

Řešení technických obtíží při hydraulických zkouškách plynovodů velkých průměrů

Ing. Martin Stukbauer
Filip Tesař

CEPS a. s.

Úvod

V letech 2011–2012 proběhla na našem území výstavba mezinárodního plynovodu DN 1 400 GAZELA – prvního plynovodu této dimenze vedoucího Českou republikou, který byl v plné délce podroben stresstestu. Plynovod vede od HPS Brandov po TU Přimda, je dlouhý 155 km a je provozován při maximálním přetlaku 85 barů.

Výstavba byla rozdělena do 3 celků – LOTů. Společnost CEPS ve druhé polovině roku 2012 prováděla stresstesty a související činnosti na LOTu 1B od HPS Brandov přes TU Jirkov a TU Hrušovany po TU Sýrovice v délce 52,5 km. Pro účely výstavby byla trasa rozdělena do dvou celků: HPS Brandov–TU Jirkov (jako část „horská“) a TU Jirkov–TU Sýrovice (část „rovinná“). Součástí tohoto LOTu byl přechod Krušných hor, kde celkové převýšení bylo více než 700 m. To přinášelo řadu technických problémů, které bylo nejen při provádění stresstestu, ale i při ostatních činnostech souvisejících s hydraulickými zkouškami, řešit.



Obr. 1. Položený plynovod DN 1 400 u Pyšné

Činnostmi, úhrnně nazývaných zkouškami, se v tomto případě rozumí čištění potrubí, kalibrace hliníkovou deskou, napuštění potrubí, stresstest a tlaková zkouška – test těsnosti, vypuštění potrubí a jeho vysušení. Všechny činnosti probíhaly v souladu s českými, potažmo evropskými předpisy – ČSN EN 1594, ČSN EN 12327, TPG 702 04 a TPG 702 11.

Projekt hydraulických zkoušek

Na úplném počátku prací bylo potřeba navrhnout a zpracovat projekt hydraulických zkoušek, neboť Projekt pro realizaci stavby se tímto tématem vůbec nezabýval.

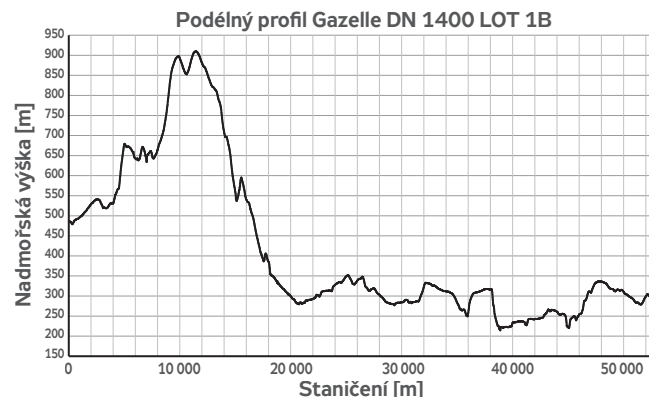
Ve spolupráci se zhotovitelem potrubí a projektanty byla celá trasa rozdělena na zkušební úseky, stanoveny zdroje vody pro zkoušky a vypočteny předběžné hodnoty technických parametrů pro jednotlivé zkušební úseky. Také byl stanoven rozměr kalibrační desky.

Rozdělení úseků

Při rozdělení linie plynovodu na jednotlivé zkušební úseky bylo nutné vzít v úvahu limity stanovené v TPG 702 04, čl. 23.3.2, který stanoví, že délka zkoušeného úseku nemá být větší než 15 km, a jeho vnitřní objem větší než 6 000 m³. To pro potrubí DN 1 400 znamená zhruba limit 6 000 m³, délku úseku cca 4 km. Dalším, z technického hlediska ještě důležitějším faktorem byl požadavek na účinnost provedeného stresstestu – zatížení maximálního možného počtu součástí linie na alespoň 85 % skutečné meze kluzu (viz TPG 702 04, čl. 23.7.3). Po provedení předběžných výpočtů bylo zjištěno, že v linii použité 3 kategorie trub (tloušťky stěn A – 18,0 mm, B – 21,5 mm a C – 25,5 mm) nelze zkoušet společně, a je nutno sekce, kde jsou tyto zesílené trubky použity, zkoušet samostatně.

