

KRUCHE PĘKANIE A ...GEOPOLITYKA

JAN RZĄDKOWSKI

Krucze pęknięcie rurociągów

Na konstrukcję rurociągu, oprócz przewodu rurowego wraz z elementami wsporczymi, składają się instalacje technologiczne takie jak pompy, filtry, zawory etc., służące przesyłowi medium, instalacje pomiarowe i ochronne, jak również instalacje diagnostyczne informujące operatora rurociągu o stanie technicznym oraz uszkodzeniach przewodu i urządzeń technologicznych. Sam przewód rurociągu wydaje się najprostszym elementem skomplikowanej technicznie „maszyny transportowej”. W obiegowej opinii to tylko zaizolowana rura stalowa z którą przy dobrze wykonanej izolacji nic złego nie powinno się dziać. Pozornie. Dzieje się wiele pomimo wymyślnych zabezpieczeń antykorozyjnych.

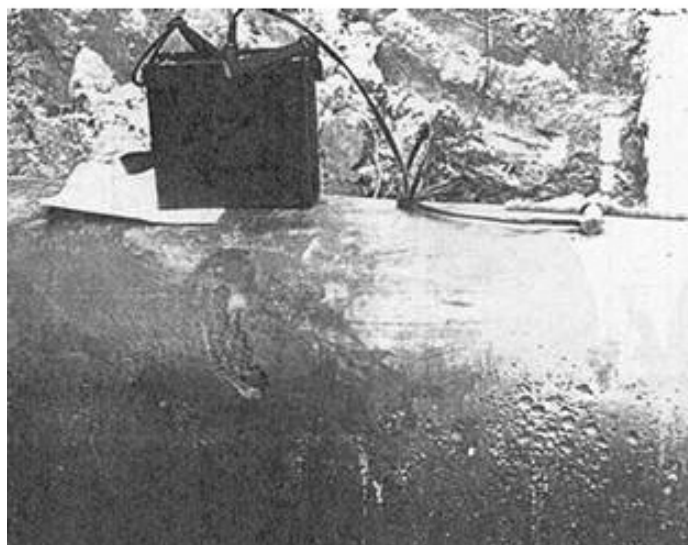
Znaczenie gospodarcze przesyłanych rurociągami mediów sprawia, że przewody rurociągów są obecnie najdokładniej zabezpieczonymi antykorozyjnie obiektami stalowymi. Przepisy dotyczące ochrony antykorozyjnej rurociągów dalekosiężnych zostały wprowadzone w Europie i także w Polsce już w latach sześćdziesiątych oraz obowiązują nadal prawie w niezmienionej formie pomimo licznych modyfikacji prawa budowlanego. Ochrona przeciwkorozyjna rurociągów dzieli się na ochronę bierną w postaci zewnętrznych powłok izolacyjnych rur, oraz na ochronę aktywną w postaci ochrony katodowej. Rolą powłok izolacyjnych jest zabezpieczenie powierzchni rur stalowych przed korozją od otaczającego środowiska, natomiast rolą ochrony katodowej jest zabezpieczenie rur w miejscach uszkodzeń powłok zewnętrznych.

Wyróżnia się trzy rodzaje ochrony aktywnej (katodowej) w zależności od położenia źródła prądu w obwodzie: 1) ochrona przy użyciu źródła zewnętrznego, 2) drenaż elektryczny, 3) ochrona galwaniczna.

Ochrona przy użyciu źródła zewnętrznego polega na wytworzeniu na rurociągu potencjału ujemnego, a na ulegających korozji uziemiaczach anodowych – potencjału dodatniego. Źródłem prądu jest zespół transformatorowo – prostownikowy stacji katodowej. Drenaż elektryczny stosuje się w przypadku występowania prądów elektrycznych w pobliżu rurociągu. Polega on na odprowadzeniu tychże prądów do źródła ich wytwarzania poprzez prostownik zapewniający jednokierunkowy przepływ. Natomiast ochrona galwaniczna polega na przyłączeniu do rurociągu elektrody z metalu o bardziej elektroujemnym potencjale niż rurociąg. Powstaje wówczas ogniwo, w którym katodą jest rurociąg, zaś anodą metalowa elektroda.

