

# ANALIZA HAZOP DLA INSTALACJI ASU

## INSTALACJA ROZDZIAŁU POWIETRZA ASU – ANALIZA WARUNKÓW EKSPLOATACJI ZBIORNIKÓW W BLOKACH ZIMNA



### **KRZYSZTOF FIŁOŃCZUK**

Główny Specjalista Urzędzeń Ciśnieniowych  
Dział Urzędzeń Ciśnieniowych we Wrocławiu  
Urząd Dozoru Technicznego



### **PAWEŁ NARECKI**

Główny Specjalista Urzędzeń Ciśnieniowych  
Dział Urzędzeń Ciśnieniowych we Wrocławiu  
Urząd Dozoru Technicznego

Gazy techniczne mają szerokie zastosowanie we wszystkich gałęziach przemysłu. Gazy czyste oraz przygotowane mieszanki gazowe są wykorzystywane w wielu procesach technologicznych, począwszy od branży związanej z produkcją i przetwarzaniem żywności, a na obróbce metali kończąc. W związku z coraz większym zapotrzebowaniem na gazy techniczne, rozwinęły się metody uzyskiwania czystych gazów technicznych.

Rozdział mieszanin gazowych można uzyskać, stosując membrany przepuszczalne lub metody sorpcyjne.

Jednakże w przypadku konieczności uzyskania dużych ilości produktów gazowych, przekraczających 200 ton na dobę, stosuje się niemal wyłącznie metody kriogeniczne.

**METODA KRIOGENICZNA** polega na rozdzieleniu powietrza poprzez jego skroplenie, a następnie poddanie skroplonej mieszaniny procesowi rektyfikacji, czyli rozdzieleniu powietrza poprzez jego wielokrotne skroplenie i odparowanie.

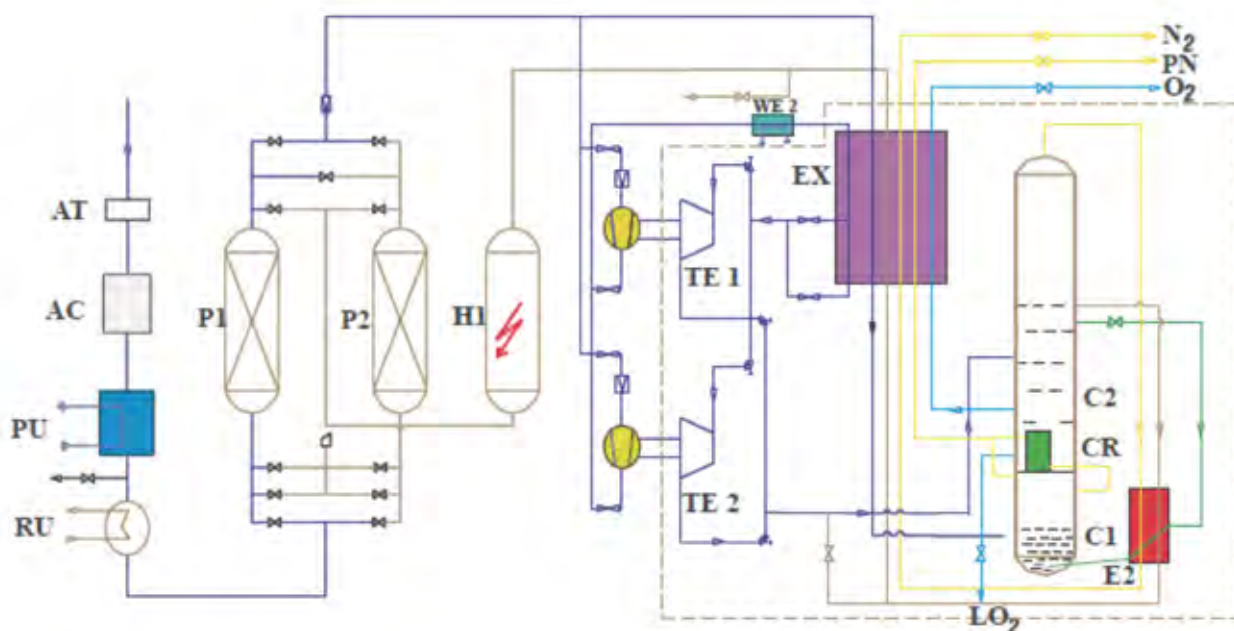


## KRIOGENICZNE JEDNOSTKI ROZDZIAŁU POWIETRZA (ASU AIR SEPARATION UNIT)

W procesie skraplania powietrza wykorzystywane jest zjawisko izentalpowego dławienia (Joule'a-Thomsona) powietrza wstępnie oziębionego w rekuperacyjnym wymienniku ciepła, a następnie rozdzielenie go na tlen i azot w kolumnie rektyfikacyjnej (kolumna Lindego).

