

I/PN/064.3244/2015/G

**INSTRUKCJA PRZEDŁUŻANIA CZASU PRACY POWYŻEJ 200 000 GODZIN
INSTALACJI RUROCIĄGOWYCH W ELEKTROCIĘPŁOWNI PKN ORLEN S.A.
PODLEGAJĄCYCH URZĘDOWI DOZORU TECHNICZNEGO**

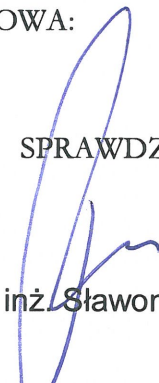
AUTOR:
dr Wojciech Brunné
mgr inż. Bartosz Borcz
mgr inż. Marcin Kijowski
mgr inż. Rafał Szyja
mgr inż. Radosław Stanek

ZAMAWIAJĄCY: **PKN ORLEN S.A.**

UŻYTKOWNIK: **Elektrociepłownia PKN ORLEN S.A.**

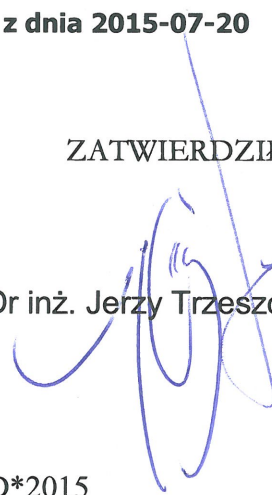
UMOWA: **50/2015/2738 (5600005523) z dnia 2015-07-20**
KP: 2738

SPRAWDZIŁ:


Mgr inż. Sławomir Rajca

Egz. nr

ZATWIERDZIŁ:


Dr inż. Jerzy Trzeszczyński

KATOWICE*LISTOPAD*2015

40-534 KATOWICE, ul. Wróbli 38 skr. poczt. 2130
tel. +48 32 251 87 39, fax. +48 32 251 36 19, e-mail: pronovum@pronovum.pl

Rozwiązania przedstawione w niniejszym dokumencie podlegają ochronie zgodnie z postanowieniami zawartej Umowy oraz przepisami Ustawy z dnia 4 lutego 1994r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2006r. Nr 90 poz. 631 z późn. zm.). Korzystanie z tego dokumentu w sposób odmienny od ustalonego w Umowie, w szczególności jego powielanie w całości lub w części do celów innych niż wskazane w Umowie, wymaga uprzedniej pisemnej zgody Zarządu Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” Sp. z o.o.

Niniejsza dokumentacja została sporządzona dla elementu (urządzenia) wyraźnie w niej wskazanego. Wykorzystanie dokumentacji w całości lub w części dla innych elementów (urządzeń) stanowi naruszenie sztuki inżynierskiej, a Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. nie będzie ponosić odpowiedzialności za skutki takich działań.

SPIS TREŚCI

1. CEL INSTRUKCJI	2
2. PRZEDMIOT INSTRUKCJI	2
3. PRZEZNACZENIE INSTRUKCJI.....	2
4. WYTYCZNE PRZEDŁUŻANIA CZASU PRACY ELEMENTÓW WYSOKOPREŻNYCH I WYSOKOTEMPERATUROWYCH RUROCIĄGÓW PAROWYCH.....	2
4.1. METODOLOGIA DOPUSZCZENIA INSTALACJI RUROCIĄGOWYCH DO PRZEDŁUŻONEJ EKSPLOATACJI ORAZ OKREŚLENIA OPTIMALNEGO PROGRAMU BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH.....	5
4.2. ELEMENTY KRYTYCZNE RUROCIĄGÓW.	6
4.3. PRZEGLĄD WIEDZY I DOKUMENTACJI.....	6
4.4. TRASA RUROCIĄGÓW ORAZ ZAMOCOWANIA.....	7
4.5. PRZYCZYNY I CHARAKTER USZKODZEŃ	7
4.6. STAN TECHNICZNY ELEMENTÓW RUROCIĄGÓW I INSTALACJI – ZAKRES DANYCH I INFORMACJI.....	8
4.7. STAN TECHNICZNY RUROCIĄGÓW I INSTALACJI - OBLICZENIA.....	9
4.8. RZECZYWISTE WARUNKI PRACY – REJESTRACJA I ANALIZA	11
4.9. RZECZYWISTY STAN METALU NA PODSTAWIE BADAŃ	12
4.9.1. Podstawowe badania metalograficzne	12
4.9.2. Badania specjalne.....	13
4.9.3. Badania elementów wycofanych z eksploatacji.....	13
4.10. STOPIEŃ WYCZERPANIA TRWAŁOŚCI MATERIAŁU	14
4.11. PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI ELEMENTÓW KRYTYCZNYCH	14
4.12. NADZÓR DIAGNOSTYCZNY	15
4.13. DOKUMENTACJA BADAŃ I OCEN STANU TECHNICZNEGO	15
4.14. ANALIZA AWARII	15
4.15. KWALIFIKACJA ELEMENTÓW DO DALSZEJ PRACY	16
5. ORGANIZACJA DIAGNOSTYKI	17
6. ZALECENIA REMONTOWE.....	17
7. ZALECENIA EKSPLOATACYJNE.....	18
8. PODSTAWY TECHNICZNO – PRAWNE INSTRUKCJI.....	18
9. LITERATURA.....	19

Załącznik nr 1 – Schematy rurociągów

Załącznik nr 2 – Programy badań

Załącznik nr 3 – Analiza ryzyka

1. CEL INSTRUKCJI

Celem Instrukcji jest opracowanie jednolitego sposobu postępowania przy kwalifikowaniu elementów do pracy powyżej 200 000 godzin oraz nadzoru nad eksploatacją instalacji rurociągowych zainstalowanych w Elektrociepłowni PKN Orlen S.A. w Płocku podlegających nadzorowi ze strony Urzędu Dozoru Technicznego.

Instrukcja zawiera metodologiczne podstawy do opracowania oceny stanu technicznego rurociągów oraz do prognozowania ich trwałości po przekroczeniu trwałości projektowej.

Instrukcję opracowano w oparciu o doświadczenia własne [1,2,4-9] zdobyte podczas prac realizowanych dla długoeksploatowanych bloków energetycznych w energetyce zawodowej oraz uwzględniając Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego [3]. Instrukcję po odpowiednich korektach zwłaszcza dotyczących programu badań można stosować do innych rurociągów zainstalowanych w Elektrociepłowni PKN Orlen S.A.

2. PRZEDMIOT INSTRUKCJI

Instrukcja obejmuje swym zakresem instalacje rurociągów pary świeżej w rejonie kolektora pętlowego [Załącznik 1] tj.:

- kolektor pary świeżej (obydwie nitki),
- rurociągi pary świeżej z kotłów K1÷K8 od spoin obwodowych na komorach wylotowych i/lub zasuwach stropowych do kolektora,
- rurociągi z kolektora do spoin obwodowych na zaworach szybkozamykających turbin TG-1÷TG-6,
- rurociągi pary technologicznej od kolektora do spoin obwodowych na pierwszych zasuwach i/lub zaworach odcinających,
- pozostałe rurociągi odchodzące i/lub wchodzące od kolektora do spoin obwodowych na zasuwach i/lub zaworach odcinających.

3. PRZEZNACZENIE INSTRUKCJI

Instrukcja przeznaczona jest dla specjalistów zarządzania majątkiem elektrociepłowni zajmujących się utrzymaniem stanu technicznego instalacji rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych, w szczególności zajmujących się planowaniem diagnostyki i remontów rurociągów.

4. WYTYCZNE PRZEDŁUŻANIA CZASU PRACY ELEMENTÓW WYSOKOPRĘŻNYCH I WYSOKOTEMPERATUROWYCH RUROCIĄGÓW PAROWYCH

Obecnie czas eksploatacji przedmiotowych rurociągów podlegających UDT Odział Płock nie przekroczył 165 000 godzin eksploatacji. Wyniki dotychczasowych prac diagnostycznych polegających na ocenie stanu technicznego elementów krytycznych, w czasie pomiędzy rewizjami, nie wykazywały uszkodzeń pochodzenia eksploatacyjnego.

Rzeczywiste grubości ścianek elementów są znacząco wyższe od minimalnych obliczeniowych grubości, przy założonym czasie 200 000 godzin i projektowych parametrach pary, stanowiąc główne źródło trwałości resztkowej dla dalszego czasu eksploatacji. Obrazy mikrostruktury metalu badanych elementów krytycznych były typowe dla zastosowanych gatunków materiału jak i czasu i warunków eksploatacji. Stan mikrostruktury nie wykazywał zmian pełzaniowych świadczących o wyczerpaniu trwałości materiałów powyżej 50%. W związku z powyższym obecny stan techniczny nie budzi zastrzeżeń, co do możliwości dalszej bezpiecznej eksploatacji rurociągów, przy dotychczasowym podejściu diagnostycznym, do końca trwałości projektowej tj. 200 000 godzin pracy.

Uwzględniając:

- obecny stan techniczny elementów rurociągowych,
- oczekiwania Użytkownika dotyczące czasu i warunków dalszej eksploatacji,
- doświadczenia własne związane z nadzorem diagnostycznym nad instalacjami tego samego typu podczas przedłużonej eksploatacji,

przedstawiono w niniejszym opracowaniu podejście do nadzoru diagnostycznego rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych PKN ORLEN objętych „Instrukcją...” w perspektywie ich eksploatacji powyżej 200 000 godzin pracy.

W podpunkcie 4.1 w sposób schematyczny przedstawiona została metodologia określająca sposób postępowania dla określenia potencjalnych wymian/ modernizacji oraz rozszerzenia badań diagnostycznych i w konsekwencji dopuszczenia instalacji do pracy w zakresie przedłużonej eksploatacji. Instrukcja zawiera ramowy program badań i obliczeń koniecznych do wykonania przed upływem 200 000 godzin oraz wyznacza plan diagnostyki wymagany do uwzględnienia podczas kolejnych rewizji po przekroczeniu 200 tysięcy godzin eksploatacji. W związku z powyższym planowane działania diagnostyczne można podzielić na dwa zasadnicze etapy:

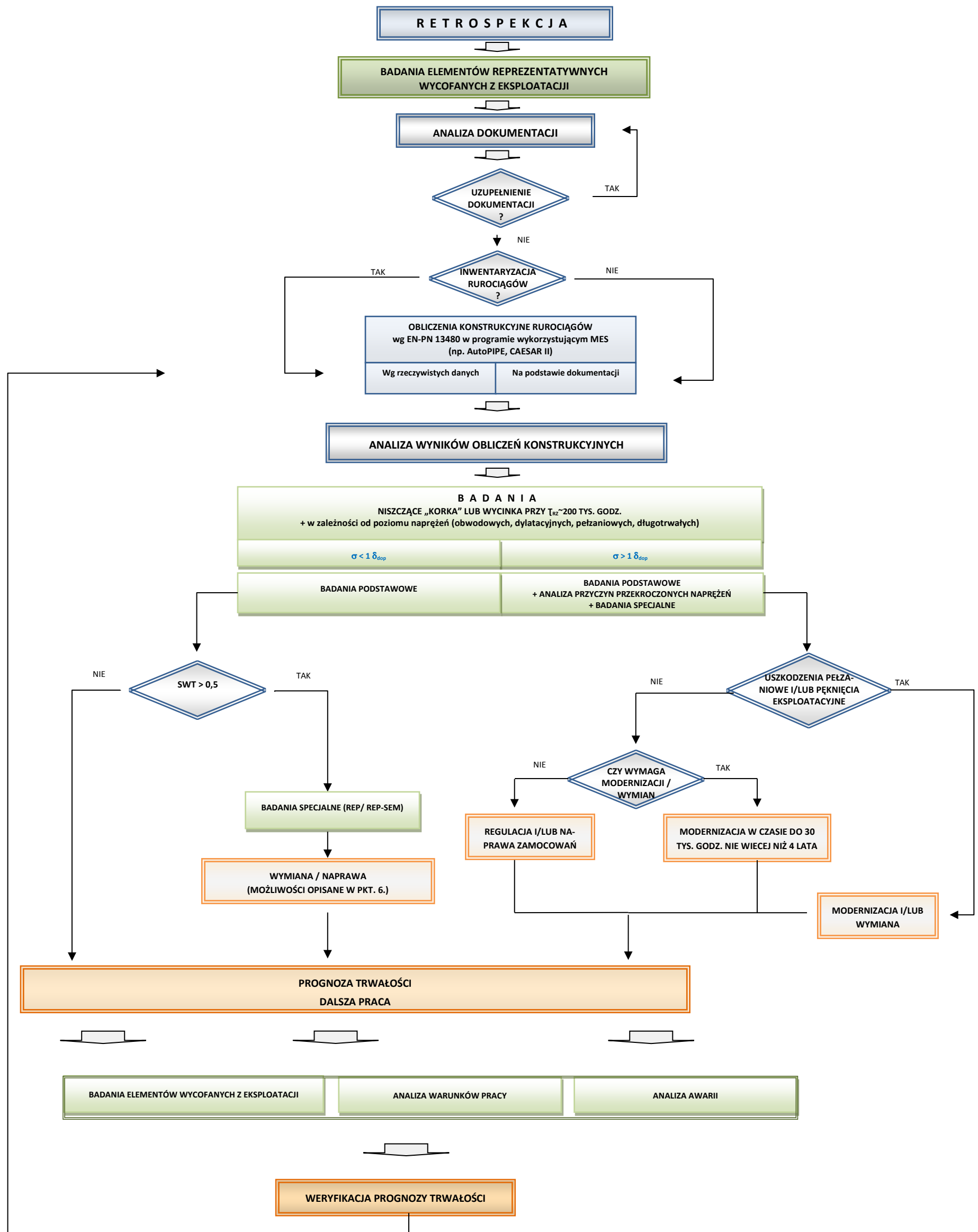
- etap 1 - (gdy czas eksploatacji t_{tz} będzie zbliżony do czasu trwałości projektowej t_0 , tj. przed upływem 200 000 godzin pracy), obejmujący retrospekcję, inwentaryzację, obliczenia wytrzymałościowe (ustalenie miejsc najbardziej wytężonych), wykonanie badań podstawowych i specjalnych oraz, w celu poszerzenia wiedzy o zastosowanych materiałach, wykonanie badań niszczących wycofanych elementów (np. 4 reprezentatywne kolana z kolektora głównego na wysokości kotła nr 4),
- etap 2 - polegający na wykonywaniu badań na podstawie kolejnych programów diagnostycznych pozwalających na kompleksowe oceny stanu technicznego i prognozy trwałości instalacji. Programy będą obejmować badania podstawowe, badania specjalne, aktualizacje modeli obliczeniowych (w przypadku zmian konstrukcyjnych lub zmian w systemach zamocowań) oraz obliczenia Stopnia Wyczerpania Trwałości (SWT). Czasookresy pomiędzy kolejnymi badaniami każdorazowo uzależnione będą od wyników badań, ocen stanu technicznego oraz prognoz trwałości.

Kolejne części „Instrukcji...” rozwijają i uzasadniają przedstawioną metodologię

Uwzględniając doświadczenia własne oraz dające się przewidzieć potrzeby Użytkownika dotyczące zarządzania utrzymaniem stanu technicznego instalacji, w Załączniku 3 przedstawiono, w formie syntetycznej, podstawy metodologii analizy ryzyka technicznego tj. podejścia do utrzymania stanu technicznego (diagnostyki i remontów) integrującego zagadnienia techniczne oraz bezpieczeństwa personelu.

Analiza ryzyka opisana w Załączniku nr 3 może być stosowana, jako narzędzie pomocnicze, przy czym równolegle wymagane jest rozwijanie wiedzy na temat prawidłowości danych wsadowych oraz doprecyzowanie mechanizmów wpływających na ułożenie na macierzy ryzyka poszczególnych komponentów.

4.1. Metodologia dopuszczenia instalacji rurociągowych do przedłużonej eksploatacji oraz określenia optymalnego programu badań diagnostycznych



Rys.1. Schematyczne przedstawienie procesu dopuszczenia instalacji rurociągowych do dalszej eksploatacji wraz z doбором optymalnego zakresu badań diagnostycznych.

4.2. Elementy krytyczne rurociągów.

Ze względu na bezpieczeństwo, każde z uszkodzeń rurociągu związane z ewentualnym wyciekiem pary jest zdarzeniem potencjalnie wypadkowym. Z tego punktu widzenia, każdy element rurociągu należy uznać za krytyczny. W energetyce zawodowej przyjęto, że do elementów krytycznych zaliczamy te, których niesprawność wiąże się z długim okresem oczekiwania na nowy i/lub naprawiony element, a koszty łączne wymiany i/lub naprawy są relatywnie wysokie. Kierując się tym kryterium do elementów krytycznych rurociągów należy zaliczyć:

- kolana,
- kształtki,
- armaturę,
- trasę rurociągu w rozumieniu konieczności korekt,
- system zamocowań.

Odrębną grupę, ważną ze względu na niezawodność pracy i dyspozycyjność rurociągów stanowią następujące elementy:

- spoiny obwodowe (doczołowe),
- spoiny kątowe (pachwinowe),
- króćce,
- poszczególne zamocowania.

Wszystkie z wymienionych elementów dotychczas podlegały badaniom diagnostycznym i ocenie stanu technicznego. Wymienione elementy (w tym również prostki) są uwzględnione w programie badań odnoszącym się do przedłużonej eksploatacji.

4.3. Przegląd wiedzy i dokumentacji

Bardzo ważnym etapem prac diagnostycznych jest przegląd wiedzy o przedmiocie badań zwany dalej retrospekcją. Właściwy, dla bieżącej kondycji technicznej rurociągu oraz oczekiwań Użytkownika, program badań powinien opierać się na retrospekcji obejmującej:

- analizę wyników wcześniejszych badań i pomiarów,
- analizę wykonanych wymian, napraw i modernizacji,
- analizę warunków techniczno-eksploatacyjnych od czasu ostatniej oceny stanu i/lub ostatnich dziesięciu lat,
- analizę awarii a zwłaszcza ich przyczyn i sposobów usuwania,
- analizę ewentualnego wpływu stanu zamocowań na inny niż zakładał projektant rozkład naprężeń,

Równolegle należy przeprowadzić analizę dostępnej dokumentacji zwłaszcza pod kątem:

- danych niezbędnych do regulacji zamocowań,
- rozkładu naprężeń,
- przewidywanych przemieszczeń cieplnych,
- obszarów, w których mogą występować spiętrzenia naprężeń.

Zgodnie z powyższym prowadzona diagnostyka na przedmiotowych instalacjach każdorazowo musi zawierać w postaci udokumentowanej rezultat wykonanej retrospekcji oraz analizy dostępnej dokumentacji.

Wyniki analizy dokumentacji należy skonfrontować z bezpośrednimi oględzinami instalacji rurociągowych w celu ich inwentaryzacji (pkt. 4.4).

W Załączniku 2 przedstawiono program badań podstawowych, identyczny dla każdego z przedmiotowych rurociągów pracujących w warunkach pełzania oraz dodatkowo zakres badań specjalnych a także badań niszczących wykonywanych w celu poszerzenia wiedzy o materiale elementów wycofanych z eksploatacji. Elementy przewidziane do tych badań powinny być dobrane indywidualnie w zależności od wyników retrospekcji, badań podstawowych oraz obliczeń konstrukcyjnych.

4.4. Trasa rurociągów oraz zamocowania

Przegląd trasy rurociągów w przestrzeni elektrociepłowni jest źródłem wiedzy o:

- zgodności wykonania (budowy) rurociągu z dokumentacją techniczną,
- obszarach, w obrębie, których mogą występować spiętrzenia naprężeń, których nie przewidywał projektant (odstępstwa od projektu), lub nie uwzględnił w obliczeniach.

Przegląd zamocowań powinien obejmować sprawdzenie czy:

- zastosowane zamocowania są zgodne z dokumentacją,
- ich montaż jest prawidłowy (zgodność z DTR producenta),
- nastawy są zgodne z dokumentacją techniczną rurociągu dla obu stanów cieplnych.

Wszelkie odstępstwa powinny być brane pod uwagę przy doprecyzowaniu zakresu remontu, programu badań i uwzględniane (odpowiednio) w obliczeniach wytrzymałościowych.

