i celulozowy, petrochemiczny i rafineryjny, szklarski i ceramiczny, a także często spożywczy czy branża transportowa i logistyka.

Na mocy dyrektywy 2023/1791 takie przedsiębiorstwa zobowiązane będą do:

- 1. wdrożenia systemu zarządzania energią**, który umożliwi im systematyczne monitorowanie, analizowanie i optymalizowanie zużycia energii. Zgodnie z dyrektywą organizacje muszą przyjąć system, który umożliwi im osiągnięcie długoterminowych oszczędności energetycznych i minimalizowanie wpływu na środowisko;
- 2. certyfikacji systemu zarządzania energią** przez jednostkę certyfikującą, np. zgodnie z normą ISO 50001;
- 3. raportowania wyników** – firmy muszą regularnie raportować wyniki swoich działań w zakresie zarządzania energią oraz dostosowywać swoje systemy do zmieniających się przepisów i celów związanych z efektywnością energetyczną.

WDRÓŻENIE I CERTYFIKACJA SZE

Wdrożenie i certyfikacja systemu zarządzania energią zgodnie z normą ISO 50001 w przypadku średniej wielkości przedsiębiorstwa zazwyczaj trwa od 6 do 18 miesięcy i zależy od liczby lokalizacji, infrastruktury technicznej, dostępności zasobów w firmie oraz gotowości przedsiębiorstwa do wprowadzenia zmian.



Koszt wdrożenia i certyfikacji systemu zarządzania energią ISO 50001 w organizacji może wynieść od kilku do kilkuset tysięcy złotych w zależności od rozmiaru i złożoności organizacji. Choć początkowa inwestycja może być znacząca, korzyści w postaci oszczędności energetycznych, poprawy efektywności oraz lepszego wizerunku organizacji często szybko rekompensują poniesione koszty.

ETAPY WDRÓŻENIA SZE I ICH CZASOCHŁONNOŚĆ

Wdrożenie systemu zarządzania energią według normy ISO 50001 wymaga przejścia przez kilka kluczowych etapów:

1. PLANOWANIE I PRZYGOTOWANIE (1–3 MIESIĘCY)

- **Analiza wstępna:** określenie zakresu systemu, identyfikacja kluczowych obszarów zużycia energii, przegląd obecnych działań związanych z zarządzaniem energią.
- **Szkolenia i zespół projektowy:** wyznaczenie osób odpowiedzialnych za wdrożenie systemu, przeszkolenie personelu w zakresie wymagań normy ISO 50001.
- **Wstępna ocena energetyczna:** wykonanie audytu energetycznego, który pozwala na identyfikację obszarów do poprawy oraz na ustalenie celów efektywności energetycznej.

2. WDRÓŻENIE SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ (3–9 MIESIĘCY)

- **Projektowanie systemu:** opracowanie polityki zarządzania energią, ustalenie celów efektywności energetycznej, wskazanie wskaźników (KPI) monitorujących postępy.
- **Dokumentacja i procedury:** opracowanie dokumentacji, procedur operacyjnych, planów działań, jak również ustalenie ról i odpowiedzialności w organizacji.
- **Implementacja:** wdrażanie zaplanowanych działań, takich jak optymalizacja zużycia energii, modernizacja infrastruktury, wprowadzenie systemów monitorowania.
- **Wykonywanie audytów wewnętrznych:** regularne przeprowadzanie audytów energetycznych wewnętrznych, aby ocenić efektywność wdrożonych działań i dostosować plany do zmieniających się warunków.

3. PRZYGOTOWANIE DO CERTYFIKACJI (3–6 MIESIĘCY)

- **Przygotowanie do audytu zewnętrznego:** audyt wewnętrzny oraz przeprowadzenie wewnętrznego przeglądu systemu zarządzania energią. Sprawdzenie, czy system spełnia wszystkie wymagania ISO 50001.
- **Poprawki i optymalizacja:** w przypadku wykrycia niedociągnięć lub obszarów do poprawy organizacja ma czas na wprowadzenie korekt w systemie.

4. CERTYFIKACJA (1–2 MIESIĄCE)

- **Audyt zewnętrzny:** na tym etapie organizacja zleca audyt zewnętrzny przeprowadzany przez jednostkę certyfikującą. Audytorzy sprawdzają, czy wdrożony system zarządzania energią spełnia wymagania normy ISO 50001.
- **Uzyskanie certyfikatu:** po pozytywnym wyniku audytu zewnętrznego organizacja otrzymuje certyfikat ISO 50001, który jest ważny przez określony czas (zwykle 3 lata). W trakcie tego okresu organizacja musi przeprowadzać audyty okresowe.

WDROŻENIE SZE PRZYCYNIA SIĘ DO REDUKCJI EMISJI CO₂



Wdrożenie standardu ISO 50001 ma bezpośredni wpływ na redukcję emisji CO₂ w organizacji. Poprzez lepsze zarządzanie energią i optymalizowanie procesów energetycznych organizacje mogą znacznie zmniejszyć swoje zużycie energii, co z kolei prowadzi do redukcji emisji gazów cieplarnianych (GHG), w tym CO₂.

PRZYKŁADY, JAK WDROŻENIE SZE PRZYCYNIA SIĘ DO REDUKCJI CO₂

- **Optymalizacja zużycia energii** – ISO 50001 wymaga identyfikacji obszarów o największym zużyciu energii, co pozwala na opracowanie strategii ich optymalizacji. Przykładem mogą być modernizacje instalacji, automatyzacja procesów oraz efektywne zarządzanie oświetleniem i ogrzewaniem, co zmniejsza zapotrzebowanie na energię i obniża emisję GHG.
- **Promowanie efektywności energetycznej** – ISO 50001 wspiera kulturę oszczędności energii i podnosi świadomość pracowników w zakresie oszczędzania energii, co pozytywnie wpływa na zmniejszenie emisji.
- **Monitorowanie i kontrola** – standard wymaga regularnego monitorowania i raportowania zużycia energii, co umożliwia szybką identyfikację wszelkich strat energii oraz podejmowanie działań zapobiegawczych. Zmniejsza to nadmierne emisje związane z nieefektywnym zużyciem energii.

- **Inwestycje w odnawialne źródła energii** – organizacje wdrażające ISO 50001 często decydują się na inwestycje w odnawialne źródła energii (np. instalacje fotowoltaiczne), co prowadzi do znacznej redukcji emisji CO₂.
- **Ciągłe doskonalenie** – ISO 50001 wymaga regularnych przeglądów i aktualizacji systemu zarządzania energią, co sprawia, że organizacje stale pracują nad poprawą efektywności energetycznej, a to prowadzi do dalszej redukcji emisji CO₂.

WDROŻENIE ISO 50001 WSPIERA REALIZACJĘ CELÓW ESG



Standard ISO 50001 zdecydowanie wspiera cele ESG (Environmental, Social, Governance), w szczególności te związane z ochroną środowiska, przez poprawę efektywności energetycznej, redukcję emisji oraz odpowiedzialne zarządzanie zasobami.

Wdrożenie standardu ISO 50001 przynosi nie tylko korzyści operacyjne, ale również wzmacnia zaufanie interesariuszy i pozycję organizacji w zakresie zrównoważonego rozwoju i odpowiedzialności społecznej.

JAK WDROŻENIE ISO 50001 WSPIERA POSZCZEGÓLNE ELEMENTY ESG

ŚRODOWISKO (E)	SPOŁECZEŃSTWO (S)	LAD KORPORACYJNY (G)
<p>1. Redukcja emisji CO₂ – poprzez poprawę efektywności energetycznej i obniżenie zużycia energii organizacje zmniejszają swój ślad węglowy, co przekłada się na pozytywny wpływ na środowisko i realizację celów klimatycznych.</p> <p>2. Oszczędność zasobów – optymalizacja zużycia energii oznacza lepsze wykorzystanie zasobów, co przyczynia się do zrównoważonego rozwoju.</p> <p>3. Promowanie odnawialnych źródeł energii – standard ISO 50001 sprzyja inwestycjom w odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna, wiatrowa czy geotermalna, co zmniejsza zależność od paliw kopalnych i wspiera cele środowiskowe.</p>	<p>1. Podnoszenie świadomości pracowników – ISO 50001 angażuje pracowników w działania na rzecz efektywności energetycznej i zrównoważonego rozwoju, zwiększając ich świadomość ekologiczną i odpowiedzialność.</p> <p>2. Poprawa warunków pracy – wdrażanie działań mających na celu oszczędzanie energii, takich jak optymalizacja oświetlenia czy klimatyzacji, może pozytywnie wpłynąć na komfort pracy.</p> <p>3. Zaangażowanie społeczności – organizacje stosujące ISO 50001 często wdrażają programy społecznościowe związane z ochroną środowiska, co może pozytywnie wpłynąć na relacje z lokalną społecznością i budować zaufanie.</p>	<p>1. Przejrzystość i odpowiedzialność – ISO 50001 wymaga monitorowania, raportowania i audytowania wyników energetycznych, co sprzyja lepszej przejrzystości działań i rozliczalności w zakresie zarządzania energią.</p> <p>2. Redukcja ryzyk związanych z przepisami – dążenie do poprawy efektywności energetycznej i redukcji emisji wspiera zgodność z rosnącymi wymaganiami prawnymi dotyczącymi raportowania ESG i polityk klimatycznych, co zmniejsza ryzyko związane z regulacjami.</p> <p>3. Długoterminowa strategia – ISO 50001 promuje wdrażanie planów długoterminowych związanych z energią, co jest spójne z podejściem ESG.</p>



**ZAPEWNIJ
CIĄGŁOŚĆ
DZIAŁANIA
Z UDT-CERT**



Literatura:

1. Ustawa z dnia 20 maja 2016 o efektywności energetycznej (tekst jedn. Dz.U. z 2024, poz. 1047).
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955 (wersja przekształcona).
3. Zalecenie Komisji (UE) 2024/2002 z dnia 24 lipca 2024 r. ustanawiające wytyczne dotyczące interpretacji art. 11 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 w odniesieniu do systemów zarządzania energią i audytów energetycznych.
4. PN-EN 16247-1 Audyty energetyczne Część 1: Wymagania ogólne.

CYBERBEZPIECZEŃSTWO W DŹWIGACH



MGR INŻ. PAWEŁ RAJEWSKI

Ekspert Urzędów Transportu Bliskiego
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego

Krajowy ekspert techniczny w Grupach Roboczych ds. Dyrektywy Maszynowej 2006/42/WE przy Komisji Europejskiej – Machinery Working Group oraz ds. Harmonizacji Technicznej przy Radzie Unii Europejskiej - WG Technical Harmonisation (Machinery). Ekspert techniczny w Europejskiej Koordynacji Jednostek Notyfikowanych do Dyrektywy Maszynowej 2006/42/WE – European Coordination Notified Bodies for Machinery (NB-MA) oraz Dźwigowej 2014/33/UE – Notified Bodies for Lifts (NB-L).

Nowe rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) w sprawie maszyn 2023/1230 (tzw. MR) [1] oraz rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2847 w sprawie horyzontalnych wymagań w zakresie cyberbezpieczeństwa (tzw. CRA Cyber Resilience Act) [2] determinują wprowadzenie zmian w normalizacji. Również wpływają na konieczność opracowania dobrych praktyk (rekommendacji) przez jednostki notyfikowane oceniające zgodność z zasadniczymi wymaganiami dyrektywy dźwigowej 2014/33/UE.



Z zasadniczych wymagań dyrektywy dźwigowej 2014/33/UE [3] zawartych w pkt 1.1 Stosowanie dyrektywy 2006/42/WE [4] wynika, że w przypadku gdy istnieje określone ryzyko nieopisane w dyrektywie dźwigowej, zastosowanie mają zasadnicze wymagania w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa zawarte w załączniku I do dyrektywy 2006/42/WE. Ponadto zasadnicze wymagania w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa określone w pkt 1.1.2 **Zasady bezpieczeństwa kompleksowego** załącznika I do dyrektywy 2006/42/WE mają zastosowanie w każdym przypadku.

Wiele wymagań zasadniczych w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa zawartych w dyrektywie maszynowej zostało włączonych do dyrektywy w sprawie dźwigów. Odpowiednie wymagania załącznika I dyrektywy maszynowej są obowiązkowe w przypadku dźwigów lub elementów bezpieczeństwa do dźwigów, a zgodność z tymi wymaganiami należy sprawdzić podczas odpowiedniej procedury oceny zgodności dyrektywy w sprawie dźwigów.

Niektóre z wymagań zasadniczych w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa zawartych w dyrektywie maszynowej mają ogólne zastosowanie do dźwigów. Poniżej podanych jest kilka przykładów.

- **Bezpieczeństwo kompleksowe (1.1.2 MD Zasady bezpieczeństwa kompleksowego)**
- **Kontakt z elementami ruchomymi (1.3.7 MD Ryzyko związane z częściami ruchomymi, 1.3.8 Dobór ochrony przed ryzykiem powodowanym przez części ruchome)**
- **Wyposażenie elektryczne (1.5.1 MD Zasilanie energią elektryczną)**
- **Dokładność zatrzymania (1.5.15 MD Ryzyko związane z poślizgnięciem się, potknięciem lub upadkiem)**
- **Konserwacja (1.6 MD Konserwacja maszyn)**

1.1.9 Zabezpieczenie przed uszkodzeniem

„Maszynę lub produkt powiązany należy zaprojektować i wytworzyć tak, aby połączenie z nimi innego urządzenia, za pośrednictwem dowolnej funkcji samego urządzenia połączonego lub za pośrednictwem dowolnego urządzenia zdalnego, które utrzymuje łączność z maszyną lub produktem powiązany, nie prowadziło do sytuacji zagrożenia [...]”.

Bezpieczeństwo i niezawodność układów sterowania

„[...] Układy sterowania muszą być zaprojektowane i wytwarzane tak, aby: mogły wytrzymać, stosownie do okoliczności i ryzyka, przewidywane obciążenia podczas pracy oraz zamierzone i niezamierzone oddziaływanie czynników zewnętrznych, w tym racjonalnie przewidywalne próby doprowadzenia do sytuacji zagrożenia podejmowane w złym zamiarze przez strony trzecie;

[...]

d) wartości graniczne dla funkcji bezpieczeństwa stanowiły część oceny ryzyka przeprowadzanej przez producenta, bez możliwości zmian ustawień lub zasad generowanych przez maszynę lub produkt powiązany lub przez operatorów, w tym w fazie uczenia się maszyny lub produktu powiązanego, jeżeli takie zmiany mogą prowadzić do powstania sytuacji zagrożenia;

[...]

f) rejestrowanie danych wygenerowanych w związku z ingerencją oraz danych dotyczących wersji oprogramowania realizującego funkcję bezpieczeństwa zainstalowanego po wprowadzeniu maszyny lub produktu powiązanego do obrotu lub oddaniu ich do użytku było możliwe przez okres pięciu lat od daty instalacji, wyłącznie w celu wykazania zgodności maszyny lub produktu powiązanego z niniejszym załącznikiem na uzasadniony wniosek właściwego organu krajowego

[...]

c) w każdej chwili możliwe było skorygowanie maszyny lub produktu powiązanego w celu utrzymania ich inherentnego bezpieczeństwa”.

W konsekwencji zaistniałych zmian po opublikowaniu CRA, tzn. w związku z:

- wejściem w życie 10 grudnia 2024 r.,
- koniecznością stosowania wymagań oceny zgodności (notyfikacja) od 11 czerwca 2026 r.,
- koniecznością stosowania obowiązku raportowania od 11 września 2026 r.,
- obowiązkiem stosowania od 11 grudnia 2027 r.

niezbędne jest wprowadzenie określonych zmian m.in. w normalizacji oraz przygotowaniu się jednostek notyfikowanych do oceny zgodności dźwigów z uwzględnieniem CRA.

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO opublikowała nową normę ISO 8102-20:2022 Electrical requirements for lifts, escalators and moving walks Part 20: Cybersecurity [5] dotyczącą cyberbezpieczeństwa.

Wraz ze wzrostem liczby zastosowań zdalnych i internetu rzeczy (Internet of things IoT) w dźwigach, schodach ruchomych i chodnikach ruchomych jest to jak najbardziej odpowiedni czas na wydanie standardu w zakresie cyberbezpieczeństwa. Nowa norma w dużej mierze opiera się na serii norm IEC 62443 Industrial Communication Networks – Networks and System Security [6] i zawiera wiele odniesień do nich.



Norma ISO 8102-20:2022 określa wymagania cyberbezpieczeństwa dla nowych dźwigów, schodów ruchomych i chodników ruchomych, określanych w niniejszym dokumencie jako „sprzęt pod kontrolą (EUC Equipment under control)”, zaprojektowany zgodnie z serią norm dźwigowych ISO 8100.

Norma ma również zastosowanie do innych norm dotyczących dźwigów, schodów ruchomych i chodników ruchomych, które określają podobne wymagania, a także do innego sprzętu związanego z dźwigami podłączonego do EUC.

W normie ISO 8102-20:2022 określono wymagania dotyczące produktów i systemów związanych z zagrożeniami cyberbezpieczeństwa podczas projektowania produktu (wymagania dotyczące procesu i produktu), produkcji, instalacji, eksploatacji i konserwacji oraz likwidacji.

Norma definiuje również wymagania dla dostawcy produktu i integratora systemów EUC w celu stworzenia dokumentacji umożliwiającej właścicielowi osiągnąć i utrzymać bezpieczeństwo EUC.

Określono w normie minimalne wymagania cyberbezpieczeństwa dla podstawowych funkcji bezpieczeństwa oraz funkcji alarmowych. Norma ISO 8102-20:2022 ma zastosowanie do EUC, które mogą łączyć się z systemami zewnętrznymi, takimi jak sieci budynkowe, usługi w chmurze lub narzędzia serwisowe. Możliwość podłączenia może wynikać ze sprzętu stale dostępnego na miejscu lub sprzętu tymczasowo dostarczonego na miejsce na etapie instalacji, obsługi i konserwacji lub wycofania z eksploatacji.



Norma określa minimalne wymagania cyberbezpieczeństwa dla funkcji:

- **zasadniczych (użytkowanie dźwigów, schodów ruchomych lub chodników ruchomych),**
- **bezpieczeństwa (dla ochrony przed niebezpieczeństwem),**
- **alarmowych (uruchomienie alarmu i nawiązanie łączności ze służbami ratowniczymi w przypadku awarii).**

Norma ISO 8102-20:2022 ma trzy poziomy bezpieczeństwa. W przypadku funkcji bezpieczeństwa należy zastosować ścisły poziom bezpieczeństwa 3, w przypadku funkcji alarmowych wystarczający jest poziom bezpieczeństwa 1.

W projekcie normy EN ISO 8100-1:2019 [7] jest odniesienie do ISO 8102-20:2022 co wskazuje, że zasadnicze wymagania zawarte w 1.1.9 i 1.2.1 MR są częściowo już uwzględnione. Poniżej fragment załącznika ZA.3.

Table ZA.3 — Correspondence between this European Standard and Annex I of EU Regulation 2023/1230

Essential health and safety requirements of Annex I to Directive 2006/42/EC	Clause(s)/sub-clause(s) of this EN	Remarks/Notes
1.1.2 (a)	4.5.6	
1.1.9	Clause referencing ISO 8102-20, clause 5 Clause of ISO 8100-1 having requirements for "easily accessible six identification"	
1.2.1	4.9.2.2.2.3 a), 4.9.2.5, 4.9.3.4, 4.10.3, 4.11, 4.12, Annex A	1



WNIOSKI WYNIKAJĄCE Z CEN/TC10/WG1 LIFTS AND SERVICE LIFTS

- proponowane działania i modyfikacje projektu normy EN ISO 8100-1:2019 wraz z wymaganiami pochodzącymi z ISO 8102-20:2022 mogą obejmować nowe zasadnicze wymagania dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa MR 2023/1230 zawarte w 1.1.2, 1.1.9 i 1.2.1.

WNIOSKI WYNIKAJĄCE Z ISO/TC178/WG12 LIFTS, ESCALATORS AND MOVING WALKS. CYBERSECURITY:

- publikacja ustawy Cyber Resilience Act (CRA) w 2024 r. spowoduje konieczność określenia wymagań dotyczących pełnego cyklu życia produktu. Spełnienie wymagań CRA będzie determinowało wprowadzenie zmian w aktualnej rewizji normy ISO 8102-20:2022

WNIOSKI WYNIKAJĄCE Z COORDINATION OF NOTIFIED BODIES FOR LIFTS (NB-L)/CYBERSECURITY GROUP

- opracowanie rekomendacji dotyczącej podejścia Jednostek Notyfikowanych podczas oceny zgodności dźwigów dla określonych procedur zawartych w dyrektywie dźwigowej 2014/33/UE

Literatura:

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/ z dnia 14 czerwca 2023 r. w sprawie maszyn oraz w sprawie uchylenia dyrektywy 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady i dyrektywy Rady 73/361/EWG
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2847 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie horyzontalnych wymagań w zakresie cyberbezpieczeństwa w odniesieniu do produktów z elementami cyfrowymi oraz w sprawie zmiany rozporządzeń (UE) nr 168/2013 i (UE) 2019/1020 i dyrektywy (UE) 2020/1828 (akt o cyberodporności) (Tekst mający znaczenie dla EOG)
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/33/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich dotyczących dźwigów i elementów bezpieczeństwa do dźwigów Tekst mający znaczenie dla EOG
- L15720060609pl00240086.pdf
- ISO 8102-20:2022 Electrical requirements for lifts, escalators and moving walks Part 20: Cybersecurity
- Seria IEC 62443 Industrial Communication Networks – Networks and System Security
- EN ISO 8100-1:2019 Lifts for the transport of persons and goods Part 1: Safety rules for the construction and installation of passenger and goods passenger lifts



KONSERWACJA PREDYKCYJNA Z WYKORZYSTANIEM AI W BRANŻY DŹWIGOWEJ



MGR INŻ. GRZEGORZ BACA

Starszy Specjalista
Urządzeń Transportu Bliskiego
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Krakowie

W odpowiedzi na wciąż nowe wyzwania pojawia się konserwacja predykcyjna, wspierana przez zaawansowane technologie, takie jak sztuczna inteligencja (AI).

W tym artykule przedstawiamy, jak AI rewolucjonizuje konserwację dźwigów osobowych, podnosząc ich niezawodność, efektywność oraz poziom bezpieczeństwa użytkowników.

W numerze 2/2024 INSPEKTORA zaprezentowaliśmy różnorodne obszary, w których sztuczna inteligencja może być wykorzystywana, od monitorowania bezpieczeństwa po optymalizację procesów konserwacji i predykcji awarii.

W dobie dynamicznie rozwijających się technologii sektor budowlany i infrastruktura miejskich budynków ulegają znaczącej transformacji. Jednym z kluczowych elementów nowoczesnych obiektów są dźwigi osobowe, które umożliwiają szybki i bezpieczny transport osób pomiędzy piętrami. W obliczu rosnącej liczby budynków wysokościowych, jak również coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań technicznych, odpowiednie utrzymanie tych urządzeń staje się priorytetem. Tradycyjne podejście do konserwacji dźwigów, oparte na planowanych przeglądach i naprawach reaktywnych, staje się niewystarczające.

Wykorzystując AI (ang. Artificial Intelligence), dążymy do stworzenia maszyn, które mogą myśleć, uczyć się, planować, rozumieć język naturalny i podejmować decyzje na podstawie analizy danych, podobnie jak czynią to ludzie.

Dźwigi osobowe są nieodłącznym elementem współczesnych budynków mieszkalnych, biurowych oraz obiektów użyteczności publicznej. Wraz z rosnącą urbanizacją i trendem budowania wieżowców ich rola staje się jeszcze bardziej kluczowa. Umożliwiają wygodny transport między piętrami, a ich sprawne funkcjonowanie jest niezbędne dla komfortu i bezpieczeństwa mieszkańców oraz użytkowników budynków.

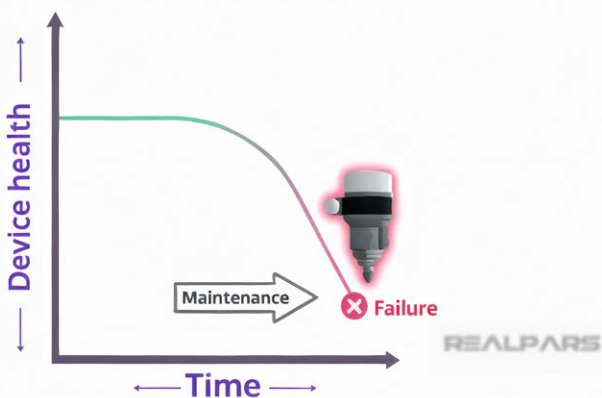
Jednakże, jak każde urządzenie, dźwigi są narażone na zużycie i awarie, które mogą prowadzić do poważnych problemów, takich jak przestoje, wysokie koszty napraw, a w skrajnych przypadkach – zagrożenie dla zdrowia i życia użytkowników. Właśnie dlatego odpowiednia konserwacja tych urządzeń ma kluczowe znaczenie.

KONSERWACJA REAKTYWNA I JEJ OGRANICZENIA

Przez wiele lat standardem w konserwacji dźwigów była **konserwacja reaktywna**. Polegała ona na interwencjach serwisowych w momencie, gdy awaria już wystąpiła (rys. 1).

