

TEPELNÁ BILANCE PŘI SUŠENÍ POTRUBÍ VYSOKÝM VAKUEM

Prof. Ing. Petr Buryan, DrSc.

Ústav plynárenství, koksochemie
a ochrany ovzduší VŠCHT v Praze

Ing. Jana Brynychová

CEPS a.s.

Metodiku sušení plynovodů v současné době řeší předpis TIN 701 03, ve kterém nejsou všechny pracovní postupy přesně specifikovány a některé jejich části mají pouze formu doporučení, jakým způsobem provádět nezbytné operace související s prováděním sušení, zejména pak ověřování vysušení potrubí. Praktické zkušenosti z prací prováděných podle TIN 701 03 a z nich vyplývající závěry pak mají být zahrnuty do předpisu v rámci jeho konverze na TPG. V něm by již měly být detailně konkretizovány nezbytné pracovní postupy a výpočty.

Metoda sušení vysokým vakuem nebyla v České republice příliš používána, praktické zkušenosti chybí, proto se tvůrci nového TPG obrátili na Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze se žádostí o spolupráci při kvantifikaci fyzikálních dějů, které se při sušení potrubí touto metodou uplatňují, aby v novém TPG mohly být přesně specifikovány a popsány požadavky na provádění a kontrolu celého procesu.

Technologie sušení potrubí vysokým vakuem využívá skutečnosti, že díky velkému snížení tlaku v potrubí začne přítomná voda vřít i při nízkých teplotách. Teplota zeminy, ve které je potrubí uloženo, se v našich podmínkách pohybuje v teplotní oblasti $< +15\text{ }^{\circ}\text{C}$, čemuž odpovídají hodnoty tenze nasycených par vody 1,68 kPa a nižší. Proto by mělo být v potrubí dosaženo absolutního tlaku, který se velmi přiblíží k těmto hodnotám.

Při dosažení uvedeného tlaku se voda v potrubích z kapalného stavu začne odpařovat a její páry jsou následně vakuovou pumpou odsávány ven. Pokud by uvedený děj probíhal ideálně, bylo by využití metody vysokého vakua k sušení liniového potrubí mimořádně vhodné, pro-

tože by vysušení daného potrubí bylo velmi rychlé. Rychlost provedení prací je totiž jedním z nejdůležitějších ukazatelů při volbě nejvhodnější metody pro sušení, i když samozřejmě ne jediným.

Ze studia odborné literatury¹⁾ je zřejmé, že fyzikální jevy popsané výše neprobíhají při sušení takto ideálně. Úspěšnost odstranění vody z potrubí při sušení s využitím vysokého vakua závisí na tepelných tocích sdílených mezi vodou v sušeném potrubí a okolním prostředím. Pokud pro převod vody z kapalného do plynného stavu není k dispozici dostatečné množství tepla naakumulované v potrubí nebo pokud není dostatečně rychlý přestup tepla z okolí do potrubí, může voda místo vypařování naopak zamrznout. Abychom mohli přesněji určit, zda a kdy k zamrznutí vody dojde, a abychom mohli alespoň přibližně stanovit čas potřebný k vysušení potrubí, popsali jsme tepelné toky, ke kterým dochází při sušení vysokým vakuem.

Jak již bylo uvedeno, voda v potrubí se při dosažení určité hladiny podtlaku (tenze nasycených par) začne odpařovat. Při fázové změně kapalina–pára se spotřebovává velké množství tepla, které je do systému dodáváno v první fázi především z tepelné akumulace potrubí. Jakmile je toto teplo spotřebováno, je nutné další, a to poměrně velké množství tepla k odpařování vody dodávat prostupem z okolní zeminy přes izolaci a stěnu potrubí. Pokud prostup tepla z okolí není dostatečně rychlý, odebírá vypařující se voda potřebné výparné teplo z vody, která se nejdříve ochladí a následně zmrzne, čímž poskytne své skupenské teplo tuhnutí na odpaření části vody.

