

**Jan Artymiuk\*, Stanisław Bednarz\***

## **BADANIA ZUŻYCIA KOROZYJNEGO RUR WYDOBYWCZYCH STOSOWANYCH W ODWIERCIE PODZIEMNEGO MAGAZYNU GAZU SWARZÓW 22\*\***

### **1. KOROZJA, KLASYFIKACJA OKREŚLEŃ**

Procesy niszczenia metali przez chemiczne lub elektrochemiczne reakcje z otaczającym je środowiskiem nazywa się korozją. Procesy korozji zaczynają się na granicy metal-środowisko, tzn. na powierzchni metalu. Modelem fizycznym odpowiadającym definicji jest ciało stałe – metal i otaczające go środowisko ciekłe lub gazowe. W zależności od mechanizmu procesów rozróżnia się korozję chemiczną i elektrochemiczną. Istnieją jeszcze inne podziały, np. w zależności od wpływu innych czynników współdziałających z zasadniczym mechanizmem procesu korozyjnego jak podział na korozję naprężeniową, zmęczeniową, cierną, pękanie korozyjne (czynnik mechaniczny działający bezpośrednio na metal) elektrokorozję, czyli korozję wywołaną przez prądy błądzące, (czynnik elektryczny) oraz korozję biologiczną (czynnik biologiczny).

Rodzaj środowiska agresywnego uwydatnia się w określeniach: korozja atmosferyczna, korozja gazowa (w gazach suchych), korozja morska (w wodzie morskiej), korozja ziemna, itd.

W zależności od rodzaju zniszczenia korozyjnego rozróżnia się: korozję ogólną i miejscową. Korozja ogólna może być równomierna i nierównomierna. Korozja miejscowa występuje jako plamowa, punktowa, wżerowa i międzykrystaliczna. Podane powyżej wybrane klasyfikacje rodzajów zniszczeń korozyjnych wiąże się w każdym przypadku z głównym mechanizmem procesu i jego warunkami.

### **2. KONSTRUKCJA ODWIERTU SWARZÓW 22**

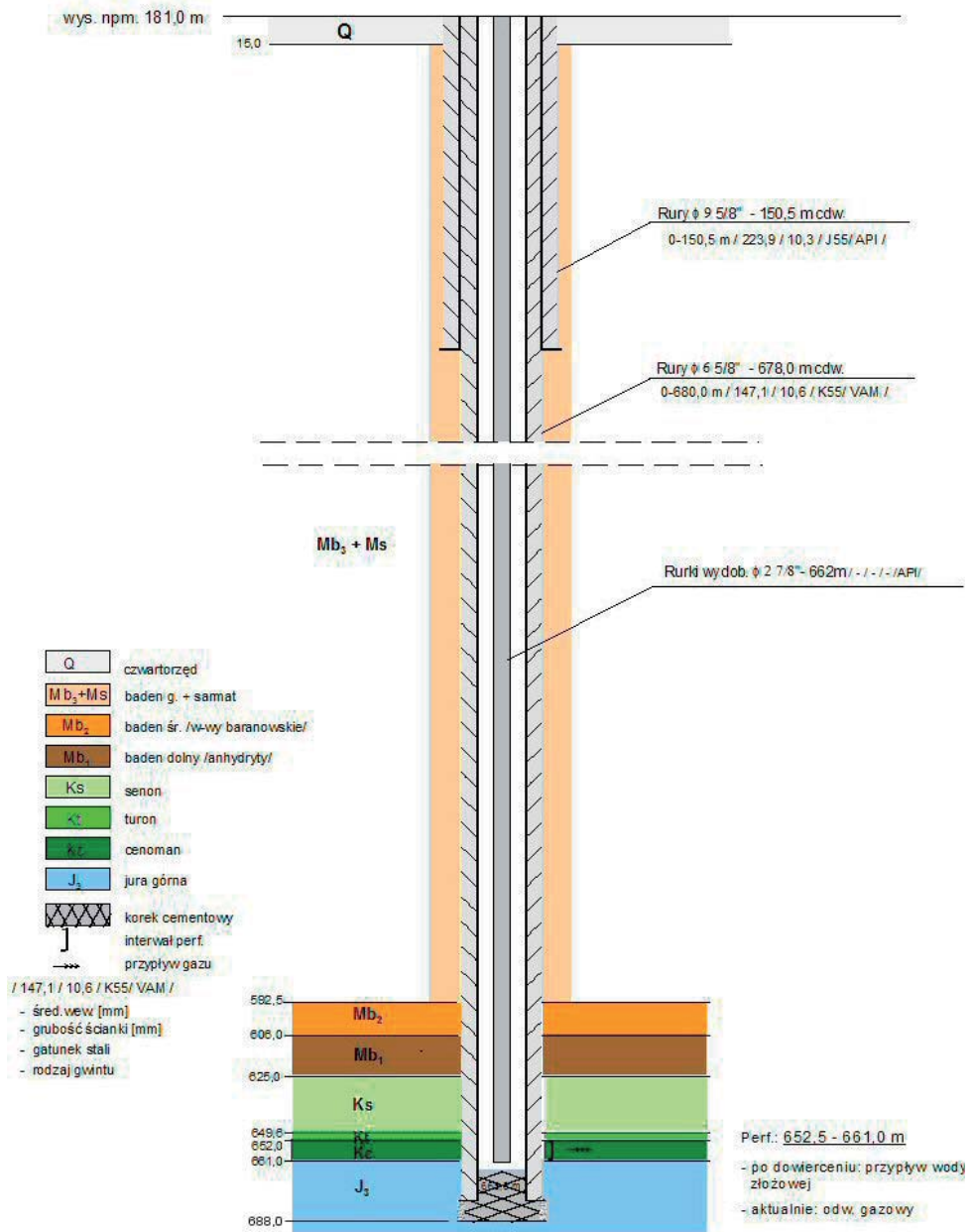
Coraz częściej przy wydobywaniu węglowodorów mamy do czynienia z tzw. środowiskiem kwaśnym wywołanym przez zawartość w gazie ziemnym siarkowodoru. Problem ten występuje m. in. przy eksploatacji podziemnego magazynu gazu Swarzów.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, AGH Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań statutowych w 2007 r.