V neposlední řadě bylo potřeba zohlednit nutnost udržet v úsecích po provedeném stresstestu tlak požadovaný TPG 702 04 jako minimální pro provedení testu těsnosti. Pro DP 85 to znamená 102 barů v nejvyšším a 110,5 baru v nejnižším místě úseku.

Toto prvotní rozdělení úseků linie ve svém výsledku určilo neuvěřitelné množství 35 zkušebních úseků na 52 km linie. Toto číslo prakticky znemožňovalo reálný časový průběh zkoušek. Komplikace by vznikly jednak se samotným technologickým a materiálním zajištěním zkoušek (komory, armatury na komory, pomocná potrubí, plnicí ježky apod.), jednak s technicko-organizačním zajištěním zkoušek (doprava materiálu a komor, svařování množství komor, stavba pomocných konstrukcí a zařízení apod.).



Obr. 2. Podélný profil LOTu 1B Brandov–Sýrovice

Proto se přistoupilo k jednáním s budoucím provozovatelem o provedení technických opatření, aby bylo možné zefektivnit průběh zkoušení, zároveň však zůstala zachována technická úroveň provedených zkoušek.

V úseku vedoucím Krušnými horami (HPS Brandov–TU Jirkov) bylo kritickým parametrem pro rozdělení úseku převýšení jednotlivých úseků. Při předběžných výpočtech bylo z mezí kluzu taveb použitých při výstavbě (rozmezí nejslabší tavy s mezí kluzu 485 MPa a nejsilnější odhadem 560 MPa) stanoveno rozpětí tlaků při stresstestech jedné kategorie na hodnoty odpovídající pouze třicetimetrovému převýšení jednotlivých úseků.

Teoreticky, pokud by byl úsek postaven z jedné tavy, by se maximální únosné převýšení jednotlivého úseku zvětšilo až na 180 m; pokud by byl úsek postaven ze silných taveb v dolních částech úseku a slabých ve vrcholových, došlo by k dalšímu nárůstu povoleného převýšení. V praxi je taková stavba potrubí prakticky vyloučena.

V rámci snahy o rozumné snížení počtu úseků bylo s provozovatelem dohodnuto, že limitní tlak zastavení stresstestu bude zvýšen ze 100 % skutečné meze kluzu na 110 %. Tím došlo ke zvýšení možného převýšení úseků s potenciálně slabou tavbou v dolní části úseku a silnou nahoře (nejhorší případ pro stresstest) na zhruba 130 m.

Zároveň provozovatel netrval na zatížení trubky kategorie B (21,5 mm) na 85 % skutečné meze kluzu, což umožnilo zkoušet tyto trubky společně s kategorií A.

Dalším jednáním byla určena také deformační konstanta ϵ pro stanovení limitu plastizace trub při stresstestu. Německý předpis použitý pro výpočty (VdTÜV 1060 z roku 2007) nestanovuje tuto konstantu pro ocel L 485 MB a způsob výroby trub (neexpandované bez průřezu odstranění pnutí). Byla tedy zvolena náhradní konstanta pro ocel StE 480.7 TM. Zároveň bylo dohodnuto, že pro výpočty stresstestů bude použita hodnota minimální tloušťky stěny trubek podle Technických dodacích podmínek dohodnutých provozovatelem s výrobcem trub (–0,5 mm), nikoliv podle podmínek ČSN EN 10208-2 (–0,5 % t).

