
Hodnotenie celistvosti zvaraných potrubných zostáv z plastu kombinovanou skúškou pevnosti a tesnosti

Radoslav Koňár, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: radoslav.konar@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2799

Lucia Grünermelová, Ing.

TÚV SÚD Slovakia s.r.o.,
Matuškova 48, 976 31 Vlkanová.
E-mail: lucia.gruermelova@tuvsud.com, Tel.: +421 903 806 041

Miloš Mičian, doc. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: milos.mician@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2768

Viliam Leždík, doc. Ing., PhD.

SPP - distribúcia, a.s.,
Závodská cesta 26, 010 22 Žilina.
E-mail: viliam.lezdik@spp-distribucia.sk, Tel.: +421 41 2424127

Evaluation of the integrity of welded plastic pipe assemblies by a strength and tightness combined test

Abstract: The welding of plastic pipes during the reconstruction and construction of new gas networks is often accompanied by non-compliance with technological discipline. One of the prominent problems in the verification of the quality of the work performed is connected with non-compliance with the technological discipline, namely the correct application of the strength and tightness test. Strength and tightness tests are often applied not according to a correctly approved testing methodology. These checks are often carried out inexpertly. This results in the identification of small gas leaks only when the leak checks are subsequently carried out in connection with additional interventions on the pipelines, such as repairs, installation of a branch, transshipment, reconstruction, etc. The leaks are located in the places of the original pipeline in the ground. However, most of the identified leaks arose during the implementation of the original gas pipeline networks, and not as an operational defect. These defects were not identified due to the incorrect application of the tightness test before the gas pipeline was put into operation.

Keywords: strength test, tightness test, combined test, gas pipeline.

ÚVOD

Hodnotenie celistvosti potrubí je v súčasnosti veľmi aktuálnou témou. Pre hodnotenie celistvosti potrubných systémov ako celku, je v praxi používaná skúška pevnosti a skúška tesnosti. Požiadavky na jednotlivé skúšky sú jednoznačne zadefinované platnou legislatívou. Skúšky pevnosti a tesnosti môžu byť vykonávané postupne, alebo súčasne (kombinované). V článku sú popísané požiadavky na tieto skúšky pre plynovody z plastu s prevádzkovým tlakom do 10 kPa.

1 NORMATÍVNE POŽIADAVKY PRE PLYNOVODY S PREVÁDZKOVÝM TLAKOM DO 10 kPa

Definícia kombinovanej skúšky (angl. *combined test*) podľa *STN EN 12327* je skúšobná metóda, ktorou sa overuje splnenie požiadaviek na mechanickú pevnosť a tesnosť plynovodov, alebo plynových zariadení.

Základné podmienky skúšky podľa *STN EN 12327* pre pneumatické tlakové skúšky založené na meraní tlaku, alebo na meraní diferenčného tlaku sú:

- skúška sa musí vykonávať vzduchom alebo inertným plynom podľa technologického postupu,
- po dosiahnutí stanovenej hodnoty skúšobného tlaku sa skúšaný úsek musí odpojiť od zdroja tlaku,
- prvé odčítanie tlaku sa vykoná až po ustálení tlaku a teploty,
- tlak sa musí registrovať v priebehu skúšky, alebo zaznamenať na začiatku a na konci skúšky,
- splnenie požiadaviek na referenčnú nádobu pri metóde založenej na meraní diferenčného tlaku,
- počas skúšok sa zaznamenávajú hodnoty tlaku a teploty.

Základné podmienky skúšky podľa TPP 704 01 a v súlade s STN EN 1775 sú:

- skúška pevnosti sa musí vykonať tlakom väčším, alebo rovným 2,5-násobku najvyššieho prevádzkového tlaku, najmenej však 5 kPa. Maximálny prevádzkový tlak odberného plynového zariadenia stanoví projektová dokumentácia,
- pred skúškou pevnosti sa na ustálenie tlaku a vyrovnanie teplôt nechá skúšaný plynovod pod tlakom 15 min,
- Samotná skúška trvá:
 - 15 min. pre plynovody s vnútorným geometrickým objemom do 50 l,
 - 30 min. pre plynovody s vnútorným geometrickým objemom nad 50 l,
- po úspešnej skúške pevnosti sa vykoná skúška tesnosti skúšobným tlakom, ktorý sa rovná najmenej hodnote prevádzkového tlaku najviac však 15 kPa. Parametre pre skúšku tesnosti sú rovnaké, ako pre skúšku pevnosti.
- v prípade rovnakého skúšobného tlaku pre skúšku pevnosti a tesnosti, je možné tieto skúšky vykonať súčasne (kombinovaná skúška) za podmienok uvedených vyššie,
- ak nastane prípad, kedy je teplota okolia na začiatku a na konci tlakovej, alebo tesnostnej skúšky rôzna, je možné tlak prepočítať zmenu tlaku vplyvom teploty nasledovne:

