

## Slėgio įtaka vamzdynų nesandarumo vietos nustatymui hidraulinių bandymų metu

L.Jakevičius, J.Butkus

Kauno technologijos universitetas, prof. K.Baršausko ultragarso mokslo institutas

Studentų g. 50-136, 3031 Kaunas

El-p: leja@tef.ktu.lt

### Įvadas

Pastaruoju metu mūsų šalies pramonėje ir buityje kaip vienas iš energijos šaltinių plačiai naudojamos gamtinės dujos. Kol dujos pasiekia vartotoją, jos transportuojamos didelio, vidutinio ir mažo slėgio dujotiekių vamzdynais. Siekiant saugiai eksploatuoti dujotiekių vamzdynus, reguliariai, pagal iš anksto sudarytą grafiką atliekami jų hidrauliniai bandymai. Šių bandymų metu siekiama aptikti esamas ar galinčias artimiausiu metu atsirasti dujų nuotėkio vietas. Šiuo tikslu atskiri vamzdyno ruožai užsandarinami ir kompresoriumi pripučiami oro iki keleto atmosferų slėgio (nelygu koks vamzdynas: didelio, vidutinio ar mažo slėgio).

### Problema

Vamzdynų nesandarumo vietoms aptikti gali būti naudojamas akustinis koreliacinis matavimo metodas [1,2,3,4]. Nuotėkio vietos nustatymo tikslumas, taikant šį matavimo metodą, priklauso nuo to, kaip tiksliai žinomi pradiniai parametrai: tiriamo ruožo ilgis  $l$  ir akustinių signalų sklaidimo greitis  $c$  [5]. Tačiau vamzdynuose, kuriais transportuojami dujiniai produktai (gamtinės dujos, termofikacinis garas ir pan.), pagrindinė nuotėkio vietoje generuojamo akustinio triukšmo energijos dalis lieka vamzdyną užpildančiose dujose ir beveik neperduodama vamzdžio sienelėms [6,7,8]. Dėl šios priežasties, ieškant vamzdynų, transportuojančių dujinius produktus, nesandarumų, registruojami akustiniai triukšmai, sklindantys vamzdyne esančiomis dujomis [9]. Tiriamo ruožo ilgis nustatomas naudojantis projektiniais brėžiniais. Jo nustatymo tikslumas priklauso nuo to, ar trasa paklota tiksliai pagal šiuos brėžinius. Savo ruožtu akustinių signalų sklaidimo greitis tiriamą vamzdyną užpildančiame ore priklauso nuo daugelio parametru: kaip temperatūros, drėgmės, slėgio ir kt. Lemiamą įtaką akustinių signalų sklaidimo greičiui iš šių parametru turi temperatūra. Tačiau hidraulinių bandymų metu dėl dujų slėgio kitimo jų temperatūra taip pat kinta tam tikrame diapazone, todėl mažėja nuotėkio vietos nustatymo tikslumas.

### Teorinis modeliavimas

Hidraulinių bandymų metu per trumpą laiko tarpą slėgis vamzdyno viduje kompresoriumi pakeliamas iki keleto atmosferų. Priklausomai nuo tiriamo ruožo ilgio, vamzdyno skersmens ir naudojamo kompresoriaus galios tai trunka nuo 2...3 iki 10...12 minučių. Kadangi

dujotiekių vamzdynai iš išorės yra padengti antikorozine izoliacine medžiaga, kuri taip pat yra ir blogas šilumos laidininkas, tai galime tarti, kad turime uždara termodinaminę sistemą, susidedančią iš vamzdžio sienelių ir jų užpildančio oro. Tokioje sistemoje, remiantis energijos tvermės dėsniu, suslegiant dujas, atliekamas darbas  $A$ , kurio metu sistemai suteiktos energijos dalis atiduodama vamzdžio sienelei kaip šiluma  $Q$ , o kita dalis virsta vamzdį užpildančių dujų vidine energija  $U$ . Diferencialine forma galime parašyti

