

Výzkum účinnosti sušení plynovodů vakuem Research into Gas Pipeline Vacuum Drying

Ing. Adam Pařízek, Ing. Martin Stukbauer

CEPS a.s.

adam.parizek@ceps-as.cz

SOUHRN:

Pro sušení plynovodů podle TPG 702 11 se v dnešní době nejčastěji používají technologie vysoce suchého vzduchu a technologie vysokého vakua.

Zatímco technologie sušení vysoce suchým vzduchem je relativně dobře popsána a provozně zvládnuta, technologie vysokého vakua přináší stále řadu nejasností a otazníků. V rámci přípravy novely tohoto standardu byly provedeny experimenty s cílem některé problémy vyjasnit, lépe popsat a případně navrhnout změny ve standardizovaných postupech s cílem zefektivnit proces sušení vysokým vakuem při zachování spolehlivosti metody a dosažených výsledků.

Z naměřených dat bylo zjištěno, že sušení vody vysokým vakuem z ocelového potrubí probíhá i z pevné fáze kvantitativně a že při nízkých teplotách okolí dokonce mnohem lépe, než sušení s udržovanou kapalnou fází. Výhoda ledu spočívá zejména ve vytvoření vysokého teplotního spádu v systému, který zajistí rychlejší přísun tepla z okolí. Z hlediska ověření vysušení potrubí se led chová podobně jako voda, tudíž dochází k nárůstu tlaku v systému řádově v desítkách minut a není nutné držet extrémně dlouhé ověřovací periody v extrémních případech až stovky hodin.

Po vyhodnocení výsledků byly zpracovány upravené zásady pro sušení vysokým vakuem a budou zapracovány do novely TPG 702 11.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Sušení vakuem, sublimace, var, doba sušení, změna TPG 702 11

SUMMARY:

For gas pipeline drying under TPG 702 11, techniques such as super dry air and high vacuum are currently being used. While the super dry air technique is relatively well described and well managed in operating terms, the high vacuum technique continues to bring a number of ambiguities and question marks. The preparations for an amendment to this standard included experiments carried out with a view to clarifying some of the problems and describing them better and, potentially, proposing changes to standardised procedures in order to improve the efficiency of the high vacuum drying process while preserving the reliability of the technique and the results achieved.

The measured data suggests that water drying from steel piping using high vacuum also takes place quantitatively from the solid phase and, at low ambient temperatures, even much better than drying when the liquid phase is maintained. The main advantage of ice consists in creating a steep temperature gradient in the system, which ensures faster absorption of heat from the surroundings. As regards the checking of pipe dryness, ice behaves similarly to water, and so the pressure in the system increases in tens of minutes and there is no need to keep extremely long periods for verification, up to hundreds of hours in extreme cases. Following the evaluation of results, modified principles for high vacuum drying have been drawn up; they will be incorporated into the amendment to TPG 702 11.

KEY WORDS:

Vacuum drying, sublimation, boiling, drying time, TPG 702 11 amendment

1. Úvod

Vysušení plynovodů před uvedením do provozu je zásadním krokem, který šetří zásahy a náklady následné údržby. Řádné vysušení vede k eliminaci vnitřní koroze potrubí (u oceli), během zimních měsíců nedochází k zamrznutí regulátorů (u sítí plynovodů A1 a A2) a nedochází k tvorbě hydrátů (u plynovodů B1 a B2). [1]

K sušení plynovodů se vztahuje TPG 702 11 a v dnešní době se nejčastěji používají technologie vysoce suchého vzduchu a technologie vysokého vakua. [2, 3]

Technologie vysoce suchého vzduchu je založena na odstranění vlhkosti z atmosférického vzduchu na molekulovém sítu. Takto upravený vzduch má teplotu rosného bodu vody (RBV) nižší než -80°C (cca 0,6 mg vody na 1 m^3 vzduchu). Metoda je velmi vhodná pro sušení delších úseků plynovodů s minimem odboček a armatur.

Pro sušení komplikovaných rozvodů, složitých armaturních uzlů a technologií je vhodnější technologie vysokého vakua.

Zbytková voda v potrubí se po snížení tlaku pod tenzi par (tlak nasycené páry) odpaří a jako pára je odsávána z potrubí. Tenze nasycených par závisí především na teplotě okolí. [2, 3, 4]

Zatímco technologie sušení vysoce suchým vzduchem je relativně dobře popsána a provozně zvládnuta, technologie vysokého vakua přináší stále řadu nejasností a otazníků, které se promítají i do TPG 702 11. V rámci přípravy novely tohoto standardu byly provedeny experimenty s cílem některé problémy vyjasnit, lépe popsat a případně navrhnout změny ve standardizovaných postupech s cílem zefektivnit proces sušení vysokým vakuem při zachování spolehlivosti metody a dosažených výsledků.

2. Tepelné pochody při sušení vysokým vakuem

Během sušení dochází u obou procesů díky vypařování vody ke značné spotřebě tepla. Při sušení vysoce suchým vzduchem je teplo dodáváno do systému vstupujícím vzduchem, který stačí bohatě pokrýt spotřebu. Při procesu sušení vakuovou metodou dochází na počátku k vyčerpání tepla naakumulovaného ve vodě a v potrubním systému a následně k jeho doplňování tepelnými toky.