To podejście było skuteczne w przypadku prostszych urządzeń, jednak w miarę jak dźwigi stawały się bardziej zaawansowane technologicznie, jego wady stawały się coraz mocniej widoczne. Przestoje związane z nieplanowanymi naprawami, a także wysokie koszty usuwania skutków awarii były poważnym problemem. Awarie dźwigów prowadziły do istotnych przestoїв, które są kosztowne zarówno dla zarządców budynków, jak i dla użytkowników. Częste usterki wpływały też negatywnie na reputację budynków, zwłaszcza w przypadku obiektów biurowych, gdzie każda minuta przestoju ma wymierne konsekwencje finansowe.

Bez dźwigów osobowych trudno dziś wyobrazić sobie nowoczesne budownictwo. Transport osób w budynkach to ogromna dziedzina badań, rozwoju, przemysłu i usług. Urządzenia te od dawna już funkcjonują z wykorzystaniem osiągnięć cyfryzacji i wsparcia IT. Obecnie wkraczamy w świat sztucznej inteligencji, która wesprze projektantów, wytwórców, serwisantów i samych użytkowników, by te urządzenia coraz lepiej spełniały swoje funkcje. Wśród nich istotne miejsce zajmują komfort i dostępność, efektywność energetyczna, bezpieczeństwo, estetyka i design.

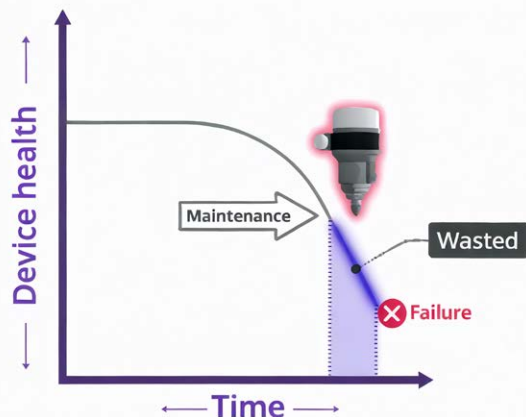
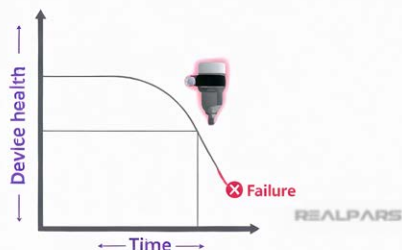


Rys. 1. Zmiany poprawnego działania urządzenia w czasie aż do awarii [1]

KONSERWACJA PLANOWANA JAKO KROK NAPRZÓD

Kolejnym krokiem w rozwoju metod utrzymania dźwigów była **konserwacja planowana** (rys. 2).

W tym modelu serwisowanie odbywa się według ustalonego harmonogramu, na przykład co kilka miesięcy, niezależnie od faktycznego stanu technicznego urządzenia. Choć podejście to zmniejszyło ryzyko nagłych awarii, nie rozwiązało problemu nadmiernych kosztów – część działań serwisowych była bowiem wykonywana zbyt wcześnie, a inne – zbyt późno.

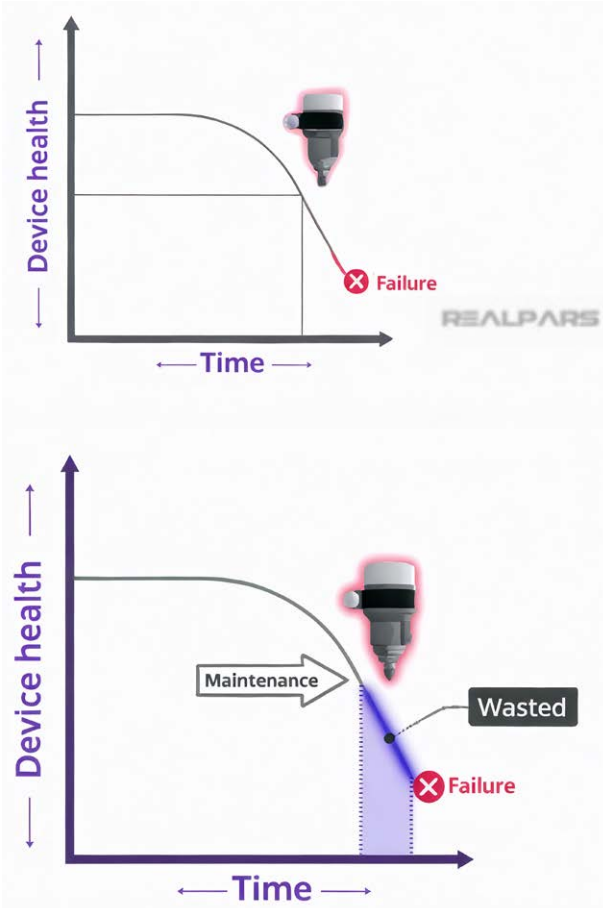


Rys. 2. Zaplanowanie i przeprowadzenie konserwacji/naprawy urządzenia na długo przed punktem awarii [1]

KONSERWACJA PREDYKCYJNA JAKO NOWOŚĆ I PRZYSZŁOŚĆ DZIĘKI AI

W odpowiedzi na potrzeby optymalizacji procesów konserwacyjnych pojawiła się **konserwacja predykcyjna** (rys. 3).

Wykorzystując zaawansowane technologie, takie jak AI i internet rzeczy (IoT), konserwacja predykcyjna umożliwia prognozowanie potencjalnych usterek na podstawie danych zebranych w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie interwencji serwisowych dokładnie wtedy, gdy są one potrzebne, co minimalizuje koszty i przestoje.



Rys. 3. Konserwacja predykcyjna i przeprowadzenie interwencji serwisowych w czasie dokładnym [1]

ROLA AI W KONSERWACJI PREDYKCYJNEJ DŹWIGÓW OSOBOWYCH

Zbieranie danych i IoT

Podstawą konserwacji predykcyjnej jest zbieranie danych z licznych czujników zamontowanych w instalacji dźwigowej. Współczesne dźwigi są wyposażone w zaawansowane sensory monitorujące kluczowe parametry pracy, takie jak prędkość, wibracje, temperatura silnika, napięcie lin/pasów nośnych, ciśnienie hydrauliczne, a także cykle otwierania i zamykania drzwi. Te dane są następnie przesyłane do chmury za pośrednictwem technologii internetu rzeczy (IoT, ang. Internet of Things) i mogą być analizowane w czasie rzeczywistym.

Wprowadzenie sztucznej inteligencji (AI) do branży dźwigowej przynosi za sobą nowe możliwości i wyzwania, które zmieniają sposób, w jaki projektowane są dźwigi oraz jak są eksploatowane.



Uczenie maszynowe i modelowanie

Zgromadzone dane są przetwarzane przez zaawansowane algorytmy uczenia maszynowego, które identyfikują wzorce wskazujące na potencjalne problemy. Na przykład stopniowe zmiany wibracji mogą sygnalizować zużycie łożysk, a wydłużający się czas zamykania drzwi może sugerować awarię napędu drzwi. W miarę jak AI uczy się na podstawie historycznych danych, staje się coraz bardziej precyzyjne w przewidywaniu przyszłych awarii.

Prognozowanie i planowanie serwisów

Jednym z kluczowych atutów AI w konserwacji predykcyjnej jest zdolność do prognozowania awarii i planowania serwisów z wyprzedzeniem. Dzięki analizie danych historycznych oraz bieżących AI jest w stanie określić, kiedy dany element dźwigu będzie wymagał interwencji. Pozwala to na optymalne planowanie prac serwisowych, minimalizując ryzyko przestoju i maksymalizując efektywność operacyjną.

Automatyzacja i zdalne zarządzanie

AI w połączeniu z nowoczesnymi systemami zdalnego monitorowania umożliwia zarządzanie dźwigami w sposób zautomatyzowany. Serwisanci mogą otrzymywać natychmiastowe powiadomienia o wykrytych nieprawidłowościach, co umożliwia szybką reakcję. W niektórych przypadkach problemy mogą być rozwiązywane zdalnie, na przykład poprzez resetowanie systemów sterowania, co dodatkowo redukuje czas przestoju i koszty napraw.

KORZYŚCI Z ZASTOSOWANIA AI W KONSERWACJI DŹWIGÓW

Zwiększona niezawodność i bezpieczeństwo

Dzięki predykcyjnej konserwacji wspieranej przez AI dźwigi stają się bardziej niezawodne i bezpieczne. Przewidując awarie i minimalizując przestoje, użytkownicy mogą być pewni, że dźwigi będą działały sprawnie przez cały czas. Ma to szczególne znaczenie w budynkach, gdzie awaria dźwigu mogłaby spowodować poważne zakłócenia w codziennym funkcjonowaniu lub stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi.

Oszczędność kosztów operacyjnych

Wdrożenie systemów AI wiąże się z początkowymi inwestycjami, jednak długoterminowe oszczędności mogą być znaczące. Dzięki precyzyjnemu planowaniu serwisów oraz eliminacji niepotrzebnych interwencji koszty utrzymania dźwigów mogą być mocno zredukowane. Ponadto unikanie kosztownych napraw oraz zmniejszenie liczby przestoju przekłada się na wyższy poziom zadowolenia użytkowników.



Integracja AI z systemami zarządzania budynkami (BMS)

Konserwacja predykcyjna z wykorzystaniem AI nie działa w izolacji. Nowoczesne dźwigi są często integrowane z systemami zarządzania budynkami (BMS, ang. Building Management System), co umożliwia pełną synchronizację wszystkich systemów budynku. Dzięki temu dane z dźwigów mogą być analizowane w kontekście innych elementów infrastruktury, co pozwala na jeszcze dokładniejsze prognozowanie i optymalizację działań serwisowych. Na przykład zużycie dźwigów może być analizowane w kontekście obciążenia budynku, co pozwala na lepsze zarządzanie całą infrastrukturą.



Efektywne zarządzanie zasobami serwisowymi

AI umożliwia lepsze zarządzanie zasobami serwisowymi, optymalizując harmonogramy pracy techników oraz minimalizując konieczność interwencji w terenie. Dzięki temu zespoły serwisowe mogą skupić się na naprawach, które są naprawdę konieczne. Zwiększa to ich produktywność i pozwala na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów.

Poprawa komfortu użytkownika

Dla pasażerów dźwigów kluczowe znaczenie ma ich niezawodność i dostępność. Dzięki konserwacji predykcyjnej czas, w którym dźwigi są wyłączone z użytku, jest minimalizowany. Przekłada się to na wyższy poziom komfortu i satysfakcji użytkowników. Dodatkowo systemy monitorowania mogą być zintegrowane z aplikacjami mobilnymi, umożliwiając użytkownikom sprawdzanie statusu dźwigu w czasie rzeczywistym.

WYZWANIA ZWIĄZANE Z WDROŻENIEM KONSERWACJI PREDYKCYJNEJ

Koszty wdrożenia

Pierwszym i najbardziej oczywistym wyzwaniem są koszty wdrożenia. Zainstalowanie czujników, uruchomienie systemu analizy danych i szkolenie personelu mogą wymagać znacznych nakładów finansowych. Niemniej jednak inwestycja ta zazwyczaj zwraca się w dłuższej perspektywie.

Integracja z istniejącymi systemami

W wielu starszych budynkach dźwigi działają z wykorzystaniem starszych technologii. Integracja nowych systemów konserwacji predykcyjnej z istniejącą infrastrukturą może być skomplikowana i wymagać modyfikacji.



Zarządzanie danymi

Zbieranie, przechowywanie i analiza dużych ilości danych to kolejne wyzwania. Wymaga nie tylko odpowiedniego oprogramowania, ale również zapewnienia bezpieczeństwa danych, zwłaszcza w kontekście ochrony przed cyberzagrożeniami.

Wymagania dotyczące kwalifikacji personelu

Obsługa zaawansowanych systemów konserwacji predykcyjnej wymaga odpowiednio przeszkolonego personelu. Wprowadzenie nowych technologii wiąże się z koniecznością regularnych szkoleń i podnoszenia kwalifikacji pracowników.

PRZYSZŁOŚĆ BRANŻY DŹWIGOWEJ

Zastosowanie AI w konserwacji predykcyjnej dźwigów osobowych jest tylko jednym z wielu przykładów, jak technologia zmienia tradycyjne branże. W miarę jak systemy AI będą się rozwijać, możemy spodziewać się jeszcze bardziej zaawansowanych rozwiązań, które będą w stanie przewidywać nie tylko awarie, ale także optymalizować całą eksploatację dźwigów, uwzględniając takie czynniki, jak wzorce użytkowania, warunki atmosferyczne czy specyficzne wymagania budynków.

Konserwacja predykcyjna z wykorzystaniem AI to przyszłość branży dźwigowej. Zwiększa niezawodność, obniża koszty i poprawia bezpieczeństwo, co sprawia, że jest coraz częściej wdrażana w nowoczesnych budynkach na całym świecie. Dzięki niej dźwigi stają się nie tylko bardziej inteligentne, ale przede wszystkim bardziej niezawodne, co jest kluczowe w zapewnieniu komfortu i bezpieczeństwa ich użytkownikom.

Poprzez wykorzystanie AI dźwigi mogą być bardziej efektywne, elastyczne i dostosowane do zmieniających się warunków użytkowania, co przekłada się na zwiększenie bezpieczeństwa oraz poprawę efektywności energetycznej.

KONSULTACJA MERYTORYCZNA:

MGR INŻ. PAWEŁ RAJEWSKI
Ekspert Urzędów Technicznych
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego

Literatura:

1. Predictive Maintenance Explained, 2023 RealPars B.V., <https://www.realpars.com/blog/predictive-maintenance> [dostęp: 11.2024]
2. R. Bellman, „The Rationale for AI in Diverse Application Areas,” in Artificial Intelligence, vol. 173, no. 18, pp. 1301-1304, October 2009. DOI: 10.1016/j.artint.2009.07.001.
3. S. Russell and P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed., Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2020.
4. European Commission, „New Machinery Regulation,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/growth/sectors/mechanical-engineering/machinery_en. [dostęp: 04.2024].

Obrazy w artykule powstały z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.

BEZPIECZEŃSTWO URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH

Forum Jednostek Oceny Zgodności do dyrektyw 2014/68/UE i 2014/29/UE
(CABF PED/SPVD – Conformity Assessment Bodies Forum
on Council Directives 2014/68/EU and 2014/29/EU)



Zasady działania Forum Jednostek Oceny Zgodności
do dyrektyw 2014/68/UE i 2014/29/UE



MGR INŻ. SYLWERIUSZ BRZUSKA

Ekspert ds. Oceny Zgodności
Departament Certyfikacji
i Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego

Ekspert techniczny wspierający przedstawiciela MRiT
w Grupie Roboczej „Ciśnienie” przy Komisji Europejskiej
(WGP – Working Group „Pressure”) oraz w Grupie Roboczej „Wytyczne”
(WPG – Working Party on Guidelines).
Ekspert techniczny reprezentujący UDT w pracach Forum Jednostek
Oceny Zgodności do dyrektyw 2014/68/UE i 2014/29/UE
(CABF PED/SPVD – Conformity Assessment Bodies Forum
on Council Directives 2014/68/EU and 2014/29/EU).



Rozpoczynamy cykl publikacji, w których przedstawiona zostanie działalność Forum Jednostek Oceny Zgodności do dyrektyw 2014/68/UE i 2014/29/UE, dotyczących odpowiednio urządzeń ciśnieniowych i prostych zbiorników ciśnieniowych w ramach europejskiej Koordynacji Jednostek Oceny Zgodności (CABF PED/SPVD).

JEDNOSTKI OCENY ZGODNOŚCI WYKONUJĄ ZADANIA OKREŚLONE W PROCEDURACH OCENY ZGODNOŚCI, O KTÓRYCH MOWA W OBOWIĄZUJĄCYM PRAWODAWSTWIE DOTYCZĄCYM HARMONIZACJI TECHNICZNEJ, GDY WYMAGANY JEST UDZIAŁ STRONY TRZECIEJ.

WYMAGANIA DOTYCZĄCE JEDNOSTEK OCENY ZGODNOŚCI

Jednostki oceniające zgodność przeprowadzają działania określone w poszczególnych modułach dyrektyw. W ramach dyrektywy 2014/68/UE dotyczącej urządzeń ciśnieniowych [1] mogą działać jednostki notyfikowane, uznane organizacje strony trzeciej oraz inspektoraty użytkownika.

- **Jednostki notyfikowane** (ang. Notified Bodies) działają w najszerszym zakresie związanym z oceną zgodności urządzeń ciśnieniowych. Uznane jednostki strony trzeciej wykonują działania związane z zatwierdzeniem procedur operacyjnych oraz personelu wykonującego połączenia nierozłączne oraz personelu przeprowadzającego badania nieniszczące.
- Natomiast istnienie i funkcjonowanie **inspektoratów użytkownika** zależy od decyzji państwa członkowskiego. W Polsce nie wprowadzono przepisów umożliwiających działanie inspektoratów użytkownika, podobnie w wielu innych państwach europejskich.

W ramach dyrektywy 2014/29/UE, dotyczącej prostych zbiorników ciśnieniowych, działają jedynie jednostki notyfikowane.

Jednostki oceny zgodności są oficjalnie wyznaczone przez władze krajowe do przeprowadzania procedur oceny zgodności w rozumieniu obowiązującego unijnego prawodawstwa harmonizacyjnego, gdy wymagana jest strona trzecia. Władze krajowe po sprawdzeniu kompetencji oraz spełniania wymagań określonych w dyrektywach notyfikują wyznaczone jednostki Komisji Europejskiej, która nadaje im numery identyfikacyjne i publikuje ich wykaz w systemie informacyjnym NANDO (New Approach Notified and Designated Organisations [2]). Na stronie internetowej znajduje się wykaz wszystkich notyfikowanych jednostek europejskich, a także organów państw trzecich wyznaczonych na podstawie formalnych umów, takich jak umowy o wzajemnym uznawaniu, Porozumienie o Europejskim Obszarze Gospodarczym oraz układy o ocenie zgodności i zatwierdzeniu produktów przemysłowych.



Jednostki notyfikowane oraz uznane organizacje strony trzeciej wykonują obowiązki w obszarach interesu publicznego, zatem muszą być odpowiedzialne przed właściwymi władzami krajowymi. Uzyskanie notyfikacji jest możliwe dla podmiotu prawnego, który posiada swoją siedzibę na terytorium państwa członkowskiego. Podlegają zatem jego jurysdykcji w zakresie unijnego prawodawstwa harmonizacyjnego, które oznacza każdy akt prawny Unii Europejskiej harmonizujący warunki wprowadzania produktów do obrotu.

KOORDYNACJA JEDNOSTEK OCENY ZGODNOŚCI

Z punktu widzenia konkurencyjności oraz zapewnienia równego traktowania podmiotów gospodarczych ważne jest zapewnienie spójności stosowania procedur oceny zgodności pod względem technicznym. Najlepszym sposobem na osiągnięcie tego celu jest odpowiednia koordynacja jednostek oceniających zgodność i współpraca między nimi.

Wprowadzenie i właściwą realizację koordynacji oraz współpracy jednostek oceny zgodności na podstawie dyrektyw 2014/29/UE i 2014/68/UE zapewnia Komisja Europejska w formie grupy koordynacyjnej ds. obu dyrektyw, tzn. Forum Jednostek Oceny Zgodności do dyrektyw 2014/68/UE i 2014/29/UE (CABF PED/SPVD).

Jednostki uczestniczą w pracach forum bezpośrednio lub przez wyznaczonych przedstawicieli. W tabeli nr 1 przedstawiono zestawienie ilościowe jednostek oceny zgodności, które zostały notyfikowane w poszczególnych krajach Wspólnoty Europejskiej oraz EFTA.

FORUM JEDNOSTEK OCENY ZGODNOŚCI DO DYREKTYW 2014/68/UE I 2014/29/UE (CABF PED/SPVD)

Tabela 1. Zestawienie jednostek oceny zgodności (stan na listopad 2024 r.)

Kraj (alfabetycznie)	PED			SPVD
	NB**	RTPO**	UI**	NB**
Austria	4	9	2	3
Belgia	5	3		1
Bułgaria	6	4		4
Chorwacja	4	5		3
Cypr	2			
Czechy	10	9		6
Dania	7	5		1
Estonia	7			1
Finlandia	5	4		1
Francja	3	3	1	3
Grecja	14	1		8
Hiszpania	19	2		2
Irlandia	3	3		
Litwa	4			
Łotwa	7	1		2
Niderlandy	8	3	1	2
Niemcy	12	7	3	5
Norwegia	5	5	1	
Polska	10	5		5
Portugalia	9	3		1
Rumunia	8	5		
Słowacja	5	6		3
Słowenia	5	6		
Szwajcaria (MRA*)	2	4		1
Szwecja	4	6		
Turcja	13	6		7
Węgry	6	4		4
Włochy	34	18	1	3
Łącznie	221	127	9	66
*)	MRA – Mutual recognition agreement (umowa o wzajemnym uznawaniu)			
**)	NB - Notified Body (Jednostki notyfikowane) UI - User Inspectorate (Inspektoraty użytkownika) RTPO - Recognised Third Party Organisation (Uznane organizacje strony trzeciej)			

Praktyczna realizacja powyższego obowiązku odbywa się poprzez cykliczne fizyczne spotkania Forum Jednostek Oceny Zgodności do dyrektyw 2014/68/UE i 2014/29/UE w Brukseli. W spotkaniach uczestniczą przedstawiciele jednostek notyfikowanych (NB), uznanych organizacji strony trzeciej (RTPO) oraz inspektoratów użytkownika (UI), którzy reprezentują swoją macierzystą jednostkę lub występują w imieniu innych jednostek z danego kraju.

W przypadku dużej liczby jednostek notyfikowanych funkcjonujących na terenie danego kraju (np. Włochy, Niemcy) w spotkaniach uczestniczy z prawem głosu przedstawiciel krajowej koordynacji jednostek notyfikowanych.

W spotkaniach forum CABF PED/SPVD biorą udział: przedstawiciel Komisji Europejskiej, przedstawiciel ADCO PED/SPVD [7], przedstawiciel CEN [8] oraz na zaproszenie przedstawiciele producentów (np. ORGALIM [9]).

Spotkania forum służą praktycznej wymianie doświadczeń, omawianiu zagadnień związanych z wykonywaniem oceny zgodności oraz ujednolicaniu dobrych praktyk jej przeprowadzania.

W trakcie prac forum omawiane są zagadnienia techniczne i interpretacyjne odnoszące się do dyrektywy 2014/68/UE dotyczącej urządzeń ciśnieniowych, a także dyrektywy 2014/29/UE dotyczącej prostych zbiorników ciśnieniowych.

Przygotowywane są projekty wytycznych wyjaśniających zagadnienia interpretacyjne, zalecenia forum oraz odpowiedzi na zadane pytania techniczne. Należy pamiętać, że uczestnictwo w działaniach koordynacyjnych stanowi jedno z kryteriów notyfikowania danej jednostki. Zgodnie z wymaganiami obu dyrektyw decyzje administracyjne i dokumenty opracowane w wyniku prac forum powinny być traktowane jak ogólne wytyczne.



Komisja Europejska wspiera funkcjonowanie forum CABF PED/SPVD, finansując sekretariat techniczny, który przygotowuje spotkania i zarządza przepływem dokumentów, a także sekretariat administracyjny organizujący spotkania.

Odpowiednie dokumenty robocze, sprawozdania ze spotkań, informacje i zalecenia opracowane przez forum są publikowane na platformie CIRCABC [10] i dostępne dla wszystkich jednostek wchodzących w skład forum, niezależnie od tego, czy brały udział w spotkaniach.

Forum CABF PED/SPVD spotyka się zazwyczaj dwa razy w roku pod przewodnictwem okresowo wybranego przewodniczącego lub jego zastępcy, którzy zamiennie w drodze porozumienia przewodniczą obradom. Na spotkaniach omawiane są nie tylko bieżące zagadnienia związane z wykonywaniem działań w ocenie zgodności, ale także aktualna sytuacja sektora urządzeń ciśnieniowych.

STAŁE PUNKTY SPOTKAŃ FORUM

- Relacje z prac Grupy Roboczej „Ciśnienie” przy Komisji Europejskiej (WGP) oraz jej podgrupy Grupy Roboczej „Wytyczne” (WPG), jeżeli spotkania tych grup się odbyły, w szczególności z aktualizacji wytycznych do dyrektyw 2014/29/UE [3] i 2014/68/UE [4] lub nowelizacji wcześniej obowiązujących dokumentów (w przypadku braku spotkań informacje na temat dokumentów oczekujących na zatwierdzenie, które będą omawiane)
- Relacje z działań Komisji Europejskiej (DG GROW) lub prac innych grup roboczych, np. połączonej grupy ekspertów od urządzeń ciśnieniowych i maszyn
- Omówienie pytań skierowanych do Grupy Odpowiedzi Technicznych
- Raporty z działań wewnętrznych grup CABF PED/SPVD tworzonych *ad hoc* do aktualizacji dokumentów forum lub analizy bieżących zagadnień dotyczących materiałów, procesu akredytacji oraz wykonywania oceny zgodności
- Raport Sekretariatu Technicznego CABF PED/SPVD odnośnie do informacji przekazywanych przez jednostki oceny zgodności w sprawach odmowy wydania, wycofania lub ograniczenia zakresu certyfikatów
- Relacje CEN odnośnie do stanu prac normalizacyjnych i statusu norm zharmonizowanych
- Raport z działań nadzoru rynku – grupy ADCO PED/SPVD
- Informacje na temat rozwoju regulacji międzynarodowych i dialogu handlowego, np. pomiędzy WTO [11], USA i Chinami

W ramach forum CABF PED/SPVD funkcjonuje jedna stała grupa robocza, Grupa Odpowiedzi Technicznych (TRG), której zadaniem jest zebranie opinii oraz przedyskutowanie skierowanych do niej pytań.