V úseku plynovodu za Krušnými horami (TU Jirkov–TU Sýrovice) byla rozhodujícím parametrem pro rozdělení úseků délka, resp. největší doporučený objem úseku 6 000 m³. Vzhledem k tomu, že úseky vycházely na délky okolo 3/4 násobku maximální povolené délky, bylo s provozovatelem dohodnuto zvětšení těchto úseků (pospojování do dvojic) za následujících podmínek odchýlně od TPG 702 04:

- souhlas organizace státního odborného dozoru s takovým řešením,
- při stresstestu bude rychlost stoupaní tlaku při tlakování v rozmezí 0,3–4 % mezního tlaku za minutu,
- bude zpřísněno sledování procesu tlakování (stresstestu) nad rámec standardních požadavků, integrální objemová deformace bude vypočítávána kontinuálně v intervalu ne delším než 3 vteřiny,
- pro měření testů těsnosti bude použito přesnějších měřicích přístrojů než požaduje norma,
- test těsnosti úseku 22, který byl vůbec největší na LOTu 1B (délka více než 8 km a objem přes 12 000 m³), bude trvat nejméně 48 hodin.

Ve výsledku těchto jednání bylo možné snížit počet tlakovacích úseků na celkových 22. Těsně před tlakováním úseků 20 a 21 byly tyto dva úseky ještě spojeny. Konečný počet tedy byl 21 úseků v linii.²⁾

Kalibrační

Rozeř kalibrační desky v tomto případě byl stanoven výpočtem podle TPG 702 04. Byly vzaty v úvahu největší tloušťky stěn prvků v potrubí zabudovaných, jejich povolené výrobní tolerance (odchylky od nominálních tloušťek, vnějších průměrů) vč. ovality a z nich byl stanoven nejmenší dovolený vnitřní průměr potrubí. Ten byl následně snížen na hodnotu 98 % a odečteno 10 mm (TPG 702 04, čl. 21.1). Výsledná deska měla průměr 1 325 mm, tloušťka desky byla 10 mm, aby odolala náhodným mechanickým vlivům v potrubí. Deska byla rozdělena na segmenty, aby při její deformaci bylo jasně patrné, v kterých místech k deformaci došlo.



Obr. 3. Nabíjení kalibračního jeřka DN 1 400, Brandov

Zdroje vody

Pro potřeby zkoušek bylo potřeba zajistit napuštění potrubí vodou. Celkový objem zkoušené části byl 78 000 m³ vody (78 milionů litrů). Ve spolupráci s Pověřováním Ohře byly stanoveny podmínky odběru vody ze čtyř zdrojů:

- potok Svídnice a Podkrušnohorský přivaděč PKP II pro část horskou,
- vodní nádrž Kyjická a řeka Ohře pro část rovinnou.

Odebraná voda byla po provedení zkoušek do zdrojů vrácena v nezměněné kvalitě. Pro tyto účely byly při odběrech a vypouštění odebrány vzorky vody, které byly sledovány v parametrech NL (nerozpustné látky) a frakce C₁₀–C₄₀ (dříve NEL – nepolární extrahovatelné látky).

²⁾ Pro účely propojení těchto úseků byly odtlakovány další 2 úseky – nadzemní svařence trubek, které byly po zkouškách rozřezány a použity k propojům. Tím je plynovod opravdu stresstestován v plné délce, s výjimkou armaturních uzlů.



Obr. 4. Zdroj vody Podkrušnohorský přivaděč PKP II, Drmaly

Na základě výše uvedených jednání a technických dohod byl projektantem zpracován Realizační projekt provádění hydraulických zkoušek linie plynovodu DN 1 400 Gazela pro LOT 1B.

Realizace

Samotný proces realizace zkoušek se odvíjel od procesních standardů dlouhodobě vyvíjených společností CEPS a.s.