**SWARZÓW - 22**  
**PROFIL GEOLOGICZNO-KONSTRUKCYJNY**  
 1 : 2 500



Rys. 1. Konstrukcja odwiertu Swarżów 22

Występujący w gazie magazynowym siarkowodor powoduje korozję, w szczególności rur wydobywczych i rur instalacji napowierzchniowej, co wpływa na parametry eksploatacyjne pracy magazynu i jego stan techniczny. Destrukcyjne oddziaływanie siarkowodoru powoduje, że odwiert traci swoje parametry eksploatacyjne, znacznie szybciej zostaje zanieczyszczony produktami korozji, wymaga czyszczenia i przemywania odpowiednimi płynami. Szczególnie mocno to zjawisko występuje w odwiercie Swarzędów 22. Odwiert poddano rekonstrukcji, w zakresie której wyciągnięto rury wydobywcze i zdecydowano poddać je badaniom wytrzymałościowo-strukturalnym celem stwierdzenia stopnia uszkodzenia rur przez korozję w wyniku przebywania ich w środowisku kwaśnym, oraz udzielenia odpowiedzi na pytanie, czy występująca w odwiercie Swarzędów 22 korozja, nie ma charakteru korozji wodorowej i czy w związku z tym może wystąpić zjawisko kruchości wodorowej i jego szczególne objawy, zwane pękaniem wodorowym. Upraszczając proces korozji wodorowej, można powiedzieć, że wodor w strukturze krystalicznej żelaza powoduje kruchość wodorową stali, tj. utratę jej plastyczności. To zjawisko głównie występuje w odcinkach poddanych naprężeniom rozciągającym. Kolumna rur wydobywczych jest konstrukcją, która zawieszona w wieszaku głowicy eksploatacyjnej podlega statycznemu rozciąganiu pochodzącemu od własnego ciężaru. Największe rozciąganie występuje w odcinku górnym i zmniejsza się w kierunku spodu odwiertu. Na powierzchni odwiert wyposażony jest w głowicę eksploatacyjną 6<sup>5</sup>/<sub>8</sub>" – 21 MPa, z której gaz gazociągiem dopływa do ośrodka centralnego, gdzie następuje jego separacja, osuszanie i pomiar ilościowy.

Konstrukcję odwiertu Swarzędów 22 przedstawia rysunek 1:

- do głębokości 150,5 m zapuszczone są rury, 9<sup>5</sup>/<sub>8</sub>" z gwintem zaokrąglonym API, wykonane ze stali J55, grubość ścianki 10,3 mm, cementowane do wierzchu;
- do głębokości 678 m zapuszczone są rury, 6<sup>5</sup>/<sub>8</sub>" z gwintem VAM wykonane ze stali K55, grubość ścianki 10,6 mm, perforowane na odcinku 652,5 m÷661,0 m, cementowane do wierzchu;
- rury wydobywcze  $\varnothing$  2<sup>7</sup>/<sub>8</sub>", zapuszczone były do głębokości 661,0 m, (tab. 1).

**Tabela 1**  
Parametry konstrukcji odwiertu Swarzędów 22

Lp	Odwiert	Rury $\varnothing$ 9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " c.d.w.		Rury $\varnothing$ 6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " c.d.w.		Interwał perforacji	Rury wydobywcze $\varnothing$ 2 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> "	
		Typ gwintu	Głęb. (m)	Typ gwintu	Głęb. (m)		Rury $\varnothing$ 6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " (m)	Typ gwintu
1.	Swarzędów 22	API	0÷150,5	VAM	0÷678,0	652,5÷661,0	Zaokrąglony API	661,0

### 3. CHARAKTERYSTYKA WYMIAROWA BADANYCH RUR WYDOBYWCZYCH $\varnothing$ 2<sup>7</sup>/<sub>8</sub>"

Poddane badaniom kawałki rur są pokazane na rysunku 2 i opisane w tabeli 2.

Badaniom poddano odcinki rur wydobywczych  $\varnothing 2\frac{7}{8}$ " (rys. 2) z:

- głębokości  $0,0\div 0,8$  m, oznaczony jako 1,
- głębokości  $331,0\div 333,0$  m, oznaczone jako 2' i 2",
- głębokości  $660,0\div 661,0$  m (koniec kolumny rur wydobywczych), oznaczone jako 3' i 3".