Charakter a rychlost tepelných toků závisí na rychlosti spotřeby tepla, tedy rychlosti sušení. Při pomalejším odpařování je výraznějším tokem vedení tepla trubkou do místa odběru tepla

(místo odpařování vody). Tento tok má podélný směr a odčerpává teplo naakumulované v materiálu trubek. To se pomalu doplňuje přestupem tepla z okolní zeminy (nebo okolního vzduchu u nadzemních potrubí). Po vyčerpání naakumulovaného tepla celého systému (nebo při rychlém sušení, tedy rychlém vychýlení systému z tepelné rovnováhy) se majoritním tokem stává vedení tepla v radiálním směru (přestup tepla z okolí).

Při vysoké rychlosti sušení se nestačí teplo potřebné k vypaření vody doplňovat a dochází tak k tepelné nerovnováze. Aby se systém dostal do fyzikální rovnováhy (tedy začala se odpařovat voda), musí dojít k poklesu teploty v systému hluboko pod 0 °C. Zbylá voda v potrubí se také ochlazuje a následně zmrazne. Tím uvolní skupenské teplo tuhnutí, které část vody využije ke svému odpaření. Pro odpaření jednoho gramu vody ovšem musí cca jiných pět gramů vody ztuhnout. Toto teplo se poté musí do systému opět dodat, tzn., že se suší na „tepelný dluh“. Množství dodaného tepla je tedy zcela zásadní pro regulaci celého procesu sušení.

Základní charakteristikou vakuového sušení je to, že konečný stupeň vysušení potrubí je závislý na dosažené úrovni podtlaku. Pokud není dosaženo dostatečně vysokého podtlaku, vakuové sušení není efektivní. Pro srovnání: standardní výsledek sušení vysoce suchým vzduchem (rosný bod –20 °C) odpovídá absolutnímu tlaku 103 Pa (1,03 mbar), což je na hranici technických možností běžně používaných vývěv. Standardní výkon 5 mbar tak odpovídá rosnému bodu –2 °C, 2,5 mbar potom teplotě rosného bodu –10 °C. Dalším problémem je, jak tuto hodnotu změřit, protože se dostáváme do oblasti, kde měřená hodnota absolutního tlaku dosahuje podobných hodnot jako je absolutní chyba používaných měřicích zařízení.

[1, 2, 3, 4, 7]

3. Plán experimentu

Kdyby vakuové sušení probíhalo ideálně, byla by metoda sušení pomocí vakua mimořádně vhodná z hlediska vysoké rychlosti sušení. Rychlost provedení prací je i dnes jedním z nejdůležitějších faktorů při volbě nejvhodnější metody sušení. Na základě tohoto požadavku vznikla potřeba porovnat procesy sušení z hlediska jejich rychlosti. Proto jsme připustili variantu, že voda v potrubí zmrazne a vysoušeli jsme ji sublimací (přechodem led-pára). Pak jsme tento postup porovnali se standardním procesem podle stávajícího znění TPG 702 11, kdy je požadováno udržet vodu v kapalném stavu.

Postavili jsme vedle sebe dvě totožné ocelové aparatury a stejnými vývěvami jsme sušili definované množství vody (5 000 ml) za konstantních tepelných podmínek. Aparatury byly nadzemní a byly opatřeny přírubami s průhledným plexisklem, abychom dokázali posoudit, co se v aparaturách děje. Sklon aparatur byl k přírubě, takže všechna voda stála v jednom místě u průhledítka.

V první aparatuře jsme sušili na maximální výkon vývěvy a nechali vodu v potrubí zamrznout. Dobu sušení jsme porovnali s procesem, kdy byla voda v potrubí pomocí regulace podtlaku udržována v kapalně fázi. Jednotlivé pokusy byly provedeny při různých teplotách okolí. Tím byla získána závislost doby sušení na teplotě okolí.

Vývěvy

Použity byly dvě rotační olejové vývěvy stejného typu a výkonu (ze strojového parku CEPS a.s., BUSCH RA 0202 D – viz obr. 1) o nominálním čerpacím výkonu 200 m³/h s koncovým tlakem 0,5 mbar, upravené pro sání vlhkosti z normálního atmosférického tlaku. Vývěvy jsou vybaveny odlučovací oleje a olejové mlhy. [2, 5]



Obr. 1. Vývěva RA 0202 D

Fig. 1 An RA 0202 D vacuum pump

Jedna z vývěv byla primárně určena pro sušení v režimu „voda“, kdy je vysoušená voda držena regulací tlaku po celou dobu sušení v kapalně fázi. Abychom nemuseli ručně regulovat výkon vývěvy, byla osazena snímačem absolutního tlaku a solenoidem ovládaným ventilem (viz obr. 2). Funkce celku je taková, že po dosažení nastaveného dolního spínacího tlaku (tlak klesá směrem shora – k dolnímu limitu) se ventil uzavře, čímž znemožní další odsávání vzduchu z potrubí. Pokud tlak v důsledku odpaření vody vystoupá nad nastavenou mez (horní limit – směr zdola), ventil se opět otevře a obnoví se odsávání par z potrubí, po dosažení nastaveného dolního limitu se ventil zase uzavře. Tento cyklus se opakuje do vysušení veškeré vody v potrubí, kdy již ke zvyšování tlaku nedojde. Oba limity jsou nastavitelné, ale zároveň jsou navzájem závislé, snímač softwarově drží rozdíl 5 mbar. Nastavíme-li dolní limit na hodnotu 7 mbar, tak horní limit je 12 mbar. Při změně jednoho limitu se automaticky přenastaví limit druhý. Pro 0 °C je rovnovážný tlak přibližně 610 Pa (6,1 mbar) – viz obr. 3. Tomu odpovídá nastavených 7 mbar na spodním limitu regulačního ventilu. [6, 7, 8]

Tato regulace funguje dobře a dlouhodobě udržuje nastavené limity tlaku. Při teplotách okolí odpovídajících tenzi par 12 mbar (mezi 9–10 °C) je však tento systém prakticky nepoužitelný, neboť ventil zůstává stále uzavřen.