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot (p_1 + p_{bar}) - p_{bar} \quad (1)$$

kde p_1 - tlak na začiatku skúšky [kPa],

p_2 - tlak na konci skúšky [kPa],

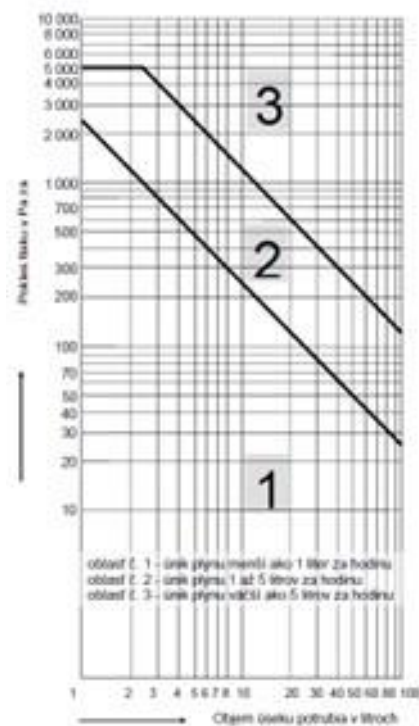
p_{bar} - barometrický tlak [kPa],

T_1 - termodynamická teplota okolia na začiatku skúšky [K],

T_2 - termodynamická teplota okolia na konci skúšky [K].

Plynovod je pevný a tesný, ak počas trvania skúšky nebol zistený žiaden pokles tlaku skúšobného média pri zohľadnení požiadavky na vhodnú citlivosť manometra (10 kPa) a presnosť merania (1 %) pre stanovený skúšobný tlak.

Pri identifikovanej netesnosti je dôležité zistenie množstva uniknutého plynu, ktoré je rozhodujúce na posúdenie celkovej prevádzkyschopnosti plynovodu. Hodnotenie prevádzkyschopnosti sa vykoná tak, že sa zistí pokles tlaku za 1 min. pri dodržaní rovnakých teplôt na začiatku a na konci skúšky. Pomocou vzorcov, alebo pomocou nomogramu (obr. 1) sa na základe daného geometrického objemu plynovodu určí stav tesnosti plynovodu.



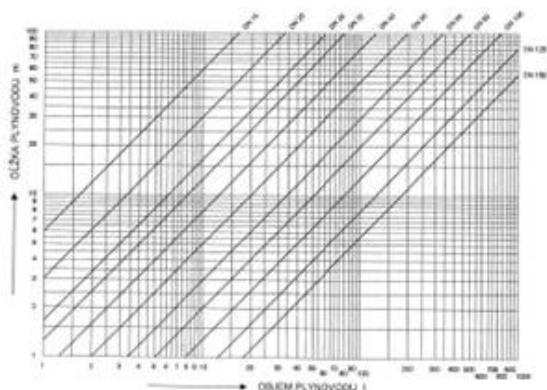
Obr. 1. Nomogram - stanovenie tesnosti potrubia

Tesnosť je možné určiť na základe porovnania poklesu tlaku Δp [$\text{Pa} \cdot \text{min}^{-1}$] s hodnotou vypočítanou na základe známeho objemu plynovodu nasledovne:

1. $\Delta p \leq 2400 \cdot V^{-1}$ - plynovod možno ďalej prevádzkovať (únik plynu je max. $1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$),
2. $2400 \cdot V^{-1} \leq \Delta p \leq 12200 \cdot V^{-1}$ - do 30 dní sa musí vykonať oprava alebo utesnenie plynovodu (únik plynu je medzi $1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ až $5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$),
3. $\Delta p > 12200 \cdot V^{-1}$ plynovod je netesný a nie je schopný ďalšieho prevádzkovania (únik plynu je viac ako $5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$),

kde Δp - je pokles tlaku [$\text{Pa} \cdot \text{min}^{-1}$],

V - geometrický objem príslušnej meranej časti plynovodu [l] - nomogram (obr. 2).

