



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2016

O ÎNCERCARE DE OBTURARE CU DOP DE GHEAȚĂ A UNUI TRONSON DE CONDUCTĂ ORIZONTALĂ (DN 300 mm) STRĂBĂTUT DE APĂ DEMINERALIZATĂ

Bogdan CORBESCU, Tiberiu GYÖNGYÖȘI, Dumitru PUIU,
Valeriu Nicolae PANAITESCU

A CONTROLLED ICE PLUG FORMING EXPERIMENT CONDUCTED ON A HORIZONTAL PIPE SECTION (NPS 12) WITH DEMINERALIZED WATER FLOWING THROUGH

In a hydraulic pipe-line installation, isolating a horizontal section requires forming one or two ice plugs in a controlled process. This technique is used for carrying out circuit maintenance or component replacements without shutting down the entire installation. In both cases, the ice plug (or both ice plugs) must be maintained until completing the repair activities. This paper describes an experiment conducted on a horizontal NPS 12 horizontal pipe section and its sequences, followed by the results and conclusions. The paper is dedicated to specialists working in research and technological engineering.

Key words: cutting-off the flow, ice deposit, demineralised water, hydraulic resistance

Cuvinte cheie: oprirea curgerii, depunere de gheață, apă demineralizată, rezistența hidraulică

1. Introducere

Metoda de izolare cu dop de gheață format artificial a unui tronson de conductă cu DN 300 este simplă și presupune încă doar aplicarea unui singur manșon special construit pentru fiecare caz identificat în parte. Manșonul practic, constituie dispozitivul de

înghețare. Este montat pe exteriorul conductei în zona aleasă pentru obturarea curgerii și formează un spațiu inelar cu suprafața conductei sau în imediata ei apropiere (deschis spre exterior). Acest spațiu este destinat vaporizării azotului lichid care este injectat continuu dintr-un vas Dewar. Gheața se depune în straturi succesive pe pereții interiori ai conductei în zona de influență a compartimentului umplut cu azot lichid, lungimea și grosimea stratului depus depinzând de factori ca temperatura apei vehiculate, debitul și calitatea ei și nu în ultimul rând ca importanță, viteza de intrare a azotului în compartimentul dispozitivului. În interiorul conductei se dezvoltă treptat o creștere continuă a stratului depus și implicit a rezistenței hidraulice locale având ca rezultat reducerea în timp a vitezei de curgere până la oprirea curgerii în condițiile în care conducta este parte a unei ramificații (fie chiar și a unui by-pass).

Din momentul în care s-a realizat oprirea stabilă a curgerii, dopul de gheață continuă să crească în direcție axială de la stadiul primar spre ambele capete ale manșonului de înghețare, mai puțin în aval și mai mult în amonte [1, 2, 3]. Fiecare aplicație tehnică reclamată spre rezolvare trebuie să fie tratată special funcție de mărimea diametrului nominal al conductei, de orientarea sa în spațiu, de dispozitivul de formare a dopului de gheață în sine și de numărul necesar de dispozitive pentru izolarea unui tronson de conductă în vederea golirii sale și realizării lucrării de întreținere/reparații. De asemenea trebuie luată în considerare atât calitatea apei circulante în conductă (demineralizată, potabilă, industrială etc.) cât mai ales temperatura sa inițială și evoluția ei pe durata intervenției (experimentului). Articolul, pe lângă prezentarea facilităților tehnologice experimentale utilizate, prezintă un experiment realizat pentru apa demineralizată, rezultatele obținute și câteva concluzii.

2. Descrierea facilităților tehnologice experimentale

Experimentele au fost realizate pe o secțiune de testare (ST), conductă orizontală cu D_n 300, componentă a unei bucle experimentale în circuit deschis. În circuitul buclei experimentale mai identificăm o pompă de circulație (P), un ansamblu de conducte și armături, și un vas de umplere-golire (VU/G), figura 1.

Pentru a urmări modificările generate de formarea dopului de gheață, secțiunea de testare orizontală (ST) este încadrată de două prize de presiune, parte a unui circuit de măsură și supraveghere a căderii de presiune.

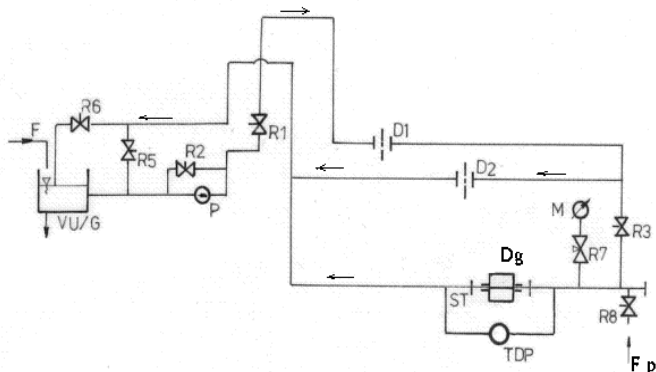


Fig. 1
Buclea
experimentală
schemă
simplificată

Dispozitivul de formare dop de gheață pentru obtinerea tronsonului de conductă orizontală de diametru mare 1, este practic un manșon dublu compartimentat alcătuit prin îmbinarea etanșă a două semicoliere: semicolier superior 8 și semicolier inferior 2, figura 2, [4].