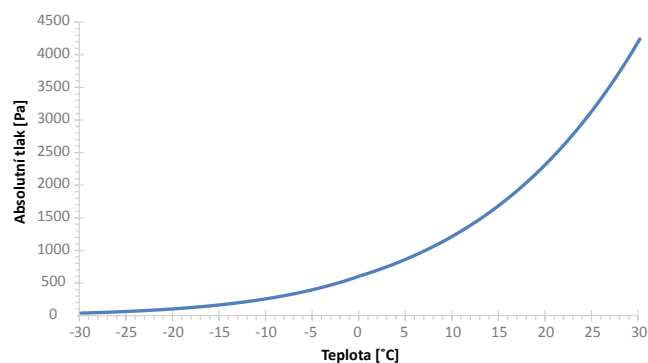
4. Experimentální část

Pro provedení experimentálních měření jsme připravili dvě stejná tělesa DN 300 o délce přibližně 4,5 m (viz obr. 4). Obě tělesa byla zakončena přírubou osazenou průhledným plexisklem s tloušťkou stěny 12 mm. Tělesa jsme umístili do zkušební jámy, kde jsme jejich spodní část (v poloze 6 hodin) osadili šesti záznamníky teploty. Ty jsme rozmístili vždy po 200 mm, přičemž první záznamník teploty byl umístěn těsně



Obr. 2. Regulační ventil
Fig. 2 The control valve

za koncem příruby, tedy ve vzdálenosti 0 mm. Záznamníky teploty byly při každém experimentu nastaveny na periodické snímání teploty v daném místě se záznamem po jedné minutě. Obě tělesa jsme rovněž osadili záznamníkem tlaku a teploty okolí s pravidelným záznamem rovněž po jedné minutě. Při měření má zcela zásadní význam teplota okolí. Pro udržení teploty okolí na požadované hodnotě byla měřicí jáma zakryta z vrchu OSB deskami – viz obr. 5. Experimentální měření pro jednotlivé teplotní stupně jsme provedli s ohledem na probíhající roční období. Sušení při nízkých teplotách bylo provedeno v průběhu zimních měsíců, zatímco sušení při vyšších teplotách v průběhu měsíců letních. Další zvýšení



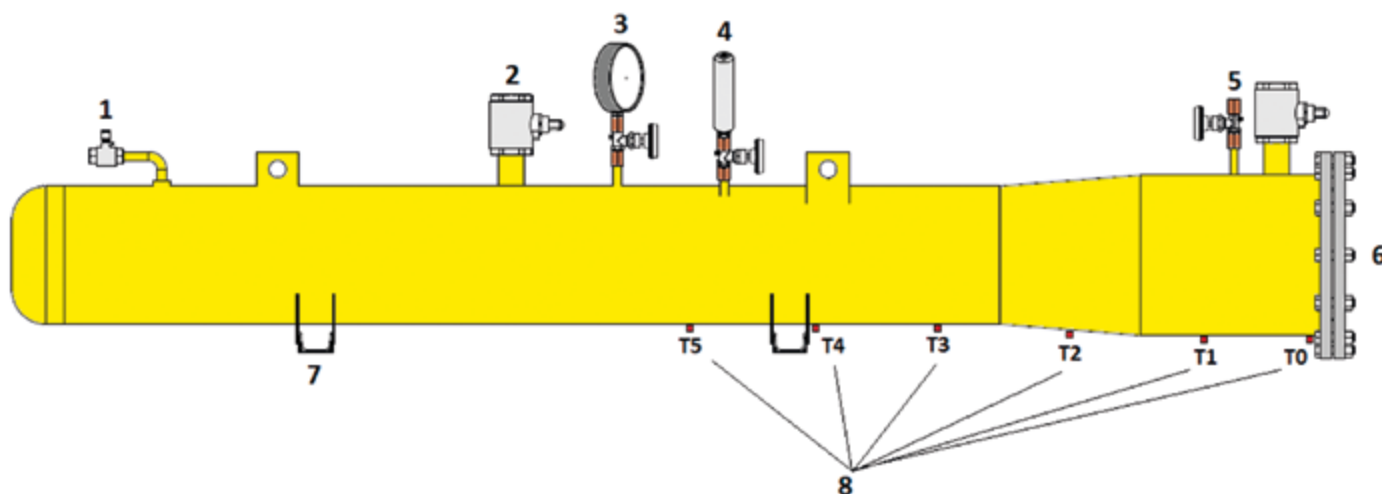
Obr. 3. Závislost tlaku nasycených par vody na teplotě [8]
Fig. 3 Relationship between the pressure of saturated water vapour and temperature [8]

teploty okolí v montážní jámě bylo zajištěno dvěma elektrickými otopnými tělesy, která dokázala udržet teplotu okolí cca 28 °C. Přes všechna opatření v průběhu experimentu (desítky hodin) se konstantní teploty okolí dosáhnout nepodařilo. Jako hodnota teploty okolí byla proto vzata střední hodnota teplot naměřených v průběhu každého experimentu.