Pytania mogą dotyczyć zagadnień interpretacyjnych oraz technicznych i powinny być skierowane z propozycją odpowiedzi wraz z uzasadnieniem.

Pytania techniczne nie mogą dotyczyć norm, w szczególności norm zharmonizowanych, ponieważ jest to obszar działania komitetów technicznych CEN lub krajowych organizacji normalizacyjnych, a także:

- „Maintenance agencies” [5], w przypadku norm serii EN 13445 i EN 13480, oraz
- „Boiler helpdesk” [6], w przypadku norm serii EN 12952 i EN 12953.

Grupa TRG pracuje, wymieniając się opiniami pomiędzy spotkaniami forum, na którym są prezentowane zgłoszone pytania wraz z opiniami członków. Forum CABF PED/SPVD akceptuje zgłoszone propozycje po uzgodnieniu odpowiedzi oraz ocenie prawidłowości uzasadnienia, a następnie podejmuje decyzję o przygotowaniu projektów wytycznych do dyrektyw lub o przyjęciu zaleceń CABF Recommendations, jeżeli pytanie jest bardziej szczegółowe i nie dotyczy zagadnień interpretacyjnych przepisów obu dyrektyw 2014/29/UE i 2014/68/UE.

WYTYCZNE DO DYREKTYW ORAZ ZALECENIA CABF RECOMMENDATIONS

Forum CABF PED/SPVD kieruje opracowane projekty wytycznych do Grupy Roboczej „Wytyczne”, której zadaniem jest ocena merytoryczna i przekazanie do zatwierdzenia. Wytyczne są opracowywane i zatwierdzane przez grupę roboczą „Ciśnienie” przy Komisji Europejskiej (KE), aby zapewnić spójne stosowanie dyrektyw. Grupa robocza składa się z przedstawicieli państw członkowskich, federacji europejskich producentów, Forum Jednostek Oceny Zgodności i CEN, a przewodniczy jej przedstawiciel służb Komisji.

Wytyczne do dyrektyw nie są prawnie wiążącą interpretacją dyrektyw, których tekst pozostaje prawnie wiążący. Jednak wytyczne stanowią punkt odniesienia dla zapewnienia spójnego stosowania dyrektyw. Stanowią one, o ile nie wskazano inaczej w odpowiednim tekście wytycznych, jednomyślną opinię państw członkowskich. Wytyczne są publikowane na portalu internetowym Komisji Europejskiej [3] [4].

Zalecenia CABF Recommendations powstają na bazie doświadczeń jednostek oceny zgodności i są opisem praktyki wykonywania zadań w zakresie oceny zgodności. Zawierają uzgodnione interpretacje lub analizy problemu, stanowiąc przewodniki działania w kwestiach bardziej szczegółowych, i podobnie jak wytyczne, przedstawiają jednomyślną opinię jednostek odnośnie do wykonywania oceny zgodności. Publikowane są na platformie CIRCABC, jak wskazano wyżej.

PODSUMOWANIE

W materiale w sposób syntetyczny przybliżono podstawowe zasady działania koordynacji jednostek notyfikowanych do dyrektyw 2014/29/UE i 2014/68/UE, działającej jako Forum Jednostek Oceny Zgodności (CABF PED/SPVD).



UDT-CERT, jako jednostka notyfikowana nr 1433, od 2004 r. bierze czynny udział w pracach forum CABF PED/SPVD oraz Grupie Odpowiedzi Technicznych działającej w jej strukturze.

W kolejnych publikacjach zostaną przedstawione informacje ze spotkań forum wraz z omówieniem wybranych zagadnień technicznych i interpretacyjnych.

Literatura i przypisy:

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>
2. Single Market Compliance Space, Notified bodies (NANDO), <https://webgate.ec.europa.eu/single-market-compliance-space/#/home>
3. Guidelines related to the Simple Pressure Vessels Directive 2014/29/UE (SPVD) DocsRoom - European Commission - ec.europa.eu/docsroom/documents/32027
4. Guidelines related to the Pressure Equipment Directive 2014/68/UE (PED) DocsRoom - European Commission - ec.europa.eu/docsroom/documents/63154
5. L'UNM, Union de Normalisation de la Mécanique Maintenance Agencies - UNM
6. DIN Standards Committee Piping and Boiler Plant Boiler Help Desk
7. ADCO PED/SPVD – Administration Cooperation Group for PED/SPVD.
8. CEN – European Committee for Standardization.
9. ORGALIM – Europe's Technology Industries Association.
10. CIRCABC – Collaborative and Information Resources Centre for Administration, Businesses and Citizens.
11. WTO – World Trade Organisation.

MODUŁY OPARTE NA ZAPEWNIENIU JAKOŚCI W DYREKTYWIE CIŚNIENIOWEJ



Urząd Dozoru Technicznego prowadzi działania w ramach oceny zgodności, certyfikacji i ekspertyz technicznych pod nazwą UDT-CERT. W tym obszarze funkcjonuje jednostka certyfikująca działająca według norm europejskich, posiadająca akredytację PCA w zakresie certyfikacji systemów zarządzania, wyrobów i osób oraz jednostka notyfikowana. UDT-CERT dysponuje dużym potencjałem ludzkim w postaci 500 ekspertów i audytorów w 10 oddziałach i 20 biurach na terenie całej Polski. Szeroki zakres działalności, wysokie kwalifikacje i kompetencje pracowników oraz najwyższa jakość świadczonych usług pozwoliły UDT-CERT stać się marką znaną w Polsce i za granicą.



MGR INŻ. JACEK KLUDZIŃSKI

Główny Specjalista ds. Certyfikacji
i Oceny Zgodności Wyrobów
Departament Certyfikacji i Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego



UDT działa jako Jednostka Notyfikowana nr 1433 w ramach 8 dyrektyw i 2 rozporządzeń Parlamentu Europejskiego. Dyrektywę 2014/68/UE (PED, ang. Pressure Equipment Directive) [1] stosuje się do projektowania, wytwarzania oraz oceny zgodności urządzeń ciśnieniowych lub zespołów o najwyższym dopuszczalnym ciśnieniu przekraczającym 0,5 bara. Według zapisów dyrektywy „urządzenia ciśnieniowe” oznaczają zbiorniki, rurociągi, osprzęt zabezpieczający oraz osprzęt ciśnieniowy, wraz z elementami zamocowanymi do części poddanych działaniu ciśnienia.

Przeprowadzenie procesu oceny zgodności jest obowiązkowe przed wprowadzeniem wyrobu do obrotu na terenie Unii Europejskiej. Dokonuje tego producent lub jego upoważniony przedstawiciel zgodnie z dyrektywami (rozporządzeniami KE) przy udziale jednostki notyfikowanej, jeśli tego wymaga dyrektywa (rozporządzenie).

UDT-CERT na wniosek producenta może również wziąć udział w procesie oceny zgodności wyrobów, dla których dyrektywy nie przewidują obligatoryjnego udziału jednostki notyfikowanej. Dotyczy to wyrobów, których ocenę zgodności przeprowadza producent np. w ramach wewnętrznej kontroli produkcji.

Przeprowadzenie procesu oceny zgodności z wynikiem pozytywnym upoważnia producenta lub jego upoważnionego przedstawiciela do wystawienia deklaracji zgodności UE oraz umieszczenia na wyrobie oznakowania CE. Moduły oceny zgodności określają, czego dotyczy i jak ma wyglądać ocena zgodności oraz czy proces oceny zgodności producent może wykonać sam, czy potrzebna będzie strona trzecia.



MODUŁY JAKOŚCIOWE OCENY ZGODNOŚCI

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych przewiduje następujące moduły, oparte na zapewnieniu jakości, które producent może wybrać do wykazywania zgodności wyrobów: E, E1, D, D1, H, H1 (tablica 1). Wybór modułu zależy od kategorii zagrożenia urządzenia ciśnieniowego.

Tablica 1. Moduły oceny zgodności wyrobu oparte na zapewnieniu jakości

Kategoria zagrożenia	Możliwe moduły oparte na zapewnieniu jakości
II	D1, E1
III	D poprzedzone modułem B (typ projektu), E poprzedzone modułem B (typ produkcji), H
IV	D poprzedzone modułem B (typ produkcji), H1

Niektóre moduły są samodzielne, a inne muszą być poprzedzone różnymi odmianami modułu B. Wszystkie moduły oparte na zapewnieniu jakości wymagają od producenta wdrożenia i stosowania systemu jakości, który musi być wprowadzony w taki sposób, żeby zapewniać pełną zgodność produktu z odpowiednimi wymaganiami prawa. Różnice pomiędzy modułami polegają na zakresie, jaki powinien obejmować system zapewnienia jakości i opisuje je Blue Guide [2] (tablica 2).

Tablica 2. Różnice pomiędzy modułami opartymi na zapewnieniu jakości

Moduł	NAZWA MODUŁU	Opis modułu
D	Zgodność z typem dzięki zapewnieniu jakości procesu produkcji	System zapewnienia jakości obejmuje fazę produkcji, kontroli gotowych produktów oraz badania danych urządzeń ciśnieniowych, ale nie obejmuje projektowania.
E	Zgodność z typem dzięki zapewnieniu jakości urządzeń ciśnieniowych	Moduł podobny do modułu D, ale system zapewnienia jakości obejmuje kontrolę gotowych produktów oraz badania danych urządzeń ciśnieniowych, czyli nie obejmuje projektowania i produkcji.
H	Zgodność oparta na pełnym zapewnieniu jakości	System zapewnienia jakości obejmuje fazę projektowania, wytwarzania, kontroli gotowych produktów oraz badania urządzeń ciśnieniowych.
D1	Zapewnienie jakości procesu produkcji	Podobny do modułu D, ale nie następuje po module B.
E1	Zapewnienie jakości kontroli i badania gotowych urządzeń ciśnieniowych	Podobny do modułu E, ale nie następuje po module B.
H1	Zgodność oparta na pełnym zapewnieniu jakości oraz badaniu projektu	Tak jak w module H, ale jednostka notyfikowana bada projekt wyrobu i wydaje certyfikat badania projektu UE.

SYSTEMY ZAPEWNIENIA JAKOŚCI

Wymagania dla systemu zapewnienia jakości określone są w dyrektywie i opisane w każdym module, jednak system jakości wdrożony na podstawie normy ISO 9001 daje podstawę domniemania zgodności z odpowiednimi modułami, pod warunkiem że system jakości uwzględnia specyficzne właściwości objętych nim produktów.

UWAGA	Producent posiadający certyfikowany system jakości zgodny z normą ISO 9001, a nieposiadający zatwierzonego systemu jakości na zgodność z jednym z ww. modułów dyrektyw, nie może powoływać się na posiadany certyfikat przy ocenie zgodności wyrobu według modułów D, E lub H.
	Certyfikacja systemu jakości nie jest tym samym co zatwierdzenie tego systemu w rozumieniu dyrektywy (tablica 3).

Tablica 3. Przykładowe różnice pomiędzy certyfikacją a zatwierdzeniem

KRYTERIA	CERTYFIKACJA	ZATWIERDZENIE
System	Dobrowolny	W obszarze regulowanym przepisami prawa
Wymagania dla jednostek	Akredytacja wg normy PN-EN ISO/IEC 17021-1 lub uznanie kompetencji przez klienta	Notyfikacja i odpowiednia akredytacja: dla modułu H wg normy PN-EN ISO/IEC 17021-1, a dla pozostałych modułów wg normy PN-EN ISO/IEC 17065
Jednostki	Jednostka certyfikująca systemy zarządzania	Jednostka notyfikowana, która posiada w swojej strukturze jednostkę certyfikującą systemy zarządzania (dla modułu H), a dla pozostałych modułów jednostkę certyfikującą wyroby
Wymagania dotyczące systemu jakości	ISO 9001	System jakości zgodny z wymaganiami dyrektywy lub ISO 9001 z uwzględnieniem specyficznych właściwości produktów
Wniosek o certyfikację/zatwierdzenie	Wniosek nie wymaga dołączenia dokumentacji technicznej wyrobów	Wniosek zawiera dokumentację techniczną wyrobów oraz w modułach D i E kopie certyfikatów badania typu urządzeń
Zakres certyfikacji/zatwierdzenia	Zazwyczaj obejmuje grupę wyrobów	Ograniczony jest do określonych typów urządzeń
Wymagania dla członków zespołu audytującego	Audytorzy + eksperci techniczni	Audytorzy + eksperci techniczni posiadający doświadczenie z zakresu oceny technologii danych urządzeń ciśnieniowych
Nadzór nad certyfikatem	W trakcie ważności certyfikatu przeprowadza się audyty nadzoru, na ogół raz w roku	W trakcie ważności zatwierdzenia, oprócz audytów nadzoru przeprowadza się niezapowiedziane wizyty
Informacja o statusie certyfikacji	Jednostka certyfikująca powinna udostępniać publicznie lub ujawniać informacje o statusie certyfikacji	Jednostka notyfikowana informuje odnośne organy notyfikujące i pozostałe jednostki notyfikowane o zatwierdzeniach, w szczególności o zawieszonych lub cofniętych zatwierdzeniach

SYSTEMY CERTYFIKACJI I OCENY ZGODNOŚCI

System certyfikacji jest systemem dobrowolnym, co oznacza, że przepisy prawne nie wymagają posiadania certyfikatu, np. ISO 9001. Natomiast w przypadku gdy producent zdecyduje się wykazywać zgodność wyrobów na podstawie modułów opartych na zapewnieniu jakości, to najpierw musi uzyskać zatwierdzenie. Co więcej, żeby uzyskać zatwierdzenie systemu, nie trzeba posiadać certyfikatu ISO 9001.

Dobrowolność systemu certyfikacji polega też na tym, że producent może uzyskać certyfikat w jednostce certyfikującej systemy zarządzania, do której ma zaufanie i niekoniecznie posiadającej odpowiednią akredytację. Natomiast w przypadku zatwierdzenia systemu trzeba to zrobić w jednostce notyfikowanej, czyli wyznaczonej przez Komisję Europejską do prowadzenia określonych procedur oceny zgodności przewidzianych w dyrektywach. Zakres notyfikacji musi obejmować odpowiednie dla konkretnego wyrobu dyrektywy i odpowiednie moduły, w tym przypadku oparte na zapewnieniu jakości.

Sprawdzenia zakresu notyfikacji każdej jednostki można dokonać na stronie internetowej Komisji Europejskiej, tzw. NANDO WEBSITE [3]. Zasadą jest, że do uzyskania notyfikacji trzeba posiadać odpowiednie akredytacje. Jaka akredytacja jest odpowiednia, zależy od dyrektywy i modułu zgodności i jest to określone w opublikowanym przez European Accreditation dokumencie „EA-2/17 M: 2020 EA Document on Accreditation for Notification Purposes” [4].

Na jego podstawie Polskie Centrum Akredytacji opracowało i opublikowało na stronie internetowej dokument DA-11 [5] zawierający listę wymagań akredytacyjnych dla jednostek notyfikowanych [6]. Zgodnie z ww. dokumentami obecnie dla modułu H odpowiednią akredytacją jest akredytacja według normy PN-EN ISO/IEC 17021-1, natomiast dla pozostałych modułów opartych na zapewnieniu jakości, według normy PN-EN ISO/IEC 17065.

Posiadacz certyfikatu systemu jakości, który chce wykazywać zgodność wyrobu na podstawie modułu opartego na zapewnieniu jakości powinien wiedzieć, że nie każda jednostka prowadząca certyfikację jest jednostką notyfikowaną. Przeprowadzenie zaś procesu certyfikacji przez jednostkę certyfikującą, która jednocześnie jest jednostką notyfikowaną, nie jest równoznaczne z zatwierdzeniem tego systemu. Podczas oceny systemu jakości jednostka notyfikowana sprawdza, czy system ten jest zgodny z wymaganiami odpowiedniego modułu konkretnej dyrektywy oraz czy pozwala on na wyprodukowanie zgodnych z dyrektywą wyrobów lub urządzeń.

Do wykazania zgodności można korzystać z normy ISO 9001. Ponieważ dyrektywy nie stawiają wymagań dotyczących zadowolenia klienta i ciągłego doskonalenia, podczas zatwierdzania systemu jakości wymagania te nie muszą być spełnione, co jest niedopuszczalne przy certyfikacji. Należy pamiętać również o tym, że wymagania normy ISO 9001 są bardzo ogólne i sposób ich spełnienia musi być dostosowany do konkretnych wyrobów i spełniać wymagania dyrektyw.

ZAKRES POTWIERDZONEGO SYSTEMU JAKOŚCI, AUDYT I NADZÓR

Zakres

Dużą różnicą pomiędzy certyfikacją a zatwierdzeniem będzie określenie zakresu certyfikacji lub zatwierdzenia. W przypadku certyfikacji zakres określa się w sposób bardziej ogólny niż przy zatwierdzeniu.

Na przykład zakres certyfikacji może być sformułowany następująco: „projektowanie i produkcja zaworów”.

W przypadku zatwierdzenia tak sformułowany zakres nie jest wystarczający, gdyż musi się on odnosić do konkretnych typów zaworów.

Dlatego dyrektywa wymaga dołączania do wniosku o zatwierdzenie systemu jakości dokumentacji technicznej wyrobów i w przypadku modułu D lub E również kopii certyfikatów badania typu UE. Dokumentacja techniczna i certyfikaty badania typu UE, które muszą być uzyskane przed zatwierdzeniem systemu jakości, definiują zakres zatwierdzenia.

Audyt

Ocenę systemu jakości, a więc audyt, prowadzą audytorzy i ewentualnie eksperci techniczni.

W przypadku certyfikacji wymaga się, aby zespół audytujący był kompetentny w zakresie konkretnego sektora, określonego najczęściej na podstawie Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) [7]. Zespół musi znać

przepisy prawne dotyczące wyrobów, które są wytwarzane w ramach certyfikowanego systemu jakości.

Dla potrzeb zatwierdzenia systemu jakości wymagania powyższe są niewystarczające, gdyż personel jednostki notyfikowanej musi posiadać specjalistyczną wiedzę na temat wyrobów objętych procedurą zatwierdzenia systemu jakości. Będzie to np. znajomość norm zharmonizowanych do konkretnej dyrektywy, a w przypadku ich braku innych specyfikacji lub sposobów spełnienia wymagań dyrektywy, które są określone w sposób ogólny.

Nadzór

Różnice występują również na etapie nadzoru nad certyfikatem. Jednostka notyfikowana, oprócz audytów nadzoru, przeprowadza również niezapowiedziane wizyty, podczas których jednostka notyfikowana może przeprowadzić lub zlecić badania produktów. Ponadto producent powinien informować jednostkę notyfikowaną, która zatwierdziła system jakości, o wszelkich zamierzonych modyfikacjach systemu jakości, jak również o modyfikacjach wyrobów objętych zatwierdzeniem.

Ważność

Certyfikaty badania typu UE mają ważność 10 lat. Certyfikaty zatwierdzenia wydaje się na 3 lata. W module D i E może się zdarzyć, że w trakcie ważności zatwierdzenia systemu jakości kończy się ważność certyfikatu badania typu UE. Wtedy producent musi odpowiednio wcześniej odnowić certyfikat badania typu UE, bo bez niego traci sens zatwierdzenie w module D lub E.

Status

Istnieją również różnice w informowaniu o statusie certyfikacji i zatwierdzenia. Przy zawieszeniu zatwierdzenia jednostka notyfikowana informuje o tym fakcie inne jednostki notyfikowane, natomiast przy cofnięciu certyfikatu, oprócz innych jednostek, informowany jest właściwy organ notyfikujący.

Literatura:

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych (Dyrektywa 2014/68 - EN - EUR-Lex (europa.eu)) [dostęp: 11.2024]
2. Zawiadomienie komisji (Blue Guide) Niebieski przewodnik – wdrażanie unijnych przepisów dotyczących produktów 2022 (Tekst mający znaczenie dla EOG) (2022/C 247/01)
3. Strona internetowa: Nando website EUROPA – European Commission – Growth – Regulatory policy - SMCS
4. EA-2/17 M: 2020 EA Document on Accreditation for Notification Purposes, 17th April 2020_rev04 <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-2-17-m.pdf>
5. Akredytacja jednostek oceniających zgodność do celów notyfikacji DA-11 Wydanie 7 z 26.06.2023 r. file://fs-vdi2.udt.local/home\$/jkludzinski/Downloads/da-11_7.pdf
6. Lista wymagań akredytacyjnych dla jednostek notyfikowanych – program akredytacji DA-11 Wydanie 7 z 4.08.2023 r. file://fs-vdi2.udt.local/home\$/jkludzinski/Downloads/da-11_7_lista_wymagan%20(1).pdf
7. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2007 r. w sprawie Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) (Dz.U. 2007 nr 251 poz. 1885 z późn. zm.)

PROJEKTOWANIE ZBIORNIKÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH W INSTALACJACH PRZEMYSŁOWYCH PRZY ZASTOSOWANIU METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH (MES)



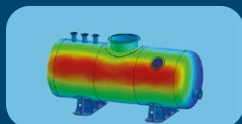
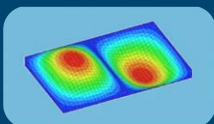
MGR INŻ. SZCZEPAN GORBACZ

Prezes Zarządu Amargo®
Ożarów Mazowiecki



DR MICHAŁ DZIENDZIKOWSKI

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
w Warszawie



Początków metody elementów skończonych doszukiwać się można w latach 20. i 30. XX wieku, kiedy w USA G. B. Maney i H. Cross oraz A. Ostenfeld w Holandii, korzystając z prac J. C. Maxwella, A. Castiliano i O. Mohra, zaproponowali metodę rozwiązywania zagadnień mechaniki konstrukcji znaną dzisiaj jako metoda przemieszczeń.

Uogólnienia tej metody na zagadnienia mechaniki kontinuum dokonali w połowie XX wieku J. Argyris, P. C. Pattan, S. Kelsey, M. Turner, R. Clough i inni. W latach 60. i 70. metoda elementów skończonych przeszła szereg modyfikacji m.in. dzięki pracom O. C. Zienkiewicza, Y. K. Cheunga, R. L. Taylora, które uczyniły z niej współczesne narzędzie służące do rozwiązywania wielu zagadnień, np.: mechaniki ciała stałego, przepływów ciepła, mechaniki płynów, pól elektromagnetycznych [1].

Optimalizacja projektowania i przewidywanie reakcji konstrukcji na warunki eksploatacji wymaga uwzględnienia wielu czynników, tj.: obciążenia eksploatacyjne, ciśnienie, temperatura, poziom medium, wiatr, opady atmosferyczne, obciążenia wyposażeniem i często ekstremalne warunki pracy. Uznanie znajdują możliwości generowania różnych wariantów bez konieczności wytwarzania prototypów, co wpływa na redukcję kosztów.

Współcześni inżynierowie korzystają z wielu narzędzi, które pozwalają realizować te cele, umożliwiając tworzenie zoptymalizowanych, trwałych rozwiązań o wysokim poziomie bezpieczeństwa. Jednym z kluczowych podejść wykorzystywanych w procesie projektowania jest Metoda Elementów Skończonych (MES) (ang. *finite element method*, FEM).

METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

MES znajduje szerokie zastosowania w fizyce, a w szczególności w mechanice konstrukcji i mechanice ośrodków ciągłych. Z jej użyciem bada się wytrzymałość konstrukcji, symuluje ich odkształcenia, naprężenia i przemieszczenia, a także przepływ ciepła, przepływ cieczy [2, 3]. Bada się również dynamikę, kinematykę i statykę maszyn, jak również oddziaływania elektrostatyczne, magnetostatyczne i elektromagnetyczne. Metoda stosowana jest również do interpolowania wyników pomiarów wykonywanych na dyskretnym zbiorze punktów, np. w meteorologii przy sporządzaniu map synoptycznych.

Aktualne trendy w stosowaniu metody elementów skończonych (MES) skupiają się na kilku kluczowych obszarach. Wśród nich znajduje się przede wszystkim optymalizacja konstrukcji, zwłaszcza w branżach, gdzie produkuje się komponenty w dużych seriach, takich jak przemysł motoryzacyjny czy lotniczy.

Firmy projektujące elementy takie jak bloki silników czy turbosprężarki intensywnie wykorzystują MES, aby zminimalizować wagę i koszty produkcji, jednocześnie spełniając rygorystyczne wymagania wytrzymałościowe. Optymalizacja każdego elementu pozwala zaoszczędzić materiały i zmniejszyć koszty w skali milionów sztuk.

