Komplexní přístup k zabezpečení integrity vysokotlakého plynovodu DN 400

CEPS a.s.
Jesenice u Prahy
Czech Republic

T.D.Williamson Polska Spolka z.o.o.
Warszawa
Poland

Změna toku plynu v polských plynovodních systémech **ze směru východ–západ na směr opačný** vyžaduje v některých částech Polska navýšit kapacitu plynovodů na tlakové hladině **7,2 MPa**

- **výstavbou nových vysokotlakých plynovodů**
- **začleněním starších plynovodů** provozovaných v minulosti na nižší tlakové hladině do systému vyšší tlakové hladiny

Toto začlenění vyžaduje **komplexní přístup k posouzení integrity a zabezpečení dalšího dlouhodobého bezpečného provozu provozovaného plynovodu**

Konkrétním případem komplexního přístupu při začlenění staršího plynovodu do systému vyšší tlakové hladiny je rehabilitace plynovodu **DN 400 DP 6,3 MPa** (provozní tlak 55 bar) v jihozápadním Polsku

Základní kroky rehabilitace

1. Zprůchodnění potrubí pro čistící ježky a inspekční nástroje
2. Vyčištění potrubí
3. Provedení vnitřní inspekce potrubí (nástroj MFL)
4. Zkoušky trubního materiálu odebraného z plynovodu
   - Materiálové zkoušky
   - Tlakové zkoušky trubního tělesa
5. Sanace vad zjištěných vnitřní inspekcí
6. Tlaková reparace
7. Vysušení potrubí

Komplexní přístup k posouzení integrity

Vnitřní inspekcí se u ježkovatelných potrubí detekuje většinu vad, které se následně posoudí a opraví

Tlakovou reparací se najdou všechny nebezpečné vady, ale ne vždy je jednoduchá jejich lokalizace a může tak dojít ke značnému prodloužení doby realizace. **Po opravě vady je nutné provést opakovanou reparaci = zvýšení nákladů**

Zvolený komplexní přístup s kombinací obou činností je optimálním řešením – **vnitřní inspekcí** budou nalezeny (a následně opraveny) velké vady v potrubí a následnou **tlakovou reparaci** bude možné provést rychleji a s minimálním počtem destrukcí potrubí

CEPS a.s.
jako subdodavatel uskutečnil

- zkoušky trubního materiálu
- tlaková reparace včetně projektu
- vysušení potrubí
- poradenskou činnost

Zástupci obou společností vedli technická jednání s provozovatelem a orgány státní správy Polska

Hlavní dodavatel stavby
T.D.Williamson Polska zajistil

- koordinaci prací
- zprůchodnění potrubí pro čisticí ježky a inspekční nástroje
- vyčištění potrubí
- provedení vnitřní inspekce potrubí
- opravy vad
- zemní a stavebně-montážní práce

Základní údaje o plynovodu

- **DN 400**, **DP 6,3 MPa**, provozní tlak 55 bar
- délka **55 km**
- vybudován v letech 1991–1992 a 1997 pro zásobování oblasti kolem Jelení Gory
- projektován a postaven jako **čistitelný** s koncovými komorami pro vkládání a vyjímání ježků

Koncová komora na začátku plynovodu

Použitý trubní materiál

- v trase – **spirálně svařované trubky** 406 × 6,3 mm z oceli 18G2A
- na oblouky (R_{min}= 5D), do chrániček a na shybky – **bezešvé trubky** 406 × 8,8 mm z oceli R45
- **izolace** PE (1997) a bitumenová (1991–1992)
- dokumenty kontroly použitého trubního materiálu se dochovaly pouze pro část trasy z materiálu 18G2A

Čištění potrubí

Podle informací od provozovatele nebylo potrubí za provozu a pravděpodobně ani při výstavbě **nikdy čištěno**

I přes značné riziko, že dojde k uvíznutí čisticího ježka, rozhodl provozovatel provést čištění za provozu v celé délce potrubí

První chod čisticího ježka

- po cca 40 km poblíž místa křížení s železniční tratí **došlo k uvíznutí čisticího pístu**
- nalezen ostrý segmentový ohyb
- výřez segmentového ohybu s využitím technologie TDW STOPPLE

Opakované čištění

- čisticí píst byl protlačen potrubím v celé délce a zachycen v koncové čisticí komoře
- bylo provedeno několikanásobné čištění
- **při prvních bězích čisticího ježka byla čisticí komora na konci plynovodu z poloviny zaplněna prachem**