Přehled měřicích přístrojů:

1. Záznamníky teplot – výrobce: COMET, Data Logger typ: S 0122
2. Záznamníky absolutního tlaku
 - a. DataCon, PUI 03 – 5A, rozsah 0–1,6 bar abs.
 - b. DataCon, DC PGI 03 – rozsah 0–1,3 bar abs. (0,05%)
3. Manometry, Ø 160 mm, –100–0 kPa

Vstupní zkoušky těsnosti aparatur jsme provedli na obou tělesech. Pomocí vývěv jsme vytvořili absolutní tlak 10 mbar, který jsme monitorovali pomocí záznamníku po dobu 10 minut.



Obr. 4. Zkušební aparatura

1) $\frac{3}{4}$ " kulový kohout, 2) kulový kohout sloužící k připojení vývěvy, 3) manometr, 4) záznamník tlaku a okolní teploty, 5) manometrický ventil pro plnění tělesa vodou, 6) příruba osazená průhledným plexisklem, 7) nohy tělesa, 8) záznamníky teploty

Fig. 4 The test apparatus

1) A $\frac{3}{4}$ " ball valve, 2) A ball valve to connect the vacuum pump, 3) A manometer, 4) A pressure and ambient temperature recorder, 5) A pressure valve for filling the pipe with water, 6) A flange with transparent Plexiglas, 7) the 'feet' of the pipe, 8) temperature recorders



Obr. 5. Tělesa ve zkušební jámě zakryté OSB deskami
Fig. 5 Pipes in the test pit covered by OSB boards

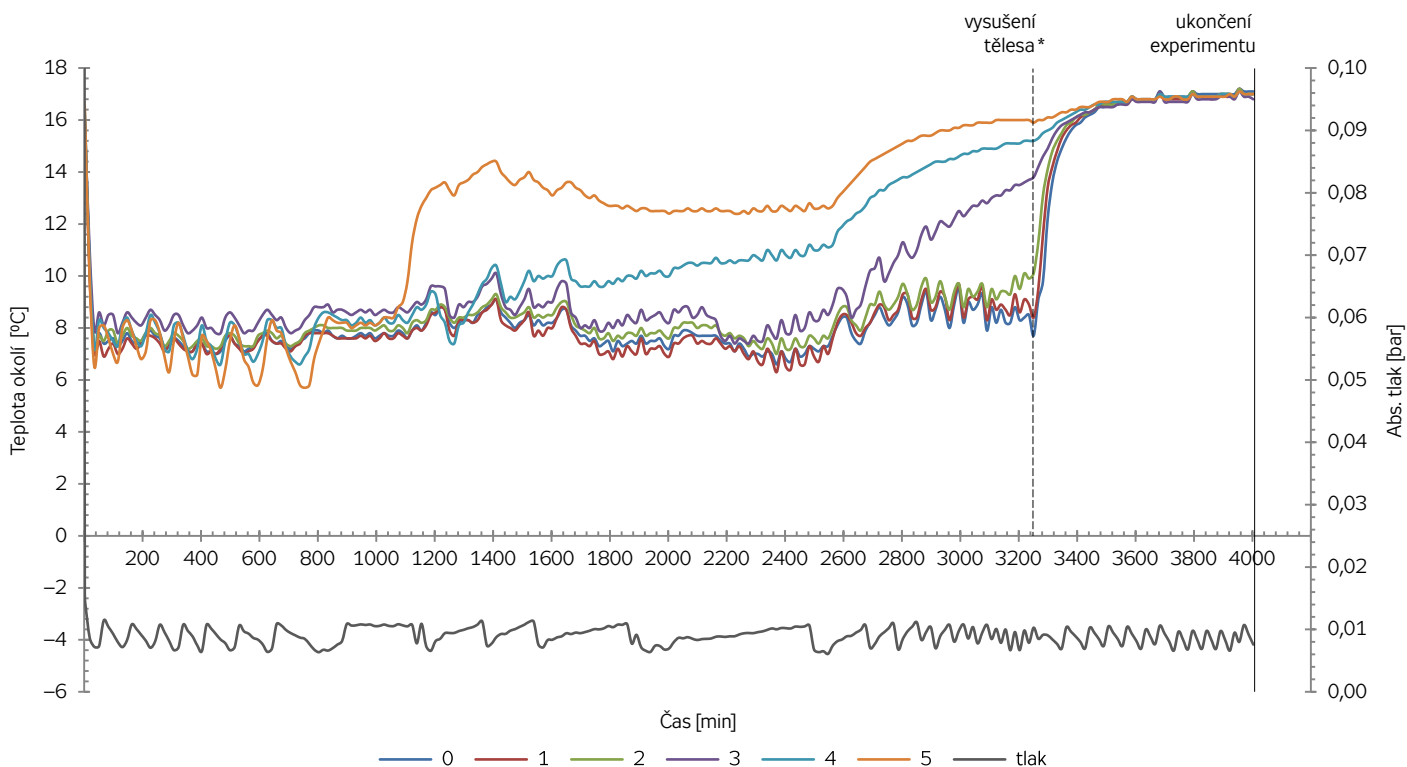
Po vyhodnocení dat bylo zjištěno, že těleso „voda“ není těsné¹. Detekovat netěsnost při vytvořeném podtlaku bylo velice obtížné, proto jsme provedli kontrolu těsnosti obou těles tlakovou zkouškou (přetlakem). Obě tělesa byla natlakována vzduchem na přetlak cca 1 bar. Ihned po natlakování byla zjištěna netěsnost tělesa „voda“ v oblasti příruby. Po dotažení příruby jsme monitorovali tlak v tělese v průběhu 24 hodin.