W praktyce instalacje rozdziału powietrza ASU podzielone są na następujące sekcje:

- **UKŁAD SPRĘŻANIA I WSTĘPNEGO CHŁODZENIA** – wstępne oczyszczenie powietrza z pyłu i cząstek stałych na filtrach mechanicznych, sprężenie powietrza w sprężarce do około 5 barów oraz usunięcie wilgoci w chłodnicach międzystopniowych, a następnie oczyszczenie powietrza w chłodnicach bezpośredniego kontaktu w celu usunięcia  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  i  $\text{NH}_3$ ,
- **UKŁAD SIT MOLEKULARNYCH** – oczyszczanie powietrza z węglowodorów, pary wodnej,  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$  na adsorberach z sitami molekularnymi,
- **UKŁAD ROZDZIAŁU I SCHŁADZANIE STRUMIENI PROCESOWYCH** – schładzanie powietrza i rektyfikacja w kolumnie Lindego (blok zimna – Cold Box – układ rozdziału powietrza złożony z kolumny rektyfikacyjnej wysoko/niskociśnieniowej, kondensatorów i wymienników ciepła umieszczonych we wspólnej obudowie i zaizolowanych np. perlitem, węglą mineralną),
- **SKŁADOWANIE I NAPEŁNIANIE** – zbiorniki magazynowe i stanowiska załadownicze gazów technicznych.



Schemat PFD (Process Flow Diagram) ASU (opracowane przez ING. L. & A. BOSCHI ITALY)

AT – filtr powietrza, AC – sprężarka powietrza, PU – jednostka oczyszczania, RU – chłodzenie wstępne, P1/2 – sita molekularne, H1 – podgrzewacz, TE1/2 – turboexpander, EX – główny wymiennik ciepła, C1 – kolumna, C2 – kolumna niskociśnieniowa, E2 – dochładzacz, CR – reboiler.

### ZAGROŻENIA NA INSTALACJI ASU

Bezpieczeństwo pracy kriogenicznej instalacji rozdziału powietrza zależy od prawidłowej kontroli zanieczyszczeń wchodzących i przechodzących przez instalację ASU.

W latach dziewięćdziesiątych na instalacjach rozdziału powietrza ASU, Bintulu w Malezji i Fuchun w Chinach, miały miejsca poważne awarie związane z pracą instalacji. Oba te zdarzenia były rezultatem gromadzenia się węglowodorów w reboilerach kolumn destylacyjnych Lindego, co doprowadziło do wybuchu, zniszczenia instalacji ASU, obrażeń obsługi oraz poważnych uszkodzeń w sąsiedztwie instalacji.

W rezultacie tych wypadków, w celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji oraz zminimalizowania zagrożeń na instalacjach ASU, Europejskie Stowarzyszenie Gazów Technicznych (EIGA) opracowało wytyczne „Safe Practices Guide for Cryogenic Air Separation Plants” Doc. 147/20 Revision of Doc. 147/13 oraz „Safe operation of Reboilers/Condensers in Air Separation Unit” Doc. 65/20 Revision of Doc. 65/13.

Dokumenty te opierają się na doświadczeniach firm członkowskich EIGA, które obsługują kriogeniczne jednostki separacji powietrza (ASU).

Większa część powietrza oraz niektóre składniki śladowe są rozdzielane, dając pożądane produkty, takie jak: tlen, azot, argon oraz hel, neon, krypton lub ksenon.

Niektóre składniki zamarzają w temperaturach kriogenicznych i mogą spowodować problemy w pracy lub problemy związane z bezpieczeństwem na skutek blokowania małych kanałów i rurek.

Inne składniki mogą zagęszczać się w instalacji ASU i tworzyć palne mieszanki z tlenem lub wzbogaconym powietrzem. Pozostałe składniki mogą powodować korozję i prowadzić do występowania problemów eksploatacyjnych i skrócenia żywotności instalacji.

Poniższa tabela przedstawia klasyfikację składników w powietrzu, mogących powodować problemy na instalacji ASU [1].