Technologické vybavení bylo na stavbu dopraveno v dostatečném množství. Pro čištění a kalibraci byly dodány 2 ježci, 4 čisticí komory; pro stresstesty celkem 18 tlakovacích komor pro tlaky až 205 barů (bez ježků každá vážila přes 20 tun) a 25 ježků pro napouštění (každý 1 200 kg).



Obr. 5. Čisticí komora DN 1 400, Jirkov



Obr. 6. Tlakovací komora, napouštění vody, Pod Vraním vrchem, Hora sv. Kateřiny

Kompresory poskytovaly 7 000 m³ tlakového vzduchu za hodinu, napouštěcí čerpadla 450 m³ vody za hodinu. Pro napouštění vody v horách bylo použito čerpadlo schopné čerpat hodinově 360 m³ při maximální výtlačné výšce 750 m. Takové čerpadlo je poháněno motorem o výkonu 1 000 koní.

Pro udržení rychlosti zvyšování tlaku při stresstestech dlouhých úseků byly nasazeny 2 vysokotlaké kontejnerové agregáty, každý se dvěma soustrojími. Každé ze čtyř čerpadel poháněl motor o výkonu 300 koní a společně čerpaly 920 litrů vody do potrubí až do tlaku 200 barů.

Jednotlivé průtoky byly v systému sběru dat sčítány a dále vyhodnocovány jako jeden zdroj tlaku.

Pro zvýšení tlaku při jednom cyklu bylo potřeba do potrubí přičerpat okolo 70 m³ vody, u dlouhých úseků až 120 m³ vody. Tyto objemy s sebou nesly problémy s uskladněním tohoto množství mezi úseky. Byly řešeny použitím mobilních kontejnerových tanků o objemu 35 m³, ve vhodných místech také dočerpáváním vody z okolních úseků. Pro lepší představu, hasičská cisterna má obvykle 6–8 m³ vody, cisternový návěs 23 m³. Toto množství bylo nutné skladovat mezi úseky v horském, mnohdy velmi obtížně přístupném terénu.



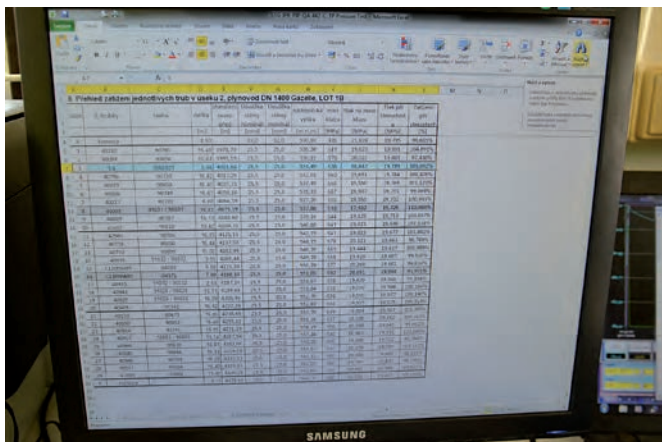
Obr. 7. Technologie připravená na stresstest v obtížném terénu, Pyšná

Strojní vybavení jednotlivých technologií spotřebovalo v plném výkonu až 250 l nafty za hodinu. Celkem bylo na stavbě při zkouškách spotřebováno stroji více než 94 tisíc litrů nafty za téměř 3,5 milionu Kč.

Stresstest

Pro každý úsek byl před samotným tlakováním vypočten podle kladečského deníku (pipebooku) a geodetického zaměření Dodatek technologického postupu s přesným zatížením všech trubek v úseku s ohledem na rozložení tlaku v trase (ovlivněným nadmořskou výškou).

To znamenalo zkontrolovat celý kladečský deník, každou trubku zkontrolovat v parametrech čísla trubky, tavby, délky (vč. evidence odřezků), zařazení do úseku a skutečné meze kluzu. Takto se postupovalo trubku za trubkou celých 52 km, což dohromady dává více než 3 000 trubek. V každém úseku byla definována nejslabší (nejvíce zatížená) a nejsilnější trubka (nejméně zatížená), podle kterých byl celý stresstest úseku nastaven. Poté byly vypočteny objemové parametry stresstestu – přičerpané objemy, rychlosti čerpání a zejména limity stresstestu (mezí tlak a mezí integrální objemová deformace). Ta byla proporcionálně snížena podle délek v různých výškových pásmech nad minimem úseku.