Budowane obecnie rurociągi wykonuje się z rur z wykonaną fabrycznie izolacją bierną. W Europie stosuje się izolację typu 3LPE w postaci trójwarstwowej powłoki epoksydowo-polietylenowej. Natomiast na kontynencie

północnoamerykańskim stosuje się powłoki z duroplastycznego epoksydu wtapianego w podłoże stalowe (Fusion Bonded Epoksyd – FBE), lub z poliuretanu (PUR). Na budowie zabezpiecza się tylko spawane połączenia końcówek odcinków rur uzupełniając podłoże oraz izolując złącza samowulkanizującymi opaskami takimi jak np.: RAYCHEM, POLYKEN, ALTENE, etc. Również uzupełnia się uszkodzone podczas transportu lub montażu fragmenty izolacji. Wykonana w powyższy sposób izolacja bierna bardzo dobrze zabezpiecza rurę przed oddziaływaniem korozyjnym gruntu, ma jednak pewne wady powodujące przyspieszenie niektórych procesów korozyjnych. Pokryty nowoczesnymi powłokami izolacyjnymi stalowy rurociąg zachowuje się bowiem tak jak przewód elektryczny w którym indukują się prądy błędzące od oddziaływania trakcji kolejowej, wyładowań atmosferycznych, czy też napowietrznych linii wysokiego napięcia. Na odludnych terenach podbiegunowych, gdzie zbiegają się linie pola magnetycznego Ziemi, blisko powierzchni docierają silnie naładowane elektrycznie cząstki plazmy (tzw. wiatru słonecznego) wyrzuconej w przestrzeń przez Słońce. Oprócz świecenia zórz polarnych powodują one powstawanie potężnych prądów błędzących w rurociągach i przewodach magistrali przesyłowych prądu elektrycznego zwłaszcza tam, gdzie przebiegają one nad ekranującymi granitowymi skałami płaszczą Ziemi, powszechnymi w Arktyce. Co około 11 lat na powierzchni Słońca pojawiają się plamy, a procesy nuklearne we wnętrzu naszej gwiazdy powodują gwałtowny wzrost emisji wiatru słonecznego. Podczas



Fot. 1 Przykład wżerów korozyjnych na powierzchni przewodu rurociągu [1]

ostatniego „roku niespokojnego Słońca” wiatr słoneczny spowodował spektakularne „wyłączenia” prądu na ogromnym obszarze północnej części Stanów Zjednoczonych i Kanady wskutek awarii spowodowanych prądami indukcyjnymi w sieciach elektrycznych. W miejscach, w których prąd elektryczny wpływa do rurociągu wspomaga on niejako ochronny prąd katodowy. W miejscach wypływu natomiast powoduje on jonizację metalu, czego efektem jest pojawienie się stosunkowo szybko narastających wżerów korozyjnych (fot. 1).

Wżer korozyjny jest miejscem w którym następuje lokalny wzrost naprężeń w ścianie rurociągu. Miarą wzrostu naprężeń jest współczynnik intensywności naprężeń K. Wartość K zależy od wielu parametrów takich jak: geometria wżeru, deformacja przekroju rury w którym jest wżer, usytuowanie wżeru na zdeformowanej ścianie rury, temperatury otoczenia oraz statycznego and dynamicznego wewnętrznego i zewnętrznego obciążenia przewodu rurowego. W mechanice kruchej pękaniu wżer korozyjny jest traktowany jako tzw. szczelina, czyli nieciągłość ośrodka liniowo – sprężystego. W przypadku konstrukcji stalowych szczeliną może być też wada wykonawcza spoiny.

Podstawowym obciążeniem wewnętrznym rurociągów jest ciśnienie przesyłanego medium. Jest to tzw. ciśnienie robocze p, przy którym, pracuje rurociąg. Przewód rurowy oraz jego połączenia wymiaruje się na ciśnienie po o 20% wyższe od ciśnienia roboczego ze względu na wymaganą przepisami konieczność sprawdzenia szczelności rurociągu za pomocą tzw. próby wodnej. Ponadto, przy projektowaniu rurociągów należy sprawdzić wytrzymałość zmęczeniową przewodu dla obciążeń spowodowanych nieustalonymi przepływami hydraulicznymi. Są to szybkie zmiany ciśnienia w rurociągu wywołane gwałtownymi zmianami prędkości przepływu medium w wyniku nagłych zmian warunków tłoczenia. Zmiany te powstają na przykład przy nagłym zatrzymaniu pracy pomp wskutek ich awarii lub braku zasilania, bądź też przy nagłym awaryjnym zamknięciu zasuw [12]. Szczególnie niekorzystne dla przewodu jest tzw. uderzenie dodatnie.