Dla celów diagnostyki należy:

- wykonać inwentaryzację przedmiotowych rurociągów wraz z zamocowaniami w celu stworzenia modelu do obliczeń wytrzymałościowych (punkt 4.7),
- wykonywać przegląd trasy i zamocowań zgodnie z programem badań (Załącznik 2)
- każdorazowo po awarii wykonywać przegląd trasy i zamocowań,
- wyniki przeglądów dokumentować (minimum w formie dokumentacji opisowej i fotograficznej w przypadku stwierdzenia niezgodności).

4.5. Przyczyny i charakter uszkodzeń

Znajomość przyczyn powstania uszkodzeń daje szansę na skuteczne zapobieganie im w przyszłości. Podczas analizy wyników badań należy określać:

- ✓ charakter uszkodzeń: eksploatacyjny, technologiczny,
- ✓ przyczyny bezpośrednie i pośrednie uszkodzeń zwracając szczególną uwagę na przyczyny pośrednie, zalecając ich usunięcie lub ograniczenie podczas remontu

Zalecana klasyfikacja obejmuje następujące typy uszkodzeń:

- uszkodzenia technologiczne powstałe w czasie produkcji materiałów:
 - rozwarstwienie blach,

- rozwalcowanie wtrąceń niemetalicznych,
- rzadziły lub pustki odlewnicze,
- własności mechaniczne w dolnych granicach zaleceń norm przedmiotowych, czy wręcz wartości progowe,
- nieprawidłowy skład chemiczny materiału;
- uszkodzenia technologiczne powstałe w trakcie montażu urządzeń:
 - wady w wykonaniu spoin (nie wykryte w czasie badań odbiorowych, lub nie zaznaczone w poświadczeniach, że urządzenie dopuszczono z wadą (opis),
 - zastosowanie elementu składowego urządzenia o gatunku materiału niezgodnego z dokumentacją techniczną;
- uszkodzenia technologiczne powstałe w wyniku obecności wad konstrukcyjnych lub/i materiałowych:
 - nieprawidłowe rozwiązanie węzła konstrukcyjnego:
 - o zbyt mała, lub wręcz brak możliwości kompensacji i wydłużeń cieplnych,
 - o niewłaściwy dobór zamocowań;
 - wykonanie rurociągu niezgodnie z dokumentacją techniczną:
 - o nieprawidłowa trasa,
 - o niewłaściwy montaż zamocowań,
 - o niewłaściwa regulacja zamocowań;
- uszkodzenia eksploatacyjne:
 - uszkodzenia zmęczeniowe,
 - uszkodzenia korozyjne,
 - uszkodzenia termoszkokowe,
 - uszkodzenia pełzaniowe.

Każdorazowo należy:

- zarejestrować zdarzenie awaryjne/uszkodzenie (dokumentacja opisowa i fotograficzna),
- zabezpieczyć próbki do badań w przypadku awarii i wymiany elementów,
- wykonać analizę parametrów pracy i wyników badań,
- ustalić przyczynę bezpośrednią i pośrednią uszkodzenia/ awarii,
- usunąć lub ograniczyć przyczynę pośrednią,
- ww. działania przedstawić w opinii technicznej / sprawozdaniu.

4.6. Stan techniczny elementów rurociągów i instalacji – zakres danych i informacji

Ocena stanu technicznego rurociągów powinna być poprzedzona retrospekcją i inwentaryzacją omówioną w punktach 4.3 i 4.4. niniejszej Instrukcji. Podstawą oceny stanu technicznego są wyniki badań w następującym zakresie:

- badania metalograficzne metodą replik matrycowych w strefach (rys.2):
 - rozciąganych i neutralnych kolan,
 - strefy zmian kształtu kształtek i armatury,
 - obwodowych złącz spawanych.
- pomiar twardości materiału kolan, złącz spawanych, kształtek i armatury w miejscach zdejmowania replik,

- pomiar dwóch prostopadłych średnic kolan w pięciu przekrojach,
- pomiary grubości ścianki kolan w pięciu przekrojach w strefie rozciąganej obojętnej i ściskanej,
- pomiary grubości odcinków prostych w 3 przekrojach w 2 prostopadłych płaszczyznach (po 4 punkty pomiarowe na przekrój)
- defektoskopowe badania magnetyczno – proszkowe stref rozciąganych kolan, 100% powierzchni zewnętrznej kształtek, spoin obwodowych i pachwinowych wraz ze strefami wpływu ciepła (SWC),
- defektoskopowe badania ultradźwiękowe spoin doczołowych wraz z SWC, w sytuacji gdy stwierdzono wskazanie jedną z metod powierzchniowych,
- defektoskopowe badania penetracyjne powierzchni stellitowych klinów i siedzisk klinów zasuw,
- oględziny endoskopowe powierzchni wewnętrznej króćców i przyległych tworzących rurociągów oraz powierzchni wewnętrznej zasuw,
- przegląd stanu zamocowań (odczyt wskaźników zamocowań stałościowych),
- pomiary geometrii sprężyn (identyfikacja) zamocowań sprężynowych,
- określenie wielkości i kierunków spadów poziomych odcinków rurociągów,
- defektoskopowe badania ultradźwiękowe dolnych tworzących o nieprawidłowej geometrii - ugięcia (tzw. „kieszenie”).

Powyżej wymienione badania podstawowe [Załącznik 2] należy uzupełnić o wyniki retrospekcji i obliczeń oraz wyniki badań specjalnych i/lub badań niszczących elementów wycofanych z eksploatacji, zgodnie ze schematem (punkt 4.1). Jeżeli plan remontu będzie przewidywał, ze względu na stan techniczny lub z innych względów, wymiany elementów rurociągów to program badań niszczących materiału elementu wycofanego z eksploatacji należy uzgodnić z UDT o/Płock. Proponowany zakres badań niszczących przedstawiono w Załączniku 2.

Ocenę stanu technicznego wykonać należy w oparciu o:

- analizę wyników badań i pomiarów diagnostycznych podstawowych oraz specjalnych i/lub niszczących wykonanych zgodnie z wcześniej zatwierdzonym programem,
- analizę przyczyn powstania wykrytych uszkodzeń,
- analizę pracy systemu zamocowań w tym prawidłowej regulacji,
- analizę przemieszczeń cieplnych,
- analizę parametrów pracy.

Ocena stanu technicznego stanowi podstawę do opracowania prognozy trwałości i warunków dalszej eksploatacji rurociągów (pkt 4.11) oraz przedstawienia zaleceń remontowych i eksploatacyjnych (pkt.6).

4.7. Stan techniczny rurociągów i instalacji - obliczenia

Dla potrzeb przedłużenia czasu eksploatacji przedmiotowych rurociągów należy:

- a) Wykonać model układu rurociągów będący odzwierciedleniem rzeczywistego stanu (po inwentaryzacji) i wykonać sprawdzającą analizę wytrzymałościową układu rurociągów wykorzystując specjalistyczne oprogramowanie np. AutoPIPE firmy Bentley System Inc. Analizę

wykonać w oparciu o normę PN-EN 13480-3. W modelu należy zastosować odpowiednie warunki brzegowe dla punktów końcowych rurociągu / analizowanego układu rurociągów (dane o warunkach brzegowych tj. siłach, momentach sił i przemieszczeniach uzyskać z dokumentacji projektowej).

W obliczeniach dopuszcza się stosowanie materiałów o zbliżonych własnościach, tzw. odpowiedników, dla których wartość naprężenia dopuszczalnego zapewnia, co najmniej równoważny poziom bezpieczeństwa eksploatacji urządzenia, jak dla materiałów zastosowanych na konstrukcję urządzenia.

Wykonana analiza naprężeń powinna obejmować następujące kombinacje naprężeń rurociągów:

- naprężenia długotrwałe – wywołane momentem wypadkowym od masy własnej układu i innych długotrwałych obciążeń mechanicznych zgodnie z PN-EN 13480-3 punkt 12.3.2,
- naprężenia sporadyczne – suma obciążeń długotrwałych oraz momentu wypadkowego od obciążeń sporadycznych (np. próba wodna) zgodnie z PN-EN 13480-3 punkt 12.3.3,
- naprężenia od rozszerzalności termicznej – dla wszystkich kombinacji temperatur zgodnie z EN 13480-3 punkt 12.3.4,
- naprężenia w zakresie pełzania – dla wszystkich kombinacji temperatur zgodnie z PN-EN 13480-3 punkt 12.3.5,
- naprężenia obwodowe od ciśnienia wewnętrznego zgodnie z PN-EN 13480-3 punkt 6.1.

Obliczenia przeprowadzić dla następujących stanów pracy rurociągów:

- stan zimny – rurociągi bez ciśnienia wewnętrznego w temperaturze pokojowej (20°C), obciążone ciężarem własnym rur w izolacji,
- stan gorący – rurociągi w temperaturze roboczej i pod ciśnieniem roboczym, obciążone ciężarem własnym rur, w izolacji oraz czynnika roboczego, założone przemieszczenia termiczne utwierdzeń rurociągów,
- inne możliwe kombinacje pracy rurociągów w analizowanym układzie.

Analizę wytrzymałościową należy traktować, jako narzędzie diagnostyczne i wykorzystać do rozszerzenia zakresu badań, modernizacji trasy lub modernizacji/regulacji zamocowań. Decyzje o wymianie/modernizacji należy traktować indywidualnie z uwzględnieniem wyników badań podstawowych i specjalnych. Sposób postępowania w przypadku negatywnego poziomu naprężeń przedstawiono w punktach 4.1. i 4.15 i 6.

Na podstawie analizy wyznaczyć miejsca najbardziej wyęteżone (Potencjalne Strefy Uszkodzeń - PSU). Wyznaczone PSU uwzględnić w nadzorze diagnostycznym pod kątem wykonania badań niszczących lub specjalnych opisanych w punkcie 4.9.

- b) Obliczeniową grubość ścianki dla 200 000 (parametry obliczeniowe), 250 000 i 300 000 (parametry robocze) godzin pracy (g_{o2} , $g_{r2,5}$ i g_{r3}) badanych rurociągów wyznaczyć na podstawie "Instrukcji badań i pomiarów diagnostycznych oraz oceny stanu technicznego rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych w elektrowniach i elektrociepłowniach" (Instrukcja „Pro Novum” sp. z o.o. zatwierdzona przez Urząd Dozoru Technicznego - 403-45/10/JK). Dopuszcza się obliczenia grubości ścianki prostej i kolana (g_{zp} i g_{zk}) wg innych wzorów zawartych w specyfikacjach technicznych polskich i zagranicznych

- c) Obliczenia naprężeń zredukowanych oraz stopnia wyczerpania trwałości materiału rurociągów pracujących w warunkach pełzania wykonać w oparciu o wymiary rzeczywiste (grubość ścianki i średnice). Obliczenia wykonać na podstawie "Instrukcji badań i pomiarów diagnostycznych oraz oceny stanu technicznego rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych w elektrowniach i elektrociepłowniach" oraz normy PN-EN 12952-4:2002 „Obliczenia przewidywanej trwałości eksploatacyjnej kotła”. Dopuszcza się obliczenie naprężeń zredukowanych wg innych wzorów zawartych w specyfikacjach technicznych polskich i zagranicznych Wartości wytrzymałości na pełzanie przyjąć z normy PN-75/H-84024 lub PN-EN 10216-2. Dla brakujących danych w zakresie wytrzymałości na pełzanie przyjąć wartości aproksymowane w układzie podwójnie logarytmicznym w funkcji wytrzymałości na pełzanie od czasu. Właściwości wytrzymałościowe materiału elementów wycofanych z eksploatacji, uzyskane w wyniku badań niszczących, porównać z wartościami zamieszczonymi w odpowiednich normach.

4.8. Rzeczywiste warunki pracy – rejestracja i analiza

Warunki pracy mają istotny wpływ na stan techniczny rurociągu i na jego trwałość. Dlatego należy rejestrować i analizować następujące parametry pracy:

- ciśnienie czynnika,
- przepływ lub brak przepływu czynnika,
- temperaturę czynnika za wylotem ze źródła i przed wylotem z ocenianego rurociągu.

Zaleca się montaż czujników do pomiaru temperatury metalu (najlepiej pomiary głębokie), w miejscach za wylotem pary ze źródła i przed wylotem pary z ocenianego rurociągu.

Powyższe parametry powinny być archiwizowane i analizowane w trybie „on-line”, a specjalistyczny program powinien umożliwiać:

- zliczanie czasu pracy elementu w wybranych przedziałach danego parametru – analiza statystyczna,
- sygnalizowanie odstępstw od przyjętych w instrukcji eksploatacji wartości granicznych i wielkości tych przekroczeń.

Uwzględnianie przy ocenie stanu technicznego, a zwłaszcza prognozowaniu trwałości, rzeczywistych warunków pracy posiada zasadnicze znaczenie dla dokładności obliczeń oraz zapewnienia bezpieczeństwa pracy elementów. Rzeczywiste temperatury elementów pracujących w warunkach pełzania należy określać wykorzystując odpowiednio zweryfikowane pomiary ruchowe.

Prognozę trwałości elementów należy okresowo aktualizować/weryfikować na podstawie – oprócz badań i analizy awaryjności – bieżącej analizy rzeczywistych warunków pracy.

Jak dotąd, do wykonania analizy stanu technicznego posługiwano się parametrami pracy uzyskanymi od Użytkownika w formie ankiety. Planując eksploatację rurociągów w zakresie trwałości indywidualnej zachodzi konieczność rejestracji parametrów pracy i ich ewentualnych przekroczeń w trybie „on-line” oraz udostępniania ich do analizy, w odpowiedniej formie, wykonawcy diagnostyki.

4.9. Rzeczywisty stan metalu na podstawie badań

Rzeczywisty stan metalu jest decydującym czynnikiem w ocenie stanu technicznego elementów krytycznych rurociągów. Badania metalograficzne i ocenę stanu materiału na podstawie wyników badań metalograficznych należy prowadzić zgodnie z Wytycznymi UDT nr 1/2015 [3].

Badania metalograficzne należy prowadzić w miejscach najbardziej wyężonych. Miejsca te należy identyfikować na podstawie analizy:

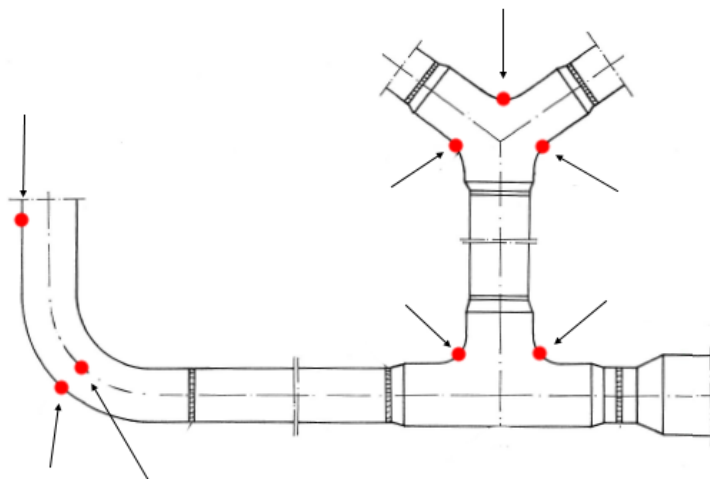
- dokumentacji powykonawczej,
- wyników oględzin w stanie gorącym przed odstawieniem rurociągu i w stanie zimnym,
- wyników obliczeń konstrukcyjnych uwzględniających wyniki oględzin trasy rurociągu i rzeczywistej nastawy reakcji zamocowań.

Badania należy prowadzić w obszarach:

- zmian kształtu i pola przekroju kształtek i armatury (badania podstawowe),
- stref rozciąganych gięcia kolan i stref neutralnych (badania podstawowe),
- w poprzek obwodowych złączy spawanych (badania podstawowe),
- w których, w wyniku ww. analiz stwierdzono spiętrzenie naprężeń przekraczające naprężenia dopuszczalne (badania specjalne),
- dla których w wyniku badań defektoskopowych wykryto nieciągłości materiałowe (badania specjalne)
- na wskroś grubości ścianki (badania niszczące).

4.9.1. Podstawowe badania metalograficzne

Nieniszczące badania metalograficzne wykonuje się na powierzchni zewnętrznej wcześniej określonych obszarów, w których występuje spiętrzenie naprężeń. Należy stosować technikę replik matrycowych. W programie badań podstawowych przewidziano wykonywanie badań metalograficznych w strefach rozciąganych i neutralnych kolan, strefach zmian kształtu i pola przekroju kształtek i armatury, w poprzek obwodowych złączy spawanych. Przygotowanie zglądu metalograficznego musi uwzględniać odstępstwa struktury warstwy powierzchniowej od struktury właściwej i wartość grubości obliczeniowej ($g_{r2,5}$ i g_{r3}). Lokalizacje replik na kolanach i trójnikach przedstawiono na rysunku 2. W przypadku zasuw należy wykonać dwie repliki analogicznie do trójkąta 90° w przeciwległych strefach zmiany kształtu. Badania metalograficzne obwodowych złączy spawanych wykonać dla min. 2/3 wszystkich spoin.



Rys. 2. Lokalizacje podstawowych badań metalograficznych.

4.9.2. Badania specjalne

Badania specjalne wykonuje się w celu weryfikacji wyników obliczeń dla ustalenia rzeczywistego stopnia wyczerpania trwałości materiału. Mogą mieć charakter badań nieniszczących i/lub niszczących. Wyniki badań specjalnych mają znaczenie nadrzędne w stosunku do wyników obliczeń.

Program badań przewiduje wykonywanie badań specjalnych:

- na znormalizowanej próbce (określenie struktury i wybranych właściwości mechanicznych) - wymagana zgoda UDT o/Płock. Zaleca się je wykonywać, gdy wyniki obliczeń pkt.4.7. a) oraz c) wskazują na przekroczenie naprężeń dopuszczalnych lub wyczerpanie trwałości materiału mogące skutkować obecnością fizycznych uszkodzeń.
- w wybranych miejscach wskazań od nieciągłości (określenie struktury), stwierdzonych w badaniach defektoskopowych (magnetyczno-proszkowych lub penetracyjnych)
- w miejscach gdzie wyniki badań metalograficznych wskazują potencjalne występowanie pustek (weryfikacja struktury)

Podstawowym celem badań specjalnych jest weryfikacja obliczeniowego stopnia wyczerpania trwałości. Obliczeniowy stopień wyczerpania trwałości może być obarczony znacznym błędem, ponieważ na ogół nie dysponujemy wystarczająco dokładnymi danymi obliczeniowymi.

Badania wykonywane na próbkach z materiału rurociągu mają na celu określenie:

- struktury materiału po grubości ścianki,
- twardości materiału po grubości ścianki,
- właściwości mechanicznych ze statycznej próby rozciągania na znormalizowanej mikro lub makro próbce,
- temperatury równoważnej.

Ocenę struktury na podstawie replik matrycowych (lub zgładu) w badaniach specjalnych należy wykonać przy pomocy mikroskopu SEM w celu dokładniejszej identyfikacji procesów degradacji a zwłaszcza obecności ewentualnych pustek pełzaniowych.

4.9.3. Badania elementów wycofanych z eksploatacji

Badania materiałowe elementów krytycznych wycofanych z eksploatacji stanowią źródło wiedzy o wpływie warunków pracy na właściwości materiałów. Wybór miejsca poboru próbek do badań powinien wynikać z analizy rozkładu naprężeń w elemencie z okresu jego pracy i ewentualnych wcześniejszych awarii. Dla celów przedłużonej eksploatacji przedmiotowych instalacji należy wykonać badania niszczące reprezentatywnej grupy elementów (np. wycofanych z eksploatacji kolan). Wyniki skróconych prób pełzania można odnieść do pozostałych instalacji eksploatowanych w tych samych warunkach. Przy czasie eksploatacji ~200 000 godzin dla każdej z instalacji (zgodnie z punktem 4.1.) należy wykonać badania niszczące elementów wycofanych z eksploatacji.