K tomu, aby došlo k roztátí ledu, který se při rychlém vakuování může vytvořit, musí být do potrubí přivedeno teplo v dostatečném množství z okolní zeminy, a teprve pak se celý děj může znovu opakovat. Uvedené fyzikální děje (tepelné toky) jsme kvantifikovali pomocí výpočtů, ze kterých je možné stanovit, zda se při vakuování sušení vytvoří v potrubí led, a také je možné určit dobu potřebnou k vysušení potrubí za vyslovených teoretických předpokladů.

Při výpočtech byly uvažovány tyto zjednodušující předpoklady:

- 1) teplo stěnou potrubí se sdílí vedením pouze v radiálním směru s nekonečně velkou rychlostí,
- 2) přestup tepla z potrubí do vody je nekonečně rychlý děj,
- 3) volná voda přítomná v potrubí je rovnoměrně rozmístěná (nejsou tam kaluže),
- 4) byl zanedbán tepelný odpor stěny trubky, který je velmi malý v porovnání s tepelným odporem izolace,
- 5) tloušťka izolace:
 - asfaltová – 6 mm, polyetylenová – 5mm,
 - 5mm polyetylenová + 10mm beton,
- 6) přestup tepla z okolní zeminy byl stanoven podle měření^{2), 3)} na $2\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Fyzikální veličiny použité ve výpočtech^{4,5)}

Hustota železa	7860	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Měrná tepelná kapacita železa	450	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita vody	4200	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Měrné skupenské teplo varu vody	2500	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
Rozdíl teplot	7 (15)	K
Součinitel tepelné vodivosti asfaltu	0,7	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti PE	0,18	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti betonu	0,9	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Měrné skupenské teplo tání ledu	334	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Ze sestavených matematických vztahů a navazujících výpočtů shrnutých do tabulek 1–8 je zřejmé, že doba potřebná k odpaření vody (vysušení potrubí) metodou vysokého vakua závisí na množství vody přítomné v potrubí na začátku sušení, na teplotě okolní zeminy, a především na dimenzi sušeného potrubí. Naopak na typu izolace průběh sušení příliš nezávisí. Rozhodující vliv na rychlost sušení má velmi pomalý přestup tepla z okolní zeminy do potrubí, který je vzhledem k ostatním procesům velmi pomalý.

Akumulace tepla v potrubí menších dimenzí (do DN 500) je poměrně malá, a stačí tedy jen na odpaření malého množství vody, poté je třeba dodávat teplo do odpařující se vody z okolní

zeminy. Tento děj je pomalý, protože je limitován velmi nízkým koeficientem přestupu tepla ze zeminy do potrubí, navíc přestupná plocha je vzhledem k malému průměru potrubí poměrně malá. Tepelný odpor izolace v tomto procesu není rozhodující, a tepelný odpor stěny trubky mohl být zanedbán, protože ve srovnání s tepelným odporem izolace je velmi malý. Protože

přestup tepla z okolní zeminy do vody uvnitř potrubí je pomalý, je nutné vést proces sušení velmi opatrně, aby nedošlo k tomu, že při příliš velké intenzitě vakuování voda místo odpařování zamrzne v důsledku nedostatečného přívodu tepla.

Když voda v potrubí zamrzne, hrozí nebezpečí, že potrubí bude považováno za vysušené,

protože tlak okamžitě po odstavení vakuové pumpy nebude vzrůstat. Teprve poté, co bude do potrubí přivedeno množství tepla potřebné k tání ledu, začne tlak v potrubí opět narůstat. Proto je nutné vakuové sušení potrubí dimenzí do DN 500 provádět cyklickým způsobem, kdy se v pravidelných pracovních intervalech odsávání vzduchu přerušuje a měřením tlaku se pro-