Składniki powodujące niedrożność	Składniki palne lub chemicznie czynne	Składniki powodujące korozję
<ul style="list-style-type: none"> <li>woda (H<sub>2</sub>O)</li> <li>dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>)</li> <li>podtlenek azotu (N<sub>2</sub>O)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>metan (CH<sub>4</sub>)</li> <li>acetylen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)</li> <li>etylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</li> <li>etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)</li> <li>propylen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)</li> <li>propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)</li> <li>tlenki azotu (CO<sub>x</sub>)</li> <li>ozon (O<sub>3</sub>)</li> <li>pozostałe węglowodory</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>)</li> <li>trójtlenek siarki (SO<sub>3</sub>)</li> <li>siarkowódor (H<sub>2</sub>S)</li> <li>chlor (Cl<sub>2</sub>)</li> <li>kwas chlorowodorowy (HCl)</li> <li>amoniak (NH<sub>3</sub>)</li> <li>pozostałe związki chloru i siarki</li> </ul>

Składniki powodujące niedrożność, same nie zagrażają bezpieczeństwu, ale mogą gromadzić się i powodować w reboilerach suche wrzenie lub wrzenie z ograniczoną wydajnością oraz nawarstwianie się węglowodorów. Suche wrzenie jest procesem, w którym ciecz całkowicie odparowuje, powodując, że składniki w wysokiej temperaturze wrzenia, znajdujące się w cieczy, ulegają koncentracji i wytrąceniu. Węglowodory lub składniki powodujące zatykanie przedostające się do kriogenicznej części instalacji, gromadzą się najczęściej w zbiornikach ściekowych reboilera.

Jeżeli pozwoli się na wzrost stężenia zanieczyszczeń, to mogą one tworzyć wybuchowe mieszaniny z tlenem lub, w przypadku zanieczyszczeń obojętnych, zestałać się i zatykać kanały reboilera.

Instalacje ASU są projektowane dla normalnych poziomów zanieczyszczeń atmosferycznych. Gdy instalacja jest położona w bliskim sąsiedztwie instalacji produkującej acetylen, zakładów chemicznych lub rafinerii, należy przeprowadzić analizę potencjalnych źródeł zanieczyszczeń powietrza.

Ocenę potencjalnego zagrożenia zanieczyszczenia powietrza przez przemysł należy przeprowadzać raz w roku lub wcześniej, jeżeli zostały zidentyfikowane nowe potencjalne źródła zagrożeń.

Głównymi źródłami zanieczyszczeń węglowodorami dla instalacji rozdziału powietrza są: odpowietrzenia z instalacji procesowych, kominy, obszary utylizacji, wycieki procesowe, wyloty z silników spalinowych wewnętrzznego spalania, generatorów lub kotłów, odpowietrzacze układów smarowania oraz wszelkie inne procesy spalania.

Węglowodory wchodzące do instalacji ASU z powietrzem mogą gromadzić się w kilku miejscach:
• reboiler (wannowy, z przepływem dolnym),
• parownik tlenu,
• adsorbery cieczy bogatej,
• adsorbery ciekłego tlenu,
• linie odprowadzenia produktów głównych wymienników ciepła,
• ślepe odgałęzienia rurociągów (miejscowe wrzenie prowadzące do koncentracji zanieczyszczeń).

W zależności od konstrukcji reboilera dopuszcza się maksymalne poziomy zanieczyszczeń [1] jak przedstawiono w tabeli.

Składnik		Maksymalne dopuszczalne stężenie (ppm/v)	
		Reboiler wannowy	Reboiler z przepływem dolnym
metan	CH <sub>4</sub>	500	500
acetylen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,5	0,5
etylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	200	15
etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	250	15
propylen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	35	1
propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	100	1
węglowodory C <sub>4</sub>		5	1
węglowodory ogółem (jako CH <sub>4</sub> )		500	500
dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>	4,0	0,5
podtlenek azotu	N <sub>2</sub> O	100	5

Ze względu na bardzo wysoką reaktywność węglowodorów w ciekłym tlenie, nawet niewielkie ilości mogą powodować wybuchy, mogące doprowadzić do zniszczenia reboilera lub parownika. Z tego powodu należy dołożyć wszelkich starań, aby zapobiec przedostaniu się i gromadzeniu się węglowodorów w instalacji ASU.