W trakcie badań należy wyznaczyć i/lub określić:

- stan struktury metalograficznej po grubości ścianki elementu krytycznego,
- wartość twardości po grubości ścianki elementu krytycznego,
- wytrzymałość na rozciąganie (R_m) w temperaturze otoczenia i temperaturze pracy,
- granice plastyczności (R_e lub R_{02}) w temperaturze otoczenia i temperaturze pracy,
- wydłużenie względne (A) w temperaturze otoczenia i temperaturze pracy,
- pocienienie względne (Z) w temperaturze otoczenia i temperaturze pracy,
- udarność,
- temperaturę przejścia w stan kruchy,
- określenie temperatury równoważnej,
- trwałość resztkową na podstawie skróconej próby pełzania,
- inne własności wg indywidualnych uzgodnień z inspektorem UDT.

Wyniki badań elementów wycofanych z eksploatacji pomagają interpretować wyniki badań podstawowych i specjalnych, weryfikować prognozy trwałości i znajdować uzasadnienie dla wykonywania aproksymacji wykresów wytrzymałości czasowej (> 200 tys. godzin).

4.10. Stopień wyczerpania trwałości materiału

Stopień wyczerpania trwałości (SWT) materiału elementów krytycznych rurociągów określa się w oparciu o:

- stan struktury materiału – dominujące kryterium;
- obliczenia stopnia wyczerpania trwałości w oparciu o normę PN-EN 12952-4:2002 „Obliczenia przewidywanej trwałości eksploatacyjnej kotła”- kryterium pomocnicze.

4.11. Prognozowanie trwałości elementów krytycznych

Prognozę trwałości elementów krytycznych należy określać na podstawie:

- analizy wyników badań nieniszczących (NDT),
- analizy wyników badań specjalnych i badań elementów wycofanych z eksploatacji,
- analizy wyników obliczeń wytrzymałościowych (pkt. 4.6),
- statystyki uszkodzeń/analizy awaryjności,
- obliczeń stopnia wyczerpania trwałości –wyniki obliczeń stopnia wyczerpania trwałości należy konfrontować z wynikami badań – zwłaszcza specjalnych
- oceny stopnia wyczerpania trwałości materiału na podstawie wyników badań metalograficznych (wykonywanej zgodnie z Wytycznymi UDT 1/2015 [3]),
- zgodnie z ww. dokumentem czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji na podstawie oceny stanu struktury materiału może wymagać uwzględnienia wyników badań niszczących.

Prognoza trwałości powinna zawierać:

- pozostały, bezpieczny czas pracy elementu,
- termin i zakres najbliższych badań weryfikujących prognozę,
- warunki, których spełnienie jest nieodzowne dla obowiązywania prognozy.

Prognozę trwałości należy weryfikować okresowo na podstawie:

- badań w odpowiednim zakresie i przez zastosowanie odpowiednich metod [Załącznik 2],
- bieżącej analizy warunków pracy oraz awaryjności.

4.12. Nadzór diagnostyczny

Zadaniem nadzoru diagnostycznego jest aktualizacja stanu technicznego elementów krytycznych oraz bieżąca weryfikacja prognozy trwałości.

Nadzór diagnostyczny należy sprawować poprzez:

- bieżącą analizę warunków pracy,
- okresowe badania zgodne z przyjętym programem badań,
- analizę wyników okresowych obliczeń sprawdzających, wykonywanych w związku ze zmianą warunków pracy, lub z uwagi na aktualne wyniki NDT.

4.13. Dokumentacja badań i ocen stanu technicznego

Wyniki badań, ocen stanu technicznego oraz prognoz trwałości materiału należy archiwizować i weryfikować poprzez bieżącą analizę warunków eksploatacji w sposób systemowy.

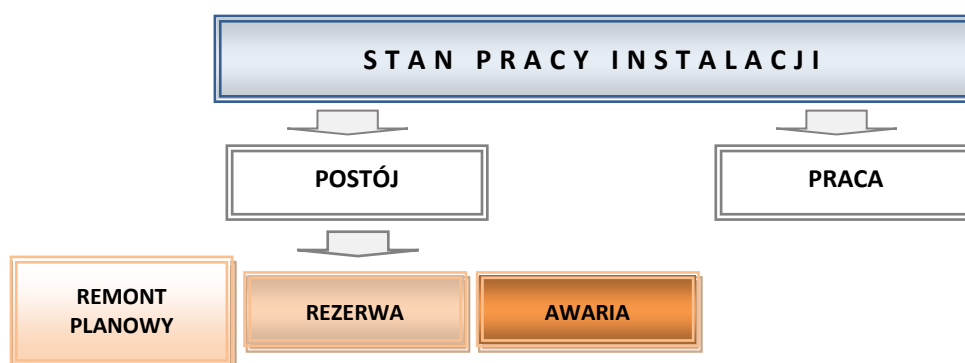
Oznacza to potrzebę rejestracji i przetwarzania bardzo dużej ilości danych. W tym celu zaleca się stosować odpowiednio sformatowane arkusze Excela lub dedykowane oprogramowanie, które posiada takie funkcje.

4.14. Analiza awarii

Przez awarię (w rozumieniu Kontroli Eksploatacji) należy rozumieć sytuację, gdy z powodu uszkodzenia elementu(ów) niemożliwa jest produkcja energii elektrycznej lub ciepłej lub gdy ją trzeba ograniczać. (Rys. 4).

W rozumieniu diagnostyki, przez awarię należy rozumieć uszkodzenie powstałe podczas pracy lub postoju urządzenia. Każdy przypadek awarii powinien być odpowiednio zbadany i udokumentowany w sposób umożliwiający:

- określenie przyczyn(y) bezpośredniej i pośredniej awarii,
- aktualizację statystyki awarii z uwzględnieniem, co najmniej częstotliwości, lokalizacji i przyczyn pośrednich,
- kosztów awarii.



Rys.4. Awaria jako jeden ze stanów eksploatacji bloku/urządzenia.

Niewykonywanie analizy awaryjności w wyżej opisany sposób uniemożliwia:

- eliminowanie (ograniczanie) przyczyn kolejnych awarii,
- weryfikowanie (aktualizowanie) prognoz trwałości,
- sporządzanie statystyki uszkodzeń, co jest niezbędne zwłaszcza do:
 - prognozowania trwałości elementów pracujących poniżej temperatury granicznej,
 - analizy ryzyka.

4.15. Kwalifikacja elementów do dalszej pracy

Kwalifikacja elementów do dalszej pracy powinna być przeprowadzona w oparciu o analizę rezultatów czynności opisanych w niniejszej Instrukcji. Podstawowym kryterium dopuszczeniowym elementów krytycznych do dalszej eksploatacji jest:

- brak nieciągłości o charakterze pęknięć eksploatacyjnych,
- stan struktury odpowiedni dla zastosowanych materiałów oraz czasu i warunków eksploatacji,
- brak fizycznych uszkodzeń pełzaniowych (przypadki zmian fizycznych traktować indywidualnie z uwzględnieniem Wytycznych UDT nr 1/2015),
- minimalne rzeczywiste grubości ścianek muszą być większe od grubości obliczeniowej dla 200 000 godzin i obliczeniowych parametrów pracy,
- owalizacja kolan musi być mniejsza od 8% (owalizacje w zakresie 4÷8% uwzględnić w obliczeniach naprężeń zredukowanych w kolanach),
- sprawny system zamocowań.

Dla każdego punktu pomiarowego, którego przemieszczenia obliczeniowe (projektowe) są większe niż 10 mm oblicza się wartości względne wg następującego wzoru:

- $(x_z - x_t) = \Delta x$ [mm],
- $(y_z - y_t) = \Delta y$ [mm],
- $(z_z - z_t) = \Delta z$ [mm],

gdzie: z - stan zimny,
 t - stan gorący.

Przemieszczenia te należy porównać z wartościami obliczeniowymi Δx_o , Δy_o , Δz_o , a następnie obliczyć histerezę "h" wg poniższego wzoru:

$$h_x = \left| \frac{\Delta x_o - \Delta x}{\Delta x_o} \right| 100\%$$

W ten sposób obliczona histereza nie powinna przekraczać $\pm 10\%$ (z uwzględnieniem rachunku błędów adekwatnego do metody pomiaru przemieszczeń), a kierunki przemieszczeń powinny zgadzać się z kierunkami obliczeniowymi.

Wykryte podczas badań NDT nieprawidłowości należy oceniać wg kryteriów akceptacji przedstawionych w normach obowiązujących w okresie produkcji/montażu danych elementów. W przypadku uzyskania nieakceptowalnych wyników pomiarów i/lub badań, sposób postępowania dobrać indywidualnie. Możliwe scenariusze postępowania przedstawiono w rozdziale 6.

W przypadku przekroczonych naprężeń (punkt 4.7 a i c) i negatywnych wyników badań specjalnych wymiany/modernizację przeprowadzić niezwłocznie. W przypadku pozytywnych wyników badań specjalnych możliwe jest warunkowe dopuszczenie do eksploatacji na okres do 30 tys. godzin (nie więcej niż 4 lata), po którym wykonane zostaną wymiany/modernizacje.

5. ORGANIZACJA DIAGNOSTYKI

Diagnostyka stanowi podstawowe źródło wiedzy pozwalającej na optymalne zarządzanie majątkiem produkcyjnym elektrociepłowni, ponieważ dzięki niej można opracować zakresy techniczne remontów urządzeń energetycznych i prawidłowo dobrać ich częstotliwość. Biorąc powyższe pod uwagę w pełni uzasadnionym jest stwierdzenie, że diagnostyką powinna zajmować się wyspecjalizowana firma diagnostyczna posiadająca uznanie CLDT współpracująca z przedstawicielem PKN ORLEN SA odpowiedzialnym za stan techniczny przedmiotowych rurociągów oraz UDT o/Płock.

Zakres merytoryczny współpracy ww. podmiotów to:

- organizacja badań i pomiarów diagnostycznych,
- opracowanie zakresów badań i pomiarów diagnostycznych na etapie opracowywania SIWZU,
- konsultacje w obszarze zakresów remontów z działem przygotowań remontów, również na etapie przygotowywania SIWZU,
- opracowanie harmonogramów (częstotliwości) remontów w oparciu o faktyczny stan techniczny urządzeń,
- analiza otrzymywanych wyników badań i pomiarów diagnostycznych w oparciu o prognozy eksperckie,
- archiwizowanie i zarządzanie informacją i/lub wiedzą diagnostyczną w oparciu o narzędzia informatyczne.

6. ZALECENIA REMONTOWE

Zalecenia remontowe, co do ich zakresów oraz terminów realizacji powinny uwzględniać przede wszystkim zapewnienie bezpieczeństwa, następnie dyspozycyjności oraz optymalizację nakładów na utrzymanie majątku produkcyjnego. W przypadku uzyskania nieakceptowalnych wyników pomiarów i/lub badań oraz obliczeń, wymagane jest podjęcie bezpośrednich działań korygujących ustalonych w trybie indywidualnym. Możliwe scenariusze postępowania to:

- naprawa uszkodzonego elementu na obiekcie (np. poprzez usunięcie wierzchniej warstwy materiału do zaniku wskazań max do dopuszczalnej grubości ścianki),
- pozostawienie nieciągłości bez naprawy po przeprowadzonej analizie zapewniającej bezpieczeństwo eksploatacji urządzenia,
- naprawa warsztatowa elementu,
- wymiana elementu,
- regulacja zamocowań i/lub modernizacja trasy redukujące poziom naprężeń (rys.1).

Naprawy/wymiany wymagające zastosowania procesów spawania wymagają uprzedniego sprawdzenia i oceny stanu mikrostruktury (warunkiem przeprowadzenia tych działań jest brak zmian fizycznych struktury w postaci pustek).

Wszystkie naprawy powinny być przeprowadzone przez firmy posiadające odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia a ich technologie należy uzgadniać z UDT.

7. ZALECENIA EKSPLOATACYJNE

Zalecenia eksploatacyjne powinny zapewniać dotrzymanie parametrów pracy instalacji rurociągowych oraz określać sposoby nadzoru nad prawidłową eksploatacją oraz eliminowanie zakłóceń.

8. PODSTAWY TECHNICZNO – PRAWNE INSTRUKCJI

Instrukcja opracowana na podstawie:

- a) Polskich Norm:
 - PN-EN 13480 cz. 3 i 4.
 - PN-EN 12952 cz. 4.
- b) Warunki Urzędu Dozoru Technicznego:
 - WUDT-UC-WO-B,
 - WUDT-UC-WO-M/02, WUDT-UT-WO-M/03, WUDT-UT-WO-M/04,
 - WUDT-UC-WO-O/00, WUDT-UC-WO-O/01, WUDT-UC-WO-O/05,
 - WUDT-UC-RT.
- c) Dokumentacji konstrukcyjnej rurociągów.

Wzięto pod uwagę techniczne aspekty niżej wymienionych dokumentów:

- a) Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.12.2005r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych.
- b) Instrukcja „Pro Novum” Sp. z o.o. I/PN-122/01 z grudnia 2009r. „Instrukcja badań, pomiarów diagnostycznych oraz oceny stanu technicznego rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych w elektrowniach i elektrociepłowniach” – uzgodniona z UDT przy piśmie DT:403-45/10/JK z 2010-07-13.
- c) Wytyczne „Pro Novum” Sp. z o.o. PN/45.3360/2016 „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100MW ÷ 360MW”.

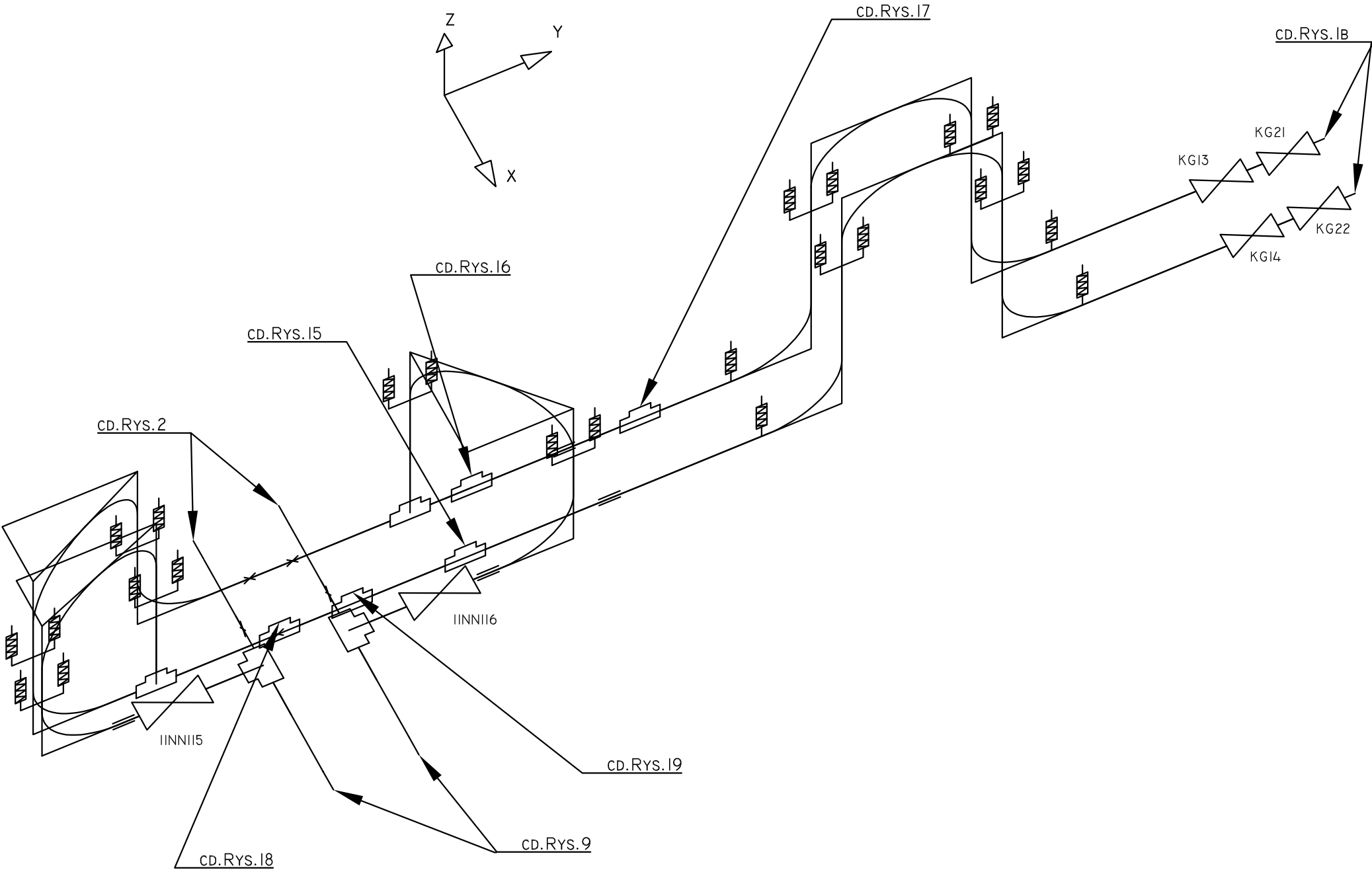
9. LITERATURA

- [1] PN/20.2900/2013. Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200MW. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. Katowice.2013.
- [2] PN/45.3360/2016. Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100MW ÷ 360MW. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. Maj. 2016.
- [3] Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015 – Zasady Diagnostyki i Oceny Trwałości Eksploatacyjnej Elementów Kotłów i Rurociągów Pracujących w Warunkach Pełzania. Urząd Dozoru Technicznego 2015.
- [4] Instrukcja Przedmiotowa Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. nr I/PN-122/01 - instrukcja badań i pomiarów diagnostycznych oraz oceny stanu technicznego rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych w elektrowniach i elektrociepłowniach – niepublikowana.
- [5] Sprawozdanie nr 054.3101/2014. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. 2014. – niepublikowana.
- [6] Sprawozdanie nr 123.2555/2010. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. 2010. – niepublikowana.
- [7] Sprawozdanie nr 045.2637/2011. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. 2011. – niepublikowana.
- [8] Sprawozdanie nr 088.2816/2012. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. 2012. – niepublikowana.
- [9] Sprawozdanie nr 069.3249/2015. Przedsiębiorstwo Usług Naukowo - Technicznych „Pro Novum” Sp. z o. o. 2015. – niepublikowana.