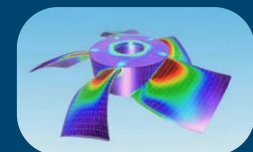
MES znajduje również zastosowanie w analizie złożonych konstrukcji, jak duże zbiorniki czy inne struktury o krytycznym znaczeniu, w przypadku których tradycyjne metody obliczeniowe mogą być niewystarczające.

W takich sytuacjach MES umożliwia precyzyjną analizę miejsc trudno dostępnych lub obciążonych wysokim ryzykiem uszkodzeń, zapewniając bezpieczeństwo i niezawodność konstrukcji.

JAKĄ ROLĘ ODGRYWA ANALIZA MES W PROJEKTOWANIU ZBIORNIKÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH W INSTALACJACH PRZEMYSŁOWYCH?

Zbiorniki to kluczowe elementy infrastruktury przemysłowej wykorzystywane do magazynowania lub przetwarzania substancji w wielu sektorach przemysłu. Najważniejszym wyzwaniem w projektowaniu i eksploatacji zbiorników jest zapewnienie najwyższego poziomu bezpieczeństwa, trwałości i żywotności konstrukcji oraz zgodności z normami, szczególnie gdy przeznaczony są one do pracy z agresywnymi substancjami chemicznymi. W procesie doboru zbiornika uwzględniane są specyficzne właściwości materiałów konstrukcyjnych i warunki, w jakich będą one eksploatowane w perspektywie danego okresu żywotności (parametry medium, temperatura, ciśnienie itd.). Ich projektowanie wymaga więc dużej wiedzy i precyzji obliczeniowej.

Metoda elementów skończonych jest zaawansowaną matematyczną metodą obliczeń fizycznych, która polega na zastąpieniu obiektu rzeczywistego (dyskretyzacji obszaru) za pomocą elementów uśredniających jego stan fizyczny [4].



Oprogramowanie oparte na metodzie elementów skończonych (MES) w formie licencji oferuje wielu dostawców. Wśród najbardziej znanych można wymienić m.in.: ANSYS, Inc., Dassault Systèmes (SIMULIA Abaqus), Siemens (Simcenter Nastran), Altair Engineering (HyperWorks, OptiStruct, RADIOSS), Autodesk (Autodesk Nastran, Fusion 360) czy PTC (Creo Simulation Live, Creo Ansys Simulation). Każde z tych oprogramowań różni się funkcjonalnością i specjalizacją. To pozwala użytkownikom dobrać odpowiednie narzędzie w zależności od potrzeb ich branży oraz konkretnego zastosowania.

NAPRĘŻENIA TERMICZNE A WYTRZYMAŁOŚĆ ZBIORNIKA PRZEMYSŁOWEGO

Naprężenia termiczne w zbiornikach przemysłowych mogą powstawać na skutek zmian temperatury, których pokłosiem mogą być odkształcenia materiału konstrukcyjnego. Zbiorniki o czarnej barwie są szczególnie narażone na nagrzewanie, ponieważ silnie absorbują promieniowanie słoneczne. W wyniku tego ich powierzchnia może nagrzewać się nierównomiernie.

Na przykład podczas wschodu słońca jedna strona zbiornika zostaje intensywnie ogrzana, co prowadzi do zmiany temperatury i zjawiska rozszerzalności cieplnej. Nierównomierne ogrzewanie powoduje powstanie niejednorodnego pola temperatur, co na skutek rozszerzalności cieplnej generuje w strukturze naprężenia cieplne. Ten efekt jest szczególnie zauważalny w przypadku materiałów polimerowych, dla których współczynnik rozszerzalności cieplnej jest znacznie większy niż dla metali.

W sytuacjach, gdy zbiornik podlega dużym wahaniom temperatury, różne jego części mogą rozszerzać się lub kurczyć z różną intensywnością, co przyczynia się do powstawania naprężeń wewnątrzmaterialowych.

Długotrwałe oddziaływanie takich naprężeń może prowadzić do zmęczenia materiału, mikropęknięć, a nawet uszkodzeń strukturalnych. Wszystko to znacznie obniża wytrzymałość zbiornika. Aby temu zapobiec, przy projektowaniu zbiorników dobiera się specjalistyczne tworzywa o wysokiej odporności na zmiany temperatury oraz odpowiedni rodzaj izolacji termicznej po stronie zewnętrznej płaszcza zbiornika.

Analiza MES może znacząco pomóc w ocenie wpływu naprężeń termicznych na wytrzymałość zbiornika przemysłowego, zapewniając precyzyjne informacje i symulacje.

Dokładna analiza rozkładu temperatury pomaga zweryfikować, jak różne części zbiornika reagują na zmienne warunki temperaturowe:

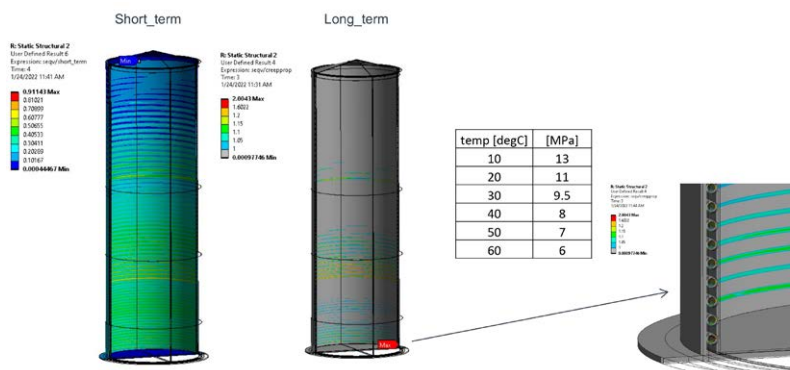
- warunki tzw. **cold day** zakładające np. temperaturę medium równą 40°C, a temperaturę zewnętrzną -20°C,
- warunki tzw. **hot day** zakładające np. temperaturę medium równą 40°C i temperaturę zewnętrzną 40°C).

Analizy wykonuje się dla warunków:

- short term (np. 24 godziny) oraz
- long term (perspektywa np. 10 lat).

W wyniku obliczeń możemy dowiedzieć się:

- jak izolacja zewnętrzna wpływa na gradient temperaturowy pomiędzy ścianą zewnętrzną a wewnętrzną konstrukcji zbiornika, zwłaszcza dla ścianek o budowie strukturalnej w przekroju, czyli niejednorodnej w każdym punkcie, jak w przypadku technologii AmargTank MultiLayer DoubleWall® [5, 6, 7],
- jak zmienia się temperatura ściany zewnętrznej wraz z wysokością zbiornika,
- czy zbiornik spełnia wszystkie założenia konstrukcyjne w perspektywie **short term** i **long term**, a jeśli nie, to jakie zmiany konstrukcyjne pozwolą ograniczyć powstawanie negatywnych zjawisk (np. pęcznienia).



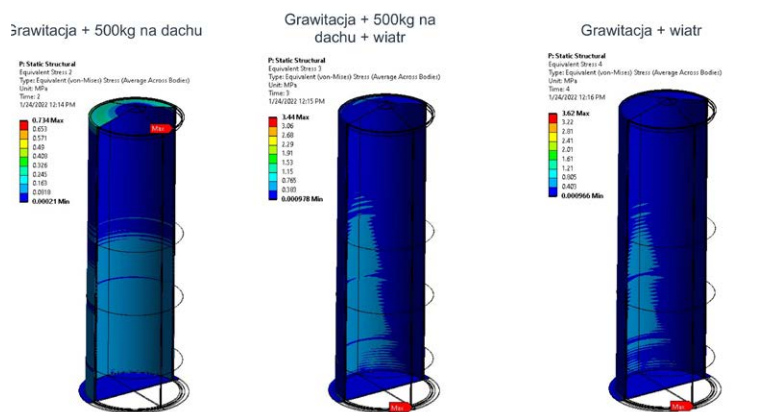
Rys. 1. Przykład wyników badań statyki konstrukcji zbiornika ze środkowym profilem rurowym w warunkach cold day i perspektywach short term i long term [źródło: materiały własne Amargo®]

ZJAWISKO PEŁZANIA NISKOTEMPERATUROWEGO POLIETYLENU (PE) A ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCIOWE

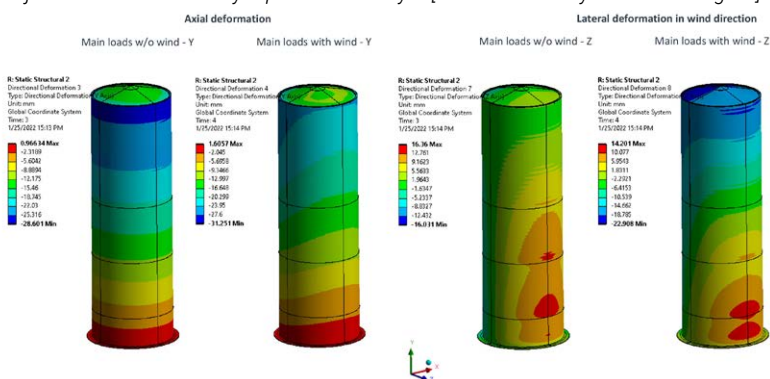
Pełzanie to zjawisko powolnej, trwałej deformacji materiału pod wpływem stałego obciążenia, które występuje w temperaturach niższych od temperatury topnienia. W przypadku polimerów zjawisko to jest zazwyczaj kojarzone z wyższymi temperaturami. W przypadku natomiast polietylenu PE, który jest (poza propylenem PP) jednym z najczęstszych materiałów konstrukcyjnych zbiorników, może ono wystąpić również w niższych temperaturach, uznawanych za bezpieczne dla tworzyw termoplastycznych. Jest to szczególnie istotne przy długotrwałym obciążeniu, np. w rurociągach lub zbiornikach.

W niskich temperaturach pełzanie PE przebiega wolniej niż w wysokich, jednak nadal może prowadzić do stopniowej deformacji materiału. Proces ten jest uzależniony od kilku czynników, takich jak rodzaj PE (PE-HD, PE-LD), poziom naprężeń, czas trwania obciążenia, a także otoczenie i warunki pracy, w których materiał pracuje.

Zjawisko pełzania niskotemperaturowego jest istotnym czynnikiem w ocenie trwałości elementów wykonanych z polietylenu i musi być brane pod uwagę przy długotrwałej eksploatacji. Z tego względu powinno być ono uwzględniane w toku obliczeń wytrzymałościowych i analizy MES.



Rys. 2. Przykład wyników badania wpływu poszczególnych obciążeń mechanicznych na stateczność konstrukcji zbiornika ze środkowym profilem rurowym [źródło: materiały własne Amargo®]



Rys. 3. Przykład wyników badania odkształcenia zbiornika dla różnych kombinacji obciążeń do cold day [źródło: materiały własne Amargo®]

CYKLIŒNOŚĆ PRACY ZBIORNIKA A JEGO ŻYWOTNOŚĆ

Istotny wpływ na żywotność konstrukcji zbiornika ma cykliczność jego pracy, czyli powtarzalność zmian temperatury czy ciśnienia w trakcie eksploatacji. Każdy cykl obciążeń wpływa na powstawanie odkształceń materiału. Te z kolei mogą prowadzić do zmęczenia strukturalnego, czyli osłabienia wytrzymałości zbiornika.

Powtarzające się cykle obciążeń mogą powodować powstawanie mikropęknięć. W dłuższym okresie mogą się one rozwijać, skutkując poważniejszymi uszkodzonymi, takimi jak pęknięcia zmęczeniowe. Zjawisko to jest szczególnie groźne, gdy zbiornik wykonany jest z materiału o niskiej odporności na zmęczenie. Zagrożenie zwiększa się także z powodu braku odpowiedniego monitorowania zbiornika, które umożliwiłoby wykazanie przekroczenia dopuszczalnych parametrów.

Analiza MES jest pomocna w symulacji zachowania materiału pod wpływem powtarzających się cykli obciążeniowych. Dzięki temu możliwe jest dokładniejsze przewidywanie żywotności zbiornika i identyfikacja potencjalnych miejsc uszkodzenia.

Wydłużenie żywotności zbiornika w warunkach cyklicznej pracy jest możliwe dzięki optymalnemu projektowaniu, uwzględniającemu cykle obciążeniowe oraz stosowaniu materiałów o wysokiej odporności na zmęczenie.

W przypadku zbiorników przemysłowych, szczególnie przeznaczonych do magazynowania substancji żrących, trujących lub ciekłych zapalnych, kluczową rolę w monitorowaniu stanu technicznego odgrywają regularne inspekcje i badania, umożliwiające wczesne wykrycie wszelkich nieprawidłowości. Identyfikacja pęknięć, defektów i innych uszkodzeń, zanim doprowadzą one do poważniejszych problemów, pozwala na podejmowanie odpowiednich działań konserwacyjnych, napraw lub wymiany wadliwych elementów, co znacząco zmniejsza ryzyko awarii i wydłuża żywotność zbiornika. Zapobieganie takim usterkom ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa personelu i mienia zakładu, środowiska oraz efektywnej eksploatacji. Ważne są również procedury kontrolne, jak analiza naprężeń i regularne badania nieniszczące, aby wczesnie wykryć potencjalne uszkodzenia.

Odpowiednie „zarządzanie” naprężeniami termicznymi jest kluczowe dla zachowania wymaganej żywotności i bezpiecznej eksploatacji zbiorników w zmiennych warunkach pracy.

Wydłużenie żywotności zbiornika w warunkach cyklicznej pracy jest możliwe dzięki optymalnemu projektowaniu, uwzględniającemu cykle obciążeniowe, oraz stosowaniu materiałów o wysokiej odporności na zmęczenie.

Monitorowanie stanu konstrukcji i pracy zbiorników przemysłowych z tworzyw sztucznych umożliwi system TankSense360® [5-7], do projektowania którego wykorzystane są Metody Elementów Skończonych (MES) / FEM – Finite Elements Method. System jest w trakcie prac badawczo-rozwojowych realizowanych przez zespół

Amargo® wraz ze specjalistami z Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej oraz ekspertami z zakresu badań materiałowych. Idea systemu TankSense360® została przedstawiona w numerze 1/2024 Biuletynu Urzędu Dozoru Technicznego „INSPEKTOR” [8].

INFORMACJE Z MODELOWANIA MES W SYSTEMACH MONITOROWANIA ZBIORNIKÓW

Modelowanie MES przy projektowaniu konstrukcji stanowi istotny element cyfrowej transformacji w ramach przemysłu 4.0. Dzięki wiarygodnym danym materiałowym oraz powtarzalności procesów technologicznych możliwe jest bardzo dokładne przewidywanie zachowania konstrukcji pod wpływem działających na nią obciążeń w trakcie eksploatacji. Pozwala to już na etapie projektowania przewidzieć szereg zjawisk, które mogą wystąpić, uwzględniając czynniki wpływające na obciążenia w konkretnym przypadku, a także zoptymalizować konstrukcję przy zachowaniu najwyższego poziomu bezpieczeństwa.

Model MES zbiornika wraz z warunkami brzegowymi dla rozkładu obciążeń może stanowić istotny element jego tzw. cyfrowego bliźniaka lub cyfrowego paszportu, w którym gromadzone są wszelkie informacje eksploatacyjne z całego cyklu życia produktu, w tym dane o uszkodzeniach.

W przypadku wyposażenia zbiorników w inteligentne sieci czujników monitorujących informacje o stanie i odkształceniach konstrukcji modele MES mogą umożliwić wykorzystanie tych danych do oceny stopnia zużycia zapasu bezpieczeństwa konstrukcji oraz prognozowania okresu bezpiecznej eksploatacji poszczególnych egzemplarzy zbiorników.

Możliwe będzie przejście od systemu eksploatacji opartego na ściśle określonym okresie trwałości do eksploatacji według stanu technicznego, co pozwoli na bardziej efektywne wykorzystanie zasobów oraz zwiększenie poziomu bezpieczeństwa.

PRAKTYCZNE KORZYŚCI MES W PROJEKTOWANIU ZBIORNIKÓW PRZEMYSŁOWYCH

Zastosowanie Metody Elementów Skończonych w projektowaniu zbiorników przemysłowych z tworzyw sztucznych umożliwia precyzyjną ocenę bezpieczeństwa konstrukcji. Pozwala na przewidywanie miejsc potencjalnych awarii oraz identyfikację słabych punktów konstrukcji. Wśród takich wymienić można obszary narażone na nadmierne naprężenia czy zmęczenie materiału, np. spoiny, połączenia dna z cylindrem czy ściany wielowarstwowe. Dzięki temu można skutecznie zapobiegać uszkodzeniom, zwiększając bezpieczeństwo zbiorników na przykład poprzez zwiększenie grubości ścianek, dodanie wzmocnień czy zmianę materiału.

MES pozwala na optymalizację konstrukcji. Dzięki symulacjom można minimalizować ilość materiału bez kompromisów na wytrzymałości. To z kolei wpływa na obniżenie kosztów produkcji, co jest istotne z ekonomicznego punktu widzenia.

Analiza różnych warunków pracy zbiornika, takich jak zmienna temperatura, ciśnienie czy obciążenia dynamiczne, czy też symulacje uwzględniające warunki cykliczne, pozwalają na dostosowanie projektu do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych.

Istotną kwestią jest możliwość redukcji kosztów związanych z przeprowadzaniem testów na konstrukcjach rzeczywistych. Dzięki symulacjom komputerowym projektanci mogą zweryfikować różne warianty konstrukcji w środowisku wirtualnym, co znacznie przyspiesza proces projektowania i pozwala ograniczyć liczbę kosztownych prototypów.

Zrównoważone projektowanie oraz użytkowanie zbiorników przemysłowych wymaga synergii zaawansowanych technologii projektowania, doboru odpowiednich materiałów oraz nowoczesnych rozwiązań. Mogą one wspierać użytkowników w monitorowaniu stanu konstrukcji w czasie rzeczywistym. Dzięki takim działaniom możliwe jest wydłużenie żywotności zbiorników, zwiększenie ich bezpieczeństwa oraz zmniejszenie kosztów związanych z konserwacją i naprawami.

KONSULTACJA MERYTORYCZNA:

MGR INŻ. LESZEK LEWANDOWSKI

Ekspert niezależny ds. Tworzyw Sztucznych
Pracownik Urzędu Dozoru Technicznego
w latach 1984–2023 UDT Oddział w Bydgoszczy

Literatura:

1. Jerzy Podgóski, Ewa Błazik-Borowa: „Wprowadzenie do Metody Elementów Skończonych w Statyce Konstrukcji”, IZT, Lublin 2001.
2. O. Zienkiewicz, C. Taylor, R. Leroy, The finite element method. Vol. 1, Basic formulation and linear problems, McGraw-Hill Publishing Company.
3. O. Zienkiewicz, C. Taylor, R. Leroy, The finite element method. Vol. 2, Solid and fluid mechanics dynamics and non-lineary, McGraw-Hill Publishing Company.
4. Osiński J.: Obliczenia wytrzymałościowe elementów maszyn z zastosowaniem metody elementów skończonych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
5. <https://www.amargo.pl/wp-content/uploads/2021/08/technologie-amargotank-safeseamless-metoda-nawojowa-produkcja-zbiornikow-rurowych.pdf> [dostęp: 11.2024].
6. https://www.amargo.pl/wp-content/uploads/2022/11/Specyfikacja-zbiornikow-chemoodpornych_tehnologia-nawojowa.pdf [dostęp: 11.2024].
7. <https://www.amargo.pl/akademia-taed/strefa-projektanta/> [dostęp: 11.2024].
8. S. Gorbacz, A. Boczkowska, P. Kozera, M. Dziendzikowski, „Inteligentny zbiornik chemooodporny. Trend czy realna potrzeba?”, 1/2024, magazyn Urzędu Dozoru Technicznego „INSPEKTOR” https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_1_2024_WCAG.pdf [dostęp: 11.2024].

OCHRONA ODGROMOWA I PRZECIWPZEPĘCIOWA W INFRASTRUKTURZE ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH



MGR INŻ. MARIUSZ WASILEWSKI

Główny Specjalista
Wydział Nowych Technologii
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego



DR INŻ. JAROSŁAW WIATER

Wydział Elektryczny
Politechnika Białostocka

Dynamiczny rozwój elektromobilności spowodował, że stacje ładowania są dziś instalowane w różnych miejscach – zarówno na otwartej przestrzeni, jak i wewnątrz budynków. Różne są też rodzaje stacji ładowania, układy zasilania czy charakter ich użytkowania. Choć zdajemy sobie sprawę z tego, że inne będzie środowisko pracy urządzenia zainstalowanego na parkingu zewnętrznym w porównaniu z zamontowanym w garażu podziemnym, w żadnym z tych przypadków nie powinniśmy pomijać ochrony przed przepięciami i ochrony odgromowej. Każda z sytuacji wymaga indywidualnego podejścia i rzetelnej analizy ryzyka.

Elektromobilność to jedna z tych branż, w których w ostatnim czasie dochodzi do wielu zmian zarówno pod względem stosowanych rozwiązań technicznych, jak i otoczenia prawnego. Ma to związek z dynamicznym rozwojem tej gałęzi przemysłu. Wyznaczone cele sprawiają, że w perspektywie kilkunastu lat większość pojazdów, które spotykamy dziś na drogach, zostanie zastąpiona przez auta elektryczne.

Wzrost liczby pojazdów elektrycznych niesie za sobą wyzwania związane z koniecznością zapewnienia efektywnego, a przy tym bezpiecznego ładowania. By mogło się to udać, niezbędne są inwestycje w rozbudowę i modernizację sieci elektroenergetycznych. Wśród oczekiwań rynku wskazuje się także uproszczenie i przyspieszenie procedur przyłączeniowych. Osoba rozważająca zakup auta elektrycznego, oprócz zalet takiego rozwiązania, weźmie też pod uwagę potencjalne niedogodności, wśród których główną może okazać się brak odpowiedniej liczby stacji i punktów ładowania. Wyzwaniem może być także planowanie podróży na dłuższym dystansie.

Strategiczne cele dotyczące rozmieszczenia wystarczającej infrastruktury ładowania wzdłuż transeuropejskiej sieci transportowej (TEN-T) zostały określone w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylenia dyrektywy 2014/94/UE (AFIR) [1].

Przepisy te weszły w życie 13 kwietnia 2024 r. i określają wspólną specyfikację techniczną, wymogi w zakresie informowania użytkowników, dostarczania danych oraz realizowania płatności.

Rozporządzenie AFIR określa ponadto zasady dotyczące krajowych ram polityki przyjmowanych przez państwa członkowskie, służących rozwojowi infrastruktury paliw alternatywnych. Warto zaznaczyć, że ww. wymagania odnoszą się do stacji ładowania przeznaczonych zarówno dla elektrycznych pojazdów lekkich, jak i pojazdów ciężkich. Oprócz tego przepisy określiły wartości docelowe w odniesieniu do infrastruktury tankowania wodoru.

ROLA UDT

W obliczu nadchodzącego szybkiego wzrostu liczby stacji ładowania, a jednocześnie ich powszechnego wykorzystywania przez osoby nieposiadające specjalistycznej wiedzy zdecydowano, że w Polsce zadania związane z kontrolą i zapewnieniem bezpieczeństwa w tym obszarze zostaną powierzone UDT.

Zgodnie z zapisami ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych Urząd Dozoru Technicznego [2]:

- przeprowadza badania techniczne stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego,
- wydaje opinie w zakresie zgodności dokumentacji projektowanej stacji z wymaganiami technicznymi.

Wyróżniamy dwa rodzaje badań technicznych. Badanie **wstępne**, które jest przeprowadzane przed oddaniem urządzenia do eksploatacji, oraz badanie **eksploatacyjne**, wykonywane każdorazowo w przypadku naprawy lub modernizacji.

Niezależnie od rodzaju badania składa się z dwóch etapów.

- W pierwszym sprawdzana jest kompletność dokumentacji dołączonej do wniosku o przeprowadzenie badania.
- W kolejnym etapie inspektor udaje się na miejsce zainstalowania urządzenia i na podstawie przedłożonej dokumentacji weryfikuje spełnienie wymagań określonych w ustawie, rozporządzeniu oraz instrukcji eksploatacji. Następnie dokonuje oględzin, wyrywkowych pomiarów, prób funkcjonalnych i obciążeniowych.

Urządzenia wykorzystywane do ładowania pojazdów elektrycznych są często instalowane na otwartej przestrzeni. W takich przypadkach projektant powinien wziąć pod uwagę, że będą one narażone na bezpośrednie oddziaływanie warunków atmosferycznych. Elementy instalacji powinny być odpowiednio zabezpieczone przed wpływem zmiennych temperatur, promieniowania słonecznego czy opadów. Bez względu na miejsce ich zainstalowania należy wziąć pod uwagę ryzyko wyładowań piorunowych i przepięć.

STANDARDY ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Z punktu widzenia użytkownika auta elektrycznego kluczowe znaczenie ma szybkość ładowania. Ta z kolei ma związek z rodzajem wykorzystywanego napięcia i prądu, które może być przemiennie (AC) lub stałe (DC).