$$dA = dQ + dU. \quad (1)$$

Išorinės jėgos, suslegiant dujas, atlieka darbą

$$dA = -pdV, \quad (2)$$

vamzdžio sienelė gauna šilumos kiekį

$$dQ = m_s c_s dT, \quad (3)$$

o vamzdį užpildančių dujų vidinė energija pakinta dydžiu

$$dU = m_d c_v dT. \quad (4)$$

čia  $p$  - dujų slėgis,  $dV$  - dujų tūrio pokytis,  $m_s$  ir  $m_d$  - atitinkamai vamzdžio ir jį užpildančių dujų masės,  $c_s$  - vamzdžio sienelę sudarančios medžiagos specifinė šiluma,  $c_v$  - vamzdį užpildančių dujų specifinė izochorinė šiluma,  $dT$  - temperatūros pokytis.

[rašę (2), (3) ir (4) išraiškas į (1) lygtį, gauname:

$$-pdV = m_s c_s dT + m_d c_v dT. \quad (5)$$

Iš idealiųjų dujų būvio lygties, diferencialinės formulės

$$Vdp + pdV = \frac{m_d}{\mu} R dT \quad (6)$$

ir (5) išraiškos gausime

$$Vdp + pdV \left( \frac{\mu(m_s c_s - m_d c_v) + m_d R}{\mu(m_s c_s - m_d c_v)} \right) = 0. \quad (7)$$

čia  $\mu$  - vamzdį užpildančių dujų molio masė,  $R$  - universalioji dujų konstanta.

Pažymėkime

$$n = \frac{\mu(m_s c_s - m_d c_v) + m_d R}{\mu(m_s c_s - m_d c_v)}. \quad (8)$$

Tarkime, kad  $n = \text{const}$ . Tada iš (7) lygties gausime:

$$pV^n = \text{const}. \quad (9)$$

Naudodamiesi idealiųjų dujų būvio lygtimi, (9) formulėje tūrį  $V$  išreiškę per temperatūrą gauname:

$$\frac{p^n}{T} = \text{const.} \quad (10)$$

Iš (10) lygties matome, kad greitai kintant dujų slėgiui vamzdžio viduje, dujų temperatūros kitimas vamzdyne aprašomas lygtimi

$$T = T_0 \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (11)$$

čia  $T_0$  ir  $p_0$  - atitinkamai pradinė dujų temperatūra ir slėgis. Dabar suraskime laipsnio rodiklio  $\frac{n-1}{n}$  išraišką.

Vietoj  $n$  įrašę (8) išraišką, gausime:

$$\frac{n-1}{n} = \frac{m_d R}{m_d R + \mu(m_s c_s - m_d c_v)} \quad (12)$$

Vamzdžio sienelės masė išreiškiama lygtimi

$$m_s = 2\pi\rho_s r h l, \quad (13)$$

o jį užpildančių dujų masė

$$m_d = \pi\rho_d r^2 l. \quad (14)$$

čia  $r$  - vamzdžio vidinis spindulys,  $h$  ir  $l$  - atitinkamai vamzdžio sienelės storis ir tiriamo vamzdžio ruožo ilgis,  $\rho_s$  - sienelę sudarančios medžiagos tankis;  $\rho_d$  - vamzdinę užpildančių dujų tankis. Vamzdinę užpildančių dujų  $\rho_d$  tankį galima išreikšti per dujų tankį  $\rho_{atm}$  ir slėgį  $p_{atm}$  normaliomis sąlygomis bei slėgį  $p$  vamzdžio viduje:

$$\rho_d = \rho_{atm} \frac{p}{p_{atm}} \quad (15)$$

Įrašę (13), (14) ir (15) išraiškas į (12) lygtį, gausime:

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\rho_{atm} r R p}{\rho_{atm} r R p + \mu(2\rho_s c_s h p_{atm} - \rho_{atm} c_v r p)} \quad (16)$$

Kadangi  $\rho_{atm} r R \ll \mu(2\rho_s c_s h p_{atm} - \rho_{atm} c_v r p)$ , tai galime rašyti kad

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\rho_{atm} r R p}{\mu(2\rho_s c_s h p_{atm} - \rho_{atm} c_v r p)} \quad (17)$$