Tabulka č. 1. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 7 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 100 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplo potřebné na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu	Teplo k dodání z okolí	Prostup tepla z okolí (asfaltová izolace)	Prostup tepla z okolí	Prostup tepla (PE-izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace + beton)	Čas do odpaření (PE-izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace + beton)
	l	kJ	kJ	kJ	W	W	W	h	h	h
150	0,11	285,3	52,5	232,8	6,9	6,6	6,5	9,4	9,8	10,0
200	0,12	298,7	96,6	202,2	9,5	9,5	8,9	5,9	5,9	6,3
300	0,13	323,5	145,5	177,9	14,0	14,0	13,2	3,5	3,5	3,7
500	0,15	365,9	306,0	59,9	22,0	22,0	20,7	0,8	0,8	0,8
700	0,17	414,9	544,2	-129,4	31,1	31,1	29,4	-1,2	-1,2	-1,2

Tabulka č. 2. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 7 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 100 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplo potřebné na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (7-0 °C)	Objem vypařené vody	Objem zbylé vody	Odpařená voda od začátku tuhnutí	Hmotnost ledu	Teplo potřebné na rozpuštění ledu	Čas potřebný na roztátí ledu (asfaltová izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE-izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE + beton)
	l	kJ	kJ	l	l	l	kg	kJ	h	h	h
150	0,11	285,3	52,5	0,02	0,09	0,0124	0,08	26,95	1,09	1,13	1,15
200	0,12	298,7	96,6	0,04	0,08	0,0108	0,07	23,40	0,69	0,71	0,73
300	0,13	323,5	145,5	0,06	0,07	0,0095	0,06	20,60	0,41	0,42	0,43
500	0,15	365,9	306,0	0,12	0,02	0,0032	0,02	6,93	0,09	0,09	0,09
700	0,17	414,9	544,2	0,22	-0,05	-0,0069	-0,04	-14,97	-0,13	-0,14	-0,14

Tabulka č. 3. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 15 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 100 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplo potřebné na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (15-0 °C)	Teplo k dodání	Prostup tepla z okolí (asfaltová izolace)	Prostup tepla z okolí (PE-izolace)	Prostup tepla z okolí (PE-izolace + beton)	Čas do odpaření (asfaltová izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace + beton)
	l	kJ	kJ	kJ	W	W	W	h	h	h
150	0,11	285,3	112,5	172,9	14,7	14,2	13,9	3,3	3,4	3,5
200	0,12	298,7	206,9	91,8	20,3	19,5	19,1	1,3	1,3	1,3
300	0,13	323,5	311,9	11,6	30,0	28,9	28,3	0,1	0,1	0,1
500	0,15	365,9	655,7	-289,8	47,0	45,3	44,4	-1,7	-1,8	-1,8
700	0,17	414,9	1166,1	-751,3	66,7	64,3	62,9	-3,1	-3,2	-3,3

Tabulka č. 4. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 15 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 100 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplo potřebné na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (15-0 °C)	Objem vypařené vody	Objem zbylé vody	Odpařená voda od začátku tuhnutí	Hmotnost ledu	Teplo potřebné na rozpuštění ledu	Čas potřebný na roztátí ledu (asfaltová izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE-izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE + beton)
	l	kJ	kJ	l	l	l	kg	kJ	h	h	h
150	0,11	285,3	112,5	0,04	0,07	0,0092	0,06	20,01	0,39	0,40	0,12
200	0,12	298,7	206,9	0,08	0,04	0,0049	0,03	10,63	0,15	0,15	0,09
300	0,13	323,5	311,9	0,12	0,00	0,0006	0,00	1,34	0,01	0,01	0,02
500	0,15	365,9	655,7	0,26	-0,12	-0,0155	-0,10	-33,55	-0,21	-0,21	-0,81
700	0,17	414,9	1166,1	0,47	-0,30	-0,0401	-0,26	-86,96	-0,38	-0,38	-3,87

