

INSPEKTOR

TECHNIKA I BEZPIECZEŃSTWO

Wydanie specjalne

ENERGETYKA KONWENCJONALNA CIEPŁOWNICTWO

- KIERUNKI ROZWOJU
- NOWOCZESNE METODY OCENY
- BEZPIECZNA EKSPLOATACJA
- MATERIAŁY DLA ENERGETYKI



- LOPA
- HAZOP
- FSM



- CYBERBEZPIECZEŃSTWO
- AUTOMATYKA ZABEZPIEZAJĄCA



- STALE S304H
- STOPY HR6W
- ATEX



AKADEMIA UDT

SZKOLENIA DLA ENERGETYKI

Zapraszamy do udziału w naszych szkoleniach!

Wymagania stawiane analizom zagrożeń i ryzyka
na przykładzie analiz HAZOP i LOPA

Analiza zagrożeń i ryzyka
– wymagania Urzędu Dozoru Technicznego

Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów zabezpieczeń
obiektów przemysłowych

Urządzenia i systemy ochronne pracujące w przestrzeniach
zagrożonych wybuchem – dyrektywy ATEX

Podstawowa wiedza z zakresu dyrektyw ATEX (2014/34/UE)
oraz ATEX user (1999/92/WE)

Utrzymanie ruchu w energetyce

Podstawy energetyki jądrowej
– wymagania w łańcuchu dostaw dla wykonawców

Materiały dla energetyki jądrowej
– wymagania, warunki dostaw

Zapraszamy do zapoznania się z ofertą szkoleń Akademii UDT!

Potrzebujesz szkolenia dostosowanego do potrzeb firmy? Napisz – szkolenia@udt.gov.pl





SPIS TREŚCI

STAN I KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ ENERGETYKI	4
ROZWÓJ STALI DLA ENERGETYKI	12
WYTRZYMAŁOŚĆ NA PEŁZANIE STALI SUPER 304HE	20
STRUKTURA STALI S304H PO 20 000 GODZIN STARZENIA	24
STOP HR6W DLA BLOKÓW ENERGETYCZNYCH NA PARAMETRY NADKRYTYCZNE I ULTRANADKRYTYCZNE	32
ET INSPEKTOR MONITOROWANIE ZUŻYCIA URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH ON-LINE	38
ATEX BEZPIECZEŃSTWO W STREFACH ZAGROŻONYCH WYBUCHEM	42
AUTOMATYKA ZABEZPIECZAJĄCA W INSTALACJACH ENERGETYCZNYCH WYMAGANIA UDT DLA URZĄDZEŃ W ENERGETYCE	48
DYNAMICZNE ZARZĄDZANIE RYZYKIEM INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH	56
METODA LOPA I GRAFU RYZYKA W PRZYPISANIU WYMAGAŃ SIL DLA FUNKCJI BEZPIECZEŃSTWA	60
NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANA METODA OCENY RYZYKA – HAZOP	66
CERTYFIKACJA SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM FUNKCJONALNYM	70
SYSTEMY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI (AI) W PROCESIE ZARZĄDZANIA INTEGRALNOŚCIĄ MECHANICZNĄ URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH.	74
WSPIERAMY ROZWÓJ DBAMY O CYBERBEZPIECZEŃSTWO W ENERGETYCE	78

Szanowni Państwo,

przekazujemy Państwu kolejne specjalne wydanie magazynu UDT. Tym razem numer poświęcamy branży energetycznej. Ważnym elementem miksu energetycznego jest energia konwencjonalna. Połączenie z nią źródeł odnawialnych stanowi element bezpieczeństwa energetycznego. Prezentujemy opracowania, które mogą stanowić wsparcie dla branży lub zostały specjalnie dla niej opracowane.

Zachęcam też do zapoznania się z wydaniem specjalnym magazynu UDT „Inspektor”, który dotyczy wybranych urządzeń transportu bliskiego (UTB). Istnieje grupa ogólnodostępnych urządzeń, z których korzystać może każdy m.in. dźwigi osobowe (windy) oraz urządzenia specjalistyczne dla osób z niepełnosprawnościami. Nasi eksperci opisali sposoby zwiększenia poziomu bezpieczeństwa, dostępności i komfortu użytkowania tych urządzeń.

Polecam też zapoznanie się z naszymi innymi publikacjami, wśród których znajdą Państwo nie tylko magazyn „Inspektor”, ale także poradniki dotyczące np. cyberbezpieczeństwa, oceny ustroju nośnego konstrukcji UTB oraz zasad bezpiecznej eksploatacji licznej grupy urządzeń dźwigowych i dźwignicowych (PRZEWODNIKI).

Zapraszam do lektury
Redaktor Naczelna

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



BIULETYN URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO

INSPEKTOR
TECHNIKA I BEZPIECZEŃSTWO

Wszelkie prawa zastrzeżone © Urząd Dozoru Technicznego
Redakcja zastrzega sobie prawa do skracania i redagowania tekstów.
Biuletyn Urzędu Dozoru Technicznego **INSPEKTOR** | 4/2023

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

Redaktor Naczelna:
Małgorzata Suś-Ryszkowska



STAN I KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ ENERGETYKI



DR INŻ. ROBERT WERSTA

Kierownik Działu Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu



**DR INŻ. MAŁGORZATA
SUŚ-RYSZKOWSKA**

Główny Specjalista ds. Komunikacji
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego





KRAJOWA ENERGETYKA ZAWODOWA NADAL OPARTA JEST NA WĘGLU, JEDNOCZEŚNIE OBSERWUJEMY ZACHODZĄCE ZMIANY POD WPŁYWEM RÓŻNORODNYCH CZYNNIKÓW, KTÓRE BĘDĄ KSZTAŁTOWAĆ PRZYSZŁOŚĆ TEGO SEKTORA. AKTUALNE TRENDY TO PRZED W SZYBOKIM NACISK NA REDUKCJĘ EMISJI GAZÓW CIĘPLARNIANYCH I STOPNIOWE ODCHODZENIE OD TECHNOLOGII WYTWÓRCZYCH OPARTYCH NA WĘGLU. ROŚNIE SPOŁECZNA ŚWIADOMOŚĆ ŚRODOWISKOWA. TRWAJĄ ZATEM POSZUKIWANIA NOWYCH ŹRÓDEŁ ENERGII, A SZCZEGÓLNIIE TYCH WIĄŻĄCYCH SIĘ Z ROZWOJEM TECHNOLOGII PRODUKCJI ENERGII ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH.

Dążenia do ochrony klimatu wymagają jednak wykorzystania wszystkich źródeł energii, bez której współczesny człowiek nie mógłby bezpiecznie funkcjonować. Miks energetyczny, w którym znaczącą rolę wciąż odgrywają konwencjonalne źródła energii, jest elementem bezpieczeństwa energetycznego. Trwają procesy rozwojowe i badania naukowe dotyczące zwiększania ekologicznego bezpieczeństwa energetyki konwencjonalnej. W energetyce zawodowej kładzie się również nacisk na poprawę efektywności energetycznej w celu zwiększenia wydajności i redukcji zużycia energii. Nowe technologie, zarządzanie energią oraz modernizacja istniejących elektrowni węglowych mogą pomóc w osiągnięciu tego celu.

Bezpieczeństwo energetyczne to stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy minimalizacji negatywnego oddziaływania sektora energii na środowisko i warunki życia społeczeństwa [1].

Międzynarodowa Agencja Energii definiuje bezpieczeństwo energetyczne jako nieprzerwaną fizyczną dostępność dostaw, po przystępnej cenie, wykorzystywaną w zgodzie ze środowiskiem [2].

ŹRÓDŁA ENERGII W POLSCE

Wiele krajów stara się zdywersyfikować źródła energii poprzez inwestowanie w jej odnawialne źródła, takie jak energia słoneczna, wiatrowa, jądrowa oraz energia hybrydowa. Dywersyfikacja ma na celu ograniczenie zależności od węgla i zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych.

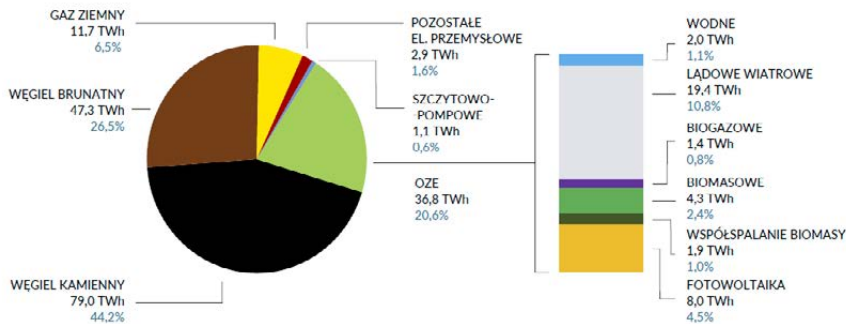
W Polsce łączna moc zainstalowana wszystkich źródeł energii elektrycznej wyniosła w czerwcu br. ponad 63 GW (energetyka konwencjonalna i OZE), z tego 25,4 GW to odnawialne źródła energii (40%). W tabeli nr 1 podano składowe moce odnawialnych źródeł energii – (OZE) i dynamikę ich rozwoju w pierwszej połowie bieżącego roku [3].

Tabela 1. Moc zainstalowana OZE według rodzaju źródeł w czerwcu 2023 r. [3]

elektrownie OZE	moc zainstalowana czerwiec 2022 [MW]	moc zainstalowana czerwiec 2023 [MW]	dynamika
elektrownie wodne	977,8	977,7	100,0
elektrownie wiatrowe	7 543,9	8 857,2	117,4
elektrownie biogazowe	266,1	286,4	107,6
elektrownie na biomasę	968,2	981,5	101,4
fotowoltaika	10 357,8	14 268,7	137,8
hybrydowa instalacja OZE	11,3	24,1	212,4
razem	20 125,0	25 395,6	126,2

Przedstawione dane dotyczące rozwoju OZE są optymistyczne, jednak produkcja energii elektrycznej w Polsce nadal oparta jest na węglu kamiennym i brunatnym. Na dzień 31.12.2022 r. wyniosła 70,7%, a pozostałe źródła to: gaz – 6,5%, 20,6% odnawialne źródła energii – (OZE) oraz inne źródła – 2,2% (rys. 1.).

Udział węgla w produkcji energii elektrycznej w 2022 r. zmniejszył się jednak o 1,7 punktu procentowego w stosunku do roku 2021. Produkcja energii z gazu ziemnego osiągnęła najniższy poziom od 2017 r. spowodowany rekordowo wysokimi cenami gazu na światowych giełdach, a jednostki gazowe i opierające się na węglu kamiennym zanotowały najniższe w historii współczynniki wykorzystania mocy. Produkcja energii z fotowoltaiki podwoiła się natomiast względem 2021 r. i wyniosła 8,0 TWh [4].



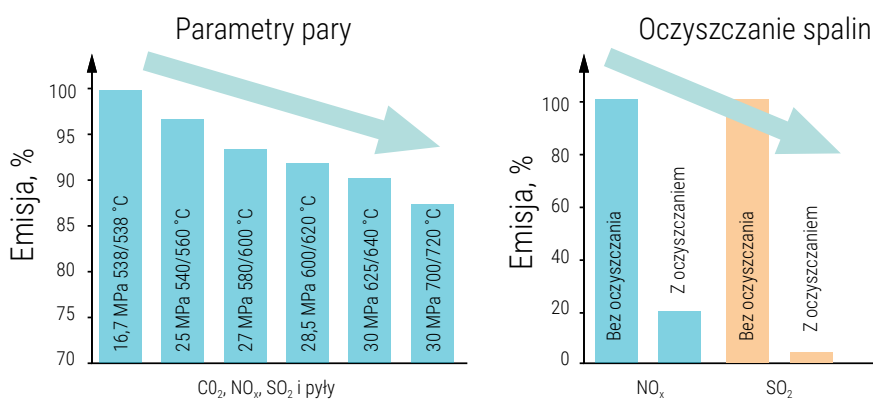
Rys. 1. Produkcja energii elektrycznej w 2022 r. [4]

Tak wysoki udział w produkcji energii, na poziomie 70,7%, wynika ze stanu potencjału mocy krajowego systemu energetycznego w odniesieniu do bloków spalających węgiel kamienny i brunatny, który obejmuje około 20 bloków o mocy 120 MW, około 50 bloków o mocy 200 MW, 16 bloków o mocy 360 MW, 2 bloki o mocy 500 MW oraz 8 nowoczesnych bloków o łącznej mocy 6129 MW (tab. 2) na nadkrytyczne parametry pracy i ultranadkrytyczne (USC) o ciśnieniu powyżej 25 MPa i temperaturze pary pierwotnej 565-600°C oraz przegrzanej 610-620°C.

Zastosowanie USC parametrów pary pozwala na podniesienie sprawności bloków energetycznych do wartości powyżej 45%. To dzięki wzrostowi temperatury pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej o 20°C uzyskuje się wzrost sprawności (względnej) o 1 punkt procentowy, zaś dla każdego wzrostu ciśnienia pary świeżej o 1 MPa – wzrost sprawności o 0,2% [10]. Nowatorskie warunki spalania paliw stałych zmniejszają emisję zanieczyszczeń do powietrza. Emisję szkodliwych związków można dodatkowo w znacznym stopniu obniżyć przez zastosowanie instalacji oczyszczania spalin (rys. 2) [15-19].

Tabela 2. Eksploatowane i budowane bloki na parametry nadkrytyczne [11]

Lokalizacja bloków	Moc, MW	Max ciśnienie PS [bar] SH/RH	Max temperatura pracy TS, °C – SH/RH
El. Pątnów II	464	266/52	544/568
El. Łagisza CFB	460	275	560/580
El. Bełchatów II	860	284/72	569/607
El. Kozienice	1075	266/63	603/621
El. Opole	2 x 950	280/77	603/611
El. Jaworzno III	910	285/59	603/611
El. Turów	460	266/63	603/621



Rys. 2. Obniżenie poziomu emisji zanieczyszczeń uzyskiwane przez zastosowanie wysokich parametrów pary i oczyszczanie spalin [7]

Część konwencjonalnych bloków energetycznych została zmodernizowana, większość jednak jest zdekapitalizowana, wykazując względnie niską sprawność <36%. Nie spełniają zaostrzonych wymagań konkluzji BAT, które obowiązują od 2021 r. Dotyczy to szczególnie bloków o mocy 200 MW, których wiek wynosi około 40 lat, a czas eksploatacji ponad 200 000 godzin. Bloki te nadal mają znaczący, około 28-procentowy wkład w rynek dyspozycyjnej mocy [5,12-15, 19].

STAN I WPLYW ENERGETYKI NA ŚRODOWISKO

Spalanie węgla w kotłach energetycznych wprowadza do atmosfery znaczne ilości zanieczyszczeń CO₂, NO_x, SO₂, stąd tak ważna jest sprawność kotłów. Dotyczy to szczególnie zdekapitalizowanych bloków o mocy 200 MW, których eksploatacja generuje wysokie koszty mające wpływ na cenę prądu elektrycznego [3,13-17, 25]. Z danych statystycznych dotyczących emisji gazów cieplarnianych na świecie wynika, że największymi emitentami CO₂ w ujęciu globalnym z działalności ludzi są Chiny, a drugie miejsce zajmują Stany Zjednoczone [24], natomiast Polska plasuje się na 19 pozycji (tab. 3). Posiadane zasoby rodzimych paliw, węgla kamiennego, a zwłaszcza brunatnego, decydują o tym, że z jednej strony jesteśmy w grupie najbardziej bezpiecznych energetycznie krajów w UE, ale z drugiej strony jesteśmy uznawani za jednego z większych w Europie emitentów gazów cieplarnianych – przy średniej 8,48 ton CO₂/osobę, – porównując do średniej unijnej 6,25 ton CO₂/osobę [3].



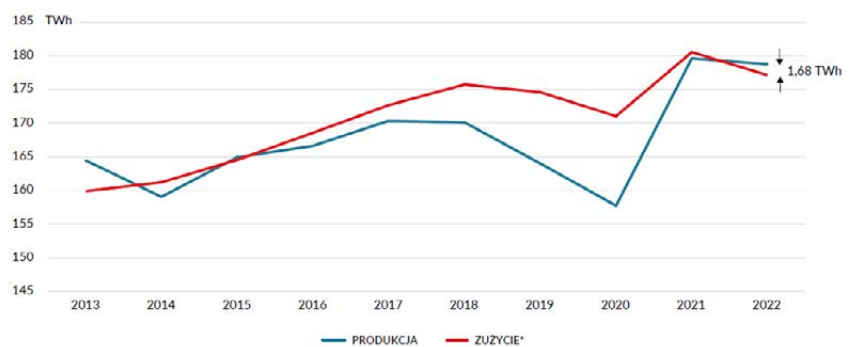
Tabela 3. Globalny poziom i udział w całości antropogenicznej emisji CO₂ w 2021 r. [24]

Lp.	Państwo	Poziom emisji [mln ton/rok]	Udział [%]
1	Chiny	12 466	32,93
2	Stany Zjednoczone	4752	12,55
3	Unia Europejska	2775	7,33
4	Indie	2649	7,00
5	Rosja	1943	5,13
6	Japonia	1085	2,87
7	Iran	711	1,88
8	Niemcy	666	1,76
9	Korea Południowa	627	1,66
10	Indonezja	603	1,59
11	Arabia Saudyjska	586	1,55
12	Kanada	564	1,49
13	Brazylia	490	1,29
14	Turcja	450	1,19
15	Republika Południowej Afryki	436	1,15
16	Meksyk	418	1,11
17	Australia	368	0,97
18	Wielka Brytania	335	0,89
19	Polska	321	0,85
20	Wietnam	321	0,85
21	Włochy, San Marino, Watykan	320	0,84
22	Francja i Monako	302	0,80
23	Tajwan	288	0,76
24	Tajlandia	270	0,71
25	Egipt	259	0,68
26	Malezja	252	0,66
27	Hiszpania i Andora	232	0,61
28	Pakistan	220	0,58
29	Kazachstan	211	0,56
30	Zjednoczone Emiraty Arabskie	194	0,51



Polska gospodarka stoi przed podjęciem strategicznych decyzji związanych ze stanem i kierunkami rozwoju elektroenergetyki. Spośród kilku uwarunkowań koniecznej transformacji krajowej energetyki przedstawiono poniżej dwa fundamentalne:

- dbałość o bezpieczeństwo energetyczne kraju,
- spełnienie ekologicznych wymagań klimatycznych Unii Europejskiej (UE).



Rys. 3. Bilans produkcji i zużycia energii elektrycznej do 31.12. 2022 r. [4]

Rozwój krajowej energetyki uwarunkowany jest wieloma czynnikami, do których należą m.in. [12]:

- stan mocy wytwórczych i związane z tym bezpieczeństwo energetyczne kraju,
- wymogi ekologiczne wynikające z polityki UE oraz krajowych instytucji,
- konieczność poprawy parametrów technicznych oraz wskaźników ekonomicznych obiektów energetycznych, w tym relacji kosztowych produkcji tj. cena energii,
- wiedza związana z nowymi technologiami energetycznymi,
- wiedza z zakresu inżynierii materiałowej,
- bezpieczeństwo techniczne.



WYZWANIA DLA ENERGETYKI

Krajowa energetyka zawodowa zmierza do eksploatacji pracujących bloków energetycznych do co najmniej 350 000 godzin i eksploatacji bloków skojarzonych do 300 000 godzin. Dotyczy to około 100 eksploatowanych bloków energetycznych, stanowiących przeważającą część mocy krajowych elektrowni, których rzeczywisty czas pracy znacznie przekroczył obliczeniowy, najczęściej dwukrotnie [5–7]. Jednocześnie uwzględniany jest kierunek klimatyczny w Europie związany z ograniczaniem udziału węgla (do około 40%) w produkcji energii elektrycznej.

Wiele wyzwań wynika z projektu „Polityka energetyczna Polski do 2040 roku” (PEP2040). Założenia tego projektu są następujące [13]:

- strategiczny wzrost o 43% w 2040 roku mocy zainstalowanej opierającej się w dużej części na źródłach OZE,
- prognozowana wartość mocy w 2040 r. wyniesie 72,6 tys. MW i ma się składać z:
 - 13,4 tys. MW w elektrowniach i EC opalanych węglem,
 - 9 tys. MW w elektrowniach gazowych,
 - 12,4 tys. MW w elektrowniach i EC parowo-gazowych,
 - 11 tys. MW w elektrowniach wiatrowych (w tym 10,3 z farm morskich),
 - 5,6 tys. MW w elektrowniach jądrowych,
 - 20,2 tys. MW w fotowoltaice,
 - 1,0 tys. MW w elektrowniach wodnych,

wzrost stopnia bezpieczeństwa energetycznego – wskaźnik ten określa stosunek mocy zainstalowanej do maksymalnego zapotrzebowania na moc.

Dla zapewnienia ciągłości dostaw energii konieczne jest utrzymanie gotowości do pracy jednostek węglowych. W celu weryfikacji możliwości modernizacji istniejących jednostek wytwórczych wykonywane są metodologie oceny, bieżące analizy stanu instalacji i certyfikacja w zakresie bezpieczeństwa technicznego. Pozwoli to na wykorzystanie istniejących bloków przy lepszych parametrach pracy i niższym obciążeniu środowiska, co wpłynie również na ekonomiczne przesłanki ich wykorzystania. Inwestycje w przeanalizowane bezpieczeństwo przyczynią się też do zapewnienia lepszych warunków integracji OZE w systemie elektroenergetycznym ze względu na gwarancje odpowiednich rezerw mocy.





Aktualny i perspektywiczny, zgodnie z PEP 2040, stan energetyki oparty jest na tzw. miksie energetycznym, czyli udział produkcji energii elektrycznej z różnych źródeł (rys. 4).

- **ENERGIA Z ENERGETYKI WIELKOSKALOWEJ**

Bloki opalane węglem kamiennym i brunatnym, gazem, biomasą i bloki parowo-gazowe, duo bloki oraz atomowe

- **ENERGIA Z ENERGETYKI ROZPROSZONEJ Z OZE**

Plan budowy farmy na Bałtyku, fotowoltaika, elektrownie wiatrowe, elektrownie wodne.

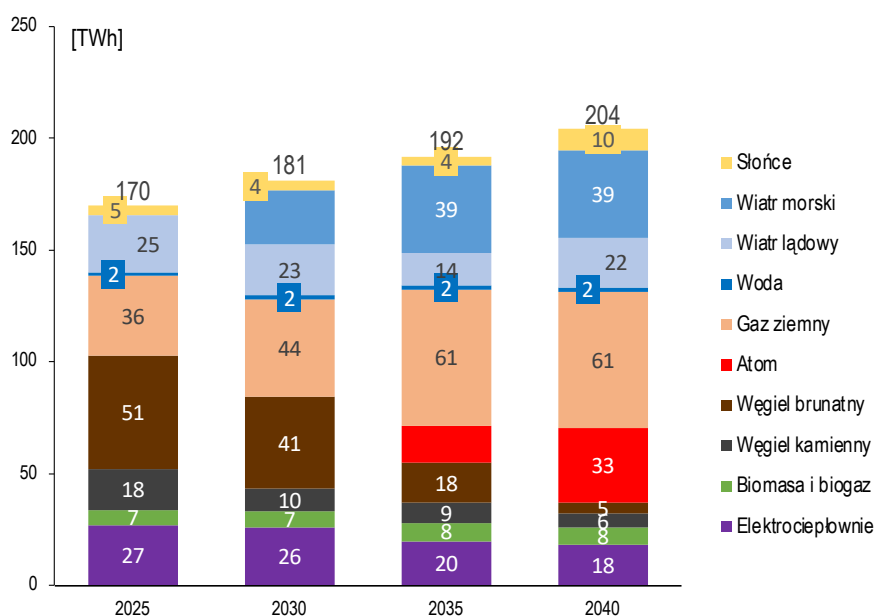
PLANY DLA ENERGETYKI

Zakłada się sukcesywne ograniczanie udziału węgla w produkcji energii elektrycznej do 50% w 2030 r. przy „dynamicznie” rosnącym udziale OZE do 22%. Równocześnie prognozuje się, że po 2033 r. wybudowane zostaną bloki jądrowe zapewniające wzrost bezpieczeństwa energetycznego.

Okresowa efektywność (aktywność wiatru i słońca) źródła OZE jest niestabilna produkcyjnie i wymaga zabezpieczenia stabilizującego zapotrzebowanie na energię. Obecnie realizowane jest to przez konwencjonalne bloki węglowe przygotowane do pracy w systemie regulacyjnym, a w przyszłości - elektrownie atomowe. Są one najbardziej efektywne, kiedy pracują w podstawie, czyli jak najdłużej. Elektrownia atomowa powinna zatem pracować ok. 8000 godzin (tzw. współczynnik wykorzystania mocy bliski 90%) [20].

W Polsce warunki klimatyczne, a zatem źródła OZE są zmienne, dlatego połączenie produkowanej z nich energii elektrycznej z energią wytwarzaną przez elektrownie atomowe pracujące w podstawie będzie wpływać pozytywnie na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego.

Zgodnie z założeniami Programu polskiej energetyki jądrowej (PPEJ) z 2020 r., w kraju mają powstać elektrownie atomowe o mocy od 6 do 9 gigawatów [20].



Rys. 4. Struktura produkcji energii elektrycznej [TWh] [13]



WOBEC LICZNYCH WYZWAŃ W ENERGETYCE I ZAPEWNIENIU JEJ STABILNOSTI MIKSU NIEZWYKLE ISTOTNE JEST BEZPIECZEŃSTWO LUDZI, MIENIA I ŚRODOWISKA. ENERGETYKA Z OZE, KONWENCJONALNA, JĄDROWA – GENERUJĄ WCIĄŻ NOWE ZADANIA DLA WSZYSTKICH STRON ZAINTERESOWANYCH BIORĄCYCH UDZIAŁ W PROCESIE.

PLANOWANA STRATEGIA ROZWOJU NA NAJBLIŻSZE 20 LAT UWZGLĘDNIĄ PONIŻSZE UWARUNKOWANIA.

- Konieczność stawiania na mix technologii energetycznych i stopniowe zmniejszanie udziału energetyki opartej na węglu do około 50%.
- Rozwój technologii OZE nisko- lub bezemisyjnych – energetyki wiatrowej oraz słonecznej – fotowoltaicznej z zapewnieniem skutecznej stabilizacji produkcji energii elektrycznej przez bloki węglowe pracujące w systemie regulacyjnym.
- Budowa energetyki jądrowej.
- Podjęcie działań w kierunku oszczędzania energii, obniżanie zużycia energii na tonę produktu, logistyczne zarządzanie konsumpcją energii, modernizacja systemów przesyłowych.

METODY WSPARCIA DLA BEZPIECZNEGO ROZWOJU ENERGETYKI

W UDT myślimy o takim prowadzeniu inspekcji bloków energetycznych, aby maksymalnie zwiększać ich dyspozycyjność – szukamy nowych rozwiązań na dziś i na przyszłość. Elementem nowego podejścia jest wykorzystanie istniejących jednostek wytwórczych z uwzględnieniem możliwości zwiększenia efektywności i okresu funkcjonowania bloków węglowych. Dla bezpieczeństwa funkcjonowania niezbędne są działania modernizacyjne i te dotyczące utrzymania ruchu. Wszelkie działania związane z bezpieczeństwem wpisują się w definicję zarządzania ryzykiem, którego nieodłącznym elementem są różnego rodzaju narzędzia do identyfikacji i analizy zagrożeń oraz ryzyka.

Ważną metodą w inżynierii bezpieczeństwa, również w kontekście energetyki, jest analiza HAZOP (Hazard and Operability Study). **Obecnie w sektorze energetyki zawodowej przeprowadzenie analiz HAZOP jest praktycznie standardem. Są one źródłem scenariuszy awaryjnych, tj. materiałem dla analizy SIL.** Analiza HAZOP to systematyczna metoda oceny i identyfikacji zagrożeń oraz potencjalnych problemów operacyjnych w systemach i procesach energetycznych.

Analiza HAZOP ma na celu zapobieganie awariom, minimalizowanie ryzyka, ochronę środowiska oraz poprawę operacyjnej efektywności w wielu branżach. Dla zidentyfikowanych w analizie HAZOP scenariuszy awaryjnych często niezbędne jest określenie wymagań dla warstw zabezpieczeń, szczególnie dla automatyki zabezpieczającej.

Metoda LOPA (Layer of Protection Analysis) i graf ryzyka to narzędzia używane w inżynierii bezpieczeństwa, w tym w energetyce, do przypisania wymagań fizycznych dla funkcji bezpieczeństwa. Koncentruje się na identyfikacji oraz analizie skuteczności warstw ochronnych lub barier, które mają na celu minimalizację ryzyka w systemie. Ma to kluczowe znaczenie w sektorze energetycznym, gdzie potencjalna awaria może mieć poważne konsekwencje.

Certyfikacja bezpieczeństwa funkcjonalnego jest narzędziem kontroli i potwierdzenia poprawności działania instalacji. Pozwala stwierdzić, że urządzenia lub systemy spełniają określone normy i standardy. W kontekście bezpieczeństwa funkcjonalnego w energetyce, certyfikacja może obejmować ocenę elektrowni, linii przesyłowych, urządzeń kontrolnych i innych składników systemów energetycznych. Daje pewność, że systemy energetyczne są projektowane i utrzymywane zgodnie z rygorystycznymi standardami, co z kolei przyczynia się do zminimalizowania ryzyka awarii, a tym samym do zapewnienia niezawodności dostaw energii. Jest to kluczowy aspekt w sektorze energetycznym, który ma na celu ochronę środowiska, zdrowia publicznego i gospodarki.

Ważnym elementem w łańcuchu bezpieczeństwa jest również integralność mechaniczna samych urządzeń ciśnieniowych.



Wsparciem dla prowadzenia wszystkich predykcji, analiz ryzyka, oceny stanu technicznego instalacji jest program ET INSPEKTOR. Korzystanie z programu ET Inspektor może pomóc w efektywnym monitorowaniu i zarządzaniu urządzeniami ciśnieniowymi, co ma kluczowe znaczenie dla utrzymania bezpieczeństwa i niezawodności systemów, które je wykorzystują, m.in. w energetyce i innych branżach przemysłowych.

Niezmiennie kluczową rolę w odpowiedzialnych branżach takich jak energetyka, chemia lub petrochemia odgrywa inżynieria materiałowa. Wytrzymałość eksploatacyjna urządzeń technicznych zależy od tworzyw, z jakich są wykonane, sposobu ich łączenia, metodyki ich badań. Wciąż poszukiwane są nowe technologie wytwarzania innowacyjnych materiałów w tym stopów metalicznych odgrywających ważną rolę w długo eksploatowanych jednostkach energetycznych. 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 jest warunkiem poprawy bezpiecznej efektywności.

NIEUSTANNY ROZWÓJ

Energetyka zawodowa wciąż ma znaczący udział w globalnym rynku energii. Rozwój międzynarodowy i dostosowanie się do międzynarodowych standardów ekologicznych i emisji mogą stać się kierunkiem rozwoju dla tego sektora. Badania nad technologią czystego węgla wciąż trwają. Poszukujemy nowych rozwiązań, które mogą uczynić energetykę węglową bardziej przyjazną dla środowiska, takich jak wysokoefektywne elektrownie węglowe i technologie czystego spalania. Sektor energetyki stara się dostosować do zmieniających się wymagań ekologicznych i rynkowych, poszukując bardziej zrównoważonych i efektywnych rozwiązań energetycznych przy wsparciu jednostek naukowo-badawczych oraz inspekcyjnych i certyfikujących.

Literatura

1. Obwieszczenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 1 lipca 2005 r. w sprawie polityki energetycznej państwa do 2025 r.
2. M. Pazdej, Bezpieczeństwo energetyczne w polityce Unii Europejskiej w XXI wieku. Poznań: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, 2020.
3. <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-oze-w-polsce/>.
4. Transformacja energetyczna w Polsce Edycja 2023 – www.forum-energii.eu
5. Proc. of Int. Conf. EPRI: New steel for Advanced Plant up to 620°C, London, 1995
6. Proc. of the 6th and 7th Conf. on Materials for Advanced Power Eng., Liege 1998 i 2002.
7. Masuyama F., Advanced Power Plant Developments and Material Experiences in Japan. W: Materials for Advanced Power Engineering 2006, J. Lecomte-Beckers, M. Carton, F. Schubertand P. J. Ennis (Ed.) Part I, Proc. of the 8th Liege Conf., 2006, s. 1 175
8. Mlonka J., Technologie nadkrytyczne w Polsce – www.plan.rozwoju.pcz.pl/wyklady.
9. Hernas A. red., Materiały i technologie do budowy kotłów nadkrytycznych i spalarni odpadów. Katowice: Wyd. SITPH, 2009.
10. Chmielniak T., Rusin A. red., Maszyny i urządzenia energetyczne węglowych bloków na wysokiemparametry pary. Gliwice: Wyd. Politechniki Śl., 2015.
11. Zieliński A., Trwałość eksploatacyjna żarowytrzymałych stali o osnowie austenitycznej, Monografia nr 16. Gliwice: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metalurgii Żelaza, 2021.
12. Wstępna ocena wykonalności traktatu akcesyjnego w zakresie dyrektywy 2001/80/WE – www.geoland.pl/dodatki/energia_xxxv/energoprojekt.html
13. Ministerstwo Energii, Projekt „Polityka energetyczna Polski do 2040 roku”.
14. Hernas A., Stan i kierunki rozwoju energetyki Polski do 2040 roku. Konferencja UDT O. Wrocław, „Energetyka – problemy i wyzwania”. Szklarska Poręba, maj 2019.
15. Macuk R., Transformacja energetyczna w Polsce. Forum Energii, edycja 2019.
16. Kiciński J., Quo Vadis Energetyko? Od energetyki wielkoskalowej do rozproszonej. A co dla Polski? „Nowa Energia” 2018, 62 (2), s. 61.
17. Badur J., Ziółkowski P., Gotzman S., Moda, Wiara i fantazja – przeciw budowie Elektrowni Ostrołęka C – „ostatniej elektrowni węglowej”. „Nowa Energia”, 2019, 67 (2), s. 5–13.
18. Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji, 2008.
19. Rakowski J., Czy elektrownie węglowe będą w stanie ograniczyć emisję CO₂? „Energetyka”, 2006.

ROZWÓJ STALI DLA ENERGETYKI



DR INŻ. ROBERT WERSTA

Kierownik Działu Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu



PROF. DR HAB. INŻ. ADAM ZIELIŃSKI

Dyrektor Górnośląskiego
Instytutu Technologicznego
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Gliwice



POSTĘP W ZAKRESIE BUDOWY NOWOCZESNYCH WYSOKOSPRAWNYCH BLOKÓW ENERGETYCZNYCH UZALEŻNIONY JEST OD ROZWOJU INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ. ZAPEWNIĄ ON DOSTĘPNOŚĆ ODPOWIEDNIH MATERIAŁÓW I TECHNOLOGII, SZCZEGÓLNIIE WYKORZYSTYWANYCH DO BUDOWY KLUCZOWYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH KOTŁA PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA.

Żarowytrzymałe stopy metali przeznaczone są do długotrwałego funkcjonowania przez czas obliczeniowy wynoszący obecnie 200 tys. godz. pracy w warunkach podwyższonej temperatury i ciśnienia pary oraz korozyjnego środowiska. W związku z tym muszą one spełniać liczne wymagania dotyczące właściwości użytkowych oraz technologicznych, tak by uwzględniać wzajemne oddziaływanie na siebie procesów odkształcenia, umocnienia, dekohezji i korozji, które zestawiono w tabeli 1 [5–9].

Tabela 1. Wymagania stawiane materiałom żarowytrzymałym w energetyce [8]

Właściwości		Wpływ*
Własności mechaniczne	● Granica plastyczności w temperaturze podwyższonej	↑
	● Długotrwała wytrzymałość na pełzanie – czas do zniszczenia	↑↑
	● Wytrzymałość na obciążenia cykliczne – mechaniczne i ciepłne	↑
	● Własności plastyczne – wydłużenie przy zniszczeniu, udurowienie	↑↑
	● Odporność na kruche pękanie	↑
	● Odporność na ścieranie i kawitację	–
Własności fizyczne i chemiczne oraz odporność korozyjna	● Korozja równomierna – woda, para wodna, pary soli, spaliny	↑
	● Popiół paliwowy, nośniki energii jądrowej	~
	● Korozja wżerowa	~
	● Korozja międzykrystaliczna	– ~
	● Korozja naprężeniowa	–
	● Odporność na uszkodzenia radiacyjne	–
	● Stabilność wymiarowa	↑
	● Niemagnetyczność elementów rdzenia	–
Własności technologiczne	● Spawalność	↑↑
	● Podatność na obróbkę plastyczną na zimno i gorąco	↑
	● Obrabialność	↑
	● Jakość powierzchni gotowych produktów	↑↑
	● Jednorodność składu chemicznego	↑

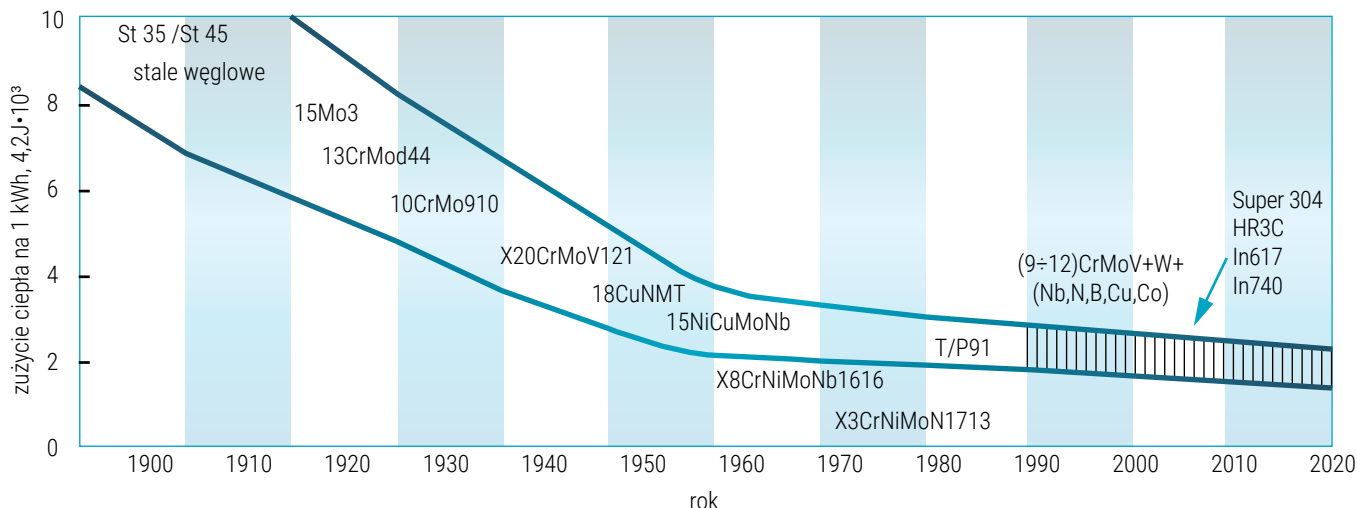
* ↑↑ szczególnie istotny, ↑ istotny, ~ istotny w niektórych przypadkach, – nieistotny.

W części kotłowej bloku energetycznego kluczowymi elementami konstrukcyjnymi są:

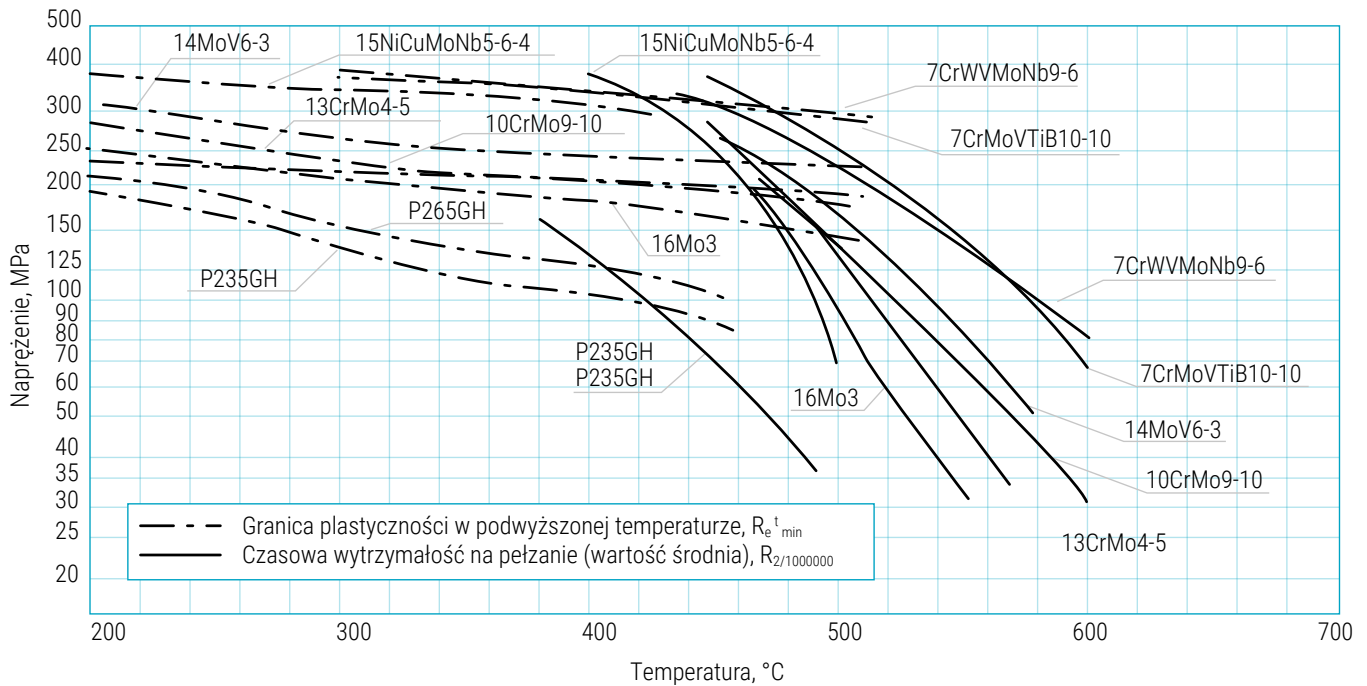
- ściany szczelne (membranowe) komory paleniskowej,
- nieogrzewane spalinami elementy grubościennne – walczaki (w kotłach konwencjonalnych), wodooddzielacze, komory, kolektory i rozdzielacze pary oraz rury pary pierwotnej i wtórnej,
- ogrzewane spalinami węzownice przegrzewaczy pary pierwotnej i w części wtórnej.

WŁAŚCIWOŚCI STALI DLA ENERGETYKI

Zależnie od rodzaju elementu, temperatury pary i spalin w budowie węglowych kotłów konwencjonalnych na parametry podkrytyczne stosowane są różne stale, opracowane jeszcze w I połowie XX w. – węglowe i niskostopowe (rys. 1). Podstawowe charakterystyki właściwości wytrzymałościowych w podwyższonej temperaturze ilustruje rys. 2



Rys. 1. Okresy wdrażania stali w światowej energetyce [4]

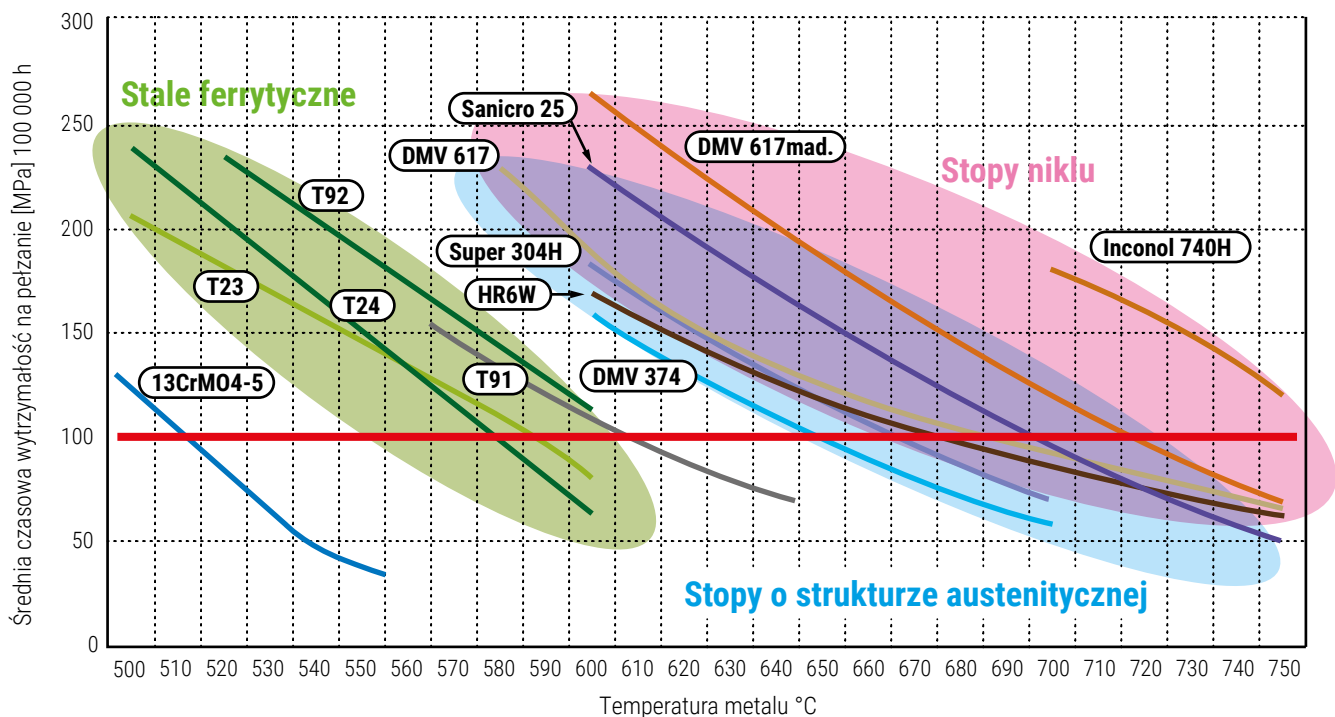


Rys. 2. Charakterystyki stali kotłowych niestopowych i niskostopowych [10]

Wzrastające wymagania dotyczące właściwości użytkowych wynikają z rozwoju technologii energetycznych i kotłów o wzrastającej sprawności. Podejmowane są w związku z tym na świecie i w Polsce szeroko zakrojone prace i projekty badawcze. W ich efekcie wprowadzane są nowe stale wysokostopowe o osnowie ferrytycznej i austenitycznej, a także nadstopu niklu.

Badania podejmowane na szeroką skalę w ostatnich trzech dekadach umożliwiły opracowanie i wprowadzenie do energetyki szeregu nowych stali i stopów na elementy kotłów parowych i turbin (rys. 3). Materiały te obejmują [13–17]:

- stale o osnowie ferrytycznej (ferrytyczno-bainityczne, bainityczne i martenzytyczne) – stosowane do temperatury 620°C,
- stale o osnowie austenitycznej – stosowane do temperatury 680°C,
- nadstopu na osnowie niklu – stosowane do temperatury 750°C.