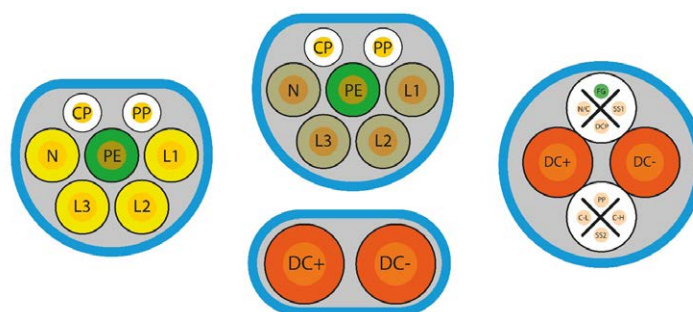
W zależności od maksymalnego prądu (mocy) ładowania oraz miejsca zainstalowania elementów zabezpieczających (w tym podzespołów odpowiedzialnych za poprawną komunikację stacji ładowania z pojazdem) wyróżnia się tzw. tryby ładowania (ang. *EV charging modes*): 1, 2, 3 lub 4.

- W przypadku stacji ładowania prądu przemiennego AC najczęściej spotykamy się ze złączem typu drugiego (ang. *type 2*), wykorzystującym napięcie jednofazowe (230 V) lub trójfazowe (400 V) i dysponującym zwykle mocą 3,7 kW, 11 kW, 22 kW do 43 kW. Szybkość ładowania z wykorzystaniem punktów ładowania AC jest często limitowana maksymalną mocą ładowarki pokładowej w pojeździe (ang. *on-board charger*).

Popularne ładowarki pokładowe o mocy rzędu 11 kW pozwalają naładować baterię w czasie od kilku do kilkunastu godzin.

- Stacje ładowania DC wykorzystują w tym celu napięcie i prąd stały. Praca przy napięciu sięgającym 950 V i prądzie rzędu 500 A pozwala osiągać zdecydowanie wyższe moce, sięgające od 50 do nawet 350 kW. Należy spodziewać się, że poziomy te będą sukcesywnie podnoszone, w miarę rozwoju kolejnych gałęzi elektromobilności, wśród których już dziś możemy wskazać np. ładowanie elektrycznych pojazdów ciężkich. Punkty ładowania prądu stałego posiadają zwykle złącza CCS Combo 2 lub CHAdeMO, dedykowane do różnych modeli pojazdów.

Ładowanie baterii w tym trybie zajmuje od 15 min do 1,5 h.



Rys. 1. Złącze typu 2, CCS Combo-2 oraz CHAdeMO [3]

PRZEPIĘCIA I WYŁADOWANIA PIORUNOWE – ŹRÓDŁA I ZAGROŻENIA

Jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń urządzeń elektrycznych są przepięcia. Choć słowo to kojarzymy najczęściej z burzą i piorunami, nie jest to ich jedyne źródło. Bez względu na pochodzenie siły tych zjawisk często uświadamiamy sobie dopiero wtedy, gdy doświadczy ich sprzęt w naszej instalacji.

Co można zrobić, aby uniknąć negatywnych efektów występowania przepięć? Odpowiedź wymaga wyjaśnienia, czym jest przepięcie.

PRZEPIĘCIE

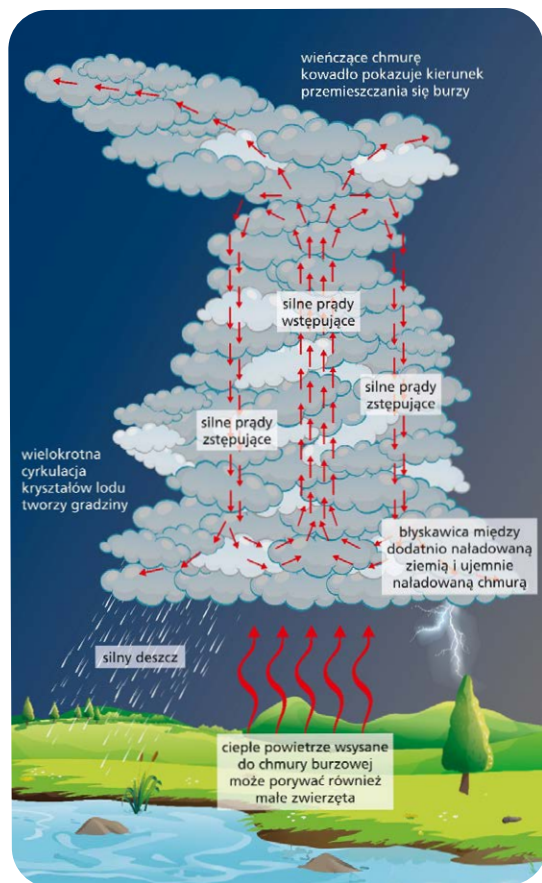
Jest to każdy wzrost napięcia w danym punkcie systemu elektroenergetycznego ponad jego wartość znamionową.

Zgodnie z normami urządzenia elektryczne powinny być projektowane z uwzględnieniem dopuszczalnych zmian napięcia zasilającego w zakresie $\pm 10\%$ wartości znamionowej.

Oznacza to, że każdy wzrost napięcia w sieci ponad 253 V (230 V + 10%) może zakończyć się uszkodzeniem urządzeń, które są do niej przyłączone.

Oprócz wyładowań atmosferycznych, źródłem przepięć mogą być też operacje łączeniowe, zmiany konfiguracji pracy sieci (instalacji) oraz zwarcia. **Degradacja urządzeń w wyniku pojawiających się przepięć często przebiega stopniowo. Należy mieć jednak świadomość, że każde urządzenie współpracujące z siecią elektroenergetyczną jest narażone na tego typu zjawiska.** Najłagodniejszym ogniwem może okazać się układ izolacyjny, tory prądowe, pomiarowe czy sygnałowe.

Wyładowania piorunowe powstają w efekcie burz (frontowych lub termicznych) na granicy zderzających się mas ciepłego i zimnego powietrza. Ochłodzenie powietrza w górnych warstwach atmosfery sprzyja formowaniu się silnie wirujących i naelektryzowanych chmur [4]. Osiągnięcie w chmurze burzowej krytycznej wartości natężenia pola elektrycznego sprawia, że zaczynają rozwijać się tzw. wyładowania wstępne. W ten sposób tworzy się kanał wyładowania piorunowego, który może rozwijać się dalej w kierunku ziemi lub w kierunku innej chmury z nagromadzonym ładunkiem o przeciwnej biegunowości.



Rys. 2. Mechanizm powstawania wyładowań piorunowych

Efektom takiego wyładowania są najczęściej uszkodzenia mechaniczne i termiczne, pożary, porażenia ludzi i zwierząt. Warto zaznaczyć, że prąd piorunowy rozprzyskuje się wokół miejsca, gdzie nastąpiło wyładowanie. W konsekwencji zjawisku towarzyszą napięcia, których wartość co prawda maleje, ale nie od razu i nie do zera. Napięcia te oddziałują na obiekty, które znajdują się w otoczeniu, w odległości dochodzącej nawet do 2 km od miejsca doziemnego wyładowania piorunowego [5]. Oczywiście w przypadku tego

typu zjawisk źródłem uszkodzeń mogą być zarówno wyładowania bezpośrednie w infrastrukturę ładowania, jak i pośrednie, np. w sąsiadujące instalacje, urządzenia, obiekty.

Bez względu na miejsce montażu infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych należy stwierdzić, że zawsze (w mniejszym lub większym stopniu) będzie ona narażona na przepięcia.

Ryzyko będzie dotyczyło także pojazdów elektrycznych, które w procesie ładowania wykorzystują zwykle galwaniczne połączenie z siecią elektroenergetyczną. Biorąc pod uwagę to, że są one wyposażone najczęściej w baterie litowo-jonowe, uszkodzenia powstałe w wyniku przepięć i wyładowań w skrajnych przypadkach mogą prowadzić do pożarów [6].

Przepięcia docierające do ładowarek znacznie wykraczają poza standardowe warunki i wartości znamionowe ich pracy. W efekcie pociągną za sobą awarie, których konsekwencje (zarówno dla pojazdu, jak i innych urządzeń podłączonych w instalacji) są niemal nieprzewidywalne. Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie odpowiednich ograniczników przepięć, które zniwelują wpływ zakłóceń do poziomu wytrzymywanego przez chronione urządzenie.

OCHRONA ODGROMOWA I PRZECIWPŁYCIOWA – WYMAGANIA NORM I PRZEPISÓW

Poprawne zaprojektowanie i montaż infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych, w tym także elementów ochrony odgromowej i przepięciowej, wymaga znajomości zapisów prawa i norm w tym zakresie. Wśród źródeł powszechnie obowiązującego prawa w naszym kraju możemy wyróżnić m.in. ustawy i rozporządzenia. Ogólne wytyczne w tym zakresie znajdziemy w ustawach – Prawo budowlane i Prawo energetyczne oraz w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych.

ŹRÓDŁO	TREŚĆ
Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane [7]	„Obiekt budowlany, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej” (art. 5)
Ustawa z dnia 1 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne [8]	„Projektowanie, produkcja, import, budowa oraz eksploatacja urządzeń, instalacji i sieci powinny zapewniać racjonalne i oszczędne zużycie paliw lub energii przy zachowaniu: niezawodności współdziałania z siecią, bezpieczeństwa obsługi i otoczenia po spełnieniu wymagań ochrony środowiska, zgodności z wymaganiami odrębnych przepisów, a w szczególności przepisów: prawa budowlanego, o ochronie przeciwpożarowej, o ochronie przeciwpowodziowej, o dozorcze technicznym, o ochronie dóbr kultury, o muzeach, Polskich Norm wprowadzonych do obowiązkowego stosowania lub innych przepisów wynikających z technologii wytwarzania energii i rodzaju stosowanego paliwa” (art. 51)
Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych [2]	„Stacje ładowania, punkty ładowania stanowiące element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego oraz punkty zasilania jednostek pływających energią elektryczną z łądu spełniają wymagania techniczne i eksploatacyjne określone w szczególności w Polskich Normach, zapewniające ich bezpieczne użytkowanie, w tym bezpieczeństwo pożarowe, bezpieczne funkcjonowanie sieci elektroenergetycznych oraz dostęp do stacji ładowania dla osób niepełnosprawnych” (art. 13)

Prawo budowlane wymaga ponadto, aby właściciel lub zarządca obiektu budowlanego, dochowując należytej staranności, zapewnił bezpieczne użytkowanie obiektu w razie wystąpienia czynników zewnętrznych oddziałujących na obiekt, związanych z działaniem człowieka lub sił natury, w tym **wyładowań atmosferycznych**. Akt wykonawczy do tej ustawy, w postaci rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wskazuje, że budynek należy wyposażyć w **instalację chroniącą od wyładowań atmosferycznych (instalację piorunochronną)** – stosownie do wymagań Polskich Norm dotyczących ochrony odgromowej obiektów budowlanych [9].

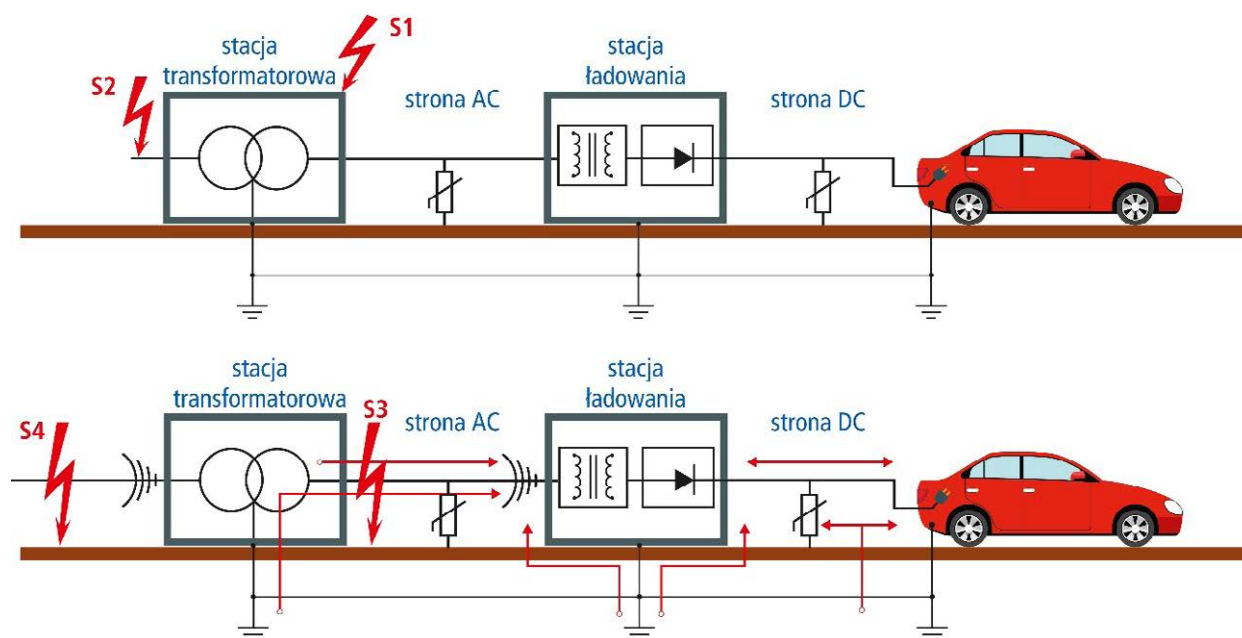
Ochronę odgromową infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych należy realizować zgodnie z wymaganiami serii norm PN-EN 62305.

- W pierwszej części opisano ogólne zasady ochrony odgromowej obiektów budowlanych wraz z ich zawartością oraz osobami, które mogą się tam znajdować [10].
- Druga ma zastosowanie do szacowania ryzyka oraz wyboru środków ochrony służących jego redukcji [11].
- Część trzecia porusza kwestie dotyczące ochrony obiektów budowlanych przed uszkodzeniami fizycznymi oraz ochrony istot żywych przed obrażeniami wskutek napięć dotykowych i krokowych [12]. Ma ona zastosowanie do projektowania, instalowania, sprawdzania i konserwacji instalacji odgromowej (ang. Lighting Protection System, LPS).
- Ostatnia, czwarta część podaje wytyczne odnośnie do środków ochrony układów elektrycznych i elektronicznych zainstalowanych wewnątrz obiektów [13].

WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA OCHRONY ODGROMOWEJ I PRZECIWPRIĘCIOWEJ

Projektowanie ochrony odgromowej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych należy rozpocząć od analizy i oceny potencjalnych źródeł uszkodzeń. Wśród nich wyróżnia się:

- **S1**: bezpośrednie wyładowanie w obiekt,
- **S2**: wyładowanie w pobliżu obiektu (uszkodzenie możliwe wskutek oddziaływania piorunowego impulsu elektromagnetycznego LEMP (ang. Lighting Electromagnetic Pulse),
- **S3**: bezpośrednie wyładowanie w linii np. zasilające lub sygnałowe przyłączone do obiektu (uszkodzenie możliwe wskutek przepięć i prądów piorunowych przenoszonych przez przyłączone linie),
- **S4**: wyładowania w pobliżu linii przyłączonych do obiektu (uszkodzenie możliwe w wyniku przepięć indukowanych w liniach przyłączonych do obiektu) [11].



Rys. 3. Oddziaływanie wyładowania piorunowego na infrastrukturę ładowania pojazdów elektrycznych

W czteroczęściowej serii norm PN-EN 62305 szczegółowo opisano sposób przeprowadzania oceny zagrożeń oraz przedstawiono różne rodzaje środków ochronnych w celu złagodzenia ryzyka wystąpienia szkód (zastosowanie zewnętrznej i wewnętrznej ochrony odgromowej).

Na podstawie normy PN-EN 62305-2 należy wyliczyć ryzyko wystąpienia poszczególnych zagrożeń i porównać z ryzykiem tolerowanym (dopuszczalnym).

Na bazie tych obliczeń dobieramy odpowiednie środki ochrony, wskazane w normach z serii PN-EN 62305.

Wśród najczęściej popełnianych błędów można wyróżnić pominięcie analizy ryzyka przy projektowaniu.

Brak rozważenia możliwych scenariuszy zdarzeń związanych z wyładowaniami piorunowymi i brak podjęcia odpowiednich kroków mających na celu zapewnienie ochrony prowadzi do zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń i awarii w obiekcie.

Ochrona przed wyładowaniem jest oparta na koncepcji strefy ochrony odgromowej (LPZ), zgodnie z zapisami normy PN-EN 62305-4. Chroniony obiekt powinien być podzielony na strefy LPZ, które (w uproszczeniu) określają poziom narażenia urządzeń na rozprzyskający się prąd piorunowy.

STREFY OCHRONY ODGROMOWEJ (LPZ)

LPZ 0_A: strefa, w której elementy są narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna, a przez to na przepływ jego prądu aż do całkowitego włączenie; występuje w niej nietłumione pole elektromagnetyczne,

LPZ 0_B: strefa, w której elementy nie są narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna, ale występuje nietłumione pole elektromagnetyczne,

LPZ 1: strefa, w której elementy nie są narażone na bezpośrednie uderzenia pioruna, a prądy we wszystkich znajdujących się w niej częściach przewodzących są zredukowane w stosunku do prądu w strefie 0_B; może w niej występować (zależnie od środków ekranowania) tłumione pole elektromagnetyczne.

Im wyższy numer strefy, tym niższe wartości napięć, które mogą w niej wystąpić podczas doziemnego wyładowania piorunowego (pod warunkiem stosowania ograniczników napięć). Generalna zasada opisana w normach z serii PN-EN 62305 mówi, iż wszystkie przewody i kable przechodzące z jednej do drugiej strefy LPZ powinny być chronione odpowiednio dobranymi ogranicznikami napięć. Przykład podziału obiektu z infrastrukturą ładowania pojazdów elektrycznych na strefy ochrony odgromowej przedstawia rys. 4.

Poprawnie zaprojektowany system ochrony infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych powinien składać się z instalacji odgromowej (obejmującej zwojdy i przewody odprowadzające prąd piorunowy, określanej potocznie jako „piorunochron”) oraz ograniczników napięć (ang. Surge Protection Devices, SPD) zainstalowanych po stronie wejściowej i wyjściowej stacji ładowania.

Urządzenia do ograniczania napięć (SPD) powinny wytrzymywać bez uszkodzenia spodziewaną część płynącego przez nie prądu piorunowego oraz posiadać zdolność gaszenia elektroenergetycznych prądów następczych sieci zasilającej, jeżeli są przyłączone do jej przewodów.

Odpowiednio chroniona stacja ładowania od strony zasilania powinna być wyposażona w iskriernikowy ogranicznik napięć (dedykowany dla strony AC), zainstalowany na granicy terenu otwartego (np. parkingu zewnętrznego) i ładowarki (budynku, pomieszczenia, szafy sterowniczej). Ze względu na specyfikę pracy tych zabezpieczeń w systemach prądu stałego stosowane są inne ograniczniki napięć niż w systemach prądu przemiennego. W związku z tym stacje ładowania DC będą wymagały specjalnych ograniczników napięć przeznaczonych do pracy po stronie prądu stałego.

Ograniczniki napięć powinny odpowiadać wymaganiom norm PN-EN 61643-11 [14], PN-EN 61643-21 [15] oraz spełniać następujące warunki:

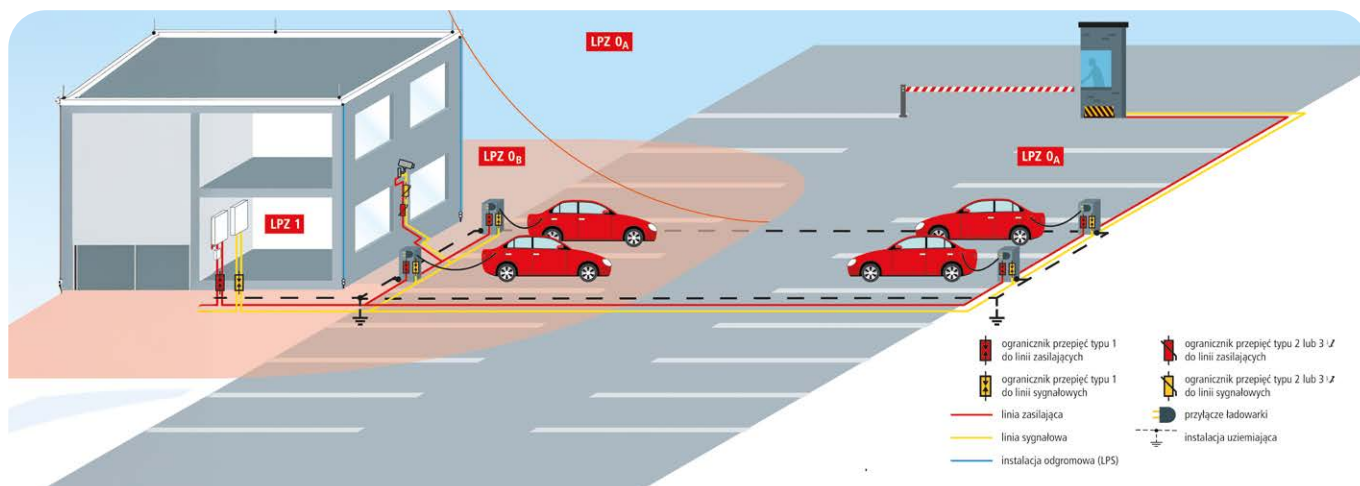
- wytrzymywać próby prądem piorunowym $I_{imp} \geq I_p$ przy czym I_p jest prądem piorunowym płynącym wzdłuż rozpatrywanej linii,
- zapewnić napięciowy poziom ochrony U_p niższy niż wytrzymałowy poziom napięcia udarowego chronionego urządzenia.

Dobierając ogranicznik napięć, należy zwrócić szczególną uwagę na jego klasę/typ.

- I. SPD klasy I / typu 1 są instalowane w miejscach, w których spodziewany jest przepływ częściowych prądów piorunowych.
- II. Urządzenia napięciowe klasy II / typu 2 znajdują zastosowanie we wszystkich innych przypadkach, gdy wymagana jest ochrona przed napięciami łączeniowymi lub indukowanymi oraz jeśli wymagana jest koordynacja z istniejącym już SPD typu 1 w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu ochrony urządzenia końcowego.
- III. SPD klasy III / typu 3 są wykorzystywane najczęściej do ochrony bardzo czułych urządzeń końcowych.

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA OCHRONY ODGROMOWEJ I PRZECIWNAPIĘCIOWEJ

Stacje ładowania zainstalowane na parkingu zewnętrznym budynku usługowo-handlowego przedstawiono na rys. 4. Budynek wyposażono w zewnętrzne urządzenie piorunochronne, a w instalacji elektrycznej budynku zastosowano piorunochronne połączenia wyrównawcze oraz ograniczniki napięć dla instalacji elektrycznej i linii przesyłu sygnałów.



Rys. 4. Baza ładowania zlokalizowana przy budynku usługowo-handlowym

W przypadku urządzeń zainstalowanych w strefie LPZ 0_A należy zastosować ogranicznik przepięć typu 1, dla którego prąd impulsowy (I_{imp}) nie powinien być mniejszy niż 12,5 kA. Zainstalowanie w tym miejscu ogranicznika przepięć, w którym głównym elementem jest warystor, może skutkować brakiem koordynacji energetycznej z warystorami umieszczonymi na wejściu stacji ładowania. Z tego powodu w tym miejscu zaleca się stosować ogranicznik typu 1 na bazie iskiernika, dla którego producent zbadał i potwierdził prawidłową koordynację z urządzeniem końcowym, spełniającym wymagania normy PN-EN 61000-4-5.

Niezapewnienie właściwej koordynacji może skutkować uszkodzeniem chronionego urządzenia pomimo zainstalowania na jego zaciskach ogranicznika typu 1 (zbudowanego wyłącznie z wykorzystaniem warystora). Jeżeli część kabli wychodzi poza strefę LPZ 0_B, należy je wyposażyć w ogranicznik typu 1 (z zastrzeżeniami opisanymi wyżej).

W przypadku gdy cała stacja ładowania oraz doprowadzone do niej kable zasilające znajdują się w strefie LPZ 0_B, należy zastosować ograniczniki typu 2.

Jeżeli punkt ładowania znajduje się daleko od miejsca zabudowy ograniczników przepięć, pojazd elektryczny i stacja ładowania mogą ulec uszkodzeniu wskutek przepięcia pomimo zainstalowania kombinowanych ograniczników przepięć w rozdzielnicy głównej. Gdy stacja ładowania jest oddalona o więcej niż 10 m od ostatniego SPD w linii zasilającej, zgodnie z PN-HD 60364-5-53 zalecane są dodatkowe środki ochrony [16]. W takiej sytuacji urządzenie należy chronić za pomocą kolejnego ogranicznika przepięć, zamontowanego w stacji ładowania lub rozdzielnicy zasilającej, bezpośrednio przed stacją (zasada dotyczy również linii transmisji danych i przewodów telekomunikacyjnych).

Podczas doboru ograniczników przepięć należy zwrócić szczególną uwagę na:

- wartość prądu I_{imp} , na jaki dobierany jest ogranicznik (jeżeli nie przeanalizowano ryzyka wg PN-EN 62305-2, udarowy prąd wyładowczy I_{imp} nie powinien być mniejszy niż 12,5 kA na biegun),
- zapewnienie koordynacji energetycznej pomiędzy kolejnymi stopniami ochrony przepięciowej według zasad opisanych w IEC 61643-12.