Obr. 8. Dodatek tech. postupu pro úsek 2 – příloha Přehled zatížení jednotlivých trub

Dodatek postupu pro každý úsek byl vždy schválen provozovatelem, realizace probíhala za bedlivého dohledu zodpovědných pracovníků provozovatele.

Limitní tlaky se pohybovaly nad 130 bary pro trubky kategorie A a nad 190 bary pro trubky kategorie C. Limitní integrální objemové deformace dosahovaly hodnot od 1 000 l pro krátké úseky až po 8 000 l u úseků dlouhých (tento objem celý připadá na povolenou trvalou deformaci trubek). Při samotné realizaci však deformačních limitů nebylo dosaženo, všechny stresstesty byly zastaveny při dosažení limitního tlaku. Úspěšnost stresstestu byla dosažena zatížením všech trub na více než 85 % skutečné meze kluzu. Dokonce i na trubkách kategorie B byl stresstest oproti předpokladu v mnoha případech proveden zatížením trub okolo 90 %. Výjimkou byly tovární ohyby, které i v rámci jednotlivých kategorií trub měly z pevnostních důvodů zesílenou stěnu.

STOP ve smyslu TPG 702 04 (obdoba MAOP) byl u všech úseků vyšší než 85 barů.

Měření stresstestu

K měření a vyhodnocení stresstestu na plynovodu Gazela byl používán speciální hardware a software, jehož aktuálně již třetí generaci CEPS ve spolupráci s externími pracovníky vyvíjel několik let. Systém splňuje všechny požadavky na měření, které předepisují dotčené normy a předpisy.

Popis systému měření:

Ke sběru, zpracování a zobrazení dat jsou zapotřebí dvě základní části:

1. Hardwarová část:

- snímače tlaku a průtokoměry,
- terminál ke sběru a zpracování dat,
- stanice k zaznamenávání, zpracování dat, výpočtům a vizualizaci.

2. Softwarová část:

- program PIPETEST 7 na OS MS Windows 7 Professional.

K měření tlaku byly použity snímače od firmy FISCHER ROSEMOUNT typ 3051 s garantovanou třídou přesnosti 0,1 % (při kalibraci byla dokonce verifikována přesnost 0,05 %), rozsahem 0–200 barů a výstupním signálem 4–20 mA. K měření průtoku byly použity průtokoměry KROHNE s přesností 0,5 % s výstupním signálem 4–20 mA. Výstupní signály jsou vedeny kabely do terminálu.



Obr. 9. Měření tlaku při stresstestu, prodleva po prvním cyklu, Pod Vraním vrchem, Hora sv. Kateřiny