Można temu zapobiec poprzez eksploataowanie instalacji zgodnie z projektem lub podejmowania działań zabezpieczających na wypadek nagłego skoku stężenia węglowodorów. W instalacjach, gdzie jest możliwość, należy stosować analizatory monitorujące poziom zanieczyszczeń powietrza wlotowego do instalacji oraz monitorujące w sposób ciągły pomiar węglowodorów w ciekłym tlenie.

Aby nie dopuścić do gromadzenia się węglowodorów w instalacji należy podejmować niezbędne kroki w celu ich usunięcia. Realizować to można za pomocą:

- OCZYSZCZANIA CIEKŁEGO TLENU – utrzymanie na poziomie co najmniej 0,5 % całkowitej produkcji tlenu,
- OKRESOWE USUWANIE CIECZY – okresowe usuwanie cieczy zanieczyszczonej poprzez zwiększanie obniżanie poziomów cieczy w reboilerze.

#### UWAGA!

W przypadku przekroczenia poziomów alarmowych dopuszczalnych stężeń węglowodorów należy przeprowadzić odgrzew (odsranianie) instalacji ASU, w celu usunięcia resztek zanieczyszczeń, które mogły nagromadzić się w instalacji podczas zakłóceń w pracy. W skrajnym przypadku należy przeprowadzić awaryjne zatrzymanie instalacji.

#### ANALIZA WARUNKÓW EKSPLOATACJI ZBIORNIKÓW W BLOKACH ZIMNA

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 roku w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu, eksploatujący przygotowuje urządzenie ciśnieniowe do badań technicznych w zakresie umożliwiającym ich przeprowadzenie. Dla zbiorników zainstalowanych w blokach zimna (Cold Box) badania okresowe w zakresie rewizji wewnętrznej i próby ciśnieniowej należy przeprowadzić w okresach remontowych, nie rzadziej jednak niż co 10 lat.

Paragraf 30 ww. rozporządzenia daje możliwość eksploatującemu, po przeprowadzeniu przez niego analizy warunków eksploatacji, zastąpić okresową próbę ciśnieniową oraz rewizję wewnętrzną, NADZOREM NAD EKSPLOATACJĄ I OKRESOWĄ ANALIZĄ WARUNKÓW EKSPLOATACJI w zakresie uzgodnionym z organem właściwej jednostki dozoru technicznego. Wówczas badania okresowe w zakresie rewizji wewnętrznej i próby ciśnieniowej wykonuje się podczas naprawy lub modernizacji.

Analizę warunków eksploatacji należy przeprowadzić w oparciu o **Materiały Techniczne Nr 5/2014 „Instalacje kriogenicznego rozdzielu powietrza. Badania eksploatacyjne zbiorników w blokach zimna (ang. Cold Box)”[2].**

- Zastąpienie badań w ramach działań UDT należy poprzedzić analizą zapewnienia bezpieczeństwa eksploatacji instalacji z wykorzystaniem np. badań HAZOP, których celem jest ustalenie, czy rozpatrywana instalacja ASU spełnia wymagania EIGA (Doc. 147/20, Doc. 65/20).
- **Analizę HAZOP** należy przeprowadzić w ramach ekspertyzy technicznej. W tym przypadku wartością dodaną dla eksploatującego jest posiadanie aktualnego raportu z analizy zagrożeń.
- Można również wykonać analizę przedłożonego przez eksploatującego raportu HAZOP. W tym celu wydaje się zasadne powołanie zespołu analitycznego, złożonego z ekspertów UDT w zakresie bezpieczeństwa, którzy przy udziale służb eksploatującego dokonają oceny raportu HAZOP.
- Analiza HAZOP powinna być poszerzona o procedury i instrukcje eksploatującego w zakresie min. uruchamiania i odstawiania instalacji, usuwania zanieczyszczeń, odgrzewu czy remontów.

#### EKSPERCKI ZESPÓŁ

HAZOP (HAZards and OPerability Study) to opracowana w latach 60. XX wieku w firmie ICI metoda stosowana do identyfikacji zagrożeń przy projektowaniu instalacji chemicznych. Z biegiem lat upowszechniła się w całym szeroko rozumianym sektorze chemicznym, a następnie znalazła zastosowanie w pozostałych gałęziach przemysłu, a nawet w zarządzaniu (HAZOP proceduralny).

Upowszechnienie analizy HAZOP uwidoczniło konieczność jej unormowania, PN-EN 61882:2016 „Badania zagrożeń i zdolności do działania (badania HAZOP) – Przewodnik zastosowań”.