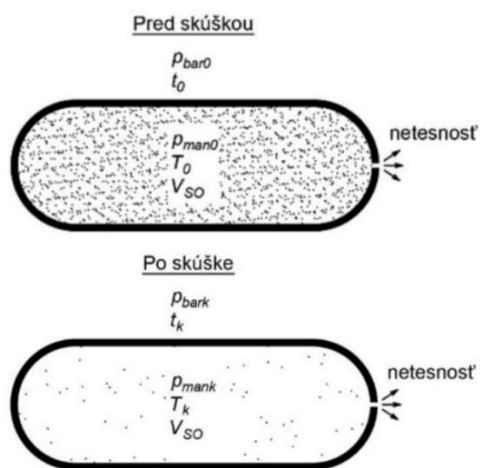


Obr. 2. Nomogram - stanovenie geometrického objemu plynovodu podľa dĺžky a svetlosti

Z konštant je možné spätne prepočítať dovolenú netesnosť q_n v štandardnej jednotke $\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, ktorá po prepočte pre konštantu 2400 je $q_n \leq 0,044 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, čo je únik max. $1 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$. Pre konštantu 12200 je hodnota $q_n \leq 0,2 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, čo je únik max. $5 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$.

Kombinovanú skúšku je vhodné doplniť pri všetkých ľahko prístupných a nezakrytých spojoch skúškou tesnosti nanesením penivého roztoku bublinkovou metódou podľa STN EN 1593, pričom minimálna hodnota netesnosti, ktorá sa dá detegovať pomocou tejto metódy je v súlade STN EN 1779 metóda C.2 je $q_n \leq 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

V prípade použitia referenčnej nádoby pri metóde založenej na meraní celkovej zmeny (poklesu) tlaku podľa STN EN 13184 je minimálny detegovaný únik stanovený podľa STN EN 1779 metóda D.1 na $q_n \leq 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 3. Parametre pre stanovenie netesnosti

Výpočtová metóda stanovenia netesnosti skúšaného objektu pre daný objem V_{so} je vyjadrená zmenou tlaku počas času skúšky. Upravený vzťah pre netesnosť je nasledovný:

$$q_n = \left[(p_{bar0} + p_{man0}) - (p_{bark} + p_{mank}) \right] \cdot \frac{T_0 + 273,15}{T_k + 273,15} \cdot \frac{V_{so}}{t_k - t_0} \quad (2)$$

kde p_{bar0} - barometrický tlak na začiatku merania [Pa],

p_{man0} - manometrický tlak na začiatku merania [Pa],

p_{bark} - barometrický tlak na konci merania [Pa],

p_{mank} - manometrický tlak na konci merania [Pa],

T_0 - teplota skúšobného plynu v nádobe na začiatku merania [$^{\circ}\text{C}$],

T_k - teplota skúšobného plynu v nádobe na konci merania [$^{\circ}\text{C}$],

V_{so} - objem skúšaného objektu [m^3],

t_0 - čas začiatku merania [s],

t_k - čas konca merania [s].

Výsledkom tlakovej skúšky a skúšky tesnosti je zápis. Zápis o tlakovej skúške a skúške tesnosti, musí obsahovať podľa STN EN 12327 a TPP 704 01, minimálne nasledujúce informácie:

- prevádzkovateľ plynovodu,
- meno osoby, ktorá vykonala skúšku,
- dátum skúšky,
- max. prevádzkový tlak systému,
- skúšobná metóda,
- hodnota skúšobného tlaku,
- skúšobné médium,
- trvanie skúšky,
- výsledok skúšky,
- certifikáty komponentov plynovodu ,
- dimenzia plynovodov, dĺžka plynovodov, geometrický objem plynovodov, počet osadených armatúr, použitý tlakomer.

2 VÝKON KOMBINOVANEJ SKÚŠKY PRI DODRŽANÍ LEGISLATÍVNEHO RÁMCA

V plynárenstve sa vykonávajú pevnostné a tesnostné skúšky za účelom preukázania pevnosti a tesnosti plynovodov a prípojok plynovodu podľa STN EN 12327 s hodnotami skúšobného tlaku vhodnými pre dimenziu potrubia, materiály, skúšaný objem a maximálny prevádzkový tlak.