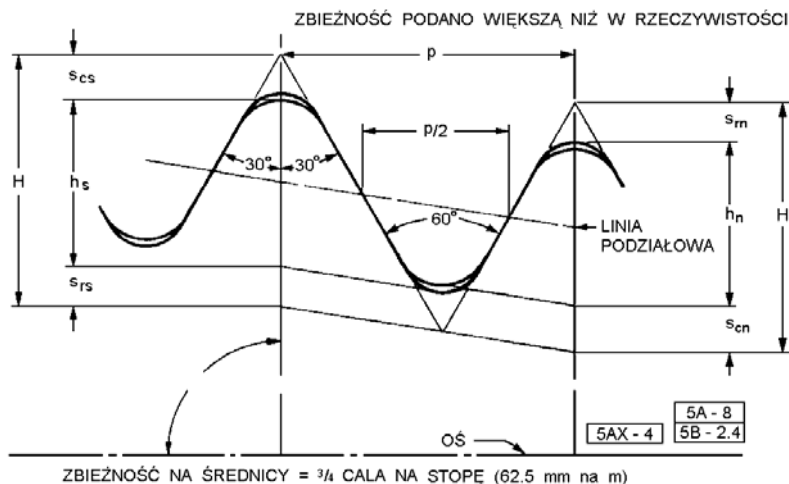


**Rys. 2.** Elementy rur wydobywczych  $2\frac{7}{8}$ "  
przeznaczone do badań wytrzymałościowo-strukturalnych

**Tabela 2**  
Rury wydobywcze  $\varnothing 2\frac{7}{8}$ " poddane badaniom

Lp	Oznaczenie kawałka rury	Długość	Głębokość	Średnica zewnętrzna	Grubość ścianki	Uwagi
		m	m	mm	mm	
1	1	0,80	0,8	73,5÷73,6		Odcinek ze złączką
2	2'	0,807	~331,0	73,5÷73,6	5,7÷5,8	Mała korozja zewnętrzna
3	2"	1,507	~331,0÷333,0	73,6÷73,8	5,7÷5,8	Mała korozja zewnętrzna
4	3'	1,494	~660,0÷661,0	73,3÷73,8	5,4÷5,7	Wierzch rury filtrowej, duża korozja zewnętrzna
5	3"	0,88	~661,0	73,5÷73,6	5,4÷5,5	Koniec rury filtrowej, mała korozja zewnętrzna

Rura 1, w górnym końcu posiadała nakręconą złączkę. Po odkręceniu stwierdzono, że połączenie posiada gwint zaokrąglony API o zarysie pokazanym na rysunku 3 i w tabeli 3 oraz wymiarach dotyczących rur przedstawionych w tabeli 4.



**Rys. 3.** Zarys gwintu zaokrąglonego rur wydobywczych  $\varnothing 2\frac{7}{8}$ ". Wymiary, patrz tabela 3

**Tabela 3**

Wymiary wysokości gwintu zaokrąglonego rur wydobywczych  $\varnothing 2\frac{1}{8}''$  wg normy ISO 10422 (API Std. 5B). Patrz rysunek 3

Element gwintu	8 podziałek na cal $p = 3,175 \text{ mm}$
$H = 0,866p$	2,750
$h_s = h_n = 0,626p - 0,178$	1,810
$s_{rs} = s_m = 0,120p + 0,051$	0,432
$s_{cs} = s_{cn} = 0,120p + 0,127$	0,508

**Tabela 4**

Wymiary i masy rur wydobywczych, spęczanych zewnętrznie wg PN-EN ISO 11960:2005

Wyróżnik	Średnica zewnętrzna $D$	Rury z gwintem i złączką, spęczane zewnętrznie	Grubość ścianki $t$	Średnica wewnętrzna $d$	Rury gładkie $m_{pe}$	
cal	mm	kg/m	mm	mm	kg/m	
$\varnothing 2\frac{1}{8}''$	73,03	9,67	5,51	62,00	9,17	
	Tolerancja <sup>1)</sup>		Tolerancja <sup>1)</sup>			
	+2,38		-0,79			-12,5 %

<sup>1)</sup> Podane wielkości tolerancji stosują się do średnicy zewnętrznej na odcinku rury gładkiej bez spęczenia.

Przeprowadzone badania geometryczne potwierdziły, że badane rury wydobywcze spełniają wymagania normy PN-EN ISO 11960:2002 w zakresie średnicy zewnętrznej, grubości ścianki na odcinku rury gładkiej bez spęczenia, oraz wymagania zawarte w normie ISO 10422 dotyczące zarysu gwintu.

#### 4. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWO-STRUKTURALNE RUR WYDOBYWCZYCH $\varnothing 2\frac{1}{8}''$ Z ODWIERTU SWARZÓW 22

##### 4.1. Wybór próbek do badań

Z wybranych odcinków rur wykonano próbki i poddano je następującym badaniom:

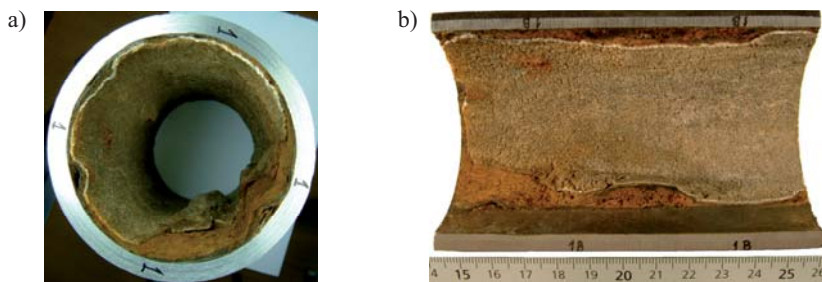
- składu chemicznego,
- własności wytrzymałościowych,
- udarności z części gwintowanej,
- twardości.