Rys. 3. Zakresy przydatności głównych grup materiałów żarowytrzymałych [12]



Idea kształtowania właściwości żarowytrzymałych stali opiera się na modernizacji składu chemicznego, która ma prowadzić do zapewnienia jak najwyższych właściwości użytkowych w coraz wyższych parametrach eksploatacji.

Wymagania te dotyczą głównie: czasowej wytrzymałości na pełzanie R_p i granicy pełzania R_{p1} , odporności na korozję wysokotemperaturową i utlenianie w parze wodnej, odpowiedniej ciągliwości i odporności na pęknięcie oraz dużej stabilności mikrostruktury i właściwości mechanicznych podczas długotrwałej eksploatacji.

Istotną grupę wymagań stanowią właściwości technologiczne związane ze spawaniem, obróbką cieplną i gięciem [9]. Naukowa i praktyczna podstawa modyfikacji składu chemicznego jest prawie taka sama dla stali o osnowie ferrytycznej nisko- i wysokostopowych oraz austenitycznych.

Modyfikacje polegają w ogólności na [4]:

- obniżeniu stężenia węgla $< 0,1\%$ C, co poprawia własności ciągliwe i technologiczne, ale obniża wytrzymałość stali,
- optymalizacji stężenia chromu z uwagi na odporność korozyjną oraz wprowadzenie dodatków umacniających roztwór stały oraz zwiększających stabilność strukturalną osnowy i temperaturę rekrytalizacji (i topnienia) między innymi Mo, W, Co, Cu (Ti),
- wprowadzeniu mikrodotyków V, Ti, Nb, N, B, tworzących dyspersyjne fazy węglików i węgliko-azotków, które obok węglików $M_{23}C_6$ najefektywniej umacniają zarówno ferryt α jak austenit γ , zwiększając wytrzymałość na pełzanie.

MODYFIKOWANIE STALI DLA ENERGETYKI

W odniesieniu do stali niskostopowych bazową stałą, która podlegała modernizacji składu chemicznego i właściwości, była stal 10CrMo9-10.

W efekcie długoletnich prac badawczych w warunkach laboratoryjnych i półprzemysłowych opracowano i wdrożono stale typu T23 (7CrWVNb9-6) i T24 (7CrMoVTiB10-10) [11, 12]. W praktyce okazało się, że w licznych nowo uruchomionych w Europie blokach na nadkrytyczne parametry pary, w których na ściany szczelne zastosowano stal T24, wystąpiły liczne problemy technologiczne i eksploatacyjne związane z dużą podatnością na pęknięcie złączy pachwinowych. Z tego powodu nowo projektowane krajowe kotły na parametry nadkrytyczne powstawały przy wykorzystaniu gatunku 13CrMo4-5 [13].

STALE MARTENZYTYCZNE

Pierwsze badania nad rozwojem stali martenzytycznych o zawartości 9–12% Cr rozpoczęto w Japonii w połowie lat siedemdziesiątych XX wieku. Ich celem było stworzenie stali o lepszych właściwościach użytkowych od standardowej stali X10CrMoV12-1 i zbliżonej wytrzymałości do stali austenitycznej typu 316L.

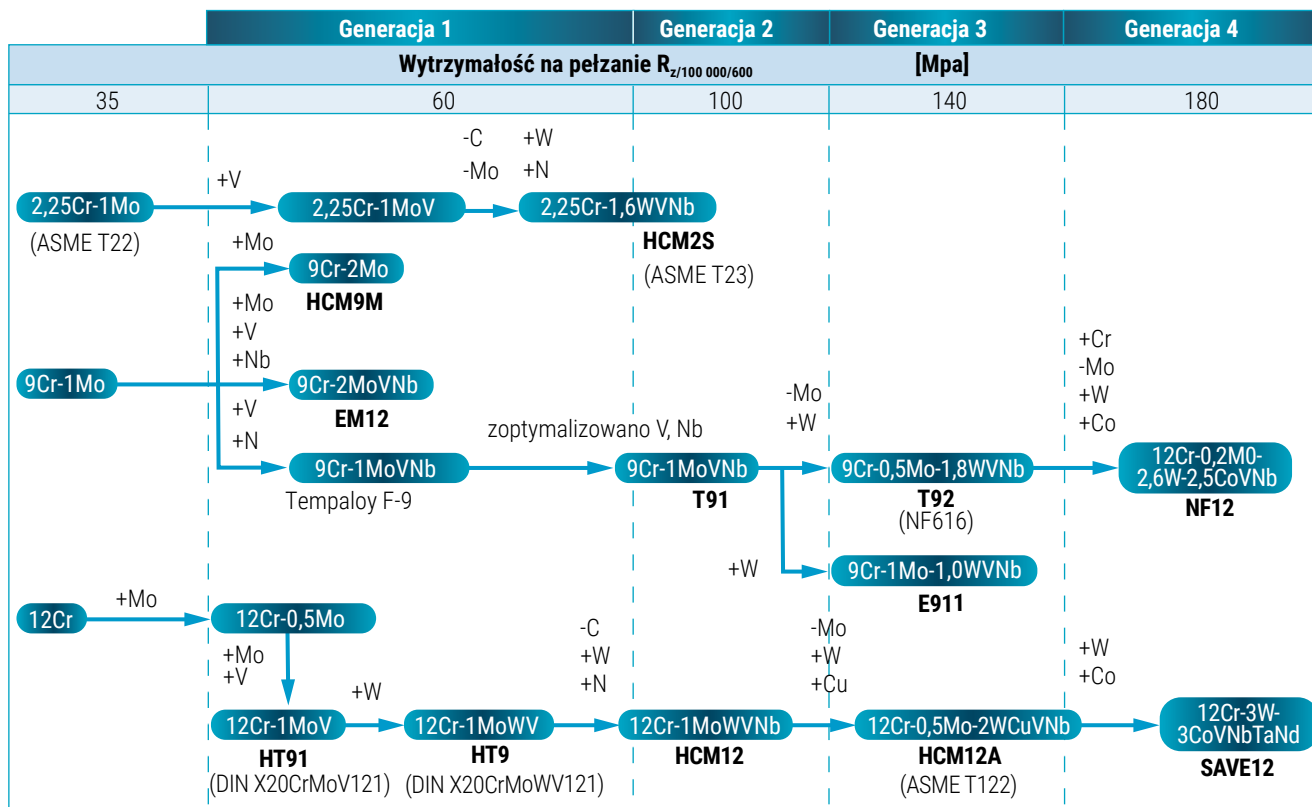
W ostatnim 25-leciu zarysowały się dwie tendencje w rozwoju ferrytycznych (martenzytycznych) stali chromowych przeznaczonych do budowy przegrzewaczy pary do pracy w temperaturze 580–620°C [1, 2, 3, 5, 12, 15]:

- stale o zmodyfikowanym składzie chemicznym zawierające około 9% Cr oraz Mo i V, takie jak P/T 92, NF616, E911, zawierające dodatkowo wolfram w ilości 1–2% oraz mikrodotyki niobu, azotu i boru,
- stale o zmodyfikowanym składzie chemicznym zawierające około 12% Cr oraz Mo i V, takie jak NF 12, TB 12M, HCM12, HCM12A, HR 1200, zawierające dodatkowo wolfram w ilości 1–2%, Nb, Ni, Cu i Co z mikrodotykami Nb, N, B.

Tabela 2. Wpływ pierwiastków stopowych na mikrostrukturę i własności mechaniczne stali martenzytycznych [15]

Pierwiastek	Wpływ pozytywny	Wpływ negatywny
Bor - B	<ul style="list-style-type: none"> Zwiększenie hartowności Wzrost wytrzymałości na pełzanie Stabilizowanie węglików $M_{23}C_6$ i opóźnianie ich rozrostu 	<ul style="list-style-type: none"> Obniżanie udarności
Węgiel - C	<ul style="list-style-type: none"> Współtworzenie węglików $M_{23}C_6$ i NbC 	<ul style="list-style-type: none"> Pogorszenie spawalności obniżenie własności plastycznych
Chrom - Cr	<ul style="list-style-type: none"> Poprawa odporności na utlenianie Współtworzenie węglików $M_{23}C_6$ Obniżenie M_s Podwyższenie A_1 	<ul style="list-style-type: none"> Zwiększenie współczynnika dyfuzji
Kobalt - Co	<ul style="list-style-type: none"> Ograniczenie wydzielania ferrytu delta Obniżenie współczynnika dyfuzji Zwiększenie wytrzymałości na pełzanie Obniżenie temperatury przejścia w stan kruchy - wzrost udarności 	<ul style="list-style-type: none"> Sprzyja rozwojowi fazy Lavesa Sprzyja wydzielaniu fazy Z
Molibden - Mo	<ul style="list-style-type: none"> Obniżenie M_s Podwyższenie A_1 Umocnienie roztworu stałego 	<ul style="list-style-type: none"> Przyspieszenie rozrostu węglika $M_{23}C_6$
Nikiel - Ni	<ul style="list-style-type: none"> Współtworzenie węglików VN 	-
Niob - Nb	<ul style="list-style-type: none"> Współtworzenie węglików MX - umocnienie wydzieleniowe 	<ul style="list-style-type: none"> Sprzyja wydzielaniu fazy Z
Tytan - Ti	<ul style="list-style-type: none"> Opóźnienie rozrostu węglików $M_{23}C_6$ 	-
Wanad - V	<ul style="list-style-type: none"> Współtworzenie węglików MX - umocnienie wydzieleniowe Opóźnienie rozrostu węglików $M_{23}C_6$ Umocnienie roztworowe osnowy 	<ul style="list-style-type: none"> Przyspieszenie wydzielania węglików M_6C
Wolfram - W	<ul style="list-style-type: none"> Obniżenie M_s Podwyższenie A_1 Umocnienie roztworowe osnowy Opóźnienie rozrostu węglików 	<ul style="list-style-type: none"> Sprzyja wydzielaniu i rozwojowi fazy Lavesa

Etapy rozwoju żarowytrzymałych stali o osnowie ferrytycznej uwzględniające modernizację składu chemicznego i uzyskiwany poziom wartości czasowej wytrzymałości na pełzanie przy temperaturze 600°C przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Etapy kształtowania składu chemicznego i wytrzymałości na pełzanie stali o osnowie ferrytycznej [2]

Spośród przedstawionych na rys. 4 stali praktyczne zastosowanie w eksploatowanych w Polsce konwencjonalnych blokach o mocy 360 MW oraz w nowych na nadkrytyczne parametry pary znalazł gatunek T/P91 i sporadycznie T/P92 i NF12, stal oznaczana w Europie jako VM12-SHC [2, 12, 15].

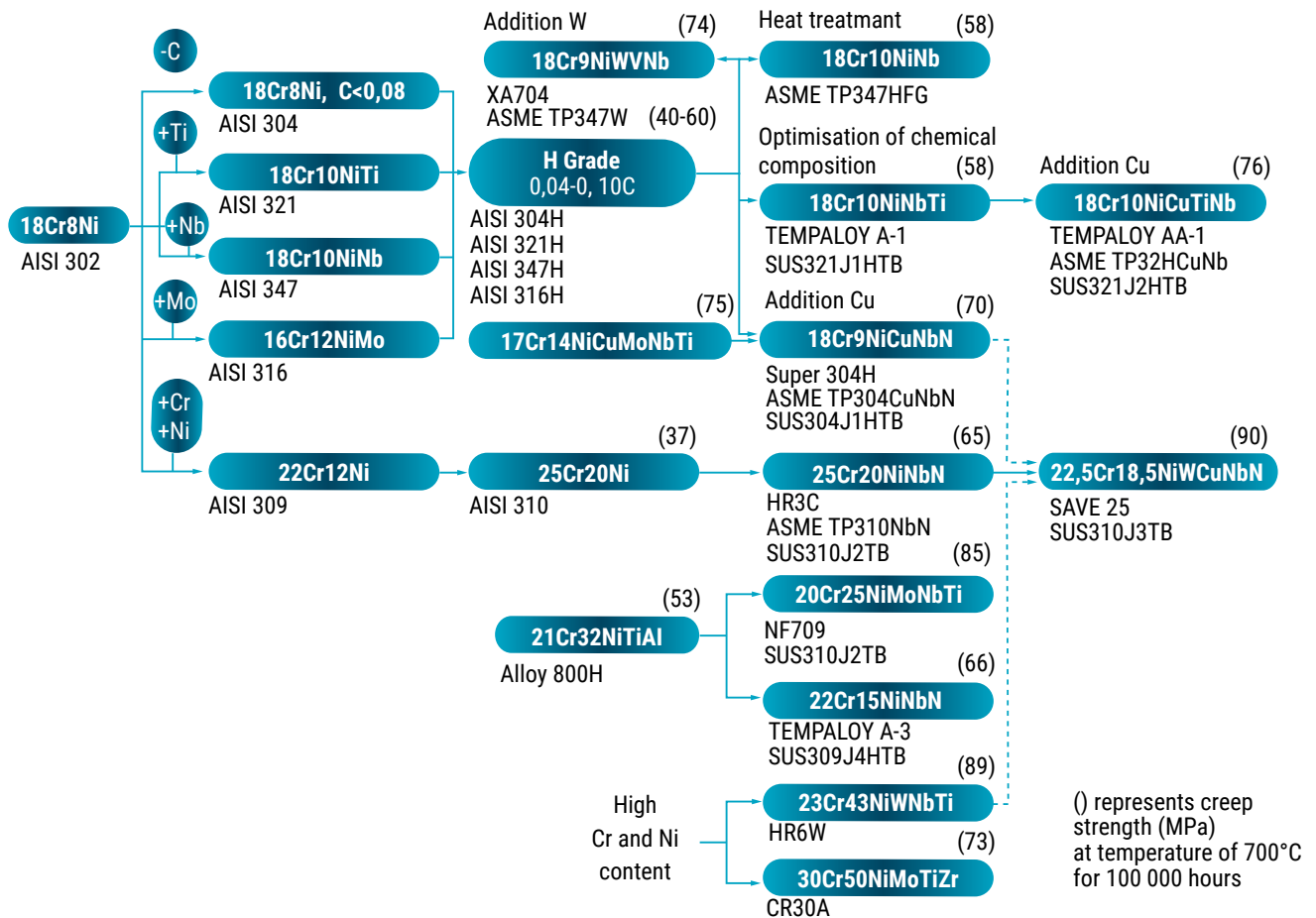
Stale martenzytyczne

W zmodernizowanych blokach o mocy 360 MW na podwyższone parametry pary oraz w eksploatowanych i budowanych blokach nadkrytycznych na węzownice przegrzewaczy pary zastosowane są stale austenityczne [12, 19, 20]. Charakteryzują się one wysoką wytrzymałością na pełzanie oraz odpornością na wysokotemperaturową korozję i odporność na utlenianie w parze wodnej.

Materiały te można podzielić na cztery grupy w zależności od zawartości chromu: 15Cr, 18Cr, 20–25Cr. Dla uzyskania wysokiej żarowytrzymałości tych stali wprowadza się takie pierwiastki jak: Mo, Nb, Ti, V, W, N, B, Co, których stężenie wynosi od kilku dziesiątych do kilku procent. Etapy rozwoju tej grupy stali przedstawiono na rys. 6.

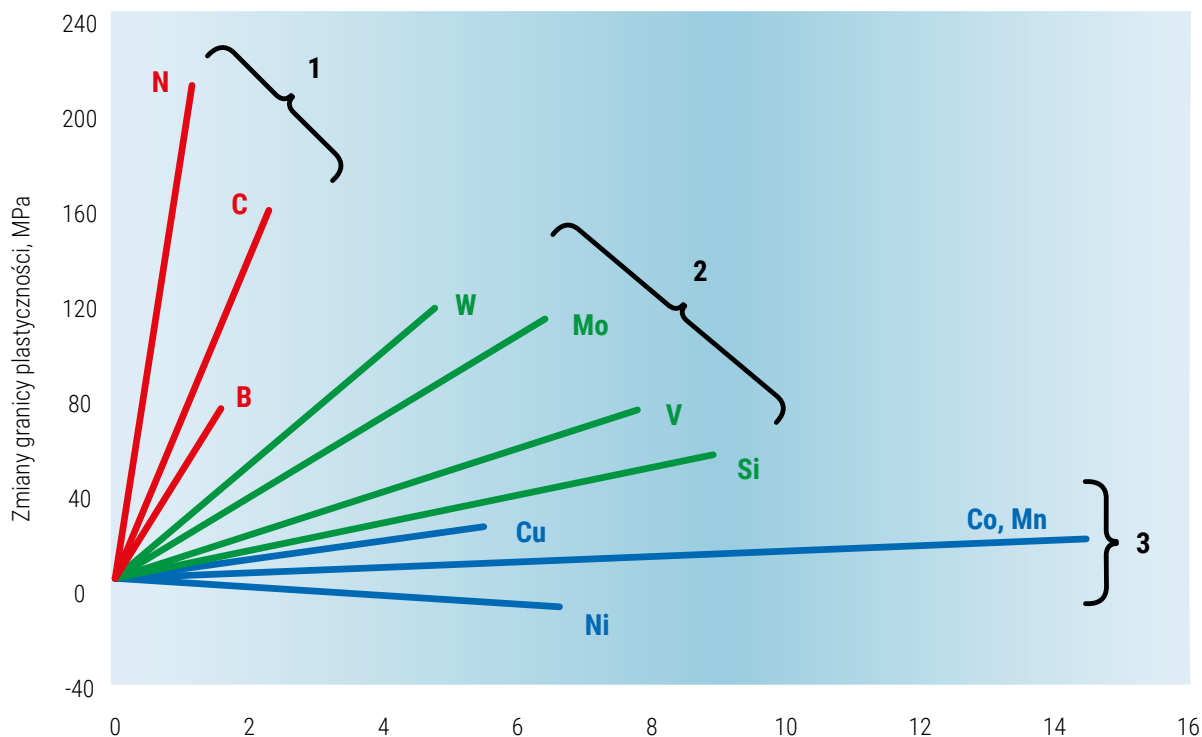
Wpływ dodatków w zależności od charakteru oddziaływania na strukturę i związane z nią właściwości stali dzieli się na 6 podstawowych grup [8, 9, 16]:

- tworzące roztwór stały γ , austenityczną osnowę stali (Fe, Ni, Cr),
- międzywęzłowe umacniające osnowę i tworzące fazy wtórne – M(C, N),
- rozpuszczające się w austenicie i działające umacniająco (Mo, W, V, Co),
- stabilizujące węgliki i azot – (Ti, Nb, Ta, Zr),
- zwiększające dyspersję faz wtórnych i modyfikujące procesy wydzieleniowe na granicach ziaren – (B, Zr),
- zapewniające umocnienie fazami międzymetalicznymi, w tym głównie fazą γ' – Ni₃(Ti, Al).



Rys. 5. Rozwój stali austenitycznych na urządzenia w energetyce [2]

W stopach żelaza wzrost własności wytrzymałościowych związany jest z ograniczeniem swobodnego przemieszczania się dyslokacji w sieci metalu, na co mają wpływ składniki podstawowe oraz celowo wprowadzone dodatki stopowe. Ich wpływ na mechanizm umocnienia przedstawiają rys. 6 oraz tab. 3.



Rys. 6. Zmiana umocnienia austenitu stali chromowo-niklowej w temperaturze pokojowej pod wpływem pierwiastków rozpuszczonych w osnowie (1 – pierwiastki międzywęzłowe, 2 – pierwiastki substytucyjne ferrytotwórcze, 3 – pierwiastki austenitotwórcze) [18]

Tabela 3. Wpływ pierwiastków na strukturę i własności stali austenitycznych [16]

Pierwiastek	Wpływ pozytywny	Wpływ negatywny
Nikiel - Ni	<ul style="list-style-type: none"> Stabilizuje austenit Pozwala uniknąć ferrytu δ 	<ul style="list-style-type: none"> Sprzyja korozji naprężeniowej przy zawartości 8÷10%
Chrom - Cr	<ul style="list-style-type: none"> Zwiększa odporność na utlenianie Umacnia rozтворowo osnowę 	<ul style="list-style-type: none"> Obniża własności plastyczne Tworzy węgliki $M_{23}C_6$ na granicach ziaren Pogarsza spawalność
Molibden - Mo Wolfram - W	<ul style="list-style-type: none"> Umacniają rozтворowo osnowę Podwyższają wytrzymałość na pełzanie 	<ul style="list-style-type: none"> Zwiększa współczynnik dyfuzji
Niob - Nb	<ul style="list-style-type: none"> Tworzy wydzielania drobnodispersyjne MC i MX Zmniejsza skłonność do korozji międzykrystalicznej Zapobiega rozrostowi ziarna Zwiększa odporność na pełzanie 	-
Miedź - Cu	<ul style="list-style-type: none"> Umacnia wydzieleniowo poprzez tworzenie fazy ϵ Cu 	<ul style="list-style-type: none"> Obniża plastyczność Obniża spawalność
Kobalt - Co	<ul style="list-style-type: none"> Podwyższa temperaturę rekrytalizacji Zwiększa rozpuszczalność węglików w austenicie w temperaturze przesylenia 	-
Nikiel - N	<ul style="list-style-type: none"> Stabilizuje austenit Tworzy wydzielania MX Podwyższa odporność na pełzanie i zmęczenie 	-
Bor - B	<ul style="list-style-type: none"> Powyzsza odporność na pełzanie Hamuje wydzielenie węglików $M_{23}C_6$ i fazy σ na granicach ziaren 	<ul style="list-style-type: none"> Obniża udarność

Zmodyfikowane stale dla energetyki

Obecnie w energetyce najczęściej stosowane są zmodyfikowane stale austenityczne, takie jak TP304H, TP321H, TP347HFG i HR3C. Zamieszczone w tabeli 4 stale Sanicro 25 oraz NF 709 są również przedmiotem badań i znajdują się w polu zainteresowań badaczy [12, 21, 22]. Z porównania wartości naprężenia dopuszczalnego dla stali rekomendowanych do zastosowania na węzownice przegrzewaczy pary modernizowanych kotłów o mocy 360 MW oraz budowanych na nadkrytyczne parametry pary wynika, że w temperaturze 640°C najwyższe wartości około 100 MPa wykazują stale Super 304H i HR3C [23]. Z tych względów stal Super 304H znajduje zastosowanie na przegrzewacze pary w budowanych nowych blokach w elektrowniach.

Tabela 4. Nominalne składy chemiczne najbardziej rozpowszechnionych stali austenitycznych stosowanych w budowie kotłów energetycznych [19, 20]

Gatunek	Stężenia podstawowych pierwiastków									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Ti	N
Super 304 H	0,07–0,13	max. 0,30	max. 1,00	17,0–19,0	7,5–10,0	-	2,50–3,50	0,30–0,60	-	0,05–0,12
TP321H	0,08	0,60	1,60	18,0	10,0	-	-	-	0,5	-
TP347HFG	0,04–0,10	max. 0,75	max. 2,00	17,0–20,0	9,0–13,0	-	-	8 x C	-	-
HR3C	0,04–0,10	max. 0,75	max. 2,00	24,0–26,0	17,0–23,0	-	-	0,20–0,60	-	0,15–0,35
Sanicro 25	max. 0,08	tak	tak	22,0–24,0	23,0–25,0	Wolfram 3,0-	2,5	0,5	-	N 0,2 B 0,003 Co1,5
NF709	0,15	0,5	1,0	20,0	25,0	1,5	-	0,2	0,1	NO,2-

Stopy na osnowie niklu obecnie stosowane są na elementy przejściowe do łączenia stali martenzytycznych ze stalami austenitycznymi kotłów na parametry nadkrytyczne. Ich charakterystyki, tzn. HR6W, Alloy 617 oraz In 740 H, przedstawione są w pracy zbiorowej pod red. A. Hernasa [12]. W eksploatowanych i budowanych kotłach na nadkrytyczne parametry pary o temperaturze pary pierwotnej i wtórnej około 600/620°C i ciśnieniu około 28 MPa uzyskano wysoką sprawność rzędu 46%, tj. znacznie większą od sprawności konwencjonalnych kotłów o mocy 200 i 360 MW, których sprawność wynosi 33–36%, a w zmodernizowanych blokach 360 MW uzyskano sprawność około 39% przy wzroście mocy do 380–400 MW [23]. Na elementy konstrukcyjne pracujące w podwyższonej temperaturze stosowana jest szeroka gama stali niskostopowych ferrytyczno-perlitycznych oraz wysokostopowych o strukturze martenzytycznej i austenitycznej. Przykładem jest zestawienie materiałów zastosowanych w najnowszych kotłach nadkrytycznych (tab. 5).

Tabela 5. Zestawienie materiałów zastosowanych dla części ciśnieniowej kotła energetycznego – przykład [4]

Ściany szczelne/przegrzewacze	Orurowanie ścian	Komory
Rury spiralne	13CrMo4-5 7CrMoVTiB10-10	15NiCuMoNb5-6-7CrMoVTiB10-10 X10CrMoVNb9-1
Rury pionowe	7CrMoVTiB10-10 13CrMo4-5	
ECO	16Mo3	15NiCuMoNb5-6-4
SH 1 a	7CrMoVTiB10-10	X10CrMoVNb9-1
SH 2	Super 304H	X10CrMoVNb9-1; X10CrWMoVNb9-2
SH 3	Super 304H; Super 304H sp/sb	X10CrMoVNb9-1; X10CrWMoVNb9-2
RH 1	16Mo3; 13CrMo4-5; 10CrMo9-10; VM 12-SHC	16Mo3; X10CrMoVNb9-1
RH 2	Super 304H; HR3C	X10CrMoVNb9-1; X10CrWMoVNb9-2
SH 1 b	VM12 - SHC	X10CrMoVNb9-1

Literatura

- Proc. of Int. Conf. EPRI: New steel for Advanced Plant up to 620oC, London, 1995.
- Masuyama F., Advanced Power Plant Developments and Material Experiences in Japan. W: Materials for Advanced Power Engineering 2006, J. Lecomte-Beckers, M. Carton, F. Schubert and P. J. Ennis (Ed.) Part I, Proc. of the 8th Liege Conf., 2006, s. 1175.
- Hernas A. red., Materiały i technologie do budowy kotłów nadkrytycznych i spalarni odpadów. Katowice: Wyd. SITPH, 2009.
- Hernas A., Materiały i technologie stosowane w budowie kotłów energetycznych na temperaturę pary do 700°C. W: Chmielniak T., Rusin A. red., Maszyny i urządzenia energetyczne węglowych bloków na wysokie parametry pary. Gliwice: Wyd. Politechniki Śl., 2015.
- Crane F.A., Charles J.A., Selection and Use of Engineering Materials. London – Wellington: Butterworths, 1986.
- Dienst W., Hoch-Temperatur Werkstoffe. Verlagsgess mbH, Karlsruhe, 1978.
- Taira S., Ohtani R., Pożuczest metali i w kriticii žaroprocnosti matieralov. Tlum. z jęz. jap. 1980, Moskwa 1986.
- Hernas A., Maciejny A., Źarowytzymałe stopy metali. Wrocław: Wyd. PAN – Ossolineum, 1989.
- Hernas A., Źarowytzymałość stali i stopów. Gliwice: Wyd. Politechniki Śl., 1999.
- Dobrzański J., Materiałoznawcza interpretacja trwałości stali dla energetyki. Gliwice: Wyd. Open Access Library, 2011, 3.
- Brózda J., Zeman M., Pasternak J., Fudali S., Źarowytzymałe stale bainityczne nowej generacji – ich spawalność i własności złączy spawanych. W: Hernasa A. red., Materiały i technologie do budowy kotłów nadkrytycznych i spalarni odpadów. Katowice: Wyd. SITPH, 2009.
- Hernas A., Dobrzański J., Pasternak J., Fudali S., Charakterystyki nowej generacji materiałów dla energetyki. Gliwice: Wyd. Politechniki Śl., 2015.
- Tasak E., Adamiec J., Ziewiec A., Pęknięcie złączy spawanych stali bainitycznej w gat. 7CrMoVTiB 10-10. W: Międzynarodowa Konferencja „Spawanie w energetyce”. Opole, Jarnołtówek 2008.
- Proc. of Inter. Conf. EPRI on „New Steel for Advanced Plant up to 620°C”. London 1995.
- Zieliński A., Trwałość eksploatacyjna żarowytzymałych stali o osnowie ferrytycznej w warunkach długotrwałego oddziaływania temperatury, Monografia nr 7. Gliwice: Wyd. Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica, 2016.
- Golański G., Źarowytzymałe stale austenityczne. Monografia 73. Częstochowa: Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2017.
- Golański G., Lis A.K., Ślania 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.
- Nikulin I., Kipelova A., Effect of high-temperature exposure on the mechanical properties of 18Cr-8Ni-WNb-V-N stainless steel. Materials Science and Engineering: A. 2012, 554, s. 61-66.
- 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.
- Husemann R., Babcock-Hitachi Europe. Advanced materials for AD700 Boilers. CESI Auditorium, Milano, Italy, October 2005.
- 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.
- 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.
- Wala T., Hernas A., Dobór materiałów na przegrzewacze o podwyższonych parametrach pary. W: Hernas A. red., Materiały i technologie do budowy kotłów nadkrytycznych i spalarni odpadów. Katowice: Wyd. SITPH, 2009.

WYTRZYMAŁOŚĆ NA PEŁZANIE STALI SUPER 304H



DR INŻ. ROBERT WERSTA

Kierownik Działu Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu



PROF. DR HAB. INŻ. ADAM ZIELIŃSKI

Dyrektor Górnośląskiego
Instytutu Technologicznego
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Gliwice

AUSTENITYCZNE STALE NIERDZEWNE MAJĄ WIELE CECH SPRAWIAJĄCYCH, ŻE OBSERWUJE SIĘ NA NIE DUŻE ZAPOTRZEBOWANIE NA CAŁYM ŚWIECIE. WŚRÓD WŁAŚCIWOŚCI, KTÓRE DECYDUJĄ O ICH POPULARNOŚCI, WARTO WSKAZAĆ DUŻĄ ODPORNOŚĆ NA KOROZJĘ, DOBRĄ ODKSZTAŁCALNOŚĆ PLASTYCZNĄ CZY SPAWALNOŚĆ. STAL AUSTENITYCZNA CZĘSTO WYKORZYSTYWANA JEST M.IN. W PRZEMYSLE CHEMICZNYM I PETROCHEMICZNYM ORAZ ENERGETYCE. TYP 304H O WYŻSZEJ ZAWARTOŚCI WĘGLA NIŻ POZOSTAŁE ODMIANY MA ZASTOSOWANIE W ŚRODOWISKACH PRACY PRZY PODWYŻSZONYCH TEMPERATURACH.

Stal S304H stosowana jest na przegrzewacze kotłów o nadkrytycznych parametrach pracy. W artykule zaprezentowano wyniki badań skróconych prób pełzania i badania pełzania z pomiarem wydłużenia. Próby pełzania wykonano na maszynach jednopółkowych produkcji Instytutu Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica w Gliwicach. Wyznaczono charakterystyki skróconych prób pełzania w postaci zależności $\log tr = f(Te)$ przy $s_b = \text{const}$ dla stali Super 304H przy stałym poziomie naprężenia $s_b = 150$ i 180 MPa. Badania pełzania z pomiarem wydłużenia prowadzono na materiale w stanie dostawy oraz po starzeniu przy temperaturze 650 i 700°C w czasie 1000 , $10\ 000$ i $30\ 000$ godzin. Próby wykonano na próbkach standardowych o stosunku $l_0/d_0 = 10$. Przyjęto stałą temperaturę próby 700°C , natomiast zastosowane obciążenie mieściło się w zakresie 100 – 150 MPa. Opisano wpływ czasu starzenia na zmiany prędkości pełzania badanej stali.

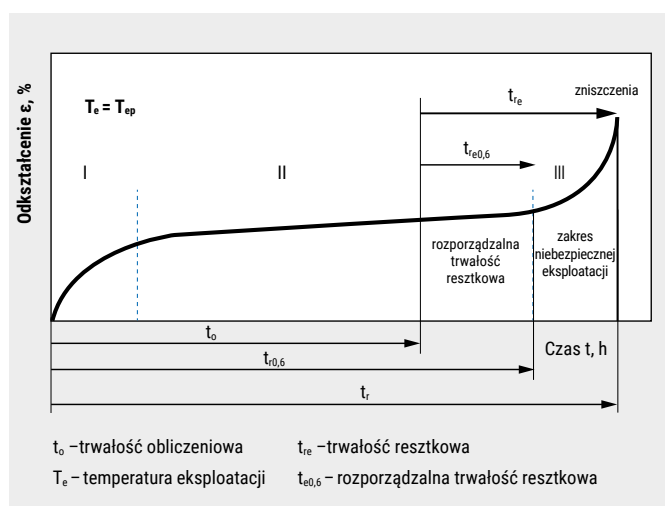
Zaprezentowane wyniki badań stanowią element charakterystyk materiałowych stali nowej generacji, które wykorzystywane są w pracach diagnostycznych podczas eksploatacji.

WPROWADZENIE

Podstawowym wymogiem stawianym materiałom do pracy w podwyższonej temperaturze jest ich żarowytrzymałość mechaniczna, określana przez czasową wytrzymałość na pełzanie $R_{z/N/T}$, którą przyjmuje się do wyznaczania naprężenia dopuszczalnego elementu konstrukcyjnego.

W warunkach eksploatacji ważnym elementem oceny stanu materiału jest obiektywna ocena trwałości resztkowej, którą można wykonać, opierając się jedynie na zespole metod i technik badawczych [1, 2, 3, 4], **i wiąże się z ustaleniem rzeczywistych parametrów pracy instalacji, takich jak temperatura, naprężenie czy liczba odstawień i uruchomień.**

- Wytrzymałość na pełzanie wyznacza się na podstawie wyników prób pełzania do zerwania bez pomiaru wydłużenia w czasie trwania próby [2, 6].
- Czasową granicę pełzania określa stałe obciążenie, podzielone przez pole powierzchni przekroju poprzecznego próbki, które po upływie określonego czasu działania w danej temperaturze spowoduje trwałe wydłużenie próbki o określoną wielkość. Wyznacza się ją w próbie pełzania z pomiarem wydłużenia.



Rys. 1. Schematyczne ujęcie pełzania i definicji trwałości resztkowej i rozporządzałej [1]

Obecnie w polskiej energetyce najczęściej na węzownice przegrzewaczy pary (SH, RH) pracujące w temperaturze ok. 600°C stosowana jest stal Super 304H. Dominującym procesem odpowiedzialnym za ich mechaniczne niszczenie jest pełzanie. Charakteryzuje się ono bardzo małą szybkością odkształcenia dla stali w zakresie od 10^{-9} do 10^{-12} s⁻¹ [5]. Zależność pomiędzy odkształceniem a czasem przy stałej temperaturze i naprężeniu w procesie pełzania przedstawia rysunek 1. W formie graficznej definiuje pojęcia trwałości obliczeniowej, resztkowej oraz rozporządzałej trwałości resztkowej.

Z praktycznego punktu widzenia najistotniejszą częścią charakterystyki pełzania jest stadium II, które w inżynierskich analizach zagadnienia trwałości resztkowej wyznacza tzw. rozporządzalną trwałość resztkową – bezpieczną z punktu widzenia niezawodnej eksploatacji [1, 2, 5].

Problematyka ta nabiera nowego znaczenia i wymaga szczególnej uwagi ze względu na aktualne tendencje prowadzenia eksploatacji krajowego systemu energetycznego w układzie regulacyjnym z OZE, czyli częstego odstawiania/uruchamiania kotłów w przypadku zmian zapotrzebowania na energię elektryczną, a przedstawione badania mają pomóc w ocenie przegrzewaczy wykonanych ze stali Super 304H.

MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiał do badań stanowił wycinek rury węzownicy przegrzewacza pary o wymiarach $\varnothing 42,4 \times 8,8$ mm wykonanej ze stali Super 304H. Skład chemiczny badanej stali w odniesieniu do wymagań normy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny materiału badanej rury ze stali Super304H

	Skład chemiczny [% masy]											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Nb	B	N	Al
Analiza kontrolna	0,09	0,20	0,80	0,003	0,001	2,99	18,40	8,80	0,48	0,004	0,11	0,006
VDTÜV 550:12.2012	0,07 0,13	max. 0,30	max. 1,00	max. 0,040	max. 0,010	2,50 3,50	17,0 19,0	7,5 10,5	0,30 0,60	0,001 0,010	0,05 0,12	0,003 0,030

ZAKRES I METODY BADAŃ

Próby pełzania prezentowane w pracy wykonano na maszynach jedno-półkowych produkcji Instytutu Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica w Gliwicach, które umożliwiają prowadzenie badań w temperaturze do 1000°C przy obciążeniu maksymalnym 6 kN wraz z pomiarem i rejestracją temperatury i wydłużenia. Komory grzewcze gwarantują stałą poziomą temperatury badania na długości pomiarowej próbki o długości 50 mm w czasie trwania próby z dokładnością $\pm 0,4^\circ\text{C}$.

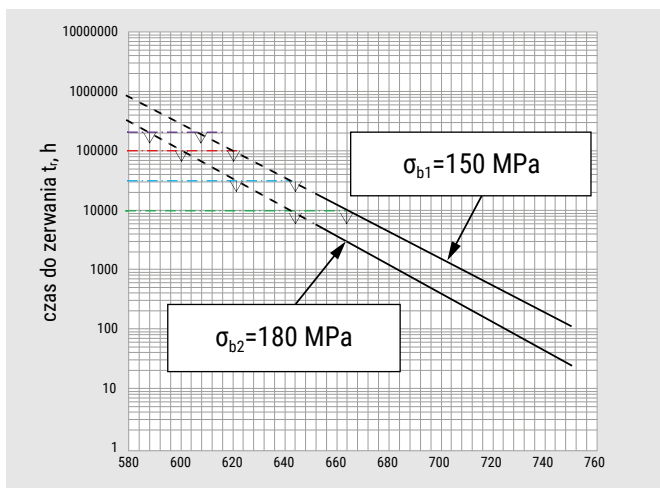
- Do pomiaru wydłużenia stosowano ekstensometry z indukcyjnymi czujnikami pomiaru długości z dokładnością $\pm 0,005$ mm.
- System klimatyzacji i wentylacji utrzymuje stałą temperaturę otoczenia $23 \pm 3^\circ\text{C}$, zapewniając powtarzalność warunków wykonywanych prób i pomiarów.
- Próby pełzania wykonano z pomiarem wydłużenia w stałej temperaturze i przy stałym obciążeniu na standardowych próbkach o stosunku $l_0/d_0 = 10$.
- Próbki zostały pobrane wzdłuż osi rur o długości pomiarowej próbki $l_0 = 50$ mm i średnicy $d_0 = 5$ mm.
- Próby pełzania przeprowadzono zgodnie z normą PN – EN ISO 204 [7] w zakresie skróconych prób pełzania i badania pełzania z pomiarem wydłużenia.

WYNIKI BADAŃ

Skrócone próby pełzania prowadzono przy stałym poziomie naprężenia odpowiadającym wymaganemu eksploatacyjnemu i w różnych wartościach temperatury badania, z zasady wyższej od temperatury eksploatacyjnej. Stosując metodę ekstrapolacji, można wyznaczyć wytrzymałość na pełzanie dla zakresu temperatury odpowiadającego przewidywanym wartościom eksploatacyjnym.

Wyznaczone charakterystyki skróconych prób pełzania w postaci zależności $\log t_r = f(T_e)$ przy $s_0 = \text{const}$ dla stali Super 304H przy stałym poziomie naprężenia $s_0 = 150$ i 180 MPa pokazano na rys. 2.





Rys. 2. Wyniki skróconych prób pełzania stali Super 304H prowadzonych w temperaturze wyższej niż przewidywana eksploatacyjna przy stałym poziomie naprężenia o różnych wartościach

TRWAŁOŚĆ

Oszacowaną poprzez ekstrapolację trwałość w zakresie temperatury 600–640°C odpowiadającej przewidywanej eksploatacyjnej przy naprężeniu 150 i 180 MPa zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Trwałość w wyniku pełzania stali Super 304H w temperaturze i przy naprężeniu odpowiadającym przewidywanym eksploatacyjnym oszacowana na podstawie skróconych prób pełzania

Temperatura badania $T_b, ^\circ\text{C}$	Naprężenie badania σ_b , MPa	
	150	180
	Oszacowana trwałość t_r , godz.	
600	300 000	100 000
610	150 000	60 000
620	100 000	32 000
630	60 000	20 000
640	34 000	12 000

TEMPERATURY

Wykorzystując sporządzone charakterystyki skróconych prób pełzania, wyznaczono wartości temperatury dla wymaganych czasów do zerwania wynoszących 10 000, 30 000, 100 000 i 200 000 godzin przy naprężeniu 150 i 180 MPa odpowiadającym eksploatacyjnemu. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 3.

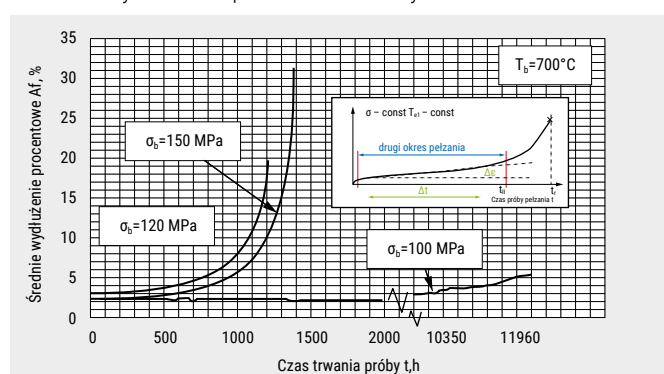
Tabela 3. Prognozowana temperatura dla czasu do zerwania stali Super 304H odpowiadającego 10 000, 30 000, 100 000 i 200 000 godzin przy naprężeniu 150 i 180 MPa

Naprężenie badania σ_b		150 MPa	180 MPa
Prognozowana temperatura dla czasu zerwania	10 000 h	662°C	642°C
	30 000 h	642°C	622°C
	100 000 h	620°C	600°C
	200 000 h	608°C	588°C

PRÓBY PEŁZANIA

Badania pełzania z pomiarem wydłużenia prowadzono na materiale w stanie dostawy oraz po starzeniu przy temperaturze 650 i 700°C w czasie do 30 000 godzin.

Próby wykonano na próbkach standardowych o stosunku $l_0/d_0 = 10$, długości pomiarowej $l_0 = 50$ mm i średnicy pomiarowej próbki $d_0 = 5$ mm, pobranych wzdłuż osi rury. Przyjęto stałą temperaturę próby 700°C, natomiast zastosowane obciążenie mieściło się w zakresie 100–150 MPa. Wyniki badań przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys. 3. Porównanie wyników prób pełzania z pomiarem wydłużenia w czasie próby w postaci krzywych pełzania $\epsilon = f(t)$ dla różnych wartości naprężenia badania σ_b w stałej temperaturze badania $T_b = 700^\circ\text{C}$ stali Super 304H

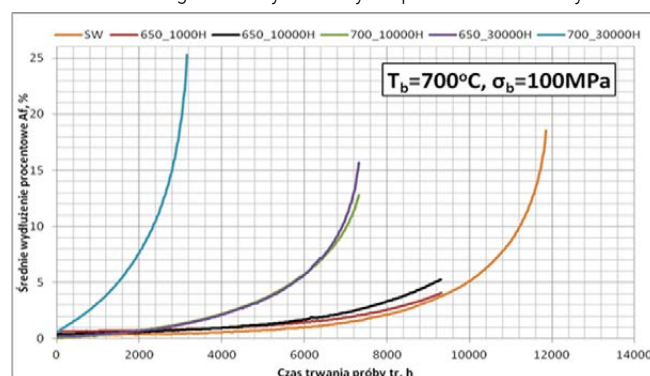
Sporządzone charakterystyki pełzania $\epsilon = f(t)$ przy temperaturze 700°C (rys. 3.) pozwoliły na wyznaczenie liczby godzin trwania drugiego okresu pełzania t_{II} oraz ułamka trwałości określającego udział drugiego okresu pełzania w całkowitym czasie próby do zerwania t_{II}/t_r realizowanej przy naprężeniach 100, 120 i 150 MPa zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Czas do końca drugiego okresu pełzania t_{II} , czas do zerwania t_r oraz udział drugiego okresu pełzania w czasie do zerwania t_{II}/t_r stali Super 304H w zależności od naprężenia badania w stałej temperaturze badania $T_b = 700^\circ\text{C}$

Super 304H	Temperatura badania $T_b = 700^\circ\text{C}$		
Naprężenie badania σ_b , MPa	100	120	150
Czas do zerwania t_r , h	11960	1204	1376
Czas do końca drugiego okresu pełzania t_{II} , h	7200	686	750
Udział t_{II} w t_r , t_{II}/t_r	0,60	0,57	0,54

PRÓBY PEŁZANIA PO STARZENIU

Trzeci rodzaj eksperymentów zmierzających do opracowania charakterystyk pełzaniowych, związanych z szacowaniem trwałości eksploatacyjnej stali Super 304H, obejmował próby pełzania badanej stali przy temperaturze 700°C i naprężeniu 100 MPa poddanych uprzednio starzeniu w temperaturze 650 i 700°C w czasie do 30 000 godzin. Czas trwania prób dochodził do 12 000 godzin. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wyniki prób pełzania z pomiarem wydłużenia przy stałym poziomie naprężenia badania i temperatury dla stali Super 304H w stanie dostawy i po długotrwałym starzeniu w temperaturze 650 i 700°C

PODSUMOWANIE

Jak podaje [2], proces pełzania oszczędnościowych stali austenitycznych w zakresie temperatur 600–650°C przy naprężeniu nieprzekraczającym 150 MPa wywołuje w początkowym stadium zmiany strukturalne polegające na tworzeniu się licznych bliźniaków i błędów ułożenia, na których w dalszym ciągu trwania procesu pełzania wydzielają się węgliki $M_{23}C_6$. Dodatek drogiego molibdenu i boru powoduje wzrost rozdrobnienia faz wtórnych. Takie równomierne rozmieszczenie wydzielań powoduje wzrost umocnienia stali. Wzrost temperatury badania do 650 i 700°C z równoczesnym wzrostem naprężeń powoduje wzrost procesów zdrowienia osnowy oraz wydzielania po granicach ziarn węglików $M_{23}C_6$ i faz międzymetalicznych: σ , Lavesa. Badana stal w swym składzie nie zawiera drogiego molibdenu, a efekt umocnienia jest spowodowany obecnością koherentnych wydzielań ϵ -Cu i NbCrN. Zaobserwowano podobieństwo, jeśli chodzi o proces wydzielania się węglika $M_{23}C_6$ i fazy σ [8, 9].