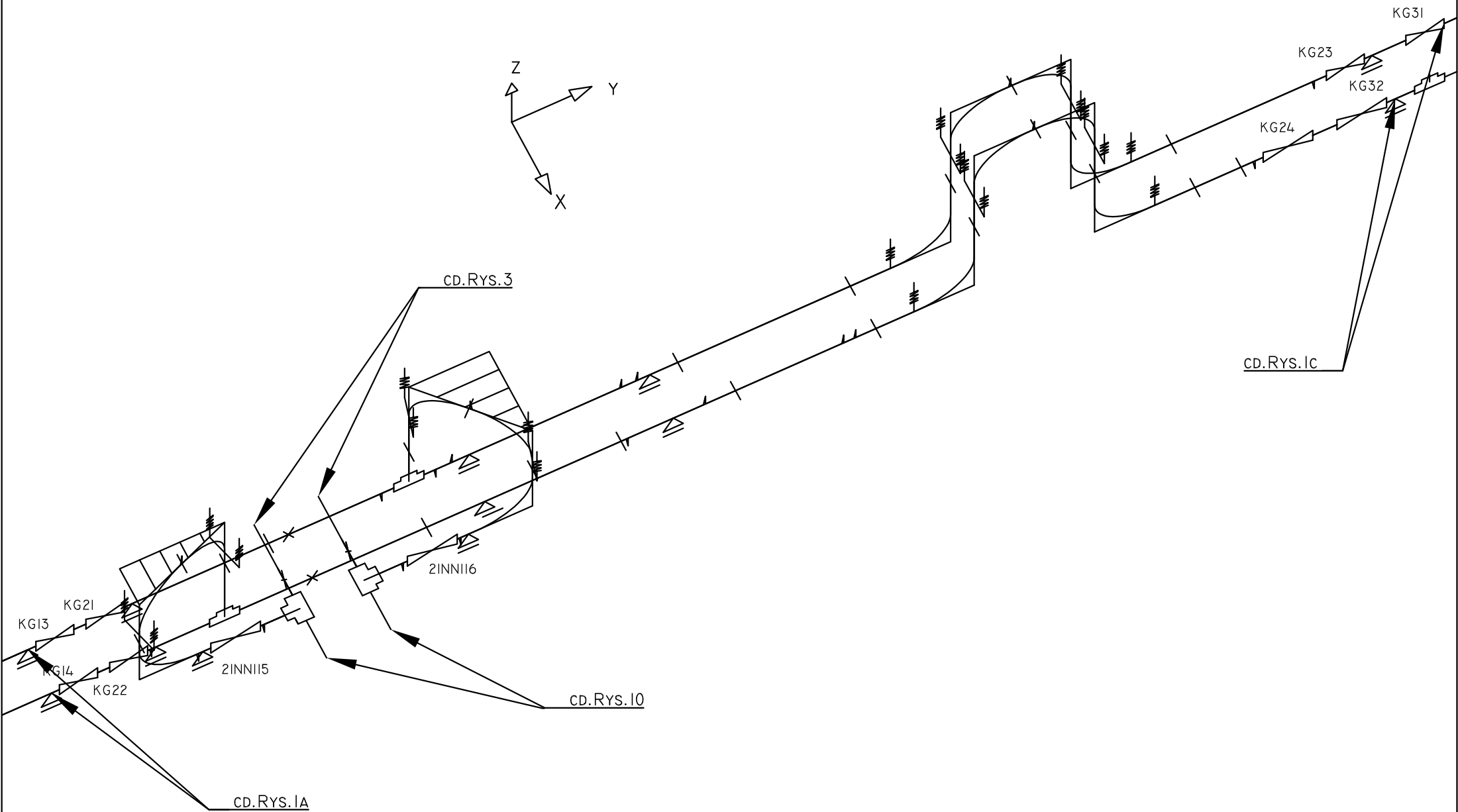
ZAŁĄCZNIK NR 1

SCHEMATY RUROCIĄGÓW

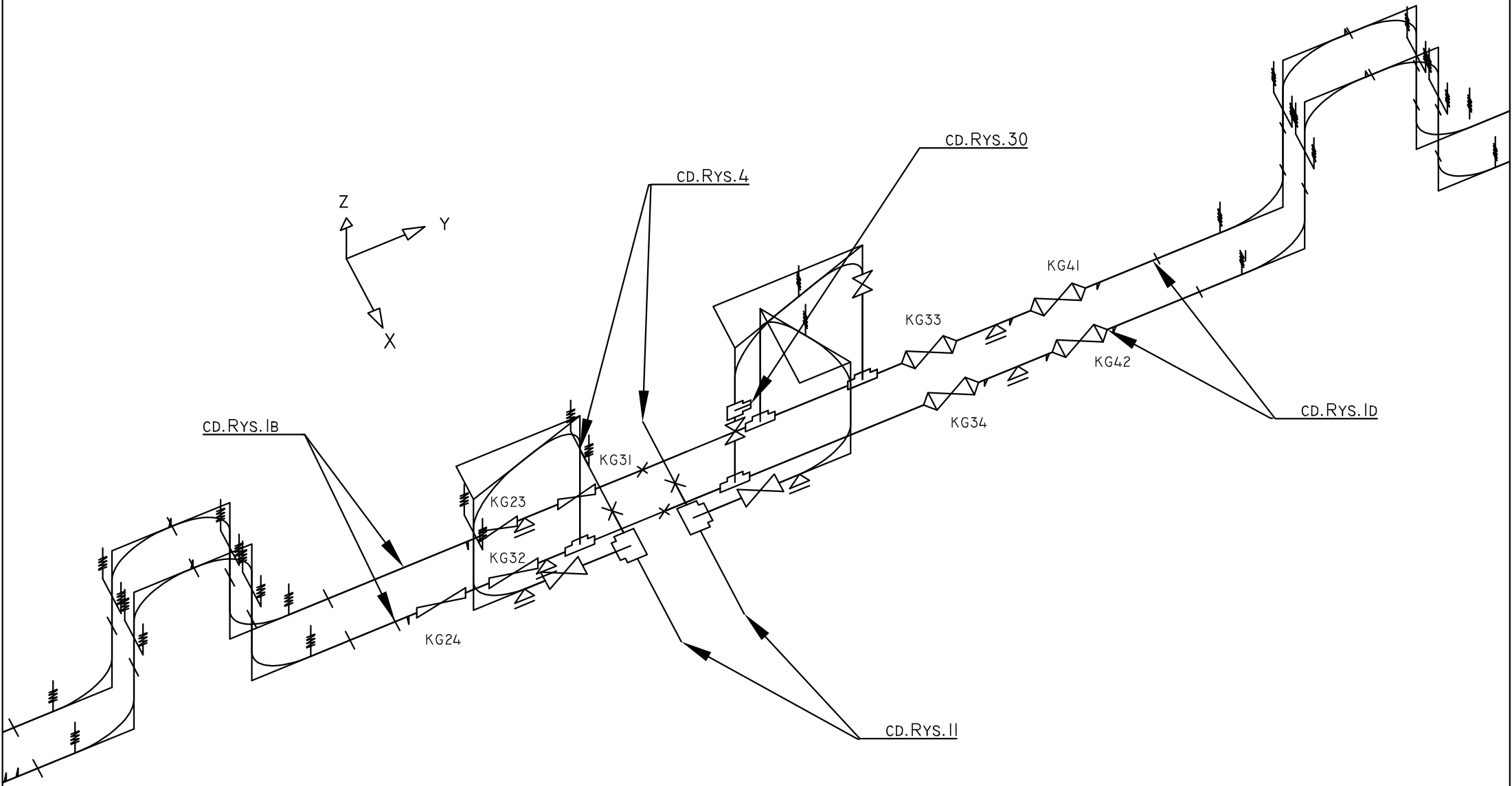
RYS. 1A. PKN ORLEN
KOLEKTOR DO KG21 I KG22



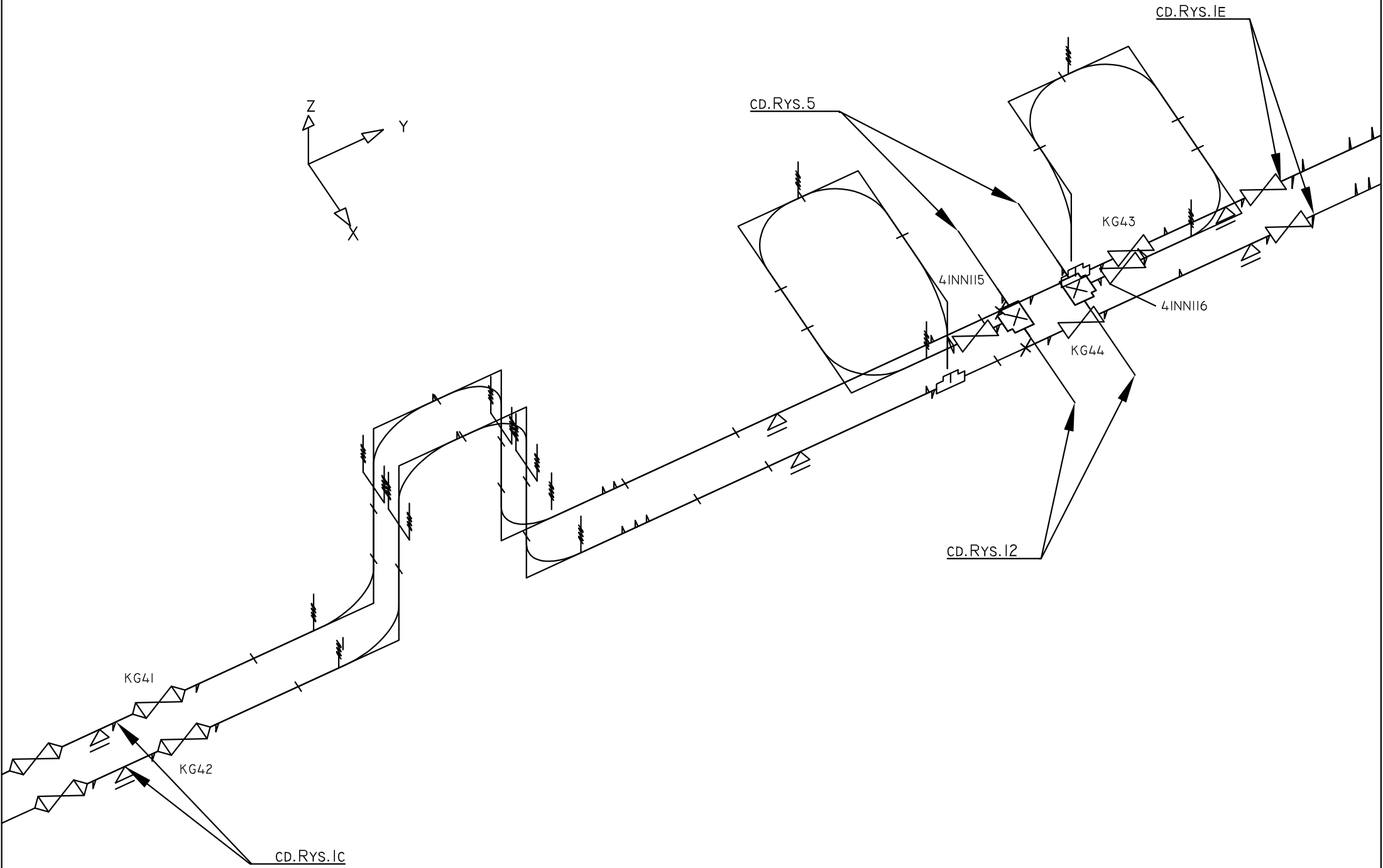
RYS. IB. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG21-KG23 I KG22-KG24



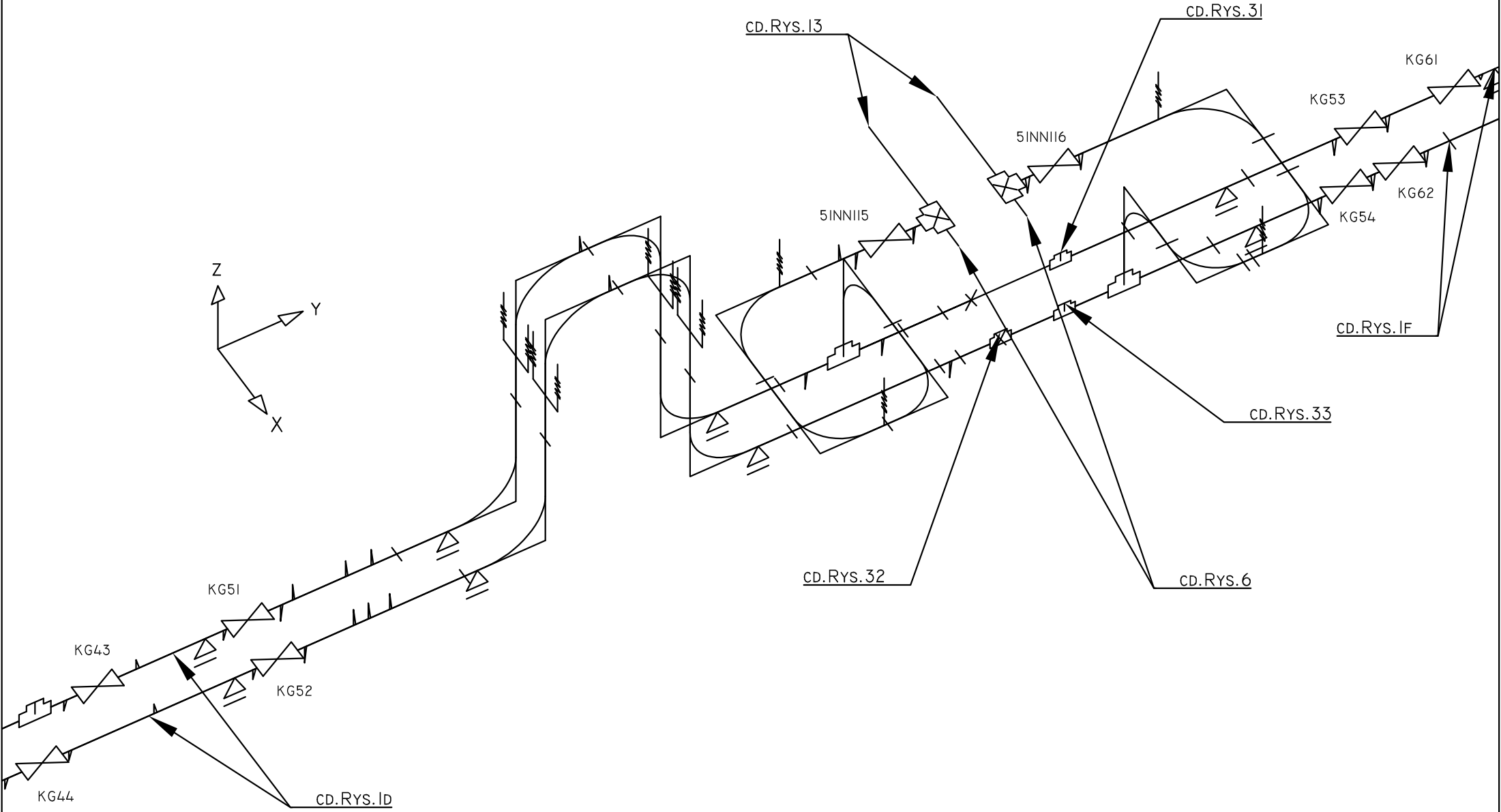
Rys. Ic. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG31-KG33 I KG32-KG34



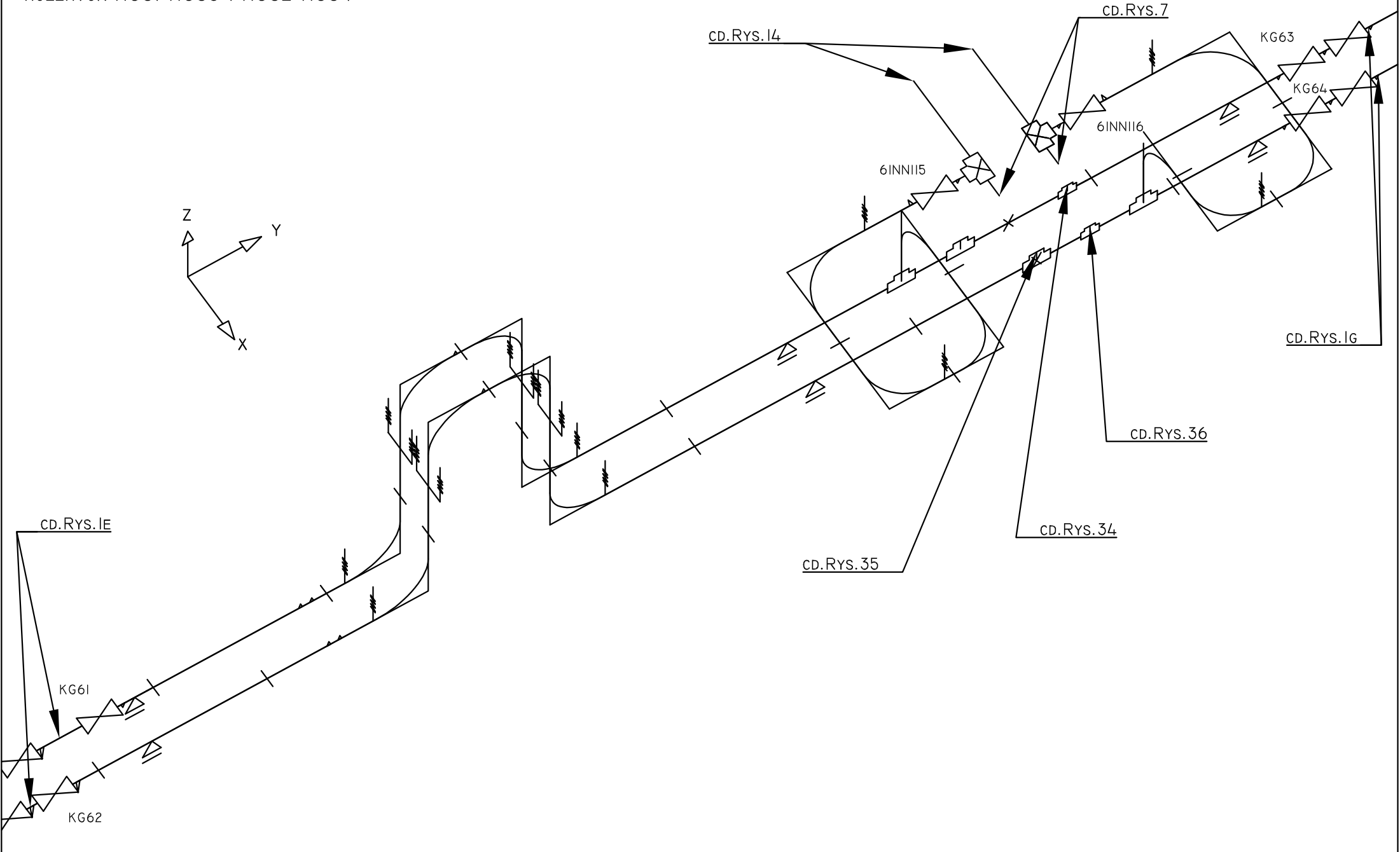
RYS. ID. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG41-KG43 I KG42-KG44



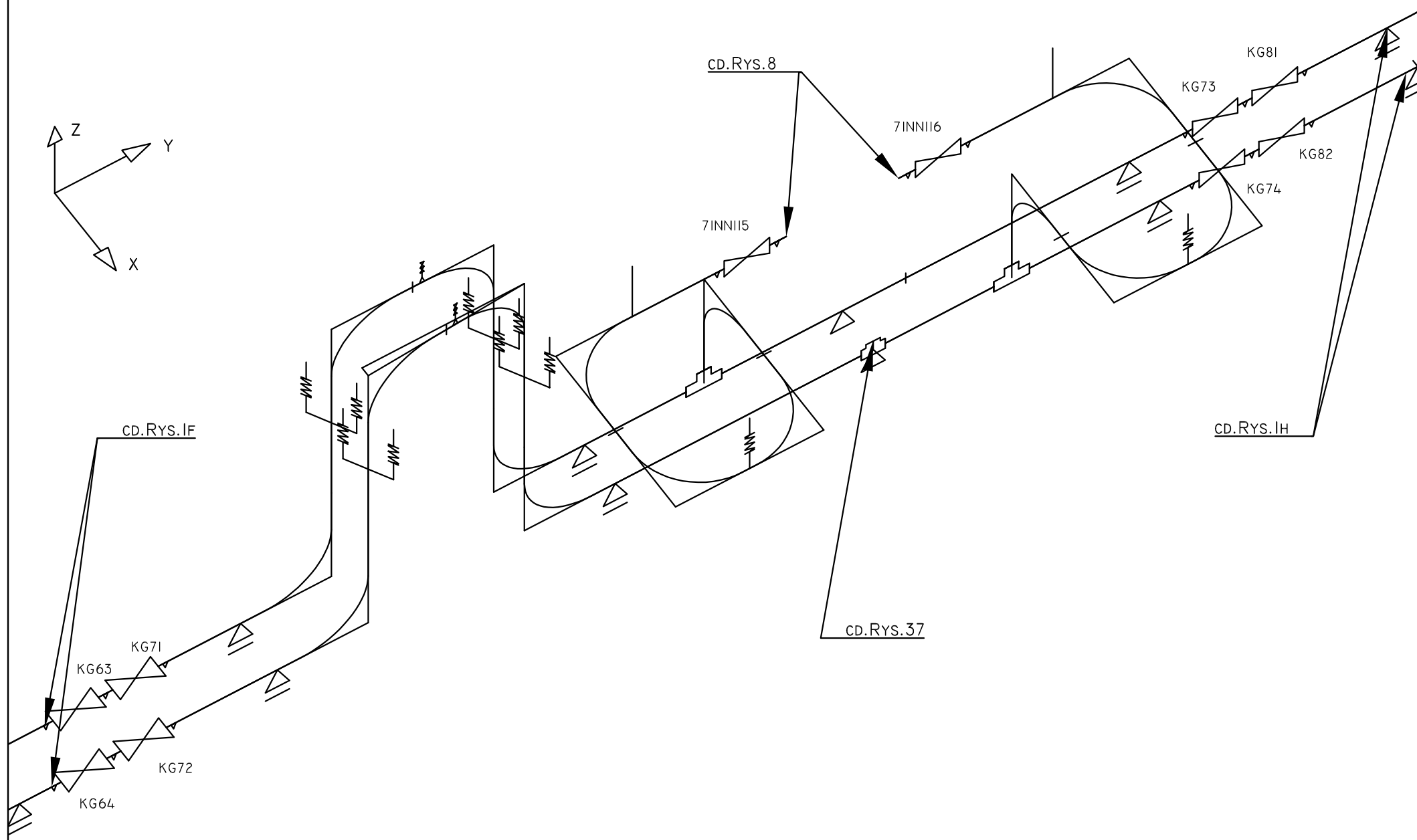
RYS. 1E. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG51-KG53 I KG52-KG54