Próbki do badań wyselekcjonowano z następujących odcinków rur:

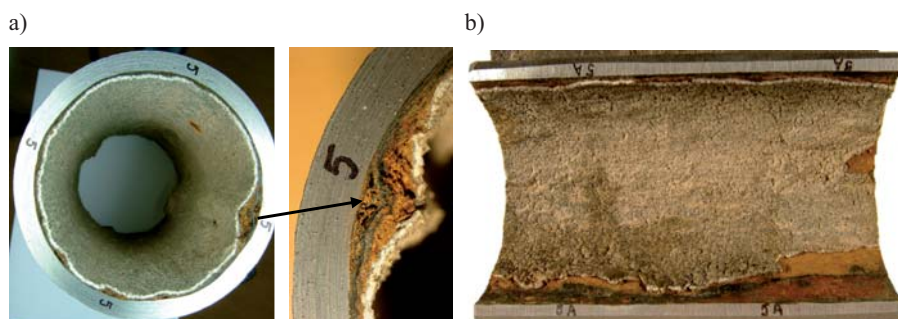
- odcinek rury z głębokości 0,8 m z połączeniem gwintowym – czop z częścią spęczaną i nakręconą na niego złączką (mufa);
- odcinek rury z głębokości 331,0 m, rura mniej skorodowana;
- z dolnego odcinka rury z głębokości 661,0 m, z calizny tuż nad filtrem, rura najbardziej skorodowana.

#### 4.2. Badania makroskopowe rur wydobywczych $\varnothing 2\frac{7}{8}$ " z odwiertu Swarzędz 22

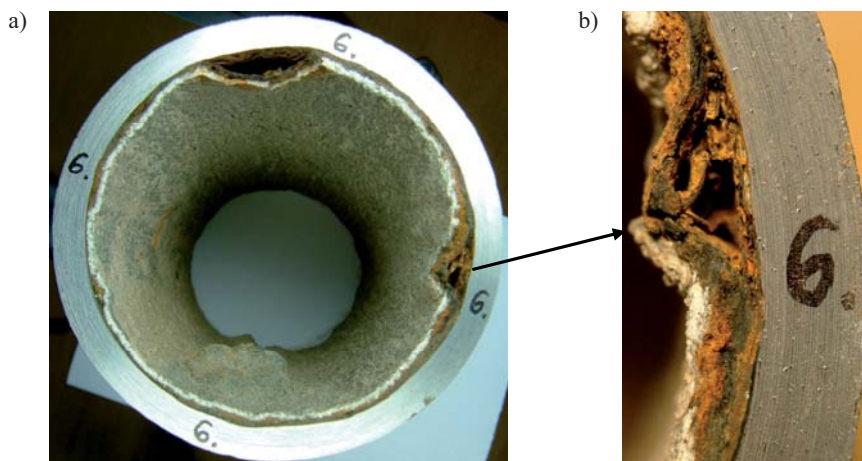
Analiza makroskopowa badanych rur wskazuje, że rura 2' i 2" pobrana z głębokości 331,0 m na powierzchni zewnętrznej jest skorodowana nieznacznie (rys. 2), natomiast rura 1, a szczególnie 3' pobrana z głębokości 661 m jest bardziej skorodowana tak na zewnątrz jak i wewnątrz. Wygląd wewnętrznej powierzchni rury przedstawiają rysunki 4–6. Na rysunkach widać wyraźnie, że wnętrze rury wydobywczej pokryte jest osadem składającym się z kilku warstw. Warstwa najbliższa powierzchni rury to zgorzelina powstała w wyniku korozji, na niej widoczna jest co najmniej jedna warstwa koloru szarego o tłustawej konsystencji. Na tej warstwie znowu pojawia się rdzawa warstwa zgorzeliny, którą przykrywa ostatnia



Rys. 4. Obraz wnętrza rury 3' (a) i jej poprzeczny przekrój (element 1, połówka 1B) (b)



Rys. 5. Poprzeczny przekrój i wnętrze w miejscu wypiętrzenia rury 3' (element 5) (a), oraz przekrój (połówka 5A) (b)



**Rys. 6.** Obraz wnętrza rury 3' (element 6) (a) oraz przekrój w miejscu wypiętrzenia (b)

warstwa osadu w kolorze kremowo-szarym. Osad występujący w postaci kilku warstw tworzy wewnętrzną powłokę o znacznej grubości od 0,5 mm do 2,0 mm. W niektórych miejscach występują wypiętrzenia (rys. 4–6), które są nagromadzeniem większej ilości osadów, a w szczytowych miejscach pokazują rozwarstwienia pomiędzy poszczególnymi warstwami. Wielkość wypiętrzenia dochodzi do ~18,0 mm.