Z przedstawionych krzywych pełzania (rys. 4) wynika, że wraz ze wzrostem temperatury i czasu starzenia następuje utrata trwałości eksploatacyjnej. Objawia się to wzrostem szybkości pełzania w drugim jego okresie. W tabeli 5 zestawiono uzyskane wyniki szybkości pełzania.

- Wyniki szybkości pełzania starzonej stali w temperaturze 650°C pokazują po starzeniu przez 1000 godzin wzrost prędkości pełzania o jedną jednostkę w porównaniu do szybkości pełzania materiału w stanie wyjściowym dostawy.
- Wyniki szybkości pełzania badanego materiału po starzeniu przez 10 000 godzin po porównaniu do wyników uzyskanych dla materiału w stanie dostawy pokazują wzrost szybkości pełzania o 16,1 jednostek i 15,1 jednostek w odniesieniu do stanu po 1000 godzin starzenia.

Porównując uzyskane wyniki szybkości pełzania dla materiału starzonego przez 30 000 godzin w temperaturze 650°C, zaobserwowano wzrost o około 100 jednostek w porównaniu do uzyskanych wyników dla stanu wyjściowego i o 84,2 jednostki dla stali starzonej przez 10 000 godzin.

Tabela 5. Wyniki szybkości pełzania dla stali Super 304H

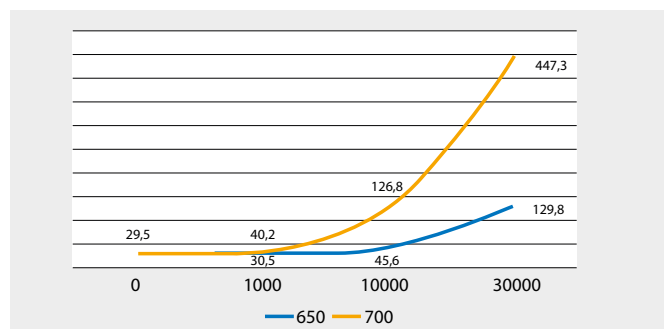
Parametry prób pełzania			Czas trwania próby t, h
Temperatura badania $T_b = 700^\circ\text{C}$; Naprężenie badania $\sigma_b = 100 \text{ MPa}$			
Materiał		Szybkość pełzania $\dot{\epsilon} \text{ s\%/h} \cdot 10^4$	
Temperatura starzenia, $^\circ\text{C}$	Czas starzenia, h		
Stan dostawy	-	29,5	11818
650°C	1000	30,5	(9500)
	10 000	45,6	(9500)
	30 000	129,8	7149
700°C	1000	-	-
	10 000	126,8	7261
	30 000	447,3	3190

- Dużo większy wzrost szybkości pełzania zaobserwowano dla stali Super 304H starzonej w temperaturze 700°C przekraczającej o 50°C do zakładanej temperaturę długotrwałej pracy dla tej stali w warunkach rzeczywistych.

Szybkość pełzania materiału starzonego przez 10 000 godzin wzrosła o 97,3 jednostki w odniesieniu do badań wykonanych na materiale w stanie wyjściowym.

- Największy wzrost szybkości pełzania, a tym samym utratę trwałości, odnotowano dla materiału w odniesieniu do starzenia przez 30 000 godzin w temperaturze 700°C.

W tym przypadku wzrost szybkości pełzania jest ponad 15-krotny w porównaniu do stanu dostawy i ponad 3,5-krotny w odniesieniu do starzenia po 10 000 godzin (rys. 5).



Rys. 5. Zależność szybkości pełzania od czasu i temperatury starzenia dla stali Super 304H

Na podstawie uzyskanych wyników badań zaobserwowano około 4-krotny wzrost szybkości pełzania przy wzroście temperatury starzenia o 50°C. Wzrost szybkości pełzania, a tym samym spadek wytrzymałości na pełzanie, jest nierozdzielnie związany ze stanem zaawansowania procesu wydzieleniowego zachodzącym w mikrostrukturze badanej stali, co potwierdzają badania [8–14].

Literatura

- Bai J.W. and others, *Coherent precipitation of copper in Super304H austenite steel*, Mater. Sci. Eng. A, 2013, 584, 57–62.
- Dobrzański J., Golański G., Purzyńska H., Zieliński A., *Properties, structure and creep resistance of austenitic steel Super 304H*, Materials Testing, 2015, Vol. 57, 859–865.
- Dobrzański J., Golański G., Purzyńska H., Zieliński A., Wersta R., *Struktura stali Super 304H po 20 000 godzin starzenia*, Energetyka, 2018, 11, 648–650.
- Dobrzański J., Hernas A., *Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych*, monografia, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- Dobrzański J., *Materiałoznawcza interpretacja trwałości stali dla energetyki*, Wyd. Open Access Library, Vol. 3, 2011.
- Dobrzański J., *Trwałość elementów ciśnieniowych bloków energetycznych*, Wyd. IMŻ, Gliwice 2019.
- Hernas A., *Żarowytrzymałość stali i stopów*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
- Horvath J., Janovec J., Junek M., *The changes in mechanical properties of austenitic creep resistant steels SUPER 304H and HR3C caused by medium-term isothermal ageing*, Solid State Phenom, 2017, 258, 639–642.
- Lin D., Quadackers W.J., Yang S., Żurek J., *Precipitation behavior of the Sanicro 25 steel after long-term steam exposure in the temperature range 600–700°C*, J. Mater. Res., 30, 2015.
- Polski Komitet Normalizacyjny, PN-EN ISO 204:2018, *Metale. Próba pełzania przy jednoosiowym rozciąganiu*, Warszawa 2018.
- Zieliński A., *Structure and properties of Super 304H steel for pressure elements of boilers with ultra-supercritical parameters*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2012, 5(2), 403–409.
- Zieliński A., *Trwałość eksploatacyjna żarowytrzymałych stali o osnowie ferrytycznej w warunkach długotrwałego oddziaływania temperatury*, Wyd. IMŻ, Gliwice 2016.
- Wersta R., Zieliński A., *Struktura stali Super 304H po 10 000 godzin starzenia*, Energetyka 11/2018.

STRUKTURA STALI S304H PO 20 000 GODZIN STARZENIA



DR INŻ. ROBERT WERSTA

Kierownik Działu Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu



**PROF. DR HAB. INŻ.
ADAM ZIELIŃSKI**

Dyrektor Górnośląskiego
Instytutu Technologicznego
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Gliwice

NA CAŁYM ŚWIECIE OBSERWUJE SIĘ DUŻE ZAPOTRZEBOWANIE NA TWORZYWA METALICZNE O WŁAŚCIWOŚCIACH TAKICH JAK ODPORNOŚĆ NA KOROZJĘ, DOBRA ODKSZTAŁCALNOŚĆ PLASTYCZNA CZY SPAWALNOŚĆ. NIERDZEWNE STALE AUSTENITYCZNE MAJĄ WYMIENIONE CECHY, CO SPRAWIA, ŻE CZĘSTO WYKORZYSTYWANE SĄ M.IN. W PRZEMYSŁE CHEMICZNYM I PETROCHEMICZNYM ORAZ ENERGETYCE.

Stal S304H stosowana jest w budowie elementów ciśnieniowych kotłów o nadkrytycznych parametrach pracy. W pracy zaprezentowano wyniki badań mikrostruktury po starzeniu przez 20 000 godzin w temperaturze 650 i 700°C. Badania mikrostruktury wykonano, wykorzystując skaningową i transmisyjną mikroskopię elektronową. Identyfikację występujących wydzieleni przeprowadzono przy użyciu transmisyjnej mikroskopii elektronowej.

Opisano wpływ czasu starzenia na zmiany mikrostruktury i proces wydzieleniowy badanej stali. Zaprezentowane wyniki badań stanowią element charakterystyk materiałowych stali nowej generacji, które wykorzystywane są w pracach projektowych urządzeń ciśnieniowych kotłów parowych oraz w pracach diagnostycznych podczas eksploatacji.

Opisano wpływ czasu starzenia na zmiany mikrostruktury i proces wydzieleniowy badanej stali. Zaprezentowane wyniki badań stanowią element charakterystyk materiałowych stali nowej generacji, które wykorzystywane są w pracach projektowych urządzeń ciśnieniowych kotłów parowych oraz w pracach diagnostycznych podczas eksploatacji.

WPROWADZENIE

Podstawowym parametrem określającym nowoczesność bloku energetycznego jest jego sprawność oraz spełnianie wymagań ekologicznych w zakresie minimalnej emisji gazów cieplarnianych oraz szkodliwych zanieczyszczeń.

Zastosowanie nadkrytycznych parametrów pary pozwala na podniesienie sprawności bloków energetycznych do wartości powyżej 45%.

Równocześnie lepsze warunki spalania paliw stałych zmniejszają emisję zanieczyszczeń do powietrza. Stąd do budowy części ciśnieniowej kotłów o nadkrytycznych parametrach pary wymaga się zastosowania nowych materiałów o coraz wyższych właściwościach mechanicznych [1–8].

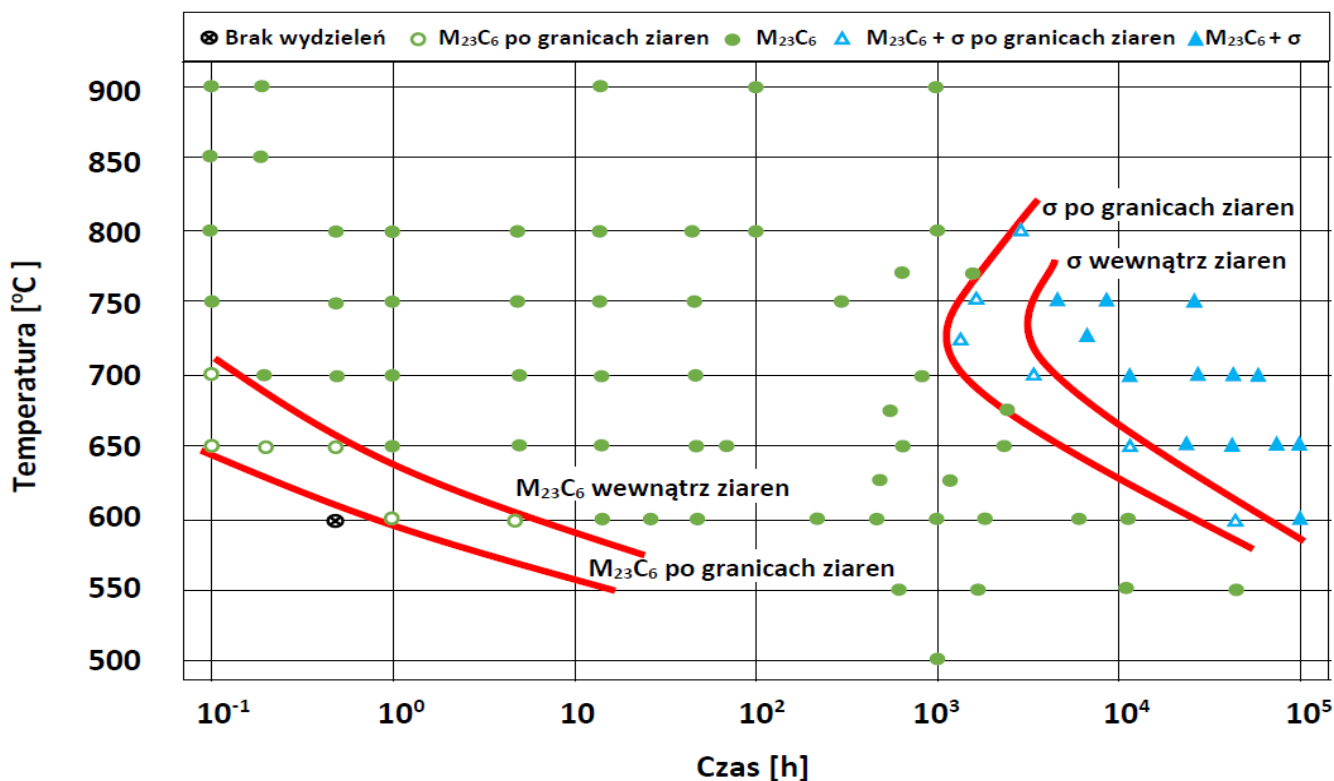
Wśród elementów krytycznych części ciśnieniowej kotła należy wyróżnić między innymi rury cienkościenne przegrzewaczy pary, których materiały w instalacjach o parametrach nadkrytycznych mogą pracować w temperaturze do ok. 650°C i ciśnieniu 25–30 MPa. Na elementy przegrzewacza pary o tak wysokich parametrach coraz szersze zastosowanie znajdują stale odporne na korozję wysokotemperaturową o strukturze austenicyznej, do których zalicza się stal Super 304H, opracowana w latach 90. ubiegłego stulecia.

W tabeli 1 przedstawiono bloki na parametry nadkrytyczne polskiej energetyki, gdzie znalazła zastosowanie stal Super 304H.

Tabela 1. Eksploatowane i budowane bloki na parametry nadkrytyczne z przegrzewaczami wykonanymi ze stali Super 304H (główne parametry)

Moc [MW]	Max. ciśnienie PS [bar] – SH/RH	Max. temperatura pracy TS [°C] – SH/RH
860	284/72	569/607
1075	266/63	603/621
2 x 950	280/77	603/611
910	285/59	603/611
460	266/63	603/621

Stal S304H (X10CrNiCuNb18-9-3) charakteryzuje się wysoką żaroodpornością oraz wytrzymałością na pełzanie, która wynosi 68MPa w temperaturze 700°C dla 100 000 godzin. Jest to wynik silnego umocnienia roztworowego i wydzieleniowego [9, 10]. Dla materiałów, z których wykonuje się elementy kotła, opracowywane są charakterystyki mające na celu pozyskanie wiedzy na temat ich zachowania się w warunkach eksploatacyjnych [11–13]. Ze względu na specyficzny charakter pracy materiałów stosowanych w energetyce budowanie charakterystyk ich właściwości użytkowych jest długotrwałe i sięga kilkunastu lat [9, 14]. Rysunek 1 podaje zakres temperatur wydzielenia się faz wtórnych badanej stali, natomiast nie uwzględnia wartości ilościowych i zależnych od nich właściwości. W poniższym opracowaniu przedstawiono analizę wyników badań materiału gotowego elementu w postaci węzownicy przegrzewacza pary, wykonanej ze stali Super 304H.



Rys. 1. Wykres CTW zakresów wydzielenia faz wtórnych w stali 304H [19]

MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiał do badań stanowił wycinek rury węzownicy przegrzewacza pary o wymiarach $\varnothing 42,4 \times 8,8$ mm wykonanej ze stali Super304H. Skład chemiczny badanej stali w odniesieniu do wymagań normy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skład chemiczny materiału badanej rury ze stali Super304H

	Skład chemiczny [% masy]											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Nb	B	N	Al
Analiza kontrolna	0,09	0,20	0,80	0,003	0,001	2,99	18,40	8,80	0,48	0,004	0,11	0,006
VDTÜV	0,07	maks.	maks.	maks.	maks.	2,50	17,0	7,5	0,30	0,001	0,05	0,003
550:12.2012	0,13	0,30	1,00	0,040	0,010	3,50	19,0	10,5	0,60	0,010	0,12	0,030

ZAKRES I METODY BADAŃ

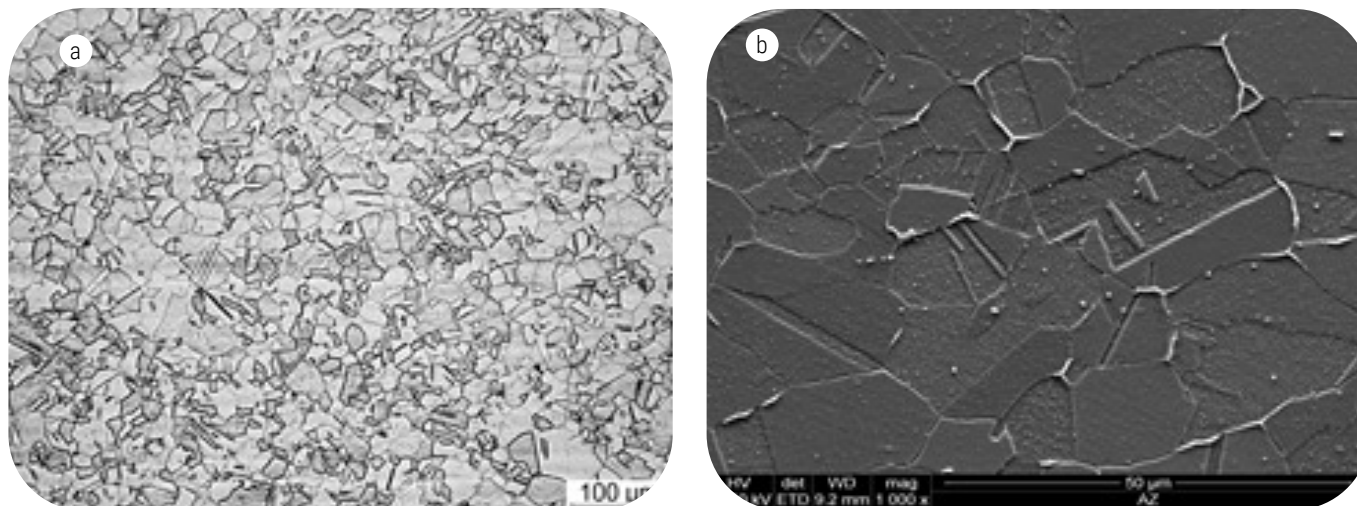
W ramach prowadzonych badań opisano wpływ temperatury i czasu długotrwałego starzenia na zmiany w mikrostrukturze badanego materiału po 20 000 godzinach starzenia w temperaturze 650 i 700°C. Pierwszy etap badań po 10 000 godzin starzenia przedstawiono w [18].

Obserwację mikrostruktury przeprowadzono za pomocą mikroskopu świetlnego, skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) na konwencjonalnie przygotowanych zglądach metalograficznych trawionych elektrolitycznie oraz transmisyjnym mikroskopie elektronowym (TEM), wykorzystując cienkie folie. Analizę procesów wydzieleniowych przeprowadzono za pomocą cienkich folii przy wykorzystaniu selektywnej dyfrakcji elektronów. Analizę ilościową wydzieleni przeprowadzono przy zastosowaniu systemu analizy obrazu NIKON EPIPHOT200 & LUCIA G v.5.03. Korzystając z markera skali umieszczonego na zdjęciach, skalibrowano system analizy obrazu. Współczynnik kalibracji: 1 piksel = 0,040 μm .

Badania wykonano na materiale po długotrwałym starzeniu przez 20 000 godzin w temperaturze 650 i 700°C.

WYNIKI BADAŃ

Mikrostrukturę stali Super 304H w stanie dostawy (po przesyłaniu) przedstawiono na rys. 2. Badany materiał charakteryzuje się austenityczną osnową z widocznymi bliźniakami wyżarzania i pojedynczymi pierwotnymi wydzieleniami o zróżnicowanej wielkości, rozmieszczonymi wewnątrz ziaren. Wielkość ziarna w badanej stali według wzorców ASTM wynosiła 7–9.



Rys. 2. Mikrostruktura stali Super 304H w stanie dostawy: a) mikroskop świetlny LM, b) skaningowy mikroskop elektronowy SEM

Starzenie stali Super 304H w temperaturze 650 i 700°C przez 20 000 godzin istotnie wpływa na rozwój procesów wydzieleniowych, co potwierdziła obserwacja mikrostruktury (rys. 3–5).

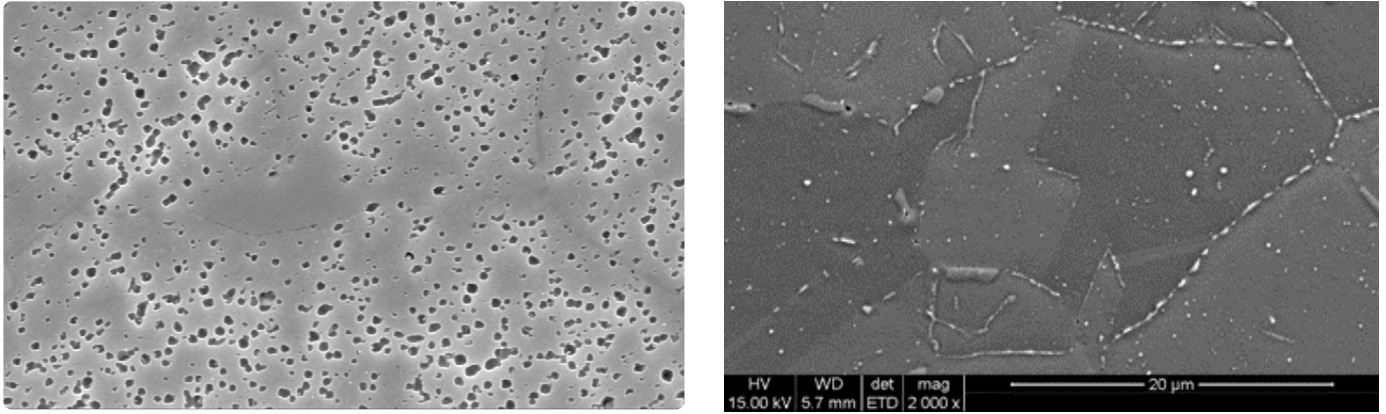
Wraz z dłuższym czasem starzenia obserwowano na obrazach mikrostruktury wzrost liczby i wielkości węglików $Cr_{23}C_6$ po granicach ziaren austenitu i bliźniakach wyżarzania. Wydzielenia typu $M_{23}C_6$ tworzą układy w postaci siatki po granicach ziaren. Badania mikrostruktury po starzeniu przez 20 000 godzin wykazały również występowanie międzymetalicznej fazy σ (rys. 3, 6, 9), której wielkość i udział procentowy jest znacznie większy w przypadku starzenia w temperaturze 700°C (rys. 4 i 7, tabela 3).

Niekorzystna faza S bogata w chrom wydziela się w stalach austenitycznych podczas eksploatacji powyżej 600°C (rys. 1). Miejscami szczególnie uprzywilejowanymi do jej wydzielenia są styki trzech ziaren oraz wydzielenia ferrytu δ . Podczas wydzielenia fazy σ na granicach ziaren występuje rozpuszczanie w osnowie wydzielań $Cr_{23}C_6$.

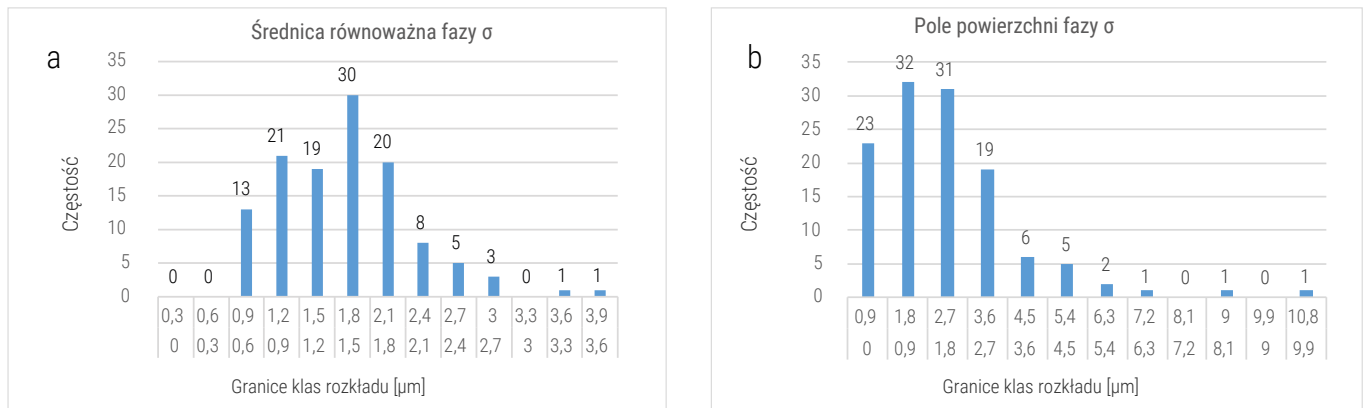
Wydzielanie fazy S prowadzi do obniżenia właściwości plastycznych, a także odporności na utlenianie w parze wodnej i zgorzelinowanie w atmosferze spalin [3, 16].

Tabela 3. Analiza ilościowa fazy σ w stali Super 304H

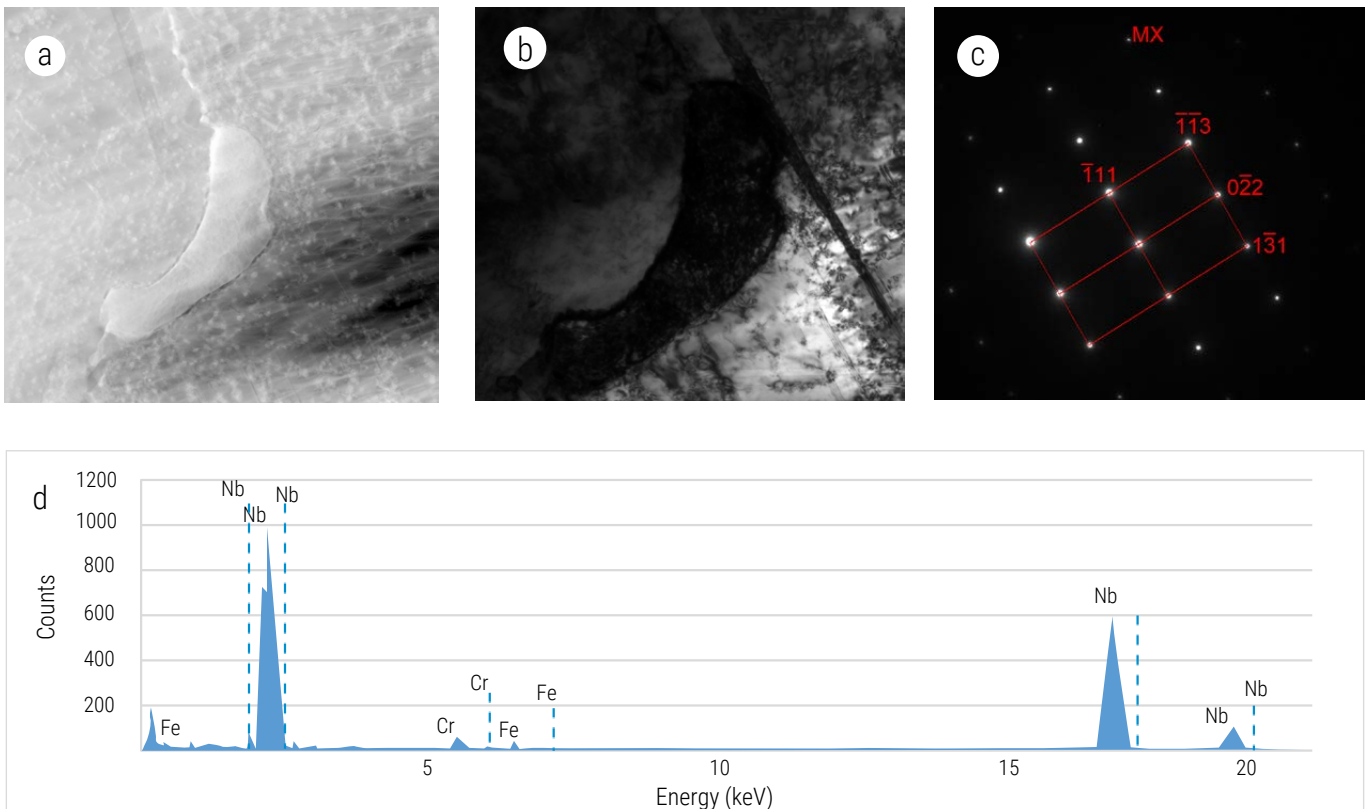
Stan materiału	Min. średnica μm	Max. średnica μm	Średnia średnica μm	Odchylenie standardowe	Udział powierzchniowy %
Starzenie 20 000 h/650°C	0,65	3,70	1,60	0,55	1,25
Starzenie 20 000 h/700°C	0,65	6,20	1,74	0,99	2,86



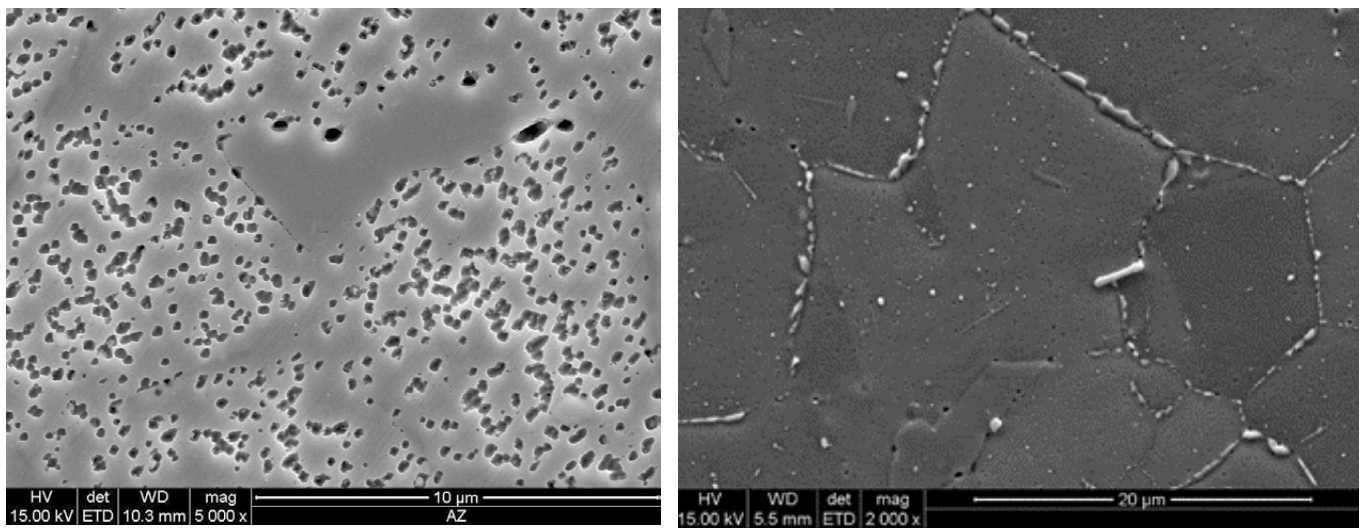
Rys. 3. Mikrostruktura stali Super 304H po starzeniu w temperaturze 650°C/20 000 godzin z wydzieleniami fazy ϵ -Cu w osnowie oraz węglików $M_{23}C_6$ i fazy σ po granicach ziaren, obserwacja SEM



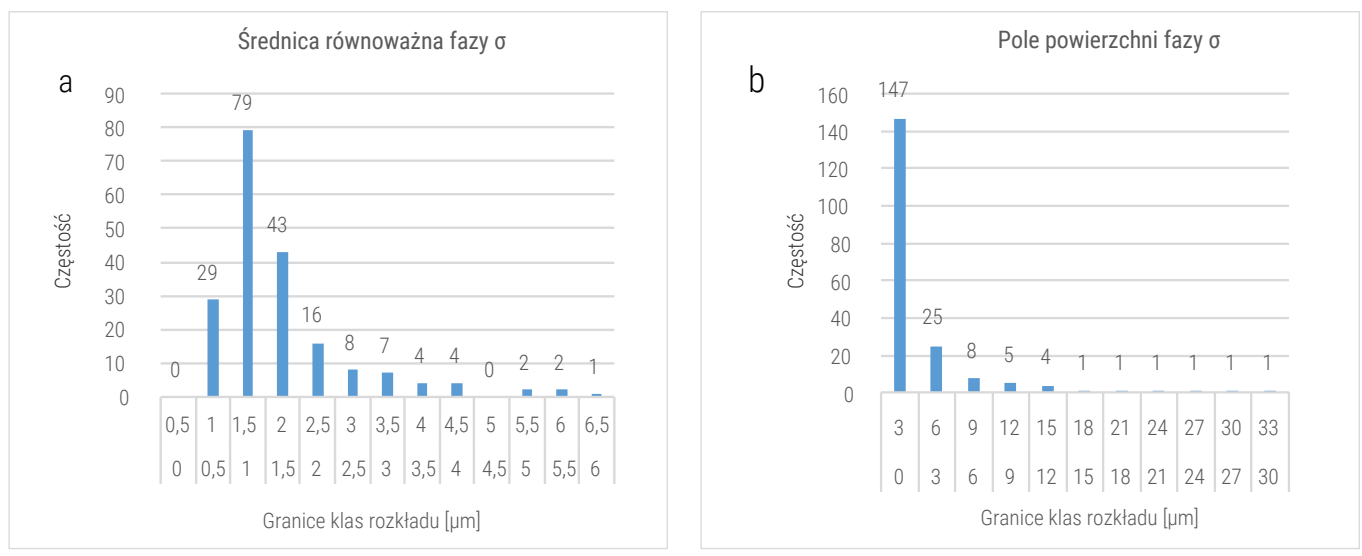
Rys. 4. a) Wyniki analizy ilościowej średnicy równoważnej wydzieleni fazy σ po 20 000 godzin starzenia w temperaturze 650°C (min. – 0,65, max. – 3,7), b) Wyniki analizy ilościowej wydzieleni pola fazy σ po 20 000 godzin starzenia w temperaturze 650°C (min. – 0,33, max. – 10,74)



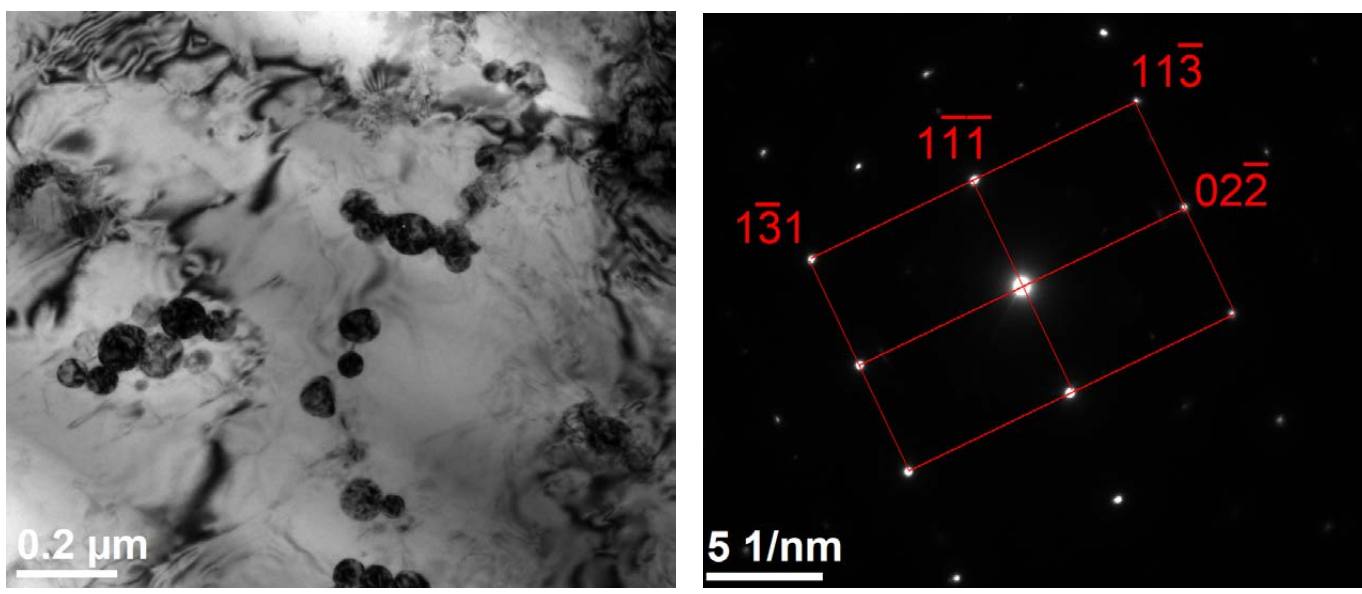
Rys. 5. Wydzielenia w stali S304H po starzeniu w temperaturze 650°C przez 20 000 godzin a), b) wydzielenie MX, c) dyfraktogram MX, d) analiza EDS, obserwacja TEM



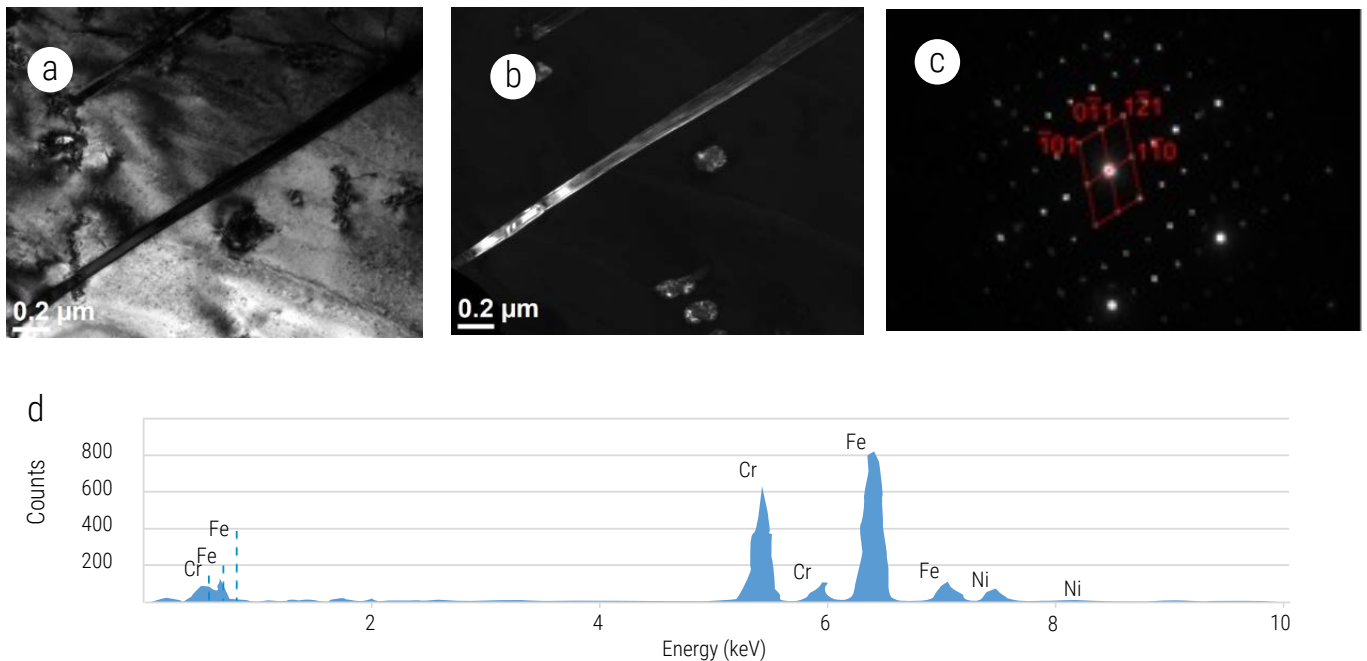
Rys. 6. Mikrostruktura stali Super 304H po starzeniu w temperaturze 700°C/20 000 godzin z wydzieleniami fazy ϵ -Cu w osnowie oraz węglików $M_{23}C_6$ i fazy σ po granicach ziaren, obserwacja SEM



Rys. 7. a) Wyniki analizy ilościowej średnicy równoważnej wydzieleni fazy σ po 20 000 godzin starzenia w temperaturze 700°C (min. – 0,65, max. – 6,2), b) Wyniki analizy ilościowej wydzieleni pola fazy σ po 20 000 godzin starzenia w temperaturze 700°C (min. – 0,33, max. – 30,2)



Rys. 8. Faza bogata w miedź obserwowana za pomocą TEM w stali S304H po starzeniu 700°C/20 000 godzin



Rys. 9. Wydzielenia w stali S304H po starzeniu w temperaturze 700°C przez 20 000 godzin a), b) fazy σ , c) dyfraktogram fazy σ , d) analiza EDS, obserwacja TEM

Obserwacja mikrostruktury w transmisyjnym mikroskopie elektronowym ujawniła występowanie w badanej stali bardzo drobnych wydzieleni typu MX (rys. 5) oraz fazy bogatej w miedź (rys. 8).

Fazy te najintensywniej wpływają na umocnienie wydzieleniowe i wzrost wytrzymałości na pełzanie.

W stali S304H po starzeniu przez 20 000 godzin w temperaturze 650°C średnia średnica cząstek bogatych w miedź wynosiła 39,5 nm. Pomimo niewielkiego udziału objętościowego fazy bogatej w miedź, wynoszącej około 3%, jest ona bardzo skuteczną przeszkodą dla swobodnego przemieszczania się dyslokacji [9].

PODSUMOWANIE

Stal S304H 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.

Trwałość eksploatacyjną materiałów żarowytrzymałych, określającą ich przydatność do zastosowania w określonej temperaturze, ujmują między innymi wyniki badań stabilności mikrostruktury w warunkach laboratoryjnego starzenia w temperaturze zbliżonej do temperatury potencjalnego zastosowania.

Przeprowadzone starzenie w temperaturze 650–700°C w czasie do 20 000 godzin ujawniło istotne zmiany mikrostruktury, obserwowane w skaningowym mikroskopie elektronowym, polegające głównie na tendencji do tworzenia niekorzystnej morfologii, głównie węglików Cr_{23}C_6 , tworzących przerywane i ciągłe układy węglików po granicach ziaren i bliźniakach wyżarzania oraz wydzieleni fazy σ po granicach ziaren austenitu. Badania w transmisyjnym mikroskopie elektronowym pozwoliły ujawnić występowanie bardzo drobnych, licznych wydzieleni typu MX oraz fazy bogatej w miedź. Wydzielenia tego rodzaju mają decydujący wpływ na właściwości użytkowe badanej stali podczas eksploatacji w wysokiej temperaturze.

Zaprezentowane wyniki badań stanowią element charakterystyk materiałowych stali i stopów umożliwiających między innymi opracowanie procedur diagnostycznych w obliczeniowym i poza obliczeniowym czasem pracy elementów kotłów parowych pracujących w warunkach pełzania.

Literatura

1. Backert L., Bruzda G., Chruściel K., Deodeshmukh V., Dudziak T., Ratuszek W., Sobczak J., Sobczak N., Witkowska M., Zieliński A., *Phase Investigations Under Steam Oxidation Process at 800 °C for 1000 h of Advanced Steels and Ni-Based Alloys*, Oxidation of Metals, 2017, 87, 1–2, 139–158.
2. Bai J.W. and others, *Coherent precipitation of copper in Super304H austenite steel*, Mater. Sci. Eng. A, 2013, 584, 57–62.
3. Barnard P., *Austenitic steel grades for boilers in ultra-supercritical power plants*, Materials for ultra-supercritical and advanced ultra-supercritical power plants (ed. Di Gianfrancesco A.), Woodhead Publishing, 2017, 99–149.

4. Dobrzański J., Dziuba-Kaluża M., Sroka M., Urbańczyk P., Zieliński A., Dobrzański J., Sroka M., Urbańczyk P., *Residual life of boiler pressure parts made of the 13CrMo4-5 steel after long-term operation in a creep conditions*, Archives of Metallurgy and Materials, 2018, 63. (2), 889–897.
5. Zieliński A., Dobrzański J., Purzyńska H., Golański G., Purzyńska H., Zieliński A., *Properties, structure and creep resistance of austenitic steel Super 304H*, Materials Testing, 2015, Vol. 57, 859–865.
6. M., Zieliński A., Golanski G., Sroka M., Dobrzański J., *Estimation of long-term creep strength in austenitic power plant steels*, Materials Science and Technology, Volume 32, 2016 - Issue 8, 780-785.
7. Dudziak T., Deodeshmukh V., Backert L., Sobczak N., Witkowska M., Ratuszek W., Chruściel K., Zieliński A., Sobczak J., Bruzda G., *Phase Investigations Under Steam Oxidation Process at 800 °C for 1000 h of Advanced Steels and Ni-Based Alloys*, Oxidation of Metals, 2017, 87, 1–2, 139–158.
8. Gao Y., Wang R., Zheng Z., Zhou Q., Wang R., Zheng Z., Gao Y., *Interpretation for the fast sigma phase precipitation in the high intensity shot peened nanocrystallined Super304H stainless steel*, Applied Surface Science, 2018, 462, 804–814.
9. Golański G. i inni, *Microstructure and mechanical properties of HR3C austenitic steel after service*, Archives of Materials Science and Engineering, 2016, 81, 62–67.
10. 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.
11. Golański G., *Żarowytrzymałe stale austenityczne*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2017.
12. Golański G., *Żarowytrzymałe stale austenityczne*, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, 2017.
13. Hernas A., Kania Z., Rozmus R., Sroka M., Śliwa A., Tański T., Zieliński A., *The effect of long-term impact of elevated temperature on changes in the microstructure of inconel 740H alloy*, Metalurgija, 2017, Vol. 56, 3–4, 333–336.
14. Horvath J., Janovec J., Junek M., *The changes in mechanical properties of austenitic creep resistant steels SUPER 304H and HR3C caused by medium-term isothermal ageing*, "Solid State Phenom" 2017, 258, 639-642.
15. Zhang S., Jiang Z., Zhang S., *Precipitation behavior and phase transformation mechanism of super austenitic stainless steel S32654 during isothermal aging*, Mater. Charact., 2018, 137, 244–255.
16. San X.Y., Zhang B., *Investigating the effect of Cu-rich phase on the corrosion behavior of Super 304H austenitic stainless steel by TEM*. Corros. Sci., 2017, 130, 1609–1616. *strength in austenitic power plant steels*, Mater. Sci. Technol., 2016, 32, 780–785.
17. Zieliński A., *Trwałość eksploatacyjna żarowytrzymałych stali o osnowie ferrytycznej w warunkach długotrwałego oddziaływania temperatury*, Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica, Gliwice 2016.
18. Zieliński A., Wersta R. *Struktura stali Super 304H po 10 000 godzin starzenia*, Energetyka 11/2018.
19. Zieliński A., *Austenitic steels for boiler elements in USC power plants*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2013, 68–75.
20. Zieliński A., *Structure and properties of Super 304H steel for pressure elements of boilers with ultra-supercritical parameters*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2012, 5(2), 403–409.



STOP HR6W DLA BLOKÓW ENERGETYCZNYCH NA PARAMETRY NADKRYTYCZNE I ULTRANADKRYTYCZNE



**DR INŻ. PAWEŁ
URBAŃCZYK**

Kierownik Działu
Urządzeń Ciśnieniowych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Katowicach



**PROF. DR HAB. INŻ.
ADAM ZIELIŃSKI**

Dyrektor Górnośląskiego
Instytutu Technologicznego
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Gliwice



**PROF. DR HAB. INŻ.
GRZEGORZ GOLAŃSKI**

Katedra Inżynierii Materiałowej
Wydział Inżynierii Produkcji
i Technologii Materiałów
Politechnika Częstochowska

SILNA TENDENCJA DO PODWYŻSZANIA TEMPERATURY I CIŚNIENIA PARY W BLOKACH ENERGETYCZNYCH OPALANYCH WĘGLEM NA CELU WZROST ICH SPRAWNOŚCI. WYMAGA TO ZASTOSOWANIA NA ELEMENTY KRYTYCZNE, PRACUJĄCE W NAJTRUDNIEJSZYCH WARUNKACH TEMPERATUROWO NAPRĘŻENIOWYCH, NOWOCZESNYCH ŻAROWYTRZYMAŁYCH MATERIAŁÓW. MATERIAŁY TE POWINNY CHARAKTERYZOWAĆ SIĘ WYSOKĄ ODPORNOŚCIĄ NA PEŁZANIE PRZY DUŻEJ STABILNOŚCI STRUKTURY ORAZ WYSOKĄ ODPORNOŚCIĄ NA UTLENIANIE W PARZE WODNEJ I ODPORNOŚCIĄ KOROZYJNĄ W ATMOSFERZE SPALIN.