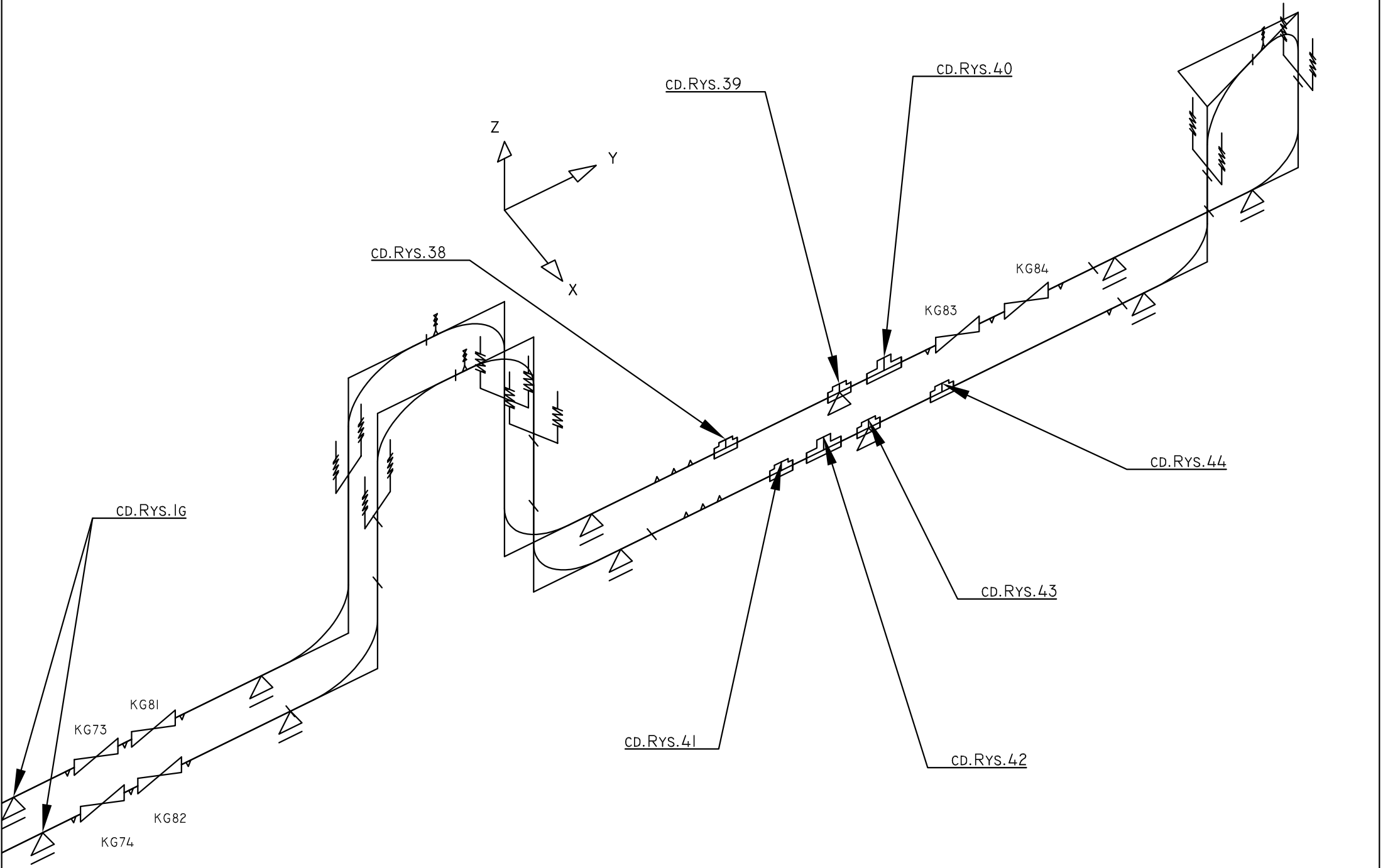
RYS. IF. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG61-KG63 I KG62-KG64



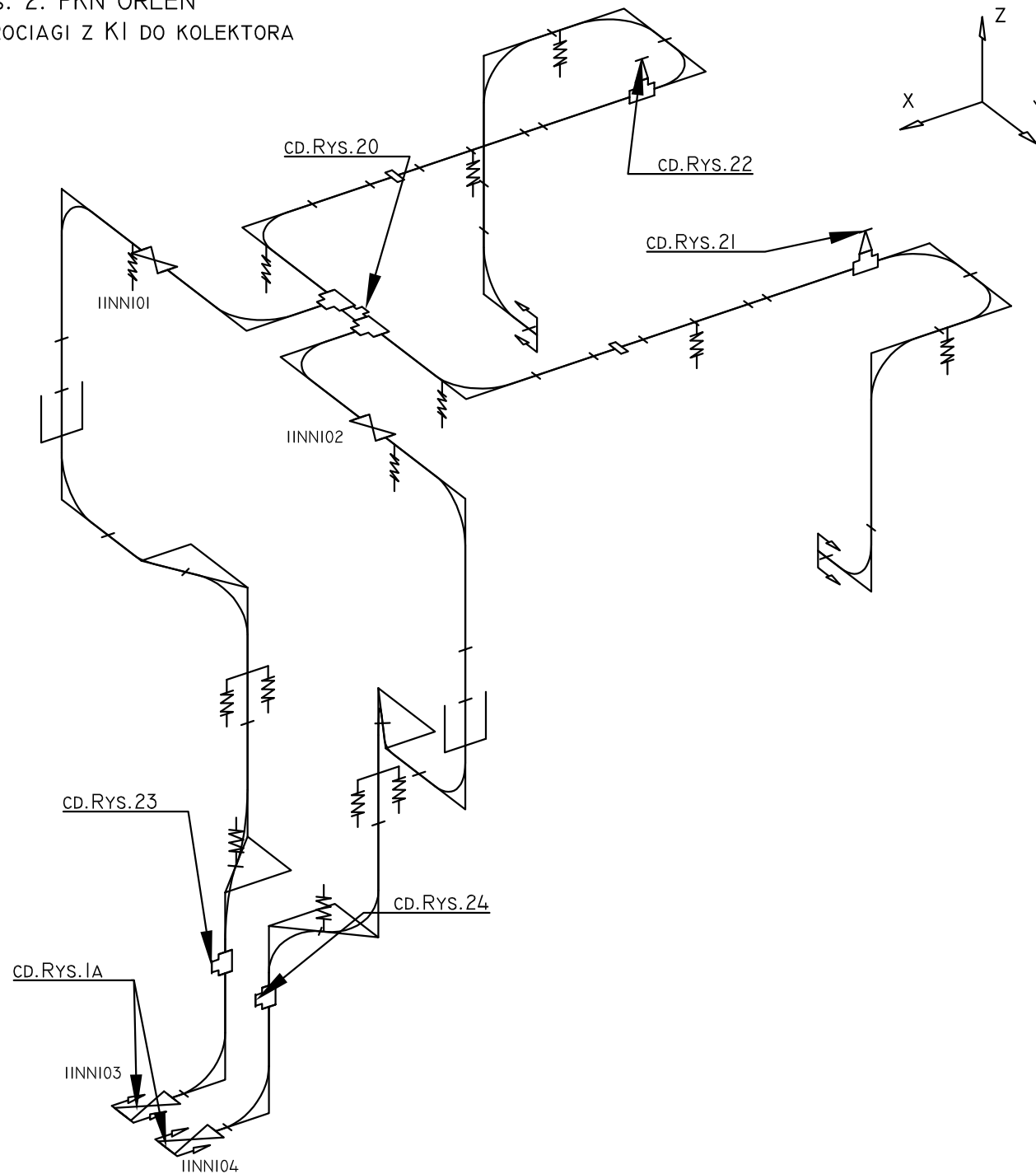
RYS. IG. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG71-KG73 I KG72-KG74



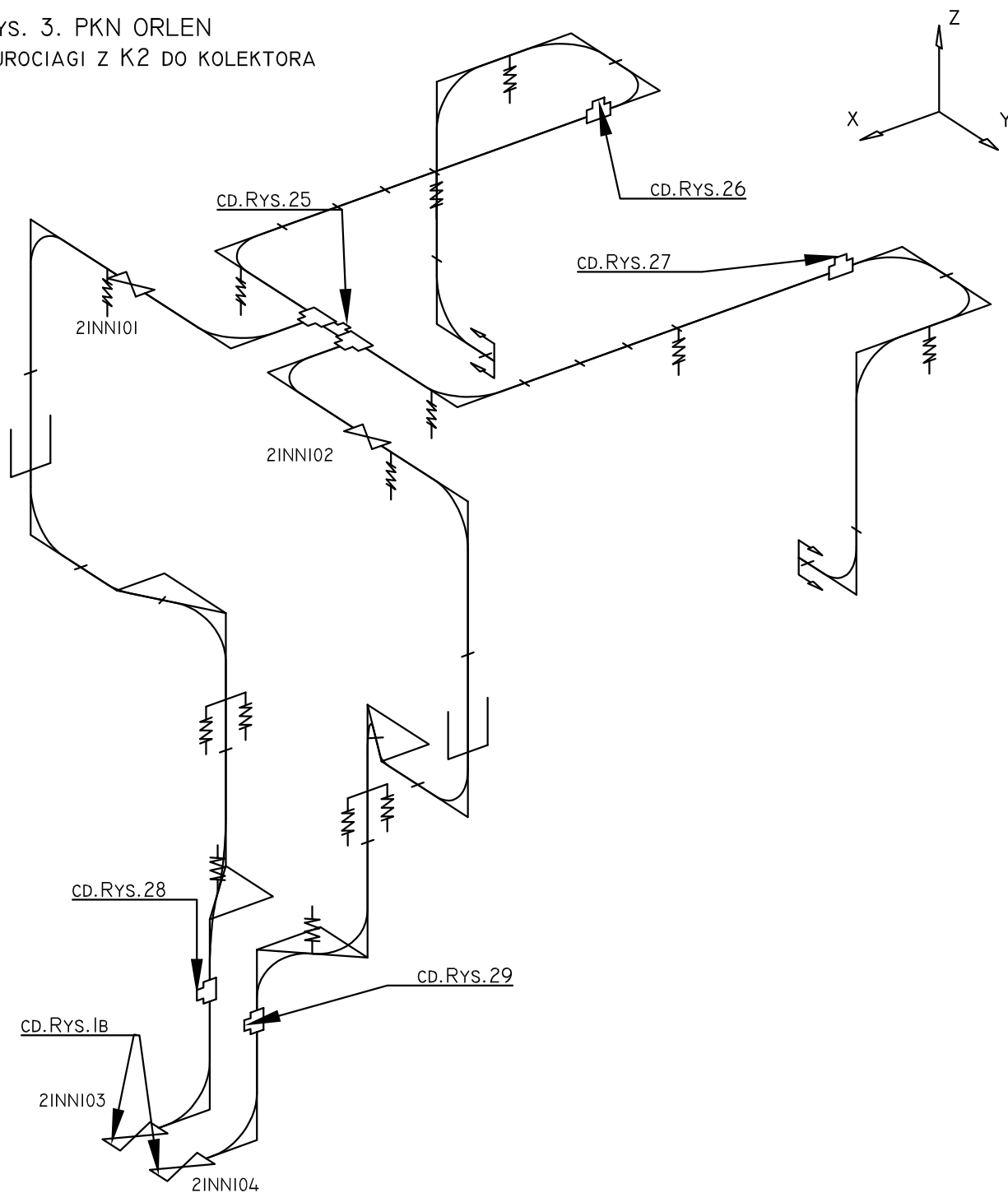
RYS. IH. PKN ORLEN
KOLEKTOR KG81-KG84



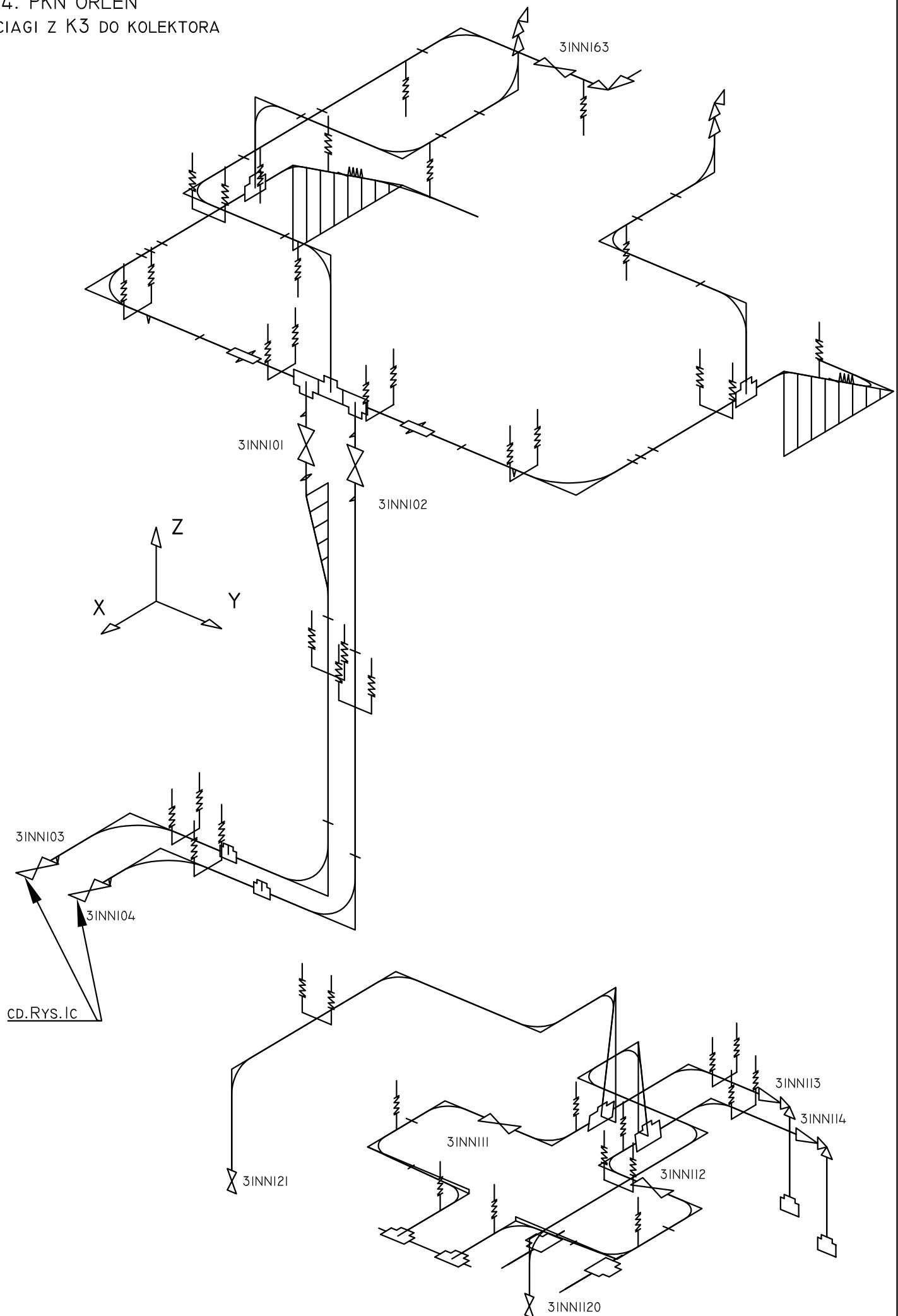
RYS. 2. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z KI DO KOLEKTORA



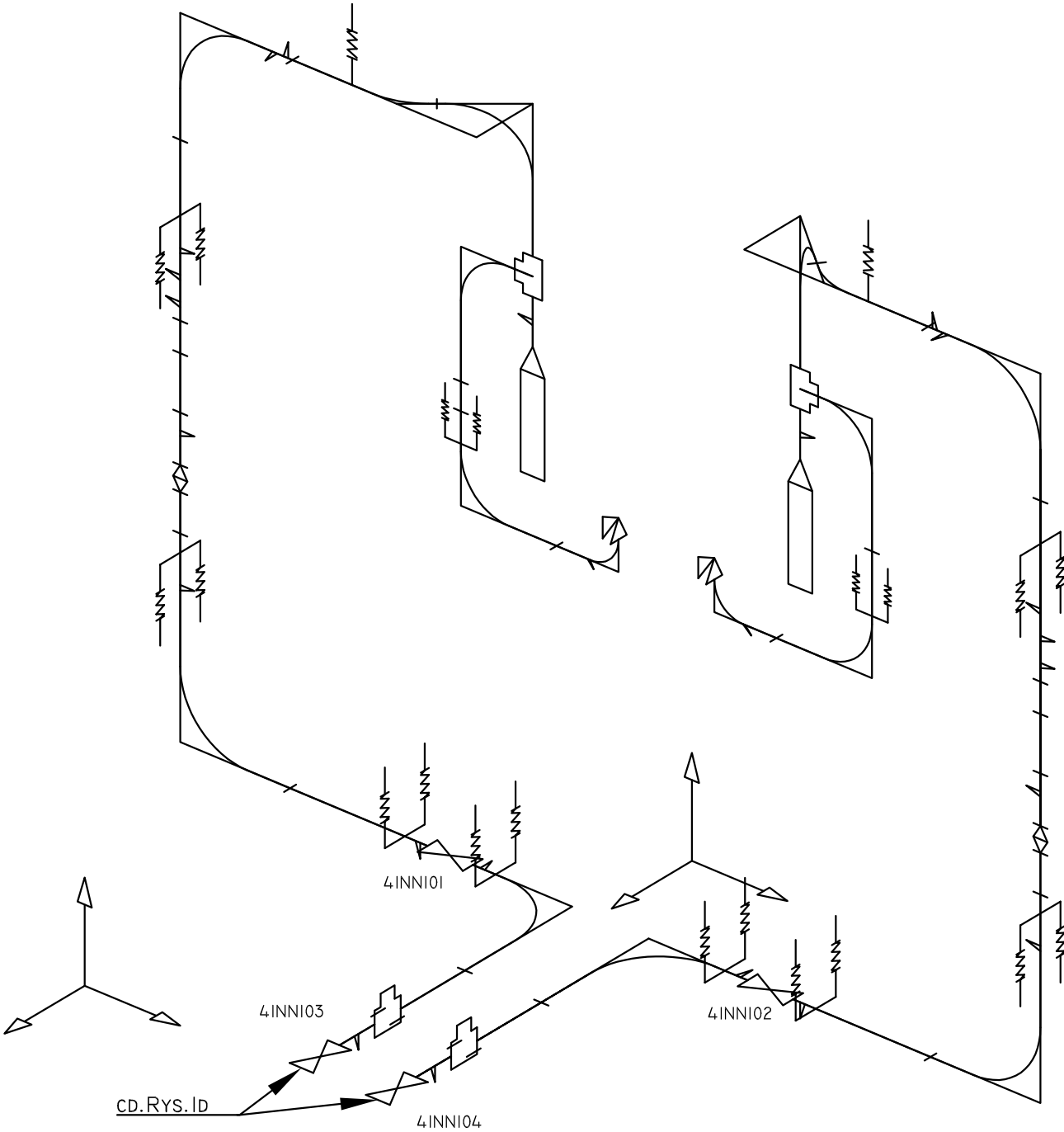
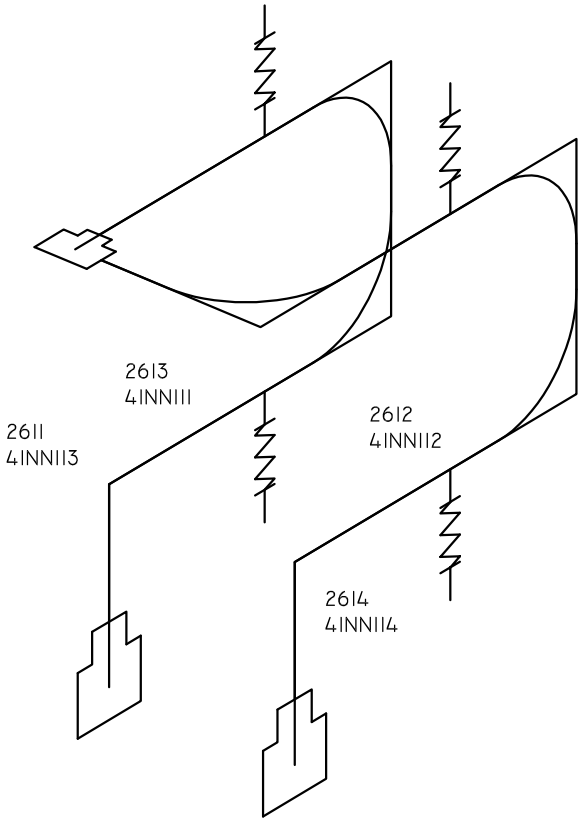
RYS. 3. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z K2 DO KOLEKTORA