Tuomet (11) lygtį galima užrašyti taip:

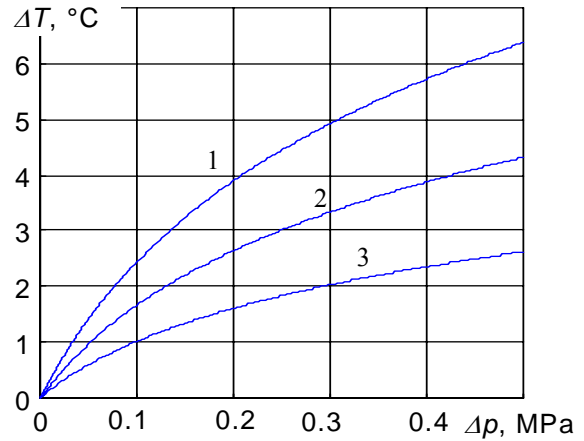
$$T = T_0 \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\rho_{atm} r R p}{\mu(2\rho_s c_s h p_{atm} - \rho_{atm} c_v r p)}} \quad (18)$$

Algoritmas (18) įvertina vamzdinę užpildančių dujų temperatūros kitimą, greitai keičiant jį užpildančių dujų slėgį (pripučiant kompresoriumi). Kaip kinta įvairaus skersmens plieninį vamzdinę (vamzdžio sienelės storis  $h=3$  mm) užpildančių dujų temperatūra  $\Delta T = T - T_0$ , parodyta 1 pav.

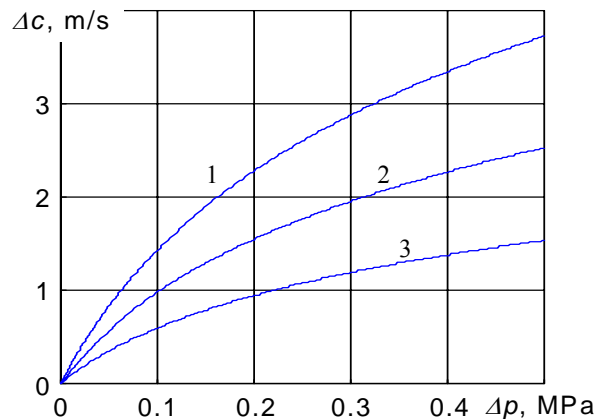
Akustinių signalų sklaidimo dujose greitis aprašomas lygtimi

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}} \quad (19)$$

čia  $\gamma$  - adiabatinis dujų rodiklis (orui  $\mu=1,41$ ).



1 pav. Vamzdinę užpildančių dujų temperatūros kitimas kintant jų slėgiui, kai vamzdžio spindulys: 1 - 100 mm, 2 - 75 mm, 3 - 50 mm



2 pav. Akustinių signalų sklaidimo greičio kitimas vamzdinėje užpildančiose dujose kintant slėgiui, kai vamzdžio spindulys: 1 - 100 mm, 2 - 75 mm, 3 - 50 mm

Naudodamiesi (18) ir (19) lygtimis, galime rasti akustinių signalų sklaidimo greičio pokytį  $\Delta c = c - c_0$ , kai dujų slėgis keičiasi dideliu greičiu:

$$\Delta c = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{\mu} \left[ \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\rho_{atm} r R p}{\mu(2\rho_s c_s h p_{atm} - \rho_{atm} c_v r p)}} - 1 \right]} \quad (20)$$

Kaip keičiasi akustinių signalų sklaidimo greitis, didinant dujų slėgį vamzdžio viduje hidraulinių bandymų metu, parodyta 2 pav.

Hidraulinių bandymų metu, nustatant vamzdyno nesandarumo taškų koordinates koreliaciniu matavimo metodu, taikomas algoritmas

$$l_1 = \frac{l - c\Delta t}{2}. \quad (21)$$

čia  $l$  - atstumas tarp elektroakustinių keitiklių vamzdyno viduje,  $\Delta t$  - akustinių triukšmų sklidimo nuo nuotėkio vietos iki elektroakustinių keitiklių laikų skirtumas;  $l_1$  - atstumas nuo nuotėkio vietos iki artimesniojo elektroakustinio keitiklio.