Wzrost ciśnienia Δp w przewodzie rurociągu, spowodowany efektem dodatniego uderzenia hydraulicznego wielokilometrowego słupa cieczy lub gazu, wynosi [12]:

$$\Delta p = \Delta p_{\max} = \frac{s\gamma}{g}(v_0 - v) \quad (1)$$

gdzie:

- s — szybkość rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej,
- v_0 — początkowa prędkość liniowa przepływu cieczy,
- v — końcowa prędkość liniowa przepływu cieczy,
- γ — ciężar właściwy tłoczonej cieczy,
- g — przyspieszenie ziemskie;

przy czym szybkość rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej opisuje wzór:

$$s = \frac{\sqrt{E_m g \gamma^{-1}}}{\left(1 + \frac{E_m d}{Et}\right)} \quad (2)$$

gdzie:

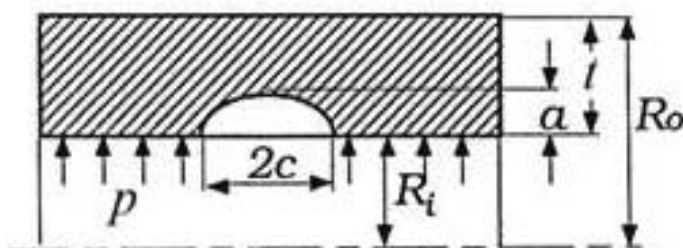
- E_m — moduł sprężystości tłoczonej cieczy,
- E — moduł sprężystości materiału rury,
- d — średnica zewnętrzna rury,
- t — grubość ścianki rury.

Okres uderzenia T, tj. czas przebiegu fali wzdłuż rurociągu wynosi:

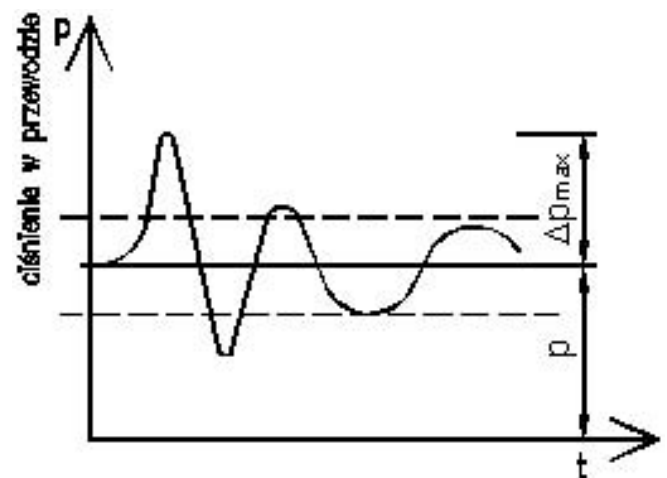
$$T = \frac{2L}{s} \quad (3)$$

gdzie L jest długością odcinka rurociągu.

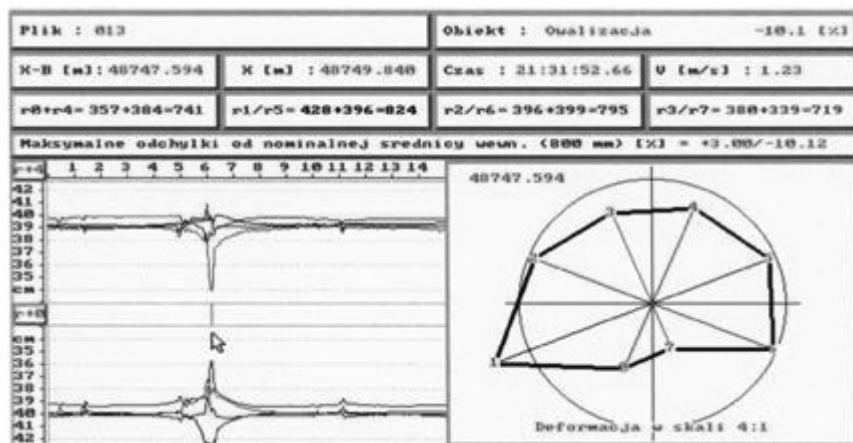
W rurociągach dalekosiężnych występują na ogół tzw. proste uderzenia hydrauliczne występujące w czasie $0 < t < T$, tj. gdy czas zamknięcia zaworu t_z jest krótszy od okresu uderzenia T. Wpływ uderzeń hydraulicznych zazwyczaj uwzględnia się przy projektowaniu rurociągów



Rys. 1 Przykład modelu wżeru (szczeliny) w ścianie rurociągu



Rys. 2 Przebieg zmian w czasie t ciśnienia wewnętrznego p przy uderzeniu hydraulicznym w przewodach długich .



Rys. 3 Przykład 10,1 % owalizacji przekroju rurociągu w obrębie spoiny poprzecznej [1].

długich zazwyczaj w sposób pośredni, tj. poprzez narzucenie granicznej liczby uderzeń. Przebieg zmian w czasie t ciśnienia p przy uderzeniu hydraulicznym w rurociągach o dużej długości przedstawiono na rys. 2.