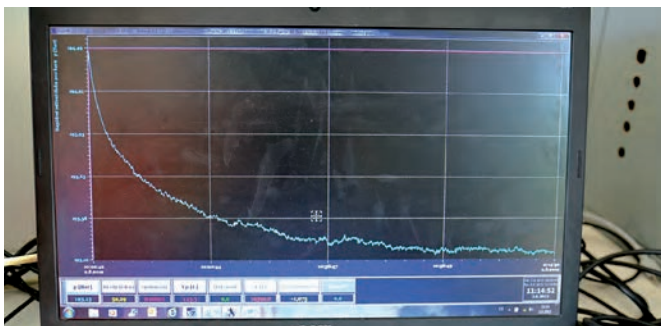
Terminál ke sběru a zpracování dat obsahuje samostatný programovatelný automat (PCA) od firmy Advantech typ ADAM – 5510 s osmikanálovým rychlým analogovým vstupním modulem. Terminál je dále vybaven galvanickými oddělovači vstupů Knick, které konvertují signály na vstupu i na výstupu 0–20 mA, 4–20 mA a 0–10 V. Galvanické oddělovače jsou použity pro zamezení vnášení šumu od jiných používaných zařízení, kvůli kterým dochází k negativnímu ovlivňování měření. Dále je zde umístěn záložní zdroj pro případ výpadku elektrické energie. Terminál může zpracovávat až 8 vstupních signálů najednou. Signály mohou být jak napěťové 0–10 V, tak proudové 0–20 mA nebo 4–20 mA a snímače mohou být použity pasivní i aktivní (s vlastním napájením nebo bez). Na oddělovačích v terminálu dochází k převodu všech vstupních signálů na proudový signál 4–20 mA, který je dále zpracováván v PCA v 10 ms intervalech. Zpracovaná data jsou z PCA odeslána přes sériový port do notebooku, kde dochází k jejich ukládání a zobrazování aktuálních hodnot na display.

Stanice k zaznamenávání, zpracování dat a vizualizaci je klasický notebook vybavený komunikačními periferiemi a OS MS Windows 7 32/64 bit, kde je nainstalován program pro zpracování a vizualizaci dat PIPETEST 7. Komunikace mezi terminálem a notebookem probíhá pomocí USB kabelu.

Program PIPETEST 7 obsahuje databázi, kde jsou nastaveny všechny proměnné. Přímě měřené veličiny jsou zpracovávány na veličiny odvozené (integrace průtoku na přičerpaný objem), nebo jsou použity jako vstupy pro veličiny vypočítávané (rozdíly tlaků, objemů, přičerpané množství vody na vzestup tlaku, pomocné přímky apod.). Lze provádět základní matematické operace, ale i složitější výpočty (logaritmy, integrace), nebo jejich kombinací provádět i složitější výpočty, například zavzdušnění potrubí.

Pro samotný stresstest jsou nejdůležitější tyto proměnné: tlak, průtok, celkový přičerpaný objem, integrální objemová deformace, přičerpaný objem pro zvýšení tlaku o jednotku tlaku a samozřejmě čas.

Všechny tyto činnosti probíhají ihned, tedy on-line při nastavitelném refreshi 600 ms a program tato data zobrazuje jak v číselné, tak grafické podobě – trendy. V grafech (trendech) lze současně zobrazit až 16 veličin v závislosti buď na čase, nebo na volitelné veličině, kterou je nejčastěji přičerpaný objem. Pro omezení šumů signálů je možné v programu nastavit filtr. Filtr lze chápat jako aritmetický průměr z několika po sobě jdoucích hodnot. Dále je možné nastavovat různé typy alarmů, a to jak vizuálních, tak akustických.



Obr. 10. Graficky znázorněná prodleva stresstestu po prvním cyklu, Pod Vraním vrchem, Hora sv. Kateřiny

Každý operátor se do systému musí přihlásit, což umožňuje každému uživateli definovat úroveň oprávnění práce se systémem. Samozřejmostí je nastavení vlastního profilu (přizpůsobení prostředí) pro každého uživatele zvlášť. Měření stresstestů bylo prováděno pro větší přehlednost na dvou monitorech. Na monitorech byly on-line zobrazovány dvě hlavní závislosti. Závislost tlaku na přičerpaném objemu ($p-V$) a závislost tlaku na čase ($p-t$). Program je uzpůsoben i pro měření cyklických namáhání – počítání cyklů vzestupů a poklesů tlaku.

Zimní opatření

Vzhledem k tomu, že při výstavbě došlo k posunutí provedení zkoušek na některých úsecích do zimních měsíců, bylo nutné provést řadu zimních opatření v souvislosti se zamrznáním technologických zařízení a pomocných potrubních vedení. Ty byly různě zateplovány, izolovány, vyhřívány, aby nedocházelo k zamrznání a následnému poškození zařízení.