Po zdjęciu osadu powierzchnia wewnętrzna rury pokryta jest zgorzeliną w kolorze rdzawym (rys. 7–9). Jest to produkt bezpośredniej korozji. Po oczyszczeniu powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej badanych elementów rury wydobywczej wizualnie stwierdzono ubytki korozyjne w postaci wgłębień z miejscowymi wżerami występującymi szczególnie na powierzchni zewnętrznej (rys. 9).

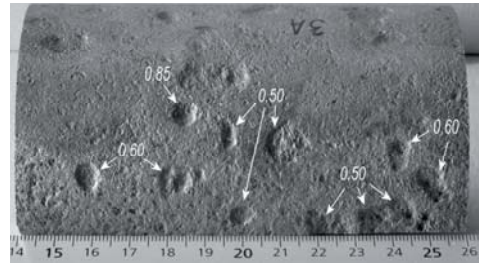
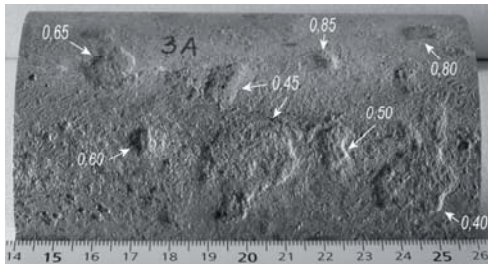


**Rys. 7.** Wygląd rury silnie skorodowanej od strony wewnętrznej (rura nr 3')

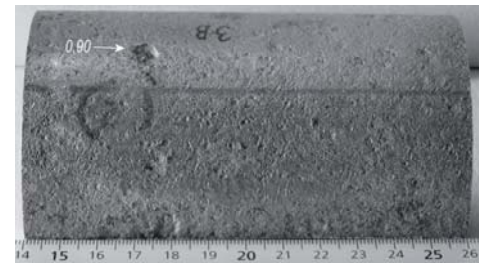
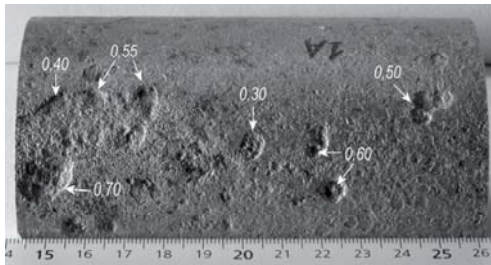




**Rys. 8.** Wygląd rury silnie skorodowanej od strony wewnętrznej (rura nr 3')



**Rys. 9.** Wżery korozyjne na powierzchni zewnętrznej rury 3' (element 3A). Głębokość wżerów w mm

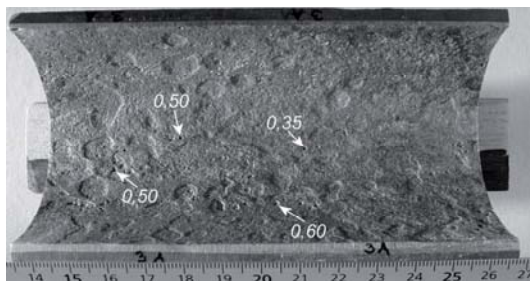


**Rys. 10.** Wżery korozyjne na powierzchni zewnętrznej rury 3' (element 1A i 3B). Głębokość wżerów w mm

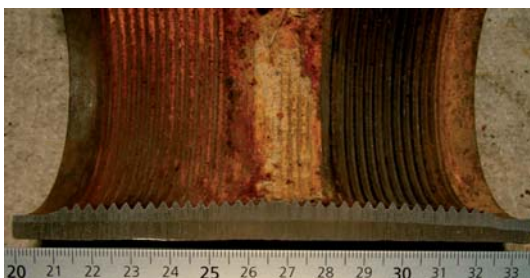
Najgłębszy wżer badanej rury 3' osiąga wartość 0,9 mm, (rys. 10). Powierzchnia wewnętrzna w mniejszym stopniu wykazuje ubytki stali i są one w kształcie spłaszczonych wgłębień do głębokości 0,3 mm (rys. 11). Na powierzchni badanej rury, szczególnie od strony wewnętrz-

nej, oprócz opisanych powyżej zniszczeń korozyjnych występują wżery punktowe (pitting) w kształcie okrągłych otworów o średnicy od  $\sim 0,5$  mm do  $\sim 2,0$  mm (rys. 11).

Stan złączki jak również gwintu złączki i rury jest dobry. Gwinty będące we wzajemnym ząbieniu posiadają pełny zarys (rys. 12).



**Rys. 11.** Wżery korozyjne na powierzchni wewnętrznej rury 3' (element 3A). Widoczne wżery punktowe (pitting) w kształcie okrągłych otworów. Głębokość wżerów w mm



**Rys. 12.** Zarys gwintu złączki

Generalnie stwierdza się średnie zużycie korozyjne powierzchni badanych rur. Potencjalne miejscowe zmniejszenie grubości ścianki wynosi 1,5 mm, co jest równoważne 27%. Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnych wżerów wewnętrznych i zewnętrznych w większej ilości w jednym przekroju wywołujących zmniejszenie pola powierzchni przekroju jest niewielkie.