Do analizy uszkodzonych wężerami korozyjnymi rurociągów używane są powszechnie wersje programu CRVL.BAS opartego o procedurę zawartą w suplemencie do amerykańskiej normy ASME B31, w tym także polska wersja programu zatytułowana WŻER [2]. Opracowany w Polsce przez CDRIA program DEFORM.EXE, jak przyznają jego autorzy, jest oparty o uproszczoną teorię powłok cienkich Flüggego, która daje poprawne wyniki naprężeń tylko dla deformacji sprężystych [2]. Wadą tych programów jest brak uwzględnienia wpływu trwałych deformacji przekroju poprzecznego na obniżenie nośności uszkodzonej wężerami rury.

Prowadzone w Polsce, przy użyciu tzw. tłoków inteligentnych, badania deformacji przekroju rurociągów wykazały, że największe deformacje występują w połączeniach spoinami czołowymi odcinków rur tzw. sztang. Deformacja przekroju rury, mierzona wyrażanym w procentach współczynnikiem owalizacji sięga nawet 10% przy rygorystycznej kontroli jakości (rys. 3). W przypadku rurociągów układanych w warunkach tundry, gdzie następuje cykliczne roztopianie i zamarzanie gruntu oraz powolne zapadanie się rurociągów przesyłających ropę naftową, owalizacja przekroju może być jeszcze większa. Dodatkowo spoina czołowa łącząca sztangę jest miejscem wyjątkowo newralgicznym. Tuż przy spoinie znajduje się tzw. strefa przegrzania materiału rodzimego rury. W strefie tej stal ma strukturę gruboziarnistą, bardzo podatną na pęknięcia, przy czym może pęknąć tym łatwiej, im więcej stal zawiera węgla, oraz im szybciej odbywało się stygnięcie metalu po spawaniu. W przypadku rurociągów układanych w warunkach klimatycznych strefy podbiegunowej z izolowanymi odcinkami rur wyjątkowo trudno jest utrzymać reżim technologiczny zapewniający powolne stygnięcie spoin.

Dokładną analizę wyężenia zdeformowanych rur z trójwymiarowymi wężerami można przeprowadzić tylko metodą elementów skończonych. Formalne ujęcie opisu losowej geometrii przestrzennych wężerów dla celów normalizacyjnych jest bardzo trudne (vide fot. 1). Praktycznie więc analizę wyężenia przeprowadza się dla płaskich przekrojów rury dla ciśnienia wewnętrznego p 10 MPa [20].

Oszacowanie minimalnej wartości współczynnika K jest niezbędne do wyznaczenia wartości granicznej ciśnienia wewnątrz rurociągu. Zahoor (1991) podał wartość współczynnika K dla rury o idealnym przekroju kołowym, dla położenia wężer na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni przewodu, w postaci funkcji [18], [19]:

$$\kappa = f(M)\sigma\sqrt{\pi a} = f\left(\frac{a}{D}, \frac{D}{t}\right)\sigma\sqrt{\pi a} \quad (4)$$

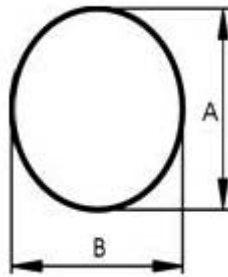
gdzie a jest maksymalną głębokością wężer zaś $D = 2R_0$ jest zewnętrzną średnicą rury. Wartości funkcji $f\{M\}$ przedstawił w pracach [18], [19] jako funkcję tylko parametrów geometrycznych rury z wężerem wyrażoną w postaci $f\{M\} = f\{a/D, D/t\}$. Natomiast Rządkowski i Maciejewska (2004, 2006) w [10], [11] zaproponowali uwzględnienie w wartości funkcji $f\{M\}$ zależności geometrycznych wężer zgodnie z przyjętą w Eurokodzie 3 zależnością podaną przez Raju I.S. i Newmana J.C. (1979) [15], uwzględnienie zmienności naprężeń obwodowych w przekroju rury, jak również własności materiału rury według kryterium Irwina [15], w którym jest możliwość uwzględniania zależności pomiędzy temperaturą, a własnościami wytrzymałościowymi stali. Zaproponowali również w [10], [11] wartości współczynników dla przyjętych w Eurokodzie 3 kategorii wyężenia przekroju konstrukcji oraz kategorii obciążeń działających na konstrukcję. Ponadto Rządkowski i Kunecki (2004) zaproponowali w [7] aby wartość współczynnika K dla zdeformowanego przekroju rury oszacowywać przedstawiając naprężenia na dnie wężer korozyjnego w postaci:

$$\sigma^* = \eta\phi\upsilon \quad (5)$$

gdzie jest współczynnikiem względnego przyrostu naprężeń zależnym od stopnia owalizacji przekroju rury, współczynnikiem położenia wężer na obwodzie rury, zaś υ naprężeniem na dnie wężer w rurze o idealnym przekroju. Wartość naprężeń obwodowych na dnie wężer najlepiej ustalać wykorzystując metodę elementów skończonych która daje możliwość modelowania kształtu wężer.