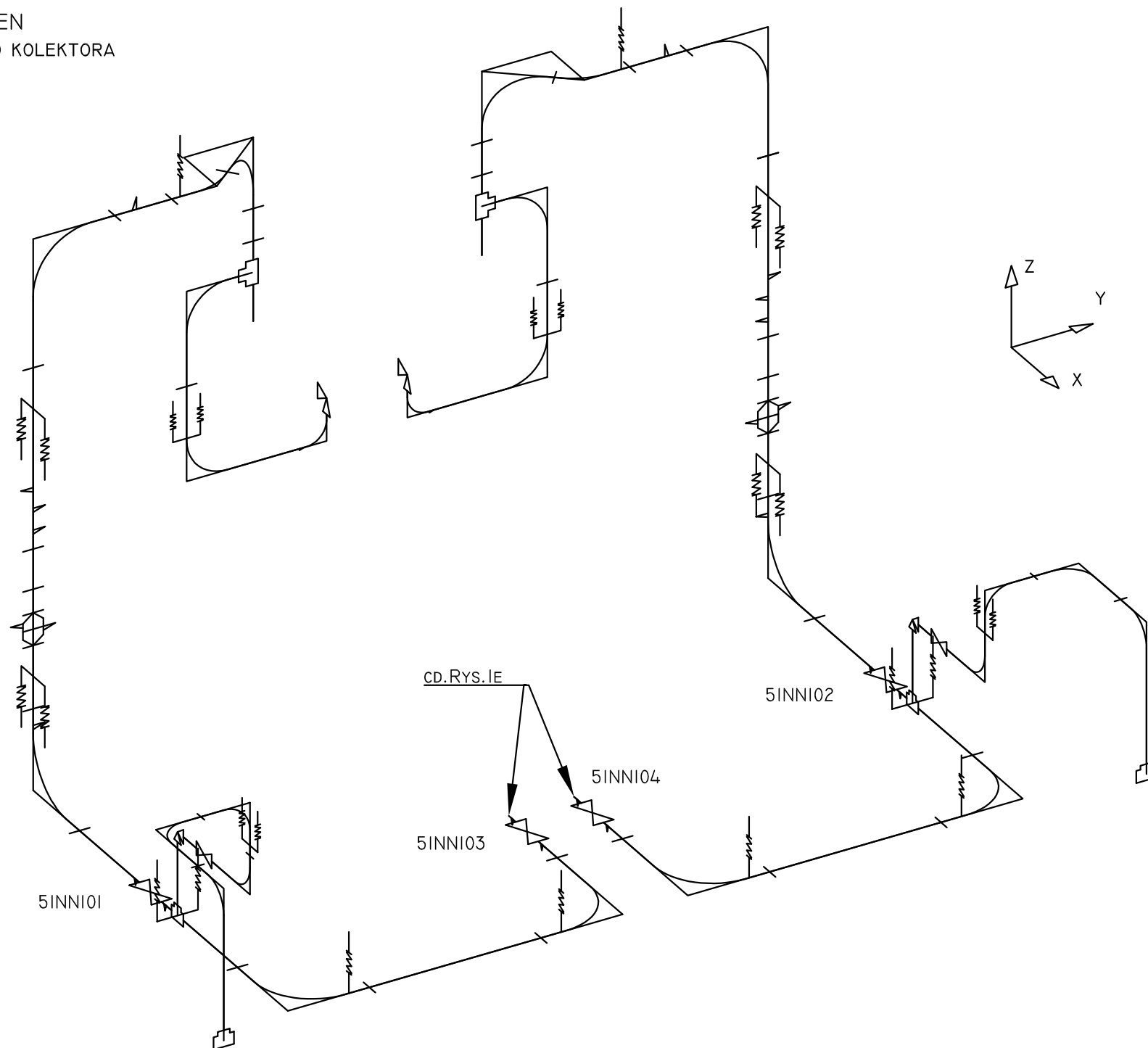
RYS. 4. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z K3 DO KOLEKTORA



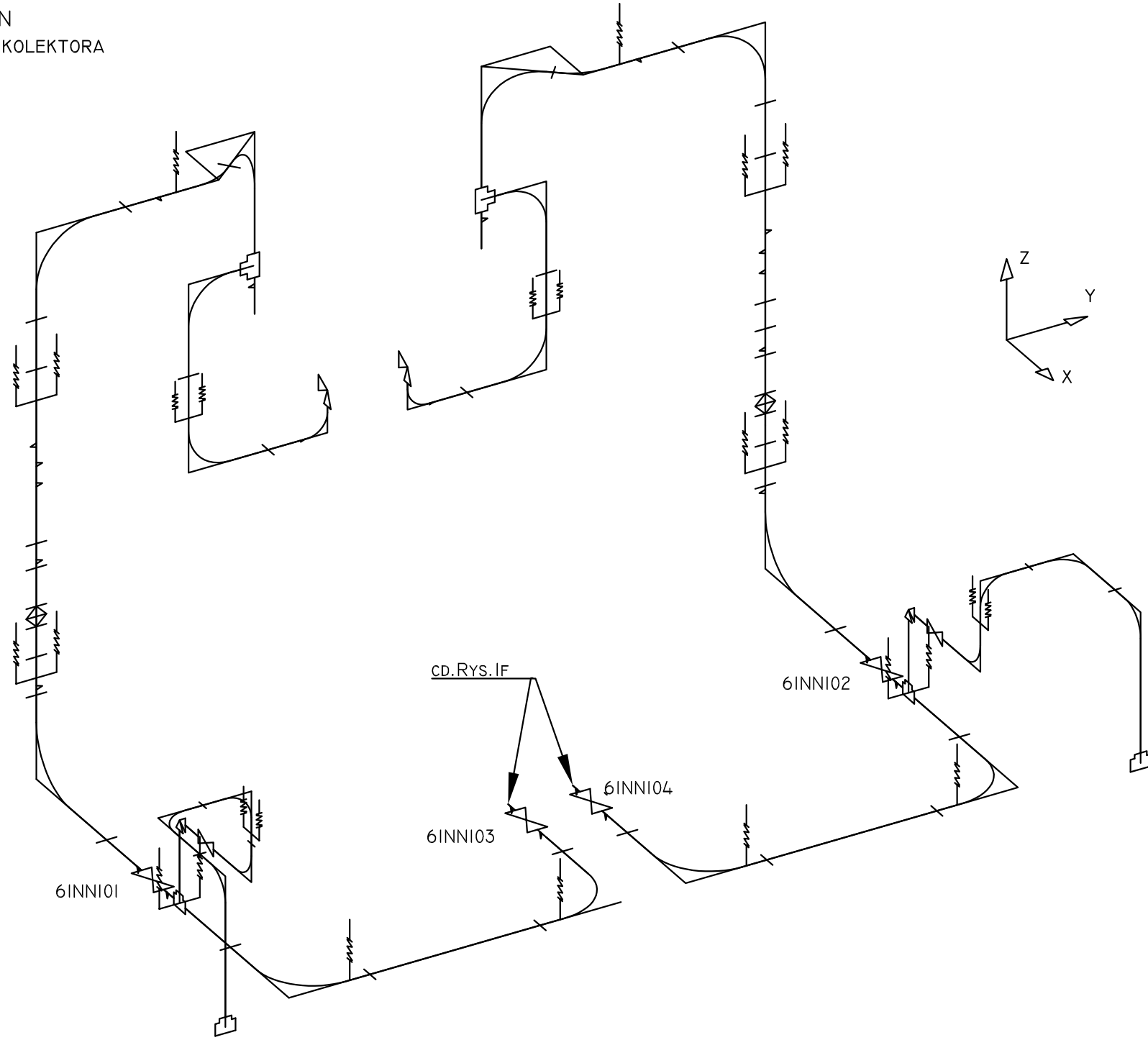
RYS. 5. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z K4 DO KOLEKTORA



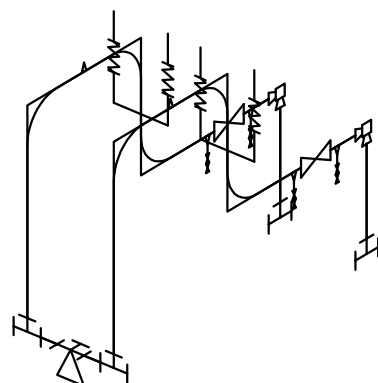
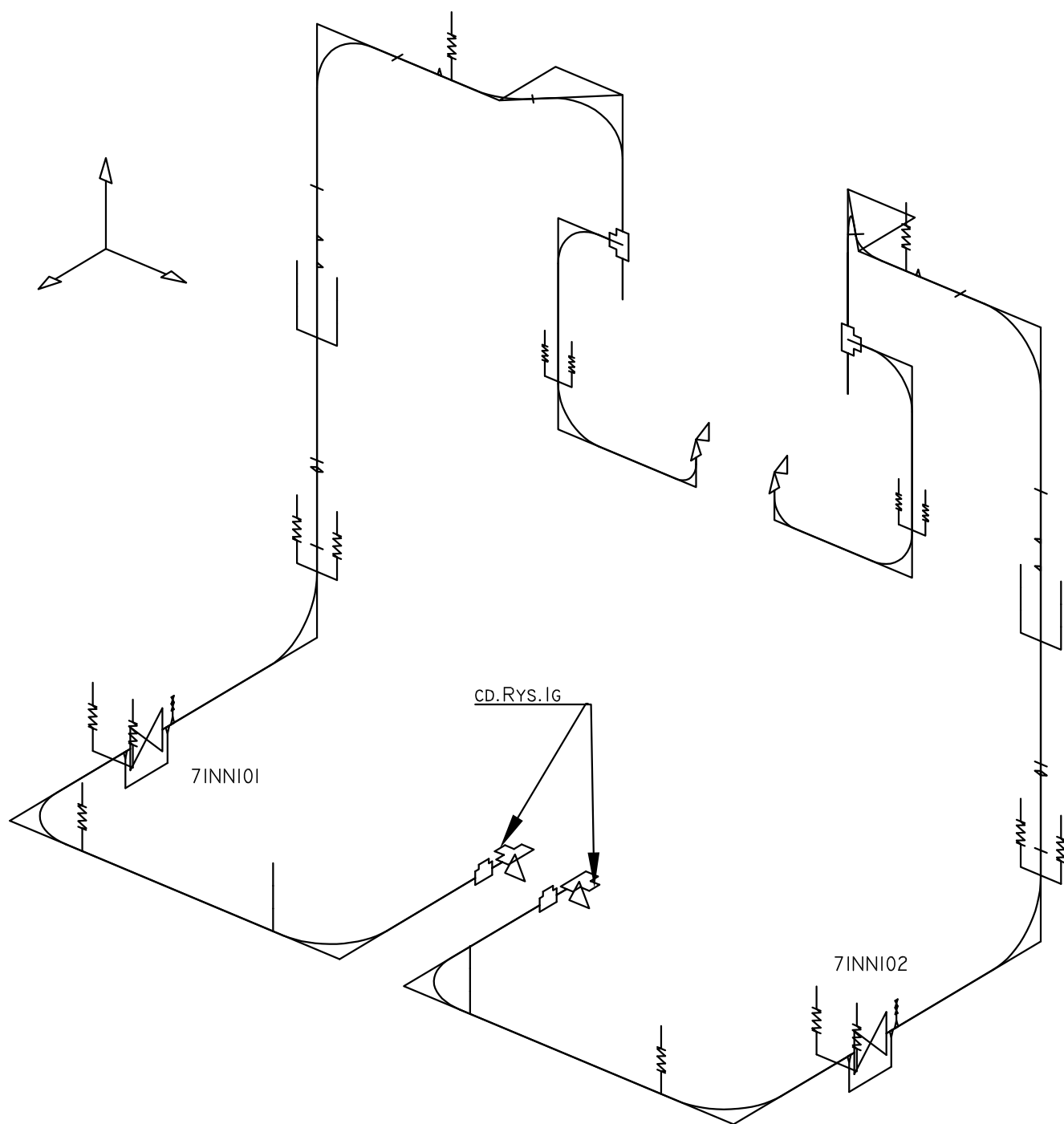
RYS. 6. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z K5 DO KOLEKTORA



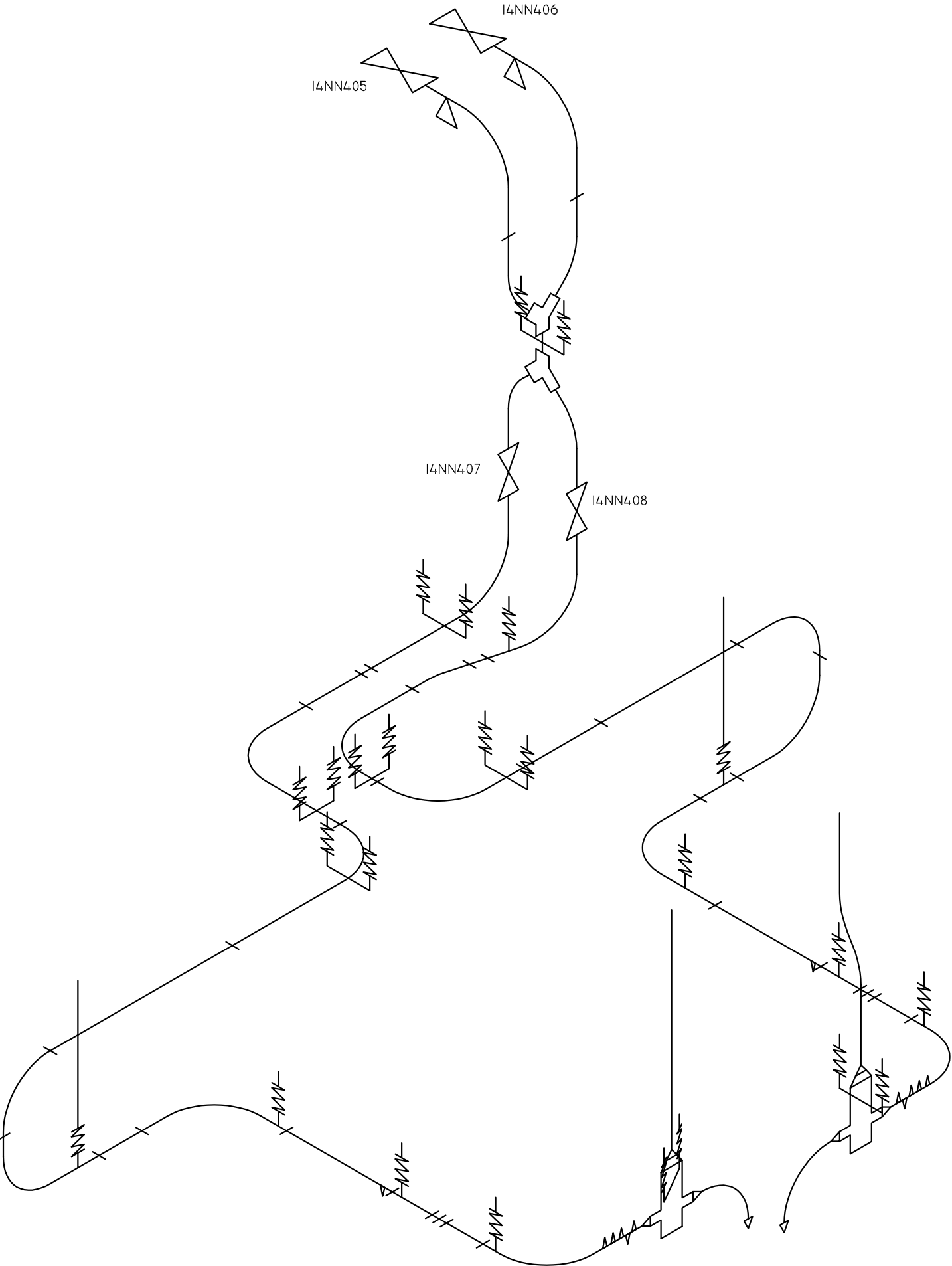
RYS. 7. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z K6 DO KOLEKTORA



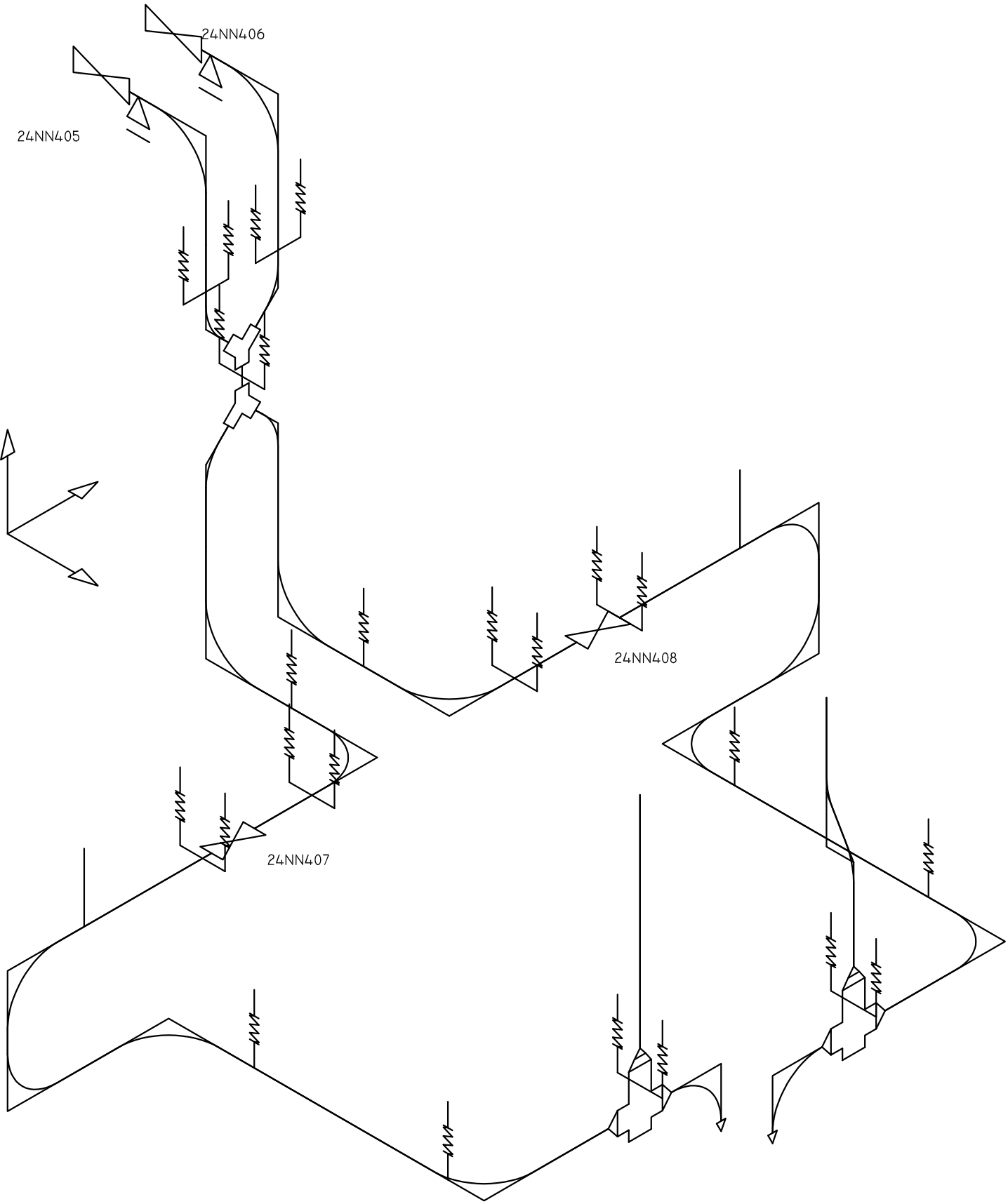
RYS. 8. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z K7 DO KOLEKTORA