Jednym z nowoczesnych materiałów wdrażanych do energetyki, jako materiał na elementy kotłów o nadkrytycznych parametrach pracy, jest stop na bazie niklu 23Cr-45Ni-6W-Nb-Ti-B (HR6W).

Stop ten został opracowany w Japonii, jako materiał przeznaczony na elementy pracujące w zakresie temperatury 700–800°C. Stop HR6W obecnie jest rekomendowany głównie na grubościennie elementy konstrukcyjne, np. rurociągi pary pierwotnej czy też komory.

Właściwości mechaniczne stopu HR6W, tj. odporność na pełzanie oraz stabilność mikrostruktury w temperaturze powyżej 650°C, są porównywalne z nadstopem niklu Alloy 617 [1, 2].

Skład chemiczny stopu HR6W został tak dobrany, aby jego umocnienie realizowane było poprzez atomy wolframu (umocnienie roztworowe) oraz wydzielenia fazy Lavesa (umocnienie wydzieleniowe).

Zapewnia to względnie wysoką odporność na pełzanie. Ekstrapolowana wytrzymałość na pełzanie w temperaturze 700°C dla czasu 100 000 godzin wynosi około 88 MPa, natomiast dla temperatury 750°C – 64 MPa.

Ze względu na wysoką zawartość chromu na poziomie około 23% stop ten charakteryzuje się wyższą od stali ferrytycznych odpornością na utlenianie w atmosferze pary wodnej oraz odpornością na hot corrosion [2, 3].

Ze względu na swoje właściwości użytkowe stop HR6W jest pośrednim materiałem konstrukcyjnym pomiędzy stalami austenitycznymi a nadstopami niklu. Przydatność stali i stopów żarowytrzymałych do zastosowania w elementach instalacji bloku energetycznego określana jest przez pracochłonne badania minimalnej stabilności mikrostruktury i właściwości mechanicznych w czasie starzenia w temperaturze zbliżonej do temperatury przewidywanej eksploatacji.

Wyniki badań stanowią podstawę budowania charakterystyk materiałowych, które są stosowane w praktyce przemysłowej do oceny stanu materiału elementów kotłów energetycznych.

Do prawidłowej oceny stanu materiału wykorzystuje się znajomość długotrwałego wpływu temperatury na zmiany w mikrostrukturze i właściwościach mechanicznych. W żarowytrzymałych stalach o osnowie ferrytycznej i stopach o osnowie austenitycznej na trwałość eksploatacyjną decydujący wpływ mają procesy wydzieleniowe faz wtórnych oraz zmiany w ich morfologii [4–8]. Celem przeprowadzonych badań była analiza procesów wydzieleniowych oraz zmian właściwości mechanicznych w stopie HR6W poddanym izotermicznemu starzeniu w temperaturze 700°C do 10 000 godzin.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Izotermicznemu starzeniu w temperaturze 700°C w czasie do 10 000 godzin poddano żarowytrzymały stop na bazie niklu 23Cr-45Ni-6W-Nb-Ti-B (HR6W). Skład chemiczny badanego materiału przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu HR6W [% masy]

C	Si	Mn	P	S	Cr	W	Ti	Nb	Ni
0,10	1,00	1,50	0,01	0,01	21,50	7,00	0,20	0,35	45,00

Zakres przeprowadzonych badań obejmował:

- analizę mikrostruktury przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego JEOL JSM-6610LV, badania strukturalne przeprowadzono na zgładach metalograficznych trawionych chlorkiem żelaza,
- identyfikację wydzieleni za pomocą selektywnej dyfrakcji elektronowej przy pomocy transmisyjnego mikroskopu elektronowego Titan 80-300,
- badania właściwości wytrzymałościowych, które obejmowały: statyczną próbę rozciągania w temperaturze pokojowej za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roel Z100 oraz pomiar twardości przy zastosowaniu twardościomierza Vickersa Future Tech FV-700 przy obciążeniu wgłębnika 10 kG (98,1 N).

MIKROSTRUKTURA BADANEGO STOPU W STANIE WYJŚCIOWYM

Stop na bazie niklu HR6W w stanie wyjściowym dostarczany jest w stanie przesyconym. Przesycanie badanego stopu przeprowadza się w temperaturze 1190–1250°C z następnym chłodzeniem w wodzie [3]. Przesycanie badanego stopu ma zapewnić uzyskanie jednorodnej struktury austenitu niklowego bez wydzieleni.

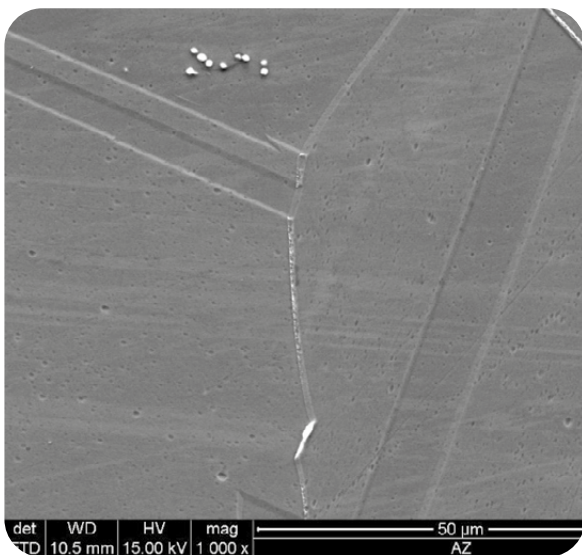
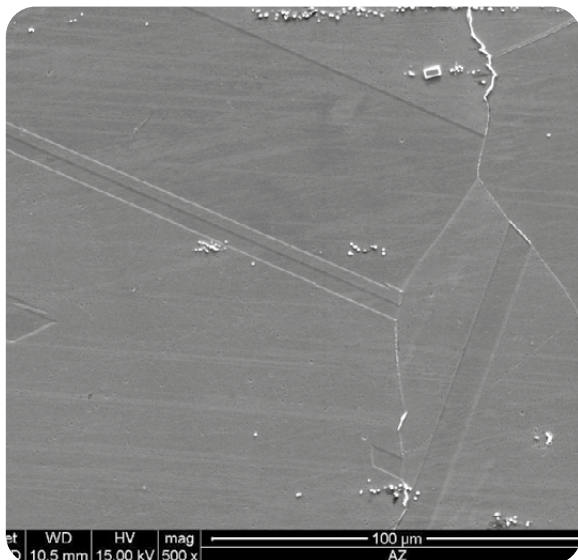
W strukturze stopu HR6W widoczne są liczne bliźniaki wyżarzania (rys. 1). Obecność bliźniaków w stopach o sieci typu A1 jest związane z ich niską energią błędu ułożenia.

Badany stop ma w swoim składzie chemicznym silnie węglotwórcze pierwiastki, tj. tytan i niob, stąd też w jego mikrostrukturze w stanie wyjściowym obserwuje się liczne wydzielenia pierwotne o mikrometrycznej wielkości.

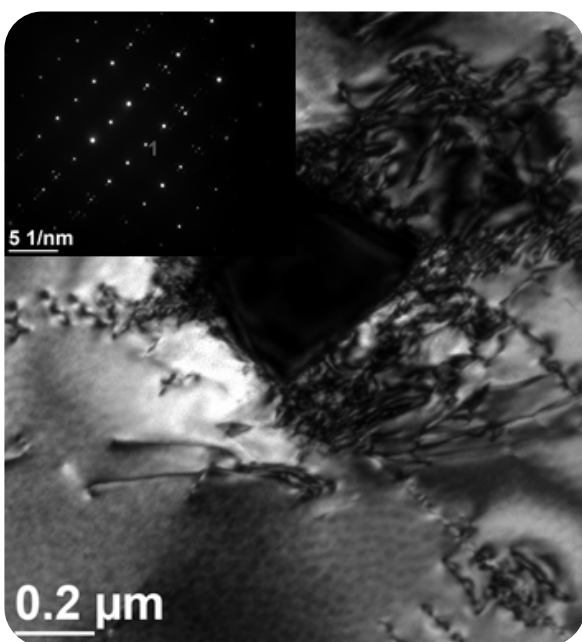
Wydzielenia pierwotne w strukturze badanego stopu występowały głównie wewnątrz ziaren austenitu, część z tych cząstek obserwowano w pobliżu i na granicach ziaren (rys. 1). W badanym stopie ujawniono wydzielenia bogate w niob typu NbC oraz bogate w tytan – TiN (rys. 2). Część cząstek TiN wydzieliła się, zarodkując heterogenicznie na tlenkach Al_2O_3 .

Wydzielenia pierwotne w żarowytrzymałych stopach austenitycznych są wydzieleniami niekorzystnymi, gdyż na ich granicach międzyfazowych wydzielenie/osnowa może zachodzić w czasie pełzania do zarodkowania pęknięcia [9].

W stanie wyjściowym badany materiał miał strukturę o ziarnie mieszanym o wielkości ziarna 2–4 według skali wzorców ASTM.



Rys. 1. Mikrostruktura stopu HR6W w stanie dostawy



Rys. 2. Wydzielenie pierwotne TiN w stopie HR6W w stanie dostawy

Według [5, 10] w stopie HR6W w stanie wyjściowym (tj. po przesycaniu), oprócz wydzielań pierwotnych typu MX (NbC, TiN), mogą również występować na granicach ziaren pojedyncze węgliki pierwotne $M_{23}C_6$.

MIKROSTRUKTURA BADANEGO STOPU PO STARZENIU

Starzenie badanego stopu przyczyniło się głównie do intensywnych procesów wydzieleniowych na granicach ziaren, granicach bliźniaków oraz wewnątrz ziaren (rys. 3). W mikrostrukturze badanego stopu obserwowano liczne wydzielenia o zróżnicowanej morfologii.

Na granicach ziaren i granicach bliźniaków ujawniono węgliki $M_{23}C_6$ oraz wydzielenia fazy Lavesa (rys. 3–4). Granice ziaren w stopach o osnowie austenitycznej są pierwszym uprzywilejowanym miejscem wydzielania się faz wtórnych, gdyż są to obszary o podwyższonej energii i drodze łatwej dyfuzji.

W następnej kolejności procesy wydzielania występują na granicach bliźniaków – graniach niekoherentnych i koherentnych. Wynika to z energii granicy, które wynoszą odpowiednio: 0,7 i 0,2–0,3 energii granicy dużego kąta. Ostatnim miejscem zarodkowania wzrostu wydzielań jest wewnątrz ziaren, błędy ułożenia, dyslokacje oraz pasma poślizgu [6, 11].

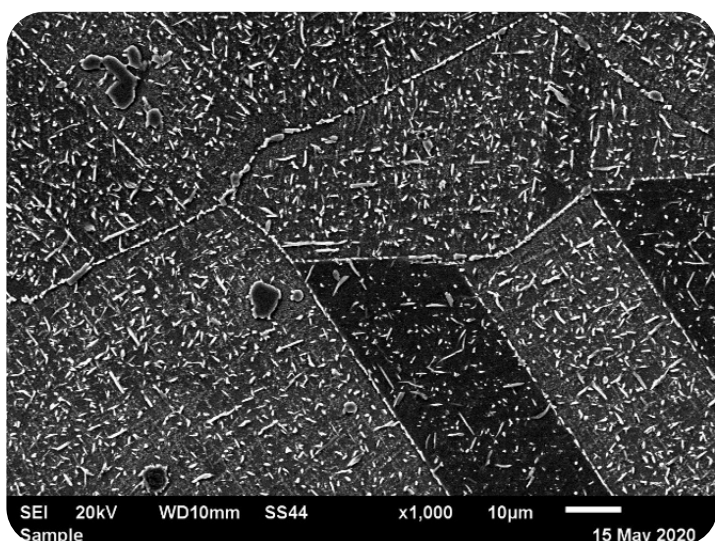
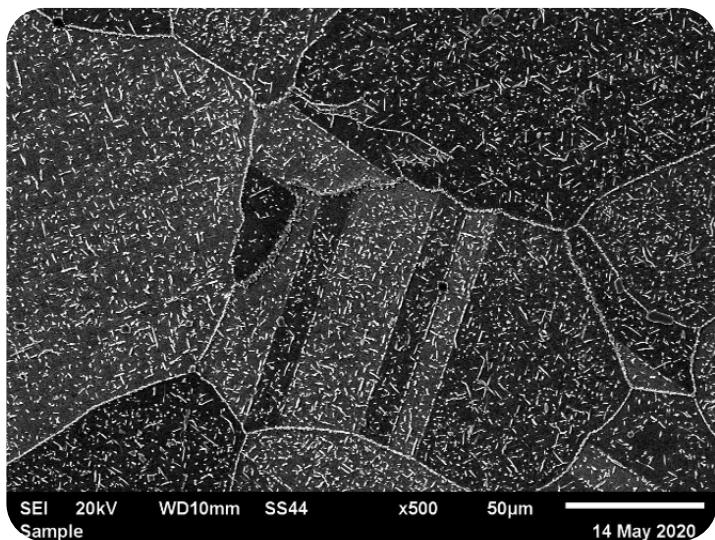
W stalach o osnowie austenitycznej węgliki $M_{23}C_6$ są pierwszymi wydzieleniami wtórnymi pojawiającymi się w strukturze materiałów o osnowie austenitycznej w czasie eksploatacji [5, 6, 12].

W analizowanym stopie cząstki fazy Lavesa (rys. 4b) uważa się za wydzielenia korzystne, pod warunkiem że faza ta jest względnie drobna. Jej rozrost prowadzi do zmniejszenia wytrzymałości na pełzanie oraz odporności na pękanie [2, 5, 10, 12].

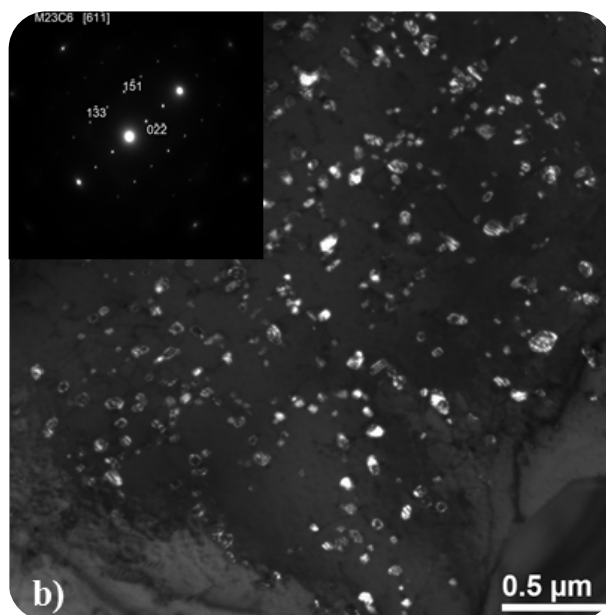
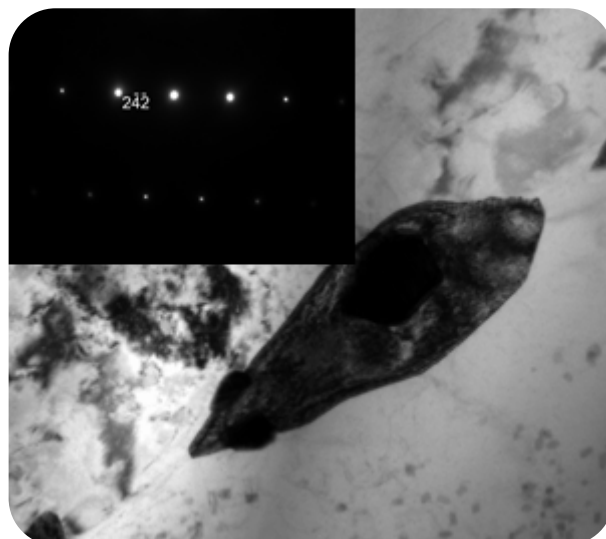
Wewnątrz ziaren, poza wydzieleniami pierwotnymi typu MX (MC), obserwowano liczne względnie drobne cząstki węglików wtórnych $M_{23}C_6$ oraz wydzielań fazy Lavesa. Tytan, niob oraz dodatek boru pozytywnie wpływają na względnie równomierny rozkład dyspersyjnych wydzielań $M_{23}C_6$ wewnątrz ziaren stopu HR6W. Węgliki $M_{23}C_6$ wydzielone wewnątrz ziaren są to wydzielenia koherentne z osnową i stanowią skuteczną przeszkodę dla ruchu dyslokacji [2].

W żarowytrzymałych stopach zawierających w składzie mikrododatek boru istnieje możliwość zastąpienia w węglkach $M_{23}C_6$ części atomów węgla atomami boru. Powoduje to powstanie węglkoborków $M_{23}(C,B)_6$, które w porównaniu do węglika $M_{23}C_6$ są bardziej dyspersyjne i charakteryzują się wyższą od nich stabilnością termodynamiczną [13]. W badanym stopie wewnątrz ziaren oprócz powyższych wydzielań ujawniono występowanie złożonych kompleksów wydzielań TiN – faza Lavesa – węgliki $M_{23}C_6$ (rys. 6), gdzie cząstki $M_{23}C_6$ oraz faza Lavesa zarodkują heterogenicznie na wydzieleniu TiN. Heterogeniczne zarodkowanie na wydzieleniach TiN wynikać może z korzystnych zależności krystalicznych pomiędzy sieciami wydzielań oraz fluktuacji składu chemicznego, a także wyższej energii aktywacji zarodkowania na granicach międzyfazowych w porównaniu do wnętrza ziarna.

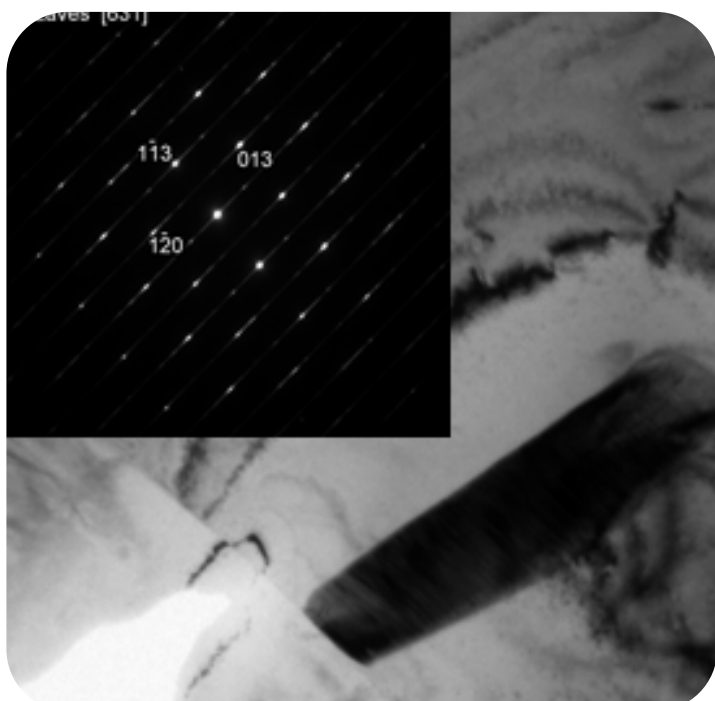
Według [5] starzenie stopu HR6W prowadzi również do wydzielania wewnątrz ziarna dyspersyjnych wtórnych wydzielań typu MX (MC). W badanym stopie tych wydzielań nie zaobserwowano. W stopie HR6W po starzeniu w czasie do 10 000 godzin w temperaturze 700°C nie ujawniono również wydzielań międzymetalicznej fazy sigma, co potwierdza korzystny wpływ dodatku wolframu na hamowanie i opóźnianie wydzielania się w osnowie tej szkodliwej międzymetalicznej fazy [2].



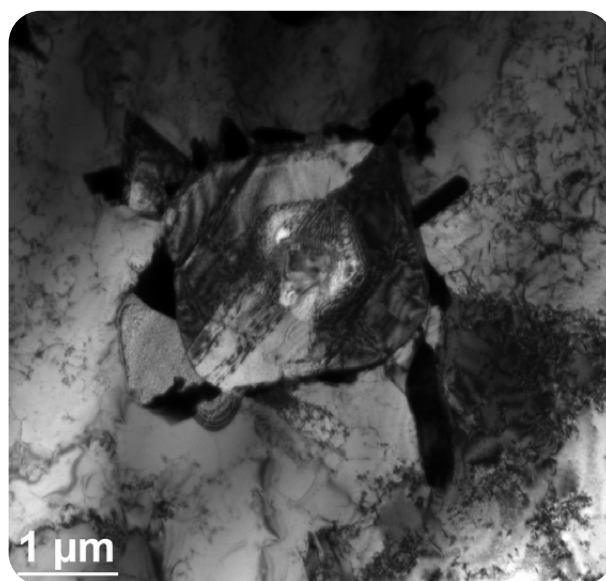
Rys. 3. Mikrostruktura stopu HR6W po starzeniu w 700°C po 10 000 godzin



Rys. 5. Morfologia węglików $M_{23}C_6$ w badanym stopie: a) na granicy ziarna, b) wewnątrz ziarna



Rys. 4. Wydzielenie fazy Lavesa wewnątrz ziarna w stopie HR6W po starzeniu



Rys. 6. Złożony kompleks wydzieleni $TiN-M_{23}C_6$ - faza Lavesa w stopie HR6W po starzeniu

WŁAŚCIWOŚCI STOPU HR6W W STANIE DOSTAWY I PO STARZENIU

Stop HR6W, podobnie jak stale austenityczne, w stanie wyjściowym charakteryzuje się wysokimi właściwościami plastycznymi (wydłużenie) przy względnie niskich właściwościach wytrzymałościowych (granica plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie) oraz twardością na poziomie 185 HV10 (rys. 7, 8).

Właściwości badanego stopu w stanie wyjściowym wynikają z jego struktury (austenitu niklowego) i mechanizmu umocnienia. Stop HR6W dostarcza jest w stanie przesyconym, co przekłada się na umocnienie badanego materiału mechanizmem roztworowym, który realizowany jest głównie poprzez atomy wolframu.

Wolfram, jako pierwiastek substytucyjny, najsilniej oddziałuje na przyrost właściwości wytrzymałościowych [14].

W stopach o strukturze austenitycznej wpływ wielkości ziarna na umocnienie nie odgrywa tak istotnej roli jak w przypadku stali o osnowie ferrytycznej. Podobnie jak w przypadku wielkości ziarna, również wpływ dużych, pierwotnych wydzielen na właściwości stopu o osnowie austenitycznej jest względnie niewielki. Jak wykazały obliczenia przeprowadzone dla stali P91, napężenie potrzebne dla omięcia mechanizmem Orowana wydzielenia przez dyslokację w stopie wynosi dla węgliku pierwotnego NbC – 16 MPa, natomiast dla wydzielenia wtórnego VX – 106 MPa [9, 15].

Starzenie stopu HR6W przyczyniło się do wydzielenia licznych cząstek o zróżnicowanej morfologii, co przełożyło się na znaczący wzrost umocnienia mechanizmem wydzieleniowym.

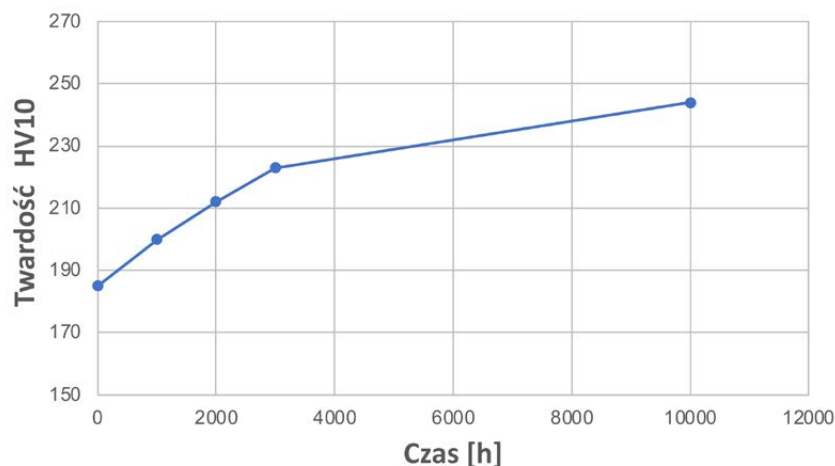
Umocnienie wydzieleniowe badanego materiału dokonuje się poprzez liczne, wtórne cząstki wydzielenie wewnętrznie, tj. węgliki $M_{23}C_6$, wydzielenia typu MX oraz fazę Lavesa. Dyspersyjne wydzielenia wewnętrznie ziarna stanowią przeszkody, które hamują, kotwiczą i ograniczają możliwość swobodnego przemieszczania się dyslokacji.

Procesy wydzieleniowe przyczyniły się do widocznego wzrostu właściwości wytrzymałościowych w porównaniu do stanu wyjściowego (R_e i R_m odpowiednio o 65 i 32%) i twardości (wzrost o 32%). Jednocześnie zaobserwowano obniżenie właściwości plastycznych o 38%.

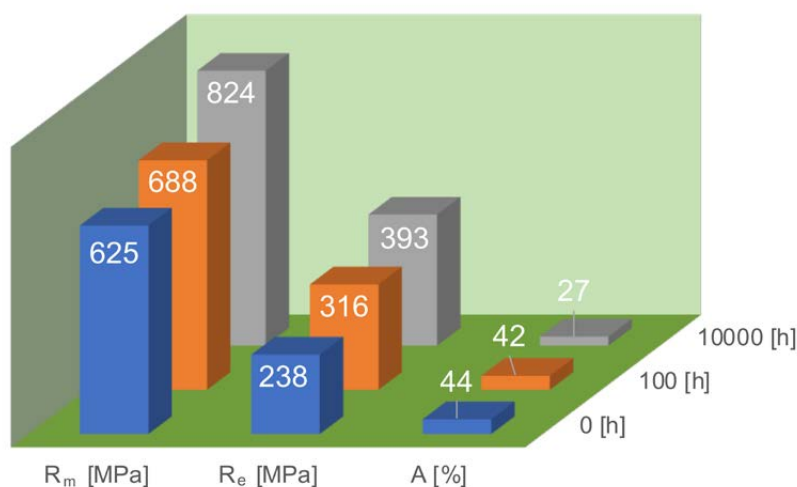
Na granicach ziaren w badanym stopie ujawniono występowanie węglików $M_{23}C_6$ i wydzielen fazy

Lavesa (rys. 3, 5). Cząstki wydzielone na granicy ziaren utrudniają ich poślizg, przez co wpływają na podwyższenie odporności na pełzanie [5, 6, 12]. Pozytywny wpływ wydzielen na granicach zanika w przypadku utworzenia tzw. ciągłej siatki wydzielen. Liczne cząstki na granicach ziaren w badanym stopie (rys. 5) mogą również prowadzić do znaczącego obniżenia ciągliwości i zmiany mechanizmu pęknięcia z ciągliwego na kruchy.

Negatywny wpływ licznych wydzielen na właściwości użytkowe stopów żarowytrzymałych o osnowie austenitycznej szczególnie widoczny jest na przykładzie stali HR3C [4, 16].



Rys. 7. Zmiana twardości stopu HR6W po starzeniu w temperaturze 700°C



Rys. 8. Zmiana właściwości mechanicznych stopu HR6W po starzeniu w temperaturze 700°C

PODSUMOWANIE

Badaniu poddano stop na bazie niklu HR6W, który jest materiałem konstrukcyjnym wdrażanym na elementy instalacji w blokach na tzw. parametry nadkrytyczne. Przeprowadzone badania stopu HR6W po starzeniu symulującym warunki pracy wykazały, że proces ten prowadzi do znaczącego wzrostu umocnienia badanego stopu mechanizmem wydzieleniowym poprzez cząstki faz wtórnych: węglików $M_{23}C_6$ oraz fazy Lavesa. Przyrost umocnienia w stopie HR6W znalazł swoje bezpośrednie odzwierciedlenie we wzroście jego właściwości wytrzymałościowych (R_e , R_m) przy akceptowalnym obniżeniu właściwości plastycznych (wydłużenie A). Podobny wzrost w badanym stopie obserwowano dla twardości.

Zachowanie uzyskanych w początkowym etapie pracy i starzenia wysokich właściwości wytrzymałościowych stopu HR6W (korzystnych z punktu widzenia użytkownika) podczas dalszej długotrwałej eksploatacji zależy głównie od stabilności drobnodispersyjnych wtórnych cząstek wydzielonych wewnątrz ziaren, ale również od umocnienia roztworu stałego.

Literatura

1. Di Gianfrancesco A., *New Japanese materials for A-USC power, materials for ultra-supercritical and advanced ultra-supercritical power plants*, Eds. A. Di Gianfrancesco, 2016, 423–466.
2. Semba H., Okada H., Igarashi M., *Creep properties and strengthening mechanisms in 23Cr-45Ni-7W (HR6W) alloy and Ni-base superalloys for 700°C A-USC boilers*, *Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants*, Eds. R. Viswanthan, D. Gandy, K. Coleman, Florida 2008, 168–184.
3. Hernas A., Dobrzański J., Pasternak J., Fudali S., *Charakterystyki nowej generacji materiałów dla energetyki*, Gliwice 2015.
4. 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*, *Archives of Metallurgy and Materials*, 2, 61, 2016, 761–766.
5. Yan J., Gu Y. i Lu J., *On precipitates in Fe-Ni base alloys used for USC boilers*, *Materials Science and Technology*, 4, 31, 2015, 389–399.
6. Sourmail T., *Precipitation in creep resistant austenitic stainless steels*, *Materials Science and Technology*, 1, 17, 2001, 1–14.
7. Sroka M., Zieliński A., Hernas A., Kania Z., Rozmus R., Tański T., Śliwa A., *The effect of long-term impact of elevated temperature on changes in the microstructure of Inconel 740H alloy*, *Metalurgija*, 333, 56, 2017, 333–336.
8. Zieliński A., Dobrzański J., Purzyńska H., Golański G., *Properties, structure and creep resistance of austenitic steel Super 304H*, *Materials Testing*, 859, 57, 2015, 859–865.
9. Erneman J., Schwind M., Andren H.O., Nilsson J.O., *The evolution of primary and secondary niobium carbonitrides in AISI 347 stainless steel during manufacturing and long-term ageing*, *Acta Materialia*, 54, 2006, 67–76.
10. Tokairin T., Dahl K.V., Danielsen H.K., Grumsen F.B., Sato T., Hald J., *Investigation on long-term creep rupture properties and microstructure stability of Fe-Ni based alloy Ni-23Cr-7W at 700°C*, *Materials Science and Engineering A*, 565, 2013, 285–291.
11. Weiss B., Stickler R., *Phase instabilities during high temperature exposure of 316 austenitic stainless steel*, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 3, 1972, 851–866.
12. Lo K.H., Shek C.H., Lai J.K.L., *Recent developments in stainless steels*, *Materials Science and Engineering R*, 4-6, 65, 2009, 39–104.
13. Abe F., *New martensitic steels*, *Materials for ultra-supercritical and advanced ultra-supercritical power plants*, 2016, 323–374.
14. Karjalainen L.P., Taulavuori T., Sellman M., Kyröläinen A., *Some strengthening methods for austenitic stainless steels*, *Materials Technology*, 2016, 404–412.
15. Magnusson H., Sandstrom R., *Influence of aluminium on creep strength of 9–12% Cr steels*, *Materials Science and Engineering*, 527, 2009, 118–125.
16. Golański G., Kolan C., Zieliński A., Klimaszewska K., Merda A., Sroka M., Kłosowicz J., *Microstructure and mechanical properties of HR3C austenitic steel after service*, *Archives of Materials Science and Engineering*, 2, 81, 2016, 62–67.



ET INSPEKTOR MONITOROWANIE ZUŻYCIA URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH ON-LINE



MGR INŻ. BARTŁOMIEJ SIEDMIOGRODZKI

SPECJALISTA URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH
Dział Urządzeń Ciśnieniowych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Łodzi



Koncepcja powstania programu „ET Inspektor” ma swój początek w projektach strategicznych prowadzonych w UDT. Głównym założeniem jest stworzenie aplikacji, która porządkuje wiedzę na temat bloków energetycznych 200 MW+.

Pierwsze informacje zostały zebrane w postaci ankiet, które pozwoliły wypracować cykliczne raporty o stanie energetyki zawodowej w Polsce. Obecnie prace nad rozwojem i wdrożeniem aplikacji prowadzone są w Centrum Kompetencyjnym ds. Energetyki UDT. Program ET Inspektor z założenia ma być pomocny zarówno dla inspektora, jak i użytkownika, wykorzystując elementy sztucznej inteligencji. Podczas pracy nad ET Inspektorem specjaliści UDT występowali/prowadzili wykłady na wielu konferencjach związanych z energetyką oraz z przemysłem 4.0. Pozwoliło to na wymianę wiedzy oraz obserwację najnowszych technologii wdrażanych w działach utrzymania ruchu w różnych branżach przemysłu. Liczne rozmowy i spotkania dotyczące potrzeb użytkownika związanych z konkretnymi rozwiązaniami przyczyniły się do ewoluowania programu.



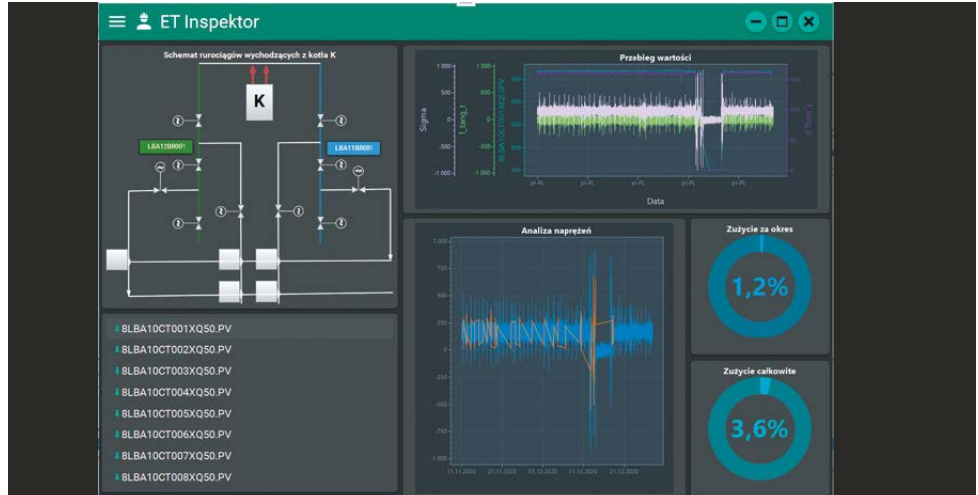
Rys. 1. ET Inspektor – panel główny

Według statystyk UDT 54% bloków energetycznych o mocy 200 MW+ przekroczyło 1000 odstawiń, zaś już 10% – ponad 1500.

Symulacje obliczeniowe oraz doświadczenie inżynierskie potwierdziły, że elementy pracujące regulacyjnie wymagają dodatkowej, częstszej diagnostyki i zwiększenia częstotliwości badań. Ważnym elementem potwierdzenia algorytmów matematycznych jest przeprowadzenie badań nieniszczących elementów o różnym stopniu wyeksploatowania.

Jedną z metod oszacowania trwałości elementu pracującego w warunkach zmęczenia niskocyklicznego jest metoda obliczeniowa opisana w PN-EN 12952-4:2011 – „Kotły wodnorurkowe i urządzenia pomocnicze – Część 4: Obliczenia oczekiwanej trwałości kotłów podczas eksploatacji”.

Norma ta odnosi się do PEŁZANIA I ZMĘCZENIA jako MECHANIZMÓW DEGRADACJI wzajemnie od siebie niezależnych. W normie PN-EN 12952-4:2011 opisana jest metoda wyznaczania trwałości elementu za pomocą opomiarowania on-line.



Rysunek 2. ET Inspektor – moduł zużycia zmęczeniem

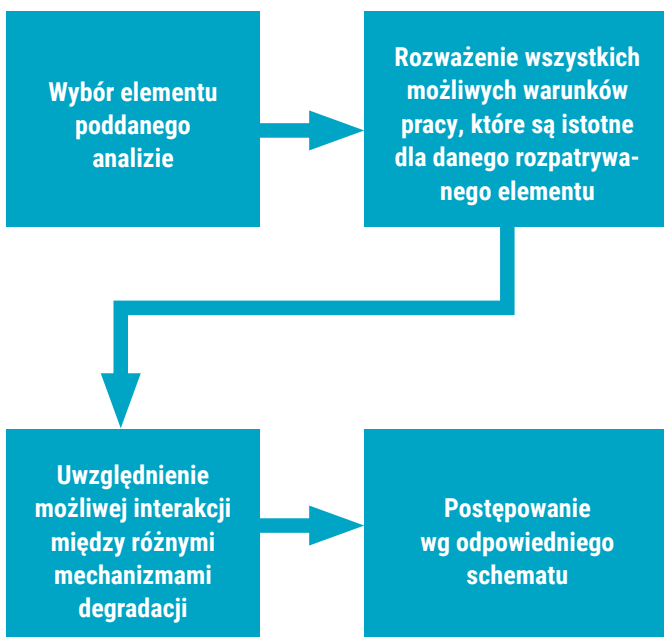
- Ocena stanu degradacji elementów instalacji energetycznych po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania i zmęczenia oraz określenie ich przydatności do dalszej eksploatacji wymagają wykonania komplementarnych badań i pomiarów, których dobór jest zależny m.in. od rodzaju i warunków pracy analizowanego elementu konstrukcyjnego, a także od możliwości dostępu do tego elementu.
- Aby oszacować i wyznaczyć bezpieczny czas eksploatacji materiału rurociągów pracujących w warunkach pełzania i zmęczenia, szczególnie po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy, niezbędna jest znajomość ich resztkowej wytrzymałości na pełzanie i charakterystyk zmęczeniowych.
- Ponieważ każda instalacja musi być okresowo odstawiana (odstawienia planowane i nieplanowane), podlegając okresowym naprawom i remontom, niezbędne jest wykonanie sprawdzających wodnych, ciśnieniowych prób szczelności instalacji i jej zdolności do przenoszenia obciążeń w temperaturze próby.
- Dlatego też, oprócz znajomości resztkowej wytrzymałości na pełzanie i zmęczenie niskocykliczne, istotna jest również znajomość podstawowych własności wytrzymałościowych i plastycznych tych materiałów po długotrwałej ich eksploatacji w różnym czasie.

BAZOWE ZAŁOŻENIA PRZY PROJEKTOWANIU APLIKACJI

Aplikacja musi być narzędziem dedykowanym – uniwersalność aplikacji powodowałaby, że nie dawałaby ona zadowalających efektów w procesie analizy.

- Silnik aplikacji musi być jak najbardziej uniwersalny, co pozwala pozwala na użycie go w innych sektorach przemysłu.
- Należy używać tylko najnowszych środowisk z punktu widzenia IT.

Poza aspektami związanymi z informatyką niezwykle istotny jest wybór metodologii w wyznaczaniu ZUŻYCIA ELEMENTÓW, co zobrazowano poniżej.



Wdrożenie ET Inspektora to efekt połączenia wiedzy z zakresu energetyki, automatyki, informatyki oraz telekomunikacji, zgodnie z założeniami przemysłu 4.0 takimi jak:

- przetwarzanie dużej ilości danych w chmurze,
- techniki symulacji funkcjonowania obiektów rzeczywistych za pomocą wirtualnych modeli, na podstawie danych dostarczanych i przetwarzanych on-line,
- analityka dużych zbiorów,
- wykorzystanie internetu rzeczy (IoT),
- zapewnienie bezpiecznej komunikacji użytkownik – UDT.

W dzisiejszych czasach panuje przekonanie, że algorytmy sztucznej inteligencji, a zwłaszcza uczenia maszynowego, są odpowiedzią na wszystkie pytania. Rzeczywistość wygląda jednak inaczej. Sztuczna inteligencja to aktualnie prężnie rozwijający się dział matematyki oraz informatyki. Warto tutaj wspomnieć o obecnie dostępnej technologii – tzw. Artificial Narrow Intelligence. Oznacza to, że możemy symulować inteligentne zachowania człowieka.

Przystępując do wdrażania algorytmów sztucznej inteligencji dla energetyki, w programie ET Inspektor uwzględniono odpowiedzi na pytania tzw. Machine Learning Mindset.

- Czy dysponujemy wszystkimi niezbędnymi danymi?
- Czy dane, którymi dysponujemy, są dostatecznie przygotowane?
- Czy mamy możliwość uzyskania danych, których nam brakuje?
- Jakim zakresem danych dysponujemy?
- Czy istnieje już znane i sprawdzone rozwiązanie, którego możemy użyć?
- Czy wiemy, co chcemy osiągnąć i w jaki sposób?
- Jak wyjaśnić zainteresowanym działanie mechanizmów?

- Zbudowanie odpowiedniego rozwiązania wykorzystującego dane rzeczywiste wymaga posiadania DUŻEJ LICZBY DANYCH archiwalnych. Brak danych jest typowym błędem, napędzanym entuzjazmem wynikającym z przekazów marketingowych. Baza danych jest kluczowa dla powodzenia każdego projektu, ponieważ jej brak lub mała liczba danych nie pozwala mechanizmom sztucznej inteligencji na poprawne utworzenie modelu, co wiąże się z błędnymi wynikami analizy.

- Często firmy posiadają wystarczającą ilość danych, które są regularnie uaktualniane, ale w żaden sposób nie są wykorzystywane. Zbieranie danych jest ważne, ale równie ważne jest ich przechowywanie, ponieważ urządzenia powinny umożliwić szybki dostęp do danych na żądanie. PRZETWARZANIE DANYCH jest kluczowe i znacznie bardziej istotne oraz czasochłonne.

- Ponad 40% firm na świecie inwestuje w rozwiązania zwiększające JAKOŚĆ DANYCH w celu uzyskania lepszych wyników analizy. Dane z systemów pomiarowych w zależności od firmy nie są jednorodne, pomimo tego że istnieją standardy dotyczące kolekcjonowania danych.

Wyniki w ET Inspektor są wiarygodne i obiektywne, ponieważ wykorzystywane są pełne informacje on-line, przez co unikamy stronicznych zbiorów danych.

Cel użytkowy programu ET INSPEKTOR – PROGNOZA ZUŻYCIA ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH – został zrealizowany po wybraniu odpowiedniego algorytmu uczenia maszynowego. Wykorzystując uczenie maszynowe nadzorowane, dzięki odpowiedniemu etykietowaniu danych, jesteśmy w stanie zidentyfikować rodzaj uszkodzenia na podstawie zarejestrowanych warunków pracy oraz historii eksploatacji. Dzięki pobieraniu aktualnych danych istnieje możliwość wpłynięcia na aktualne parametry zastosowanego modelu, co umożliwia także zastosowanie uczenia maszynowego on-line.

*Główne zadania systemu eksperckiego w aplikacji ET Inspektor
• Klasyfikacja – identyfikacja obiektu na podstawie znanych cech
• Diagnostyka – wykrywanie niewłaściwego działania na podstawie obserwacji
• Monitorowanie – porównywanie danych z czujników w czasie rzeczywistym w celu określenia zachowania
• Planowanie – rozwijanie i modyfikowanie planów diagnostycznych na podstawie wykrytych warunków

Program ET Inspektor wyposażony jest również w dwa systemy: EKSPERCKI oraz AUTONOMICZNY.

- **System ekspercki*** składa się z dwóch podsystemów – bazy danych znanych informacji (baza wiedzy oparta na doświadczeniu i wiedzy pracowników UDT) oraz silnika wnioskowania.
- **System autonomiczny** – opracowany przez UDT system ma za zadanie automatycznie rozpoznawać i dobrać określoną liczbę scenariuszy oraz skutecznie działać w roli systemu eksperckiego po wczytaniu zupełnie nowych danych.

ET inspektor składa się z dwóch aplikacji: ET_Inspektor.UI oraz ET_Inspektor.Core.

- ET_Inspektor.UI służy do wizualizacji wyników, dodawania opisów, wypełniania checklist dot. uszkodzeń i diagnostyki.
- ET_Inspektor.UI jest aplikacją kliencką aplikacji ET_Inspektor.Core, która odpowiada w głównej mierze za pobieranie danych pomiarowych i za analizę tychże danych.

```

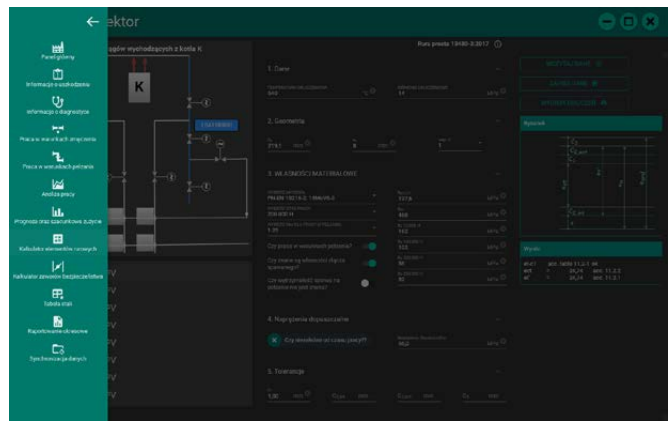
D:\UDT\ET_Inspektor\ET_Inspektor.Core
Successfully downloaded csv file: /UDT/UDT_2021_08_15.csv
Start preparing data for calculations...
##### 100%
The amount of incorrect data: 0
Start fatigue calculation for: /UDT/UDT_2020_11_14.csv
Start creep calculation for: /UDT/UDT_2020_11_14.csv
##### 100%
Creep calculation for: /UDT/UDT_2020_11_14.csv added
Start-up analysis started
##### 100%
Start preparing data for calculations...
##### 100%
The amount of incorrect data: 0
Start fatigue calculation for: /UDT/UDT_2020_11_15.csv
Start creep calculation for: /UDT/UDT_2020_11_15.csv
##### 100%
Creep calculation for: /UDT/UDT_2020_11_15.csv added
Start-up analysis started
##### 100%
Start preparing data for calculations...
##### 100%
The amount of incorrect data: 0
Start fatigue calculation for: /UDT/UDT_2020_11_16.csv
Start creep calculation for: /UDT/UDT_2020_11_16.csv
##### 100%
Creep calculation for: /UDT/UDT_2020_11_16.csv added
Start-up analysis started
##### 100%
Start preparing data for calculations...
##### 100%

```

Rys. 3. ET Inspektor.Core

ET Inspektor podzielony jest na szereg modułów, takich jak m.in.:

- analiza – pod kątem zmęczenia i pełzania,
- uszkodzenia – możliwość dodawania zdjęć/plików o uszkodzeniach dla każdego elementu urządzenia/installacji,
- diagnostyka – możliwość dołączania wyników badań oraz sprawozdań,
- obliczenia – możliwość wykonywania obliczeń dla elementów urządzenia,
- tabela stali,
- historia – możliwość dostępu do danych historycznych każdego elementu.