Spôsob vykonania kombinovanej skúšky v súlade s legislatívou bude vysvetlený na zostave obr. 4. Zostava je vyrobená z materiálu PE100RC z potrubia DN100 (SDR17). Celková dĺžka zostavy je 1400 mm. Na zostave sú osadené dve odbočky, jedna typu DA DN50, ktorá je zredukovaná na DN25 pre pripojenie meracej zostavy, jej natlakovanie a pripojenie umelých netesností a druhá navrtavacia typu SA, ktorá je tvarovkou pri vysadzovaní odbočiek v praxi.



Obr. 4. Schéma experimentálnej zostavy pre výkon kombinovanej skúšky

2.1 Určenie objemu skúšaného objektu

Existuje viacero možností, ako stanoviť objem skúšaného objektu. Výber metódy stanovenia objemu závisí od veľkosti plynovodu, ako aj od dostupnej meracej techniky. Stanoviť objem plynovodu je možné podľa nasledovných metód:

- stanovenie objemu pomocou nomogramu na obr. 2 podľa dĺžky a svetlosti plynovodu,
- zmeranie objemu plynu pomocou prietokomeru na základe poklesu tlaku v potrubí a vypusteného objemu,
- výpočet objemu pomocou empirických vzorcov a geometrickej charakteristiky,
- určenie objemu statickou expanziou plynu, ktorá využíva referenčný objekt so známym objemom.

Referenčný objekt je prepojený cez ventil so skúšaným objektom, pričom všetky veličiny okrem objemu skúšaného objektu sú známe:

$$V_{SO} = V_Z \cdot \frac{\frac{P_Z}{T_Z} - \frac{P_E}{T_{ZE}}}{\frac{P_E}{T_{XE}} - \frac{P_X}{T_X}}, \quad (3)$$

kde V_{SO} - objem skúšaného objektu [m^3],

V_Z - objem referenčného objektu [m^3],

P_Z - absolútny tlak v referenčnom objekte pred prepojením [Pa],

T_Z - termodynamická teplota referenčnom objekte pred prepojením [K],

V_X - neznámy objem skúšaného objektu [m^3],

P_X - absolútny tlak v skúšanom objekte pred prepojením [Pa],

T_X - termodynamická teplota v skúšanom objekte pred prepojením [K],

P_E - absolútny tlak v oboch objektoch po prepojení [K],

T_{ZE} - teplota v referenčnom objekte po prepojení [K],

T_{XE} - teplota v skúšanom objekte po prepojení [K].

Objem bol v tomto prípade zmeraný pomocou statickej expanzie plynu a bol potvrdený výpočtom. Objem experimentálnej zostavy je $V_{SO} = 10,55 \text{ l}$.

2.2 Základné požiadavky na kombinovanú skúšku pevnosti a tesnosti

Skúšobné médium - skúška sa vykonáva zásadne vzduchom, alebo inertným plynom. Objekt sa tlakuje čistým a pokiaľ možno suchým plynom. Vstupná teplota plynu by mala byť podobná teplote vzduchu v skúšanom objekte z dôvodu skrátenia doby stabilizácie teploty.

Skúšobný tlak - odvíja sa od maximálneho prevádzkového tlaku odberného plynového zariadenia a je stanovený projektovou dokumentáciou. Skúška sa musí vykonávať podľa technologického postupu, kde minimálna hodnota skúšobného tlaku pri kombinovanej skúške je 5 kPa a max. 15 kPa. Skúšobný tlak kombinovanej skúšky bol v tomto prípade stanovený na 5 kPa.

Čas trvania skúšky - čas trvania skúšky určí projekt a je závislý od objemu skúšaného plynovodu a počtu rozoberateľných spojov na plynovode, trvá najmenej 30 min. pri objem plynovodu do 50 l a 45 min pri objeme na 50 l pričom zápisy sa vykonávajú v závislosti od použitej meracej techniky, min. raz za 1 min. Čas trvania kombinovanej skúšky bol v tomto prípade 30 min (15 min ustálenie + 15 min skúška).

Teplotná kompenzácia - vzhľadom k tomu, že zmeny teploty majú významný vplyv na celkový priebeh skúšky. Tento vplyv je veľakrát zanedbávaný. Preto je potrebné brať do úvahy aj kompenzáciu na zmenu teploty. Na tomto príklade sú využité možnosti digitálneho prístroja *SEITRON S500-3P*, ktorý umožňuje merať teplotu pomocou termočlánku typu *K* s presnosťou merania $0,1^\circ\text{C}$ termočlánok bol umiestnený v ochrannom púzdre vloženom do potrubia cez odbočku tak, aby sa teplota zaznamenávala vo vnútri zostavy. V prípade použitia vzorca z *TPP 704 01* pri zmene teploty o 1°C , by bola zmena tlaku 362,7 Pa, čiže ak neuvažujeme pri skúške tesnosti so zmenou teploty, môže to mať za následok nesprávne hodnotenie netesnosti.