Paprastai (21) algoritme naudojamas akustinių signalų greitis yra lygus akustinių signalų sklidimo greičiui aplinkos temperatūroje  $T_0$ . Tačiau, kaip jau parodėme, į tiriamą vamzdyno ruožą pučiant kompresoriumi dujas, kyla jų temperatūra, o kartu didėja ir akustinių signalų sklidimo jose greitis. Tokiu atveju tikroji dujų nuotėkio vieta  $l_1^*$  vamzdyne yra

$$l_1^* = \frac{l - c^* \Delta t}{2}. \quad (22)$$

čia  $c^*$  - akustinių signalų sklidimo greitis vamzdyną užpildančiose dujose, kai jų temperatūra  $T$ . Naudodamiesi (21) ir (22) lygtimis, randame absoliutinį vamzdyno nesandarumo vietos nuokrypį  $\Delta l = l_1 - l_1^*$ , atsirandantį taikant (21) algoritmą, kai neatsižvelgiama į vamzdyną užpildančių dujų temperatūros kitimą:

$$\Delta l = l_1^* \frac{\Delta c}{c^*} - l \frac{\Delta c}{2c^*}. \quad (23)$$

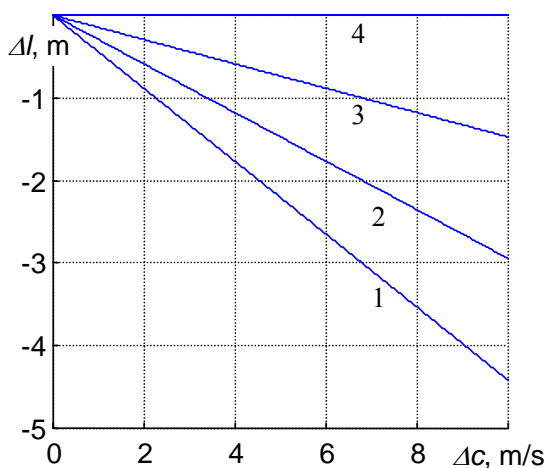
čia  $\Delta c = c - c^*$ . Kaip matome iš (23) lygties, nesandarumo vietos nustatymo absoliutinis nuokrypis priklauso tiek nuo pačios nesandarumo vietos vamzdyne koordinatės  $\Delta l^*$  (3 pav.), tiek nuo tiriamo vamzdyno ruožo ilgio  $l$  (4 pav.).

## Išvados

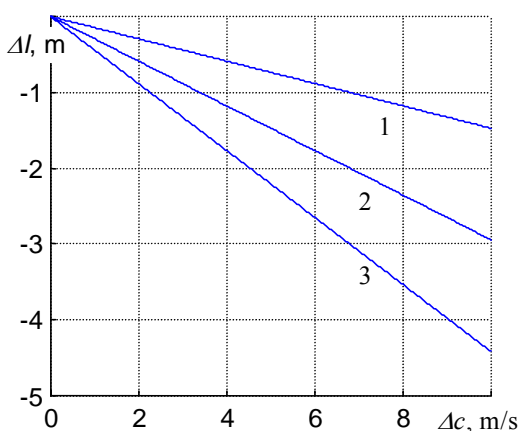
Kaip matome iš gautų rezultatų, nustatant vamzdynų nesandarumo vietas hidraulinių bandymų metu, neįvertinus vamzdyną užpildančių dujų temperatūros kitimo, atsiranda absoliutinis nuotėkio vietos nustatymo nuokrypis, kurio dydis gali siekti keletą metrų. Jis didėja tiesiog proporcingai tiriamo vamzdyno ruožo ilgiui ir nesandarumo vietos atstumui nuo tiriamo ruožo vidurio. Todėl žemės darbų apimtims sumažinti, šalinant hidraulinių bandymų metu užfiksuotas vamzdynų nesandarumo vietas, būtina kaip galima tiksliau nustatyti vamzdyną užpildančių dujų temperatūrą. Ypač tai aktualu taikant akustinius koreliacinius nuotėkio vietos paieškos matavimo metodus didelio slėgio dujotiekių vamzdynų diagnostikai, kai slėgis hidraulinių bandymų metu pakeliamas iki kelių dešimčių atmosferų.