Vnitřní inspekce potrubí

- byla provedena nástroji **T. D. Williamson**
  - chod kalibračního nástroje
  - chod inspekčního nástroje MFL

- **bylo detekováno velké množství vad se zeslabením stěny trubky, místy až ze 79 %**

Sanace nalezených vad

Největší z těchto vad byly po odstavení plynovodu z provozu

- obnaženy
- opraveny – podle závažnosti výřezem nebo překrytím objímkou

Vzorek trubního materiálu

Při výřezu segmentového ohybu byla ve stejném místě odebrána i část potrubí 406 × 6,3 mm z oceli 182G2A a z této části potrubí byly vyrobeny

- **vzorky pro materiálové zkoušky**
- **zkušební trubní těleso pro tlakové zkoušky**

Vzorky druhého trubního materiálu – bezešvé trubky 406 × 8,8 mm z oceli R45 – nebyly z provozních důvodů odebrány

Zkoušky trubního materiálu

provedeny v SVÚM Praha

- chemický rozbor
- tahové zkoušky
- zkoušky rázem v ohybu
- metalografický rozbor
- informativní posouzení výrobního svaru

vzorek

- spirálně svařované trubky 406 × 6,3 mm
- ocel 182G2A
- vyrobeno v roce 1991–1996 v Huta Ferrum Katowice

VÝSLEDKY MATERIÁLOVÝCH ZKOUŠEK

Chemický rozbor a tahové zkoušky

Chemický rozbor – nízkouhlíkatá ocel typu ČSN 41 1523, případně St53 nebo X52, s dobrou čistotou; chemické složení je v souladu s 18G2A.

Tahové zkoušky

- mez kluzu $\mathbf{R_e}$ 0,2 jak v obvodovém tak v podélném směru v intervalu **350–380 MPa**
- pevnost $\mathbf{R_m}$ v obou směrech **540–555 MPa**

Minimální zaručená R_e pro 18G2A je 350 MPa

Zkoušky rázem v ohybu

hodnoty nárazové práce KV* (přepočtené na plnou tloušťku standardizovaného vzorku) při teplotách 20 °C a 0 °C

- v obvodovém směru nad **140 J** – velmi příznivé,
- v podélném směru pouze **40 J** – nepříliš příznivé, hodnoty nevyhovují současným požadavkům (dle ČSN EN 10208-2 je min KV* 60 J), ale převyšují technické minimum 27 J

Tento nestandardně vysoký rozdíl není z hlediska tlakové reparace významný

Metalografický rozbor

- ocel má dobrou až průměrnou kvalitu co do obsahu vměstků
- vlastní struktura oceli je jemnozrnná, feriticko-perlitická, bez řádkovitosti
- posouzení výrobního šroubovicového svaru (informativního šetření) – podle výbrusu je kvalita šroubovicového svaru vyhovující

Výsledky materiálových zkoušek

Kvalita oceli je z hlediska mechanických vlastností a struktury **standardní**, bez významnějších vad a s mechanickými vlastnostmi **odpovídajícím materiálu 18G2A dle dokumentů kontroly**.

Příprava trubního tělesa

- Část trubky odebrané z trasy v délce 2,9 m a objemu 360 l byla oboustranně zadýnkována a osazena návarky
- Návarky byly ostrojeny armaturami pro napojení tlakových snímačů a vysokotlakých hadic pro přívod a odvod tlakové vody
- Součástí tělesa byl obvodový montážní svar – při vizuálním posouzení nebyly shledány žádné významné vady

Zkušební těleso

Zkoušky trubního tělesa

Na základě výsledků materiálových zkoušek byly **stanoveny hodnoty tlaků pro tlakovou reparaci trubního tělesa**

Za účasti provozovatele bylo trubní těleso **podrobeno tlakové reparaci** – tlakování k mezi kluzu na hodnotu trvalé integrální obvodové deformace **0,05 %**