#### 4.3. Analiza składu chemicznego

Skład chemiczny badanych próbek przedstawiono w tabeli 5. Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że część gwintowana i rura w jej sąsiedztwie posiadają taki sam skład chemiczny. Stal zawiera praktycznie tylko około 0,4% C i poniżej 1% Mn. Natomiast rura oznaczona numerem 3' zawiera 0,47% C i 1,47% Mn.

**Tabela 5**  
Skład chemiczny stali w %

Nazwa próbki	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
Rura nr 1	0,42	0,96	0,30	0,017	0,017	0,01	0,01	0,05	0,009
Część gwintowana	0,39	0,88	0,24	0,016	0,020	0,01	0,09	0,09	0,010
Rura nr 2	0,47	1,47	0,35	0,026	0,015	0,02	0,01	0,03	0,092

#### 4.4. Badanie właściwości wytrzymałościowych

Z badanych odcinków rur wycięto próbki wzdłużne z pełnej grubości ścianki. Natomiast z części gwintowanej wycięto próbki wzdłużne po zeszlifowaniu gwintu. Grubość próbek płaskich z części gwintowanej wynosiła 5 mm. Wyniki badań własności wytrzymałościowych zestawiono w tabeli 6.

**Tabela 6**  
Własności mechaniczne w próbie rozciągania

Nr rury	Nr próbki / / oznaczenie	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A <sub>5</sub>	Udarność
		MPa	MPa	%	J/cm <sup>2</sup>
3'	4/2	580	800	18,9	–
3'	1/2	592	811	14,3	–
2'	2/1	413	687	21,9	–
2'	3/1	398	671	22,2	–
1, (część gwintowana)	5	418	690	23,7	17,2; 23,4; 29,7; średnia 23,4
Twardość badanych odcinków rur mierzona na przekroju wynosi 203÷220 HV30 (96÷97 HRB)					

Wyniki badań wytrzymałościowych potwierdziły, że część gwintowana i rura nr 2' mają takie same własności wytrzymałościowe, to znaczy Re w granicach 398÷418 MPa, Rm = 671÷790 MPa. Natomiast rura nr 3' posiadająca więcej węgla i manganu, posiada Re = 580÷592 MPa, a Rm = 800÷811 MPa. Przełom próbek po zerwaniu ma charakter plastyczny, co potwierdza wysokie własności plastyczne w próbie rozciągania. Wydłużenie próbki nr 1 i nr 2' jest w granicach 21,9÷23,7 % natomiast próbki 3' ze względu na wyższe własności wytrzymałościowe, wydłużenie jest niższe i wynosi 14,3÷18,9 %.

Próbki udarnościowe ze względu na mniejszą grubość ścianki miały nietypowe grubości 7,5 mm, dlatego też, wartości udarności nie mogą być bezpośrednio porównywane z wartościami

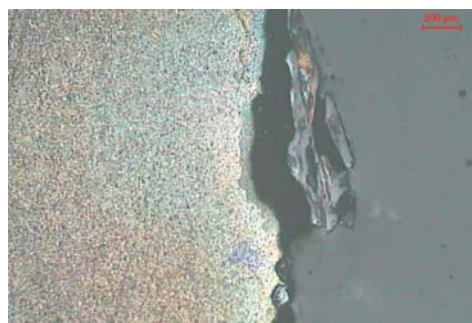
podanymi w normie, a jedynie mogą służyć do względnego porównywania własności plastycznych między sobą. Udarność materiału rury w części gwintowanej jest niska i wynosi  $23,4 \text{ J/cm}^2$ . Niska udarność jest wynikiem niewłaściwych parametrów procesu spęczania rury.

#### 4.5. Badania mikrostruktury

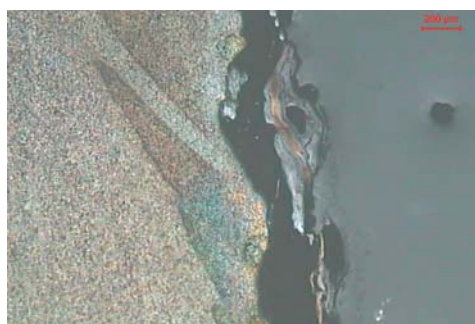
Badania mikroskopowe potwierdziły, że oprócz nierówności makroskopowych występują lokalne wżery korozyjne (rys. 13–18), jednakże ich głębokość nie przekracza na powierzchni wewnętrznej  $0,30 \text{ mm}$ . Zewnętrzna powierzchnia posiada nierównomierną warstwę związków korozyjnych, z wyraźnymi wżerami sięgającymi do  $0,9 \text{ mm}$ , (rys. 19). Materiał rodzimy rury 3' posiada drobnoziarnistą strukturę ferrytyczno-perlityczną (rys. 20). Struktura odpowiada składowi chemicznemu analizowanej rury. Część gwintowana była spęczana na gorąco. Struktura tej części (rys. 21 i 22) wskazuje na stosowanie zbyt wysokiej temperatury nagrzewania podczas produkcji, co doprowadziło do selektywnego rozrostu ziaren. Wynikiem przegrzania jest niska udarność próbek wyciętych z części gwintowanej.