1 Pro vyhodnocení těsnosti byla použita metodika LT zkoušek s kritériem povoleného úniku 10^{-2} mbar.l.s⁻¹.

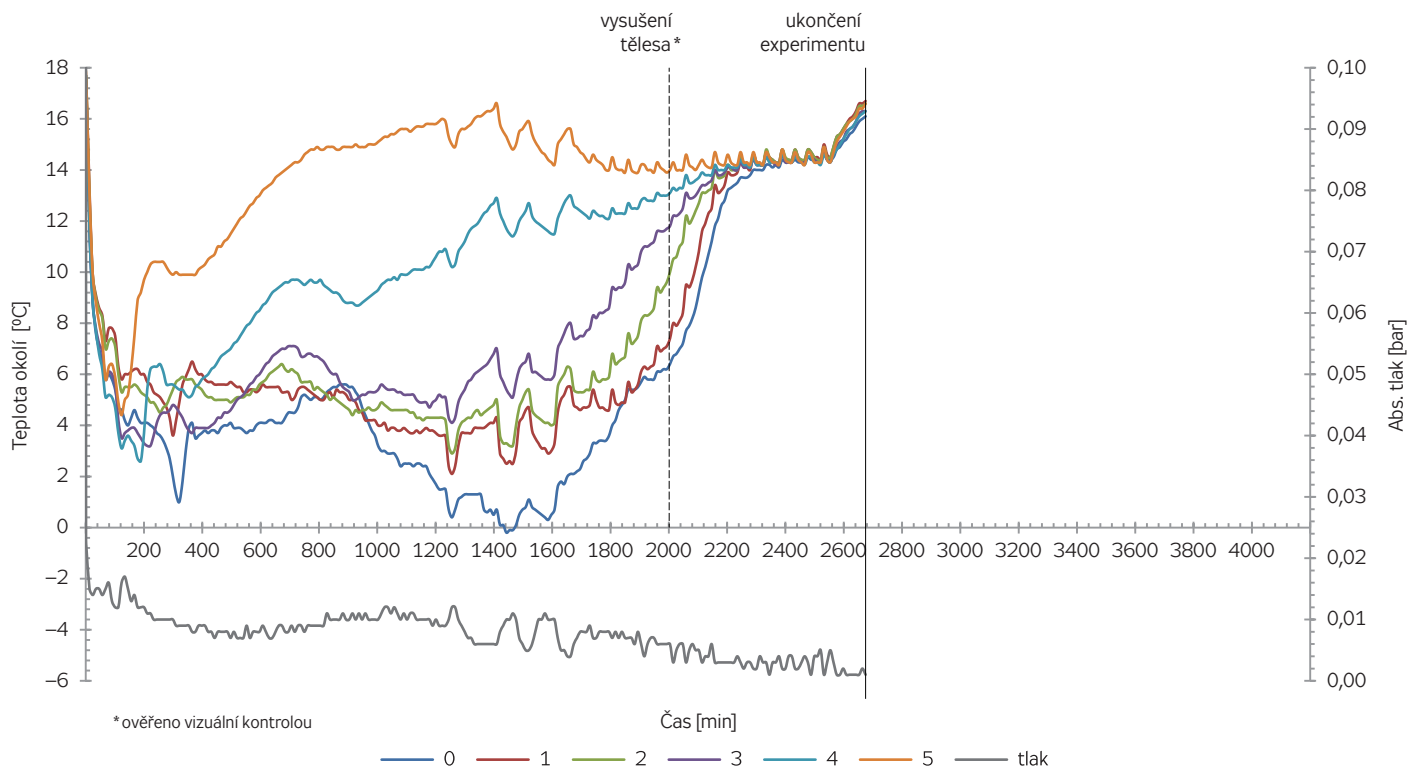
Po vyhodnocení naměřených dat jsme mohli konstatovat, že těleso „voda“ (a dříve i těleso „led“) je těsné.

Před samotným měřením jsme pomocí odměrného válce nalili do obou těles 5 000 ml pitné vody. Obě tělesa jsme propojili vysokotlakými hadicemi (odolávajícími i vakuu) DN 50 PN 80 s vývěvami. Obě vývěvy se před otevřením sušící cesty nechaly zahřát na provozní teplotu 70 °C. Po dosažení této teploty byly otevřeny obě sušící cesty a sušení vakuem bylo zahájeno. V průběhu experimentálních měření jsme umístili před těleso „led“ (proces sušení bez regulace tlaku) kameru s funkcí časosběrného snímání. Vnitřek komory jsme osvětili tak, aby mohla přistavená kamera kontinuálně snímat úbytek ledu uvnitř tělesa. Výsledkem bylo časosběrné video, ze kterého je patrná tvorba a následný úbytek ledu v průběhu sušícího procesu. Po otevření ventilu a zpřístupnění sušící cesty dojde téměř okamžitě k varu vody uvnitř tělesa. Po přibližně 20–30 minutách se na hladině začne tvořit ledová kůra. V dalším průběhu sušení se vrstva ledu zvětšuje ve směru ke dnu tělesa, až kompletně zmrazne. Tento led má pórovitou strukturu. Led poté sublimoval v místech kontaktu se stěnou trubky, kde docházelo k výměně tepelné energie.