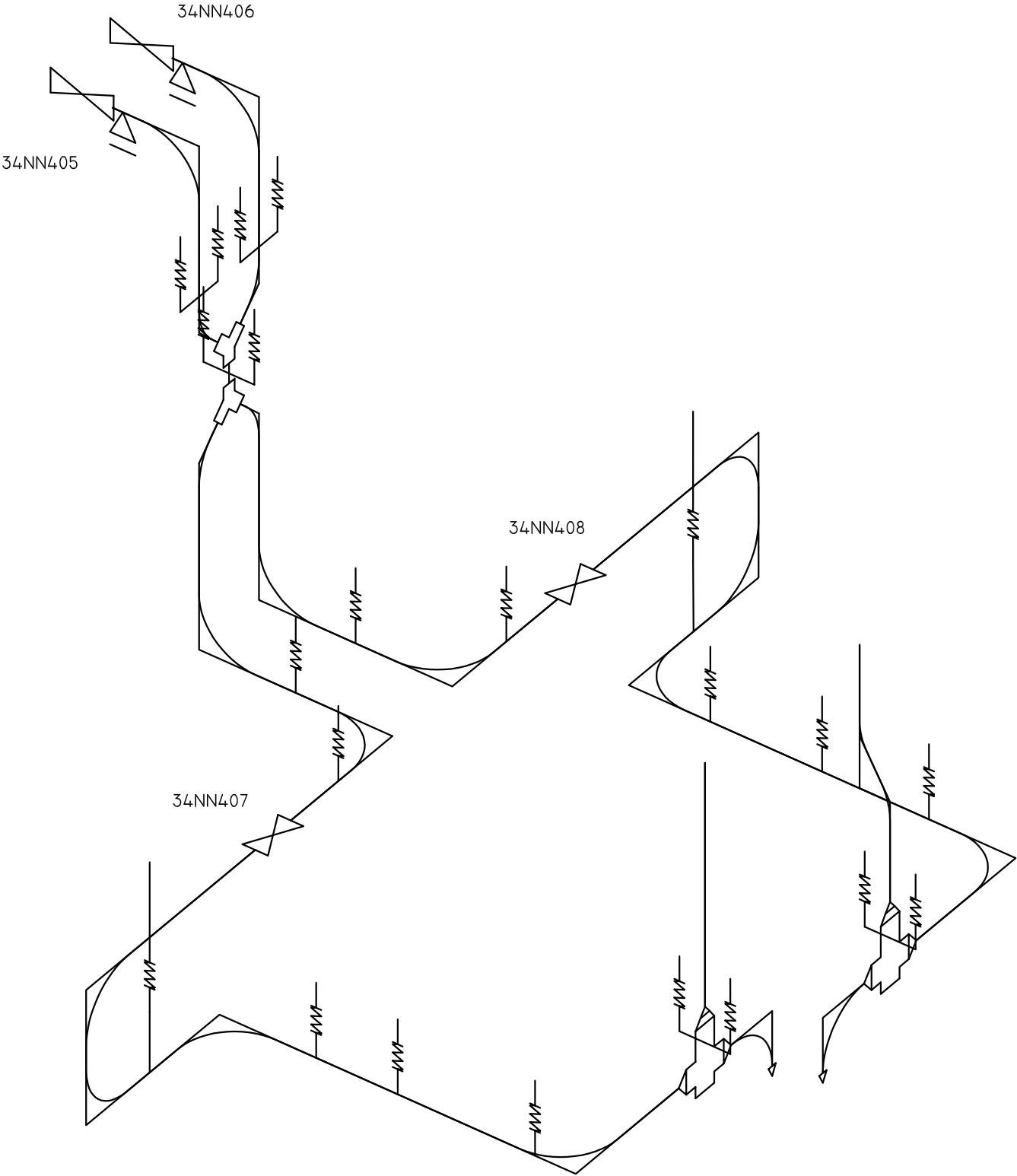
RYS. 9. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z KOLEKTORA DO TGI



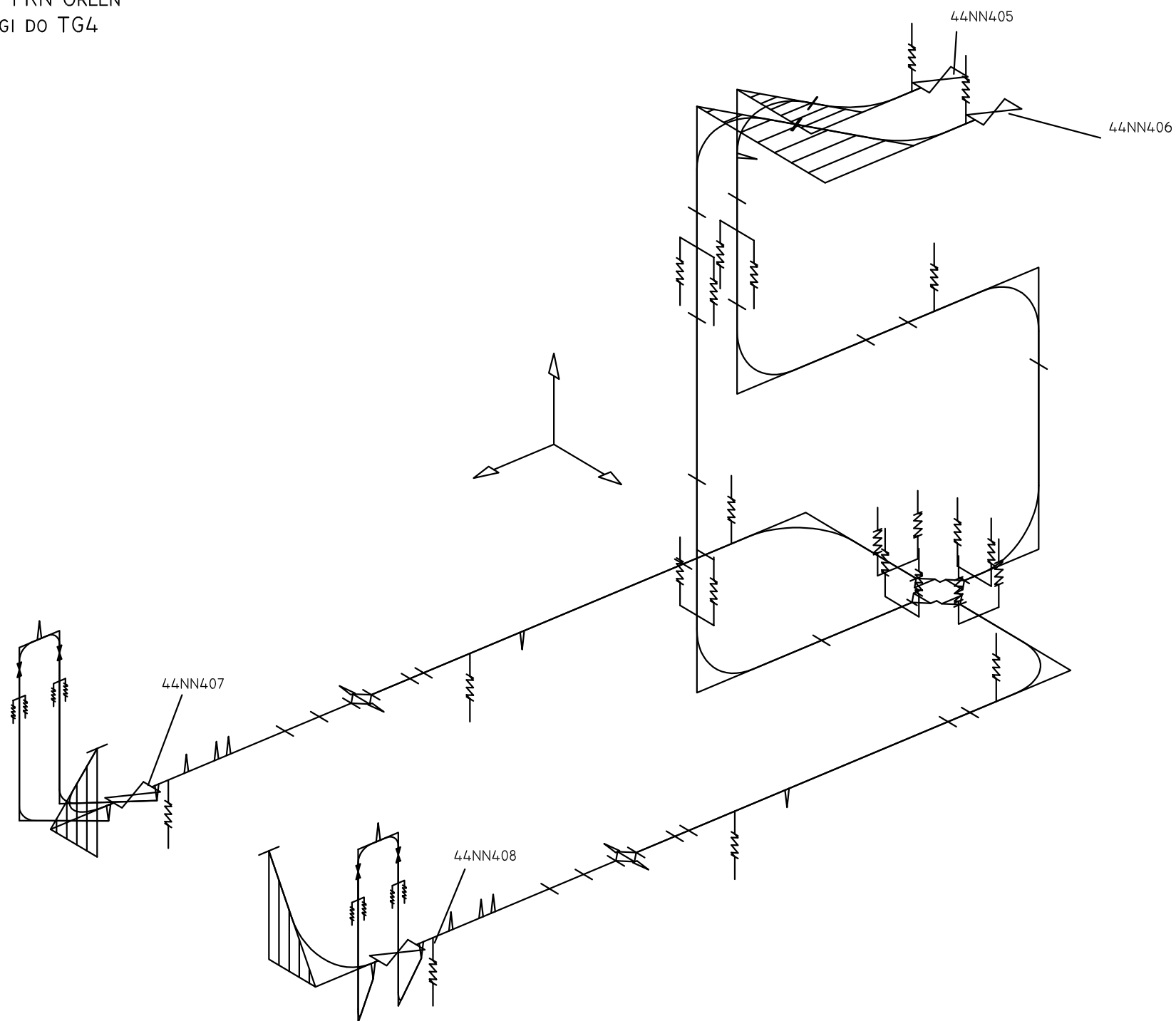
RYS. 10. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z KOLEKTORA DO TG2



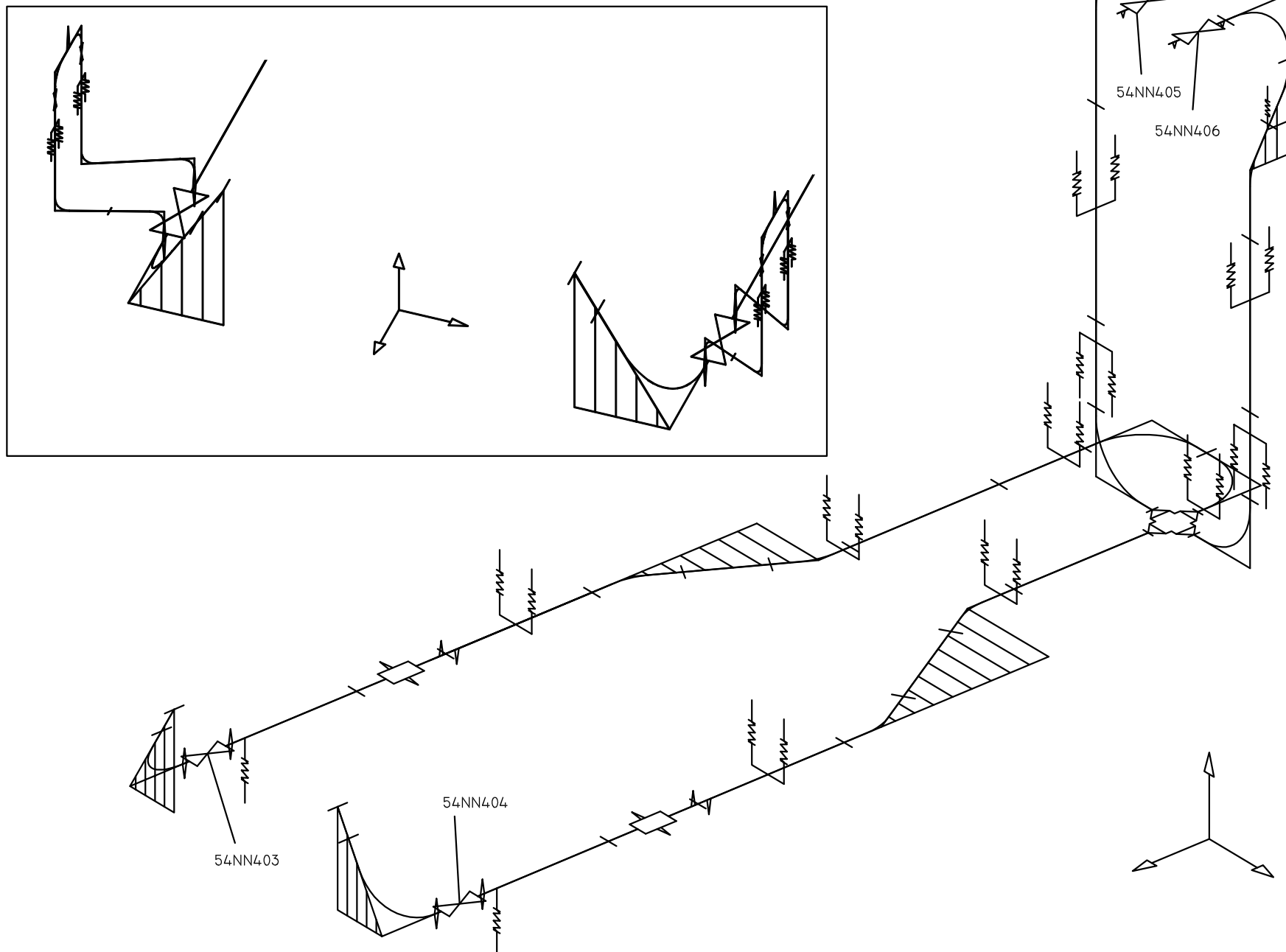
RYS. II. PKN ORLEN
RUROCIAGI Z KOLEKTORA DO TG3



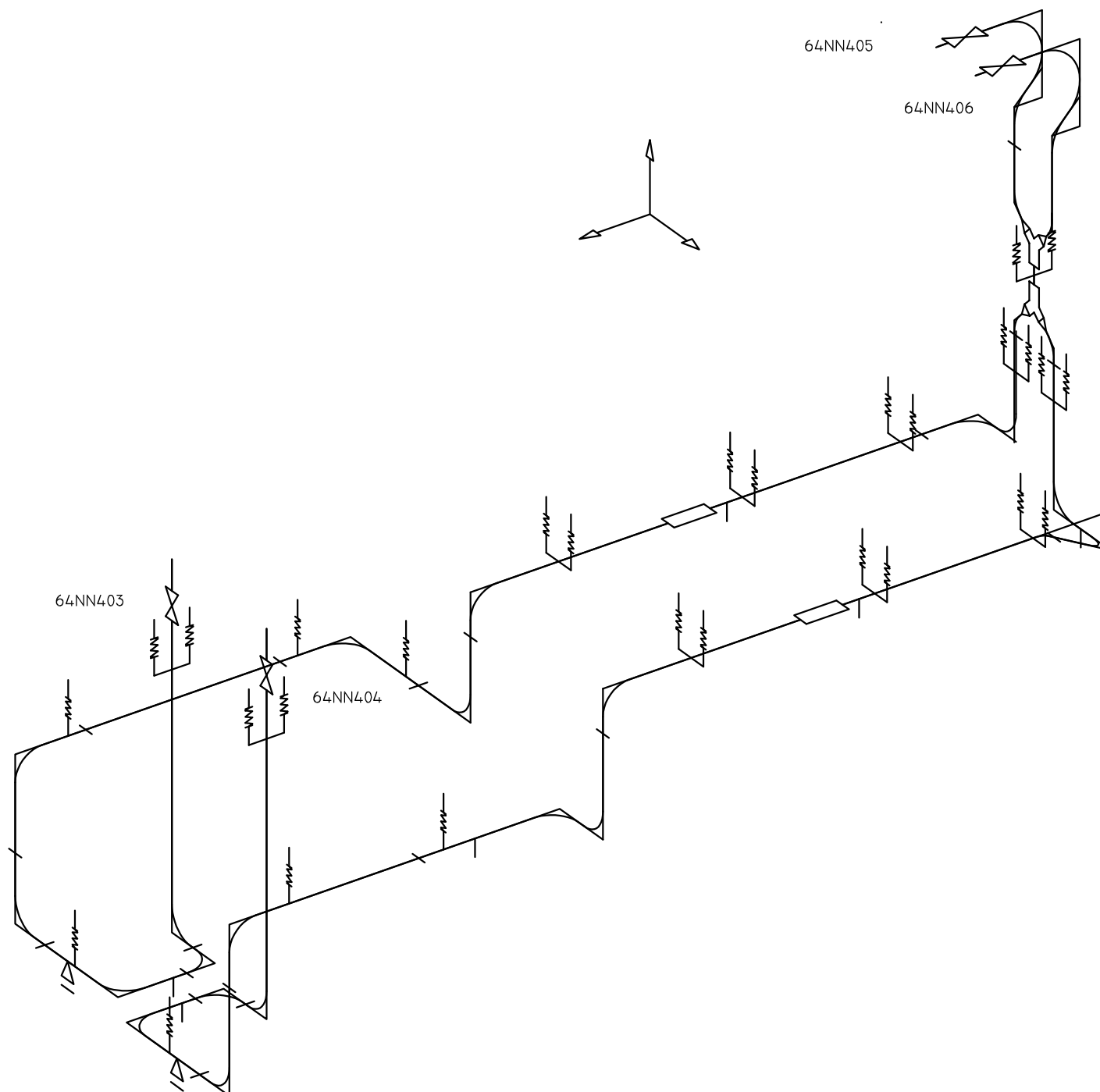
RYS. 12. PKN ORLEN
RUROCIAGI DO TG4



RYS. 13. PKN ORLEN
RUROCIAGI DO TG5



RYS. 14. PKN ORLEN
RUROCIAGI DO TG6



ZAŁĄCZNIK NR 2

PROGRAMY BADAŃ

1.1.Badania podstawowe

Ramowy program badań podstawowych dla rurociągów pracujących powyżej temperatury granicznej:

- badania metalograficzne metodą replik matrycowych w strefach:
 - rozciąganych i neutralnych kolan,
 - strefy zmian kształtu i przekroju kształtek i armatury,
 - obwodowych złącz spawanych,
- pomiar twardości materiału kolan, złącz spawanych, kształtek i armatury w miejscach zdejmowania replik,
- pomiar dwóch prostopadłych średnic kolan w pięciu przekrojach w strefie rozciąganej i obojętnej,
- pomiary grubości ścianki kolan w pięciu przekrojach w strefie rozciąganej, ściskanej i obojętnej,
- pomiary grubości odcinków prostych w 3 przekrojach w 2 prostopadłych płaszczyznach (po 4 punkty pomiarowe na przekrój)
- defektoskopowe badania magnetyczno – proszkowe stref rozciąganych kolan, 100% powierzchni zewnętrznej kształtek spoin obwodowych i pachwinowych wraz ze strefami wpływu ciepła (SWC),
- defektoskopowe badania ultradźwiękowe spoin doczołowych wraz z SWC w sytuacji gdy stwierdzono wskazanie jedną z metod powierzchniowych,
- defektoskopowe badania ultradźwiękowe dolnych tworzących o nieprawidłowej geometrii - ugięcia (tzw. „kieszenie”).
- defektoskopowe badania penetracyjne powierzchni stellitowych klinów i siedzisk klinów zasuw,
- oględziny endoskopowe powierzchni wewnętrznej króćców i przyległych tworzących rurociągów oraz powierzchni wewnętrznej zasuw,
- przegląd stanu zamocowań (odczyt wskaźników zamocowań stałościowych),
- pomiary geometrii sprężyn (identyfikacja) zamocowań sprężynowych,
- określenie wielkości i kierunków spadów poziomych odcinków rurociągów,

Zalecany program badań podstawowych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zalecany program badań podstawowych

BADANIA PODSTAWOWE		
Element	Rodzaj badania	Obszar badania
kolana	MT	strefa rozciągana
	UTT	strefy rozciągana, ściskana i obojętna 5 przekrojach
	OWAL	w 5 przekrojach
	REP	strefa rozciągana i 2 strefy neutralne
	TWAR	w miejscu replik
zasuwy	MT	100% powierzchnia zewnętrznej
	VTE	powierzchnia wewnętrzna
	REP	2 przeciwległe strefy zmiany kształtu
	TWAR	w miejscu replik
	PT	powierzchnie stellite, prowadnice klina
trójniki	MT	100% powierzchnia zewnętrznej
	REP	2 przeciwległe zmiany kształtu (3 w przypadku trójkątów widlastych)
	TWAR	w miejscu replik
króćce odwodnieni/odpowietrzeń	MT	spoiny pachwinowe, 100% powierzchni zewnętrznej
	VTE	powierzchnia wewnętrzną oraz otwór pod króciec
spoiny obwodowe	MT	powierzchnia zewnętrzna + Strefa Wpływu Ciepła
	UT*	100% spoina + SWC
	REP	2/3 ilości złącz spawanych obejmujących obszar: MR/SWC/SP/SWC/MR
	TWAR	w miejscu replik
odcinki proste	UTT	w 3 równoległych płaszczyznach 4 punkty pomiarowe
	D	w 3 równoległych płaszczyznach 2 prostopadłe średnice
	UT	dolne tworzące ugiętych odcinków, tzw. „kieszenie”
zamocowania	MT	spoiny pachwinowe klocków oporowych
	VTO	konstrukcja 100%
	D	wysokości sprężyn
trasa rurociągu	D	określenie spadków

*badanie wykonać w przypadku negatywnego wyniku badania MT

1.2. BADANIA SPECJALNE

Badania specjalne należy wykonać na

- znormalizowanej próbce z wycinka pobranego z miejsca najbardziej wytężonego (wymagana zgoda UDT), lub na próbce pobranej z innego obszaru po uzgodnieniu lokalizacji z UDT,
- w miejscu występowania potencjalnej strefy uszkodzenia,
- w miejscu wykrytych wskazań metodą magnetyczno – proszkową (MT)

Program badań przedstawiono w tabeli nr 2.