Analiza HAZOP jest pracą zespołową opartą na zasadzie burzy mózgów. Zespół powinien składać się z lidera o odpowiednim doświadczeniu i znajomości metodyki HAZOP, sekretarza zapisującego wyniki analizy oraz osób posiadających niezbędną wiedzę i doświadczenie w zakresie analizowanej instalacji. Są to m.in. projektant, technolog, automatyk oraz pracownicy utrzymania ruchu (mechanik, elektryk).

#### DOKUMENTACJA TECHNICZNA INSTALACJI

W celu przeprowadzenia analizy HAZOP niezbędna jest dokumentacja techniczna instalacji. Powinna ona zawierać co najmniej: opis procesu, schematy P&ID, opis działania automatyki zabezpieczającej (diagram przyczynowo-skutkowy, wykaz alarmów i blokad), instrukcje technologiczne, ruchowe i awaryjne, specyfikacje aparatów/urządzeń, plany usytuowania, listę stosowanych substancji i ich karty charakterystyki oraz inne istotne informacje niezbędne do przeprowadzenia analizy.

#### PODZIAŁ INSTALACJI

W przypadku, gdy stopień skomplikowania analizowanej instalacji uniemożliwia przeprowadzenie jej badania jako całości, należy ją podzielić na mniejsze części tzw. węzły, a następnie po określeniu ich granic wykonać analizę każdego z nich według optymalnej kolejności [3]. Podziału instalacji na węzły należy dokonać przed rozpoczęciem analizy w fazie analizy dokumentacji technicznej.

#### KLUCZE BEZPIECZEŃSTWA

Analiza oparta jest na założeniu, że instalacja jest bezpieczna, gdy nie są przekroczone założone parametry procesu (np. ciśnienie, temperatura, poziom itd.), a dopiero ich przekroczenie może być źródłem niepożądanych skutków. Z tych względów metoda wykorzystuje zestaw słów przewodnich (kluczowych); **guide words**, i parametry procesu, których połączenie stymuluje i wspomaga zespół analityczny w poszukiwaniu możliwych, realnych odchylenia, mogących stanowić ryzyko.

#### SCHEMAT PROWADZENIA HAZOP

Sposób przeprowadzania analizy HAZOP powinien być prowadzony według ustalonego schematu:

- połączenie parametru i słowa kluczowego w celu uzyskania możliwego odchylenia,
- określenie przyczyny i skutku danego odchylenia,
- określenia istniejących zabezpieczeń na instalacji,
- wyznaczenie kategorii częstości i skutków związanych z danym odchyleniem oraz wyznaczenie ryzyka zgodnie z matrycą ryzyka (dla analizy HAZOP z rankingiem ryzyka),
- określenie zaleceń (wynikających z ryzyka nieakceptowalnego lub wynikających z doraźnych potrzeb).

Wyniki analizy HAZOP zapisywane są w arkuszach roboczych, które zawierają informacje o rozpatrywanych węzłach (połączenie parametr, słowo kluczowe, interpretacja).

**Analiza HAZOP dedykowana jest do danej instalacji. Powinna być przeprowadzona przy udziale pracowników fizyczne ją nadzorujących i mających pełny zakres wiedzy na jej temat.**

**Należy unikać „uniwersalnych” analiz HAZOP, które nie opisują realnych zagrożeń, mogących wystąpić na analizowanej instalacji, a stanowiących jedynie zestawienie przykładowych scenariuszy.**

**SZCZEGÓŁOWY TRYB POSTĘPOWANIA W ZAKRESIE PROWADZENIA ANALIZ ZAGROŻEŃ I RYZYKA PRZEDSTAWIONO W WYTYCZNYCH URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO „PROWADZENIE ANALIZ I OCENA RYZYKA” WYDANIE 1 Z 2020 ROKU.**

- W ramach analizy warunków eksploatacji należy dokonać przeglądu scenariuszy uwzględniających straty ludzkie i dla środowiska.
- Straty finansowe, czy utraty wizerunku, nie powinny być rozpatrywane w kategoriach możliwości zastąpienia badań (np. gdy ryzyko zostanie wyznaczone na poziomie nieakceptowalnym).