Časosběrné video jsme pořídili i pro proces sušení s automatickou regulací tlaku (těleso „voda“), na kterém je zřetelně patrný úbytek vody z tělesa. Po otevření sušící cesty začne voda v komoře vřít. V okamžiku, kdy tlak v tělese dosáhne dolního limitu (7 mbar) nastavených na regulačním ventilu, uzavře tento ventil sušící cestu. Dochází tak ke zvyšování tlaku v tělese, což je způsobeno vypařováním vody



Obr. 6. Teplotní a tlakový profil během měření s regulací tlaku
Fig. 6 The temperature and pressure profile during measurement with pressure control



Obr. 7. Teplotní a tlakový profil během měření bez regulace tlaku

Fig. 7 The temperature and pressure profile during measurement without pressure control

v potrubí. Když tlak dosáhne horního limitu (12 mbar), sušicí cesta se opět otevře a tlak v tělese znovu klesá. Tento cyklus se opakuje. Smyslem tohoto cyklu je zabránit poklesu teploty v potrubí pod 0 °C, dolní limit 7 mbar (tenze par) odpovídá teplotě +1 °C.

Po vysušení veškeré vody z jednotlivých těles jsme uzavřeli ventily obou sušících cest. Po vypnutí obou vývěv jsme otevřeli manometrické ventily na obou tělesech, čímž došlo k vyrovnaní tlaku tělesa s tlakem okolí. Následovalo stažení zaznamenaných dat ze záznamníků teploty a tlaku, grafické zpracování a vyhodnocení měření.

5. Výsledky a vyhodnocení

Průběh naměřených dat ilustruje například dvojice grafů pro střední teplotu okolí 17,9 °C (viz obr. 6 a 7).

Graf na obr. 6 znázorňuje zaznamenané teploty jednotlivých záznamníků teplot (T0–T5, viz obr. 4) umístěných na spodní straně sušeného tělesa. Ihned po zahájení sušení (stav voda) dochází k poklesu tlaku a poklesu teploty u všech instalovaných záznamníků teplot.

Na počátku sušení mají všechny teploměry přibližně stejnou teplotu. V průběhu sušení se však postupně podle zmenšující se kaluže vody teploty v jednotlivých částech aparatury začínou lišit. První záznamník teploty, jeví charakteristické znaky pro

vysušení tělesa v konkrétním místě, v tomto případě ve vzdálenosti 100 cm od příruby, byl záznamník teploty T5. Jeho teplota stoupá z 8,4 °C na teplotu okolí 13,6 °C a to přibližně po 1 027 minutách sušení. K němu se postupně přidávají další tak, jak nad nimi postupně mizí voda (i přítomnost malého množství vody chladí teploměr skrz ocelovou stěnu potrubí). Posledním záznamníkem teploty, který jevil charakteristické znaky poukazující na vysušení tělesa, byl záznamník T0 umístěný těsně za přírubou. Teplota záznamníku teploty se charakteristicky zvyšuje ze 7,7 °C na teplotu okolí, které dosáhne až ve 3 251 minutě. Po 54,1 h tak můžeme konstatovat, že veškerá voda ze sušeného tělesa byla vysušena. Podobný průběh teplotního profilu jsme zaznamenali i v procesu sušení ve fázi led, během kterého nebyl tlak regulován pomocí instalovaného automaticky uzavíraného ventilu.

V grafu (obr. 7) jsou znázorněny zaznamenané hodnoty jednotlivých teploměrů umístěných na spodní stěně tělesa (v poloze šesti hodin). Ihned po otevření sušící cesty teplota všech šesti teploměrů prudce klesá na teplotu kolem 5 °C. Po přibližně 120 minutách sušení dochází k pozvolnému ohřívání nejdále (100 cm od příruby) umístěného záznamníku teploty. Tato skutečnost poukazuje na fakt, že těleso bylo vysušeno ve vzdálenosti 100 cm od příruby. V průběhu sušení tak dochází k postupnému ubývání ledu od konce tělesa po přírubu. Z grafu je rovněž patrné, že nejdéle se led vyskytoval ve vzdálenosti 0 cm od příruby, kde vytvořil malou lokální zónu. Těleso lze považovat za vysušené, až

po vysublimování veškerého ledu, tedy od doby, kdy dochází ke zvýšení teploty u teploměru, který byl nejdéle ovlivněn přítomností ledu.

Jako sekundární zjištění z provedených měření bylo např. zjištěno, že ocel dovede vytvořit značný teplotní spád, kdy např. při výskytu ledu v potrubí (dosažena max. teplota ledu $-12,5^{\circ}\text{C}$), je teplota na vnější straně potrubí okolo $+0,5^{\circ}\text{C}$ (v 6 hodin) a ve 12 hodin $5-7^{\circ}\text{C}$ na trubce DN 300. Také podélný spád teplot je vysoký, kdy např. již 60 cm daleko od ledu nelze výskyt ledu teploměrem zjistit (teploměr má hodnotu teploty okolí).