Stanovenie citlivosti merania - zohľadnením požiadavky na vhodnú citlivosť manometra (10 Pa) a presnosť merania (1 %) pre stanovený skúšobný tlak, boli použité nasledovné meracie zariadenia:

- manometer *Prematlak* $0 \div 6 \text{ kPa}$ (výpočtom na základe triedy presnosti a informácií od výrobcu

manometra je presnosť merania manometra 95 Pa)

- digitálny prístroj *SEITRON S500-3P* (presnosť merania 10 Pa).

Stanovenie hodnoty dovolenej netesnosti - stanovená hodnota dovolenej netesnosti, ktorá je rozhodujúca na posúdenie celkovej prevádzkyschopnosti plynovodu podľa *TPP 704 01*, sa vykoná tak, že sa zistí pokles tlaku Δp [$\text{Pa} \cdot \text{min}^{-1}$] pri dodržaní rovnakých teplôt na začiatku a konci skúšky a objem plynovodu. Plynovod je možné považovať za tesný, ak je splnená podmienka $\Delta p \leq 2400 \cdot V^{-1}$. V tomto prípade je možné plynovod ďalej prevádzkovať, pričom únik pri splnení tejto podmienky je max. $1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Táto hodnota musí byť stanovená v technologickom postupe skúšky, pričom by sa mal brať ohľad aj na všetky už vyššie spomínané skutočnosti a môže byť sprísnená.

Stanovenie tesnosti experimentálnej zostavy - v prvom kroku bola zostava skúšaná na tesnosť pri skúšobnom tlaku 5 kPa. Skúška trvala 30 min (15 min ustálenie a 15 min skúška tesnosti). Tlak bol meraný digitálnym tlakomerom *SEITRON S500-3P*, ktorého presnosť merania je 10 Pa. Tlakomer bol doplnený termočlánkom pre meranie teploty. Teplota bola meraná v strede skúšobného telesa, termočlánkom zasunutým do oceleového ochranného púzdra. Z nameraných údajov bola vypočítaná netesnosť zostavy. Netesnosť zostavy bola $q_n = 0,0001 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na základe vypočítanej tesnosti je možné považovať zostavu za tesnú.

Overenie merania použitím umelo vytvorených netesností - overenie správnosti metodiky merania môžeme viacerými spôsobmi ako napr. aj pridaním umelo vytvorených chýb. V prvom prípade bola ako umelo vytvorená chyba použitá kapilára s rozmermi $\emptyset 0,3 \times 20 \text{ mm}$ umiestnená v zátke a zapojená do zostavy. Celkový pokles tlaku pri konštantnej teplote z 5 kPa na 0 Pa bol dosiahnutý za 7 min, čo predstavuje hodnotu netesnosti $q_n = 0,12560 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V druhom prípade bola použitá kapilára s rozmermi $\emptyset 0,13 \times 20 \text{ mm}$ umiestnená v zátke a zapojená do zostavy. Celkový pokles tlaku pri konštantnej teplote z 5 kPa na 4,1 kPa bol dosiahnutý za 15 min, čo predstavuje hodnotu netesnosti výpočtovou metódou hmotnostným tokom únik $q_n = 0,01055 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vypočítaná hodnota netesnosti je menšia ako dovolená netesnosť a preto by vyhovovala požiadavke stanovenej v *TPP 704 01*.

3 NÁSLEDNÉ SKÚŠKY TESNOSTÍ NANESENÍM PENIVÉHO ROZTOKU BUBLINKOVOU METÓDOU

Nevýhodou integrálnej metódy merania tesnosti pretlakom plynu je, že neidentifikuje presné miesto úniku, ale iba či je, alebo nie je únik prijateľný. Plynovodná zostava s nevyhovujúcou integrálnou

skúškou tesnosti pretlakom plynu sa musí v plynárenstve podrobiť skúškam pre lokalizáciu únikov vyhladávaním netesností pomocou stopovaciego plynu, alebo bublinkovou metódou. Lokalizačná metóda pomocou stopovaciego plynu pre tento účel využíva čuchacie prístroje, ktoré lokalizujú tzv. *merkaptan*. Po lokalizácii únikov a ich oprave sa pristúpi opätovne ku skúške podľa predpísaného postupu.