Rys. 4. Moduły aplikacji ET Inspektor

Wdrożenie ET Inspektora w odpowiednich blokach i instalacjach niesie za sobą wiele korzyści, takich jak obiektywne określenie stanu technicznego urządzenia ciśnieniowego. Istotna jest zwłaszcza pomoc w podjęciu decyzji dotyczących modernizacji czy realizacji nowych inwestycji. Opracowane modele matematyczne, oparte na znanych standardach technicznych i wiedzy eksperckiej UDT, umożliwiają z uzyskanych pomiarów on-line prognozować zużycie elementów instalacji pod kątem mechanizmów degradacji. Z uwagi na zmienny charakter pracy w obiektach technologicznych, takich jak m.in. tłocznie gazu, istnieje możliwość zaimplementowania dedykowanej wersji aplikacji dla branży gazowniczej. ET Inspektor jako narzędzie dedykowane wykorzystuje informacje pozwalające na opracowanie analiz i prognoz dotyczących np. terminów badań, napraw czy modernizacji lub wymiany instalacji na nową.



ATEX

BEZPIECZEŃSTWO W STREFACH ZAGROŻONYCH WYBUCHEM



MGR INŻ. DOROTA BAŁACHOWSKA

Kierownik Wydziału Certyfikacji
Urząd Dozoru Technicznego
Departament Certyfikacji
i Oceny Zgodności (UDT-CERT)



MGR INŻ. REMIGIUSZ PUSTKOWSKI

Ekspert ATEX
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Łodzi
Biuro w Ostrowie Wielkopolskim



Słowo ATEX pochodzi z języka francuskiego i jest akronimem określenia Atmosphères Explosibles, czyli atmosfera wybuchowa. Ponieważ niejedolite przepisy dotyczące bezpieczeństwa w poszczególnych krajach Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej, a później Unii Europejskiej stanowiły znaczne utrudnienie w swobodnym przepływie towarów między państwami członkowskimi, postanowiono je ujedlinić.

Słyszac akronim ATEX, kojarzymy go z **dyrektywą ATEX 2014/34/WE** wprowadzoną do polskiego prawodawstwa rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz.U. z 2016 r. poz. 817).

Dyrektywa ATEX z 2014 roku dotyczy producentów urządzeń i obejmuje zakres projektowania, badania oraz produkcji.

Kolejną dyrektywą dotyczącą stref zagrożonych wybuchem jest **dyrektywa ATEX User 1999/92/WE** wprowadzona do polskiego prawodawstwa rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz.U. z 2010 r. Nr 138, poz. 931).

Dyrektywa ATEX User dotyczy użytkowników urządzeń/installacji, obejmuje zakres instalacji, nadzoru i konserwacji, remontu, odsprzedaży i końcowej fazy likwidacji.

Zarówno producenci, jak i użytkownicy systemów technicznych przeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, zobowiązani do wprowadzenia postanowień dyrektyw ATEX, mogą korzystać z całej gamy norm, zwłaszcza serii PN-EN 1127 i PN-EN 60079, odnoszących się dość kompleksowo do zagadnienia. Jest to zadanie skomplikowane i wymagające obok ugruntowanej wiedzy również odniesienia do praktyki inżynierskiej, najlepiej w ujęciu poszerzonym, tj. bazującym na doświadczeniach wielu branż przemysłu. Odnotowując szybkość zmian zachodzących w branży, należy stwierdzić konieczność stałego śledzenia nowości pojawiających się w tym zakresie w normach, jak również zmian w systemie prawnym [3].

SYSTEMOWE PODEJŚCIE DO ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA PRZECIWWYBUCHOWEGO

Na bazie wieloletniej praktyki z zakresu techniki przeciwwybuchowej proponuje się zweryfikowany i skuteczny sposób realizacji działań analitycznych w odniesieniu do praktyki przemysłowej. Model ten zakłada następujące kroki/etapy realizacyjne:

1. Przygotowanie danych, zdefiniowanie zadań i ich przygotowanie do realizacji w warunkach przemysłowych, w tym zorganizowanie zespołu realizacyjnego.
2. Analiza i ocena ryzyka wraz ze wskazaniem ogólnymi w zakresie wdrażania środków redukcji ryzyka.
3. Opracowanie merytoryczne oraz redakcyjne dokumentów pozwalających spełnić wymogi prawne, z uwzględnieniem wskazań normatywnych.
4. Wdrożenie technicznych i organizacyjnych środków redukcji ryzyka.
5. Weryfikacja, aktualizacja i uzupełnienia po okresie eksploatacji [3].

Terminy i definicje

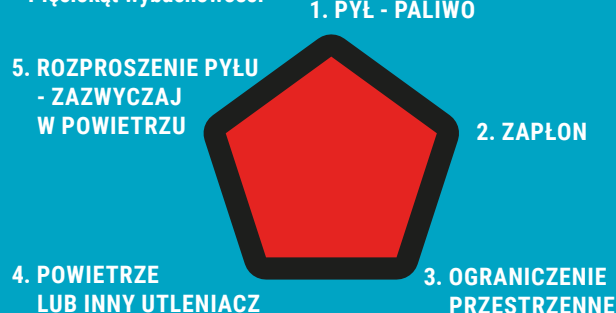
Wybuch – gwałtowna reakcja utleniania lub rozkładu wywołująca wzrost ciśnienia, temperatury lub obu jednocześnie.

Atmosfera wybuchowa – mieszanina z powietrzem, w warunkach atmosferycznych, substancji palnych w postaci gazu, pary, mgły lub pyłu, w której to mieszaninie po nastąpieniu zapłonu spalanie rozprzestrzenia się na całą jej niespaloną część.

Trójkąt palności



Pięciokąt wybuchowości



Dolna granica wybuchowości (DGW) – najniższa wartość stężenia zakresu wybuchowości, przy której może nastąpić wybuch (*Lower Explosive Limit – LEL*).

Górna granica wybuchowości (GGW) – najwyższa wartość stężenia zakresu wybuchowości, przy której może wystąpić wybuch (*Upper Explosive Limit – UEL*).

Granice wybuchowości zależą od temperatury i ciśnienia, rozmiaru i kształtu powierzchni ograniczającej, źródła zapłonu (rodzaj, energia) oraz właściwości palnych substancji (paliwa).




Temperatura samozapłonu (AIT) – najniższa temperatura ogrzanej powierzchni, przy której w określonych warunkach może wystąpić zapalenie substancji palnej w postaci mieszaniny gazu lub pary z powietrzem.

Przestrzeń zagrożone wybuchem – przestrzeń, w których może wystąpić atmosfera wybuchowa w ilościach wymagających podjęcia specjalnych środków w celu zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy.




Urządzenia w wykonaniu Ex – urządzenia określone w przepisach dotyczących zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

ZAGROŻENIE WYBUCHEM NALEŻY ROZPATRYWAĆ W ODNIESIENIU DO RODZAJU ATMOSFERY WYBUCHOWEJ – ATMOSFERA PYŁOWA CZY GAZOWA.

Oznaczenia stref zagrożonych wybuchem – strefy gazowe

	STREFA 0	przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę z powietrzem substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł, występuje stale, często lub przez długie okresy	STREFA 0 Atmosfera wybuchowa obecna jest cały czas
	STREFA 1	przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę z powietrzem substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł, może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania	STREFA 1 Atmosfera wybuchowa obecna jest często
	STREFA 2	przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę z powietrzem substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł, nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia utrzymuje się przez krótki okres	STREFA 2 Atmosfera wybuchowa może być obecna przypadkowo



Oznaczenia stref zagrożonych wybuchem – strefy pyłowe

	STREFA 20	przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu występuje stale, często lub przez długie okresy	STREFA 20 Atmosfera wybuchowa obecna jest cały czas
	STREFA 21	przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania	STREFA 21 Atmosfera wybuchowa obecna jest często
	STREFA 22	przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia utrzymuje się przez krótki okres	STREFA 22 Atmosfera wybuchowa może być obecna przypadkowo

ATEX 2014/34/WE VS. ATEX 1999/92/WE

Wiedza na temat regulacji wynikających z dyrektyw ATEX i ich zastosowań, w połączeniu z dobrze ugruntowaną wiedzą ekspercką oraz właściwie prowadzonymi analizami bezpieczeństwa funkcjonalnego dla systemów ochronnych w strefach Ex, jest najbardziej efektywnym sposobem podejścia do redukcji ryzyka związanego z możliwością wystąpienia wybuchu. W szczególności sposób odnosi się do zakładów o znacznym potencjale, dużym nagromadzeniu substancji mogących spowodować szkodę obiektów o dużym skomplikowaniu procesów [3].

Dyrektywa ATEX User – dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Zgodnie z dyrektywą ATEX User poprawa bezpieczeństwa, higieny i ochrony zdrowia pracowników w miejscu pracy jest celem, który nie powinien być podporządkowany rozważaniom ściśle ekonomicznym.

Dyrektywy ATEX	
Producent	Użytkownik
Dyrektywa ATEX	Dyrektywa ATEX user
2014/34/UE	1999/92/WE
	

- Zgodnie z dyrektywą 1999/92/WE pracodawca zobligowany jest do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pracy, w tym wyposażenia miejsc pracy, w urządzenia dostosowane do występujących zagrożeń. Odpowiednie wyznaczenie i oznakowanie stref zagrożenia wybuchem, jak również prawidłowy dobór urządzeń do tych stref są kluczowe w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa pracowników oraz całego otoczenia.
- W celu zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników pracodawca podejmuje niezbędne środki, aby w miejscu, gdzie atmosfery wybuchowe mogą pojawić się w ilościach zagrażających bezpieczeństwu i zdrowiu pracowników albo innych osób, środowisko pracy było takie, aby móc wykonywać pracę bezpiecznie. Dodatkowo w otoczeniu miejsca pracy, gdzie atmosfery wybuchowe mogą się pojawić w ilościach zagrażających, zapewnia się odpowiedni nadzór zgodnie z przeprowadzoną oceną ryzyka, przy użyciu odpowiednich środków technicznych.

Decyzja użytkownika dotycząca zastosowanych w zakładzie rozwiązań minimalizujących zagrożenia powinna opierać się na odpowiednio przeprowadzonej ocenie ryzyka, powiązanej z usystematyzowanymi wymaganiami wynikającymi z dyrektywy ATEX User, Polskich Norm oraz dobrej praktyki inżynierskiej.

Przed udostępnieniem miejsca pracy pracodawca powinien na podstawie oceny ryzyka sporządzić Dokument Zabezpieczenia Przed Wybuchem – DZPW. W przypadku gdy miejsce pracy, znajdujące się w nim urządzenia lub organizacja pracy zostały poddane zmianom mogącym mieć wpływ na wynik oceny ryzyka, pracodawca powinien niezwłocznie dokonać aktualizacji dokumentu.



Doświadczenia Urzędu Dozoru Technicznego w zakresie stref zagrożenia wybuchem skupiają się głównie na zagadnieniach wynikających z dyrektywy ATEX User 1999/92/WE. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. wprowadzające dyrektywę ATEX User nakłada na pracodawcę, który na terenie swojego przedsiębiorstwa posiada materiały palne, które mogą wytworzyć atmosferę zagrożenia wybuchem, szereg obowiązków. Należy tu wymienić między innymi: ocenę zagrożenia wybuchem, klasyfikację stref zagrożenia wybuchem, opracowanie dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem – DZPW oraz weryfikację urządzeń zainstalowanych w strefach zagrożenia wybuchem.





Urząd Dozoru Technicznego oferuje usługi w obszarze bezpieczeństwa skierowane do wszystkich organizacji. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynkowym, Jednostka Certyfikująca UDT-CERT proponuje pakiet usług w obszarze ATEX:

- wyznaczanie stref zagrożenia wybuchem: opracowywanie kart klasyfikacyjnych, a także weryfikacja projektów kart
- opracowanie dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem (DZPW)
- weryfikacja dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem (DZPW)
- weryfikacja poprawności doboru urządzeń do stref zagrożenia wybuchem: urządzenia elektryczne, nieelektryczne oraz systemy ochronne
- analiza i ocena ryzyka (analiza HAZOP w obszarze ATEX)
- inspekcje Ex
- szkolenia z zakresu Ex

UDT-CERT jako jednostka ekspercka, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku, uczestniczyła w licznych postępowaniach dla największych firm w branżach petrochemicznej, chemicznej oraz energetycznej. Zakres prac obejmował klasyfikację stref zagrożenia wybuchem, opracowanie dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem, inspekcje początkowe urządzeń zainstalowanych w strefach zagrożonych wybuchem oraz weryfikację wyznaczenia stref zagrożenia wybuchem i dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem. Z doświadczenia ekspertów UDT-CERT wynika, że do głównych problemów po stronie inwestorów należą:

- brak jednolitych danych odnośnie do charakterystyki substancji palnych,
- nieaktualne opisy technologiczne,
- posługiwanie się zapisami nieaktualnych procedur,
- brak aktualnych podkładów geodezyjnych wraz z naniesionymi urządzeniami technologicznymi.

W przypadku postępowania związanych z inspekcją urządzeń zainstalowanych w strefach zagrożonych wybuchem spostrzeżenia i uwagi przekazywane klientom były tożsame. Najczęstsze błędy instalacyjne to:

- niewłaściwie dobrane wpusty kablowe (dławiki) – stosowane wpusty, zaślepki nie były przeznaczone do pracy w wyznaczonych strefach,

oraz niewłaściwie dobrane średnice wpustów kablowych w stosunku do średnicy kabli. Nie może wystąpić możliwość swobodnego poruszania się przewodu we wpuście, czyli możliwość przedostania się atmosfery wybuchowej do środka urządzenia,

- urządzenia bez tabliczek znamionowych – każde urządzenie przeznaczone do pracy w atmosferze wybuchowej powinno być odpowiednio oznaczone,
- brak instrukcji obsługi w języku polskim – zgodnie z zapisami dyrektywy ATEX 2014/34/WE opisy, ostrzeżenia powinny być w języku zrozumiałym dla obsługi,
- brak oznakowania CE – urządzenia instalowane w strefach EX muszą przejść proces oceny zgodności zgodnie z dyrektywą ATEX 2014/34/WE – nie mogą to być urządzenia posiadające certyfikaty na rynek amerykański, azjatycki etc.,
- brak odpowiednich uziemień dla zainstalowanych urządzeń oraz nieodpowiednio zabezpieczone niewykorzystane przewody w urządzeniach – według wymagań normy PN-EN60079-14 wolne przewody powinny być połączone do zacisku uziemiającego urządzenia lub też odpowiednio zabezpieczone,
- niewłaściwy dobór urządzeń ze względu na temperaturę pracy – każde urządzenie powinno zawierać oznaczenie klasy temperaturowej i maksymalnej temperatury powierzchni oraz powinno być dobrane zgodnie z właściwymi parametrami. Ekspert UDT-CERT zwraca uwagę inwestorom i właścicielom instalacji, którzy posiadają na swoim terenie urządzenia pracujące w strefach zagrożonych wybuchem, że zgodnie z zapisami normy PN-EN60079-17:2011-05 urządzenia te powinny przed oddaniem do użytku zostać poddane **inspekcji początkowej przez osoby o odpowiednich kwalifikacjach**. W późniejszym okresie użytkowania norma przewiduje inspekcje tych urządzeń w czasie nie dłuższym niż 3 lata. Inspekcje urządzeń pracujących w strefach wykonywane są jako ekspertyzy techniczne.

KORZYŚCI ZE WSPÓLPRACY Z UDT-CERT

Opierając się na doświadczeniu swoich ekspertów, UDT-CERT oferuje rozwiązania zapewniające kompleksową i rzetelną ocenę zabezpieczenia instalacji.



Dostawca – gwarancja bezpieczeństwa wyrobów dostarczanych i instalowanych przez poddostawców



Inwestor – gwarancja bezpieczeństwa instalacji



Wykonawca – gwarancja nienaruszenia istotnych cech bezpieczeństwa przeciwybuchowego podczas montażu



Użytkownik – gwarancja bezpiecznej eksploatacji oraz poprawność dokumentacji początkowej



GWARANCJA BEZPIECZEŃSTWA PRZECIWWYBUCHOWEGO

Wobec wzrastającej złożoności procesów produkcyjnych oraz rosnących kosztów inżynierskich efektywna inżynieria jest czynnikiem kluczowym w przemyśle procesowym. Bezpieczeństwo przeciwybuchowe, rozumiane jako brak niemożliwego do zaakceptowania ryzyka dla zdrowia, życia lub strat w majątku czy środowisku naturalnym, ma szczególne znaczenie w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, w gazownictwie i energetyce. Jest integralną częścią ogólnego bezpieczeństwa, szczególnie odnosi się do instalacji procesowych zawierających i przerabiających substancje chemiczne. **Misją Urzędu Dozoru Technicznego jest wspieranie rozwoju i dbanie o bezpieczeństwo.** Dotyczy to szczególnie powiązań pomiędzy bezpieczeństwem społeczeństwa a urządzeniami technicznymi w przemyśle czy codziennym użytkowaniu. Bezpieczeństwo zależy nie tylko od bezpiecznego prowadzenia procesów i eliminacji narażenia ludzi na skutki zagrożeń, ale również polega na zapobieganiu, w tym przypadku zapobieganiu powstawaniu zagrożeń w atmosferach wybuchowych oraz potencjalnych atmosferach wybuchowych. Tylko zintegrowane podejście do zakresu niezbędnych czynności w obszarze ATEX pozwala ekspertom Urzędu Dozoru Technicznego objąć całość zagadnień, a inwestorowi, przy wsparciu naszych ekspertów, zorientować się w możliwości realizacji zadania.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz.U. z 2016 r. poz. 817).
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz.U. z 2010 r. Nr 138, poz. 931).
3. *Podstawy bezpieczeństwa funkcjonalnego*, red. K.T. Kosmowski, Gdańsk 2016.
4. Markowski A.S., *Bezpieczeństwo procesów przemysłowych*, Łódź 2017.

AUTOMATYKA ZABEZPIECZAJĄCA W INSTALACJACH ENERGETYCZNYCH WYMAGANIA UDT DLA URZĄDZEŃ W ENERGETYCE



DR INŻ. MARCIN WOŁĘJKO

Ekspert ds. Rozwoju Energetyki Jądrowej
Departament Innowacji i Rozwoju
Urząd Dozoru Technicznego



R.PR. MATEUSZ ŁUKASZCZYK

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

ENERGETYKA W POLSCE ULEGA ZMIANOM, NA KTÓRE WPŁYW MAJĄ UWARUNKOWANIA I OCZEKIWANIA DOTYCZĄCE M.IN. RYNKU ENERGII, OCHRONY ŚRODOWISKA ORAZ ZMIENIAJĄCY SIĘ STAN TECHNICZNY URZĄDZEŃ O DŁUGIM CZASIE EKSPLOATACJI. POWAŻNYMI WYZWANIAМИ DLA PRACY KOTŁÓW ENERGETYCZNYCH JEST PRACA W TRYBIE REGULACYJNYM PONIEWAŻ BYŁY ONE ZWYKLE PROJEKTOWANE DO WOLNOZMIENNYCH OBCIĄŻEŃ I PRACY W TZW. „PODSTAWIE”.

Często występują modernizacje kotłów polegające na zmianie paliwa czy rodzaju paleniska. Na horyzoncie pojawiają się też zmiany dotyczące paliw. Mogą zostać zastosowane m.in. biopaliwa, paliwa syntetyczne, paliwa gazowe z domieszką wodoru lub współpalanie wodoru. Perspektywą też jest wykorzystanie amoniaku.

Opisywane zmiany są wyzwaniem zarówno dla konstrukcji powłok ciśnieniowych i konstrukcji mechanicznej, jak również dla systemów regulacji i systemów automatyki zabezpieczającej.

Wszystkie takie zmiany, w tym zmiany charakteru pracy urządzeń, mogą powodować zwiększenie częstości występowania zdarzeń inicjujących scenariusze awaryjne.
To z kolei powoduje zmianę częstości przywołania funkcji zabezpieczających, co może powodować konieczność modernizacji automatyki.

Należy też pamiętać, że komponenty automatyki mają zwykle 10-15 letni czas do wymiany. Gdy on upłynie intensywność uszkodzeń tych komponentów staje się nieprzewidywalnie wyższa niż przyjęta na etapie projektowania na podstawie ich dokumentacji co powinno być kolejnym powodem modernizacji systemu automatyki urządzenia.

W energetyce pojawiły się także nowe perspektywy w postaci energetyki jądrowej oraz rozwoju nowych technologii w automatyce, w tym perspektywa pojawienia się oprogramowania o samozmieniającym się zachowaniu. Wszystko to stanowi obszar nowych wyzwań zarówno dla konstrukcji i jakości wykonania urządzeń i instalacji w energetyce, jak i ich wyposażenia, w tym automatyki regulacyjnej i zabezpieczającej.

WYMAGANIA PRAWNE

Bezpieczeństwo eksploatacji każdego z urządzeń technicznych, w tym urządzeń współpracujących ze sobą w ramach instalacji technologicznej oraz samej instalacji, powinno zostać zapewnione w myśl następujących przepisów prawa:

- **Przepisy oceny zgodności** w szczególności określone w rozporządzeniach lub ustawach implementujących poszczególne unijne dyrektywy nowego podejścia.
- **Przepisy prawa pracy**, tj. Kodeks Pracy, w szczególności Dział Dziesiąty Bezpieczeństwo i Higiena Pracy, w tym Rozdział IV Maszyny i inne urządzenia techniczne, oraz rozporządzenia wykonawcze do Kodeksu Pracy dot. bezpieczeństwa i higieny pracy w różnych gałęziach pracy oraz bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w miejscu pracy.
- **Przepisy dozoru technicznego** określone w ustawie o dozorcze technicznym oraz rozporządzeniach wykonawczych do ustawy.

Przepisy te mają zastosowanie w całym przemyśle - także w przypadku instalacji w energetyce. Urządzenia techniczne są połączone w instalację technologiczną przeznaczoną do przetwarzania energii paliwa lub innego źródła energii na energię elektryczną oraz energię ciepłą.

W przypadku nowych instalacji energetycznych, podobnie jak w innych gałęziach przemysłu, zapewnianie zasadniczych wymagań bezpieczeństwa odbywa się m.in. przez stosowanie przepisów w zakresie oceny zgodności, a instalacja energetyczna podlega m.in. dyrektywom:

- ciśnieniowej (PED) 2014/68/UE,
 - maszynowej (MD) 2006/42/WE,
 - niskonapięciowej (LVD) 2014/35/UE,
 - kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) 2014/30/UE,
- z których wynika, że udział jednostki notyfikowanej jest wymagany w ocenie zgodności z PED od II kategorii włącznie.

Ocena zgodności powinna być podstawową metodą zapewniania bezpieczeństwa dla wszystkich nowych urządzeń i instalacji w przemyśle.

Kontakt z UDT przed rozpoczęciem projektu inwestycji po służy omówieniu wymagań przepisów i zakresu zastosowania norm technicznych.

BEZPIECZNE INSTALACJE PRZEMYSŁOWE - ODPOWIEDZIALNOŚĆ

Każdy inwestor przemysłowy na początku inwestycji podejmuje ważną decyzję.

1. Czy zakupić instalację energetyczną jako gotowy produkt?
2. Czy zlecić wykonanie poszczególnych zadań inwestycyjnych wybranym podwykonawcom ?

Niekiedy uwarunkowania rynkowe czy inwestycyjne powodują, że inwestor podejmuje decyzję o zleceniu wykonania prac cząstkowych. Taka decyzja niesie ze sobą ważne implikacje, na które inwestor musi być przygotowany.

Inwestor może ponosić odpowiedzialność za spełnienie wymagań jednocześnie jako:

- a) **producent** – odpowiedzialny za bezpieczeństwo produktu,
- b) **pracodawca** – odpowiedzialny za bezpieczeństwo stanowiska pracy,
- c) **eksploatujący** – odpowiedzialny za bezpieczeństwo urządzeń technicznych w instalacji.

Z punktu widzenia zagrożeń, jakie stwarza czynnik roboczy znajdujący się pod ciśnieniem w urządzeniach tworzących instalację, bezpieczeństwo eksploatacji instalacji energetycznej powinno być zapewnione na analogicznym poziomie, co najmniej minimalnym. Bezpieczeństwo musi być zapewnione w każdym poniższym przypadku:

- Gdy instalacja zostanie zmontowana na **ODPOWIEDZIALNOŚĆ PRODUCENTA**, tj. poddana kompleksowej ocenie zgodności jako zespół urządzeń ciśnieniowych przez jej producenta – produkt gotowy spełniający wymagania wszystkich mających zastosowanie dyrektyw nowego podejścia.
- Gdy instalacja zostanie scalona na **ODPOWIEDZIALNOŚĆ UŻYTKOWNIKA** w myśl § 2 pkt) 22 Rozporządzenia [5] – instalacja wyłączona z zastosowania wymagań Dyrektywy PED 2014/68/UE odnoszących się do zespołów urządzeń ciśnieniowych.

Obowiązek zapewnienia równoważnego poziomu bezpieczeństwa znajduje swoje odzwierciedlenie w brzmieniu przepisów ustawy [2] oraz rozporządzenia [1], a także w wyjaśnieniu intencji prawodawcy w rządowym uzasadnieniu do projektu Rozporządzenia [1] – jak poniżej.

„ (...) gdy eksploatujący na swoją odpowiedzialność dobrał i wyposażył urządzenie (np. zbiornik ciśnieniowy) w niezbędny osprzęt ciśnieniowy (np. armaturę) oraz osprzęt zabezpieczający (np. zawory bezpieczeństwa), tj. wówczas kiedy nie ma wytworzenia zespołu urządzeń ciśnieniowych, o którym mowa w przepisach o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku. Ocena wyjściowego poziomu bezpieczeństwa w takiej sytuacji, będzie analizą mającą na celu potwierdzenie, czy urządzenie wyposażone przez eksploatującego, bądź na jego odpowiedzialność w niezbędny osprzęt ciśnieniowy (np. armaturę,) i osprzęt zabezpieczający (np. zawór bezpieczeństwa) oraz podłączone do instalacji zapewni równorzędny poziom bezpieczeństwa jak w przypadku, gdyby urządzenie wraz z jego wyposażeniem zostało wytworzone oraz poddane ocenie zgodności jako zespół urządzeń ciśnieniowych (...)” [8].

BEZPIECZNE SCALANIE URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

Dla instalacji przemysłowych, czyli instalacji usytuowanych na terenie przemysłowym i pracujących dla celów przemysłowych, przepisy [5] przewidziały możliwość „scalania urządzeń ciśnieniowych w zespół na odpowiedzialność użytkownika”.

Możliwość scalania nie może być stosowana w przypadkach, w których obligatoryjnym rozwiązaniem pozostaje kompleksowa ocena zgodności, która stanowi zalecane rozwiązanie również w przypadku instalacji, umożliwiając spełnienie wymagań zgodnie z aktualnym poziomem wiedzy i najlepszą praktyką oraz minimalizując trudności formalno-prawne.

Scalanie urządzeń ciśnieniowych na odpowiedzialność użytkownika wiąże się z ciążącym na użytkowniku (eksploatującym) **obowiązkiem prawnym polegającym na zapewnieniu bezpieczeństwa zmontowanych urządzeń wraz z wyposażeniem**. Jest to analogiczne do sytuacji, gdy mamy do czynienia z zespołem urządzeń ciśnieniowych wytworzonym przez producenta. Zastosowanie znajdują wówczas przepisy krajowe związane z zagrożeniami od ciśnienia, w tym przepisy o dozorcze technicznym.

CO ISTOTNE!

Scalanie na odpowiedzialność użytkownika niebędącego producentem wyłącza zastosowanie wymagań Dyrektywy PED 2014/68/UE do instalacji jedynie w zakresie scalania urządzeń. Nie obejmuje wyłączenia poszczególnych urządzeń ciśnieniowych z wymagań oceny zgodności z PED. Nie wyłącza też zastosowania krajowych aktów prawnych wdrażających inne Dyrektywy, np. MD 2006/42/WE, EMC 2014/30/UE, LVD 2014/35/UE, czy ATEX 2014/34/UE.

CO WIĘCEJ!

Przepisy prawne niektórych dyrektyw nowego podejścia, w szczególności: MD 2006/42/WE oraz ATEX 2014/34/UE stanowią o producencie wytwarzającym urządzenia „do własnego użytku” lub „do własnych celów”, gdzie użytkownik produktu staje się jego producentem, przez co ponosi odpowiedzialność za zgodność produktu z wymaganiami.

Kwestią kluczową dla inwestora jest ustalenie na najwcześniejszym możliwym etapie projektu inwestycji, w szczególności w dokumentacji przetargowej oraz w specyfikacjach:

- czy dokonuje zakupu instalacji jako produkt gotowego,
- czy zleca wykonanie prac składowych wybranym przez siebie wykonawcom.

Od decyzji tej zależeć będzie odpowiedzialność inwestora za spełnienie wymagań oceny zgodności. Decyzja ta będzie również wpływać na stopień odpowiedzialności za zarządzanie przekazywaniem wszelkich niezbędnych informacji i dokumentacji pomiędzy wszystkimi stronami uczestniczącymi w wytworzeniu instalacji.

W przypadku scalenia instalacji na odpowiedzialność eksploatującego, w odniesieniu do urządzeń podlegających dozorowi technicznemu, wymagane jest uprzednie uzgodnienie z organem właściwej jednostki dozoru technicznego. Uzgodnienie dotyczy określenia specyfikacji technicznych oraz dokumentacji w zakresie istotnym dla oceny wyjściowego poziomu bezpieczeństwa urządzeń podlegających dozorowi technicznemu [1]. Ponieważ scalane urządzenia ciśnieniowe będą bez wyjątku objęte oceną zgodności co najmniej w zakresie ich konstrukcji, więc zakres uzgodnienia z UDT będzie dotyczył głównie dokumentacji połączeń urządzeń oraz wyposażenia w osprzęt ciśnieniowy i zabezpieczający, w tym w automatykę zabezpieczającą.

Wskazane wyżej kwestie związane z odpowiedzialnością inwestora wymagają dalszego precyzyjnego wyjaśnienia, co przewidywane jest w ramach odrębnych, szerszych publikacji.

Także przy zadaniach modernizacyjnych urządzeń podlegających dozorowi technicznemu wbudowanych w instalację energetyczną mogą powstawać zmiany mające istotny wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji całej instalacji oraz urządzeń. Ma to miejsce ze względu na ich połączenie wzajemne oraz z urządzeniami zasilającymi oraz osprzętem zabezpieczającym. Z tego powodu, w odniesieniu do urządzeń podlegających dozorowi technicznemu, modernizacja wymaga uzgodnienia dokumentacji technicznej z organem właściwej jednostki dozoru technicznego [2] przed jej przeprowadzeniem.

Zarówno dla instalacji nowych, jak i modernizowanych projektowanie bezpieczeństwa odbywa się przez spełnianie wymagań przepisów i norm przedmiotowych – prowadząc odpowiednie analizy zagrożeń i ryzyka oraz stosując branżowe know-how.

PROJEKTOWANIE BEZPIECZEŃSTWA URZĄDZEŃ

MYŚL PRZEWODNIA NORM DOTYCZĄCYCH BEZPIECZEŃSTWA TECHNICZNEGO BRZMI:

BEZPIECZEŃSTWO POWINNO ZOSTAĆ ZAPROJEKTOWANE

Oznacza to, że już od etapu projektu koncepcyjnego powinno się prowadzić równoległe projektowanie funkcjonalności, wydajności i innych aspektów użytkowych z projektowaniem konstrukcji, rozwiązań i wyposażenia z punktu widzenia bezpieczeństwa.

Pierwszym warunkiem inherentnego bezpieczeństwa są parametry wytrzymałościowe konstrukcji urządzeń ciśnieniowych, dobór konstrukcji zbiorni-

ków ciśnieniowych, średnic i długości rurociągów, ich usytuowania, połączeń itd. To na konstrukcji skupiona jest główna część uwagi projektanta. Po etapie projektu lub wstępnego projektu konstrukcji zwykle projektuje się urządzenia zabezpieczające, w tym osprzęt zabezpieczający (rys. 1).

NOWE INSTALACJE CZY INSTALACJE JUŻ EKSPLOATOWANE

We wszystkich przypadkach punktem odniesienia dla oceny aktualnego bezpieczeństwa powinna być aktualna praktyka przemysłowa scharakteryzowana w aktualnych normach i przepisach.

Podstawowe, i zawsze dobre, zasady projektowania bezpieczeństwa instalacji są opisane m.in. w rozporządzeniu wdrażającym dyrektywę ciśnieniową (2014/68/UE) polegają na stosowaniu odpowiednich rozwiązań, uwzględniając w następującej kolejności [5]:

- 1) zasadę wyeliminowania lub zminimalizowania zagrożeń, w zakresie, w jakim jest to praktycznie wykonalne,
- 2) zasadę zastosowania odpowiednich środków ochronnych w odniesieniu do zagrożeń, których nie można wyeliminować,
- 3) w stosownych przypadkach, zasadę informowania użytkowników o zagrożeniach, które nie zostały wyeliminowane, i wskazania, czy jest konieczne zastosowanie odpowiednich środków specjalnych w celu zmniejszenia ryzyka podczas instalowania lub użytkowania urządzeń.

Drugą ważną zasadą opisaną w [5] jest reguła (§58) mówiąca, że zespoły, o których mowa w § 9, podlegają procedurze kompleksowej oceny zgodności, obejmującej ocenę:

- 1) każdego urządzenia ciśnieniowego, o którym mowa w §8, wchodzące do składu zespołu, które wcześniej nie zostało poddane procedurze oceny zgodności i nieoznakowanego odrębnie CE; procedura oceny zgodności określana jest na podstawie kategorii właściwej dla każdego egzemplarza urządzenia ciśnieniowego,
- 2) połączenia poszczególnych elementów składowych zespołu, odpowiednio do wymagań określonych w §25, §30 oraz §31, biorąc pod uwagę najwyższą kategorię mającą zastosowanie do danego urządzenia, z pominięciem kategorii osprzętu zabezpieczającego,
- 3) ochrony zespołu przed przekroczeniem dopuszczalnych parametrów roboczych, zgodnie z wymaganiami, o których mowa w §32, i oceną końcową, o której mowa w §42 ust. 7; ocenę przeprowadza się na podstawie najwyższej kategorii mającej zastosowanie do zabezpieczanych urządzeń.

AUTOMATYKA ZABEZPIECZAJĄCA

Nowe rozporządzenie [1] zawierające warunki techniczne dla eksploatacji urządzeń ciśnieniowych definiuje aspekt osprzętu zabezpieczającego już całkowicie spójnie z rozporządzeniem [6] wdrażającym dyrektywę ciśnieniową (poniższa numeracja jest zgodna z numeracją § 2 rozporządzenia).

1) **AUTOMATYKA ZABEZPIECZAJĄCA** – obwody i systemy elektryczne, elektroniczne, programowalne elektroniczne oraz hydrauliczne i pneumatyczne realizujące funkcje bezpieczeństwa:

- a) o których mowa w pkt 19 lit. a tiret drugie oraz w lit. b i c,
- b) obwody wyłączników awaryjnych oraz łączników bezpieczeństwa,
- c) urządzenia monitorujące realizujące funkcje bezpieczeństwa, o ile mają zastosowanie, takie jak: wskaźniki lub układy alarmowe, które umożliwiają podjęcie odpowiedniego automatycznego lub ręcznego działania, mającego na celu utrzymanie urządzenia ciśnieniowego w granicach parametrów dopuszczalnych;

19) **OSPRZĘT ZABEZPIECZAJĄCY** – urządzenia i obwody realizujące funkcje bezpieczeństwa, przeznaczone do zabezpieczania urządzeń

ciśnieniowych przed przekroczeniem parametrów dopuszczalnych, w szczególności:

- a) urządzenia do bezpośredniego ograniczenia ciśnienia, takie jak:
 - zawory bezpieczeństwa, głowice bezpieczeństwa, pręty wybozeniowe,
 - sterowane układy zrztu ciśnienia,
- b) ograniczniki, które aktywują środki korekcyjne albo powodują wyłączenie lub wyłączenie i zablokowanie pracy, takie jak: wyłączniki ciśnieniowe lub temperaturowe albo wyłączniki sterowane poziomem płynu,
- c) zabezpieczające pomiarowe urządzenia sterujące i regulujące;

Ponadto w zakresie automatyki zabezpieczającej, oprócz jasno określonych wymagań dokumentacyjnych, w §11 utworzono, postulowane przez przedstawicieli przemysłu, zapisy dotyczące sposobów zdefiniowania komponentów automatyki. Jednoznacznie wskazano, że wymagany w dokumentacji urządzenia wykaz elementów automatyki zabezpieczającej może zawierać:

- a) typy, wytwórców lub zamiennie
- b) charakterystyczne parametry elementów automatyki zabezpieczającej mające znaczenie dla projektowanej niezawodności automatyki i umożliwiające prawidłową ocenę doboru elementów w przypadku konieczności wymiany w toku dalszej eksploatacji.

W projektowaniu osprzętu zabezpieczającego, niezależnie od wybranej technologii czy fazy cyklu życia urządzenia rozsądnym punktem odniesienia mogą być zapisy § 33 [5] mówiące, że osprzęt zabezpieczający musi być:

- 1) tak zaprojektowany i wykonany, aby był on niezawodny i odpowiedni do jego przewidywanych zadań, z uwzględnieniem, jeżeli ma to zastosowanie, wymagań dotyczących konserwacji i badania urządzeń;
- 2) niezależny od innych funkcji, chyba że inne jego funkcje nie mają wpływu na jego funkcję zabezpieczającą;
- 3) zgodny z odpowiednimi zasadami projektowania mającymi na celu uzyskanie odpowiedniej i niezawodnej ochrony, obejmującymi w szczególności: tryb bezpiecznego działania w razie uszkodzenia, redundancję, niejednoczesność działania oraz autodiagnozę.

MODYFIKACJE I ZMIANY

W Art. 4 ustawy [2] zdefiniowano zakres merytoryczny wybranych pojęć. Ilekroć w ustawie jest mowa o: (*)

5) **modernizacji** – należy przez to rozumieć zespół czynności niebędących wytworzeniem nowego urządzenia technicznego, zmieniających cechy urządzenia technicznego, w szczególności jego:

- a) konstrukcję lub zastosowane w nim materiały, lub
- b) parametry techniczne, lub
- c) automatykę zabezpieczającą lub jej podzespoły – bez istotnych zmian jego charakterystyki lub przeznaczenia i niepowodujących wzrostu zagrożenia związanego z jego eksploatacją

6) **naprawie** – należy przez to rozumieć zespół czynności mających na celu przywrócenie stanu zdadności użytkowej urządzenia technicznego, w tym wykonywanych metodami chemicznymi, bez wprowadzania zmian w konstrukcji lub parametrów technicznych

7) **konserwacji** – należy przez to rozumieć zespół czynności wykonywanych w celu utrzymania stanu zdadności użytkowej urządzenia technicznego, prowadzonych zgodnie z instrukcją eksploatacji, niebędących naprawą urządzenia

* Numeracja zgodna jest w zapisami w ustawie.



Na podstawie powyższych zapisów:

- Tylko czynności określone w instrukcji eksploatacji urządzenia mogą być traktowane jako **KONSERWACJA** i nie wymagać udziału UDT.
- **NAPRAWA I MODERNIZACJA** wymagają **uprzedniego uzgodnienia z UDT**. Wymiana elementów nastawialnych może wymagać badania do-
rażnego eksploatacyjnego, co regulują §17 i §27 rozporządzenia [1].

Naprawa oznacza odtworzenie stanu technicznego, w którym dokumentacja urządzenia jest punktem odniesienia. Zmiany w automatyce zwykle sięgają dalej niż odtworzenie stanu technicznego i muszą być traktowane jako modernizacje. Możliwość rozszerzania zakresu zmian mogących być traktowane jako naprawa lub konserwacja stwarza ww. §11 rozporządzenia [1], jeśli komponenty automatyki zostaną odpowiednio zdefiniowane w dokumentacji.

Poza oczywistymi przypadkami wymiany komponentów systemu automatyki, która może mieścić się w definicji naprawy lub konserwacji, w każdym innym przypadku potrzebny jest opis zakresu wprowadzanych zmian (modernizacji). Opis ten musi zawierać analizę wpływu modernizacji na bezpieczeństwo eksploatacji urządzenia oraz urządzeń współpracujących (§ 80. 1. Rozporządzenia [1]).

BEZPIECZEŃSTWO PRACY W ENERGETYCE

Przepisy prawa pracy nakładają najszerszą odpowiedzialność za bezpieczeństwo maszyn, urządzeń i instalacji. Jest to odpowiedzialność pracodawcy za stan bezpieczeństwa w zakładzie pracy i na stanowisku pracy, którym może być cała instalacja energetyczna.

Według tych przepisów niedopuszczalne jest wyposażanie stanowisk pracy w maszyny, urządzenia techniczne oraz instalacje, które nie spełniają wymagań dotyczących oceny zgodności. Nakładają też na pracodawcę obowiązek kontroli bezpieczeństwa wszelkich maszyn, urządzeń oraz instalacji użytkowanych podczas pracy.

Implementowana do polskiego porządku prawnego Dyrektywa 2009/104/WE dot. minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkowania sprzętu roboczego [6], stanowi, że przez „sprzęt

roboczy” należy rozumieć: „**wszelkie maszyny, urządzenia, narzędzia lub instalacje użytkowane podczas pracy**”.

Zgodnie z art. 4 Dyrektywy [6] Pracodawca ma obowiązek nie tylko posiadania lub używania sprzętu roboczego spełniającego wymagania przepisów wszelkich mających zastosowanie odpowiednich dyrektyw Wspólnoty. Jest również obowiązany w ciągu całego czasu pracy do odpowiedniej konserwacji oraz utrzymania sprzętu roboczego (czyt. wszelkich maszyn, urządzeń, instalacji użytkowanych podczas pracy).

Podobne wymagania związane z okresowymi lub specjalnymi kontrolami maszyn* określone są w Rozporządzeniu w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn [7].

* *maszyny rozumiane jako wszelkie maszyny i inne urządzenia techniczne, narzędzia oraz instalacje użytkowane podczas pracy*

Obowiązek prawny pracodawcy związany z zapewnieniem ciągłości bezpieczeństwa maszyn, urządzeń oraz instalacji stanowiących przestrzeń pracy zostanie wyjaśniony w osobnym artykule.

CZYM JEST BEZPIECZEŃSTWO ORAZ ANALIZY RYZYKA

Racjonalne i przemysłane podejście do projektowania bezpieczeństwa i niezawodności (dostępności) obiektu przemysłowego pozwala zarówno na optymalizację kosztów projektu jak i kosztów eksploatacji urządzeń technicznych czy instalacji. Wyzwaniem jest zaprojektowanie instalacji inherentnie bezpieczniejszej, z minimalną ilością niezbędnego wyposażenia, prostej na ile to możliwe, łatwej i niedrożej w eksploatacji i utrzymaniu.

Niezbędnymi narzędziami optymalizacji projektu są ANALIZY ZAGROŻEŃ I RYZYKA oraz analizy kosztów i korzyści wnoszonych przez każde z rozwiązań lub etapów projektu.

Poprawnie wykonana ANALIZA ZAGROŻEŃ pozwala zidentyfikować potencjalne zagrożenia, ich przyczyny i skutki, na okoliczności, w których niezbędne są zmiany w projekcie. Dotyczy to też wyposażenia instalacji w urządzenia zabezpieczające lub zmiany liczby i lokalizacji urządzeń zabezpieczających.

OCENA RYZYKA pozwala ustalić wymagania dotyczące poziomu redukcji ryzyka, jakiej oczekuje się od zidentyfikowanych rozwiązań projektowych, w tym od zabezpieczeń określonych w analizie zagrożeń.

Automatyka zabezpieczająca są to przede wszystkim urządzenia ograniczające (rys. 1) zrealizowane jako obwody elektryczne oraz elektroniczne i programowalne elektroniczne. Realizują one funkcje bezpieczeństwa od układu czujnikowego, poprzez elementy pośredniczące, w tym elementy logiczne decydujące o uruchomieniu urządzeń wykonawczych, po same układy wykonawcze.

Często do automatyki zabezpieczającej zalicza się także układy sygnalizacji i alarmów, czyli urządzenia nadzorujące (rys. 1), o ile uczestniczą w realizacji funkcji bezpieczeństwa. Stosowane są także realizacje funkcji bezpieczeństwa w technologiach mechanicznych, pneumatycznych czy hydraulicznych.

Dla podmiotu odpowiedzialnego za bezpieczeństwo instalacji energetycznej oznacza to, że na każdym etapie, powstawania i eksploatacji instalacji, musi zapewnić i udokumentować, że zrobił wszystko, co tylko możliwe i racjonalnie uzasadnione, dla zapewnienia możliwie najwyższego bezpieczeństwa.

W technice przyjmuje się że wystarczającym dowodem jest utworzenie dokumentacji spełnienia tzw. zasady ALARP (As Low as Reasonably Practicable). To zagadnienie będzie omówione w osobnej publikacji.

Przepisy są zwykle bardziej ogólne od norm i najczęściej nie odnoszą się do pojęcia ryzyka, a do pojęcia bezpieczeństwa.

Normy mówią o zagrożeniach i ryzyku oraz o redukcji ryzyka.

Jak to rozumieć?

CZYM JEST BEZPIECZEŃSTWO?

Najlepiej sens tego pojęcia oddają dwie definicje. Podkreślają one fakt, że pojęcie bezpieczeństwa dotyczy nie tylko przemysłu, zaś miary bezpieczeństwa mogą i powinny być uniwersalne.

a) „Bezpieczeństwo to stan dający poczucie pewności i gwarancję jego zachowania oraz szansę na doskonalenie” [3].

b) Najczęściej bezpieczeństwo definiuje się zarówno jako stan (osiągnięte poczucie bezpieczeństwa danego podmiotu), jak i proces (zapewnianie poczucia bezpieczeństwa podmiotu).

Bardziej praktyczne jest podejście drugie, odzwierciedlające naturalny, dynamiczny charakter zjawiska poczucia bezpieczeństwa” [4].

Powyższe definicje dotyczą bezpieczeństwa ogólnego i odnoszą się do pojęcia bezpieczeństwa, o którym mówią przepisy, czyli ryzyka utraty zdrowia i życia. Ale to nie jest jedyna możliwa interpretacja definicji.

Bezpieczeństwo może być potraktowane szerzej, jako odnoszące się do realizacji celów.