Tabulka č. 5. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 7 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 1000 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplota potřebná na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (7–0 °C)	Teplota k dodání	Prostup tepla z okolí (asfaltová izolace)	Prostup tepla z okolí (PE-izolace)	Prostup tepla z okolí (PE-izolace + beton)	Čas do odpaření (asfaltová izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace + beton)
	l	kJ	kJ	kJ	W	W	W	h	h	h
150	1,01	2535,3	52,5	2482,8	6,9	6,6	6,5	100,4	104,2	106,3
200	1,02	2548,7	96,6	2452,2	9,5	9,1	8,9	72,0	74,7	76,3
300	1,03	2573,5	145,5	2427,9	14,0	13,5	13,2	48,2	50,0	51,0
500	1,05	2615,9	306,0	2309,9	22,0	21,2	20,7	29,2	30,3	31,0
700	1,07	2664,9	544,2	2120,6	31,1	30,0	29,4	18,9	19,6	20,1

Tabulka č. 6. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 7 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 1000 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplota potřebná na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (7–0 °C)	Objem vypařené vody	Objem zbylé vody	Odpařená voda od začátku tuhnutí	Hmotnost ledu	Teplota potřebná na rozpuštění ledu	Čas potřebný na roztátí ledu (asfaltová izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE-izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE + beton)
	l	kJ	kJ	l	l	l	kg	kJ	h	h	h
150	1,01	2535,3	52,5	0,02	0,99	0,1327	0,86	287,39	11,62	12,06	12,31
200	1,02	2548,7	96,6	0,04	0,98	0,1310	0,85	283,84	8,33	8,64	8,83
300	1,03	2573,5	145,5	0,06	0,97	0,1297	0,84	281,04	5,57	5,79	5,91
500	1,05	2615,9	306,0	0,12	0,92	0,1234	0,80	267,37	3,38	3,51	3,58
700	1,07	2664,9	544,2	0,22	0,85	0,1133	0,73	245,47	2,19	2,27	2,32

Tabulka č. 7. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 7 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 1000 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplota potřebná na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (15–0 °C)	Teplota k dodání	Prostup tepla z okolí (asfaltová izolace)	Prostup tepla z okolí (PE-izolace)	Prostup tepla z okolí (PE-izolace + beton)	Čas do odpaření (asfaltová izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace)	Čas do odpaření (PE-izolace + beton)
	l	kJ	kJ	kJ	W	W	W	h	h	h
150	1,01	2535,3	112,5	2422,9	14,7	14,2	13,9	45,7	47,4	48,4
200	1,02	2548,7	206,9	2341,8	20,3	19,5	19,1	32,1	33,3	34,0
300	1,03	2573,5	311,9	2261,6	30,0	28,9	28,3	20,9	21,7	22,2
500	1,05	2615,9	655,7	1960,2	47,0	45,3	44,4	11,6	12,0	12,3
700	1,07	2664,9	1166,1	1498,7	66,7	64,3	62,9	6,2	6,5	6,6

Tabulka č. 8. Výpočet doby nutné k odpaření vody; Teplota okolní zeminy 15 °C; objem vázané vody – 30 ml/1 m² potrubí; objem volné vody – 1000 ml/1 m potrubí

DN	Objem vody na 1 m délky	Teplota potřebná na vypaření vody	Akumulace tepla v trubním materiálu (15–0 °C)	Objem vypařené vody	Objem zbylé vody	Odpařená voda od začátku tuhnutí	Hmotnost ledu	Teplota potřebná na rozpuštění ledu	Čas potřebný na roztátí ledu (asfaltová izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE-izolace)	Čas potřebný na roztátí ledu (PE + beton)
	l	kJ	kJ	l	l	l	kg	kJ	h	h	h
150	1,01	2535,3	112,5	0,04	0,97	0,1295	0,84	280,45	5,49	5,61	1,70
200	1,02	2548,7	206,9	0,08	0,94	0,1251	0,81	271,07	3,85	3,93	2,35
300	1,03	2573,5	311,9	0,12	0,90	0,1209	0,78	261,78	2,51	2,57	3,47
500	1,05	2615,9	655,7	0,26	0,78	0,1048	0,68	226,89	1,39	1,42	5,45
700	1,07	2664,9	1166,1	0,47	0,60	0,0801	0,52	173,48	0,75	0,77	7,72