WIĘCEJ INFORMACJI

Zapraszamy do zapoznania się z pełnym opracowaniem, w którym prezentujemy aspekty ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Opisujemy w nim szczegółowo zjawiska, które mogą powodować poważne uszkodzenia tych urządzeń oraz stanowić zagrożenie dla użytkowników. Przybliżamy zagadnienia dotyczące środków ochrony. Zainteresowanych otrzymaniem wersji drukowanej prosimy o kontakt pod adresem: eksploatacja@udt.gov.pl.

Literatura:

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylecia dyrektywy 2014/94/UE (Tekst mający znaczenie dla EOG) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804> [dostęp: 08.08.2024]
2. Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20230000875> [dostęp: 08.08.2024]
3. Charging station, https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station [dostęp: 08.08.2024]
4. Flisowski Z.: Technika wysokich napięć. WNT, Warszawa 2014.
5. Sowa A.W.: Ochrona urządzeń oraz systemów elektronicznych przed narażeniami piorunowymi. Rozprawy Naukowe Nr 219. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2011.
6. Ankowski A., Majder-Łopatka M., Węsierski T.: Chemiczna elektromobilność, <https://www.ppoz.pl/czytelnia/rozpoznawanie-zagrozen/Chemiczna-elektromobilnosc/idn:3249> [dostęp: 08.08.2024]
7. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19940890414> [dostęp: 08.08.2024]
8. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19970540348> [dostęp: 08.08.2024]
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20220001225> [dostęp: 08.08.2024]
10. PN-EN 62305-1:2011 Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne
11. PN-EN 62305-2:2008 Ochrona odgromowa – Część 2: Zarządzanie ryzykiem
12. PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
13. PN-EN 62305-4:2011 Ochrona odgromowa – Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach
14. PN-EN 61643-11:2013. Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia -- Wymagania i metody badań
15. PN-EN 61643-21:2004. Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia -- Część 21: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych -- Wymagania eksploatacyjne i metody badań
16. PN-HD 60364-5-53:2022. Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 5-53: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego -- Aparatura rozdzielcza i sterownicza



OCHRONA ODGROMOWA I PRZECIWPZEPĘCIOWA W INFRASTRUKTURZE ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH (www.udt.gov.pl/elektromobilnosc-w-polsce).

URZĄDZENIA CIŚNIENIOWE NA PLACACH BUDÓW. BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACJI



MGR INŻ. ADRIAN NAJKOWSKI

Specjalista Urządzeń Ciśnieniowych
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego

W poprzednim numerze (2/2024) [1] czasopisma INSPEKTOR wskazaliśmy, że działania Urzędu Dozoru Technicznego są jednym z elementów wchodzących w skład łańcucha bezpieczeństwa na placach budowy. Opisaliśmy zadania UDT mające bezpośrednie przełożenie na bezpieczeństwo podmiotów eksploatujących urządzenia techniczne: obsługujących, konserwujących, naprawiających, modernizujących, ale przede wszystkim osób postronnych, często nieświadomych istnienia potencjalnych zagrożeń w ich otoczeniu z powodu funkcjonujących tam urządzeń technicznych.

Działania podejmowane przez jednostki dozoru technicznego mają na celu minimalizację ryzyka wystąpienia niebezpiecznych uszkodzeń urządzeń technicznych oraz nieszczęśliwych wypadków, w których zostają poszkodowani ludzie. I choć mówiąc o urządzeniach technicznych podlegających dozorowi technicznemu na placach budów, mamy zazwyczaj na myśli przede wszystkim urządzenia transportu bliskiego, takie jak żurawie wieżowe, dźwigi budowlane towarowe i osobowe czy podesty ruchome, to w równym stopniu należy również zadbać o bezpieczną eksploatację stosowanych tam urządzeń ciśnieniowych (UC).

Postęp techniczny w budownictwie związany ze stosowaniem nowych materiałów budowlanych i konstrukcji oraz technik wykonywania prac powoduje użytkowanie coraz bardziej zróżnicowanych urządzeń technicznych. Wykorzystywanie urządzeń stacjonarnych, przenośnych i ręcznych jest traktowane jako norma, coś oczywistego, a ich brak – postrzegany jako anachronizm. Pozwala to przyspieszyć wykonywanie prac, ułatwia i zmniejsza uciążliwość wykonywanych czynności, a czasem ich brak wręcz uniemożliwia niektóre zaawansowane prace na budowie.

ZASADY BEZPIECZEŃSTWA

Obecność urządzeń technicznych na placu budowy to dodatkowy czynnik ryzyka, zwiększony także ze względu na sposób ich instalowania. Praca w warunkach prowadzonej budowy zazwyczaj odbiega od warunków warsztatowych, do których przede wszystkim przystosowane są urządzenia. Obarczona jest też wpływem pogody, np. opadami deszczu i śniegu lub nadmiernym słońcem. Nie bez znaczenia są warunki terenowe utrudniające stabilne i trwałe posadowienie oraz konieczność przemieszczania urządzeń technicznych w miarę postępów prac na budowie.

Istotny dla bezpieczeństwa urządzeń ciśnieniowych jest fakt, że dość często nie są wykorzystywane bezpośrednio, a jedynie jako źródło wymaganego medium. W takich okolicznościach pracownicy przez długi czas mogą nie mieć kontaktu z urządzeniem. W pośpiechu towarzyszącym konieczności terminowego wykonania prac można zapomnieć o ciągłej kontroli prawidłowego stanu eksploatowanych urządzeń, ograniczając czynności obsługowe do ich włączenia i wyłączenia.

Przewidziane instrukcją eksploatacji działania w zakresie obsługi i konserwacji nie mogą być pomijane. Nieodpowiednie użytkowanie w dłuższej perspektywie może skutkować szybszym zużyciem i uszkodzeniami UC. Dlatego niezmiernie ważne jest systemowe rozwiązanie problematyki użytkowania urządzeń technicznych na budowach.

IDENTYFIKACJA RYZYK I WSPÓŁPRACA

Jednym z podstawowych etapów prawidłowej organizacji prac budowlanych i montażowych jest opracowanie zestawienia urządzeń potrzebnych na budowie, zidentyfikowanie możliwych zagrożeń podczas pracy każdego z nich oraz wymogów technicznych i prawnych dla zapewnienia bezpiecznego ich eksploatowania. Dotyczy to w równym stopniu wszystkich urządzeń technicznych na placach budów – urządzeń transportu bliskiego, urządzeń ciśnieniowych i zbiorników bezciśnieniowych.

BHP



Nieodzowna staje się współpraca pomiędzy służbami technicznymi budowy, BHP oraz tak zwanej strony trzeciej, czyli Urzędu Dozoru Technicznego, który jest przez Ustawodawcę wyznaczony do nadzoru nad właściwą eksploatacją urządzeń technicznych mogących stanowić zagrożenie dla pracowników i środowiska. Ich prawidłowa eksploatacja i konserwacja zgodna z instrukcją pozwala ograniczyć to zagrożenie do minimum.

BEZPIECZNA EKSPLOATACJA

Za konserwację i bezpieczną eksploatacją urządzeń ciśnieniowych odpowiedzialni są użytkownicy, co wynika z § 14 rozporządzenia [2] w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych (jak poniżej).

1. Eksploatację urządzeń ciśnieniowych prowadzi się zgodnie z ich przeznaczeniem, zasadami określonymi w rozporządzeniu oraz instrukcją eksploatacji, stosując odpowiednie środki bezpieczeństwa.
2. Urządzenia ciśnieniowe mogą być eksploatowane tylko wtedy, gdy ich stan techniczny nie budzi zastrzeżeń, osprzęt zabezpieczający, osprzęt ciśnieniowy i automatyka zabezpieczająca są sprawne oraz nie zostały wyłączone z działania.

Dla właściwej realizacji wymagań prawnych w tym zakresie konieczna jest także znajomość rozporządzenia [3] w sprawie rodzajów technicznych podlegających dozorowi technicznemu. Wyszczególnia ono urządzenia ciśnieniowe, bezciśnieniowe i urządzenia transportu bliskiego, które podlegają dozorowi technicznemu, a zatem ich bezpieczeństwo techniczne jest zapewniane odpowiednimi działaniami Urzędu Dozoru Technicznego.

Do działań tych należą w szczególności badania odbiorcze i okresowe na etapie eksploatacji, przeprowadzane dla urządzeń stanowiących największe zagrożenie. Inne rozporządzenia, wydawane przez ministra właściwego do spraw gospodarki, wprowadzają szczegółowe kryteria określające warunki dopuszczenia urządzeń do eksploatacji, formy dozoru i terminy wymaganych badań dla poszczególnych grup i rodzajów urządzeń technicznych.

RODZAJE URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH NA PLACACH BUDÓW

Na placu budowy możemy spotkać wiele różnych urządzeń ciśnieniowych. Różnią się gabarytami, ale też wykorzystywanym czynnikiem roboczym. Niektóre występują w zasadzie na każdej budowie, inne tylko przy szczególnych zastosowaniach. Poniżej wskazano te najczęściej spotykane z uwzględnieniem podziału z uwagi na czynnik roboczy-

SPRĘŻONE POWIETRZE

Sprężone powietrze jest bardzo powszechnie spotykanym i wykorzystywanym czynnikiem roboczym na placach budów. Poniżej znajduje się kilka przykładów urządzeń, które podlegają dozorowi technicznemu właśnie z uwagi na stosowanie tego medium.

Agregaty sprężarkowe

Dozorowi technicznemu nie podlegają całe urządzenia, tylko w zależności od objętości i ciśnienia dopuszczalnego wchodzące w ich skład zbiorniki buforowe i ewentualnie zbiorniki pełniące inne funkcje w agregacie. Muszą być wyposażone w zawory bezpieczeństwa, najczęściej usytuowane na tychże zbiornikach. Szczególnie istotne dla bezpiecznej eksploatacji jest regularne odwadnianie zbiorników zgodnie z instrukcją. Urządzenia te nie są też same w sobie narzędziem, ale stanowią źródło zasilania w medium o odpowiednim ciśnieniu dla innych urządzeń. Ich gabaryty mogą być zróżnicowane, w zależności od wymaganej wydajności czynnika roboczego, uwzględniającej liczbę odbiorników mogących pracować jednocześnie. Gabaryty z kolei wpływają na mobilność urządzeń – te mniejsze mogą być swobodnie przemieszczane (tylko wyłączone i rozprężone) w zależności od potrzeb, te większe zaś zazwyczaj usytuowane są w jednym miejscu (np. kontenerze), zaś czynnik roboczy dostarczany jest odpowiednimi przewodami.

Przetłoczki betonu lub mas cementowo-wapiennych (tzw. miksokrety)

Urządzenia z własną sprężarką lub zasilane ze sprężarki zewnętrznej. Muszą być wyposażone w zawory bezpieczeństwa na doprowadzeniu sprężonego powietrza z uwzględnieniem wydajności stosowanego źródła zasilania. Specyfika pracy urządzenia w obecności materiałów ściennych, jakimi są materiały ceramiczne (piasek, żwir, cement, wapno lub inne środki wiążące), powoduje silne zużycie ścianek zbiornika przetłoczki betonu podczas mieszania zawartości dla jej uplastycznienia. Oprócz zaworu bezpieczeństwa, na doprowadzeniu sprężonego powietrza, stosuje się również kontrolne nawiercenie (nieprzelotowe) płaszczu zbiornika (w części walcowej), które ma spowodować rozszczelnienie zbiornika po zużyciu nadmiaru materiałowego konstrukcji urządzenia. Zbiorników tych nie wolno naprawiać przez napawanie – wymianie podlega cały płaszcz przetłoczki. Ze względów konstrukcyjnych najczęściej podlegają dozorowi technicznemu w Transportowym Dozorze Technicznym (urządzenie jako całość zabudowane jest na przyczepie).

Przetłoczki materiałów sypkich – piasku/śrutu („piaskarki/śrutownice”)

Muszą być wyposażone w zawory bezpieczeństwa na doprowadzeniu sprężonego powietrza z uwzględnieniem wydajności stosowanego źródła zasilania. Agregaty sprężarkowe stosowane jako źródło zasilania często zabezpieczone są zaworem bezpieczeństwa nastawionym na 16 bar (lub 11 bar) i choć wyposażone są w presostat, to nie zawsze jest on właściwie ustawiany. Dość często regulacja zasilania następuje dopiero po podłączeniu urządzenia (piaskarki/śrutownicy) do sprężarki i stwierdzeniu nieprawidłowości jej pracy, pod nadmiernym ciśnieniem. Starszego typu przetłoczki piasku/śrutu mają ciśnienie obliczeniowe 8 bar, zaś nowsze 10 bar. W przypadku braku właściwej nastawy presostatu, przy braku zaworu bezpieczeństwa o nastawie właściwej dla ciśnienia dopuszczonego przetłoczki piasku/śrutu pojawia się ryzyko rozerwania urządzenia. Ryzyko jest tym większe, im bardziej zużyte są ścianki zbiornika, zwłaszcza w miejscach, gdzie narażone są na szczególnie silną erozję na skutek ścierania przez stosowane materiały sypkie.

Oprócz powyższych na placach budów stosuje się również różnego rodzaju narzędzia ręczne napędzane sprężonym powietrzem, m.in.:

- a) młoty udarowe pneumatyczne,
- b) szlifierki,

- c) wiertarki,
- d) pistolety do malowania,
- e) urządzenia wibracyjne do zagęszczania i
- f) kafary pneumatyczne.

Urządzenia te nie podlegają dozorowi technicznemu, co jednak nie zwalnia użytkowników z obowiązku świadomego korzystania z nich w sposób bezpieczny i zgodny z instrukcją eksploatacji, podłączenia w sposób przewidziany przez producenta, a także upewnienia się, że ich źródło zasilania jest właściwe i pracuje w sposób bezpieczny.

WODA I PARA

Woda lub para wodna jest kolejnym czynnikiem roboczym, który występuje w urządzeniach ciśnieniowych na placach budów. Urządzenia wykorzystujące wodę mogą być stosowane w różnych pracach związanych z budową, ale także w celu zapewnienia odpowiednich warunków sanitarnych i higienicznych dla pracowników budowy.

Urządzenia podgrzewające wodę

Na placach budów, w kontenerach socjalnych konieczne jest zapewnienie ciepłej wody użytkowej na potrzeby higieniczne i sanitarne pracowników. Realizowane jest to najczęściej przy zastosowaniu kotłów i podgrzewaczy elektrycznych lub rzadziej za pomocą gazowych podgrzewaczy wody użytkowej. Z uwagi na mnogość dostępnych rozwiązań trudno wskazać konkretne urządzenia, dość jednak powiedzieć, że zazwyczaj są one objęte dozorem uproszczonym (np. podgrzewacze o pojemności mniejszej niż 300 litrów), a zatem ich dozór techniczny ograniczony jest do etapu wytwarzania lub są to urządzenia niepodlegające pod dozór (np. urządzenia przepływowe).

Wysokociśnieniowe myjki wodne

Urządzenia te wyposażone są w zbiorniki, które jednak ze względu na objętość zazwyczaj są objęte dozorem uproszczonym. W skład takich myjek wchodzi niekiedy hydroakumulatory, które mogą być objęte dozorem pełnym.

Kotły parowe i wytornice pary

Na niektórych budowach może się okazać niezbędnym dostęp do pary wodnej o odpowiednich parametrach ciśnienia. Para wodna może być wykorzystywana na przykład w sytuacji, gdy konieczne jest oczyszczenie powierzchni, którego nie można wykonać za pomocą piaskowania lub śrutowania. Urządzenie parowe pozwala np. złuszczyć zbędną warstwę z powierzchni. W zależności od gabarytów, może być ono także objęte dozorem technicznym pełnym, a zatem wymagać badań również na etapie eksploatacji.

W niektórych przypadkach zapotrzebowanie na parę jest tak duże, że konieczne okazuje się umieszczenie na placu budowy kotłowni kontenerowej z kotłem parowym. Urządzenie takie musi być odpowiednio zabezpieczone w czasie pracy przed zbyt wysokim ciśnieniem oraz temperaturą wyższą niż dopuszczalna, a jego stan techniczny nie może budzić zastrzeżeń, dlatego konieczne jest przy nim okresowe wykonywanie badań Urzędu Dozoru Technicznego.

PALIWO

Na niektórych placach budów ekonomicznie uzasadnione okazuje się zapewnienie dostępu do zapasów paliwa (najczęściej oleju napędowego). Obecne rozwiązania techniczne pozwalają zainstalować na budowie małe zbiorniki magazynowe na paliwa ciekłe zapalne, o pojemnościach do 5 m³, co w zupełności pokrywa bieżące zapotrzebowanie budowy na paliwo. Są to zazwyczaj zbiorniki beciśnieniowe z tworzyw sztucznych z podwójną ścianką ograniczającą ryzyko przedostawania się czynnika do środowiska.

Zbiorniki takie wykorzystywane są w szczególności w sytuacjach, gdy używane są maszyny robocze z silnikami spalinowymi lub agregaty prądowórcze.



INNE CZYNNIKI ROBOCZE

Na placach budów, tak jak w każdej z opisanych wyżej grup, tak również w zakresie różnych czynników roboczych, poza wskazanymi powyżej urządzeniami ciśnieniowymi mogą pojawiać się także inne, podlegające pod dozór techniczny – pełny lub uproszczony. Ich zastosowanie zależy od charakteru budowy, przyjętych technologii i możliwości wykonawcy. Spośród tych urządzeń bardzo prawdopodobne jest wystąpienie na budowie niżej wymienionych urządzeń.

Gaśnice

Ich obecność na placach budów regulowana jest innymi przepisami z zakresu bezpieczeństwa pożarowego, natomiast nie zwalnia to eksploatujących z przestrzegania przepisów ustawy o dozorze technicznym. W załączniku 1 do rozporządzenia w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu można znaleźć informacje, które rodzaje gaśnic powinny być poddawane badaniom Urzędu Dozoru Technicznego.

Hydroakumulatory

Urządzenia te to dość szeroka grupa różnego rodzaju zbiorników: przeponowe i bezprzeponowe, różnej wielkości i z różnymi czynnikami roboczymi. Pracują jako elementy różnych maszyn i urządzeń, a z uwagi na wysokie ciśnienia, jakie występują w zbiornikach hydroakumulatorów ich stan techniczny jest bardzo istotny dla bezpieczeństwa.

WYMAGANIA PRAWNE

W zakresie dozoru technicznego urządzeń kwestię obowiązków eksploatującego regulują odpowiednie akty prawne. Fakt wykorzystywania urządzeń technicznych, a w tym przypadku urządzeń ciśnieniowych akurat na placu budowy nie wpływa w żaden sposób na te obowiązki – nie są one ani mniej, ani bardziej rygorystyczne niż w czasie eksploatacji ich w innych miejscach.

WSZYSTKIE REGULACJE ZNAJDUJĄ SIĘ W NIŻEJ WYMIENIONYCH DOKUMENTACH.

1. Ustawa o dozorze technicznym z dnia 21.12.2000 r. [4]
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 07.12.2012 w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu [3]
3. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 roku w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu [2]

4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.09.2001 w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezcisnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych [5]
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 31.03.2008 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezcisnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania paliw ciekłych zapalnych [6]
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16.04.2002 w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezcisnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów trujących lub żrących [7]

Wskazane dokumenty funkcjonują od wielu lat, a wymagania tam przedstawione często obowiązywały jeszcze wcześniej w aktach prawnych, które zostały zastąpione powyższymi. Na tej podstawie można przypuszczać, że kwestie dozoru technicznego, a przede wszystkim konieczności uzyskiwania decyzji zezwalającej na eksploatację dla poszczególnych urządzeń są powszechnie znane w branży budowlanej i przestrzegane. W praktyce jednak okazuje się, że nieustannie konieczne jest uświadamianie obowiązku zgłaszania niektórych urządzeń oraz objaśnianie rodzajów dokumentów stanowiących składniki dokumentacji niezbędnej do przeprowadzenia czynności dozoru technicznego przed dopuszczeniem urządzenia do eksploatacji.

Dla dopuszczenia urządzenia do eksploatacji niezbędne jest przekazanie przez producenta deklaracji zgodności spełnienia warunków zawartych w Dyrektywie PED [8] lub SPVD [9] (dla urządzenia ciśnieniowego) albo poświadczenia wykonania/paszportu (dla urządzenia bezcisnieniowego) oraz instrukcji obsługi (dla urządzeń ciśnieniowych i bezcisnieniowych).

Pozostałą część niezbędnej dokumentacji musi przygotować użytkownik. Na internetowej stronie Urzędu Dozoru Technicznego (www.udt.gov.pl) zamieszczone są opisy wymaganej dokumentacji dla poszczególnych grup urządzeń [10].

Bezpieczna eksploatacja urządzeń ciśnieniowych i bezcisnieniowych na budowach wymaga również odpowiednio przeszkolonego personelu.

Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 1 lipca 2022 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci [11] w Załączniku 1 wyszczególnia rodzaj urządzeń, instalacji i sieci, przy eksploatacji których wymagane jest posiadanie kwalifikacji. W większości przypadków jednak na budowach użytkowane są urządzenia o mocy mniejszej niż określone we wskazanym rozporządzeniu. Niezależnie od tego, ponieważ trudne warunki eksploatacji wymagają ścisłego przestrzegania zaleceń producenta i zasad BHP pracy z urządzeniem technicznym, zasadne jest powierzenie odpowiedzialności za ich bezpieczeństwo wysoko wykwalifikowanemu pracownikom.

BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH NA PLACACH BUDÓW

Wydaje się truizmem stwierdzenie, że dla bezpiecznej eksploatacji urządzeń ciśnieniowych na placach budów wystarczającym będzie przestrzeganie zapisów instrukcji eksploatacji. Jak się jednak okazuje, to właśnie zaniedbania w tak oczywistej kwestii są głównym zagrożeniem podczas eksploatacji takich urządzeń. Poniżej przedstawiono niektóre z najczęstszych błędów spotykanych przy ich obsłudze na placach budów. Dla ułatwienia zastosowano podział z uwzględnieniem wskazanych wyżej grup urządzeń.

NAJCZĘŚCIEJ WYSTĘPUJĄCE BŁĘDY PRZY EKSPLOATACJI UC NA PLACACH BUDÓW

Agregaty sprężarkowe

- Brak odwadniania (kondensat zbierający się w dolnej części zbiornika, dodatkowo zanieczyszczony olejem ze sprężarki powoduje zwiększenie korozji wewnątrz zbiornika)
- Brak trwałej osłony przewodów elektrycznych przed uszkodzeniem
- Nadmierna ekspozycja i narażenie na uderzenia zbiornika będącego pod ciśnieniem
- Przemieszczanie zbiornika, umieszczonego na podwoziu, pod ciśnieniem (obliczenia wytrzymałościowe płaszcza zbiornika nie uwzględniają tego typu obciążenia)

Przetłoczkę materiałów sypkich (piaskarki/śrutownice/miksokrety)

- Uderzanie w zbiornik będący pod ciśnieniem, dla poruszenia masy usytuowanej blisko ścianek zbiornika (takie próby „odklejenia” masy sypkiej od ścianki urządzenia dopuszczalne są poprzez ostukiwanie kołkiem drewnianym lub młotkiem gumowym, wyłącznie gdy w urządzeniu nie ma nadciśnienia)
- Brak kontroli bieżącej ubytków ścianek zbiornika spowodowanych wycieraniem powierzchni wewnętrznej przez przetłaczaną masę

Podgrzewacze wody

- Brak kontroli prawidłowości doboru zaworu bezpieczeństwa i jego właściwego funkcjonowania
- Brak nadzoru prawidłowości funkcjonowania automatyki sterującej pracą grzałki elektrycznej
- Brak okresowego czyszczenia zbiornika z nagromadzonego kamienia kotłowego

Zbiorniki magazynowe na paliwa ciekłe zapalne

- Brak dopuszczenia do eksploatacji dla zbiorników o pojemności powyżej 2,5 m³, jeżeli są przeznaczone do wewnętrznego zaopatrzenia w paliwo napędowe
- Brak kontroli szczelności zaworów spustowych, przez co stwarza się zagrożenie dla środowiska
- Wyłączanie lub usuwanie sondy kontrolującej obecność paliwa w przestrzeni międzysciennej
- Przelewanie zbiornika powyżej dopuszczalnego poziomu napełnienia
- Brak stabilnego posadowienia dla zbiorników okresowo przywożonych na plac budowy, co stwarza ryzyko niekontrolowanego przemieszczania się zbiornika pod obciążeniem

Gaśnice

- Usytuowanie urządzenia w miejscach zastawianych zwykle przez dostawę nowych materiałów (np. w pomieszczeniach magazynowych)
- Brak kontroli plomb na zaworze bezpieczeństwa i na zaworze butli z gazem pędym dla proszku gaśniczego (w przypadku urządzeń, na których występują)
- Brak przewodu elastycznego, z tzw. prądownicą, służącą do kierowania strugi gaszącej na miejsce pożaru

Na zakończenie warto dodać, że pozytywnym zjawiskiem obserwowanym w branży budowlanej jest fakt wzrostu świadomości technicznej personelu obsługującego urządzenia ciśnieniowe. Sporadycznie zdarzają się wypadki spowodowane nieprzebraniem warunków prawidłowej ich eksploatacji. Przewidziane przepisami badania tych urządzeń nie są też traktowane jako formalizm, procedura administracyjna i dodatkowy koszt, ale jako inwestycja w jakość produkcji i okazja do potwierdzenia skuteczności procedur stosowanych na budowie lub ich skorygowania dla zwiększenia bezpieczeństwa dzięki zaleceniom inspektora.