Tlakové zkoušky trubního tělesa

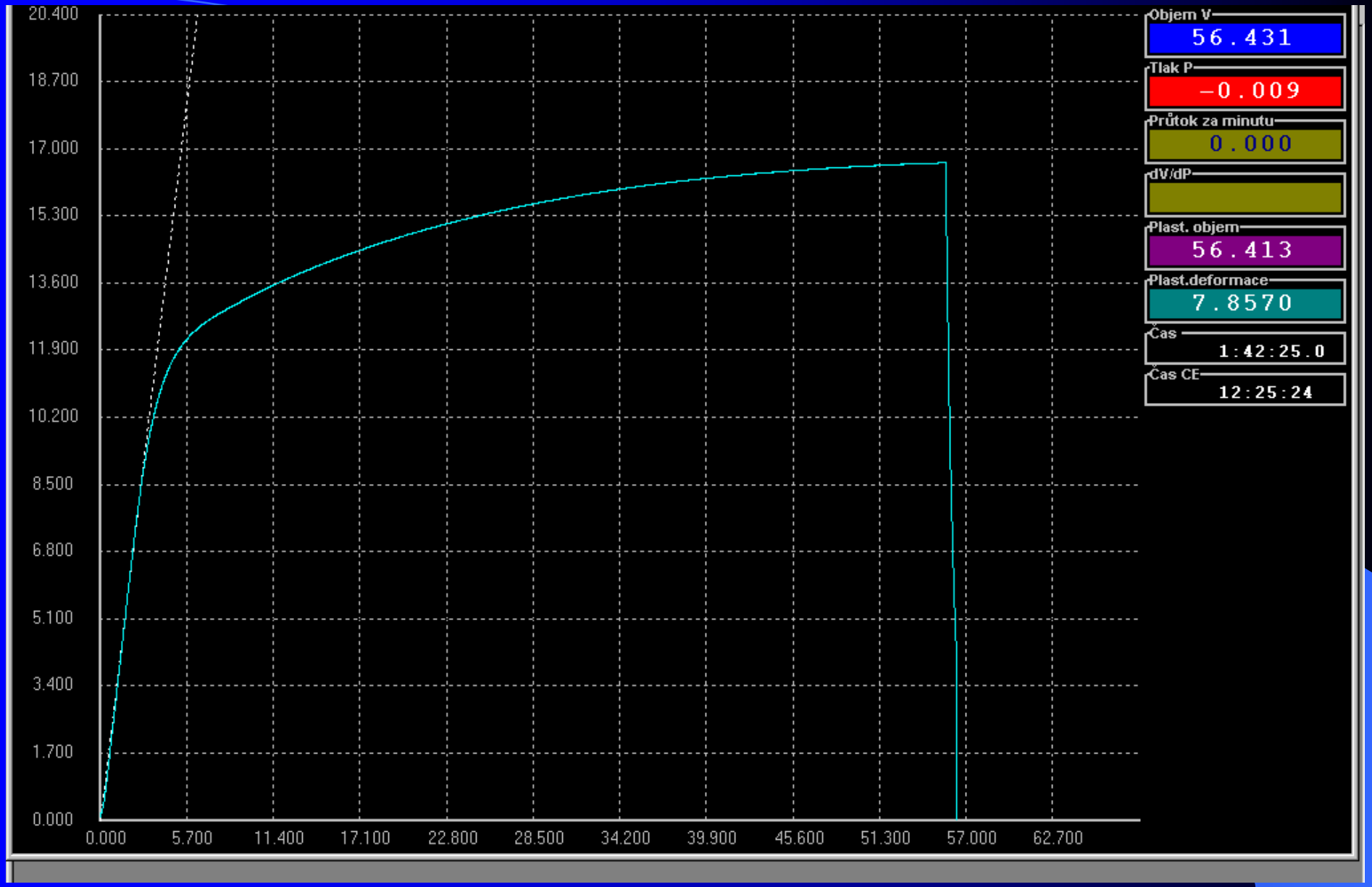
- **on-line měřeny** byly
  - tlak v tělese
  - průtok přičerpávané vody
- a **sledovány**
  - závislosti **p-V** a **p-t**
  - celkový přičerpaný objem vody
  - velikost přičerpaného plastického objemu
  - hodnota trvalé integrální deformace **ε**

On-line měření závislosti p-V

Po dosažení reparačního tlaku bylo **pokračováno v tlakování tělesa k mezi pevnosti**

Destrukce nastala v obvodovém montážním svaru při tlaku 16,632 MPa blížícímu se výpočtovému tlaku meze pevnosti zkušebního tělesa