Tabulka 1 Naměřené doby sušení
Table 1 Measured times of drying

Pevná fáze (led)		Kapalná fáze (voda)	
Teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$]	Doba sušení [h]	Teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$]	Doba sušení [h]
28,2	20,5	28,3	23,8
25,0	21,0	25,0	24,2
22,4	26,0	22,0	27,4
17,5	33,2	17,9	54,1
14,7	31,6	14,5	51,8
11,2	33,1	11,2	67,5
8,1	44,16	8,1	86,5
5,9	42,5	5,9	134,0

Celkem bylo provedeno osm experimentálních měření při různých teplotách okolí v rozmezí od $5,9^{\circ}\text{C}$ do $28,3^{\circ}\text{C}$.

Jednotlivé doby sušení spolu s teplotami ukazuje přehledně tabulka č. 1, ze které byl vytvořen výsledný graf (viz obr. 8).

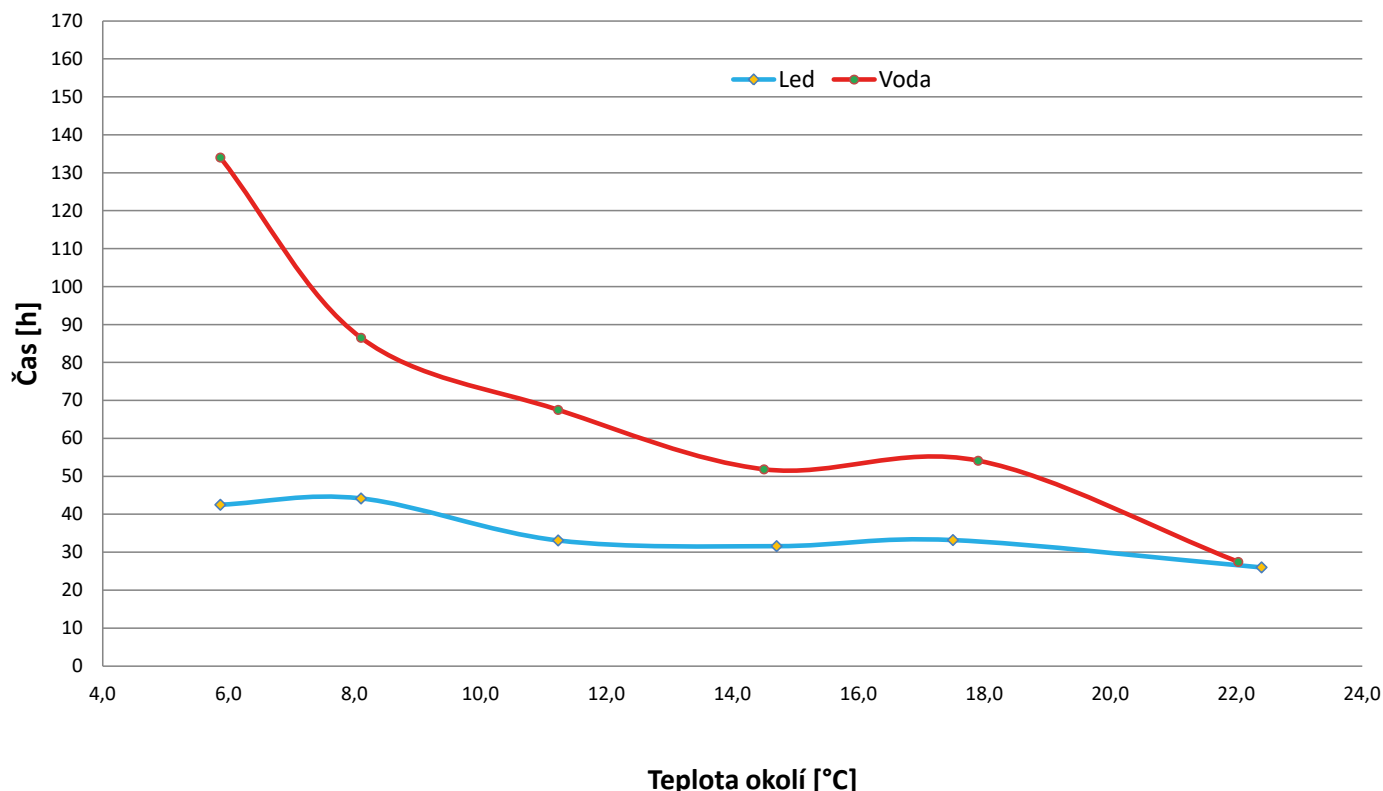
6. Závěr

Z naměřených dat bylo zjištěno, že sušení vody vysokým vakuem z ocelového potrubí probíhá i z pevné fáze kvantitativně, a že při nízkých teplotách okolí dokonce mnohem lépe než sušení s udržovanou kapalnou fází.

Výhoda ledu spočívá zejména ve vytvoření vysokého teplotního spádu v systému, který zajistí rychlejší přísun tepla z okolí. Relativní nevýhodou sublimace je pevná krystalová mřížka molekul vody v ledu, která ztěžuje možnost pohybu molekul potřebnou pro přeskok do plynné fáze. Naopak vyšší pohyblivost molekul vody vyrovná zmíněnou relativní výhodu ledu při vyšších teplotách okolí, kdy rozdíl v teplotních spádech již není tak velký.