**KOMPLEKSOWOŚĆ**

Pomimo, że procedura zastępowania badań dotyczy zbiorników zainstalowanych tylko w bloku zimna, to analiza HAZOP musi obejmować całą instalację powietrza wlotowego do bloku zimna, to jest filtry wlotowe, sprężarki powietrza oraz układy usuwania zanieczyszczeń. Z analizy można wyłączyć np. układy smarowania sprężarek, ekspanderów, chłodni wyparnych czy freonowych wież chłodniczych. Należy jednak uwzględnić możliwość przedostania się do układu oleju czy też freonu.

**RAPORT I ZASTĄPIENIE BADAŃ OKRESOWYCH**

Analiza HAZOP kończy się opracowaniem raportu końcowego. Praktyka takich analiz pokazuje, że często w raportach końcowych znajdują się uwagi i zalecenia, które muszą być zrealizowane przed wykonaniem przez inspektora rewizji zewnętrznej na obiekcie.

Wniosek eksploatującego o zastąpienie badań okresowych zbiorników w bloku zimna powinien obejmować min. dokumentację zdjęciową fundamentów, ścian skrzyni (oschronienia w okresie zimowym), dokumentację kontroli próżni czy instalacji azotu izolacyjnego.

**REWIZJA ZEWNĘTRZNA**

Rewizja zewnętrzna wraz z nadzorem nad eksploatacją powinna być wykonana podczas pracy instalacji, o określonej porze roku i porównywalnych warunkach pogodowych. W trakcie rewizji zewnętrznej należy dokonać **praktycznej weryfikacji** wykonania czynności związanych z eksploatacją instalacji ASU, określonych w wewnętrznych **procedurach eksploatującego**.

PROCEDURY	PRAKTYCZNA WERYFIKACJA
Szczególnie należy zwrócić uwagę na procedury:	W ramach rewizji należy przeprowadzić następujące badania i kontrole:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• uruchomienia i zatrzymanie instalacji separacji powietrza,</li> <li>• usuwania zanieczyszczeń powietrza,</li> <li>• odgrzewu instalacji,</li> <li>• nadzoru i obsługi ruchu instalacji,</li> <li>• nadzorowania wyposażenia pomiarowego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• oględziny zewnętrzne skrzyni bloku zimna wraz ze sprawdzeniem mocowań rurociągów, połączeń kołnierzowych, armatury oraz osprzętu zabezpieczającego i ciśnieniowego,</li> <li>• kontrola pracy instalacji w zakresie monitoringu powietrza, dwutlenku węgla, tlenków azotu i węglowodorów (analiza danych w systemach sterowania),</li> <li>• sprawdzenie bieżących warunków eksploatacji.</li> </ul>

Na podstawie wyników analizy warunków eksploatacji należy ustalić czasookres wykonywania rewizji zewnętrznych. W przypadkach budzących wątpliwości czas do terminu rewizji zewnętrznej powinien zostać skrócony.

W przypadku wprowadzenia przez eksploatującego istotnych zmian w instalacji czy sterowaniu, należy wykonać uzupełniającą analizę warunków eksploatacji. W innym wypadku analizę wykonuje się raz na 10 lat.

**PODSUMOWANIE**

Pozornie instalacje rozdziału powietrza ASU wydają się być bezpieczne i nie powinny stanowić większych zagrożeń. Gazy biorące udział w procesie (powietrze, tlen i azot) nie mają właściwości wybuchowych, trujących czy żrących. Jednakże, niewłaściwie prowadzenie procesu technologicznego czy wzrost zanieczyszczeń powietrza w otoczeniu zakładu, np. rozbudowa strefy przemysłowej, mogą doprowadzić do wybuchu instalacji. Należy o tym pamiętać podczas procesu zastępowania badań w zakresie rewizji wewnętrznej i próby ciśnieniowej zbiorników zainstalowanych w bloku zimna.

Literatura:

1. Safe operation of Reboilers/Condensers in Air Separation Unit Doc 65/20 Revision of Doc 65/13.
2. Materiały Techniczne Nr 5/2014 „Instalacje kriogenicznego rozdziału powietrza. Badania eksploatacyjne zbiorników w blokach zimna (ang. Cold Box)”.
3. Sauk R., Moskal F., „Metody optymalizacji kolejności analizy węzłów HAZOP”, Inż. Ap. Chem. 1/2014 (szczegóły na stronie: [http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/2014/2014-1/InzA-pChem\\_2014\\_1\\_033-035.pdf](http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/2014/2014-1/InzA-pChem_2014_1_033-035.pdf)).