káže, že odpařování vody stále probíhá – tlak v potrubí musí začít okamžitě vzrůstat. Jestliže tlak po odstavení vývěvy vzrůstá, může pokračovat další cyklus sušení. Pokud tlak okamžitě nevzrůstá, voda v potrubí zmrzla, nebo je potrubí vysušené, což se zjistí teprve odstavením vakuového sušení na určitou dobu (ověřovací perioda). Nedojde-li po tuto dobu k vzestupu

tlaku, je potrubí vysušené, naopak začne-li tlak opět stoupat, pak voda v potrubí zmrzla. V tom případě je nutné sušení přerušit do té doby, než veškerý led v potrubí roztaje. Ke změně skupenství vody musí do potrubí prostoupit z okolní zeminy množství tepla úměrné množství zmrzlé vody, což je děj velmi pomalý, díky pomalému přestupu tepla z okolní zeminy. Čas

potřebný k dodání tohoto tepla závisí na dimenzi potrubí, hmotnosti vody, teplotě a typu zeminy. Teprve po roztátí ledu je možné pokračovat v dalších cyklech sušení.

Akumulace tepla v potrubí dimenze větší než DN 500 je už dostatečně velká na odpaření menšího množství vody (200 ml na 1 m potrubí DN 700), z čehož plyne, že potrubí těchto di-

menzí je možné sušit pomocí vysokého vakua bez přerušení, pokud před sušením byla z potrubí vytěsněna voda čistícími písky. Tento děj podporuje i podstatně větší plocha, kterou do potrubí teplo prostupuje, a samotná hmotnost potrubí.

Jak vyplývá z výpočtů, jednotlivé časové intervaly částí pracovního cyklu (vakuování a nutné časové prodlevy) sušení potrubí vysokým vakuem jsou závislé na dimenzi potrubí a na teplotě zeminy. Časový interval vakuování je závislý také na výkonu vývěvy a délce sušeného potrubí (vakuovaného objemu). Tento interval úměrně s délkou potrubí roste, se stoupajícím výkonem vývěvy klesá. Podle výpočtů se musí časové prodlevy v ověřovací periodě sušení pohybovat v hodinách až desítkách hodin a jsou závislé na typu izolace, teplotě zeminy a hmotnosti vody v potrubí před zahájením sušení, tak aby v případě zamrznutí došlo během ověřovací periody k úplnému roztátí ledu v potrubí.

Teoretické výpočty a z nich plynoucí předpoklad, že při vakuovém sušení voda v potrubí zamrzne, jsme ověřili experimentem. Potrubí jsme nahradili plastovou hadicí, abychom viděli, co se děje uvnitř. Do plastové hadice bylo nalito přesné množství vody o teplotě 11 °C. Jeden konec hadice byl zaslepen a druhý konec byl hermeticky připojen k vakuové pumpě. Po několika sekundách od spuštění vývěvy voda v hadici začala vřít a po několika minutách zamrzla. Přesné časové údaje jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka č. 9. Výsledky měření

Objem vody	Čas do zamrznutí	Objem odpařené vody
ml	min.	ml
100	3,5	–
200	6,0	10 Teplota vody 6 °C
200	8,5	– Teplota vody 11 °C
300	14,5	–
500	ledová zátka*)	250
1000	ledová zátka*)	100

*) V těchto případech se v hadici vytvořila ledová zátka, za ní zůstala kapalná voda, která se přestala odpařovat. Před ní se hadice vysušila – v potrubí by to odpovídalo vytvoření souvislé vrstvy ledu na hladině vody, která by zabráňovala dalšímu odpařování vody

Pokusem jsme ověřili, že při rychlém snižování absolutního tlaku v hadici voda zamrzla

a přestala se odpařovat. Aby led začal tát, muselo být vakuování přerušeno. Přestože na hadici svítil reflektor, ani v jednom případě po 30 minutách led neroztál, i když se teplota okolního vzduchu pohybovala mezi 11 až 13 °C. Výsledky výpočtů a experimentů potvrdily teoretické informace o průběhu sušení s využitím vysokého vakua.