Dotyczy to stanu, w którym ryzyko niezrealizowania celów jest tak niskie, że akceptujemy jego poziom. Nie podejmujemy wówczas działań mających dalej zredukować oceniane ryzyko.

Przyjętymi celami ryzyka mogą być np.:

- brak strat produkcyjnych, w tym kosztów niewykonanych zamówień lub niewłaściwej jakości produktów,
- brak uszkodzeń lub przyspieszonego zużycia urządzeń lub instalacji i związane z tym koszty itp.

Cele ryzyka i poziomy akceptacji ryzyka zależą od właściciela ryzyka i podmiotów na nie narażonych.

ISTNIEJĄ DWA SPOSOBY SPOSOBY UZYSKANIA BEZPIECZEŃSTWA

1. ELIMINACJA ZAGROZEŃ

2. REDUKCJA RYZYKA DO POZIOMU AKCEPTOWALNEGO

Jako stan bezpieczeństwa można także przyjąć brak nieakceptowalnego ryzyka, ale ta kwestia nie jest oczywista i należy ją szerzej omówić.

Gdy znamy powiązanie pomiędzy bezpieczeństwem a ryzykiem, a więc także pomiędzy przepisami a normami, to także rozumiemy, że aby spełnić wymagania przepisów, należy dążyć do udokumentowanej eliminacji zagrożeń i (lub) redukcji ryzyka.

WNIOSKI

Automatyka nie zastępuje konstrukcji – nie jest „lekarstwem” na błędy konstrukcyjne.

Ponadto...

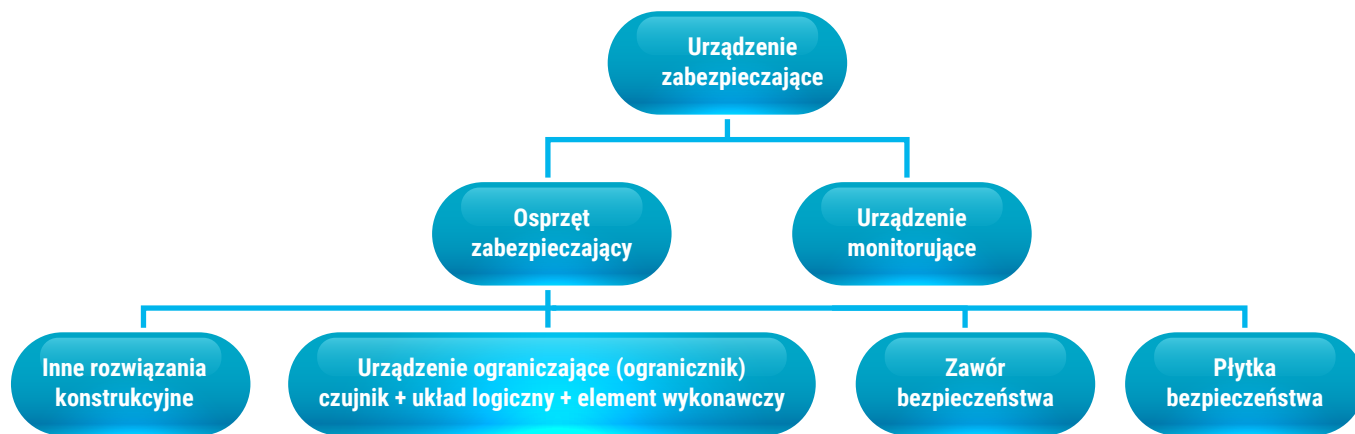
Nie zawsze jest potrzebna – w odpowiednio skonstruowanych instalacjach i w zależności od przyjętych kryteriów bezpieczeństwa może nie być wcale potrzebna.

Może być konieczna ze względu na wymagania norm przedmiotowych lub ze względu na inne ryzyko niż związane ze zdrowiem i życiem.

JAK ZAPROJEKTOWAĆ AUTOMATYKĘ ZABEZPIECZAJĄCĄ?

AUTOMATYKĘ ZABEZPIECZAJĄCĄ NALEŻY SKONSTRUOWAĆ WEDŁUG ZASAD.

- W POWIĄZANIU Z KONSTRUKCJĄ INSTALACJI
- TYLKO W NIEZBĘDNYM ZAKRESIE
- W ODNIESIENIU DO PRZYJĘTYCH ZAGROZEŃ I WYMAGAŃ DLA RYZYKA
- SPEŁNIAJĄC WYMAGANIA PRZEPISÓW
- NAJLEPIEJ STOSUJĄC NORMY PRZEDMIOTOWE I ZWIĄZANE Z NIMI NORMY SEKTOROWE
- STOSUJĄC BRANŻOWE KNOW-HOW
- STOSUJĄC UZNANE ROZWIĄZANIA I SPOSOBY PROJEKTOWANIA ELIMINUJĄCE BŁĘDY SYSTEMATYCZNE I PRZYPADKOWE
- W PEŁNI DOKUMENTUJĄC



Rys. 1. Podział urządzeń zabezpieczających w myśl dyrektywy PED

<p>PODSTAWOWE STANDARDY TECHNICZNE NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE W ENERGETYCE</p> <p>a) standardy serii PN-EN 12953 dla kotłów płomienicowo-płomieniówkowych</p> <p>b) standardy serii PN-EN 12952 dla kotłów wodnorurowych</p> <p>c) norma PN EN 764-7 dla urządzeń ciśnieniowych nieogrzewanych płomieniem</p> <p>Standardy te stanowią bazę wymagań dotyczących konstrukcji i wyposażenia urządzeń ciśnieniowych oraz podstawowe źródło dla wymagań przeprowadzania analiz zagrożeń przy projektowaniu.</p>	<p>W zakresie automatyki zabezpieczającej każdy z tych standardów odwołuje się do normy PN-EN 50156-1, która zawiera szczegółowe wymagania dla projektowania obwodów realizujących funkcje bezpieczeństwa, w tym:</p> <p>a) konieczność przeprowadzenia deterministycznej analizy odporności części sprzętowej i programowej systemu automatyki na błędy,</p> <p>b) konieczność określenia wymagań SIL dla poszczególnych funkcji bezpieczeństwa.</p> <p>Merytorycznie bardzo zbliżonymi do PN-EN 50156-1 standardami technicznymi dla projektowania automatyki zabezpieczającej w odniesieniu do maszyn jest zestaw norm PN-EN 60204-1 i PN-EN IEC 62061.</p>
--	--

Funkcje bezpieczeństwa wyłania się na podstawie:

- standardów technicznych**, w których są wymienione literalnie lub wskazana jest konieczność oceny wybranych zagrożeń i implementacji funkcji zabezpieczających, gdy zagrożenie występuje,
- analizy zagrożeń**, w której występują jako środki przeciwdziałające rozwojowi konkretnego scenariusza awaryjnego, więc redukujące ryzyko wystąpienia zidentyfikowanych, potencjalnych konsekwencji tego scenariusza.

Każda z norm dotyczących bezpieczeństwa funkcjonalnego wymaga, aby w kolejnych etapach analiz zagrożeń oraz analiz ryzyka aktualizacji podlegała tzw. Specyfikacja Wymagań Bezpieczeństwa (tzw. SRS = Safety Requirements Specification).

W normie PN-EN 50156-1:2015 jest to rozdział 10.4 Safety requirements allocation zawierający w 15 pozycjach m.in.:

- wykaz wymaganych funkcji bezpieczeństwa,
- oczekiwana reakcja systemu w przypadkach uszkodzeń,
- rodzaj przywołania każdej z funkcji (przywołanie rzadkie lub częste)
- wymagany czas reakcji systemu dla każdej funkcji (patrz też definicja 3.20 fault tolerance time),
- wszystkie przewidywane tryby pracy urządzenia (niektóre funkcje mogą dotyczyć wybranych trybów pracy, np. uruchomienie),
- założone warunki środowiskowe pracy systemu,
- rozwiązania techniczne służące do testowania funkcji bezpieczeństwa,
- wymagania dla testowania funkcji (proof testing),
- wymagany poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (Safety Integrity Level) dla każdej funkcji,
- wszystkie inne niezbędne informacje mogące mieć wpływ na projekt systemu automatyki.

Poziom SIL tworzy tzw. wymagania jakościowe dla funkcji automatyki. Jednak nawet funkcje bezpieczeństwa, dla których w wyniku analizy nie przypisano SIL 1 lub wyższego nadal pozostają funkcjami bezpieczeństwa. Nie można zrezygnować z ich zaprojektowania i utrzymywania ich sprawności w toku eksploatacji.

Są to tzw. funkcje bezpieczeństwa „non-SIL”.



Jeśli funkcję wskazano w analizie zagrożeń jako potrzebną, a w toku analizy nie wskazano potrzeby uzyskania SIL 1 lub wyższego, to oznacza wg normy EN-50156-1 (i innych norm bezpieczeństwa funkcjonalnego), że od funkcji bezpieczeństwa „non-SIL” oczekujemy współczynnika redukcji ryzyka RRF większego od 1 i mniejszego od 10 ($1 < RRF < 10$).

Bardzo często obecność w systemie funkcji bezpieczeństwa o RRF <10 stanowi uzasadnienie dla ograniczenia wymagania SIL dla innych funkcji. Zatem brak sprawności funkcji bezpieczeństwa „non-SIL” powodowałby niedomiar redukcji ryzyka eksploatacji urządzenia jako całości.

PODSUMOWANIE

Wybór norm i technologii projektu należy do projektanta i właściciela instalacji.

Analizy zagrożeń pozwalają określić, jakie środki redukcji ryzyka, np. funkcje zabezpieczające, są konieczne. Analizy ryzyka pozwalają ocenić, czy zapewniliśmy bezpieczeństwo, czy są konieczne dodatkowe środki redukcji ryzyka. W odniesieniu do automatyki zabezpieczającej pozwalają na określenie poziomu wymagań dla redukcji ryzyka dla poszczególnych obwodów realizujących każdą z funkcji bezpieczeństwa i wynikających z tego wymagań dla konstrukcji systemu automatyki.

Projektowanie bezpieczeństwa obejmuje także przewidywanie niewłaściwego użytkownika i przygotowanie rozwiązań ograniczających lub eliminujących takie działania tj. prawdopodobieństwo wystąpienia tych działań lub ich ewentualnych konsekwencji.

UWAGA

Pamiętajmy, że nie wszystkie normy muszą być stosowane i w pełnym zakresie.

Dobór norm i ich zakresu zastosowania należy dopasować do rodzaju i konstrukcji instalacji.

Ważne jest to, co jest naprawdę niezbędne.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 roku w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. z 2022 r. poz. 68)
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20220000068/O/D20220068.pdf>
2. Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym (Dz.U. z 2023 poz. 1622, tj.)
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20001221321/U/D20001321Lj.pdf>
3. Słownik terminów z zakresu bezpieczeństwa narodowego, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2008.
4. Koziej S., Bezpieczeństwo: istota, podstawowe kategorie i historyczna ewolucja, „Bezpieczeństwo Narodowe” II-2011, nr 18.
5. 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.)
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20160001036/O/D20161036.pdf>
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/104/WE z dnia 16 września 2009 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkownika sprzętu roboczego przez pracowników podczas pracy (Dz.U.UE.L.2009.260.5 z dnia 2009.10.03)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0104>
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (Dz.U. z 2002 r. nr 191, poz. 1596, z późn. zm.)
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20021911596/O/D20021596.pdf>
8. Uzasadnienie do rządowego projektu rozporządzenia w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu
<https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12335607/katalog/12698765#12698765>

DYNAMICZNE ZARZĄDZANIE RYZYKIEM INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

Optymalizacja procesu zarządzania ryzykiem
z wykorzystaniem narzędzi przemysłu 4.0.



MGR INŻ. TOMASZ KLINKOSZ

Ekspert Urzędzeń Ciśnieniowych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Gdańsku

POZIOM DOJRZAŁOŚCI ZARZĄDZANIA RYZYKIEM RÓŻNI SIĘ W ZALEŻNOŚCI OD BRANŻY I FIRMY. OGÓLNIIE RZECZ BIORĄC, NAJBARDZIEJ ZAAWANSOWANE PODEJŚCIE MAJĄ BANKI, A NASTĘPNIE FIRMY Z BRANŻ, W KTÓRYCH BEZPIECZEŃSTWO JEST NAJWAŻNIEJSZE, W TYM ROPA I GAZ, ZAAWANSOWANA PRODUKCJA I FARMACEUTYKA. POMIMO TEGO PRAWIE WSZYSTKIE ORGANIZACJE MUSZĄ ODŚWIEŻYĆ I WZMOCNIĆ SWOJE PODEJŚCIE DO ZARZĄDZANIA RYZYKIEM, ABY DOSTOSOWAĆ SIĘ DO ZMIENIAJĄCEGO SIĘ OTOCZENIA [1].

Proces podejmowania decyzji na podstawie wyników analiz ryzyka i zastosowanie podejścia opartego na zarządzaniu ryzykiem są pojęciami często używanymi i podkreślanymi w podejściu procesowym. Proces ten, oprócz oczywiście procesów zarządczych, stosowany jest powszechnie w podejmowaniu decyzji m.in. w zakresie ochrony zdrowia, środowiska, w bezpieczeństwie żywności, bezpieczeństwie produktów, bezpieczeństwie pracy i bezpieczeństwie procesowym oraz cyberbezpieczeństwie. W każdym z tych procesów wykorzystuje się różne dane oraz różne narzędzia do analizy ryzyk, zależnie od korzyści płynących z ich wykorzystania, w odniesieniu do danego zastosowania [2].

DYNAMICZNE ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

W ogólnym ujęciu dynamiczne zarządzanie ryzykiem można opisać w trzech zasadniczych obszarach:

- identyfikacja potencjalnych nowych zagrożeń i słabości w procesach kontrolnych,
- określanie skłonności do podejmowania ryzyka (tzw. apetyt na ryzyko),
- wdrożenie właściwego podejścia do zarządzania ryzykiem.

Odnosząc powyższe ogólne podejście do dynamicznego zarządzania ryzykiem na polu bezpieczeństwa instalacji przemysłowych, nie można pominąć otoczenia geopolitycznego, które w obecnym czasie wydatnie pokazuje, że dynamika w zarządzaniu zarówno w kontekście biznesowym, jak i bezpieczeństwa procesowego staje się kluczowa. Występujące zmiany popytu w niektórych obszarach produkcji petrochemicznej, zaburzenia w łańcuchach dostaw surowców oraz części zamiennych powodują konieczność reakcji i dynamicznego podejmowania decyzji ze strony zakładów produkcyjnych [3].

Zmiany te mogą mieć również wpływ na politykę remontową zakładów produkcyjnych wynikającą z nieterminowych dostaw elementów zamiennych lub konieczność wprowadzenia zmian w harmonogramach remontowych w celu zapewnienia ciągłości działania. Wpływa to bez wątpienia na bezpieczeństwo eksploatacji infrastruktury produkcyjnej i musi być uwzględnione w prowadzonych analizach ryzyk technicznych i operacyjnych.

W takich warunkach klasyczny model zarządzania ryzykiem oparty na okresowych przeglądach ryzyk i wdrażaniu działań korekcyjnych staje się coraz mniej skutecznym narzędziem zarządczym.

DIGITALIZACJA PROCESÓW DAJE NOWE MOŻLIWOŚCI

Rozwój technologiczny, zwłaszcza w zakresie digitalizacji procesów, otwiera nowe możliwości w zakresie zarządzania ryzykiem, w szczególności pozwala na uzyskanie znacznie większej dynamiki procesów przetwarzania danych wykorzystywanych do analizy ryzyk.

Można zatem postawić pytanie: w jakim obszarze zarządzania ryzykiem instalacji przemysłowej znajdują zastosowanie nowe technologie?

Odpowiedź na to pytanie nie jest prosta i wyczerpująca, ponieważ rozwój tej branży jest na tyle dynamiczny, że wymaga przeglądu niemal w sposób ciągły. Niemniej jednak obszarem, w którym bez wątpienia można wykorzystać nowe technologie, jest proces gromadzenia, obróbki i analizy danych używanych do oceny ryzyka.

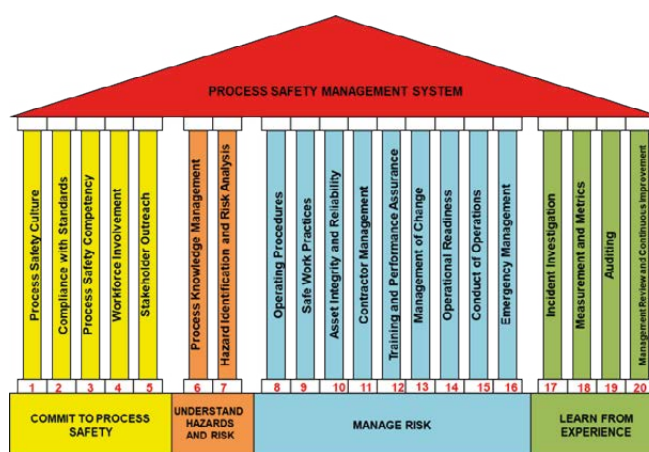
Zanim omówimy powyższe zastosowania, należy zdefiniować pojęcie przemysłu 4.0.

Przemysł 4.0 można zdefiniować jako unifikację świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym internetu i technologii informacyjnej [4]. W tym procesie ludzie, maszyny oraz systemy IT automatycznie wymieniają informacje zarówno w toku produkcji, jak również w zakresie danych wykorzystywanych do podejmowania decyzji na podstawie ryzyka.

GRANICE I ZASADY

Włączając tego typu technologie w proces decyzyjny, należy zadbać o stworzenie odpowiedniej przestrzeni do ich funkcjonowania, tzn. ustanowienia granic i zasad stosowania, w tym odpowiednich procedur i zasad walidacji wyników.

W odniesieniu do relacji człowiek – system adaptacji wzmocnienia wymaga system zarządzania. W aspekcie bezpieczeństwa i ciągłości działania instalacji procesowej będzie to opisane systemem zarządzania bezpieczeństwem procesowym. Jednym z powszechnie stosowanych jest model systemu zarządzania bezpieczeństwem procesowym Risk Based Process Safety wg CCPS (Center of Chemical Process Safety) (rys. 1).



Rys. 1. Model systemu zarządzania bezpieczeństwem procesowym wg CCPS [7]

W modelu CCPS występują obszary o szczególnym znaczeniu dla dynamiki procesu zarządzania bezpieczeństwem.

- zarządzanie zmianami (MANAGEMENT OF CHANGE)
- identyfikacja zagrożeń i analiza ryzyka (HAZARD IDENTIFICATION AND RISK ANALYSIS)
- integralność mechaniczna (ASSET INTEGRITY AND RELIABILITY) w odniesieniu do bezpieczeństwa związanego z eksploatacją infrastruktury produkcyjnej

Wymienione obszary wymagają adaptacji w celu zapewnienia odpowiedniej dynamiki procesu zarządczego. Są one jednym z przykładów procesów, w których następuje interakcja człowieka, maszyn i systemów IT, a zatem obszarów mieszczących się w zakresie tzw. przemysłu 4.0.

Można wyróżnić obszary procesów zarządzania ryzykiem urządzeń w instalacji procesowej, w których poprzez zastosowanie rozwiązań, takich jak automatyzacja zadań, następuje zautomatyzowane przetwarzanie danych (rys. 2).

Zastosowanie technologii wykorzystujących sztuczną inteligencję jest kluczowe dla dynamicznego zarządzania ryzykiem.

Automatyzacja zadań

- Automatyzacja transferu danych procesowych do systemów wykorzystywanych do predykcji zużycia (np. RBI, RCM, Digital Twin)
- Automatyzacja badań nieniszczących

Przetwarzanie złożonych lub dużych zbiorów danych

- Dane procesowe
- Wyniki badań nieniszczących i niszczących
- Analiza wyników modeli predykcyjnych

Zgłaszanie anomalii lub interesujących wydarzeń

- Analiza zdarzeń awaryjnych
- Analiza wyników wskaźników uzyskanych w badaniach NDT (np. UT, AE, RT)

Znakowanie danych i korekcja błędów

- Zarządzanie danymi IOW (Integrity Operating Windows)

Funkcje zintegrowane

- Optymalizacja doboru metod badawczych (identyfikacja typów uszkodzeń)
- Identyfikacja obszarów narażonych na degradację (np. SCC)
- Digital Twin

Rys. 2. Potencjalne obszary wykorzystania technologii przemysłu 4.0 do zarządzania ryzykiem instalacji procesowej

METODYKA RBI

Wpływ wskazanych obszarów można przedstawić na przykładzie procesu zarządzania ryzykiem z wykorzystaniem metodologii Risk-based Inspection, który prowadzony wg standardu API RP 581, pozwala na przeprowadzenie ilościowej analizy ryzyka dla urządzeń ciśnieniowych, szczególnie w przemyśle petrochemicznym.

Risk-based Inspection, w odróżnieniu od powszechnie stosowanych w przemyśle narzędzi do analizowania zagrożeń i ryzyka, takich jak HAZOP (Hazard and Operability Study), LOPA (Layer of Protection Analysis) czy QRA (Quantitative Risk Assessment), jest metodą predykcyjną.

Metodyka RBI, zawierająca model opisujący zmiany ryzyka w funkcji czasu, jest również narzędziem do zarządzania ryzykiem, a zatem jest procesem ciągłym, wymagającym stworzenia w organizacji odpowiednich procesów oraz ich implementacji do obowiązującego systemu zarządzania organizacją [5].

W procesie tym dokonywana jest predykcja zmian ryzyka w funkcji czasu, niemniej jednak zmiany ryzyka uzależnione są od wielu czynników, których zmiany mogą być uwzględnione w terminie ponownej oceny (walidacji) RBI.

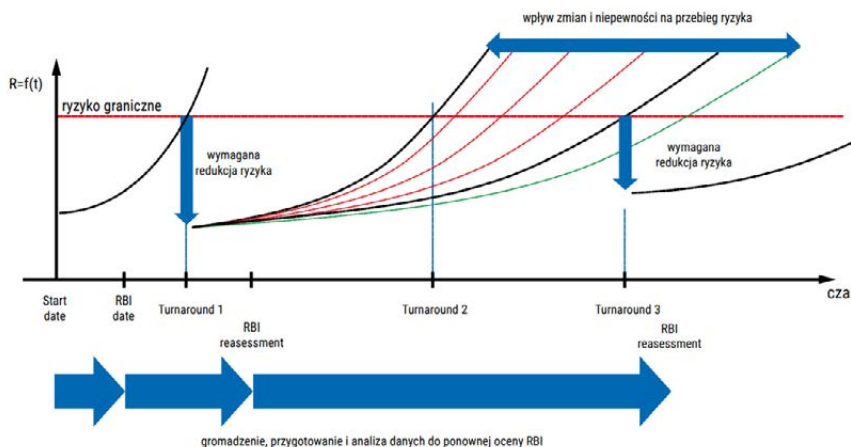
Proces zarządzania ryzykiem w tej metodologii bazuje na cyklicznej walidacji, podczas której dokonuje się ponownej oceny z uwzględnieniem zebranych danych w okresie, który upłynął od poprzedniej walidacji.

Predycyjna metoda Risk-based Inspection (RBI) jest narzędziem do zarządzania ryzykiem.

RBI zawiera model opisujący zmiany ryzyka w funkcji czasu (rys. 3).

Proces zarządzania ryzykiem bazuje na cyklicznej walidacji.

Między walidacjami następuje proces gromadzenia i analizy danych.



Rys. 3. Model zarządzania ryzykiem w procesie RBI

WALIDACJA

Dane do walidacji pochodzą zarówno z różnych systemów rejestracji parametrów procesowych, analiz laboratoryjnych, jak też z wyników badań nieniszczących, inspekcji oraz zapisów sporządzanych w toku eksploatacji instalacji.

Dzięki coraz większej cyfryzacji procesów produkcyjnych dysponujemy ogromnymi zbiorami tych danych, jednakże z uwagi na mnogość systemów archiwizacji danych oraz różną ich formę zautomatyzowana analiza danych musi być poprzedzona ich przygotowaniem.

Proces ten jest jednym z obszarów zastosowania metod opartych na zalgorytmizowanej obróbce danych, dzięki którym możliwe jest np. poszukiwanie anomalii, korelacji pomiędzy danymi.

- Tworzone są i testowane rozwiązania oparte np. na technologiach sztucznych sieci neuronowych ANN (Artificial Neural Networks) lub rozwiązaniach hybrydowych wykorzystujących różne technologie do obróbki i analizy danych wykorzystywanych w analizach ryzyka [6].
- Zastosowanie takich technologii w procesie zarządzania ryzykiem może przyczynić się do skrócenia okresów pomiędzy kolejnymi walidacjami.
- Jak w każdym procesie analizy danych, należy pamiętać o zasadzie GIGO (*garbage in, garbage out*). Jest to szczególnie istotne w procesie analizy ryzyka instalacji procesowej, w której proces pozyskiwania danych jest bardzo złożony.
- Analiza danych pochodzących np. z zapisów zdarzeń awaryjnych, dokumentacji inspekcyjnych wymaga wiedzy eksperckiej.

ZARZĄDZANIE ZMIANAMI

Zmiany przebiegu ryzyka w czasie (rys. 3) mogą skutkować skróceniem okresu do przekroczenia wartości akceptowalnego ryzyka, co potencjalnie prowadzi do sytuacji niebezpiecznej. Zmiany te mogą wynikać między innymi z błędnych danych wykorzystanych w modelowaniu lub założeniach.

W tym zakresie zarządzanie ryzykiem realizowane jest poprzez skuteczny system zarządzania zmianami oraz monitorowania czynników ryzyka (tzw. *risk drivers*), czyli czynników, które wykorzystano do zbudowania modelu predykcyjnego.

Czynnikami tymi mogą być między innymi parametry procesu technologicznego czy określone podczas analizy graniczne stężenia czynników powodujących degradację ścianki urządzenia.

Równie istotnym elementem są założenia podejmowane w toku obliczeń ryzyka, szczególnie w obliczeniach konsekwencji potencjalnego uszkodzenia, które mogą wpłynąć na wartość ryzyka. Są to np. liczba osób potencjalnie narażonych na konsekwencje lub rodzaj i sposób działania systemów ograniczających skutki po uwolnieniu.

Jak wspomniano wcześniej, skuteczność elementów systemu zarządzania bezpieczeństwem procesowym, takich jak zarządzanie zmianami, integralność mechaniczna oraz analizowanie zagrożeń i ryzyka, w znaczący sposób mogą wpłynąć na wyniki ryzyka, dlatego powinny być doskonalone przede wszystkim w zakresie wiarygodności uzyskiwanych wyników oraz określenia wymagań dla wyników tych procesów.

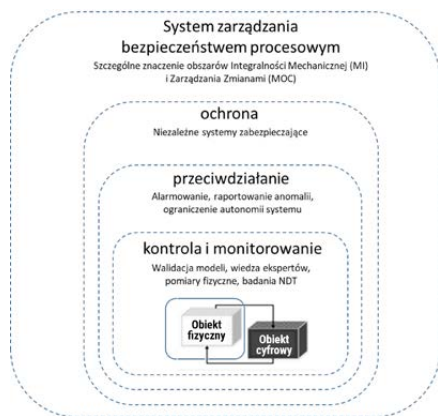
PRZYKŁAD

Jednym z przykładów jest analiza wyników analiz zagrożeń procesowych pod kątem wpływu odchyień na przyjęte w analizie RBI wartości prędkości korozji. Podobnie jest w przypadku wprowadzania zmian w instalacji procesowej. Proces nadzoru nad zmianami powinien pozwalać na identyfikację i analizę wszelkich zmian mogących mieć wpływ na dane wykorzystane w modelu predykcyjnym ryzyka.

NOWE TECHNOLOGIE I RYZYKA

Wdrażając nowe technologie w obszarze zarządzania bezpieczeństwem instalacji przemysłowych, oparte np. na sieciach neuronowych czy sztucznej inteligencji, nie można zapomnieć o ustanowieniu zasad bezpiecznego ich stosowania.

Wydaje się celowe, aby do zarządzania bezpieczeństwem tych technologii wykorzystać sprawdzone w praktyce rozwiązania, np. wielowarstwowy model bezpieczeństwa, który opisano między innymi w normie PN-EN 61511. Można zobrazować przykładowy model warstw zabezpieczeń dla rozwiązań autonomicznych wykorzystywanych w procesie zarządzania ryzykiem, np. Digital Twin (rys. 4).



Rys. 4. Przykład wielowarstwowego systemu bezpieczeństwa

Każde zastosowanie technologii opartych na algorytmach, których funkcjonowanie nie jest w pełni audytowalne, w obszarze związanym z zapewnieniem bezpieczeństwa powinno być poprzedzone wnikliwą analizą ryzyka oraz ustaleniem granic i zasad ich stosowania. Dostrzega się szereg zagrożeń wynikających z ich zastosowania, a niektóre z nich to: nieprzewidywalność i stronniczość, zagrożenia cybernetyczne oraz manipulacje czy też zagrożenia wynikające z autonomii tych systemów [8].

Rewolucja cyfrowa zwiększyła dostępność danych, stopień łączności i szybkość podejmowania decyzji. Zmiany te stanowią obietnicę transformacji, ale także niosą ze sobą potencjał awarii na dużą skalę i naruszeń bezpieczeństwa wraz z szybką eskalacją potencjalnych konsekwencji [1].

NORMY I PRZEPISY

Ustanowienie zasad i granic stosowania technologii opartych na sztucznej inteligencji w aspekcie zapewnienia i zarządzania bezpieczeństwem stało się również przedmiotem prac normalizacyjnych i ustawodawczych. W opublikowanym w kwietniu 2021 r. projekcie rozporządzenia komisji Europejskiej AIA (The Artificial Intelligence Act) [9] zaproponowano podejście oparte na ryzyku w celu zapewnienia bezpieczeństwa stosowania tych technologii. Ryzyka związane ze stosowaniem np. technologii opartych na sztucznej inteligencji do zarządzania instalacjami przemysłowymi powinny być z pewnością uwzględnione jako dodatkowe ryzyka i podlegać ocenie w odniesieniu do bezpieczeństwa instalacji przemysłowych.

Wdrażając nowe technologie w obszarze zarządzania bezpieczeństwem instalacji przemysłowych, oparte np. na sieciach neuronowych czy sztucznej inteligencji, nie można zapomnieć o ustanowieniu zasad bezpiecznego ich stosowania.

Literatura

1. By Ritesh Jain, Fritz Nauck, Thomas Poppensieker, and Olivia White, November 17, 2020 | Article McKinsey&Company, Meeting the future: Dynamic risk management for uncertain Times.
2. Yacov Y., Haimes Risk modeling assessment, and management, 4th edition.
3. Richardson J., Europe petrochemicals demand weakness may have bigger impact than any production cuts.
4. <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/>.
5. Klinkosz T., Predykcja zużycia urządzeń ciśnieniowych i planowanie inspekcji urządzeń ciśnieniowych z wykorzystaniem metodologii RBI Risk Based Inspection, Biuletyn UDT „Inspektor” 2021, nr 1.
6. Guzman A., Ishida S., Choi E., Aoyama A., Artificial Intelligence Improving Safety and Risk Analysis: A Comparative Analysis for Critical Infrastructure 2016; IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) Conference Paper December 2016.
7. Guidelines for Risk Based Process Safety, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.
8. Lewis L., „AI Safety: An Action Plan for the Navy”, October 2019
9. European Commission, Joint Research Centre, Nativi, S., De Nigris, S., AI Watch, AI standardisation landscape state of play and link to the EC proposal for an AI regulatory framework, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/376602>.

METODA LOPA I GRAFU RYZYKA W PRZYPISANIU WYMAGAŃ SIL DLA FUNKCJI BEZPIECZEŃSTWA



DR INŻ. IGOR HEJKE

Ekspert Urzędzeń Transportu Bliskiego
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu



W świecie czwartej rewolucji przemysłowej nie sposób wyobrazić sobie nowoczesny blok nadkrytyczny czy gazowo-parowy, instalację procesu chemicznego lub petrochemicznego czy nawet maszynę, które nie byłyby wyposażone w skomplikowane systemy zabezpieczeń.

System taki realizuje funkcje bezpieczeństwa, chroniąc przed powstaniem zdefiniowanych groźnych sytuacji o możliwych konsekwencjach dla ludzi, środowiska lub mienia.

Dla każdej z funkcji zabezpieczających określa się wymagania funkcjonalne oraz wymagania nienaruszalności bezpieczeństwa wyrażone dyskretnymi poziomami SIL (Safety Integrity Level).

Przedstawiamy wybrane metody określenia wymagań SIL i porównanie ich przydatności w konkretnych rodzajach obiektów. Wyniki zostały uzyskane na podstawie rzeczywistych analiz wykonywanych w ramach prac UDT-CERT.

Każdy obiekt przemysłowy ma potencjał generowania szeregu zdarzeń zagrażających, które mogą powodować negatywne skutki dla zdrowia i życia człowieka oraz całego otoczenia. Zdarzenia te wynikają najczęściej z zakłóceń procesowych, awarii systemów sterujących procesem, wad lub uszkodzeń materiału lub z błędów człowieka.

Objawiają się one najczęściej:	Ich konsekwencjami mogą być:
<ul style="list-style-type: none"> • przekroczeniem parametrów dopuszczalnych (ciśnienie, temperatura, poziom), • uwolnieniem substancji niebezpiecznej, • wytworzeniem atmosfery wybuchowej, • niedozwolonym przemieszczeniem układu mechanicznego. 	<ul style="list-style-type: none"> • śmierć człowieka bądź wielu osób, • obrażenia o różnym stopniu nasilenia, • skażenie środowiska, • straty materialne, w tym straty w majątku, straty produkcji, straty wizerunkowe itp.

Urządzenia i systemy zabezpieczające przed powstaniem niepożądanych zdarzeń lub ograniczające ich skutki budowane i oceniane są zgodnie z najlepszymi wymaganiami i wiedzą inżynierską, które ulegają zmianie wraz z postępem techniki.

PODEJŚCIE OPARTE NA ZASADACH A PODEJŚCIE OPARTE NA RYZYKU

• rules-based approach

W podejściu tradycyjnym odpowiedzią na każde określone zdarzenie niebezpieczne w danym procesie lub urządzeniu jest zastosowanie dedykowanych zabezpieczeń o zunifikowanej konstrukcji, wielkości, a nawet nastawach. Innymi słowy, jest to podejście oparte na zasadach (rules-based approach). Takie rozwiązania nadają się do zastosowania w powtarzalnych obiektach, wykorzystujących te same technologie, rozwiązania techniczne, dostawców sprzętu itp. Nie mają one jednak zastosowania w nowoczesnych obiektach przemysłowych, gdzie zabezpieczenia muszą być inteligentne i szyte na miarę. Z tego powodu trudno sobie wyobrazić unifikację konstrukcji czy objęcie normami przedmiotowymi sposobu działania takich systemów.

• risk-based approach

Odpowiedzią na ten problem wydaje się być podejście do bezpieczeństwa oparte na ryzyku (*risk-based approach*). Definiuje ono pojęcie ryzyka jako kombinację prawdopodobieństwa zdarzenia niebezpiecznego i ciężkości jego skutków [1, 2]. Ryzyko jest zatem obiektywnym parametrem charakteryzującym bezpieczeństwo w sposób ilościowy. Dzięki ryzyku można więc porównać poziomy „niebezpieczeństwa” generowane w różnych instalacjach i co więcej, wyrażone różnymi kategoriami skutków (np. skutki dla ludzi vs. skutki środowiskowe).

Koncepcja oparta na ryzyku spowodowała zmianę oceny zastosowanych w obiekcie zabezpieczeń. W miejsce potwierdzenia zastosowania „dopuszczonych” typów urządzeń zabezpieczających stosuje się potwierdzenie przejścia konkretnych etapów, zwanych cyklem życia bezpieczeństwa [1]. Przykładowy cykl życia zgodnie z normami PN-EN61511-1 i PN-EN50156-1 pokazano poniżej.

Analiza zagrożeń i ryzyka np. metodą HAZOP (Hazard and Operability Study)



Rys. 1. Cykl życia bezpieczeństwa na podstawie PN-EN61511 i PN-EN50156. Kolorem zielonym oznaczono fazę analityczną, kolorem niebieskim – fazę realizacji, zaś kolorem pomarańczowym – fazę eksploatacji

FAZA ANALITYCZNA

Celem fazy analitycznej jest identyfikacja zagrożeń i scenariuszy awaryjnych do nich prowadzących oraz zdefiniowanie zabezpieczeń działających na konkretnych etapach każdego scenariusza awaryjnego. Dodatkowym celem realizowanym w tej fazie jest określenie ryzyka zdarzenia tzw. nieograniczonego (ang. *unmitigated event*) oraz wynikającej stąd wymaganej dalszej redukcji ryzyka do wartości akceptowalnej.

Najczęściej redukcja ta przypada na zastosowane tzw. przyrządowe funkcje bezpieczeństwa SIF (Safety Instrumented Function), realizowane w technice elektrycznej, elektronicznej lub programowalnej elektronicznej lub wykonane w innych technikach. Funkcje SIF realizowane są przez tzw. przyrządowy system bezpieczeństwa SIS (Safety Instrumented System). Dla każdej zdefiniowanej funkcji SIF określany jest wymagany docelowy poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (Safety Integrity Level) świadczący o niezawodności funkcji w pełnieniu swego zadania.

FAZA REALIZACJI

W fazie realizacji projektu ustalenia fazy analitycznej implementowane są w projekcie systemu SIS. Po pozytywnej weryfikacji projektu i jego zaimplementowaniu przeprowadzana jest tzw. walidacja. Ma ona na celu sprawdzenie, czy zbudowany system SIS odpowiada wymaganiom bezpieczeństwa określonym w fazie analitycznej.

FAZA EKSPLOATACJI

System zabezpieczeń SIS i realizowane przez niego funkcje bezpieczeństwa SIF powinny działać w sposób niezawodny przez określony w założeniach projektowych czas (najczęściej przyjmuje się 15 lub 20 lat). W tym celu podlega on konserwacji oraz testom sprawdzającym, tzw. proof testom, w okresach i zakresie przewidzianym w instrukcji eksploatacji systemu SIS. Okresy te mają decydujący wpływ na zdolność redukcji ryzyka przez ten system, dlatego powinny być zachowane w całej fazie eksploatacji.

DOCELOWE POZIOMY NIENARUSZALNOŚCI BEZPIECZEŃSTWA SIL

Dla każdej funkcji bezpieczeństwa SIF określa się wymagany docelowy poziom nienaruszalności SIL, świadczący o niezawodności tej funkcji w wykonywaniu założonego zadania ochrony.

SIL określony jest w czterech poziomach (wg norm PN-EN61508 i PN-EN61511 od najniższego SIL1 do najwyższego SIL4). Każdy poziom SIL odpowiada rzędowi wielkości redukcji ryzyka dokonanej przez tę funkcję zgodnie z poniższą tabelą.

poziom SIL	PFD _{AVG}	RRF	PFH
SIL 4	$\geq 10^{-5}$ and $< 10^{-4}$	100000 to 1000	$\geq 10^{-5}$ and $< 10^{-4}$
SIL 3	$\geq 10^{-5}$ and $< 10^{-4}$	10000 to 1000	$\geq 10^{-4}$ and $< 10^{-7}$
SIL 2	$\geq 10^{-5}$ and $< 10^{-4}$	1000 to 100	$\geq 10^{-4}$ and $< 10^{-6}$
SIL 1	$\geq 10^{-5}$ and $< 10^{-4}$	100 to 10	$\geq 10^{-4}$ and $< 10^{-5}$

Rys. 2. Miary redukcji ryzyka i wynikające stąd poziomy SIL. Użyte skróty: PFD_{AVG} – średnie prawdopodobieństwo uszkodzenia niebezpiecznego funkcji bezpieczeństwa, RRF – współczynnik redukcji ryzyka, PFH – średnia częstotliwość uszkodzenia funkcji bezpieczeństwa [1/h]

Współczynnik RRF określa, ile razy dana funkcja bezpieczeństwa SIF zmniejsza ryzyko danego zdarzenia niebezpiecznego, najczęściej poprzez obniżenie statystycznej częstości jego wystąpienia.

Z punktu widzenia konstrukcji funkcji bezpieczeństwa użytecznym parametrem jest prawdopodobieństwo niewykonania zadania przez tę funkcję w momencie, gdy jest ona potrzebna.

Prawdopodobieństwo to opisane jest wielkościami PFD_{AVG} (średnie prawdopodobieństwo uszkodzenia) – dla procesów wolnozmiennych. W tych procesach statystyczne wywołanie funkcji bezpieczeństwa jest rzadsze niż 1/rok lub PFH (godzinowa częstość uszkodzenia) – dla procesów szybkozmiennych, w których statystyczne wywołanie funkcji wystąpić może częściej niż raz w roku.

Przypisanie wymaganych docelowych poziomów SIL dla każdej funkcji bezpieczeństwa SIF wykonywane jest na etapie analizy i oceny ryzyka. W związku z tym wynik przypisania SIL zależy od przyjętego poziomu akceptacji ryzyka w danej kulturze (firmy, kraju czy regionu) oraz danych generycznych dotyczących częstości występowania kluczowych zjawisk ujętych w analizie.

Spośród uznanych metod przypisania poziomów SIL można wyróżnić:

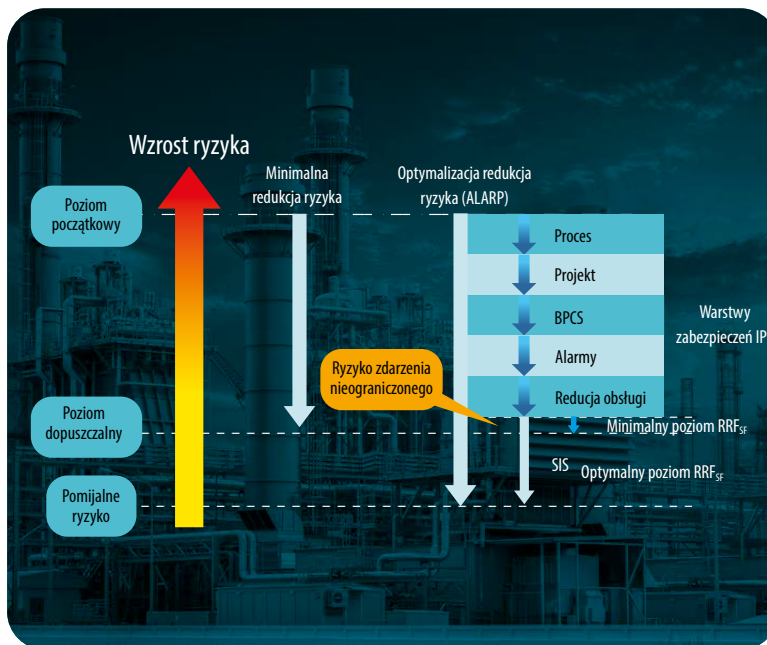
- analizę warstw zabezpieczeń LOPA (*layer of protection analysis*), również znaną jako AWZ,
- graf ryzyka RG (*risk graph*),
- macierz ryzyka RM (*risk matrix*).

Wszystkie wymienione metody znajdują zastosowanie w przypisaniu poziomów SIL funkcji bezpieczeństwa chroniących instalacje procesowe oraz energetyczne. W szczególnych zastosowaniach, np. maszynach, spotyka się również określone w normach typu C sztywne wymagania SIL dla konkretnych funkcji bezpieczeństwa.

W tej publikacji przybliżone zostały główne cechy analizy warstw zabezpieczeń i grafu ryzyka.

ANALIZA WARSTW ZABEZPIECZEŃ LOPA

Analiza warstw zabezpieczeń LOPA jest jedną z najbardziej znanych metod oceny ryzyka. Głównym celem tej analizy jest sprawdzenie, czy zastosowane urządzenia zabezpieczające proces pozwolą uzyskać akceptowalny poziom ryzyka w rozpatrywanych scenariuszach (rys. 3)



Rys. 3. Poglądowe przedstawienie działania analizy LOPA

W analizie definiowane są pojedyncze pary: zdarzenie inicjujące – konsekwencja, które rozpatrywane są oddzielnie jako scenariusz awaryjny. Podczas analizy zespół określa statystyczną częstość zdarzenia inicjującego, wartości PFD wszystkich zastosowanych warstw zabezpieczeń IPL (*independent protection layers*), wartości modyfikatorów warunkowych CMP oraz czynników umożliwiających ECP. W efekcie otrzymywana jest **częstość zdarzenia nieograniczonego UEF**, która nie uwzględnia jeszcze istnienia funkcji bezpieczeństwa SIF i jej docelowego poziomu SIL.

Wyznaczenie ryzyka zdarzenia nieograniczonego dla rozpatrywanego scenariusza wynosi:

$$UEF = f \cdot PFD_1 \cdot PFD_2 \cdot \dots \cdot PFD_K \cdot ECP_1 \cdot ECP_2 \cdot \dots \cdot ECP_i \cdot CMP_1 \cdot CMP_2 \cdot \dots \cdot CMP_j \quad (1)$$

gdzie:

UEF – częstość zdarzenia nieograniczonego [1/rok],

f – częstość zainicjowania zdarzenia niebezpiecznego [1/rok],

ECP_i – prawdopodobieństwo, że i-ty czynnik umożliwiający umożliwi zaistnienie lub rozwinięcie zdarzenia w konsekwencje,

CMP_j – prawdopodobieństwo, że j-ty modyfikator warunkowy pozwoli na rozwój scenariusza w zdefiniowane konsekwencje,

PFD_k – prawdopodobieństwo uszkodzenia (niewypełnienia) funkcji bezpieczeństwa przez k-tą warstwę zabezpieczającą.

Częstości typowych zdarzeń inicjujących oraz czynników modyfikujących ECP i CMP wymagane w formule (2), a także dane dotyczące prawdopodobieństwa uszkodzenia poszczególnych warstw zabezpieczeń można znaleźć w odpowiednich bazach danych, np. CCPS [2] lub normie PN-EN61511-3 [1] i w bazie ERMCH [4, 5].

W sytuacji, gdy do tych samych konsekwencji prowadzi więcej niż jeden scenariusz awaryjny zdefiniowany w analizie zagrożeń, należy obliczyć wartość UEF dla każdego scenariusza oddzielnie.

Całkowita częstość zdarzenia nieograniczonego o konsekwencjach rozpatrywanych w analizie UEF_{overall} jest sumą częstości UEF_n zdarzeń prowadzących do tych konsekwencji. Zakłada się tutaj, że scenariusze te są niezależne od siebie.

$$UEF_{overall} = \sum_{(n=1)}^N UEF_n \quad (2)$$

Po wyznaczeniu **częstości zdarzenia nieograniczonego UEF_{overall}** należy porównać ją z częstością zdarzenia odpowiadającą akceptowalnej wartości ryzyka dla danej kategorii ostrości skutków TMEF (*target mitigated event frequency*) zgodnie z przyjętą matrycą ryzyka. Stosunek tych wartości daje wymaganą wartość RRF dla projektowanej funkcji SIF biorącej czynny udział w ograniczaniu ryzyka wszystkich rozpatrywanych scenariuszy prowadzących do tych samych konsekwencji.

$$RRF_{SF} = \frac{UEF_{overall}}{TMEF} \quad (3)$$

W sytuacji, gdy w każdym scenariuszu prowadzącym do określonych konsekwencji zastosowano inną funkcję bezpieczeństwa SF, lub w sytuacji mieszanej, gdy w części scenariuszy pojawia się ta sama funkcja bezpieczeństwa, a w części różne funkcje, należy wyznaczyć RRF_{ZASTĘPCZE} wg formuły 3.