Tabela 2

BADANIA SPECJALNE		
Element	Rodzaj badania / obszar badania	
W miejscu potencjalnej strefy uszkodzenia	REP	powierzchnia zewnętrzna
	TWAR	w miejscu replik
W miejscu wykrytych wskazań metodą MT	REP	na końcach wykrytych wskazań
	TWAR	w miejscu replik
próbka	badanie składu chemicznego i określenie gatunku stali	
	badanie metalograficzne po przekroju próbki	
	pomiar twardości po grubości ścianki	
	własności wytrzymałościowe w temp. otoczenia i pracy (R_e , $R_{0.2}$, A , Z ,)	
	pomiar grubości warstwy tlenków	

1.3. BADANIA NISZCZĄCE

Badania niszczące należy wykonać na próbkach pobranych z elementów krytycznych wycofanych z eksploatacji. Program badań niszczących przedstawiono w tabeli nr 3.

Tabela 3

BADANIA NISZCZĄCE	
Element	Rodzaj badania
próbka	badanie składu chemicznego i określenie gatunku stali
	badanie metalograficzne po przekroju próbki
	pomiar twardości po grubości ścianki
	własności wytrzymałościowe w temp. otoczenia i pracy (R_m , R_e , $R_{0.2}$, A , Z ,)
	badanie udarności
	wyznaczenie temperatury przejścia w stan kruchy
	pomiar grubości warstwy tlenków
	skrótowa próba pełzania

ZAŁĄCZNIK NR 3

ANALIZA RYZYKA

Analiza ryzyka to podejście do utrzymania stanu technicznego (diagnostyki i remontów) integrujące zagadnienia techniczne, ekonomiczne i bezpieczeństwa.

Wymaga dysponowania:

- danymi konstrukcyjnymi,
- historią eksploatacji,
- danymi dot. aktualnego stanu technicznego urządzeń
- informacjami dot. warunków pracy,
- informacjami dot. awaryjności (przyczyny i statystyki uszkodzeń),
- informacjami dot. konsekwencji awarii w zakresie:
 - o zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi i stanu technicznego infrastruktury technicznej,
 - o kosztów remontowych,
 - o utraty produkcji,
 - o zagrożenia dla środowiska (m.in. kar w zakresie niedotrzymania limitów emisji).

Niżej opisana metodyka wykorzystuje klasyczne podejście do obliczenia ryzyka wyrażając je jako iloczyn prawdopodobieństwa uszkodzenia oraz jego konsekwencji (1). Prawdopodobieństwo uszkodzenia aktualizuje się w zależności od:

- o aktualnej wiedzy o stanie technicznym urządzenia/elementu, w tym jej jakości,
- o warunków jego eksploatacji.

Ryzyko **R** to iloczyn wielkości we wzorze (1).

$$\mathbf{R = P \times K} \quad (1)$$

gdzie:

P - Prawdopodobieństwo awarii/uszkodzenia

K - Konsekwencje awarii/uszkodzenia

Opisana metodyka priorytetowo traktuje (2):

- prawdopodobieństwo uszkodzenia,
- bezpieczeństwo obsługi,
- aktualny stan techniczny elementu/urządzenia,
- jakość wiedzy w zakresie stanu technicznego oraz analizy warunków pracy,
- wolumen utraty produkcji.

$$\mathbf{R = (P+WKP) \times K} \quad (2)$$

gdzie:

P - prawdopodobieństwo uszkodzenia,

WKP - współczynnik korekty prawdopodobieństwa,

K - konsekwencje uszkodzenia $K = RMB \times RBO$

RMP - wartość rankingu strat w majątku produkcyjnym,

RBO - wartość rankingu bezpieczeństwa obsługi.

Współczynnik WPK korekty prawdopodobieństwa uwzględnia wpływ na zmianę prawdopodobieństwa P następujących czynników:

- jakości informacji wyjściowych (dane konstrukcyjne, historia pracy, stan techniczny, prognoza trwałości),
- jakości bieżącej diagnostyki (wykonywanie badań w odpowiednim zakresie podczas postojów planowych oraz ekspertyz poawaryjnych),
- jakości remontów planowych (termin, zakres, zastosowane technologie napraw)
- bieżącego stanu technicznego,
- cieplno-mechanicznych i chemicznych warunków pracy na podstawie bieżącej analizy wybranych parametrów pracy.

Analiza ryzyka to proces złożony z następujących czynności i procedur:

1. Wybór obiektu(ów) analizy.
2. Określenie początkowego prawdopodobieństwa uszkodzenia wybranych obiektów.
3. Określenie początkowych konsekwencji uszkodzenia wybranych obiektów.
4. Wygenerowanie macierzy ryzyka obiektów.
5. Korekta prawdopodobieństwa uszkodzenia na podstawie informacji podczas eksploatacji urządzenia,
6. Aktualizacja ryzyka awarii na podstawie informacji podczas eksploatacji urządzenia.
7. Korekta prawdopodobieństwa uszkodzenia na podstawie informacji z postoju urządzenia.
8. Korekta konsekwencji uszkodzenia na podstawie informacji z postoju urządzenia.
9. Aktualizacja ryzyka awarii na podstawie informacji z postoju urządzenia.

Wdrożenie analizy ryzyka powinno się traktować jako proces złożony z siedmiu etapów:

Etap 1:

Należy zdefiniować i opisać obiekt analizy. Metodologię analizy ryzyka można wykorzystywać dla elementów krytycznych i/lub wpływających na niezawodność bloku energetycznego. Obiekt i jego elementy powinny posiadać opis wszystkich istotnych cech konstrukcyjnych oraz zarejestrowaną historię eksploatacji w zakresie:

- czas pracy, liczba i rodzaj uruchomień,
- wyniki badań i ocen stanu technicznego,
- ilość i rodzaj napraw, regeneracji (rewitalizacji), wymian,
- awarie (rodzaj, liczba, przyczyna, środki zapobiegawcze).

Podstawowe znaczenie ma analiza awaryjności oraz identyfikacja (charakter) uszkodzeń (pęknięcie, nadmierna deformacja, degradacja struktury – zwłaszcza obecność fizycznych uszkodzeń) podczas remontów planowych. Informacje jw. powinny być systematycznie przetwarzane i archiwizowane, najlepiej przy pomocy odpowiednich aplikacji informatycznych. Dokumentowanie procesów eksploatacji, utraty cech użytkowych i degradacji własności użytych materiałów jest podstawowym warunkiem powodzenia przy wdrażaniu analizy ryzyka. Awarię definiuje się na ogół jako brak produkcji lub jej ograniczenie. Nie ma znaczenia czy uszkodzenie powstało podczas eksploatacji urządzenia, czy zidentyfikowano je podczas planowego postoju, jeśli wpłynęło na zwiększenie budżetu remontowego a zwłaszcza gdy przedłużyło czas

trwania remontu. Szczególnym przypadkiem takiego rodzaju awarii są uszkodzenia wywołane korozją postojową.

Etap 2:

Jeśli brakuje ścisłych informacji statystycznych (Tablica 2) początkowe prawdopodobieństwo uszkodzenia można określić na podstawie wiedzy i doświadczenia ekspertów - Tablica 1. Takie podejście zaleca się stosować przy określaniu prawdopodobieństwa początkowego na podstawie danych historycznych z jednej lub najlepiej wielu elektrowni eksploatujących jeden/podobny typ urządzeń.

Tablica 1

Szacowanie prawdopodobieństwa uszkodzenia/awarii

LP	CZĘSTOTLIWOŚĆ USZKODZENIA	PRAWDOPODOBIENSTWO	
1.	Nie wystąpiło w energetyce	0,1	Bardzo niskie
2.	Wystąpiło jednokrotnie w energetyce	0,2	Niskie
3.	Wystąpiło wielokrotnie w energetyce	0,3	Średnie
4.	Wystąpiło jednokrotnie w danej elektrowni	0,5	Wysokie
5.	Wystąpiło wielokrotnie w danej elektrowni	0,7	Bardzo wysokie

Tablica 2

Szacowanie prawdopodobieństwa uszkodzenia/awarii

LP	CZĘSTOTLIWOŚĆ USZKODZENIA NA ROK	PRAWDOPODOBIENSTWO	
1.	1	0 - 0,1	Bardzo niskie
2.	2	0,1 - 0,3	Niskie
3.	3 ÷ 4	0,3 - 0,5	Średnie
4.	5	0,5 - 0,7	Wysokie
5.	> 5	> 0,7	Bardzo wysokie

Prawdopodobieństwo początkowe podlega korekcji wg wartość rankingu informującego o jakości wiedzy i informacji o danych elemencie.

Etap 3:

Rozróżnia się dwa rodzaje konsekwencji tj. kosztów odnoszących się do majątku produkcyjnego oraz zagrożenia dla życia i zdrowia ludzkiego. Wśród kosztów materialnych wyróżnić można koszty utraty produkcji oraz koszty naprawy i usunięcia skutków awarii – Tablica 3. To ważne m.in. do oceny kosztów diagnostyki – często drobna „oszczędność” na diagnostyce skutkuje znacznymi konsekwencjami. Odnośnie do konsekwencji uszkodzeń (dot. zwłaszcza elementów grubościennych) należy określać/szacować koszty poszczególnych napraw/regeneracji).

Tablica 3

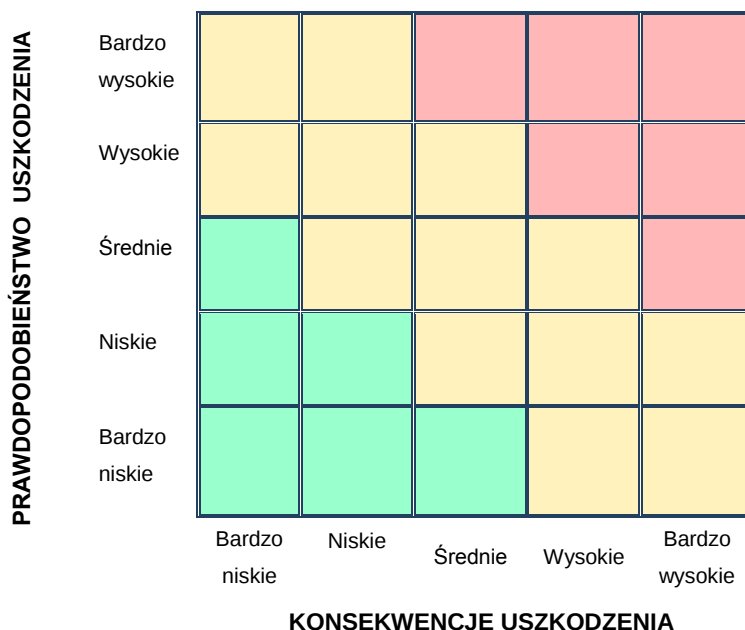
Wartości rankingów RMP i RBO dla określenia konsekwencji uszkodzenia

STRATY MAJĄTKOWE I PRODUKCYJNE			BEZPIECZEŃSTWO PERSONELU	
Wielkość strat ^{*)} [PLN]		Wartość rankingu	Rozmiar zagrożenia [*]	Wartość rankingu
< 10.000	Bardzo niskie	1	Bardzo niskie dla poj. osób	1
10.000 ÷ 100.000	Niskie	2	Niskie dla poj. osób	2
100 tys ÷ 1 mln	Średnie	3	Średnie dla wielu osób	3
1 mln ÷ 10 mln	Wysokie	4	Wysokie dla wielu osób	4
>10 mln	Bardzo wysokie	5	Bardzo wysokie dla wielu osób	5

**/ Wymaga odrębnego ustalenia dla konkretnej elektrowni (grupy elektrowni).*

Etap 4:

Ryzyko uszkodzenia/awarii zaleca się przedstawiać w formie macierzy jak na Rys. 1 wyrażając prawdopodobieństwo i konsekwencje w pięciostopniowych skalach.



Rys. 1. Macierz ryzyka (1) w formie graficznej wraz z obszarami wyróżnionego ryzyka – patrz niżej ich opis.

Wyróżnione obszary ryzyka:

- | | | |
|---|--------------------------------------|--|
|  | nieakceptowalny poziom ryzyka | – rozważyć możliwość odstawienia urządzenia w możliwie najbliższym czasie biorąc pod uwagę wymianę elementu. |
|  | warunkowo akceptowalny poziom ryzyka | – wykonać badania w najbliższym remoncie biorąc pod uwagę naprawę elementu. |
|  | akceptowalny poziom ryzyka | – nie wymaga podejmowania przedsięwzięć. |

Na wykresach macierzy ryzyka należy zdefiniować wyróżnione obszary ryzyka wg kategorii:

- akceptowalny poziom ryzyka,
- warunkowo akceptowalny poziom ryzyka,
- nieakceptowalny poziom ryzyka,

z podaniem czynności/zabiegów eksploatacyjnych i diagnostyczno-remontowych, które należy podejmować w dwóch ostatnich przypadkach.

Etap 5:

Podczas eksploatacji urządzenia wartość prawdopodobieństwa P_p , ze względu na warunki pracy koryguje się dla każdego elementu tylko wtedy gdy rzeczywiste warunki pracy (przekroczenia dopuszczalnych wartości wybranych, cieplno-mechanicznych oraz chemicznych parametrów pracy) mogą mieć wpływ na stan techniczny elementu (patrz Tablica 4).

Tablica 4

SKUTEK PRZEKROCZENIA PARAMETRÓW PRACY			SPOSÓB KOREKCJI PRAWDOPODOBIEŃSTWA
Element podlegający analizie	Analiza wybranych parametrów		Bez korekcji
			Korekcja
			Korekcja

Etap 6:

Na podstawie informacji z postoju urządzenia współczynnik WPK może ulec korekcie ze względu na zmianę prawdopodobieństwa P wywołaną przez następujące czynniki:

- statystyka awaryjności,
- jakość bieżącej diagnostyki (wykonywanie badań w odpowiednim zakresie podczas postojów planowych oraz ekspertyz poawaryjnych),
- jakość i zakres remontu,
- wyniki badań i pomiarów,
- ocena stanu technicznego.

Przykładowo dla rur powierzchni ogrzewalnych kotła ze względu na wyniki badań prawdopodobieństwo koryguje się w następujący sposób:

- Dla rur pracujących poniżej temperatury granicznej wartość P_p ze względu na wielkość ubytku grubości ścianki w stosunku do grubości obliczeniowej koryguje się w sposób przedstawiony w Tablicy 5.

Tablica 5

STOPIEŃ UBYTKU GRUBOŚCI ŚCIANKI*	SPOSÓB KOREKCJI PRAWDOPODOBIEŃSTWA
< 30%	Bez korekcji
30% ÷ 80%	Korekcja
> 80%	Korekcja

**/ Dotyczy różnicy pomiędzy grubością nominalną (wyjściową) a grubością rzeczywistą.*

- Dla rur pracujących powyżej temperatury granicznej wartość P_p ze względu na stopień wyczerpania trwałości koryguje się w sposób przedstawiony w Tabelcy 6, ale tylko wtedy gdy SWT (stopień wyczerpania trwałości) określony wg struktury jest równy lub większy od SWT na podstawie obliczeń.

Tabelca 6

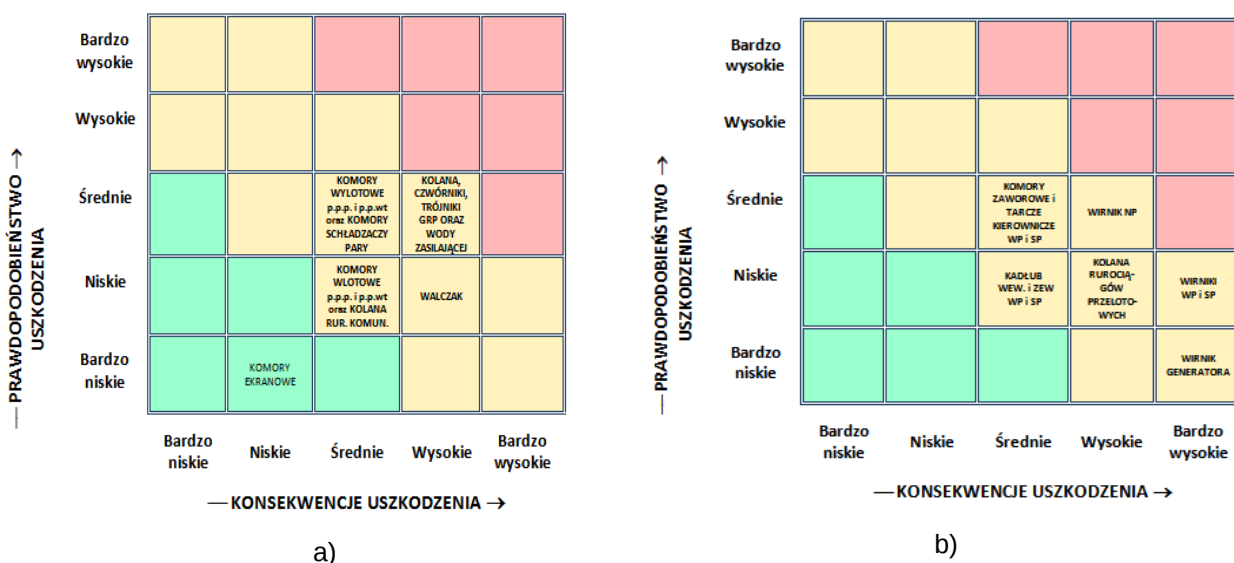
STOPIEŃ UBYTKU GRUBOŚCI MATERIAŁU (SWT)	SPOSÓB KOREKCJI PRAWDOPODOBIENSTWA
< 30%	Bez korekcji
30% ÷ 70%	Korekcja
> 70%	Korekcja

Dodatkowo podczas postępu zmianie mogą podlegać konsekwencje uszkodzenia wg Tabelcy 3.

Etap 7:

Wykonanie czynności jw. daje możliwość bieżącej aktualizacji ryzyka oraz jego wizualizację w formie macierzy w kontekście przyjętych kryteriów akceptacji.

Na Rysunku 2 przedstawiono przykładową macierz z wygenerowanymi elementami krytycznymi głównych urządzeń energetycznych bloku.



Rysunek 2. Przykład macierzy ryzyka dla urządzeń/elementów krytycznych kotła i rurociągów a) oraz turbozespołu b)

Analiza ryzyka może udostępniać aktualną wiedzę użyteczną dla inżyniera, ekonomisty i ubezpieczyciela oraz managera w obszarze zarządzania majątkiem. Wymaga to przetwarzania stosunkowo dużej liczby danych i informacji o wysokiej jakości, aktualizowanych w trybie *on-line*. Zarówno te wymagania jak i udostępniane bieżącej wiedzy w odpowiedniej formie wymaga wykorzystywania odpowiednio zbudowanych i skonfigurowanych aplikacji informacyjnych.

Komercjalizacja produkcji energii i potrzeba elastycznego dostosowania się do wymagań rynku wymusza oprócz stosowania sztywnych procedur także wykorzystywanie metod „racjonalnego hazardu” wtedy gdy takie podejście nie stwarza nieakceptowalnego wzrostu zagrożenia dla życia i zdrowia obsługi.