## Literatūra

1. Дробот Ю. Б., Грешников В. А., Бачелов В. Н. Акустическое контактное течеискание. Москва: Машиностроение, 1989. -120 с.
2. Jakevičius L., Tumšys O., Butkus J. An influence of reflection for acoustical correlation measurements in the pipelines// Otwarte Seminarium z Akustiki. Poznan-Kiekrz, 15-18 września 1998. P.247-252.
3. Butkus J., Jakevičius L., Tumšys O. An acoustical method for determination of leakage coordinates in the pipelines // Archives of acoustics.- Warszawa. 1998. Vol.23. No.4. P.533-539.
4. Тумшис О., Яквичюс Л. Акустическая система для обнаружения утечек в газопроводах низкого давления // Измерительная техника. 1998. №. 5. С. 56-58.
5. Jakevičius L., Butkus J. Akustinio koreliacinio metodo taikymas dujų vamzdynų nesandarumui aptikti // Ultragarasas. Kaunas. 2000. Nr.1(34). P.28-30.
6. Загоскин В. Н., Венгерцев Ю. А., Казак А.С., Яковлев Е. И. Применение ЭВМ для обнаружения утечек на нефтепродуктопроводах // Серия: Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М., 1989. Но 1. 60 с.
7. Jakevičius L., Tumšys O., Butkus J., Gudavičius G. Energetinių objektų vamzdynų akustiniai kontrolės būdai, problemos, jų sprendimai ir perspektyvos // Respublikinės konferencijos "Šilumos energetika ir technologijos" pranešimų medžiaga.- Kaunas: Technologija. 1996. P.47-52.



3 pav. Vamzdyno nesandarumo vietos absoliutinio nuokrypio priklausomybė nuo akustinių signalų sklidimo greičio pokyčio tiriant 300 m ilgio ruožą, kai nesandarumo vieta yra 1 – 0 m, 2 – 50 m, 3 – 100 m, 4 – 150 m nuo elektroakustinio keitiklio



4 pav. Vamzdyno nesandarumo vietos absoliutinio nuokrypio priklausomybė nuo akustinių signalų sklidimo greičio pokyčio tiriant 1 – 300 m, 2 – 200 m, 3 – 100 m ilgio ruožus, kai nesandarumo vieta yra prie elektroakustinio keitiklio

8. **Jakevičius L., Butkus J., Tumšys O.** Vamzdyno nehermetiškumo vietoje generuojamų akustinių triukšmų sklaidimo ypatumų tyrimas// Elektronika ir elektrotechnika. Kaunas: Technologija. 1998. Nr.5(18). P.16-18.
9. **Jucius D., Butkus J., Jakevičius L., Tumšys O.** An acustical method for detection of leakage of gas pipelines/ Proceedings of 23-rd European Conference on Acoustic Emission Testing. Viena. Austria: 6-8 may 1998. P.164-169.

L.Jakevičius, J.Butkus

**Influence of pressure on detection of leakage place in the pipeline during the hydraulic tests**

Summary

An influence of the gas temperature in a pipeline on the accuracy of the acoustic correlation method used for determination of the leakage co-

ordinates is investigated. New algorithms for determination of leakage co-ordinates in the gas pipeline with consideration of influence of gas temperature changes, hydraulic tests are created. It has been revealed that when the damaged place of the gas pipeline is determined. During the hydraulic tests the absolute deflection of the determined co-ordinates of the leakage may reach several meters if the gas temperature changes are not evaluated. It is shown that this deflection is in directly related to the pipeline length and the distance of leakage from the centre of the pipeline under investigation. The results of modelling, when the length and diameter of the section under control, the location of leakage and pressure inside the pipeline are varied, are presented.

Pateikta spaudai 2000 06 08