**Rys. 13.** Skorodowana powierzchnia wewnętrzna rury z widocznymi lokalnymi wżerami o głębokości ok.  $0,3 \text{ mm}$  (rura nr 3')



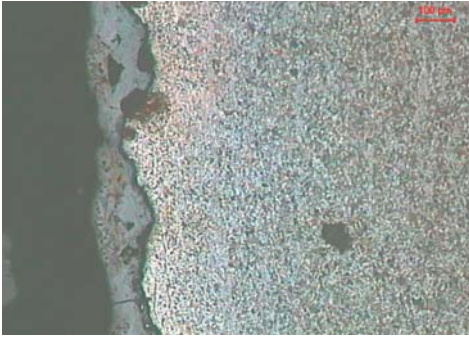
**Rys. 14.** Lokalne wżery na powierzchni wewnętrznej (rura nr 3')



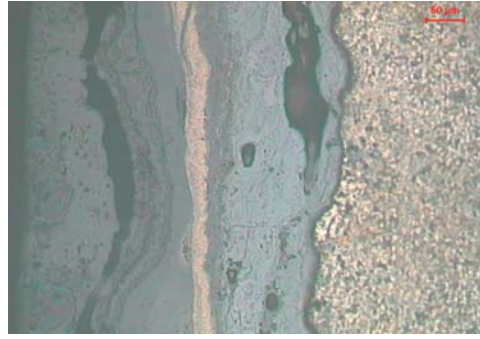
**Rys. 15.** Lokalne wżery na powierzchni wewnętrznej (rura nr 3')



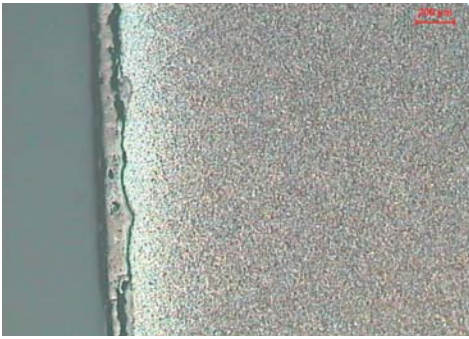
**Rys. 16.** Lokalne wżery obserwowane przy większym powiększeniu (rura nr 3')



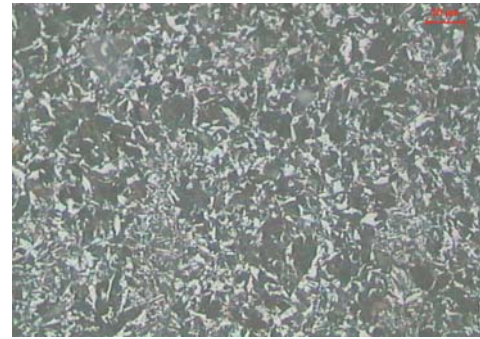
**Rys. 17.** Nierówności na powierzchni wewnętrznej wywołane procesami korozyjnymi (rura nr 3')



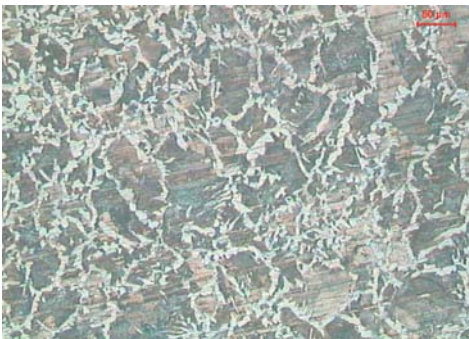
**Rys. 18.** Produkty korozji na powierzchni wewnętrznej (rura nr 3')



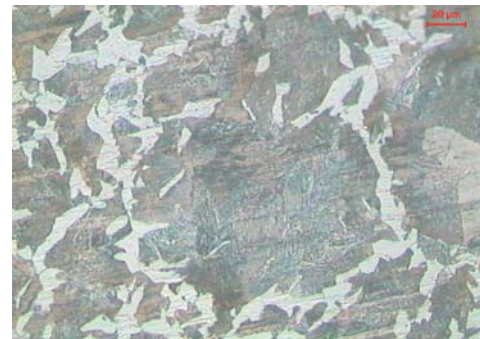
**Rys. 19.** Wygląd warstwy korozyjnej przy powierzchni zewnętrznej (rura nr 3')



**Rys. 20.** Struktura materiału rury nr 3'



**Rys. 21.** Struktura materiału części gwintowanej. Widoczne nierównomierne ziarno świadczące o przegrzaniu w czasie kształtowania na gorąco



**Rys. 22.** Struktura materiału części gwintowanej. Widoczne pojedyncze płytki ferrytu Widmanstattena świadczące o przegrzaniu

## 5. PODSUMOWANIE

Rury wydobywcze w odwiercie Swarzów 22 podlegają chemicznemu procesowi niszczenia poprzez wchodzenie stali w reakcję z otaczającym środowiskiem, jakim jest metanowe środowisko gazowe zanieczyszczone siarkowodorem. Proces korozji zachodzi na powierzchni metalowej rur wydobywczych od strony wewnętrznej i zewnętrznej. Występujący rodzaj środowiska agresywnego uwydatnia występowanie przede wszystkim korozji ubytkowej. Jest to proces niszczenia fazy metalicznej zachodzący na granicy: metal/gaz. Nie stwierdza się tutaj występowania typowej korozji wodorowej. Wodór w strukturze stali powoduje kruchość wodorową stali tj. utratę plastyczności. Przy rozciąganiu stal w zwykłych warunkach jest plastyczna, a po nawodorowaniu wykazuje złom kruchy. Badane rury wydobywcze posiadały po zerwaniu charakter plastyczny, co potwierdzają wysokie własności plastyczne w próbie rozciągania.