Stanovené podmínky musí obsahovat opatření proti úplnému zamrznutí vody v malých uzavřených prostorách (např. sedla armatur) současně se zamezením zamrznutí vody v plném průřezu potrubí. To by mohlo vést jednak k poškození potrubí a jednak k oddělení části systému od zdroje vakua a tudíž by nedošlo k jeho vysušení. Samozřejmostí je předpoklad odolnosti součástí systému vůči nízkým teplotám.

Z hlediska ověření vysušení potrubí se led chová podobně jako voda, tudíž dochází k nárůstu tlaku v systému řádově v desítkách minut a není nutné držet extrémně dlouhé ověřovací periody v extrémních případech až stovek hodin.



Obr. 8. Výsledný graf z experimentálních měření
Fig. 8 The graph resulting from experimental measurements

Na základě naměřených výsledků byly do návrhu TPG 702 11 [9] zpracovány tři zásady:

1. Byl vypuštěn požadavek na sušení pouze z kapalně fáze
2. Byly podstatně zkráceny délky kontrolních period
3. Byla zařazena kontrola průchodnosti všech větví sušeného celku profouknutím kompresorem, aby se vyloučila tvorba ledových zátek v průběhu sušení.

7. Literatura

- [1] Sosna, J.; Rousek, P.; Bednář, P.: Sušení plynovodů velkých průměrů před uvedením do provozu, Plyn LXXV, 1995, str. 155–157
- [2] Webová stránka firmy CEPS a. s.: Sušení plynovodů před uvedením do provozu [online]. Jesenice u Prahy [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://ceps-as.cz/cs/produkty/suseni-potrub.html>
- [3] Buryan P.; Brynychová, J.: Tepelná bilance při sušení potrubí vysokým vakuem, Plyn LXXXVII, 2007, str. 12–15
- [4] Crha, A.; Stukbauer, M.; Rousek, P.: Sušení potrubí před uvedením do provozu, Plyn LXXXIV, 2004, str. 80–83
- [5] Návod na obsluhu a údržbu vývěvy R 5 0160/0250 D, RA 0202 D
- [6] Návod na obsluhu a údržbu regulačního ventilu
- [7] Holeček, O.; Turčaj, J.: Chemicko-inženýrské tabulky, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 1995
- [8] Barden, A. J.; Powers, M. D.; Karklis, P.: Evaluation of pipeline-drying techniques, The pipeline pigging conference, Hilton Hotel, Jakarta, Indonesia, May 27–30, 1996
- [9] TPG 702 11: Čištění a sušení plynovodů všech tlakových úrovní po výstavbě. Český plynárenský svaz. GAS s. r. o., 2008, ISBN 9788073281311

Lektorovali: doc. Ing. Václav Koza, CSc., Ing. Petr Crha, CSc.



Ing. Adam Pařízek (*1987)

V roce 2014 ukončil studium na Fakultě chemicko-technologické v Pardubicích. Po ukončení studia nastoupil do společnosti CEPS a. s., kde se zabývá problematikou měření mezi výbušnosti par a plynů za vyšších tlaků.



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.

Abstract:

The contribution summarises experimentally measured data (Table 1) on the efficiency of gas pipeline drying using high vacuum. The high vacuum drying technique continues to bring a number of ambiguities and question marks. The preparations for the amendment to TPG 702 11 included experiments that were carried out with a view to increasing the efficiency of the drying process and improving the description of the standardised procedures, or even proposing changes thereto. In the process of drying by the vacuum technique, heat accumulated in water and the piping system is initially exhausted and subsequently supplied by heat flows. At a high speed of drying, the time is too short for supplying the heat needed for water evaporation, which causes a thermal unbalance. For the system to reach a physical equilibrium the temperature in the system must drop deep under 0 °C. Water in the pipe cools down and then freezes, thereby releasing the latent heat of fusion that a part of the water uses for its evaporation. The latent heat so used must then be supplied to the system again. Thus, the quantity of the supplied heat is crucial for controlling the entire drying process.

For the experimental measurements, we prepared two identical DN 300 pipes (Fig. 4) having a length of about 4.5 m. We fastened pressure recorders on the pipe and then placed them in the test pit (Fig. 5), where we fastened six temperature recorders on their bottom parts. Before the measurements, we poured 5,000 ml of drinking water into both pipes using a graduated cylinder. We interconnected the pipes with vacuum pumps by high pressure DN 50 PN 80 hoses (also resistant to vacuum) (Fig. 1). After opening both of the drying paths, in one pipe we controlled pressure using an automatic valve (Fig. 2) to prevent ice from forming inside the pipe during the course of the experiment. Pressure in the other pipe was not controlled and water inside it therefore froze. Once all the water in the two pipes dried up we downloaded the recorded data from temperature and pressure recorders and plotted the data in graphs (Figs. 6 and 7). From the graphs, we read the times of drying and noted them in Table 1 and Fig. 8.

The measured data suggests that water drying from steel piping using high vacuum also takes place quantitatively from the solid phase and, at low ambient temperatures, even much better than drying when the liquid phase is maintained.

On the basis of the results three principles have been incorporated in the draft amendment to TPG 702 11:

- The requirement for drying solely from the liquid phase has been omitted;
- The length of the checking period has been considerably reduced;

A new step was added: a check of unobstructed flow through all branches of the system being dried, using air blown by a compressor, to prevent the formation of ice plugs during the drying process.