Współczynnik jest praktycznie zależny tylko od wartości krzywizny w danym punkcie przekroju rury, a współczynnik zależy od stopnia owalizacji przekroju poprzecznego rury wyrażonego wzorem (6), gdzie A, B są wymiarami przyjmowanymi według rys. 3:

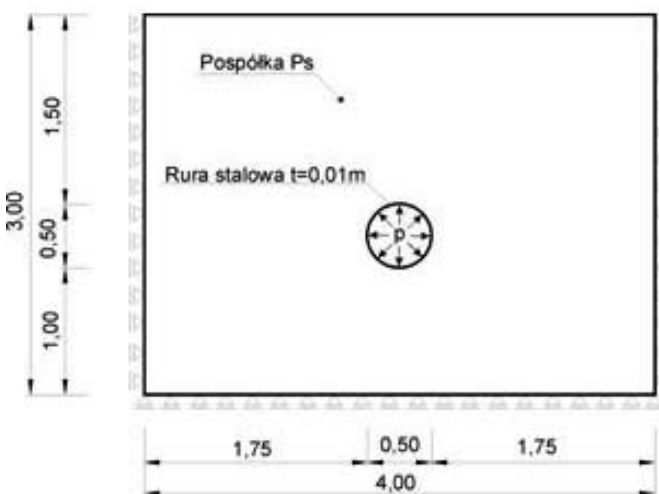
$$\zeta = \frac{A}{B} \cdot 100\% \quad (6)$$



Rys. 3. Osie zewnętrzne elipsy aproksymującej kształt odkształconej rury [7].

Celem zbadania zależności pomiędzy stopniem owalizacji przekroju rury, a wartością naprężeń na dnie wżeru w [7] przeprowadzono analizę numeryczną metodą elementów skończonych programem COSMOS M 2.5. Analizie poddano stalową rurę o średnicy $D = 500$ mm i grubości ścianki $t = 10$ mm, zagłębioną w gruncie o gęstości $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ i kącie tarcia wewnętrznego $\phi = 0,744$ rad, oraz obciążoną ciśnieniem wewnętrznym $p = 4,2$ MPa. Naprężenia dla różnych wartości stopniem owalizacji przekroju wyznaczono na dnie wżeru o głębokości $a = 1$ mm, położonego w zworniku na zewnętrznej powierzchni rury (rys. 4).

Zależność pomiędzy stopniem owalizacji przekroju analizowanej rury a współczynnikiem względnego przystępu naprężeń na dnie wżeru pokazano na rys. 5. Wynika z niego, że zależność $\zeta = f(\eta)$ odpowiada tzw. krzywej Lorenza [5], [14]. Charakteryzuje się ona trzema wyraźnymi etapami przebiegu: etapu malejącego wykładniczo wzrostu, etapu o liniowym wzroście, oraz etapu o rosnącym wykładniczo wzroście. Zależność $\zeta = f(\eta)$ można aproksymować zależnością podaną przez Preverceva [14]:



Rys. 4. Schemat statyczny przewodu rurowego w gruncie [7].

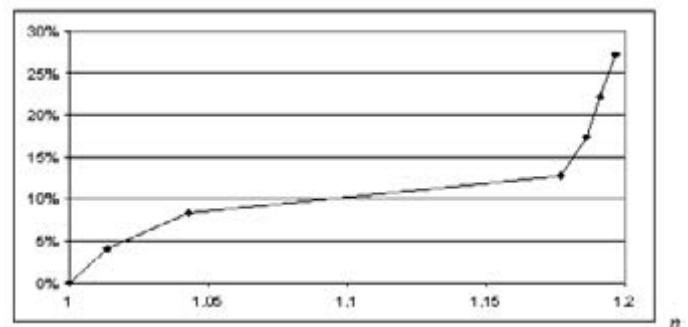
$$\zeta = b_1 + b_2 \alpha_2 \eta^{\alpha_2 - 1} + b_3 (\eta - \eta_m)^{\alpha_3 - 1} \quad (7)$$

gdzie stałe: $b_1, b_2, b_3 < 1$, zaś $\alpha_2 > 1$.

Przeprowadzona analiza numeryczna wykazała, że przy owalizacji przekroju rury równej ok. 13 % następuje gwałtowny wzrost naprężeń na dnie wżeru.