Produktami korozji są tlenki, siarczki i inne związki, które tworzą na powierzchni metali warstwę stałej zgorzeliny. Ta warstwa stałego produktu jako wynik reakcji chemicznej oddziela metal od destrukcyjnego oddziaływania środowiska. W badanych rurach wydobywczych występuje kilka warstw, (rys. 5 i 13). Powstały one w czasie różnych etapów procesów technologicznych zachodzących w odwiercie Swarzów 22. W przekroju widoczne są m. i. warstwy koloru szarego. Posiadają one tłustawą konsystencję. Być może powstały w wyniku dostawania się do odwiertu oleju sprężarkowego. Na tej szarej warstwie widoczna jest warstwa koloru rdzawego, którą pokrywa warstwa w kolorze kremowo szarym. Warstwa ta posiada porowatą powierzchnię, jest krucha i jednolicie pokrywa całe wnętrze rury i występujące wypiętrzenia. Osad wewnątrz rury wydobywczej ogranicza przepływ, ale jednocześnie zmniejsza oddziaływanie środowiska korozyjnego.

Biorąc pod uwagę wykazane maksymalne głębokości wżerów korozyjnych stwierdza się, że miejscowe zmniejszenia grubości ścianki mogą wynosić 1,5 mm. Należy wziąć pod uwagę, że badaniom poddano krótkie odcinki rur wydobywczych tylko z trzech wyznaczonych głębokości. Mogą wystąpić także większe i głębsze ubytki korozyjne przekraczające wyżej wymienioną wartość. Generalnie stwierdza się:

- Umiarkowaną korozję ubytkową oraz brak korozji naprężeniowej siarczkowej.
- W rurach nie stwierdzono typowej korozji i pęknięć wodorowych będących wynikiem eksploatacji w środowisku siarkowodoru.
- Efektem takiego stanu może być pokrycie powierzchni wewnętrznej badanej rury wydobywczej mgłą olejową, co zaznacza się występowaniem tłustawej warstwy koloru szarego. Warstwa ta mogła pełnić rolę inhibitora korozji. Obecnie nie ma tej dodatkowej ochrony powierzchni wewnętrznej rur po wprowadzeniu przed luty filtrów na rurociągu tłocznym gazu.
- Na zewnętrznej powierzchni rury widoczne są wskazania korozji ubytkowej wżerowej sięgającej na głębokość 0,9 mm. Jest ich znacznie więcej niż na powierzchni wewnętrznej.
- Na wewnętrznej powierzchni rury korozja ubytkowa jest rozłożona bardziej równomiernie. Tutaj spotyka się wżery punktowe (pitting) w kształcie okrągłych otworów o średnicy od ~0,5 mm do ~2,0 mm i głębokości do 0,6 mm.

- Różna odporność korozyjna może być również wynikiem różnego składu chemicznego badanych rur.
- Rura pobrana z większej głębokości ma inny skład chemiczny niż rura pobrana z głębokości 0,8 m. Rura pobrana z głębokości 0,8 m ma około 0,4% C i poniżej 1% Mn, natomiast rura z głębokości 331,0 – 333,0 m, zawiera 0,47% C i 1,47% Mn.
- W próbie rozciągania otrzymane przełomy mają charakter plastyczny.
- W próbie udarnościowej materiał wykazuje niskie własności plastyczne. Udarność próbek jest poniżej 30 J/cm<sup>2</sup>. Niska udarność jest wynikiem przegrzania materiału w procesie spęczania końcówki rury.
- Gwinty będące we wzajemnym zazębieniu rura-złącza posiadają pełny zarys.
- Zapuszczenie ponowne rur wydobywczych byłoby ryzykowne ze względu na brak pokrycia obecnie wewnętrznej powierzchni rur mgłą pochodzącą ze sprężarek (patrz p.3). Stan tej powierzchni mógłby być inny.
- Wskazaniem byłoby poznanie składu chemicznego poszczególnych warstw osadów występujących na wewnętrznej powierzchni rury wydobywczej.

## LITERATURA

- [1] Artymiuk J., Bednarz S.: *Badania wytrzymałościowo-strukturalne rur wydobywczych z odwiertu Swarzów 22*. Praca wykonana na zlecenie PGNiG-SZG NiG, 2006
- [2] Bielewicz D., Wysocki S., Wysocka M., Kośmider J., Dycha J.: *Korozja rur okładzinowych i wydobywczych w cieczach nadpakerowych przy dopływie siarkowodoru w świetle badań laboratoryjnych*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH 2006
- [3] PN-EN ISO 11960:2002. *Przemysł naftowy i gazowniczy. Rury stalowe używane jako rury okładzinowe i wydobywcze*
- [4] ISO 10422:1993. *Przemysł naftowy i gazowniczy – Wykonywanie gwintów, sprawdzanie gwintów oraz kontrola gwintów rur okładzinowych, wydobywczych i przewodowych*