Destrukce obvodového svaru



On-line závislost p-V po destrukci tělesa

Přehled dosažených hodnot

P [MPa]	V_p [l]	V_c [l]	ε [%]	Rychlost tlakování [l/min]
9,602	0,15	3,19	0,02	0,66
10,450	0,38	3,64	0,05	0,66
11,910	1,43	5,21	0,20	0,66
16,632	47,00	47,45	6,61	0,66

V_p … přičerpaný objem vody na vyvození plastické deformace

V_c … celkový přičerpaný objem vody

ε … trvalá integrální obvodová deformace

Stanovení reparačního tlaku

Potrubí je postaveno ze dvou rozdílných materiálů

- 406 × 6,3 z 18G2A, R_e = 350 MPa
- 406 × 8,8 z R45, R_e = 255 MPa

Hodnota tlaku na mezi kluzu je u obou trubek téměř shodná – u oceli R45 je nižší hodnota meze kluzu kompenzována větší tloušťkou stěny

Parametry tlakové reparace

Maximální tlak tlakové reparace byl stanoven dle zkoušek trubního materiálu 18G2A na P_{max} = 10,45 MPa

Maximální hodnota integrální obvodové deformace ε = 0,05 %

Technologický postup reparace

V Polsku neexistuje žádný předpis pro provádění tlakové reparace, bylo proto nutné vypracovat **nový technologický postup**.

Vypracovaný postup kombinuje dva technické předpisy

- pro vlastní **tlakovou reparaci**
- pro **vyhodnocení testu těsnosti**

Technologický postup reparace

Pro vlastní tlakovou reparaci včetně zkoušky pevnosti byl použit Typový postup CEPS **Provedení tlakové reparace a tlakové zkoušky podle Inspekční zprávy ITI č.j. 70602.050615.071 ze dne 3. 3. 2006**, podle něhož CEPS provádí tlakové reparace v ČR

Pro vyhodnocení testu těsnosti byl použit polský předpis pro provádění stresstestů a následných tlakových zkoušek nových potrubí – norma ZN-G-3900 **Proby specjalne**.

Technologický postup tlakové reparace byl schválen provozovatelem a organizací polského státního odborného dozoru UDT
(funkce jako TIČR)

Projekt rehabilitace

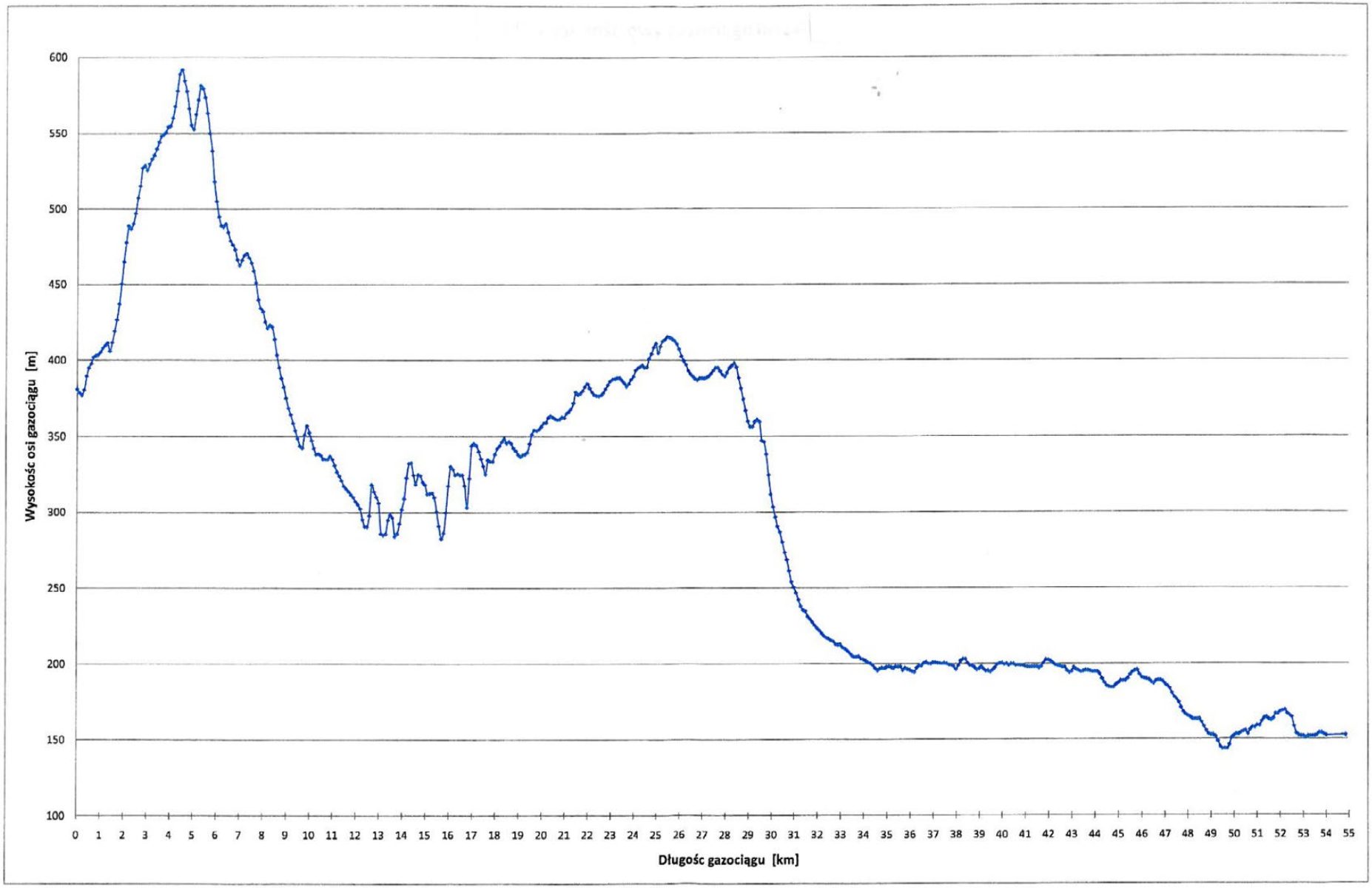
Plynovod DN 400 byl rozdělen na **4 pracovní celky**