Výsledky výpočtů a experimentu potvrdily informace o průběhu sušení s využitím vysokého vakua. Za ideální by se dal považovat děj, kdy voda při snížení absolutního tlaku v sušeném potrubí na tenzi nasycených par vody začne vřít, odpařovat se a tento děj probíhá až do vysušení potrubí na požadovanou hodnotu. Bylo prokázáno, že sušení metodou vysokého vakua umožňuje dobře vysušit zařízení v případech, kdy je dostatečný přívod tepla ke krytí výparného tepla vody. Je tedy ideální metodou pro sušení technologických zařízení, strojních celků (turbíny aj.) i nadzemních potrubních systémů. U zařízení dobře izolovaných nebo umístěných pod zemí je však třeba proces sušení vést velmi opatrně, protože možný přívod tepla z okolí je podstatně nižší, než je třeba pro krytí spotřeby tepla na odpaření vody, a voda v systému místo odpaření zamrzá. K roztátí ledu jsou pak třeba poměrně velmi dlouhé časové úseky ověřovacího měření. Přesto je však sušení vakuem prakticky jediným způsobem pro dokonalé vysušení potrubních uzlů, které nebyly postaveny tak, aby umožnily dokonalé vypuštění vody. Je však třeba počítat s dobami sušení v délce desítek až stovek hodin, v případě velkého množství vody i desítek dní.

Závěr

Výpočtem tepelné bilance v potrubí sušeném metodou vysokého vakua bylo zjištěno, že u malých dimenzí potrubí je tento typ sušení časově velmi náročný a citlivý na rychlost odsávání (výkon vývěvy). Potrubí musí být sušeno opatrně (v cyklech), aby se zabránilo zamrznutí vody. Přitom vždy musíme počítat s možností, že voda zamrzne, protože to nejen nelze vyloučit, ale dokonce je to i velmi pravděpodobné. Proto při praktických realizacích je potřebné počítat s tím, že musí proběhnout dostatečně dlouhá časová prodleva ověřovacího měření, v jejímž průběhu buď led roztaje, nebo se pro-

káže, že se led nevytvořil a potrubí je vysušené.

Délka časové prodlevy je závislá především na velmi pomalém přestupu tepla z okolní zeminy na potrubí, protože teplo potřebné k roztátí ledu může být dodáno jen ze zeminy. Tyto skutečnosti prodlužují sušení potrubí malých dimenzí pomocí vysokého vakua na desítky až stovky hodin, což je značně časově náročné. U velkých dimenzí není riziko zamrznutí vody tak velké, ale pouze v případech, kdy hmotnost vody v sušeném potrubí je malá. Na základě této analýzy byly stanoveny délky provozních ověřovacích period při sušení potrubí vakuem v novém TPG 701 03.

Poděkování

Část výsledků této práce byla získána za finanční podpory, kterou autoři obdrželi v rámci úkolu MSM ČR 604 613 7304.

Literatura:

- 1) Barden, A. J., Powers, M. D., Karklis, P.: Evolution of Pipeline-drying Techniques, The Pipeline Pigging Conference, 27.–30. 5. 1996, Jakarta (Indonesia)
- 2) Tichý, T.; Dvořák, V.: Koeficient přestupu tepla při dopravě plynu. Závěrečná zpráva z měření, Plynoprojekt 1976
- 3) Dvořák, V.; Tichý, T.: Průběh teploty plynu v dálkovém plynovodu, Plyn 58 (1978), č. 2, s. 36–39
- 4) Matematické, fyzikální a chemické tabulky, SPN 1983
- 5) Sběrka příkladů z chemického inženýrství, SNTL 1988

Lektoroval Ing. Petr Črha, CSc.

SUMMARY

Petr Buryan, Jana Brynychová:

Thermal Balance in High Vacuum Pipe Drying

The article outlines the findings collected in designing thermal balance calculations related to the drying of gas pipes by applying high vacuum.