Następnie należy wstawić uzyskaną wartość RRF_{ZASTĘPCZE} jako RRF poszczególnych funkcji w rozpatrywanych scenariuszach. W kolejnych krokach można optymalizować uzyskane wyniki w sposób iteracyjny, poprzez korektę podstawianych wartości RRF do poszczególnych funkcji, w niewielki sposób zwiększając RRF funkcji występujących w scenariuszach o największym udziale w UEF_{OVERALL} przy znacznym zmniejszeniu RRF funkcji użytych w scenariuszach mniejszej wagi. Wagę każdego scenariusza wyznacza się, porównując wartość UEF tego scenariusza do UEF_{OVERALL}. Procedurę tę można wykonać automatycznie za pomocą oprogramowania ExSILentia®.

Initiating Event	Frequency [per year]	Bezpieczeństwo inherentne - bezpieczny projekt	IPLs						Intermediate Frequency [per year]	Comments				
			SIFB04	Zawór wentylacyjny pomiędzy zaworami gazowymi	SIFB04	SIFB14	SIFB04	SIFB14						
4.15.1. Nieszczelność głównych zaworów gazowych	0,01	P	0,1	P	3,23E-3	P	0,1	P	NA	P	NA	P	3,23E-7	SIFB03 - Monitorowanie położenia zamkniętego zaworów gazowych (SIL2, RRF 310), SIFB04 - Monitorowanie szczelności zaworów gazowych (SIL2, RRF 310), SIFB14 - Monitorowanie płomienia palników głównych (SIL2, RRF310).
		E	0,1	E	3,23E-3	E	0,1	E	NA	E	NA	E	3,23E-7	
		A	0,1	A	3,23E-3	A	NA	A	NA	A	NA	A	3,23E-7	
Niekontrolowane otwarcie zaworów gazowych - (błąd BMS, zacięcie zaworu w pozycji otwartej)	0,01	P	0,1	P	NA	P	NA	P	3,23E-3	P	NA	P	3,23E-6	
		E	0,1	E	NA	E	NA	E	3,23E-3	E	NA	E	3,23E-6	
		A	0,1	A	NA	A	NA	A	3,23E-3	A	NA	A	3,23E-6	
Brak zapłonu płomienia głównego podczas rozpalania	1,00E-3	P	NA	P	NA	P	NA	P	NA	P	3,23E-3	P	3,23E-6	
		E	NA	E	NA	E	NA	E	3,23E-3	E	NA	E	3,23E-6	
		A	NA	A	NA	A	NA	A	3,23E-3	A	NA	A	3,23E-6	
Zgaśnięcie płomienia głównego podczas pracy	1,00E-3	P	NA	P	NA	P	NA	P	NA	P	3,23E-3	P	3,23E-6	
		E	NA	E	NA	E	NA	E	3,23E-3	E	NA	E	3,23E-6	
		A	NA	A	NA	A	NA	A	3,23E-3	A	NA	A	3,23E-6	

Rys. 4. Przykładowy arkusz analizy LOPA wykonany w ramach usługi UDT-CERT. Konsekwencje: P – dla personelu, E – dla środowiska, A – dla majątku, NA – nie dotyczy Intermediate frequency – częstość zdarzenia ograniczonego według danego scenariusza

Na podstawie uzyskanego RRF_{SF} każdej funkcji bezpieczeństwa można określić jej docelowy poziom SIL (rys. 2). Częstą sytuacją prowadzącą do nieporozumień jest podanie projektantowi systemu SIS samej wartości docelowej SIL bez RRF_{SF}. Brak informacji o wymaganym współczynniku RRF powoduje, że projektant może użyć przy projektowaniu tej funkcji dolnej granicy RRF (np. dla SIL1 równej RRF = 11) zamiast RRF wymaganego dla właściwej redukcji ryzyka. Funkcja ta może wówczas nie spełniać wymagań redukcji ryzyka założonych podczas analizy LOPA.

Dokładność określenia poszczególnych wymagań RRF_{SF} i wynikających z tego docelowych poziomów SIL zależy od przyjętej odmiany analizy LOPA.

- Rozróżnić można tu odmianę jakościową i ilościową.
- Metoda ilościowa jest dokładniejsza od jakościowej, jednak wymaga większego nakładu pracy i użycia dokładnych wartości parametrów zastosowanych w równaniu 1.
- W analizie (rys. 2) użyto metody ilościowej.

Innym problemem spotykanym w analizie LOPA jest stosowanie kilku funkcji zabezpieczeniowych w jednym scenariuszu awaryjnym. W takiej sytuacji pojawia się zbyt duża stopni swobody w równaniu 1 oraz problem niezależności tych funkcji od siebie.

Wymaga to znacznej uwagi zespołu LOPA i znajomości konstrukcji systemu SIS w celu określenia parametrów niezawodnościowych wspólnych elementów. Główną zasadą w tym przypadku jest ograniczenie całkowitego RRF wszystkich funkcji w ramach jednego scenariusza przez RRF generowany przez wspólne elementy systemu SIS.

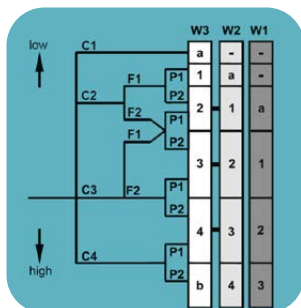


GRAF RYZYKA

Obok metody LOPA najczęściej stosowaną metodą przypisania SIL jest graf ryzyka (*risk graph*).

W odróżnieniu od analizy LOPA metoda ta nie daje wyniku w postaci częstości zdarzenia ograniczonego, a jedynie docelowy poziom SIL dla rozpatrywanej funkcji SIF tak, aby ryzyko było zredukowane do poziomu akceptowalnego.

Takie założenie wymaga kalibracji grafu oddzielnie dla każdego przedsięwzięcia (przykładowy graf ryzyka wraz z kalibracją – rys. 5). W metodzie tej przedstawione jest ryzyko w sposób jakościowy, za pomocą czterech parametrów (rys. 6).



Rys. 5. Graf ryzyka dla strat w ludziach. Objasnienia: 1, 2, 3, 4 – poziomy docelowe SIL, a – funkcja bez wymagań SIL ($RRF \leq 10$), – brak wymagań bezpieczeństwa, b – wymagane dodatkowe warstwy zabezpieczeń

Konsekwencje

- C1 – małe urazy
- C2 – duże urazy
- C3 – pojedyncze osoby zabite
- C4 – wiele osób zabitych

Częstość narażenia

- F1 – rzadka (0,1 czasu pracy)
- F2 – częsta (pow. 0,1 czasu pracy)

Możliwość uniknięcia zagrożenia

- P1 – możliwa w pewnych warunkach
- P2 – prawie niemożliwa

Prawdopodobieństwo wystąpienia

- W1 – bardzo małe (poniżej raz na 10 lat)
- W2 – małe (raz na 1–10 lat)
- W3 – duże (powyżej raz na rok)

W celu prawidłowego przeprowadzenia analizy tą metodą należy przyjąć następujące założenia:

analizowana funkcja nie bierze udziału w procesie redukcji ryzyka (została uszkodzona),

konsekwencje określone parametrem C zaczerpnięte są z matrycy ryzyka przedsiębiorstwa,

inne wymagane warstwy zabezpieczeń są i działają prawidłowo,

w przypadku konsekwencji dla ludzi pod uwagę bierze się człowieka najbardziej narażonego (nie uśrednia się skutków ani częstości przebywania).

Kalibrację grafu ryzyka przeprowadza się poprzez skorelowanie konsekwencji C grafu z odpowiednimi kategoriami skutków w matrycy, zaś częstość zdarzenia niebezpiecznego W z odpowiednimi częstościami ryzyka TA lub A dla tych kategorii skutków.

Parametrom P i F przypisuje się $RRF = 10$ dla wartości F1 lub P1 oraz $RRF = 1$ dla wartości F2 oraz P2. Jeżeli dla przykładu (rys. 6) docelowa częstość zdarzenia C3 – śmierć pojedynczych osób wg matrycy ryzyka wynosi $TMEF_{C3} = 10^{-4}/rok$, $RRF_{F1} = RRF_{P1} = 10$, zaś zdarzenie inicjujące po uwzględnieniu innych warstw zabezpieczeń ma częstość $f_{W2} = 0,1/rok$, wówczas kalibracja ma postać:

$$RRF_{SIF} = \frac{f_{W2}}{TMEF_{C3} \cdot RRF_{F1} \cdot RRF_{P1}} = \frac{0,1}{10^{-4} \cdot 10 \cdot 10} = 10 \quad (4)$$

$RRF_{SIF} = 10$ odpowiada dolnej granicy RRF dla poziomu SIL1, a taki poziom wskazany jest właśnie przez graf z przykładu dla ścieżki C3-F1-P1-W2 (rys. 5).

Oznacza to, że graf został prawidłowo skalibrowany. W metodzie tej brana jest pod uwagę dolna granica poziomu RRF dla pasma danego SIL, co daje margines bezpieczeństwa przy dowolnej interpretacji wyniku przypisania przez projektanta systemu. Kalibracja parametrów F i P jest jakościowa i wymaga wiedzy eksperckiej. Podaje ona warunki, jakie trzeba spełnić, aby rozwiązania opisane parametrami F1 i P1 mogły pełnić rolę niezależnych warstw zabezpieczeń. W opisanym przykładzie zaczerpnięto kalibrację tych parametrów z normy PN-EN61511-3.

Metoda grafu ryzyka jest dedykowaną metodą przypisania SIL dla zabezpieczeń w instalacjach kotłowych zgodnie z normą PN-EN50156-1 (przywołaną w normach przedmiotowych PN-EN12952-7 i PN-EN12953-6).

Po odpowiedniej kalibracji można ją wykorzystywać w przemyśle procesowym.

Cel ochrony:	Zabezpieczenie przed pracą palników bez potwierdzenia płomienia w kotle
Opis zagrożenia:	Brak sygnału płomienia po otwarciu zaworów olejowych może prowadzić do podania paliwa do paleniska pomimo braku płomienia, utworzenie atmosfery wybuchowej, zagrożenie dla ludzi
Akcje:	awaryjne zamknięcie zaworów olejowych odnośnego palnika (EGD21AA101/102)
Ocena ryzyka	
Konsekwencja	C2 Cieżkie trwałe obrażenia dla jednej lub więcej osób. Podczas normalnej eksploatacji maksymalna liczba osób, które są w ekspozycji: 1-2 osób (1 osób. obchodowy)
Częstotliwość i czas ekspozycji	F1 Osoba narażona w strefie zagrożenia przez mniej niż 10% czasu pracy.
Możliwość uniknięcia zagrożenia	P2 brak dostatecznego czasu na ucieczkę
Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia	W2 Scenariusze awaryjne: rozruch zimnego kotła, suszenie obmuru, pozostawienie otwartych zaworów pomimo braku potwierdzenia płomienia. Zabezpieczenia: niska liczba uruchomień w roku, wysokie prawdopodobieństwo zapłonu niespalonego paliwa przez inny palnik lub przez system zapłonowy, dodatkowy wakażnik analogowy dla operatora.
Wynik analizy	SIL1

Rys. 7. Wyniki przykładowej analizy SIL metodą grafu ryzyka

Graf ryzyka może być również stosowany do analizowania strat środowiskowych oraz materialnych po odpowiedniej rekonfiguracji i kalibracji grafu.

WNIOSKI

Do przypisania poziomów SIL dla funkcji zabezpieczających w instalacjach procesowych nadają się obie przedstawione metody.

Doświadczenie pokazuje jednak, że w analizie SIL w funkcji zabezpieczających układy paleniskowe i maszyny lepiej sprawdza się **graf ryzyka**, zaś w przypadku funkcji zabezpieczających instalacje procesowe lepsze efekty daje **analiza warstw zabezpieczeń**.

Efekt ten spowodowany jest różną koncentracją funkcji bezpieczeństwa w obu przypadkach.

Instalacje paleniskowe podlegają dość konserwatywnym zasadom budowy maszyn, wynikającym z kultury technicznej tego środowiska inżynierów. Normy typu C nakazują wręcz wyposażenie palenisk czy maszyn w różne, często dublujące się zabezpieczenia.

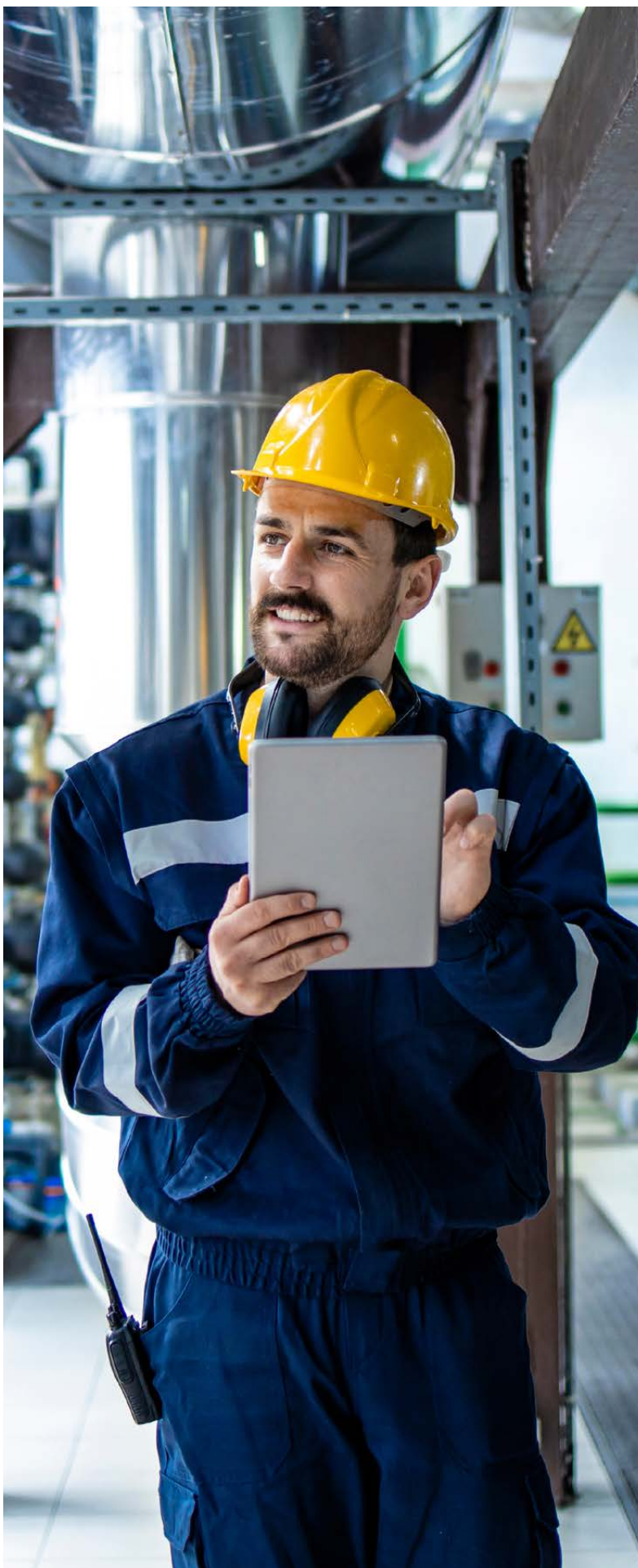
- Występowanie kilku zabezpieczeń w jednym scenariuszu awaryjnym znacznie utrudnia analizę LOPA przez wprowadzenie większej liczby stopni swobody.
- W przypadku instalacji procesowych najczęściej projektowane są pojedyncze funkcje bezpieczeństwa na okoliczność konkretnych scenariuszy awaryjnych.

W takich warunkach metoda LOPA nie tylko dokładnie i celnie przypisuje wymagany poziom SIL, ale pozwala oszacować całkowite ryzyko określonych zdarzeń, na które składa się wiele scenariuszy awaryjnych.

Porównując nakład pracy konieczny dla wykonania obu rodzajów analiz, można stwierdzić, że analiza LOPA jest kilkukrotnie bardziej pracochłonna od grafu ryzyka.

Literatura

1. PN-EN61511:2017 Części 1 i 3. Bezpieczeństwo funkcjonalne. Przyrządowe systemy bezpieczeństwa do sektora przemysłu procesowego.
2. CCPS:2015 Guidelines for initiating events and independent protection layers in layer of protection analysis.
3. Practical SIL Target Selection. Risk Analysis per IEC61511 Safety Lifecycle 2nd Edition.
4. Electrical & Mechanical Component Reliability Handbook. Volume 1 Electrical components.
5. Electrical & Mechanical Component Reliability Handbook. Volume 2 Mechanical components.



NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANA METODA OCENY RYZYKA – HAZOP



MGR INŻ. RYSZARD SAUK

Ekspert ds. Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Szczecinie

HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDIES) TO OPRACOWANA W LATACH 60. XX WIEKU W FIRMIE ICI METODA STOSOWANA POCZĄTKOWO DO IDENTYFIKACJI ZAGROŻEŃ PRZY PROJEKTOWANIU INSTALACJI CHEMICZNYCH. ANALIZA OPARTA JEST NA ZAŁOŻENIU, ŻE INSTALACJA JEST BEZPIECZNA, GDY NIE SĄ PRZEKROZONE ZAŁOŻONE PARAMETRY PROCESU, NP. CIŚNIENIE, TEMPERATURA LUB POZIOM, A DOPIERO ICH PRZEKROCZENIE MOŻE BYĆ ŹRÓDŁEM NIEPOŻĄDANYCH SKUTKÓW.

Upowszechnienie analizy HAZOP uwidoczniło konieczność jej unormowania. Opracowano normę IEC 61882:2001, a następnie – IEC 61882:2016 „Badania zagrożeń i zdolności do działania (badania HAZOP) – Przewodnik zastosowań”.

Istnieje dodatkowo wiele specyfikacji technicznych opisujących tę metodykę, różniących się znacznie w podejściu do analizy, ale uwzględniających szczególne potrzeby danej organizacji. Taka różnorodność spowodowała, że norma IEC 61882 jest bardzo ogólna i dokonuje syntezy stosowanych podejść. Uwzględnia to jej nazwa „Przewodnik zastosowań”. Jak sugeruje tytuł, nie daje recepty, jak wykonać HAZOP, tylko opisuje, do czego można go zastosować.

GENEZA OCENY RYZYKA

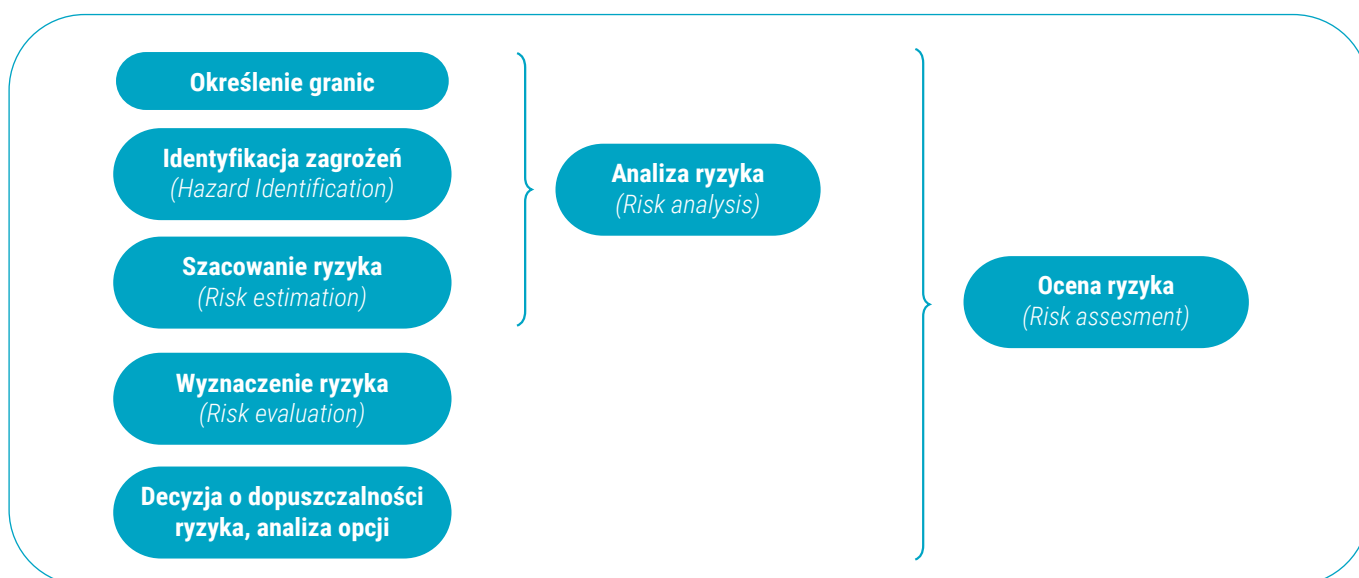
Postęp techniczny poza niewątpliwymi korzyściami pociągnął za sobą pojawienie się nowych zagrożeń na niespotykaną wcześniej skalę. Coraz większa złożoność rozbudowanych instalacji przemysłowych spowodowała, że spełnienie wymagań przepisów przez pojedyncze urządzenie nie gwarantuje bezpieczeństwa instalacji procesowej jako całości [1, 2]. Łączenie pojedynczo bezpiecznych urządzeń w całe systemy powoduje wzajemne interakcje będące źródłem nowych, niepożądanych scenariuszy awaryjnych.

Okazało się więc, że nie jest możliwe opracowanie wymogów uwzględniających wszystkie możliwe kombinacje urządzeń mogących wchodzić w skład instalacji, a co za tym idzie, należy zmienić podejście i analizować instalację jako całość. Skłoniło to do poszukiwania efektywnych metod analizy, a jedną z najpopularniejszych jest obecnie HAZOP.

Metoda wykorzystuje zestaw słów przewodnich (kluczowych) *guide words* i parametry procesu, których połączenie stymuluje i wspomaga zespół analityczny w poszukiwaniu możliwych realnych odchyłań mogących stanowić ryzyko.

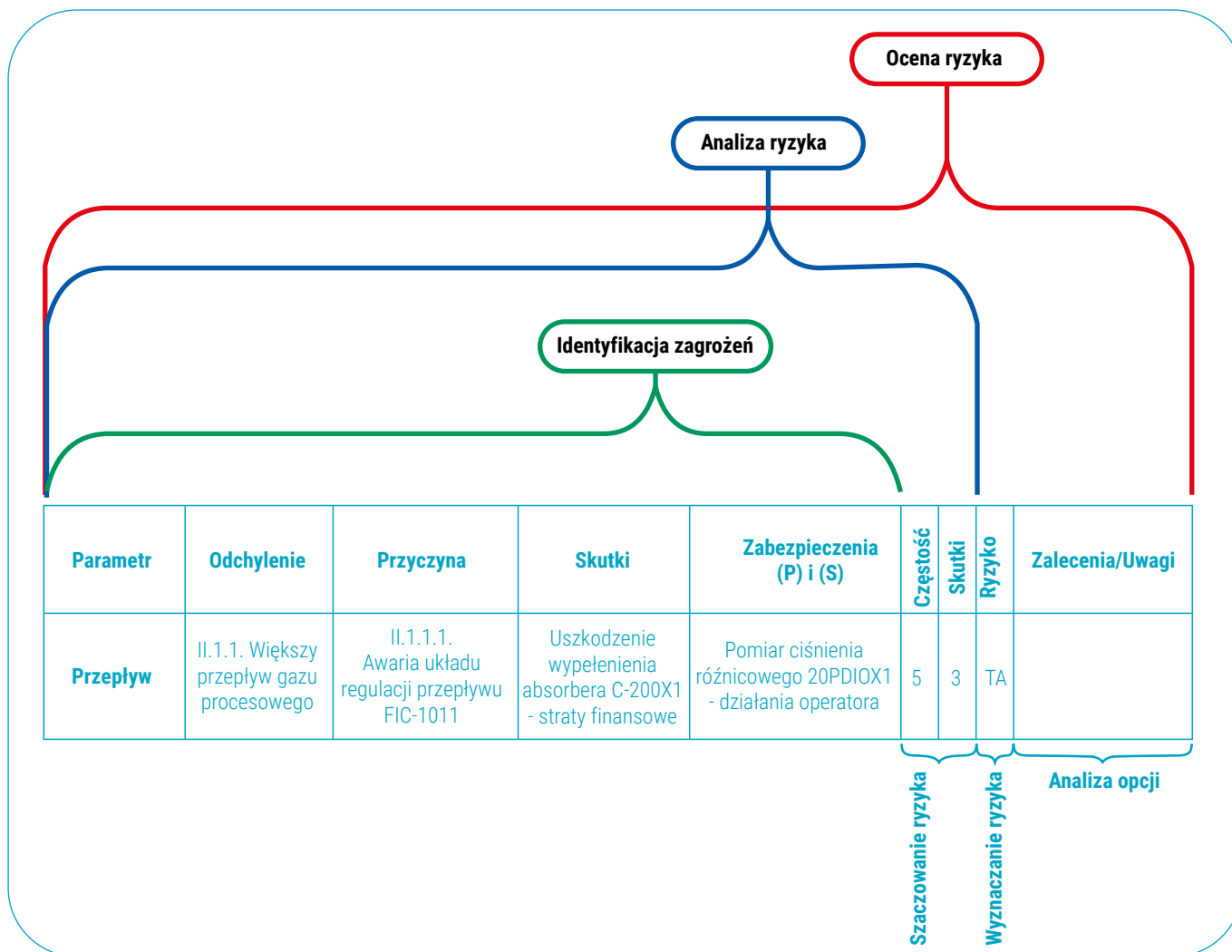
POJĘCIA

Opisując zagadnienia związane z bezpieczeństwem, często wykorzystuje się następujące pojęcia podstawowe: zagrożenie, ryzyko, identyfikacja zagrożeń, analiza ryzyka, ocena ryzyka, dlatego ważne jest opisanie ich znaczenia. Definicje te bywają różne, czasem zawarte w normach „znikają” po wycofaniu norm, pozostawiając pojęcia bez normatywnego opisu. W takich przypadkach jednak te pojęcia nadal funkcjonują, choć normy z różnych powodów wycofano.



Rys. 1. Etapy oceny ryzyka wg norm PN-IEC 60300-3-9:1999 i PN-EN ISO 14121-1:2008

ZAGROŻENIE (HAZARD) Potencjalne źródło szkody
SZKODA (HARM) Uraz fizyczny lub uszczerbek na zdrowiu, uszkodzenie mienia lub degradacja
RYZYKO (RISK) Kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia szkody i ciężkości tej szkody
IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ (HAZARD IDENTIFICATION) proces rozpoznawania, czy zagrożenie istnieje, oraz definiowanie jego charakterystyk
SZACOWANIE RYZYKA (RISK ESTIMATION) Określenie prawdopodobnej ciężkości szkody i prawdopodobieństwa jej wystąpienia
WYZNACZENIE / EWALUACJA RYZYKA (RISK EVALUATION) Proces porównywania wyników analizy ryzyka z kryteriami ryzyka w celu stwierdzenia, czy ryzyko lub jego wielkość są akceptowalne lub tolerowane
ANALIZA RYZYKA (RISK ANALYSIS) Kombinacja wyszczególnionych ograniczeń dotyczących maszyny, identyfikacji zagrożeń i szacowania ryzyka
OCENA RYZYKA (RISK ASSESSMENT) Całkowity proces obejmujący łącznie analizę ryzyka i wyznaczanie (<i>ewaluację</i>) ryzyka
SIL (SAFETY INTEGRITY LEVEL) Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa



Rys. 2. Przykład arkusza HAZOP z zaznaczonymi etapami oceny ryzyka

SKŁAD ZESPOŁU

Badanie HAZOP jest pracą zespołową prowadzoną na zasadzie burzy mózgów. Wiedza i doświadczenie zawodowe członków zespołu jest niezbędne do pozytywnego przeprowadzenia analizy. Zespół powinien składać się co najmniej z kilku członków:

- **Lidera** o odpowiednim doświadczeniu i znajomości metodyki HAZOP,
- **Sekretarza** zapisującego wyniki analizy (może to być także Lider),
- **Projektanta** lub innej osoby znającej dokładnie intencje projektowe analizowanej instalacji,
- Przedstawiciela **użytkownika** znającego szczegóły ruchowe prowadzenia procesu,
- **Automatyka** lub osoby zaznajomionej szczegółowo z układami zabezpieczeń analizowanej instalacji.

DOKUMENTACJA

Do przeprowadzenia analizy HAZOP instalacji procesowej niezbędne są elementy takie jak: schematy P&ID (schematy technologiczne z automatyką), opis procesu, schematy usytuowania, instrukcje itp.

Konieczny jest opis działania automatyki zabezpieczeniowej – matryce przyczynowo-skutkowe lub schematy logiczne zabezpieczeń. Pomocne są także schematy przepływowe PFD (*Process Flow Diagrams*).

PODZIAŁ NA WĘZŁY

Instalacje poddawane analizie bywają bardzo rozległe i skomplikowane. Wówczas nie jest możliwe prowadzenie jej badania jako całości. Gdy zachodzi taka okoliczność jest ona dzielona na mniejsze części zwane węzłami, a następnie, po określeniu ich granic, wykonuje się analizę wg optymalnej kolejności [3, 4, 5].

METODYKA

HAZOP bazuje na założeniu, że niepożądane skutki mogą się pojawić w wyniku powstania odchylenia od intencji projektowych. Metodykę pracy zespołu można sprowadzić do poniżej wskazanych kroków.

1. Połączenie słowa kluczowego i analizowanego parametru w celu uzyskania możliwego odchylenia
2. Poszukiwanie przyczyn i skutków danego odchylenia
3. Określenie istniejących zabezpieczeń
4. Określenie kategorii i częstości skutków oraz ryzyka (w przypadku HAZOP-u z rankingiem ryzyka)
5. Określenie zaleceń (jeżeli w ocenie zespołu jest ono potrzebne)

Elementem charakterystycznym dla analizy HAZOP jest odkrywanie możliwych odchyleń poprzez łączenie słów kluczowych z parametrami procesowymi. Takie inspirowanie zespołu pozwala nawet na odnalezienie odchyleń specyficznych jedynie dla danego systemu, co jest szczególnie pożądane, gdy bazowanie na doświadczeniach z podobnych instalacji jest niemożliwe lub niewystarczające.

CYKL ŻYCIA INSTALACJI A HAZOP

PODSTAWOWY CYKL ŻYCIA INSTALACJI PRZEMYSŁOWEJ

Projekt → Wykonanie → Eksploatacja → Utylizacja

CYKL REALNY DLA POTĘŻNYCH INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

Projekt → Wykonanie → Eksploatacja → (Decyzja o modernizacji) → Projekt (modernizacji)
Wykonanie (modernizacji) → Eksploatacja → (Decyzja o modernizacji) → Projekt ... itd.

W przemyśle procesowym analizę HAZOP można stosować, gdy istnieją już schematy P&ID. W trakcie eksploatacji wykonuje się tę analizę w przypadkach, gdy powzięta została decyzja o modernizacji, aby np. zdecydować o jej kierunkach lub sprecyzować instrukcje ruchowe. HAZOP-y projektu modernizacji są zalecane i pożądane, gdyż już wielokrotnie udokumentowano przypadki, że czasem nawet bardzo małe zmiany prowadziły do wielkich katastrof przemysłowych [6].

EFEKTY ANALIZY HAZOP

Poza zwiększeniem bezpieczeństwa przeprowadzenie analizy HAZOP pozwala na zwiększenie zdolności operacyjnych (...Operability...) oraz dokładniejsze wypełnienie oczekiwań inwestora co do nowej inwestycji. Należy sobie uzmysłowić, że nie jest możliwe takie sformułowanie SIWZ (Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia), aby przewidywał on z góry kierunki rozwoju projektu i formułował dla nich stanowisko inwestora. Dzięki prowadzeniu analizy HAZOP inwestor ma realny wpływ na finalny projekt praktycznie do samego końca, pomimo bardzo ogólnych zapisów SIWZ.

Obecnie w sektorze energetyki zawodowej przeprowadzenie analiz HAZOP jest praktycznie standardem. Normy zharmonizowane PN-EN 12952 (dotyczące kotłów wodno-rurowych) oraz PN-EN 12953 (dotyczące kotłów płomienicowo-płomieniówkowych) wymagają, aby wyznaczyć WYMAGANY poziom SIL dla zabezpieczeń realizowanych przez automatykę zabezpieczającą. Analiza HAZOP jest źródłem scenariuszy awaryjnych (wsadem) dla analizy SIL.

Ważnym powodem stosowania różnorodnych metod analitycznych jest także fakt, że koszt wprowadzania zmian rośnie dramatycznie wraz ze stopniem zaawansowania inwestycji. Na etapie projektu pewne zmiany mogą nie mieć wpływu na jej finalny koszt, a znacząco usprawnić działanie. Konieczność zmian odkryta w czasie odbiorów, poza kosztami wynikającymi z opóźnień, które mogą być czasem ogromne, może pociągać za sobą nawet wymianę zainstalowanych już urządzeń. Można temu zapobiec, wykonując HAZOP.

HAZOP jest obecnie najczęściej stosowaną metodą oceny ryzyka w przemyśle procesowym i energetyce. Upowszechnienie metody nastąpiło w USA około połowy lat 90. ubiegłego wieku. W Polsce UDT zaczął wykonywać pierwsze analizy HAZOP już w pierwszej dekadzie XXI wieku. Metoda polecana jest szczególnie przy projektowaniu nowo powstających obiektów, kiedy projekt jest już dobrze udokumentowany (istnieją schematy P&ID) oraz przy modernizacji istniejących instalacji, procesów czy obiektów.

Literatura

1. Sauk, R., 2016. Bezpieczeństwo procesowe w eksploatacji urządzeń ciśnieniowych, Rynek Inwestycji, 9-10/2015-2016, 141-143.
2. Sauk, R., 2016. Bezpieczeństwo procesowe w eksploatacji urządzeń ciśnieniowych, Inspektor. Wiosna 2014, 8-10.
3. Sauk, R., Markowski A.S., Moskal, F., 2015. Application of the graph theory and matrix calculus for optimal HAZOP nodes order determination, Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 35 (2015), 377-386.
4. Sauk, R., Moskal, F., 2014. Metody optymalizacji kolejności analizy węzłów HAZOP, Inż. Ap. Chem. 2014, 53, 1, 33-35.
5. Sauk, R., Moskal, F., 2014. Metody optymalizacji kolejności analizy węzłów HAZOP, Inspektor. Wiosna 2014, 11-15 (przedruk z Inż. Ap. Chem. 2014).
6. Sanders, R. E., 2005. Chemical Process Safety. Learning from Case Histories, 3-rd ed. Elsevier. Oxford, UK.
7. PN-EN 61882 :2016 Badania zagrożeń i zdolności do działania (badania HAZOP) – Przewodnik zastosowań.
8. PN-IEC 60300_3-9: 1999 „Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Analiza ryzyka w systemach technicznych.
9. PN-EN ISO 14121-1:2008 „Bezpieczeństwo maszyn – Ocena ryzyka – Część 1. Zasady.
10. PN-EN ISO 12100: 2012 „Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka”.

CERTYFIKACJA SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM FUNKCJONALNYM

FUNCTIONAL SAFETY MANAGEMENT – PN-EN 61508, PN-EN 61511



MGR INŻ. DOROTA BAŁACHOWSKA

Kierownik Wydziału Certyfikacji
Departament Certyfikacji
i Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego



Program certyfikacji systemu zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym FSM jest skierowany do producentów i użytkowników wyrobów, integratorów systemów, a także eksploatujących instalacje procesowe oraz technologiczne.

Bezpieczeństwo procesowe to dziedzina bezpieczeństwa skupiona głównie na zapobieganiu zagrożeniom występującym przy eksploatacji instalacji, w których zachodzą procesy chemiczne związane ze zmianą stanu skupienia medium bądź też z występowaniem niebezpiecznych substancji.

Bezpieczeństwo funkcjonalne to część bezpieczeństwa ogólnego odnoszącego się do instalacji lub jej części, którego zapewnienie zależy od właściwego działania odpowiednio zaprojektowanych systemów bądź urządzeń. Systemy te powinny być zaprojektowane tak, aby zadziałały we właściwy sposób w określonym czasie z uwzględnieniem możliwych błędów operatora, uszkodzeń sprzętu oraz zmian warunków środowiskowych.

CEL WDROŻENIA SYSTEMU ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM FUNKCJONALNYM

Celem wdrożenia systemu zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym jest zidentyfikowanie wszystkich czynności zarządzania, które są niezbędne do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa instalacji.

W przypadku systemów o określonym poziomie SIL (ang. Safety Integrity Level) wymagany jest nie tylko odpowiedni projekt techniczny, ale również czynności związane z organizacją i zarządzaniem. Oznacza to, że poziom nienaruszalności bezpieczeństwa w systemie nie może zostać osiągnięty bez zastosowania odpowiedniej metodologii zarządzania.

Normy dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego (PN-EN 61508, PN-EN 61511) wprowadzają wymóg przeprowadzania analiz zagrożeń i oceny ryzyka.

W przemyśle procesowym często występują instalacje, które w przypadku awarii sterowania procesem stanowią poważne zagrożenie dla ludzi, mienia i środowiska. Zgodnie z dzisiejszymi standardami technicznymi w tego rodzaju instalacjach stosuje się tak zwane przyrządowe systemy bezpieczeństwa SIS (ang. *safety instrumented system*). Systemy te rozpoznają krytyczne zdarzenia i wprowadzają proces w bezpieczny stan lub utrzymują go w nim.

Na podstawie analizy zagrożenia i oceny ryzyka dla każdego systemu SIS obowiązkowo określa się poziom nienaruszalności bezpieczeństwa – SIL. Istnieją cztery poziomy, przy czym SIL 1 oznacza najmniejsze, a SIL 4 największe ograniczenie ryzyka.

NA CZYM POLEGAJĄ ANALIZY ZAGROŻEŃ I OCENY RYZYKA?

Analizy zagrożeń oraz oceny ryzyka kierowane są do projektantów, integratorów, użytkowników lub właścicieli instalacji przemysłowych. Projektowanie i wytwarzanie technologicznych instalacji przemysłowych

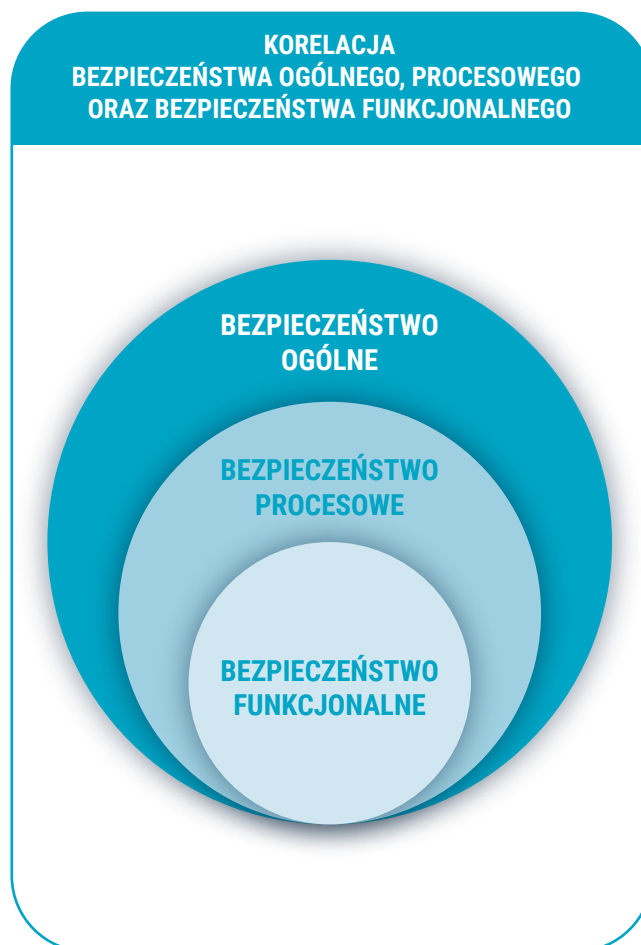
musi uwzględniać warunki zapewniające ich bezpieczną eksploatację. Dotyczy to w szczególności tych procesów przemysłowych, które wiążą się z przebiegiem reakcji chemicznych lub zmianą stanu skupienia substancji oraz stwarzają zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego, jak również dla środowiska.

Zagrożenia takie występują zwłaszcza w branżach: chemicznej, petrochemicznej, energetycznej, farmaceutycznej oraz w przemyśle gazowniczym.

W obszarze bezpieczeństwa Urząd Dozoru Technicznego oferuje usługi skierowane do wszystkich organizacji. Jedną z usług jest certyfikacja systemów zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym FSM (ang. *functional safety management*) na zgodność z normą PN-EN 61508 lub PN-EN 61511.

Certyfikacja jest jednym ze sposobów zapewnienia, że poddawany jej system spełnia wymagania bezpieczeństwa i jakości określone programem certyfikacji. Zaufanie do poszczególnych programów certyfikacji systemów osiąga się dzięki akceptowanemu na całym świecie procesowi oceny oraz ponownym, okresowym ocenom w ramach nadzoru nad certyfikatem.

Korelacja bezpieczeństwa ogólnego, procesowego oraz bezpieczeństwa funkcjonalnego



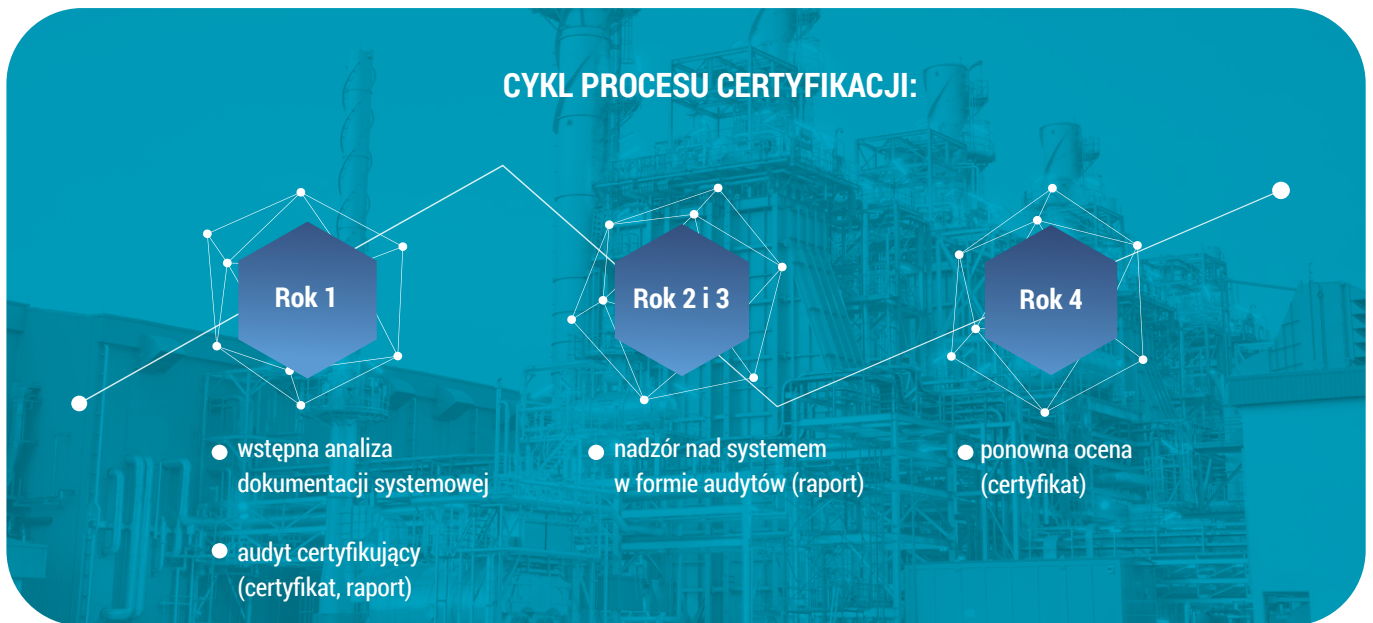
Rys. 1. Korelacja bezpieczeństwa ogólnego, procesowego oraz bezpieczeństwa funkcjonalnego

PROCES CERTYFIKACJI

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynkowym, Jednostka Certyfikująca UDT-CERT opracowała program certyfikacji systemu zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym FSM, skierowany do producentów i użytkowników wyrobów, integratorów systemów, a także eksploatujących instalacje procesowe oraz technologiczne. Program certyfikacji opublikowany jest na stronie internetowej www.udt.gov.pl. Normy PN-EN 61508, PN-EN 61511 i inne definiują wymagania dotyczące zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym, oceny bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz dokumentacji tych procedur. Bezpieczeństwo funkcjonalne jest rozumiane jako ogólne podejście do wszystkich działań w cyklu życia bezpieczeństwa systemów zawierających elektryczne i/lub elektroniczne, i/lub programowalne elektroniczne elementy składowe.

Na czym polega bezpieczeństwo?

Bezpieczeństwo zależy nie tylko od właściwego prowadzenia procesów i eliminowania sytuacji, w których ludzie mogą być narażeni na zagrożenia, ale również na zapobieganiu potencjalnym zagrożeniom w organizacji. Zapewnienie bezpieczeństwa i ochrony obiektów to dwie współistniejące, uzupełniające się i wzmacniające strategie ogólnego bezpieczeństwa [1].



Rys. 2. Cykl procesu certyfikacji

Proces certyfikacji ma na celu ocenę wdrożenia oraz skuteczności funkcjonowania systemu zarządzania. Realizowany jest w 3-letnim cyklu uwzględniającym nadzór nad wydanym certyfikatem. Audyt certyfikujący, realizowany w pierwszym roku cyklu, poprzedzony jest analizą dokumentacji klienta, również w kontekście zakresu jego działalności. Powyższa analiza umożliwia zarówno ocenę stopnia gotowości klienta do audytu, jak i zrozumienie systemu zarządzania klienta w zakresie normy dotyczącej systemu zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym przez jednostkę certyfikującą.

CO OBEJMUJE CERTYFIKACJA SYSTEMU ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM FUNKCJONALNYM?

Certyfikacja systemu zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym obejmuje:

- określenie wymaganych działań technicznych podczas każdej fazy cyklu życia instalacji procesowej w celu osiągnięcia wymaganego poziomu bezpieczeństwa,
- określenie ról i obowiązków zaangażowanych pracowników, wydziałów i organizacji odpowiedzialnych za każdą istotną fazę cyklu życia (zgodnie z obowiązującym schematem organizacyjnym),
- określenie środków organizacyjnych w celu efektywnego wykonywania wymagań technicznych.