Tyto pracovní celky byly postupně

1. **odstaveny z provozu a rozpojeny**
2. **opraveny** (výřezy defektů, instalace objímek)
3. **podrobeny tlakové reparaci** (v pracovních úsecích)
4. **vysušeny**
5. **propojeny a zprovozněny**

Každý pracovní celek byl dále dělen na **pracovní úseky**, na kterých byly **prováděny tlakové reparace**

Vzhledem k **profilu trasy** a **použitelným zdrojům vody** bylo rozdělení plynovodu na pracovní úseky značně obtížné



Podélný profil trasy plynovodu

nejvyšší místo trasy cca **590 mnm** – nejnižší místo trasy cca **140 mnm**

Termín realizace rehabilitace

byl provozovatelem **stanoven maximálně na 4 měsíce** – „šibeniční“ termín vzhledem k množství nutných činností

- velké množství **rozpojů**, **přepojů** a **propojů** na „živém“ potrubí,
- značný **rozsah přepouštění vody** při dvou použitelných zdrojích vody
- **množství oprav vad** detekovaných vnitřní inspekcí
- provedení **tlakové reparace na každém pracovním úseku**
- **vysušení** potrubí každého pracovního celku

Celý projekt tedy vyžadoval **dokonalé naplánování**, **organizaci** a **nepřetržitý průběh prací** včetně svátků, sobot a nedělí, což v Polsku není jednoduché