Literatura:

- Magazyn UDT "Inspektor - Technika i Bezpieczeństwo" nr 2/2024 https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_2_2024_WCAG.pdf
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. 2022 poz. 68) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20220000068>.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. 2012 poz. 1468) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=w-du20120001468>.
- Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym (Dz.U. z 2024 poz. 1194) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20001221321>.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.09.2001 w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki beczciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych (Dz.U. 2001 nr 113 poz. 1211) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20011131211>.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 31.03.2008 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki beczciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania paliw ciekłych zapalnych (Dz.U. 2008 nr 60 poz. 371) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20080600371>.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16.04.2002 w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki beczciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów trujących lub żrących (Dz.U. 2002 nr 63 poz. 572) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20020630572>.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/29/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku prostych zbiorników ciśnieniowych <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/29/oj>.
- Strona Urzędu Dozoru Technicznego <https://www.udt.gov.pl>; <https://www.udt.gov.pl/formularze>; <https://www.udt.gov.pl/co-i-kiedy-podlega-dozorowi>.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 1 lipca 2022 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci (Dz.U. 2022 poz. 1392) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20220001392>.



URZĄDZENIA INSTALOWANE W OBIEKTACH MIESZKALNYCH I HANDLOWYCH PO ZAKOŃCZONYM ETAPIE BUDOWY



MGR KRZYSZTOF DĘBSKI

Ekspert Urządzeń Transportu Bliskiego
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego



MGR INŻ. SŁAWOMIR FAGAS

Starszy Specjalista
Urządzeń Transportu Bliskiego
Oddział w Łodzi
Urząd Dozoru Technicznego



MGR INŻ. ADRIAN NAJKOWSKI

Specjalista Urządzeń Ciśnieniowych
Departament Techniki
Urząd Dozoru Technicznego

Artykuł jest kontynuacją cyklu dotyczącego urządzeń transportu bliskiego i urządzeń ciśnieniowych pracujących na placach budów. Zapraszamy do poprzednich numerów magazynu UDT „Inspektor – Technika i bezpieczeństwo”. Celem tego opracowania jest przekazanie projektantom, architektom i inwestorom podstawowej informacji wynikającej z przepisów dotyczących obowiązkowego wyposażenia obiektów w urządzenia podlegające dozorowi technicznemu.



Zarówno dla właścicieli, jak i dla wykonawców budynków kluczowym etapem jest oddanie budynku do użytkowania, a przed tym potwierdzenie poprawności działania zainstalowanych w nim urządzeń. Niezwykle istotna z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz funkcjonalności jest nie tylko zgodność z projektem, ale i przepisami prawa. Kontrola jakości wykonania i jednoznaczna ocena stanu technicznego jest elementem spajającym proces budowy z bezpieczną eksploatacją instalacji w budynku. Kontrola wykonania budynku oraz jego zgodności z projektem oraz normami budowlanymi zapobiega wadom, awariom oraz potencjalnie groźnym sytuacjom. Oszczędza to koszty remontów oraz poprawek, a także chroni życie oraz zdrowie osób korzystających z danego obiektu.

W obiektach mieszkalnych i handlowych, po zakończeniu etapu budowy, instaluje się między innymi urządzenia podlegające badaniom UDT.

1. Dźwigi do transportu osób lub osób i towarów
2. Dźwigi do transportu wyłącznie towarów
3. Dźwigi towarowe małe
4. Urządzenia do transportu osób z ograniczoną zdolnością ruchową
5. Systemy do parkowania pojazdów
6. Chodniki i schody ruchome
7. Podesty wiszące
8. Stacje ładowania samochodów elektrycznych
9. Wymienniki ciepła
10. Naczynia zbiorcze
11. Kotły wodne
12. Zasobniki ciepłej wody użytkowej
13. Zbiorniki instalacji chłodniczych
14. Zbiorniki w instalacjach ppoż.

Wybrane grupy tych urządzeń wymagają przeprowadzenia oceny zgodności z obowiązującymi dyrektywami wdrożonymi do prawa polskiego.

- Dyrektywa dźwigowa **2014/33/UE** [2] wdrożona do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 3 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla dźwigów i elementów bezpieczeństwa do dźwigów
- Dyrektywa maszynowa **2006/42/WE** [3] wdrożona do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn
- Dyrektywa urządzenia ciśnieniowe **2014/68/UE** [4] wdrożona do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Rozwoju z 11 lipca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych
- Dyrektywa proste zbiorniki ciśnieniowe **2014/29/UE** [5] wdrożona do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie prostych zbiorników ciśnieniowych

Ustawa o dozorze technicznym z 21 grudnia 2000 r. [1] wymaga, aby eksploatujący urządzenia techniczne podlegające dozorowi technicznemu uzyskać decyzję zezwalającą na eksploatację wydaną przez właściwą jednostkę dozoru technicznego (jeżeli jest wymagana).

• PUNKTY 1 i 2

Uzyskanie decyzji zezwalającej na eksploatację wymaga złożenia dokumentacji i przedstawienia urządzenia do badania odbiorczego. Eksploatujący dźwigów powinni przedstawić dokumentację zgodnie z warunkami dozoru technicznego, a dla nowych urządzeń przeprowadzić ocenę zgodności z dyrektywą dźwigową lub maszynową.

• PUNKTY 3–7

Producenci powinni spełniać wymagania warunków technicznych dozoru technicznego i przeprowadzić ocenę zgodności z dyrektywą maszynową.

• PUNKT 8

W przypadku stacji ładowania pojazdów elektrycznych UDT przeprowadza badanie techniczne przed oddaniem urządzenia do użytkowania. Jeżeli badanie kończy się wynikiem pozytywnym, sporządzony protokół upoważnia do rozpoczęcia eksploatacji. Badanie może zostać wykonane po przedstawieniu stosownej dokumentacji, której zakres określa rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. [7] w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego.

• PUNKTY 9–13

Urządzenia ciśnieniowe powinny posiadać deklaracje zgodności z dyrektywą dla urządzeń ciśnieniowych lub prostych zbiorników ciśnieniowych w zależności od parametrów technicznych konkretnego urządzenia. W niektórych przypadkach (określonych dyrektywą dla urządzeń ciśnieniowych) może okazać się także konieczna ocena zgodności zespołu urządzeń ciśnieniowych.

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane [8] łączy swoje wymagania z przepisami dozoru technicznego w artykule 57.

„Art. 57. 1. Do zawiadomienia o zakończeniu budowy obiektu budowlanego lub wniosku o udzielenie pozwolenia na użytkowanie inwestor jest obowiązany dołączyć:

- 4) **protokoły badań** i sprawdzić:
 - b) o których mowa w art. 14 ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym (Dz. U. z 2022 r. poz. 1514), o ile dotyczy;

- 4a) **decyzję zezwalającą na eksploatację** urządzenia technicznego, o której mowa w art. 14 ust. 1 ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym, o ile dotyczy”.

I. WYBRANE WARUNKI TECHNICZNE DOTYCZĄCE OBIEKTÓW BUDOWLANYCH I URZĄDZEŃ

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [9]

§ 49. Budynek i pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi oraz inne budynki, jeżeli wynika to z ich przeznaczenia, powinny być wyposażone w instalacje (urządzenia) do ogrzewania pomieszczeń w okresie obniżonych temperatur, umożliwiające utrzymanie temperatury powietrza wewnętrznego odpowiedniej do ich przeznaczenia. Wymaganie to nie dotyczy budynków rekreacyjnych, użytkowanych wyłącznie w sezonie letnim.

§ 132. 1. Budynek, który ze względu na swoje przeznaczenie wymaga ogrzewania, powinien być wyposażony w instalację ogrzewczą lub inne urządzenia ogrzewcze, niebędące piecami, trzonami kuchennymi lub kominkami.

§ 51. Budynek i pomieszczenia powinny mieć zapewnioną wentylację lub klimatyzację, stosownie do ich przeznaczenia.

oraz

§ 147.3. Klimatyzację należy stosować w pomieszczeniach, w których ze względów użytkowych, higienicznych, zdrowotnych lub technologicznych konieczne jest utrzymywanie odpowiednich parametrów powietrza wewnętrznego określonych w przepisach odrębnych i w Polskiej Normie dotyczącej parametrów obliczeniowych powietrza wewnętrznego.

§ 70. Maksymalne nachylenie pochylni związanych z budynkiem nie może przekraczać wielkości określonych w poniższej tabeli (*fragment*):

Przeznaczenie pochylni	Usytuowanie pochylni	
	na zewnątrz, bez przekroczenia % nachylenia	wewnątrz budynku lub pod dachem % nachylenia
Dla samochodów w garażach wielostanowiskowych:	=	
a) jedno- i dwupoziomowych	15	20
b) wielopoziomowych	15	15
Dla samochodów w garażach indywidualnych	25	25

§ 103. 1. Do garażu położonego poniżej lub powyżej terenu należy zapewnić dojazd dla samochodów za pomocą pochylni o maksymalnym nachyleniu nie większym niż określone w § 70 lub zastosować odpowiednie urządzenia do transportu pionowego.

§ 105. 5. W garażu wielopoziomowym lub stanowiącym kondygnację w budynku mieszkalnym wielorodzinnym oraz budynku użyteczności

publicznej należy zainstalować urządzenia dźwigowe lub inne urządzenia podnośne umożliwiające transport pionowy osobom niepełnosprawnym poruszającym się na wózkach inwalidzkich na inne kondygnacje, które wymagają dostępności dla tych osób.

§ 193. 1. W budynkach, o których mowa w § 54 ust. 1 i 2, liczbę i parametry techniczno-użytkowe dźwigów należy ustalać z uwzględnieniem przeznaczenia budynku, jego wysokości oraz liczby i rodzaju użytkowników.

2. Co najmniej jeden z dźwigów służących komunikacji ogólnej w budynku z pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi, a także w każdej wydzielonej w pionie, odrębnej części (segmencie) takiego budynku powinien być przystosowany do przewozu mebli, chorych na noszach i osób niepełnosprawnych.

2a. Kabina dźwigu osobowego dostępna dla osób niepełnosprawnych powinna mieć szerokość co najmniej 1,1 m i długość 1,4 m, poręczę na wysokości 0,9 m oraz tablicę wezwań na wysokości od 0,8 m do 1,2 m w odległości nie mniejszej niż 0,5 m od naroża kabiny z dodatkowym oznakowaniem dla osób niewidomych i informacją głosową.

II. Rozporządzenie Ministra Przedsiębiorczości i Technologii z dnia 30 października 2018 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji, napraw i modernizacji urządzeń transportu bliskiego [10]

Zawartość dokumentacji uzupełniającej przedstawianej do badania łączy w ppkt 5 wymagania warunków technicznych dozoru technicznego z prawem budowlanym.

Dokumentacja uzupełniająca zawiera:

- 1) szkic sytuacyjny zmontowanego UTB, uwzględniający w szczególności nieujęte w rysunku zestawieniowym rzeczywiste odległości UTB od otoczenia, przejścia, dojścia i ewentualne elementy osłonowe;
- 2) schematy zasilania UTB, ze wskazaniem w szczególności osprzętu, wielkości i rodzaju zabezpieczeń, rodzaju i typu przewodów zasilających;
- 3) poświadczenie prawidłowości montażu i przeprowadzonych prób, z wyłączeniem dźwigów oraz ich elementów bezpieczeństwa, które spełniają wymagania dotyczące oceny zgodności określone w odrębnych przepisach;
- 4) protokoły pomiarów rezystancji izolacji obwodów elektrycznych, uziemień roboczych i odgromowych oraz ochrony przeciwporażeniowej instalacji UTB, zatwierdzone przez osobę spełniającą wymagania kwalifikacyjne dla stanowiska dozoru, o której mowa w przepisach wydanych na podstawie art. 54 ust. 6 ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz. U. z 2018 r. poz. 755 z późn. zm.);
- 5) poświadczenie prawidłowości wykonania części konstrukcyjno-budowlanej obiektu związanej z UTB, o ile ma to zastosowanie.

III. Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych [6]

Zgodnie z art. 12 ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych budynki użyteczności publicznej oraz budynki mieszkalne wielorodzinne, usytuowane w gminach, o których mowa w art. 60 ust. 1, oraz związane z nimi wewnętrzne i zewnętrzne stanowiska postojowe projektuje się i buduje, zapewniając moc przyłączeniową pozwalającą wyposażyć te stanowiska w punkty ładowania o mocy nie mniejszej niż 3,7 kW.

Według art. 12a ustawy budynki niemieszkalne, z którymi związanym jest więcej niż 10 stanowisk postojowych, projektuje się i buduje, zapewniając zainstalowanie co najmniej jednego punktu ładowania oraz kanałów na przewody i kable elektryczne umożliwiających zainstalowanie co najmniej jednego punktu ładowania na pięć stanowisk postojowych, jeżeli te stanowiska postojowe znajdują się wewnątrz budynku lub przylegają do budynku.

Natomiast budynki mieszkalne, z którymi związanych jest więcej niż 10 stanowisk postojowych, projektuje się i buduje, zapewniając zainstalowanie kanałów na przewody i kable elektryczne na wszystkich stanowiskach postojowych, umożliwiających zainstalowanie punktów ładowania na każdym stanowisku postojowym, jeżeli te stanowiska postojowe znajdują się wewnątrz budynku lub przylegają do budynku.

Przez przyleganie do budynku rozumie się powiązanie z tym budynkiem, pod względem własności lub używania na podstawie innego tytułu prawnego, parking, który bezpośrednio przylega do tego budynku lub nie przylega bezpośrednio do tego budynku.

Powyższe wymagania mają również zastosowanie w przypadku **budynków poddawanych przebudowie albo remontowi**, w ramach których koszt wykonywanych prac związanych z przegrodami zewnętrznymi lub systemami technicznymi budynku wynosi więcej niż 25% wartości budynku, nie wliczając wartości gruntu, na którym usytuowane są budynek i parking, oraz gdy koszty instalacji punktów ładowania i infrastruktury kanałowej nie przekraczają 7% całkowitego kosztu przebudowy albo remontu, jeżeli stanowiska postojowe znajdują się wewnątrz budynku, a przebudowa albo remont obejmuje parking lub infrastrukturę elektryczną budynku, lub przylegają do budynku, a przebudowa albo remont obejmuje parking lub infrastrukturę elektryczną parkingu.

W przypadku budynków niemieszkalnych, które stanowią własność małych i średnich przedsiębiorców, o których mowa w ustawie z dnia 6 marca 2018 r. – Prawo przedsiębiorców (Dz. U. z 2024 r. poz. 236 i 1222) [11], wyżej wymienione przepisy nie mają zastosowania.

Każda wybudowana stacja ładowania, czyli urządzenie budowlane lub wolnostojący obiekt budowlany z zainstalowanym co najmniej jednym punktem ładowania, oraz punkt ładowania stanowiący element ładowania drogowego transportu publicznego podlega badaniom technicznym UDT. Badania wykonuje się przed oddaniem do eksploatacji oraz każdorazowo w przypadku naprawy lub modernizacji.

Niektóre urządzenia są zwolnione z obowiązku przeprowadzania badań UDT. Zależy to przede wszystkim od mocy, charakteru użytkowania oraz czy w danym punkcie będzie świadczona usługa ładowania. Urządzeniem takim z pewnością jest punkt ładowania o mocy nie większej niż 3,7 kW zainstalowany w stacji innej niż ogólnodostępna, czyli takiej, która

nie jest dostępna na zasadzie równoprawnego traktowania dla każdego posiadacza pojazdu elektrycznego i pojazdu hybrydowego. Innym przykładem jest także prywatny punkt ładowania, zainstalowany na własne potrzeby właściciela, który nie świadczy usługi ładowania.



Niezależnie od miejsca zainstalowania konieczna jest dbałość o bezpieczeństwo użytkowników i ich pojazdów, osób postronnych czy też zwierząt. Stacja ładowania powinna

również zostać zabezpieczona przed uszkodzeniami mechanicznymi. Wymagania w zakresie instalacji takiego urządzenia, w tym ochrony przeciwporażeniowej czy ochrony przeciwpożarowej, powinny być określone w instrukcji eksploatacji sporządzonej przez producenta. Instrukcja taka powinna również zawierać harmonogram przeprowadzania przeglądów serwisowych, pomiarów ochronnych oraz prób funkcjonalnych. Eksploatujący jest zobowiązany do przestrzegania zapisów wyżej wymienionej instrukcji, co stanowi nieodzowny element bezpiecznego funkcjonowania takiej instalacji.

Przykładowe stanowiska postojowe ładowania pojazdów



Rys. 1. Stacja ogólnodostępna



Rys. 2. Prywatny punkt ładowania

Przykłady urządzeń dźwignicowych



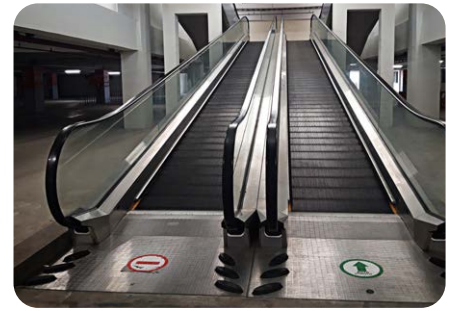
Rys. 3. Platforma do przemieszczania osób niepełnosprawnych pochyła



Rys. 4. Platforma do przemieszczania osób niepełnosprawnych pionowa



Rys. 5. Schody ruchome



Rys. 6. Chodniki ruchome



Rys. 7. Dźwig osobowy



Rys. 8. Dźwig do transportu pojazdów



Rys. 9. Systemy do parkowania pojazdów

IV. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu [12]

Dział V Rozporządzenia – Eksploatacja – wskazuje na istotne obowiązki eksploatującego urządzenia ciśnieniowe w związku z wymaganiami ustawy o dozorze technicznym. I tak w § 11 ust. 1 wskazuje:

„Przed przystąpieniem do eksploatacji urządzenia ciśnieniowego eksploatujący składa wniosek w postaci papierowej albo elektronicznej do organu właściwej jednostki dozoru technicznego w celu uzyskania decyzji zezwalającej na eksploatację urządzenia”.

Wymaganie to jest zbieżne z wymaganiami prawa budowlanego, ponieważ do zakończenia budowy oczywistym wydaje się uruchomienie wszelkich instalacji, w których mogą znajdować się urządzenia ciśnieniowe podlegające dozorowi technicznemu pełnemu. Działanie to zgodnie z powyższym rozporządzeniem musi być połączone z uzyskaniem decyzji zezwalającej na eksploatację, którą później można dołączyć do zawiadomienia o zakończeniu budowy.

Dokumentacja wymagana przy zgłoszeniu urządzenia do badań odbiorczych – tych, po których wydaje się wskazaną wyżej decyzję zezwalającą na eksploatację – określona została w § 12 ust. 1.

Część tej dokumentacji związana jest z samym urządzeniem lub osprzętem i na etapie zakupu należy dopilnować jej przekazania przez sprzedającego lub producenta. Jednak powinny się w niej znaleźć także elementy, które związane są ściśle z etapem projektowania i budowy. Do takich dokumentów należeć będą:

- schemat technologiczny instalacji z zaznaczeniem lokalizacji urządzenia, źródeł zasilania, osprzętu ciśnieniowego oraz osprzętu zabezpieczającego i automatyki zabezpieczającej,
- plan usytuowania urządzenia ciśnieniowego, z uwzględnieniem rozmieszczenia sąsiednich urządzeń lub budynków,
- opis doboru osprzętu zabezpieczającego, automatyki zabezpieczającej, osprzętu ciśnieniowego, elementów urządzenia ciśnieniowego i ich połączeń oraz źródeł zasilania.

Na etapie projektowania należy pamiętać o wymaganiami § 14 ust. 1.

„Eksploatację urządzeń ciśnieniowych prowadzi się zgodnie z ich przeznaczeniem, zasadami

określonymi w rozporządzeniu oraz instrukcją eksploatacji, stosując odpowiednie środki bezpieczeństwa”

Ważne jest, aby na etapie badań odbiorczych nie okazało się, że zapis ten nie jest spełniony poprzez zapisy wykluczające zastosowanie urządzenia w przewidziany przez projektanta sposób (np. z uwagi na sposób instalacji) zawarte w instrukcji urządzenia.

Z kolei na etapie montażu należy zachować szczególną ostrożność przy transporcie i osadzeniu w docelowym miejscu danego urządzenia. Ze względu na kształt i niekiedy znaczne gabaryty czynności te mogą sprawiać pewne trudności. Jednak wszelkie uszkodzenia, w szczególności prowadzące do deformacji, a także zarysowania i otarcia uszkadzające materiał z zewnątrz mogą powodować brak możliwości wydania decyzji zezwalającej na eksploatację.

W czasie badania odbiorczego urządzenie musi być w stanie gotowości do pracy. Odpowiednie planowanie i ułożenia harmonogramu prac z uwzględnieniem badań odbiorczych tych urządzeń powinno zakładać dostęp czynnika roboczego, możliwość uruchomienia urządzeń pomocniczych celem uzyskania na czas badania warunków choćby zbliżonych do tych, w jakich docelowo urządzenie będzie pracować.

Warto zadbać także o to, żeby po zakończonej budowie eksploatacja mogła być prowadzona zgodnie z wymaganiami § 18:

„Urządzenie ciśnieniowe mogą obsługiwać osoby, które wykazują się znajomością instrukcji eksploatacji, praktycznymi umiejętnościami obsługi urządzenia ciśnieniowego oraz znajomością przepisów dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy oraz spełniają wymagania dodatkowe określone w instrukcji eksploatacji”.

Aby właściwie zaplanować realizację powyższych wymagań, warto jeszcze przed rozpoczęciem budowy mieć świadomość, które urządzenia z założonych w projekcie będą wymagały uzyskania decyzji zezwalającej na eksploatację. Po wstępnej kwalifikacji na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu [13] należy skategoryzować urządzenia wg załącznika 1 rozporządzenia Ministra Rozwoju i Technologii z 17 grudnia 2021 r. i uwzględnić na koniec robót zgłoszenie tych urządzeń i przygotowanie do badań przez inspektora UDT.

Literatura

1. Ustawa o dozorze technicznym, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20001221321>
2. Dyrektywa dźwigowa 2014/33/UE, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0033&qid=1397034164736&>;
3. Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006L0042:20091215:PL:PDF>
4. Dyrektywa urządzenia ciśnieniowe 2014/68/UE, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068&qid=1470737308349&>;
5. Dyrektywa proste zbiorniki ciśnieniowe 2014/29/UE, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_096_R_0045_01&from=PL
6. Ustawa z 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/U/D20180317Lj.pdf>;
7. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20190001316/O/D20191316.pdf>
8. Ustawa – Prawo budowlane, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20240000725/U/D20240725Lj.pdf>
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20020750690>
10. Rozporządzenie Ministra Przedsiębiorczości i Technologii z dnia 30 października 2018 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji, napraw i modernizacji urządzeń transportu bliskiego, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20180002176>
11. Ustawa – Prawo przedsiębiorców (Dz. U. z 2024 r. poz. 236 i 1222), <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000646/U/D20180646Lj.pdf>
12. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20220000068>
13. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20120001468>
14. Poradnik „Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa w infrastrukturze ładowania pojazdów elektrycznych” <https://www.udt.gov.pl/poradniki-i-przewodniki/ochrona-odgromowa-i-przeciwprzepięciowa-w-infrastrukturze-ladowania-pojazdow-elektrycznych-poradnik>

WIRTUALNY ŚWIAT UDT



MGR INŻ. OLGA TACHMAŃSKA

Specjalista ds. Rozwoju
Metod Badawczych
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego



MGR INŻ. MIŁOSZ SABADY

Specjalista ds. Rozwoju
Metod Badawczych
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego

W magazynie UDT „Inspektor – Technika i bezpieczeństwo” (1/2024) [1] zostały otwarte wrota do świata innowacji i rozwoju. Jednym z jego obszarów była wirtualna rzeczywistość.

WIRTUALNA RZECZYWISTOŚĆ (VR, Z ANG. VIRTUAL REALITY) TO TECHNOLOGIA, KTÓRA TWORZY TRÓJWYMIAROWE, W PEŁNI IMMERSYJNE WIRTUALNE ŚRODOWISKO. UŻYTKOWNIK MOŻE SIĘ W NIM ZANURZYĆ I ODDZIAŁYWAĆ NA NIE W SPOSÓB REALISTYCZNY. VR WYKORZYSTUJE SPECJALNE GOGLE I CZUJNIKI, KTÓRE ŚLEDZĄ RUCHY GŁOWY I CIAŁA UŻYTKOWNIKA, CO POZWALA NA INTERAKCJĘ Z WIRTUALNYM ŚWIATEM [2].