Przedstawiony w [10], [11], [13] model obliczeniowy można wykorzystać do ustalenia granicznych parametrów eksploatacyjnych rurowości (ciśnienia medium, głębokości wżerów korozyjnych, deformacji przekroju poprzecznego rury) dla zmiennych w czasie obciążeń medium oraz dla zmiennych obciążeń na powierzchni gruntu nad rurowością. Może stanowić podstawę do podjęcia prac nad normą regulującą oraz ujednolicającą obliczenia statyczne – wytrzymałościowe po badaniach istniejących rurowości tłokami inteligentnymi [1], [2]. Należy jednak podkreślić, że każdy model obliczeniowy jest tylko przybliżeniem stanu rzeczywistego. W przypadku rurowości będących pod względem długości największymi konstrukcjami stalowymi, konieczne jest uwzględnienie tzw. efektu skali związanego z dużym prawdopodobieństwem jednoczesnego wystąpienia wszystkich obniżających nośność rurowości czynników. Są także obciążenia, których ujęcie obliczeniowe nie regulują żadne przepisy normowe, a wystąpienie których powinien uwzględniać projekt rurowości dalekiego zasięgu, tj. trzęsienia ziemi oraz ruchy przemieszczających się zboczy wzniesień.

W warunkach subarktycznych bezdroży tundry jeszcze jedno zjawisko jest zmartwą budowniczych rurowości: jest to zasięg kruchej pęknięcia. Zainicjowane pęknięcie wzdłużne rury może osiągać nawet wielokilometrowe długości, co niezwykle utrudnia naprawę rurowości, z którego wówczas wydostają się ogromne ilości przesyłanego medium. Rosjanie zaproponowali nawet patentowe rozwiązanie polegające na wykonywaniu na sztangach rur obwodowych karbów. Rury z karbami miały być wstawiane w określonej odległości na długości rurowości. Pęknięcie wzdłużne przewodu rurowego docierające do takiego karbu zamienia się w pęknięcie obwodowe i nie propa-



Rys. 5. Wyznaczona analitycznie zależność $\zeta = f(\eta)$ dla analizowanej rury odpowiadająca krzywej Lorentza [7].

guje się dalej. Jednakże droga od pomysłu do przemysłu w warunkach sowieckiej gospodarki była niezwykle długa i wyboista. Jak się wkrótce okazało, także niezwykle kosztowna...

Geopolityka

W 1981 roku nowowybrany prezydent Stanów Zjednoczonych, doktor ekonomii Ronald Reagan poprosił szefa CIA Williama Caseya o raporty wywiadu dotyczące ... finansów Związku Radzieckiego. Prezydenturę objął w okresie, w którym Stany Zjednoczone ponosiły kolejne polityczne porażki: komuniści przejęli władzę w Angoli, Etiopii i Nikaragui, w Iranie obalonego przez islamską rewolucję szacha Rezę Pahlawiego zastąpił ajatollah Chomeini określający USA mianem „wielkiego szatana”, a do Afganistanu wjechały z „bratnią pomocą” czołgi Armii Czerwonej. Ceny ropy naftowej wzrosły dwukrotnie do 90 USD za baryłkę, a w porównaniu do 1970 roku aż dziewięciokrotnie [3]. Również gwałtownie wzrosły ceny gazu ziemnego. Gospodarka amerykańska pogrążała się w recesji, a prezydent USA ... studiował raporty o gospodarce Kraju Rad. Wynikało z nich, że przychody dewizowe ZSRR wynoszą zaledwie 32 mld USD. Z tejsze kwoty ZSRR finansował zbrojenia, utrzymywał partie i reżimy komunistyczne, oraz dokonywał zakupów żywności, której dla swoich obywateli sam nie był w stanie wyprodukować. Dla zwiększenia dochodów Związek Radziecki rozpoczął budowę pierwszej nitki rurociągu jamalskiego – inwestycji o wartości szacowanej aż na 35 mld dolarów. Dyplomacja radziecka i na tym polu odniosła ogromny sukces – potrafiła doprowadzić do finansowego zaangażowania się w budowę gazociągu wielu banków i koncernów Europy Zachodniej i Japonii. Zatrzymanie tej budowy stało się pierwszym celem polityki Reagana. Wysiłki dyplomatyczne administracji amerykańskiej nie powiodły się. Nie pomógł także administracyjny zakaz angażowania się w budowę koncernów amerykańskich, bowiem popierający budowę rurociągu przywódcy państw Europy Zachodniej w dostawach taniego gazu z Półwyspu Jamalskiego upatrywali jeden ze sposobów ożywienia gospodarczego swoich krajów [6]. Na pomysł powstrzymania budowy wpadł Guss Weiss – pracownik Rady Bezpieczeństwa Narodowego zajmujący się opracowywaniem danych wywiadu. Postanowił wykorzystać w tym celu zjawisko kruchego pęknięcia rurociągów.