Počet **16 pracovních úseků** byl těžce vydobytým kompromisem mezi požadavky

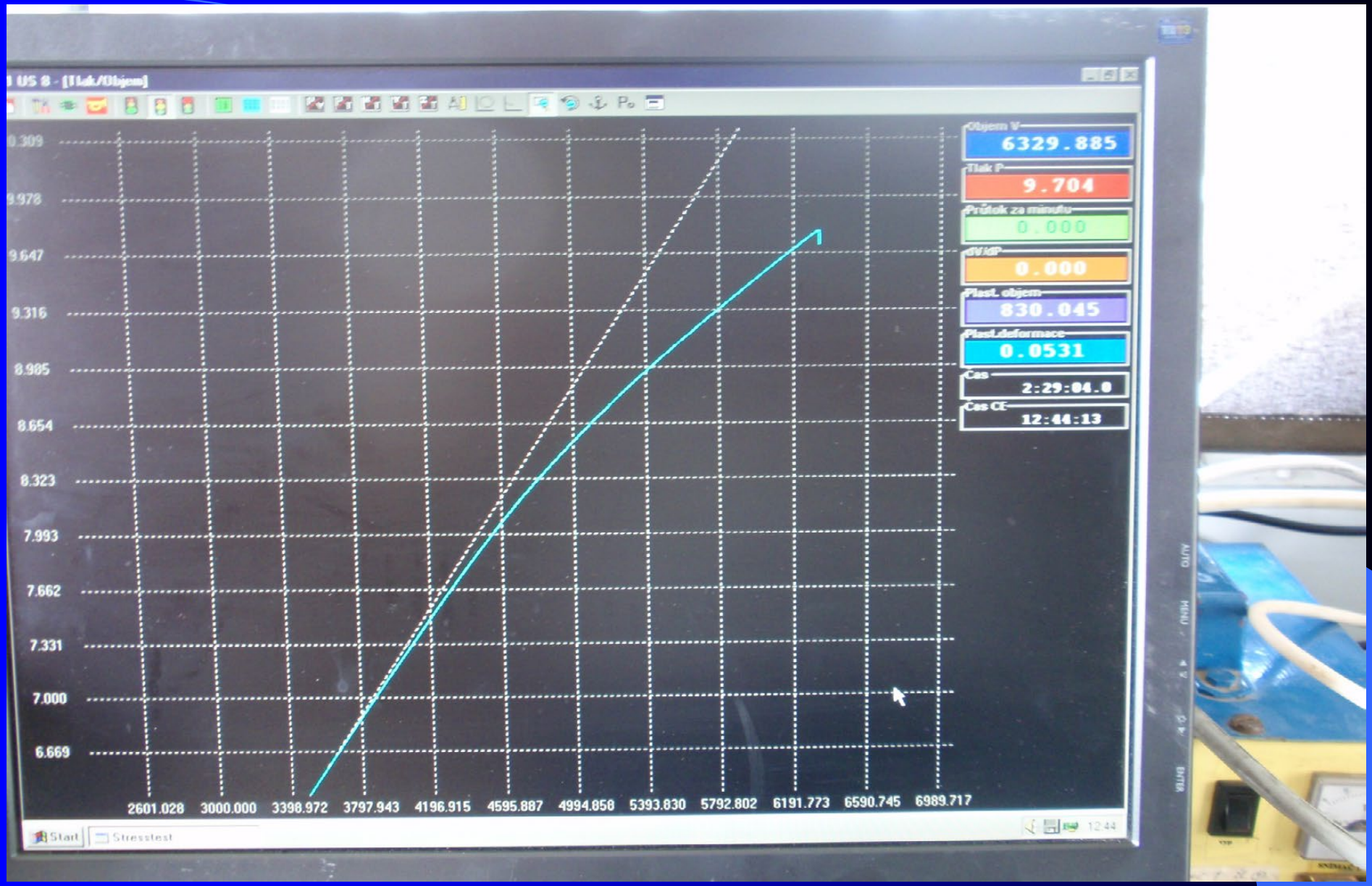
- **investora-provozovatele** na minimalizaci nákladů
- a **zhotovitele** na převýšení a délky pracovních úseků