Jednym z obszarów działania Departamentu Innowacji i Rozwoju w UDT jest technologia VR, która nadal dla niektórych brzmi jak science fiction, jednak jest ona już mocno zakorzeniona w naszej codzienności. Tak jak silnik parowy czy później energia elektryczna usprawniły pracę dźwigu osobowego, tak wirtualny świat daje możliwość usprawnienia wielu procesów, na przykład może stanowić wsparcie w pozyskiwaniu wiedzy technicznej. Doświadczenie immersyjne sprawia, że proces edukacji aktywizuje większą liczbę zmysłów niż tradycyjne metody przyswajania wiedzy. Dzięki temu szkolenie jest atrakcyjniejsze, bardziej angażujące, a co za tym idzie – efektywniejsze.



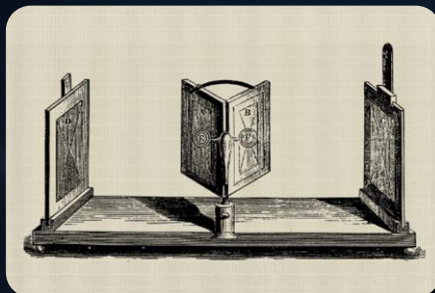
ZARYS HISTORYCZNY

Badania nad technologią VR trwają już od lat 60. XIX w. Jednym z prekursorów technologii jest stereoskop stworzony przez Charlesa Wheatstone'a w 1838 r. (rys. 1) [5]. Stereoskop umożliwiał tworzenie iluzji głębi poprzez pokazywanie dwóch lekko różnych obrazów jednemu oku, a mózg łącząc te obrazy, powodował wrażenie trójwymiarowości. Rozwiązanie to nakreśliło perspektywę myślenia o tym, jak wizualizacja trójwymiarowa może stworzyć iluzję zanurzenia się w innym świecie. Tę zasadę działania wykorzystał Wendell Holmes, który udoskonalił w 1861 r. stereoskop (rys. 2) [4] jako pierwowzór gogli VR. Następnie w 1929 r. Edward Link stworzył pierwszy symulator lotów (rys. 3) [5], a w 1962 r. za sprawą Mortona Heiliga, powstała sensorama (rys. 4) łącząca wyświetlacz 3D, głośniki stereo, wentylatory, wibrujące krzesło i generator zapachu [4][5][7]. Pierwsze okulary VR ze śledzeniem ruchów głowy opracowała Philco Corporation w 1961 r. (rys. 5) [5], natomiast w 1977 r. Daniel Sandin stworzył rękawicę, która zapoczątkowała badania nad rozpoznawaniem gestów (rys. 6). W roku 1978 miała miejsce prezentacja wirtualnego spaceru (dzisiejsze Google Street View) przez Andrew Lippmana [4], a w 2012 r. odbyła się premiera gogli Oculus Rift (rys. 7) firmy Oculus VR, założonej przez Palmera Luckeya [6][7].

Historia VR to ciągle przekraczanie granic i dążenie do optymalnych rozwiązań. Innowacje, kreatywność, nowe kompetencje i rozwój w tej dziedzinie dają możliwość coraz to głębszego zanurzenia się w wirtualny świat i wykorzystania tej technologii w różnych obszarach biznesu.

IMMERSYJNE WIRTUALNE ŚRODOWISKO

„Sztucznie wytworzone zestawy bodźców, które dostarczane są użytkownikowi za pomocą interfejsów człowiek-komputer. Zastępują one część lub całość bodźców pochodzących z rzeczywistego otoczenia i dają wrażenie, że tak spostrzegane środowisko i jego elementy nie są sztucznie wytworzone [...]” [3].



Rys. 1. Stereoskop Charlesa Wheatstone'a [5]



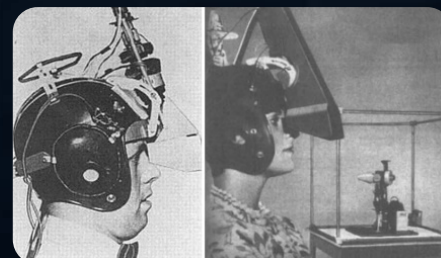
Rys. 2. Stereoskop Holmesa [4]



Rys. 3. Pierwszy symulator lotów [5]



Rys. 4. Sensorama [5]



Rys. 5. Pierwsze okulary VR ze śledzeniem ruchów głowy [5]



Rys. 6. Zestaw HMD – Head Mounted Display i cyberrękawice z Ames Research Center NASA [4]



Rys. 7. Gogle Oculus Rift [8]

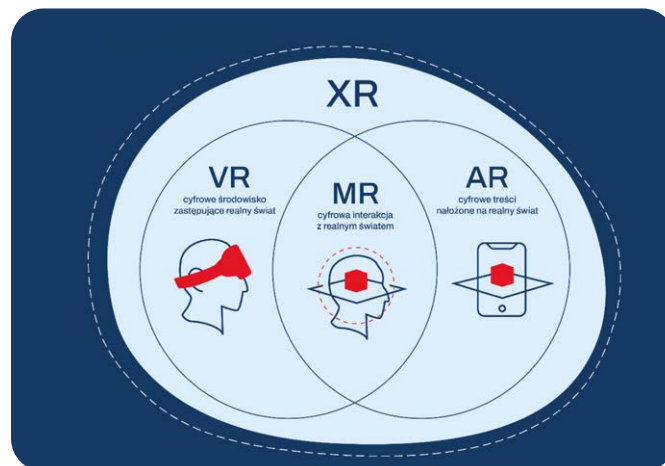
BIZNES

Wirtualna rzeczywistość jest jednym z najszybciej rozwijających się i najbardziej innowacyjnych obszarów na globalnym rynku. Postęp technologiczny i zainteresowanie konsumentów są głównymi czynnikami napędzającymi rozwój VR. Trend implementacji technologii przez firmy z listy Fortune 500 stale rośnie – 52% z nich już ją testuje lub stosuje. Dwa główne obszary wykorzystywania VR dotyczą operacji biznesowych i doświadczeń klientów [13]. Zainteresowane technologią VR są największe firmy technologiczne (i nie tylko) na świecie, takie jak Apple, Microsoft, Google LLC, Samsung Electronics czy Meta (posiadacz takich platform jak: Facebook, Instagram i innych).

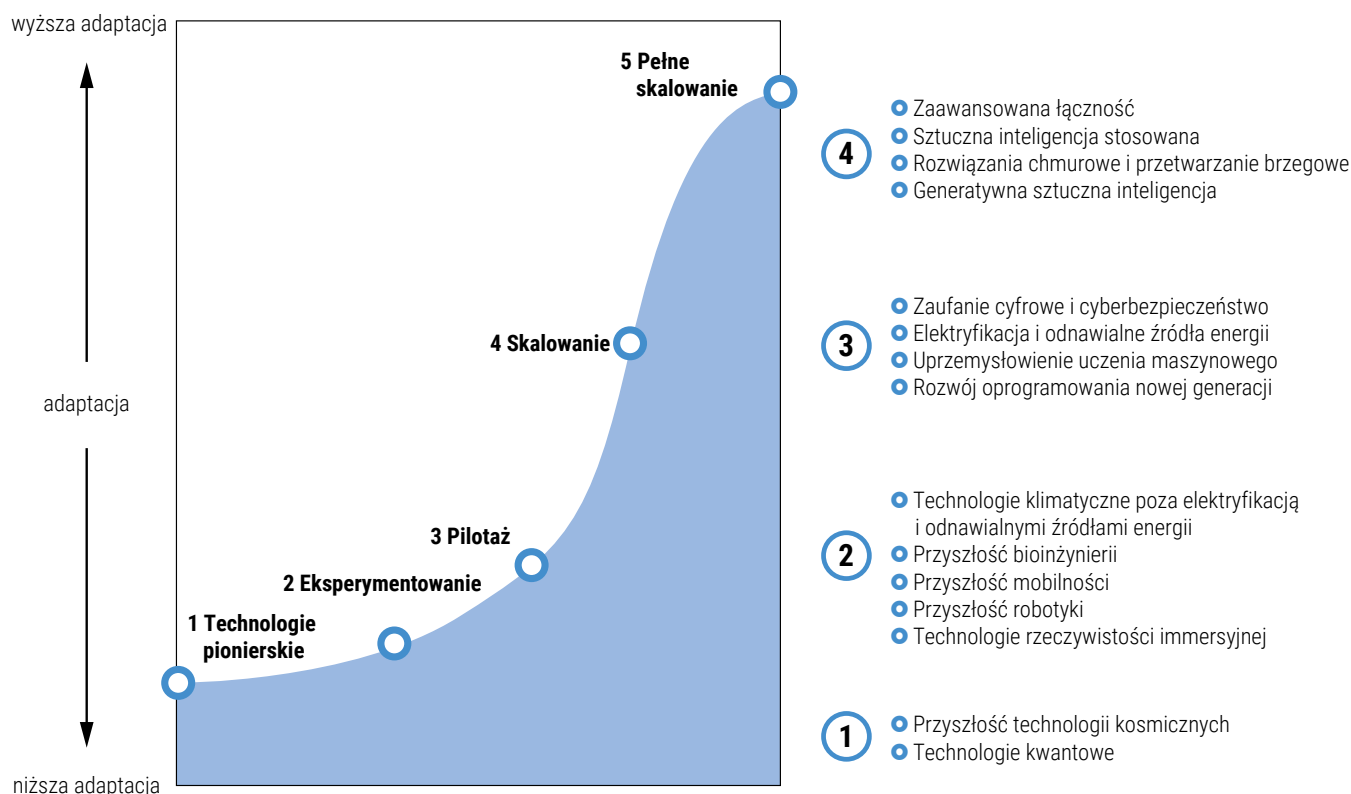
Według raportu McKinsey technologie immersyjne, zwane również XR (ang. eXtended Reality), do których zaliczamy VR, AR (ang. Augumented Reality – rozszerzona rzeczywistość) oraz MR (ang. Mixed Reality – mieszana rzeczywistość) (rys. 8) są obecnie w drugiej, eksperymentalnej fazie adaptacji technologii (rys. 9) [15].

Producenci inspirowani głosami rynku dążą do rozwoju i tworzenia kolejnych, jeszcze bardziej realistycznych, kompleksowych i funkcjonalnych rozwiązań.

VR prężnie rozwija się w takich gałęziach gospodarki, jak: ochrona zdrowia, edukacja, motoryzacja, handel, branża rozrywkowa, przemysł lotniczy i obronny, produkcja i inne [16]. Dla przykładu w 2021 r. Emirates jako pierwsza linia lotnicza wprowadziła na rynek aplikację VR pozwalającą użytkownikowi na eksplorowanie kabiny samolotu z domowego zacisza, natomiast Facebook (Meta) uruchomił aplikację VR do współpracy/pracy zdalnej – Horizon Workrooms [12].

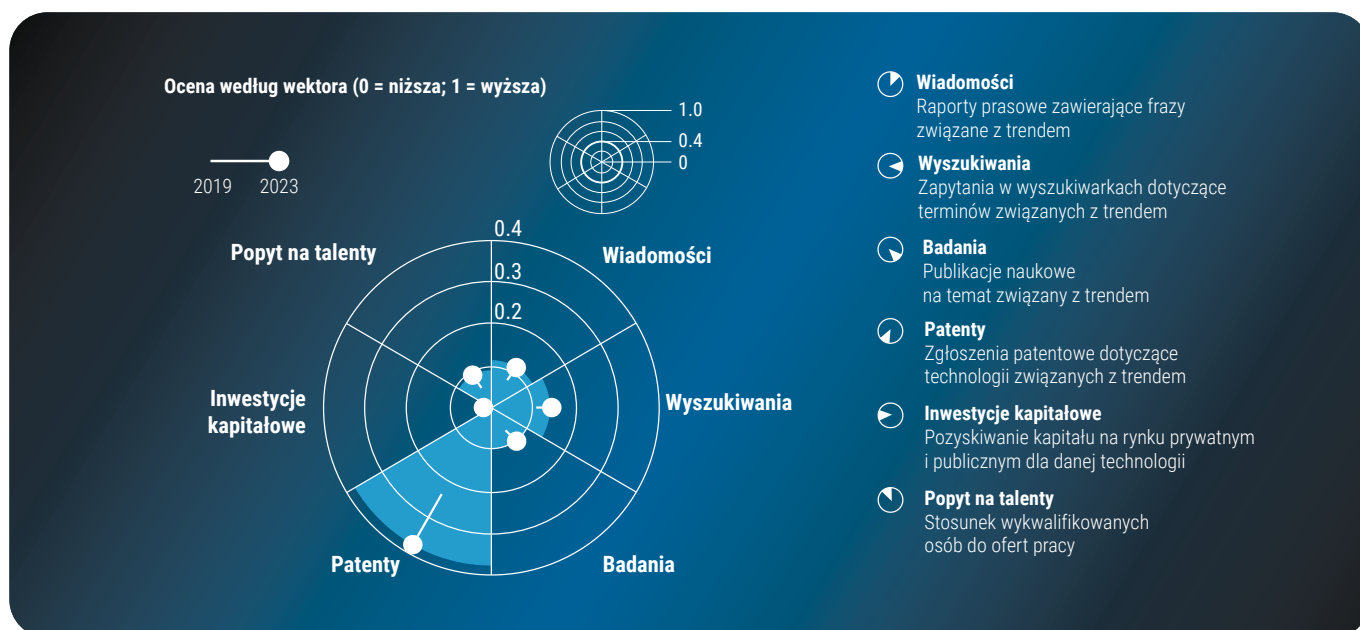


Rys. 8. Technologie immersyjne – VR, AR, MR – XR [18]



Rys. 9. Poziom adaptacji nowoczesnych technologii [15]

Wielkość rynku VR w 2022 r. oszacowano na 15,75 mld USD [13]. Tymczasem w 2023 r. wyniosła ona już około 25,11 mld USD [14]. Mając na uwadze ten trend, szacuje się, że stabilny coroczny wzrost będzie wynosić 20–30%. Jeśli ta prognoza się potwierdzi, wartość rynku VR w 2031 r. wyniesie 91,54 mld USD [13]. W latach 2019–2023 zaobserwowano przyrost liczby publikacji, patentów, badań, inwestycji, wyników wyszukiwania oraz nowości związanych z tematyką XR (rys. 10).



Rysunek 10. Rozwój technologii immersyjnych 2019-2023 [15]

W UDT stale monitorujemy rynek nowych technologii, testujemy rozwiązania starannie wyselekcjonowane pod kątem naszych wymagań i oczekiwań. Jeżeli dana technologia jest w stanie im sprostać, w kolejnym kroku wdrażamy ją operacyjnie. Wycucie odpowiedniego momentu na wdrożenie nowej technologii wymaga doświadczenia, licznych analiz i konsultacji z ekspertami, co stanowi podstawy naszej codziennej pracy.

VR W UDT

W UDT pracujemy nad technologią VR od 2019 r. (rys. 11), tworzymy aplikacje, które wspierają proces szkolenia nowych pracowników, pomagają w zdobywaniu nowych kompetencji oraz poszerzają świadomość na temat innowacji w organizacji.

Aplikacje budujemy na podstawie zdjęć sferycznych oraz 2D. Przy użyciu odpowiedniego oprogramowania kreujemy spacer po obiekcie, podobne do Google Street View. Taki spacer uzupełniamy o wiedzę merytoryczną z zakresu wszystkich elementów podlegających badaniu technicznemu. Aby uzyskać spójność i wysoką jakość przekazywanych informacji, angażujemy specjalistów merytorycznych z różnych obszarów organizacji.

Do tej pory przygotowaliśmy trzy aplikacje. Pierwsza z nich dotyczy dźwigu osobowego, kolejna to spacer po Centralnym Laboratorium Dozoru Technicznego (CLDT) w Poznaniu. Najnowsza aplikacja przedstawia urządzenia poddoporowe znajdujące się w elektrowni wiatrowej (podest ruchomy, wciągnik oraz hydroakumulatory). Na bieżąco pracujemy nad poszerzaniem bazy urządzeń, które można odwiedzić w wirtualnej rzeczywistości oraz rozbudowujemy nasze wyposażenie sprzętowo-programowe.

Kolejnym zastosowaniem technologii jest symulator wózka jezdniowego podnośnikowego z mechanicznym napędem podnoszenia (rys. 12). Jego wdrożenie zostało już opisane we wcześniejszym numerze magazynu Inspektor [1].



Rys. 11. Pierwsze gogle VR w UDT



Rys. 12. Symulator VR wózka jezdniowego podnośnikowego czołowego

BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACJI

Jako pracownicy UDT dbamy o bezpieczeństwo publiczne i propagujemy kulturę bezpieczeństwa w zakresie bezpiecznej eksploatacji urządzeń technicznych. W związku z tym zwracamy szczególną uwagę na te aspekty również we wdrożeniach wewnętrznych. Każda technologia wiąże się z ograniczeniami i przeciwwskazaniami. Ich świadomość oraz utworzenie i stosowanie odpowiednich procedur pozwalają wdrożyć dane rozwiązanie z powodzeniem. Wirtualna rzeczywistość daje nam unikalne możliwości interakcji, natomiast nie jest ona przeznaczona dla wszystkich.

WYBRANE PRZECIWSKAZANIA I OGRANICZENIA STOSOWANIA GOGLI VR

• Przeciwwskazania zdrowotne

Kobiety w ciąży, osoby z epilepsją, chorobami serca – w szczególności z rozrusznikiem (stymulatorem) serca, w podeszłym wieku, z zaburzeniami widzenia, cierpiące na choroby psychiczne, jak i osoby posiadające inne poważne schorzenia przed użyciem gogli VR powinny skonsultować się z lekarzem. To bardzo ważne, aby przed udostępnieniem sprzętu upewnić się, czy u danej osoby nie występują wyżej wymienione przeciwwskazania do użytkowania gogli [19].



• Bariera wejścia i fizyczne ograniczenia

W przypadku osób, które nie miały wcześniej do czynienia ze światem wirtualnym, pierwszy kontakt z goglami VR może wymagać odpowiedniego podejścia i przygotowania, a konkretnie przystosowania się organizmu do rzeczywistości wirtualnej. Głównie dlatego, że zanurzenie w świat wirtualny często wywołuje chorobę lokomocyjną (dotyka prawie 58% użytkowników [13]) lub ból głowy. Czas potrzebny na przystosowanie zależy od indywidualnych cech i możliwości użytkownika. Z reguły już po kilku sesjach dolegliwości ustępują. Mając na uwadze wymaganą higienę pracy, każda sesja (ciągła interakcja) nie może być dłuższa niż 30 minut. Jeśli szkolenie obejmuje kilka sesji, muszą one być przeplatane przerwami. Tu istotną rolę odgrywają właśnie projektanci. Ich zadaniem jest przygotowanie materiału w odpowiednich dawkach. Odpowiednich, czyli możliwych do przyswojenia w ściśle określonym czasie [19].

• Próg wiekowy

Stosowanie gogli VR nie jest wskazane również dla małoletnich, gotowość do korzystania z gogli u dzieci określa rodzic, jednak nie zaleca się stosowania tego typu sprzętu poniżej 12 roku życia [20].

• Podsumowanie

Technologie immersyjne zaliczane są do grupy zaawansowanych technologii przyszłości. W artykule skupiliśmy się na jednej z nich, tj. wirtualnej rzeczywistości. O ile początki VR sięgają XIX w., o tyle znaczny rozwój przypada na kilka ostatnich lat. Technologia ta wykorzystywana jest coraz szerzej, od edukacji po przemysł. Dzięki niej możemy symulować rzeczywistość w sposób, który wcześniej był nieosiągalny.

Dobrze zaprojektowane aplikacje VR mogą znacznie poprawić efektywność przyswajania wiedzy, oferując realistyczne i angażujące środowisko nauki. Ważne jest zapewnienie intuicyjnych i przejrzystych interfejsów oraz odpowiednich sesji szkoleniowych z przerwami, aby uniknąć zmęczenia i dyskomfortu.

W UDT opracowaliśmy dotychczas trzy aplikacje VR: dla dźwigu osobowego, spaceru po Centralnym Laboratorium Dozoru Technicznego (CLDT) oraz dla urządzeń w elektrowni wiatrowej. Nie tracimy jednak z oczu możliwości wystąpienia ograniczeń i przeciwwskazań zdrowotnych związanych z używaniem gogli VR, takich jak choroba lokomocyjna, ból głowy czy przeciwwskazań zdrowotnych dla osób z pewnymi schorzeniami.

Prawidłowe wdrożenie technologii VR w UDT ma na celu poprawę bezpieczeństwa publicznego oraz ciągłe doskonalenie procesów i usług. Jako techniczna jednostka ekspercka stawiamy na kompetencje i jakość, co bezpośrednio przekłada się na potrzebę ciągłego rozwoju. Optymalne wykorzystanie technologii immersyjnych stawia wyzwania, ale daje również ogromne możliwości rozwoju, co jest istotne dla przyszłości organizacji. Ich wartość potwierdzają liczni globalni interesariusze. Wdrożenie wirtualnej rzeczywistości do organizacji wymaga wysiłku, natomiast dzięki niej nasza przyszłość jest już teraz.

Literatura:

1. „Inspektor – Technika i Bezpieczeństwo” 1/2024 https://www.udt.gov.pl/images/INSPEKTOR_1_2024_WCAG.pdf
2. <https://www.udt.gov.pl/technologie-vr-i-ar> (dostęp 08.2024)
3. <https://elearning.przemyslprzyszlosci.gov.pl/sloownik-pojec/immersyjne-wirtualne-srodowisko/> (dostęp 08.2024)
4. <https://it-szkola.edu.pl/publikacje/plik,99> (dostęp 08.2024)
5. <https://www.cyberskill.pl/historia-vr/> (dostęp 08.2024)
6. <https://re-challenge.pl/technologie-vr/technologie-vr-wirtualna-rzeczywistosc-historia-prze-gląd-zastosowan-przyszlosc-technologie/> (dostęp 08.2024)
7. https://shoplet.pl/blog/post/300-gogle-wirtualnej-rzeczywistosci-vr-historia-technologie-i-sprzetu.html?page_type=post (dostęp 08.2024)
8. <https://www.roadtovr.com/palmer-luckey-oculus-rift-speech-evolve-london-2012/> (dostęp 08.2024)
9. <https://www.komputronik.pl/product/800653/insta360-pro-2-vr-360-8k-kamera-farsight-monitoring-standard-.html> (dostęp 08.2024)
10. https://gearpro.pl/product-pol-3640-Kamera-Gopro-Max-Black-Sferyczna-360-Autoryzowany-Sprzedawca.html?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIqLB9f3fhwMVUxCiAx095g-PVEAQYBCABEG_LZk_D_BwE (dostęp 08.2024)
11. <https://www.newsshooter.com/2023/09/27/meta-quest-3-advanced-all-in-one-vr-headset/> (dostęp 08.2024)
12. <https://www.statista.com/statistics/677096/vr-headsets-worldwide/> (dostęp 08.2024)
13. <https://www.skyquestt.com/report/virtual-reality-market> (dostęp 08.2024)
14. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/virtual-reality-market-101378> (dostęp 08.2024)
15. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech#enterprise-tech-adoption> (dostęp 08.2024)
16. <https://www.factmr.com/report/virtual-reality-market> (dostęp 08.2024)
17. <https://hqsoftwarelab.com/blog/vr-ar-challenges-training/> (dostęp 08.2024)
18. Edu Inspiracje WZIE: Technologia XR w edukacji. Czy jesteśmy na nią gotowi? <https://zie.pg.edu.pl/node/1770> (dostęp 11.2024)
19. <https://www.meta.com/pl/legal/quest/health-and-safety-warnings/> (dostęp 10.2024)
20. <https://www.scientificamerican.com/article/are-virtual-reality-headsets-safe-for-children/> (dostęp 10.2024)

eUDT

PORTAL INTERNETOWY
Urzędu Dozoru Technicznego

Załącz konto na portalu eUDT.

Wypełnij formularz rejestracyjny
dostępny na <https://eudt.gov.pl/>
i korzystaj z usług oferowanych przez

UDT on-line!



- Wygodny i szybki dostęp do informacji o Twoich urządzeniach, terminach badań i rozliczeniach finansowych z UDT
- Darmowy dostęp do portalu 24/7/365
- Łatwe i proste śledzenie zdarzeń związanych z Twoimi urządzeniami
- Możliwość ustawienia własnego kalendarza wydarzeń oraz alertów
- Możliwość wyświetlania i pobierania dokumentów UDT
- Elektroniczna korespondencja z UDT, więcej spraw, które załatwisz on-line
- Decyzje i protokoły w formie elektronicznej
- Płatności on-line



W razie dodatkowych pytań skontaktuj się z Infolinią UDT pod numerem 22 57 22 100.

*Wspieramy rozwój
Dbamy o bezpieczeństwo*



SPAWALNICTWO

KOMPLEKSOWE WSPARCIE UDT-CERT

- SZKOLENIA I KONFERENCJE ■
- TECHNOLOGIE SPAJANIA ■
- CERTYFIKACJA ORGANIZACJI ■
- OCENA OŚRODKÓW ■
- EGZAMINOWANIE I CERTYFIKACJA OSÓB ■
- NADZÓR SPAWALNICZY ■

SPRAWDŹ OFERTĘ UDT-CERT!