Guss Weiss skojarzył dwa raportowane przez wywiad fakty: widoczne nawet z kosmosu kłopoty sowieckich budowniczych rurociągów, oraz informacje o ogromnych sukcesach sowieckiego wywiadu w wykradaniu tajemnic technologicznych zachodnich firm.

Przykładem kłopotów była zaobserwowana przez amerykańskich analityków zdjęć satelitarnych ogromna plama ropy naftowej, rozlewająca się po zaśnieżonej tundrze u źródeł Peczory. Pomimo awarii rurociągu pompy

łoczące ropę przez wiele dni nie zaprzestały pracy. Zagrożenie gigantyczną katastrofą ekologiczną całego Morza Białego, doprowadziło wówczas do ... interwencji amerykańskich dyplomatów, po której nareszcie wyłączono pompy [8].

Natomiast skalę sukcesów KGB i GRU na polu wywiadu gospodarczego uświadomiła Amerykanom Sécurité udostępniając CIA materiały przekazane przez zwerbowanego pułkownika KGB Władimira Wietrowa działającego pod kryptonimem „Farewell” [6].

Guss Weiss doszedł do wniosku, że aby zapewnić państwu Europy Zachodniej stałe i terminowe dostawy gazu rurociągiem jamalskim, sowieci muszą wykraść amerykański system sterowania eksploatacją rurociągów. Zaproponował więc Wiliamowi Caseyowi przygotowanie pułapki, a pomysł zyskał aprobatę samego prezydenta Reagana [4], [17]. Agenci KGB przechwycili więc projekty turbin tłoczących wraz z oprogramowaniem sterującym, ale „odpowiednio przygotowanym”. Reklamacji za wadliwie działające oprogramowanie nie przewidywano. Pod koniec lata 1982 roku rozpoczęto eksploatację złoża Urengoj i turbiny zaczęły tłoczenie gazu do rurociągu. W pewnym momencie oprogramowanie zaczęło pulsacyjnie zwiększać ciśnienie w gazociągu blokując jednocześnie odległe zawory. Potem wszystko potoczyło się zgodnie z teorią kruchego pęknięcia.

Według relacji Toma Reeda, członka Rady Bezpieczeństwa Narodowego USA, zmieniono wówczas orbity satelitów szpiegowskich tak, aby wtajemniczone w operację grono osób mogło obejrzeć „najbardziej monumentalny nienuklearny wybuch i pożar, widziany nawet z kosmosu” [6].

Wybuch na Urengoj opóźnił eksploatację rurociągu jamalskiego o dwa lata, co dało Wiliamowi Caseyowi czas na opracowanie strategii walki z ZSRR [4], [17]. Jednym z podstawowych narzędzi walki znów okazały się rurociągi. W lutym 1985 roku, zaniepokojony toczącymi się na Bliskim Wschodzie konfliktami w Afganistanie oraz Iranu z Irakiem, przybył do USA król Arabii Saudyjskiej Fahd Ibn Abd al-Aziz. Reagan po mistrzowsku wykorzystał wizytę monarchy. Wynegocjował zwiększenie wydobycia ropy naftowej z 2 mln baryłek do 9 mln baryłek dziennie. Pół roku później rurociągi Arabii Saudyjskiej zaczęły tłoczyć ropę zgodnie z umową Reagan – Fahd. Cena ropy spadła do 1/3 ceny z 1980 roku [3]. Dla ZSRR oznaczało to katastrofę finansową – dochody ze sprzedaży ropy spadły nagle o ok. 10 mld USD. Irak i Libia, importujące w dużych ilościach sowiecką broń, również odczuły spadek dochodów i wstrzymały jej import. Spowodowało to spadek dochodów ZSRR o dalsze 2 mld USD. Ratowanie finansów sprzedażą rezerw złota, chromu, tytanu, etc. spowodowało szybki spadek cen tych surowców na giełdach, kolejne straty finansowe dla ZSRR i ożywianie gospodarki Zachodu [4], [17].

Arabia Saudyjska wpływający strumień petrodolarów zamieniała na kupowaną w USA broń przemycaną hurtowo via Pakistan do walczących z Armią Czerwoną mudżahedinów afgańskich.

Wybrany w 1985 roku sekretarz generalny KPZR Michaił Gorbaczow zrozumiał, że ZSRR nie sprosta finansowo i technologicznie następnej rundzie rozgrywki, jaką był narzucony przez USA wyścig zbrojeń znany pod filmową nazwą Gwiezdnych Wojen. Podnosząc rzuconą rękawicę ZSRR musiałby wydawać tylko na zbrojenia aż 40 % swojego produktu krajowego brutto, zaś USA zaledwie 6 % PKB. Gorbaczow wołał podpisać w Rejkiawiku ugodę na warunkach Reagana.