Provedení tlakové reparace

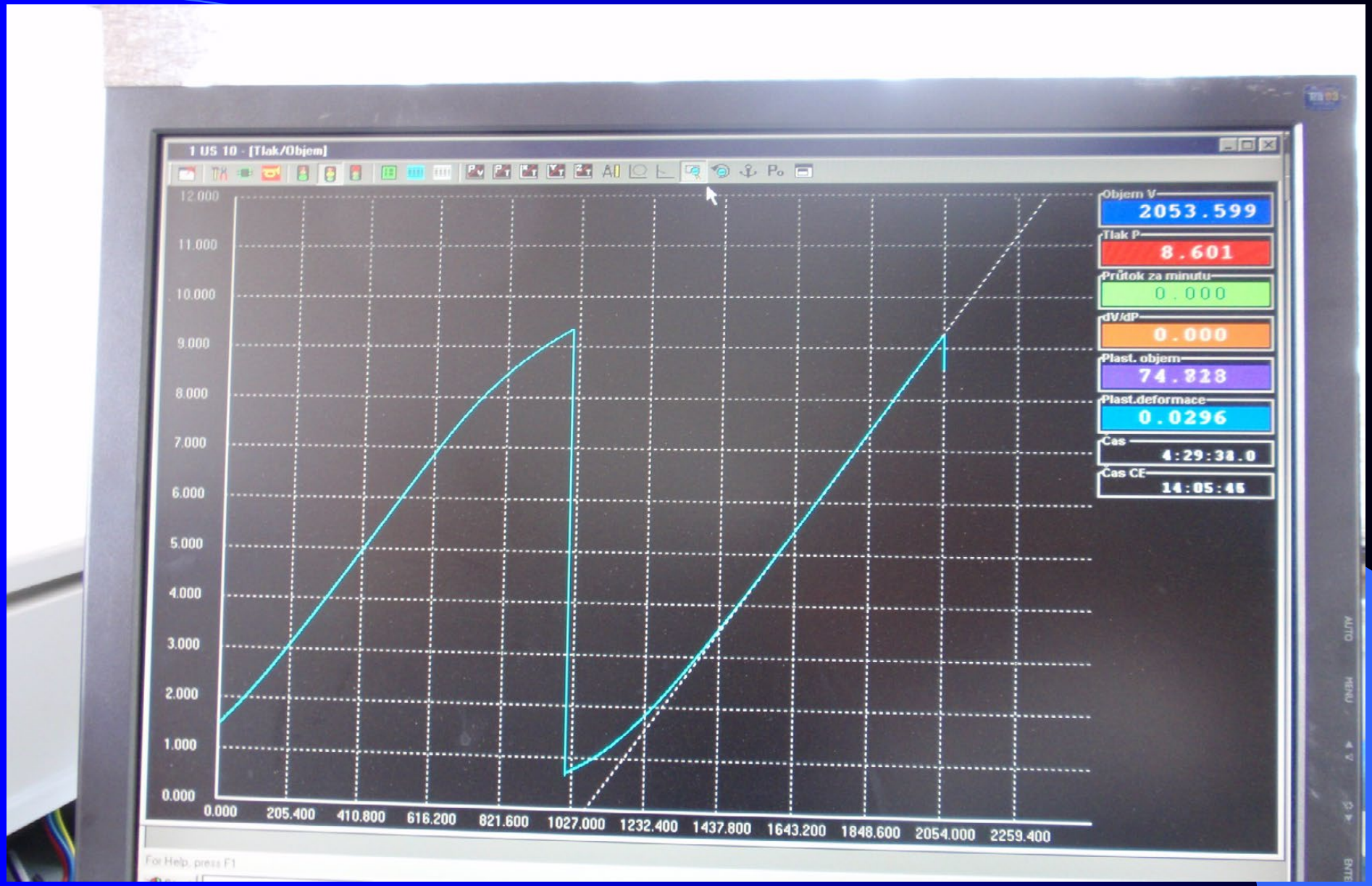
Při tlakové reparaci byly on-line sledovány

- **měřené hodnoty**
  - tlak v potrubí
  - průtok přičerpávané vody
- **dopočítávané hodnoty a závislosti**
  - závislosti **p-V** a **p-t**
  - celkový přičerpaný objem vody
  - velikost přičerpaného plastického objemu
  - hodnota trvalé integrální deformace **ε**

Tento progresivní způsob měření, který není předpisem Proby specjalne vyžadován, byl přijat plynárenskými odborníky velmi pozitivně.



On-line měření p-V – prodleva po I. cyklu



On-line měření p-V – prodleva po II. cyklu

Dvě destrukce potrubí

První destrukce na části plynovodu vybudované v roce 1997

Druhá destrukce na části plynovodu vybudované v roce 1992

První destrukce

- zjištěna při časové prodlevě **po I. cyklu reparace**
- **pokles tlaku** odpovídající změně objemu vody (úniku) cca **411 l/h** – poměrně velký únik vody lze najít pochůzkou po trase při příznivých podmínkách (terénu)
- po několika dnech po několikanásobném natlakování na cca **70 bar** a **samovolném odtlakování potrubí** (důkladné provlhčení terénu v okolí vady) byla vada nalezena

Vada v řepkovém poli

Průchozí vada v montážní svaru

Průchozí vada v montážní svaru

- svar má **výrazné vizuálně zjistitelné nedostatky** a **kořen v místě perforace zcela chybí**
- přesto **prošel všemi kontrolami** při výstavbě tohoto plynovodu v roce 1997
- v ČR se tou dobou stavěl plynovod stejné kategorie (B2 dle TPG 702 04) DN 1000 z Lanžhota na Horu Svaté Kateřiny – na všech montážních obvodových svarech byly provedeny zkoušky prozářením (kromě jiných zkoušek a kontrol)