Druhou metódou je metóda bublinková pretlaková, kedy sa na natlakovaný plynovod aplikuje penotvorný roztok. Netesné miesta sú v tomto prípade lokalizované bublinami, vznikajúcimi unikajúcim médiom.

Na obr. 5 je príklad netesných elektrofúzných spojov na plynovode zistený pretlakovou bublinkovou metódou.



Obr. 5. Príklady netesných elektrofúzných spojov na plynovode [1]

Na základe predchádzajúcich experimentálnych skúsenosti možno konštatovať, že nestačí vykonávať kombinované skúšky pevnosti a tesnosti povrchne so záverečným stanoviskom, že zariadenie je pevné a tesné bez potrebného technického vybavenia (vhodné prístroje s dostatočnou presnosťou). Ide o meráciu zostavy pre meranie tlaku so zabezpečením merania teploty. Dôležitým parametrom je aj objem skúšanej zostavy, čo je základnou požiadavkou tejto skúšky. Záver takejto skúšky by mal byť, že je v súlade s požiadavkami *STN EN 12327* a *TPP 704 01*, ako aj schváleného technologického postupu skúšky.

ZÁVER

Kombinovaná skúška je spojením pevnostnej skúšky a skúšky tesnosti. Kombinovaná skúška slúži na overenie kvality montáže. Túto skúšku môžu vykonávať iba kvalifikované a certifikované osoby najmenej v 2. stupni pre metódu *LT* podľa *STN EN ISO 9712*. Z pohľadu pochopenia skúšky tesnosti pretlakom plynu by bolo vhodné, aby nielen osoby vykonávajúce skúšku, ale aj odborní pracovníci plynových zariadení mali možnosť zoznámiť sa a pochopiť metodiky a hodnotenia tesnosti na praktických príkladoch formou školenia v na to určených vzdelávacích organizáciách. Cieľom

školení by nemalo byť iba praktické školenie, ale tiež aj školenie ohľadom legislatívnych požiadaviek a výstupov zo skúšky. Tým by mal byť zápis zo skúšky (skúšobný protokol), ktorý musí spĺňať požiadavky vyplývajúce z legislatívy a zároveň dávať aj určitú ochranu, že metodika a následné použitie kombinovanej skúšky je nastavené odborne správne.

Pod'akovanie

Tento výskum bol podporený zo zdrojov APVV, číslo APVV-20-0427; KEGA, číslo KEGA 008ŽU-4/2022 a VEGA, číslo VEGA 1/0741/21 a VEGA 1/0044/22.

LITERATÚRA

- [1] LEŽDÍK, V. - KOŇÁR, R. - KOREŇOVÁ, N. (2020): *Opravy plynovodných potrubí vyko-návané technológiou zvarania*. Turany, Inštitút kvality a vzdelávania, spol. s.r.o., 2020, 166 s., ISBN 978-80969599-3-8.
- [2] KOPEC, B. (2008): *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno, CERM, 2008, ISBN 978-80-7204-591-4.

[3] VRZGULA, P. - FATURÍK, M., - MIČIAN, M. (2014): *New Inspection Technologies for Identification of Failure in the Materials and Welded Joints for Area of Gas Industry*. In: *Manufacturing technology*, 2014, 14(3), pp. 487-492. ISSN 1213-2489.

[4] YANG, J. et al. (2009): *Study on leak location technology for buried gas pipeline*. In: *International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*. IEEE, ISSN 2158-5695.

[5] GUI-XIN, Z. - SHUAI, M. (2024): *Leaking flow effect of a simply-supported pipe with a crack undergoing CF VIV*. In: *Ocean Engineering*, 303, 117775, ISSN 1873-5258.

[6] VRZGULA, P. (2017): *Metodika identifikačných a diagnostických technológií v plynárenstve so zameraním na skúšky tesnosti*. Dizertačná práca, č.: 28230120173001, Žilinská univerzita v Žiline.

[7] DEBNÁRIK, D. (2024): *Návrh a výroba skúšobnej zostavy určenej pre integrálnu skúšku tesnosti*. Diplomová práca, Žilinská univerzita v Žiline, 2024.

[8] Normy a špecifikácie z oblasti plynárenstva.