Obr. 11. Izolovaná komora DN 1 400, Jirkov

Další komplikace způsobily nízké teploty při vyhodnocování testů těsnosti, kdy střední teploty úseků se pohybovaly mezi 2,5–3,5 °C. Protože se při návrhu předpisu vůbec nepředpokládalo, že se v takových podmínkách budou zkoušky provádět, nejsou v TPG 702 04 tabelované konstanty teplotních roztažností a stlačitelnosti pro teploty nižší než 5 °C.

Proto byla požádána o spolupráci VŠCHT Praha, která hodnoty konstant pro nižší teploty a daný rozsah tlaků poskytla.

Závěr

Stresstesty na mezinárodním plynovodu DN 1 400 Gazela, byly v LOTu 1B provedeny technicky korektně, přes řadu technicko-organizačních odchylek od standardy požadovaných řešení. Tyto odchylky umožnily provést zkoušky rozumně ve vztahu k pracnosti a časovému hledisku postupu výstavby. O úspěšnosti provedených stresstestů svědčí i to, že všechny trubky na 52 km byly podrobeny stresstestu, s výjimkou několika případů trub kategorie B, kde provozovatel netrval na zatížení

na alespoň 85 % skutečné meze kluzu, továrních kolen se zvýšenou silou stěny oproti kategorii příslušné a armaturních objektů. STOP podle TPG 702 04 byl na všech úsecích větší než DP, tedy 85 barů.



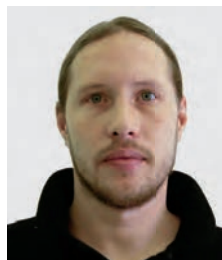
Obr. 12. Odtlakovaný plynovod DN 1 400, nejvyšší místo Gazely, Lesná

Práce byly prováděny s plným nasazením všech kapacit tak, aby provozovatel mohl plynovod uvést do provozu v dohodnutém termínu, a tím dostát svým závazkům nasmlouvané přepravy plynu. Termín byl dodržen i přes dílčí zpoždění vzniklé zpožděním výstavby a nepřízní počasí, i když to znamenalo práce v nepřetržitém (non-stop) režimu po dobu 20 dnů. I díky mimořádnému nasazení pracovníků CEPS se tak podařilo provést zkoušky (vč. čištění, kalibrace a sušení) na 30 km potrubí DN 1 400 za necelých 30 dní.



Ing. Martin Stukbauer (*1975)

Vystudoval plynárenství na VŠCHT Praha. Od roku 1999 je zaměstnán ve společnosti CEPS a. s. jako technolog, posléze jako hlavní inženýr. Od roku 2008 pracuje na pozici provozního ředitele.



Filip Tesař (*1980)

Vystudoval Gymnázium Přípotoční Praha. Od roku 2006 je zaměstnán ve společnosti CEPS a. s. jako samostatný technický pracovník.

Summary:

Martin Stukbauer, Filip Tesař:

Tackling Technical Difficulties in Hydraulic Tests on Large-diameter Gas Pipelines

In 2011 and 2012, a DN 1400 international gas pipeline, GAZELLE, was built in the Czech Republic – the first gas pipeline with this diameter running across the county; the full length of the gas pipeline was subjected to stress tests. In the second half of 2012, CEPS carried out the stress tests and related operations on LOT 1B from the Brandov border transfer station to the Syrovice line closing valve, having a length of 52.5 km. Cleaning, calibration, and stress and pressure tests were carried out on the pipeline, which runs across the Krušné hory Mts. negotiating a difference in elevation of almost 700 m. In the end, the gas pipeline was dried prior to its putting into operation. The contribution describes the stress test on the pipeline, focusing on the technically difficult solutions at the stage of the preparation of the stress test project, the determination of the technical parameters for each of the sections, and the actual performance of the tests.