Ciosy wymierzone w pierwszej rundzie „bronią rurociągową” i w górach Afganistanu okazały się zbyt dotkliwe.

Post scriptum

To, że historia lubi się powtarzać, wiedzieli już starożytni. Zmieniają się tylko detale tworzące sztafaż danej epoki.

Ceny ropy poszybowały w górę jak nigdy. Na Zachodzie – recesja. Na Kremlu znów zasiada młody, dynamiczny przywódca. Spadkobierczyni ZSRR buduje gazociąg North Stream i zbrojnie najeżdża południowych Sąsiadów.

Oby tylko kiedyś historycy nie nazwali naszej epoki półwieczem wojen rurociągowych. Nu, czoż – paźiwiom, uwidim... .

Literatura

- [1] Bogotko W., Raczyński P.: Badania odkształceń rurociągów., *Rurociągi* 4/1998.
- [2] Dąbrowski L., Raczyński P., Skrok., Uproszczona metodyka oszacowania naprężeń w zdeformowanych ściankach rurociągu na podstawie badań tłokami inteligentnymi., V Krajowa Konferencja Techniczna Zarządzanie ryzykiem w eksploatacji rurociągów., Płock, 24-25 maj 2002.
- [3] Foroohar R., Baryłka Pandory., *Newsweek* 15.06.2008.
- [4] Kengor P., Ronald Reagan i obalenie komunizmu. Zbliżenie na Polskę., Wydawca AMF 2005.
- [5] Kragelsky I.V., Alisin V.V., Tribology – Lubrication, Friction and Wear., Professional Engineering Publishing Ltd., London 2001.
- [6] Krajewski A., Naftowy szach mat., *Focus. Historia* nr 6/2008.
- [7] Kunecki B., Rządkowski J., Badania rurociągów przesyłowych za pomocą tłoków inteligentnych., *Badania materiałów budowlanych i konstrukcji inżynierskich.*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2004.

[8] Michałowski W., Artykuł wstępny (Od wydawcy), **Rurociągi nr 2/1996**

- [9] Raju I.S., Newman J.C., Stress Intensity Factors for a Wide Range of Semielliptical Surface Cracks in Finite-thickness Plates, *Engineering Fracture Mechanics*, 4/1979.
- [10] Rządkowski J., Maciejewska A., Assessment of limit internal pressure of gas for transmission pipelines by using Eurocode 3., *Eurosteel Conference 2005 on Steel and Composite Structures.*, Maastricht, The Netherlands, June 2005.
- [11] Rządkowski J., Maciejewska A., the influence of real pipeline cross-section for limit internal pressure., *Proceedings of the 8TH SSTA Conference Shell Structures: Theory and Applications.*, Jurata, Poland, October 2006.
- [12] Rządkowski J., Projektowanie szczelnych połączeń kołnierzowych rurociągów i zbiorników. *Konstrukcje Stalowe.* Nr 5(63) październik 2003.
- [13] Rządkowski J., Uszkodzenia korozyjne rurociągów – Badania i opis matematyczny., *Ochrona przed korozją* nr 5s/A/2004.
- [14] Prevercev E.S., Slučajnyje processy w parametrycznych modelach nadzieznosti., *Naukova Dumka, Kiev* 1987.
- [15] Rykaluk K., Dobór odmiany plastyczności stali na podstawie Eurokodu 3, *Inżynieria i Budownictwo*, 10/1998.
- [16] Rykaluk K.: Pęknięcia w konstrukcjach stalowych., *Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne.*, Wrocław 1999.
- [17] Schweitzer P., Reagan's War: The Epic Story of His Forty-Year Struggle and Final Triumph over Communism., *Anchor* 2002, *Anchor* 2003.
- [18] Zahoor A., Closed form expressions for fracture mechanics analysis of cracked pipes., *ASME J. Pressure Vessel Technology*, 107/1985.
- [19] Zahoor A., *Ductile Fracture Handbook, Vol.3.*, *Novotech. Cop. & EPRI Res. Proj.*, 1991.
- [20] PN-90/M-34502 Gazociągi i instalacje gazownicze. Obliczenia wytrzymałościowe.

OGŁOSZENIE

Bieszczady-Lutowiska przepięknie położony dom na skraju parku narodowego z dużym tarasem widokowym, salą kominkową z kamiennym barem, 3 sypialnie, razem 240 m², garaż.

Zamienię na mieszkanie w Warszawie, wynajmę na parę lat lub sprzedam – kontakt redakcja *Rurociągów*