Proces certyfikacji realizowany jest na podstawie niżej wymienionych dokumentów odniesienia:

- PN-EN 61508-1. *Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem – Część 1: Wymagania ogólne,*
- PN-EN 61511-1. *Bezpieczeństwo funkcjonalne – Przyrządowe systemy bezpieczeństwa do sektora przemysłu procesowego – Część 1: Schemat, definicje, wymagania dotyczące systemu, sprzętu i oprogramowania.*

UDT-CERT przeprowadza procesy certyfikacji systemów zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym oraz zatrudnia wykwalifikowanych audytorów posiadających odpowiednie kompetencje. Zespół audytorów UDT dysponuje zarazem możliwościami technicznymi do przeprowadzania ocen oraz niezbędną wiedzą w wymaganym obszarze.

Korzyści wynikające z certyfikacji systemów zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym

- Poprawa efektywności organizacji dzięki certyfikowanemu systemowi zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym
- Zaangażowanie organizacji w redukcję ryzyka – certyfikacja przeprowadzona dla wszystkich faz cyklu bezpieczeństwa
- Potwierdzenie kompetencji – spełnianie wymagań określonych w normach PN-EN 61508 i PN-EN 61511
- Certyfikowany FSM potwierdza, że produkt/system jest zgodny z normami oraz że procesy zarządzające cyklem życia produktu/systemu przeprowadzono według tych norm – **potwierdzenie przez niezależną stronę trzecią**



GWARANCJA POZIOMU BEZPIECZEŃSTWA

W świetle wzrastającej złożoności procesów produkcyjnych oraz rosnących kosztów inżynierskich efektywna inżynieria jest kluczowym czynnikiem w przemyśle procesowym. Cały proces powinien zapewnić skuteczne współdziałanie wszystkich elementów automatyki z systemem informacyjnym odpowiedzialnym za sterowanie, podatnym na zdarzenia zachodzące w ich środowisku. Spójność systemów prowadzi w sposób bezpośredni do minimalizacji nakładów inwestycyjnych czy kosztów eksploatacyjnych, ale przede wszystkim znacząco wpływa na poprawę niezawodności świadczenia usług.

Bezpieczeństwo procesowe, rozumiane jako brak niemożliwego do zaakceptowania ryzyka dla zdrowia, życia lub strat w majątku czy środowisku naturalnym, ma szczególne znaczenie w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, gazowniczym i w energetyce. Jest integralną częścią ogólnego bezpieczeństwa, odnosi się szczególnie do instalacji procesowych zawierających i przerabiających substancje chemiczne.

Bezpieczeństwo procesu produkcyjnego dotyczy bezpieczeństwa zarówno pracowników, jak i procesów technologicznych. Wiąże się to z takim zaprojektowaniem i wykonaniem technologicznych instalacji przemysłowych, które uwzględnią zapewnienie warunków dla ich bezpiecznego działania.

Rozwój technologii a wzrost zagrożeń

Współczesna gospodarka opiera się na wykorzystywaniu bardzo wielu różnorodnych technologii, które wykształciły specyficzne środowisko pracy. Obserwujemy nieodwracalny progres cywilizacyjny i technologiczny napędzany nieustannym dążeniem do innowacyjności. Konsekwencją tak dużego postępu gospodarczego jest ujawnienie się różnego rodzaju zagrożeń wywołanych działalnością człowieka [2].

Poprawa efektywności organizacji dzięki certyfikowanemu systemowi zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym to główny powód, dla którego warto przeprowadzić ocenę. Posiadanie certyfikatu UDT-CERT – poza prestiżem (certyfikat renomowanej marki uznawany w kraju oraz w środowisku międzynarodowym) – pozwala budować zaufanie w gronie inwestorów i klientów. Wzrost konkurencyjności ściśle wiąże się z zapewnieniem właściwego środowiska pracy. Każdy z procesów certyfikacji prowadzonych przez UDT-CERT to powierzona jednostce sprawa ludzi, która jest realizowana z zachowaniem terminów, bezstronnie i obiektywnie, z poszanowaniem przepisów prawa oraz pełną starannością.

Certyfikat, w odróżnieniu od innego rodzaju potwierdzeń kompetencji, wydaje wyłącznie niezależna strona trzecia. Stanowi to gwarancję odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w organizacji, ma bezpośredni wpływ na jakość usług oferowanych przez firmę oraz przyczynia się do wzrostu poziomu bezpieczeństwa technicznego w wielu dziedzinach gospodarki. Wyznacznikiem sukcesu na rynku jest z jednej strony zaspokojenie potrzeb klienta, a z drugiej zapewnienie, że wyrób cechuje się odpowiednią jakością i własnościami użytkowymi.

Z wielu względów certyfikacja systemów zarządzania, zarówno na etapie wytwarzania, jak i eksploatacji, jest obecnie wysoce ceniona, a często wprost wymagana.

Literatura

1. Markowski A.S., *Bezpieczeństwo procesów przemysłowych*, Łódź 2017.
2. Pruszkowski L., *HAZOP jako metoda wspomagająca zarządzanie bezpieczeństwem procesowym w przedsiębiorstwie*, „Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie” 2015, t. 42, nr 3.

SYSTEMY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI (AI) W PROCESIE ZARZĄDZANIA INTEGRALNOŚCIĄ MECHANICZNĄ URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH.

CZY MOŻLIWE JEST ZAPEWNIENIE BEZPIECZEŃSTWA?



MGR INŻ. TOMASZ KLINKOSZ

Ekspert Urządzeń Ciśnieniowych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Gdańsku

Command Prompt :

SZTUCZNA INTELIGENCJA (AI) TO SZYBKO ROZWIJAJĄCA SIĘ RODZINA TECHNOLOGII, KTÓRA MOŻE PRZYNIEŚĆ WACHLARZ KORZYŚCI EKONOMICZNYCH I SPOŁECZNYCH W CAŁYM SPEKTRUM BRANŻ I DZIAŁAŃ SPOŁECZNYCH. MOŻE POPRAWIĆ PRZEWIDYWANIA, OPTYMALIZACJĘ OPERACJI I ALOKACJĘ ZASOBÓW, A TAKŻE PERSONALIZACJĘ ŚWIADCZENIA USŁUG. WYKORZYSTANIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI MA POTENCJAŁ WSPIERANIA SPOŁECZNYCH I ŚRODOWISKOWYCH ZMIAN. JEST TEŻ ŹRÓDŁEM KLUCZOWEJ PRZEWAGI KONKURENCYJNEJ PRZEDSIĘBIORSTW I GOSPODARKI EUROPEJSKIEJ.

Jednak te same elementy i techniki, które napędzają korzyści społeczno-ekonomiczne wynikające z zastosowania AI, mogą również wiązać się z nowymi zagrożeniami i negatywnymi konsekwencjami dla jednostek i społeczeństwa. Dowodem tego mogą być tak niedawne doniesienia prasowe związane z zastosowaniem innowacyjnego rozwiązania, którym jest ChatGPT wdrożony przez firmę OpenAI. Włoski rząd wprowadził ograniczenia w dostępie do tej technologii, jak pisze portal money.pl [1]. Komisarz ds. rynku wewnętrznego Thierry Breton powiedział: „Sztuczna inteligencja jest środkiem, a nie celem. Ta technologia istnieje od kilkudziesięciu lat, ale osiągnęła nowe możliwości dzięki dostępnej obecnie mocy obliczeniowej. Oferuje ona ogromne możliwości w tak różnorodnych dziedzinach jak zdrowie, transport, energia, rolnictwo, turystyka czy bezpieczeństwo cybernetyczne, wiąże się jednak również z szeregiem zagrożeń” [2].

W świetle tempa zmian technologicznych Unia Europejska jest zdecydowana dążyć do wyważonego podejścia w zakresie AI [3]. W tym celu w kwietniu 2021 r. powstał projekt rozporządzenia Parlamentu Europejskiego dotyczącego ustanowienia zharmonizowanych przepisów związanych ze sztuczną inteligencją, tzw. **ARTIFICIAL INTELLIGENCE ACT**.

Tworzony akt prawny ma być stosowany bezpośrednio, czyli w ten sam sposób we wszystkich państwach członkowskich. W akcie tym, w celu zapewnienia bezpieczeństwa AI, przyjęto podejście oparte na analizie ryzyka.

Projekt rozporządzenia Unii Europejskiej dotyczy ustanowienia:
a) zharmonizowanych przepisów dotyczących wprowadzania do obrotu, oddawania do użytku i użytkowania systemów sztucznej inteligencji (systemów sztucznej inteligencji) w Unii,
a) zakazu niektórych praktyk związanych ze sztuczną inteligencją,
b) szczególnych wymogów dotyczących systemów sztucznej inteligencji wysokiego ryzyka oraz obowiązków operatorów takich systemów,
c) zharmonizowanych przepisów dotyczących przejrzystości systemów sztucznej inteligencji przeznaczonych do interakcji z osobami fizycznymi, systemów rozpoznawania emocji i systemów kategoryzacji biometrycznej oraz systemów sztucznej inteligencji wykorzystywanych do generowania treści obrazowych, dźwiękowych lub wideo oraz manipulowania nimi,
d) przepisów dotyczących monitorowania i nadzoru rynku [3] ¹ .

Pojęcie sztucznej inteligencji nie jest jednoznaczne i może być interpretowane różnie. Dlatego w projekcie ww. rozporządzenia podjęto próbę zdefiniowania AI jako „**systemu sztucznej inteligencji**”. Określono, że oznacza on **OPROGRAMOWANIE**, które zostało opracowane z wykorzystaniem jednej lub kilku technik i podejść wymienionych w załączniku I do rozporządzenia i które może, dla danego zestawu celów określonych przez człowieka, generować dane wyjściowe, takie jak treści, prognozy, zalecenia lub decyzje wpływające na środowiska, z którymi wchodzi w interakcję.

JAKIE TECHNOLOGIE OBJĘTE SĄ DEFINICJĄ SYSTEMU SZTUCZNEJ INTELIGENCJI?

W załączniku pierwszym do projektu rozporządzenia znajdziemy technologie mieszczące się w definicji systemu sztucznej inteligencji:

- a) podejścia oparte na uczeniu maszynowym, w tym uczeniu nadzorowanym, nienadzorowanym i uczeniu wzmacniającym, z wykorzystaniem szerokiej gamy metod obejmujących uczenie głębokie (*deep learning*),
- b) podejścia oparte na logice i wiedzy, w tym reprezentacja wiedzy, programowanie indukcyjne (logiczne), bazy wiedzy, mechanizmy wnioskowania i dedukcji, wnioskowanie (symboliczne) i systemy eksperckie,
- c) podejścia statystyczne, estymacja bayesowska, metody wyszukiwania i optymalizacji.

Jak widać, w definicji ujęto dość szeroką gamę technologii, w tym technologii stosowanych już obecnie w wielu gałęziach przemysłu. Definicja ta, a szczególnie uwzględnione w niej technologie, obecnie budzi szereg kontrowersji i może ulec modyfikacji w trakcie dalszych prac nad tym aktem prawnym. Istotne jest jednak uwzględnienie ryzyka, które niesie wdrażanie i stosowanie nowych technologii. Ważne jest również wdrożenie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, organizacyjnych oraz prawnych mających na celu wyeliminowanie lub ograniczenie ryzyk.

Zastosowanie ww. technologii w przemyśle, a zwłaszcza w zakresie mającym wpływ na bezpieczeństwo i ciągłość działania infrastruktury krytycznej, wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na zastosowania w elementach związanych z bezpieczeństwem.

Omawiany projekt rozporządzenia UE w części trzeciej zawiera wymagania dla tzw. systemów AI wysokiego ryzyka. Systemy kwalifikuje się do tej kategorii niezależnie od tego, czy są wprowadzane do obrotu, czy do użytku.

SYSTEM SZTUCZNEJ INTELIGENCJI UZNAJE SIĘ ZA SYSTEM WYSOKIEGO RYZYKA, JEŻELI SPEŁNIONE SĄ OBA NASTĘPUJĄCE WARUNKI:

- a) **system AI ma być stosowany jako element bezpieczeństwa produktu lub sam jest produktem objętym unijnym prawodawstwem harmonizacyjnym wymienionym w załączniku II projektu,**
- b) **produkt, którego elementem zabezpieczającym jest system AI, lub sam system AI jako produkt musi przejść ocenę zgodności przeprowadzoną przez stronę trzecią w celu wprowadzenia tego produktu do obrotu lub oddania do użytku zgodnie z prawodawstwem harmonizacyjnym wymienionym w załączniku II projektu.**

WŚRÓD AKTÓW PRAWA ZHARMONIZOWANEGO WYMENIONYCH W ZAŁĄCZNIKU II ZNALAZŁY SIĘ MIĘDZY INNYMI DYREKTYWA 2014/68/UE DOTYCZĄCA URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH ORAZ DYREKTYWA MASZYNOWA 2006/42/WE.

Systemy AI stanowiące elementy zabezpieczające lub mające wpływ na bezpieczeństwo produktów objętych m.in. wspomnianymi dyrektywami, zgodnie z projektem rozporządzenia dotyczącego AI, będą musiały spełniać wymagania określone dla systemów AI wysokiego ryzyka.

Za systemy AI wysokiego ryzyka uznaje się również systemy AI wymienione w załączniku III projektu rozporządzenia, do których zalicza się między innymi systemy AI w obszarze **zarządzania i eksploatacji infrastruktury krytycznej** przeznaczone do stosowania jako elementy bezpieczeństwa w zarządzaniu ruchem drogowym i prowadzeniu go oraz w dostawie wody, gazu, ogrzewania i energii elektrycznej.

W załączniku III do projektu rozporządzenia wymieniono część obszarów zaliczanych do infrastruktury krytycznej, jednakże lista może zostać rozszerzona, jeżeli systemy sztucznej inteligencji stwarzają zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa. Również wtedy, gdy ryzyko niekorzystnego wpływu na prawa podstawowe jest większe lub równoważne z ryzykiem stwarzanym przez systemy sztucznej inteligencji wysokiego ryzyka, o których mowa w załączniku III projektu rozporządzenia.

Analizując powyższe zapisy, można wnioskować, że wymagania te mogą objąć również instalacje chemiczne, rafineryjne i petrochemiczne, systemy gazowe – szeroko pojętą energetykę – zaklasyfikowane jako systemy infrastruktury krytycznej.

Komisja Europejska w projekcie rozporządzenia UE określiła główne obszary wymagań dla systemów AI wysokiego ryzyka:	Poza wymaganiami dla procesu oceny zgodności, oznakowania znakiem CE, wymagań dla producentów, importerów czy dystrybutorów, projekt rozporządzenia określa obowiązki i wymagania dla użytkowników systemów AI wysokiego ryzyka.
<ul style="list-style-type: none"> ● Zgodność z wymaganiami ● System zarządzania ryzykiem ● Dane i zarządzanie danymi ● Dokumentacja techniczna ● Utrzymywanie zapisów ● Przejrzystość i dostarczanie informacji użytkownikom ● Nadzór ludzki ● Dokładność, solidność i cyberbezpieczeństwo 	

Obszary wymagań wskazane w projekcie rozporządzenia nie odbiegają co do zasady od praktyki stosowanej w zarządzaniu bezpieczeństwem instalacji z zastosowaniem metodologii Risk-based Inspection, opisanej standardem API RP 580, uzupełnionej wymaganiami zawartymi w Warunkach Technicznych Urzędu Dozoru Technicznego WUDT-RBI. Ogólne

informacje dotyczące tej metodologii można znaleźć w serii artykułów zamieszczonych w Biuletynie INSPEKTOR [4] wydawanym przez Urząd Dozoru Technicznego oraz artykule *Dynamiczne zarządzanie ryzykiem instalacji przemysłowych. Optymalizacja procesu zarządzania ryzykiem z wykorzystaniem narzędzi przemysłu 4.0* [5].

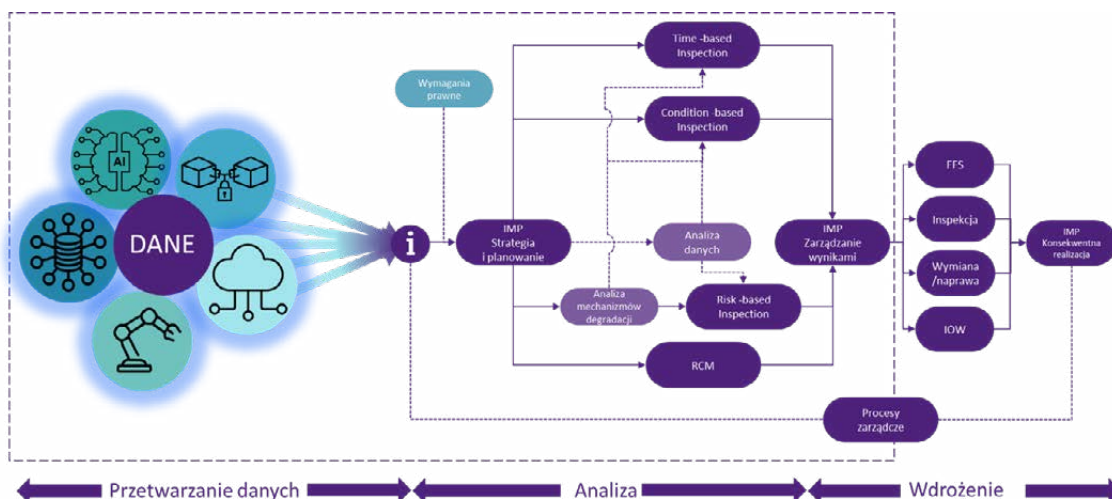
Rozwój technologii, a wraz z nim gromadzenie danych, ich zautomatyzowane analizowanie i wnioskowanie muszą być uwzględnione w procesie analizy i oceny ryzyka. **Ryzyka te będą zależały od konkretnego zastosowania.**

Jednym z zastosowań, w których technologie te są wdrażane, jest predykcjne utrzymanie ruchu urządzeń i instalacji technologicznych, w tym dynamiczne przewidywanie uszkodzeń oraz planowanie niezbędnych działań w celu monitorowania ryzyka.

Przykładem takiego systemu może być tzw. **cyfrowy bliźniak (Digital Twin)**. Rozwiązanie to szeroko stosowane jest w zarządzaniu niezawodnością i optymalizacji kosztów eksploatacji maszyn, takich jak turbospoły, wieże wiatrowe, a coraz częściej również stosowane jest dla urządzeń i instalacji ciśnieniowych w wielu gałęziach przemysłu energetycznego. UDT również rozwija swoje kompetencje w zakresie tej technologii, uczestnicząc jako partner merytoryczny w pilotażowym wdrożeniu cyfrowego bliźniaka dla części instalacji procesowej Rafinerii Gdańskiej [6, 7].

Jednym z największych wyzwań aplikacji cyfrowych bliźniaków jest często omawiany problem silosów danych. W branżach związanych z energetyką generowana jest ogromna różnorodność danych, którymi trzeba zarządzać za pomocą kilku różnych narzędzi programowych, baz danych i dokumentów. Wiąże się to z brakiem ustandaryzowanych struktur danych. Konieczna jest poprawa integracji danych w całym cyklu życia instalacji oraz zapewnienie ujednoliconego standardu danych i jednego wiarygodnego ich źródła do wymiany i udostępniania [8]. Wyzwanie to, poza dokładnością i wiarygodnością zastosowanych modeli predykcyjnych, ma zasadniczy wpływ na wiarygodność uzyskanych danych oraz możliwość ich wykorzystania w procesie podejmowania decyzji.

Kluczowe jest dostarczenie właściwych informacji w odpowiednim czasie do odpowiednich adresatów. Na poniższym rysunku przedstawiono przykładową strukturę przepływu danych i informacji w procesie podejmowania decyzji podczas tworzenia i realizacji programu zarządzania integralnością mechaniczną (IMP Integrity Management Program) urządzeń ciśnieniowych w przemyśle rafineryjnym.



Przedstawiony proces stanowi uzupełnienie stosowanej obecnie metodologii RBI przy dążeniu do optymalizacji procesu pozyskiwania danych i generowania informacji. Należy szczególnie odróżnić dane od informacji.

Niektóre dane mogą bezpośrednio stanowić nośnik informacji, jak np. rodzaj materiału konstrukcyjnego urządzenia ciśnieniowego czy wymiary geometryczne.

Inaczej jest w przypadku informacji niezbędnej do wyznaczenia prawdopodobieństwa uszkodzenia urządzenia, którą jest m.in. szybkość korozji wynikająca z aktywności mechanizmów degradacji oraz jej charakter (tzw. Corrosion Rate CR).

Komisja Europejska w projekcie rozporządzenia UE określiła główne obszary wymagań dla systemów AI wysokiego ryzyka.

- Zgodność z wymaganiami
- System zarządzania ryzykiem
- Dane i zarządzanie danymi
- Dokumentacja techniczna
- Utrzymywanie zapisów
- Przejrzystość i dostarczanie informacji użytkownikom
- Nadzór ludzki
- Dokładność, solidność i cyberbezpieczeństwo

Poza wymaganiami dla procesu oceny zgodności, oznakowania znakiem CE, wymagań dla producentów, importerów czy dystrybutorów, projekt rozporządzenia określa obowiązki i wymagania dla użytkowników systemów AI wysokiego ryzyka.

W każdym indywidualnym przypadku wpływ poszczególnych danych może być różny. W procesie RBI dane te są gromadzone, dokumentowane i analizowane przez inżyniera ds. korozji, a następnie informacja weryfikowana jest przez **Zespół RBI** [9]. Proces ten jest jednak czasochłonny i wymaga zaangażowania specjalistów z kilku branż. Optymalizacja tego procesu jest jednym z obszarów, w których np. algorytmy oparte na uczeniu maszynowym mogą stanowić wsparcie w poszukiwaniu korelacji pomiędzy danymi pozyskiwanymi z systemów monitorowania procesu.

Kluczowe jest ustalenie wiarygodności uzyskanej na podstawie danych informacji o CR. Procesy korozyjne są złożone, zmienne w czasie, a w przypadku procesów rafineryjnych również trudne do monitorowania. Zatem niepewność wynikająca z oszacowania prędkości korozji oraz charakteru spodziewanych uszkodzeń, tzn. czy spodziewamy się ubytków o charakterze np. lokalnym, czy ogólnym, zależy od tego, jaka strategia planowania zarządzania integralnością urządzenia zostanie przyjęta.

W przypadku urządzeń objętych dozorem technicznym UDT wymagania dla tego procesu, w tym jego dokumentowania, zawarto w warunkach WUDT-RBI [10]. Gdy proces ten realizowany jest przy wsparciu systemów sztucznej inteligencji, może istnieć również konieczność uwzględnienia wymagań wspomnianego wcześniej projektu rozporządzenia UE.

Czy zatem można zapewnić bezpieczeństwo, stosując rozwiązania oparte na systemach AI? Aktualnie nie można udzielić jednoznacznej odpowiedzi, jednak należy dążyć do zapewnienia ich bezpiecznego stosowania. Zależy to od użytej technologii oraz zakresu jej zastosowania. W znacznym stopniu bezpieczeństwo AI zależy również od sposobu jego wykorzystania. Istotne jest, aby w dążeniu do optymalizacji z wykorzystaniem systemów AI zachować szczególną ostrożność i analizować potencjalne ryzyka. Systemy te należy traktować jako wsparcie, a nie zastąpienie doświadczenia i wiedzy inżynierskiej, które szczególnie w początkowym procesie wdrażania odgrywają kluczową rolę. Ważne jest również odpowiednie dokumentowanie wszystkich przyjmowanych założeń dotyczących danych, ich obróbki oraz założeń i uproszczeń w stosowanych modelach. Aspekt ten został uwzględniony w projekcie wymagań prawnych UE [3].



Literatura

1. <https://www.money.pl/gospodarka/chatgpt-zablokowany-kolejne-kraje-mysla-o-podobnym-kroku-wlosi-dali-sygnal-6884970980604832a.html>.
2. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/pl/ip_21_1682/IP_21_1682_PL.pdf.
3. EUROPEAN COMMISSION Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL LAYING DOWN HARMONISED RULES ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ARTIFICIAL INTELLIGENCE ACT) AND AMENDING CERTAIN UNION LEGISLATIVE ACTS, Brussels, 21.4.2021.
4. <https://www.udt.gov.pl/inspektor-on-line>.
5. https://www.kierunekbmp.pl/Resources/magazyn/3_2022_chemia_portal.pdf.
6. Powstanie cyfrowa wersja gdańskiej rafinerii. Cyfrowy bliźniak infrastruktury <https://biznes.trojmiasto.pl/Powstanie-cyfrowa-wersja-gdanskiej-rafinerii-Cyfrowy-blizniak-infrastruktury-n169178.html>.
7. Microsoft stworzy cyfrowego bliźniaka rafinerii LOTOS, <https://www.computerworld.pl/news/Microsoft-stworzy-cyfrowego-blizniaka-rafinerii-LOTOS,440136.html>.
8. Libing Gaoorcid, Mengda Jia, Dongqing Liu, Process Digital Twin and Its Application in Petrochemical Industry, Journal of Software Engineering and Applications, Vol.15 No.8, August 2022.
9. Klinkosz T., Predykcja zużycia urządzeń ciśnieniowych i planowanie inspekcji urządzeń ciśnieniowych z wykorzystaniem metodologii RBI Risk Based Inspection, Biuletyn UDT „Inspektor” 2021, nr 1.
10. Warunki Urzędu Dozoru Technicznego – specyfikacja techniczna (wydanie 11.2022). Planowanie inspekcji urządzeń ciśnieniowych w oparciu o analizę ryzyka RBI (Risk-based Inspection).

WSPIERAMY ROZWÓJ DBAMY O CYBERBEZPIECZEŃTWO W ENERGETYCE



MGR INŻ. DOROTA BAŁACHOWSKA

Kierownik Wydziału Certyfikacji
Departament Certyfikacji
i Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego

**CYBER
SECURITY**



WSPÓŁCZESNA GOSPODARKA OPIERA SIĘ NA WYKORZYSTYWANIU BARDZO WIELU RÓŻNORODNYCH TECHNOLOGII, KTÓRE WYKSZTAŁCIŁY SPECYFICZNE ŚRODOWISKO PRACY. OBSERWUJEMY NIEODWRACALNY PROGRES CYWILIZACYJNY I TECHNOLOGICZNY NAPĘDZANY NIEUSTAN- NYM DĄŻENIEM DO INNOWACYJNOŚCI. KONSEKWENCJĄ TAK DUŻEGO POSTĘPU GOSPODARCZEGO JEST UJAWNIEŃ SIĘ RÓŻNEGO RODZAJU ZAGROZEŃ WYWOŁANYCH DZIAŁALNOŚCIĄ CZŁOWIEKA.

BEZPIECZEŃSTWO W PRZEMYŚLE, W SZCZEGÓLNOŚCI W SEKTORZE ENERGETYKI, ZALEŻY NIE TYLKO OD WŁAŚCIWEGO PROWADZENIA PROCESÓW I ELIMINACJI NARAŻENIA LUDZI NA SKUTKI ZAGROZEŃ, ALE POLEGA RÓWNIEŻ NA ZAPOBIEGANIU ATAKOM ZEWNĘTRZNYM, W TYM CYBERATAKOM. JEST TO ZADANIE DLA URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO, KTÓRE URZĄD REALIZUJE ZGODNIE Z OBOWIĄZUJĄCĄ WIZJĄ: LI- DER INNOWACYJNOŚCI W OBSZARZE BEZPIECZEŃSTWA PUBLICZNEGO, W TYM RÓWNIEŻ W OBSZARZE CYBERBEZPIECZEŃTWA.

Cyberbezpieczeństwo w energetyce to kluczowy aspekt, mający na celu ochronę systemów informatycznych przed atakami oraz zagrożeniami związanymi z prowadzoną działalnością kluczową dla gospodarki. W sektorze energetycznym zabezpieczenia te są niezwykle istotne ze względu na potencjalne skutki ataków na infrastrukturę energetyczną, które mogą prowadzić do awarii, przerw w dostawach energii czy poważnych konsekwencji dla bezpieczeństwa publicznego.

Bezpieczeństwo zależy nie tylko od właściwego prowadzenia procesów i eliminacji narażenia ludzi na skutki zagrożeń, ale polega również na zapobieganiu atakom zewnętrznym, w tym cyberatakam, atakom terrorystycznym czy próbami kradzieży aktywów stanowiących własność organizacji.

Zapewnienie bezpieczeństwa i ochrony obiektów to dwie współistniejące i wzajemnie uzupełniające się oraz wzmacniające się strategie ogólnego bezpieczeństwa [3].

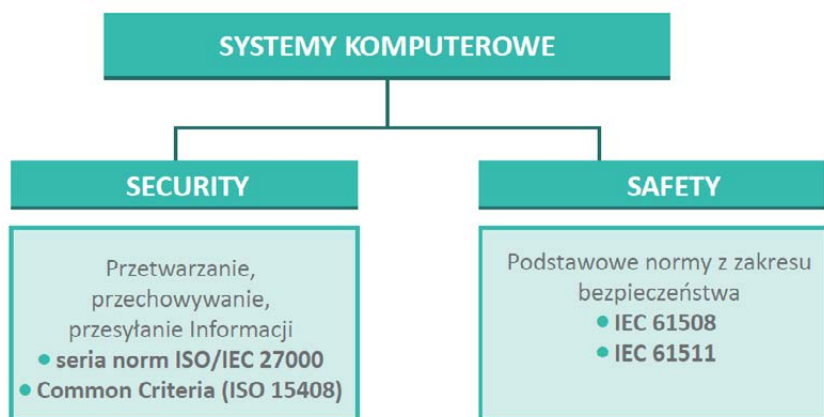
Cyberataki to próba degradacji określonego systemu komputerowego stanowiącego element np. instalacji procesowej. Systemy komputerowe odpowiadają za poprawne działania systemów kontrolno-pomiarowych i systemów bezpieczeństwa, zatem niezbędna jest ich niezakłócona i poprawna praca.

Cyberataki mogą spowolnić działanie komputerów, wpłynąć na szybkość sieci i w najgorszym przypadku wpłynąć na lub wręcz zatrzymać cały proces.

Systemy bezpieczeństwa instalacji procesowych są nieustannie rozwijane i rozszerzane o specyficzne systemy zabezpieczeń i ochrony przeznaczonych do nowych, nasilających się w ostatnich latach zagrożeń zewnętrznych, tj. zagrożeń terrorystycznych i cyberataków [3].

Systemy komputerowe stosowane w organizacji powinny być zintegrowane w obszarze security oraz safety.

Wyróżnia się dwa rodzaje systemów komputerowych z uwzględnieniem wymienionych obszarów, tj. systemy komputerowe odpowiedzialne za przetwarzanie, przechowywanie i przesyłanie informacji oraz systemy komputerowe odpowiedzialne za sterowanie, które reagują na zdarzenia zachodzące w ich środowisku poprzez wysyłanie do nich informacji sterującej. Przy budowaniu programu cyberbezpieczeństwa w organizacji należy uwzględnić integralność obu systemów.



Rys. 1. Integralność systemów komputerowych

Ataku nie da się w żaden sposób uniknąć.

Pytanie „czy?” staje się nieaktualne, wyparte przez pytanie „kiedy?”.

Zabezpieczenia o charakterze prewencyjnym są najważniejsze, ale niewystarczające. Dawniej celem ataków były przede wszystkim banki, obecnie istnieje wiele różnych celów. Każde połączenie z Internetem to okazja dla hakerów. Celem może być wszystko, ponieważ korzystanie z Internetu wiąże się z udostępnianiem informacji stanowiących cenne aktywa. Urządzenie wpięte do sieci, zwykle zabezpieczone hasłem, w momencie przejęcia przez atakującego może blokować lub uniemożliwiać działanie innych sieci. Możliwości prowadzenia cyberataków są nieograniczone. Postęp techniczny jest tak szybki, że otaczający świat z trudem radzi sobie z cyberzagrozeniami. Konieczne są inwestycje w procesy związane z detekcją i reakcją, tak by w porę wykryć intruza i zminimalizować straty związane z nieuniknionym cyberatakami.

CZYM JEST I CZYM POWINNO SIĘ ZAJMOWAĆ SZEROKO ROZUMIANE CYBERBEZPIECZEŃSTWO?

Ustawa o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa (UoKSC) definiuje cyberbezpieczeństwo jako odporność systemów informacyjnych na działania naruszające poufność, integralność, dostępność i autentyczność przetwarzanych danych lub związanych z nimi usług oferowanych przez te systemy. Natomiast bezpieczeństwo informacji to zachowanie poufności, integralności i dostępności informacji (ISO/IEC 27000).

Aby chronić informacje, każda z organizacji powinna wdrożyć program cyberbezpieczeństwa. Jest to narzędzie pozwalające realizować cele zawarte w strategii cyberbezpieczeństwa organizacji, obejmuje projekty i innego typu działania mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa informacji.

Audyt cyberbezpieczeństwa jest to systematyczny, niezależny i udokumentowany proces uzyskiwania dowodu z audytu oraz jego obiektywnej oceny w celu określenia stopnia spełnienia kryteriów audytu (ISO/IEC 27000) zawartych w strukturze ramowej Framework UTDCyber. UoKSC doprecyzowuje powyższą definicję w odniesieniu do operatorów usług kluczowych.

Audyt cyberbezpieczeństwa operatora usługi kluczowej – systematyczny, niezależny i udokumentowany proces uzyskiwania dowodu z audytu oraz jego obiektywnej oceny w celu określenia stopnia spełnienia obowiązku prawnego wynikającego z ustawy o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa.

Framework UTDCyber to innowacyjny program cyberbezpieczeństwa opracowany przez Urząd Dozoru Technicznego w oparciu o wymagania PN-EN ISO/IEC 27001 wraz z wytycznymi PN-EN ISO/IEC 27002, NIST Cybersecurity Framework, wymagania PN-EN ISO 22301 oraz wymagania ustawy o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa.

Aktywa informacyjne charakteryzują się dużym wolumenem, intensywnym przyrostem w czasie oraz różnorodnością formatów danych, wymagają adekwatnych metod składowania, przetwarzania i analizowania w celu osiągnięcia określonych celów – ekonomicznych, społecznych, politycznych itp. [2]. Skoro aktywa informacyjne wymagają odpowiedniego składowania, przetwarzania i analizowania, to na każdym z tych etapów wymagają ochrony i tym między innymi zajmuje się szeroko rozumiane cyberbezpieczeństwo – ochroną aktywów informacyjnych.

FRAMEWORK UDT^{CYBER}

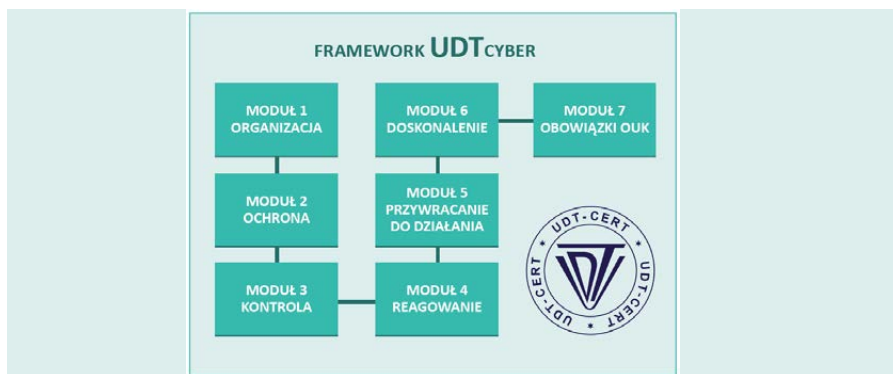
Metodyka Framework UDT^{Cyber} oparta jest na wymaganiach zawartych w PN-EN ISO/IEC 27001 [4], NIST Cybersecurity Framework, PN-EN ISO 22301, PN-ISO/IEC 27002 oraz na wymaganiach Ustawy o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa.



Opracowana metodyka to struktura ramowa systemu oceny stanowiąca jednocześnie podstawę do budowania programu cyberbezpieczeństwa w organizacji. Konieczność stworzenia niniejszej metodyki i opracowania na jej podstawie systemu oceny stosowanego podczas audytu cyberbezpieczeństwa wynikała z potrzeby zdobycia wiedzy, jak dobrze zbudować oraz ocenić wdrożony program cyberbezpieczeństwa.

Celem metodyki oceny Framework UDT^{Cyber} było opracowanie struktury ramowej systemu zarządzania, która zapewni odpowiedni poziom ochrony aktywów informacyjnych w organizacji przy jednoczesnym zachowaniu równowagi pomiędzy dążeniem do redukcji kosztów a dostarczeniem oczekiwanej wartości przy uwzględnieniu zdefiniowanych ryzyk.

Metodyka Framework UDT^{Cyber} zbudowana jest w systemie [7/7]. Podział uwzględnia 7 modułów oraz 7 zdefiniowanych obszarów stanowiących zakres oceny. Framework UDT^{Cyber} łatwo dostosować do potrzeb każdej organizacji oraz do potrzeb operatorów usług kluczowych.



Rys. 2. Framework UDT^{Cyber} – struktura

Dokument został opublikowany na stronie internetowej www.udt.gov.pl.

WYMAGANIA PRAWNE

Ustawa o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa (Dz.U. 2018 poz. 1560) została uchwalona przez Sejm RP 5 lipca 2018 r., obowiązuje od dnia 28 sierpnia 2018 r. W skład Krajowego Systemu Cyberbezpieczeństwa wchodzi m.in. instytucje administracji rządowej i samorządowej oraz najwięksi przedsiębiorcy z kluczowych sektorów gospodarki. W ustawie mowa jest zatem o: operatorach usług kluczowych (OUK), czyli m.in. największe banki, firmy z sektora energetycznego, przewoźnicy lotniczy i kolejowi, armatorzy, szpitale; dostawcach usług kluczowych (DUC), czyli m.in. internetowych platformach handlowych; organach właściwych (OW), czyli instytucjach publicznych, w których kompetencjach znajdzie się nadzór nad danym istotnym sektorem dla gospodarki.

OBOWIĄZKI OPERATORÓW USŁUG KLUCZOWYCH

Ustawa o KSC nakłada na operatorów usług kluczowych wskazane poniżej obowiązki.

Od momentu otrzymania od organu właściwego decyzji administracyjnej dany podmiot uznany za operatora usługi kluczowej jest zobowiązany do:

- w ciągu 3 miesięcy od otrzymania decyzji od organu właściwego operator: dokonuje szacowania ryzyka dla swoich usług kluczowych, zarządza incydentami, wyznacza osobę kontaktową z właściwym CSIRT i Pojedynczym Punktem Kontaktowym (PPK) przy Ministerstwie Cyfryzacji (MC), prowadzi działania edukacyjne wobec użytkowników, obsługuje incydenty we własnych systemach, zgłasza incydenty poważne, usuwa wskazywane podatności,
- w ciągu 6 miesięcy od otrzymania decyzji: wdraża odpowiednie i adekwatne do oszacowanego ryzyka środki techniczne i organizacyjne, zbiera informacje o zagrożeniach i podatnościach, stosuje środki zapobiegające i ograniczające wpływ incydentów na bezpieczeństwo systemu informacyjnego, stosuje wymaganą dokumentację,
- w ciągu 12 miesięcy od otrzymania decyzji: przygotowuje pierwszy audyt w rozumieniu ustawy, przekazuje sprawozdanie z audytu wskazanym w ustawie podmiotom.

OBOWIĄZKI OPERATORÓW USŁUG KLUCZOWYCH		
3 MIESIĄCE	6 MIESIĄCE	12 MIESIĄCE
<ul style="list-style-type: none"> ■ Szacowanie ryzyka ■ Zarządzanie incydentami ■ Wyznaczenie osoby kontaktowej ■ Działania edukacyjne wobec użytkowników ■ Obsługa incydentów ■ Zgłaszanie incydentów poważnych ■ Usuwanie podatności 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wdrożenie odpowiednich środków technicznych i organizacyjnych ■ Zbieranie informacji o zagrożeniach i podatnościach ■ Stosowanie środków zapobiegających i ograniczających wpływ incydentów ■ Stosowanie wymaganej dokumentacji 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pierwszy audyt w rozumieniu UoKSC ■ Przekazanie sprawozdania z audytu

Rys. 3. Obowiązki operatorów usług kluczowych

Operator usługi kluczowej ma obowiązek zapewnić przeprowadzenie co najmniej raz na dwa lata audytu bezpieczeństwa systemu informacyjnego, wykorzystywanego do świadczenia usługi kluczowej, zwanego dalej „audytem”. Pierwszy audyt powinien być przeprowadzony w ciągu 1 roku od momentu powołania na Operatora Usługi Kluczowej (art. 15.1. UoKSC).

Audyt może być przeprowadzany w zakresie właściwym do podejmowanych ocen bezpieczeństwa systemów informacyjnych, a więc np. audyt systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji (27001) i zarządzania ciągłością działania (22301)

AUDYT BEZPIECZEŃSTWA SYSTEMU INFORMACYJNEGO



Urząd Dozoru Technicznego przeprowadza audyty cyberbezpieczeństwa (audyt trzeciej strony) według ustalonych kryteriów i obszarów zdefiniowanych w ramach Framework UDT**Cyber**. Urząd jest jednostką akredytowaną w ramach norm:

- PN-EN ISO/IEC 27001. Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Systemy zarządzania bezpieczeństwem informacji – Wymagania
- PN-EN ISO 22301 - systemy zarządzania ciągłością działania oraz zatrudnia wykwalifikowanych audytorów posiadających odpowiednie kompetencje. Zespół audytorów UDT dysponuje zarazem możliwościami technicznymi do przeprowadzania audytów cyberbezpieczeństwa i niezbędną wiedzą w wymaganym obszarze.

Jeżeli nie jest dotrzymany któryś z ww. punktów, to można mówić tylko o „przełądzie według listy audytowej”, a nie o audycie [1].

WSPÓŁPRACA W OBSZARZE CYBERBEZPIECZEŃSTWA

Urząd Dozoru Technicznego w obszarze cyberbezpieczeństwa działa dla wszystkich organizacji, które korzystają z systemów teleinformatycznych i/lub przetwarzają dane osobowe, a w szczególności do operatorów usług kluczowych.

1. Audyt cyberbezpieczeństwa w myśl Ustawy o Krajowym Systemie

- Cyberbezpieczeństwa z dnia 5 lipca 2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 1560)

2. Certyfikacja

- Systemów zarządzania bezpieczeństwem informacji – PN-EN ISO/IEC 27001

- Systemów zarządzania ciągłością działania – PN-EN ISO 22301
- Systemów zarządzania bezpieczeństwem funkcjonalnym (ang. Functional Safety Management – FSM) – PN-EN 61508, PN-EN 61511

3. Szkolenia

Szkolenia UDT związane z audytem, certyfikacją oraz analizą zagrożeń w obszarze cyberbezpieczeństwa kierowane są zarówno do kadry zarządzającej, specjalistów odpowiedzialnych za cyberbezpieczeństwo, jak i pozostałych pracowników w organizacji.

U podstaw problemów z bezpieczeństwem leży brak wiedzy w zakresie cyberzagrożeń. Programy podnoszenia świadomości i wiedzy w zakresie bezpieczeństwa są najlepszym sposobem na wzrost odporności organizacji na cyberataki.



STRATEGIA CYBERBEZPIECZEŃSTWA Z UDT

Z doświadczeń Urzędu Dozoru Technicznego w tym obszarze wynika, że człowiek jest najsłabszym ogniwem, a niezadowolony czy nieświadomy pracownik to główne źródło zagrożenia. Dlatego też należy dbać o rozwój kompetencji pracowników, ponieważ inwestycje w tym obszarze w największym stopniu wpływają na poprawę bezpieczeństwa, dobrzy specjaliści w zakresie cyberbezpieczeństwa oraz świadomi cyberzagrożeń pracownicy biznesowi to podstawa. Szeroko pojęte bezpieczeństwo w obszarze **safety, security**, bezpieczeństwa informacji czy cyberbezpieczeństwa to proces, który musi być stale doskonalony, by przebiegał skutecznie.

Krajowy System Cyberbezpieczeństwa nie może rozwijać się bez aktywnego zaangażowania Urzędu Dozoru Technicznego. UDT posiada wykwalifikowaną kadrę, potencjał i możliwości realizacji zadań z obszaru cyberbezpieczeństwa. Przygotowany Framework UDT**Cyber** stanowi podstawę do wdrożenia strategii cyberbezpieczeństwa, która wraz z odpowiednimi mechanizmami współpracy z operatorami usług kluczowych wspiera rozwój obszaru cyberbezpieczeństwa. Jest to zadanie dla UDT realizowane zgodnie z wizją: Lider innowacyjności w obszarze bezpieczeństwa publicznego, w tym również w obszarze cyberbezpieczeństwa. Poczucie misji i sensu wspierania cyberbezpieczeństwa czyni otaczający nas świat bezpieczniejszym.

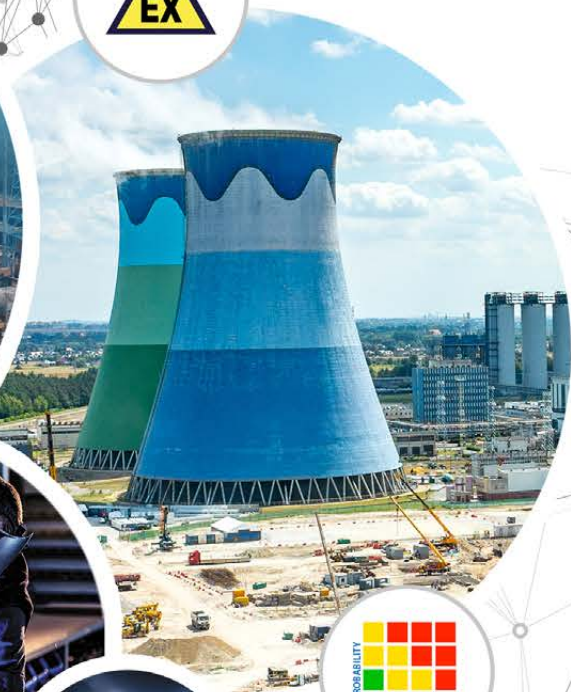
Literatura

1. Bezpieczeństwo informacyjne. Nowe wyzwania, Krzysztof Liderman, Warszawa 2017
2. Cyfryzacja życia w erze Big Data. Człowiek. Biznes. Państwo, Jerzy Surma, Warszawa 2017
3. Bezpieczeństwo procesów przemysłowych, Adam S. Markowski, Łódź 2017
4. PN-EN ISO/IEC 27001:2017-06 – Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Systemy zarządzania bezpieczeństwem informacji – Wymagania



UDT-CERT

KOMPLEKSOWE WSPARCIE DLA ENERGETYKI



- Analiza zagrożeń i ryzyka
- Analiza niezawodności układów bezpieczeństwa
- Ocena zgodności – Dyrektywy UE
- Badania laboratoryjne
- Ekspertyzy techniczne
- ATEX
- Nadzór inżynierski



22 57 22 100



www.udt.gov.pl