Ihned po lokalizaci vady byla **provedena zpětná kontrola výsledků vnitřní inspekce** tohoto místa – **nebyly zjištěny žádné anomálie v záznamu inteligentního ježka**

Toto zjištění znovu potvrdilo dlouhodobé zkušenosti společnosti CEPS, že **inspekční nástroj typu MFL není schopen na potrubí detekovat vady tohoto typu a rozsahu – i když jsou velmi významné**

Druhá destrukce

- **zjištěna v průběhu testu těsnosti**
- pokles tlaku o 2,7 bar v průběhu 24 h odpovídající změně objemu (únik) v množství necelých 6 l/h
- v úseku o délce 4,6 km, polovina v podmáčeném lese, druhá polovina v poli
- inspekční nástroj detekoval spoustu drobných anomálií
- nelze detekovat pochůzkou po trase

Lokalizace vady

Úsek byl rozdělen na **3 podúseky** (žádost provozovatele) a byl **proveden test těsnosti** v délce 24 hodin (po teplotní stabilizaci)

- dva z podúseků byly vyhodnoceny jako těsné
- na třetím netěsnost o velikosti úniku jen 2,5 l/h
- třetí podúsek **rozdělen na další tři podúseky**, při následných testech těsnosti se již žádná netěsnost neprojevila

Zmenšení velikosti úniku vody z potrubí je jev, ke kterému dochází po dělení zkoušeného úseku na podúseky poměrně často. Průchozí místa jsou při takovýchto únicích velice malá.

Při vytláčení vody z potrubí a zpětném napouštění dojde při průchodu ježka přes inkriminované místo k „přicpání“ nebo „ucpání“ průchozího místa částicemi rzi nebo kalu.

Průchozí vada mohla být zanesena nečistotami nebo mohla být i vyříznuta při výřezu potrubí v místech dělení na jednotlivé podúseky.

Z časových důvodů již nebylo dále řešeno.

Potrubí po řádně provedené tlakové reparaci lze garantovat jako pevné. Po zprovoznění bude nutné, aby provozovatel vykonával na uvedeném úseku zvýšený dohled.

- detekce vad izolace Pearsonovou metodou
- častějších pochůzky po trase plynovodu s detektorem na zjišťování úniku plynu

Sušení potrubí

- Po propojení pracovních úseků každého pracovního celku bylo potrubí vysušeno na teplotu rosného bodu (TRB) vody ve vzduchu vystupujícím z potrubí **–20 °C**
- Sušení bylo provedeno **vysocesuchých vzduchem** standardním způsobem dle **TPG 702 11**
  - vytlačení zbylé vody pomocí lamelových pístů
  - vytírání pomocí molitanových pístů
- Pohon pístů vysocesuchým vzduchem TRB **–80 °C**

Sušicí zařízení

- **Sušicí jednotka JUV 3600 AR**
  - výstupní TRB –80 °C
  - výkonnost cca 3600 m^3/h
  - tlaková regenerace
- **Kompresor ATLAS COPCO XAHS 416**
  - výstupní tlak 12 bar
  - výkonnost cca 1500 m^3/h

Mobilní sušicí jednotka s kompresorem

Zhodnocení prací

Provedení rehabilitace plynovodu završilo několikaleté úsilí provozovatele o

- **prokázání integrity potrubí**
- **zajištění dlouhodobého bezpečného provozu**
- **zvýšení maximálního provozního tlaku v plynovodu**

Zhodnocení prací

Průběh prací potvrdil vhodnost zvoleného komplexního přístupu

Vnitřní inspekcí bylo odhaleno velké množství defektů, závažné defekty byly před tlakovou reparací vyříznuty nebo překryty objímkou

Zhodnocení prací

Tlaková reparace prověřila vnitřní integritu potrubí s prokázáním maximální míry bezpečnosti provozovaného plynovodu

Díky předchozím opravám bylo možné provést tlakovou reparaci ve velice krátkém období 4 měsíců

V průběhu tlakové reparace došlo přesto k otevření kritické vady obvodového svaru – v místě, kde vnitřní inspekce žádnou vadu nedetekovala

Závěr

Na základě provedených prací lze konstatovat, že kombinace

- **vnitřní inspekce** (s odstraněním zásadních vad)
- a **tlakové reparace**

je **nejefektivnější metodou prokázání spolehlivosti provozovaných vysokotlakých potrubí a zajištění jejich dalšího dlouhodobého provozu**