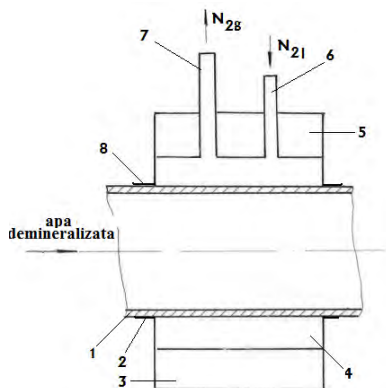


Fig. 2 Dispozitiv pentru formare dop de gheață

După montajul semicolierelor dispozitivului pe exteriorul conductei, în zona unde dorim să formăm dopul de gheață se realizează practic un compartiment inelar 4 destinat azotului lichid. Compartimentul pentru azot lichid 4 este izolat termic în exterior de compartimentele vidate 5 și 3 înglobate fiecare în semicolierul superior și respectiv, inferior. Transferul de căldură are loc, în cea mai mare parte prin convecție, de la agentul de lucru circulat în conductă la peretele interior și prin conducție, la inelul de azot lichid. Căldura disipată în stratul de azot lichid intensifică procesul de vaporizare. Pentru limitarea suprapresiunii generate în compartimentul inelar, de vaporizarea continuă în timp a volumului de azot lichid injectat, s-a prevăzut un ștuț de evacuare a vaporilor de azot 7, în atmosferă. Alimentarea cu azot lichid s-a prevăzut a se realiza prin ștuțul 6, la nivelul semicolierului superior 8. Transvazarea azotului lichid N_2 de la rezervorul cu azot lichid la ștuțul

central se realizează cu racorduri speciale, în furtun de presiune cu tresa metalică de protecție pe exterior.

3. Descrierea experimentului

Experimentul s-a realizat cu dispozitivul montat pe exteriorul secțiunii de testare și utilizând ca agent apa demineralizată, [5], pentru un debit inițial care nu a depășit valoarea de 0,5 m³/h. Valoarea debitului a rezultat din supravegherea evoluției în timp a indicației debitmetrului ultrasonic. Indicațiile debitmetrelor cu turbină amplasate pe traseul principal (refularea pompei de circulație) și pe by-pass nu au putut fi luate în considerare, ele fiind eronate (datorită uzurii echipajelor mobile). Debitmetrul ultrasonic nu indică sub valoarea de 2,5 dm³/min. Pentru măsurarea temperaturii peretelui exterior în zona dispozitivului de formare dop de gheață (direct pe peretele exterior al conductei), s-au amplasat termocuple de suprafață Fe-Constantan, după cum urmează: în amonte (Th12, Th13) și în aval (Th16, Th17) de dispozitivul de formare dop de gheața, la capătul semicolierelor: în poziție superioară/inferioară (patru termocuple). S-a mai măsurat temperatura: imediat la ieșire din orificiul de evacuare a vaporilor de azot, la intrare în compartimentul de azot lichid și în vasul de umplere-golire (Th19). Pe toată durata experimentului s-a măsurat și înregistrat presiunea la intrare în secțiunea de testare și respectiv, căderea de presiune pe secțiunea de testare. Măsurarea datelor și înregistrarea lor



on-line s-a realizat cu un sistem digital de achiziție și prelucrare a datelor. Presiunea pernei de azot a fost fixată de la început în jurul valorii de p_1 (bar) fiind lăsată să scadă la p_2 (bar) și menținută așa până la finalul experimentului. După aproximativ două minute de la injectarea azotului lichid spre dispozitivul de înghețare s-a constatat umplerea circuitului însoțită de evacuarea vaporilor, figura 3. Coloana densă a vaporilor de azot evacuați la gura țevii de evacuare a dispozitivului, a semnalat declanșarea procesului de depunere a gheții în interiorul conductei de testare.

Fig. 3 Coloana de vapori de N₂

După ~ 22 de minute temperaturile măsurate pe peretele exterior al conductei, înainte și după dispozitiv, au coborât sub 0 °C: la intrarea în manșon, jos – 1,1 °C (Th 12), sus – 5,3 °C (Th 13) și la ieșire, jos, – 8,0 °C (Th 16) și sus – 7,4 °C (Th 17) în condițiile în care temperatura apei demineralizate, circulată în bucla deschisă, a urcat cu 0,7 °C de la ~ 17,4 °C la 18,1 °C. După ~ 50 de minute depunerile de zăpadă, ce încadrează (aval și amonte) dispozitivul montat pe conductă, abia se observă în partea inferioară a conductei de testare. Debitul apei în secțiunea de testare a scăzut la 4,8 l/min. Temperaturile înregistrate pe peretele exterior al conductei, în zona supravegheată, au coborât astfel: la intrarea în manșon, jos – 26,6 °C, sus – 12,7 °C și la ieșire, jos, – 46,1 °C și sus – 22,1 °C în condițiile în care temperatura apei a crescut cu 1,4 °C (de la 17,4 °C la 18,8 °C). La 80 de minute de la pornirea experimentului, debitul apei în secțiunea de testare a scăzut la 3,8 l/min, iar temperaturile înregistrate pe peretele exterior al conductei, în zona supravegheată, au coborât în continuare.

După încă 20 de minute, debitmetrul ultrasonic nu a mai indicat (debitul apei în secțiunea de testare, a scăzut sub 2,5 l/min), iar temperaturile înregistrate pe peretele exterior al conductei, în zona supravegheată, au coborât atingând valorile: la intrarea în manșon, jos – 55 °C, sus – 22 °C și la ieșire, jos, – 76 °C și sus – 32 °C în condițiile

în care temperatura apei a crescut la 20,6 °C. Considerând că debitul pe secțiunea de testare nu a mai scăzut în continuare, evoluția debitului poate fi cea reprezentată în figura 4.



Fig. 4 Evoluția debitului în timp



După ~ 290 minute de la injectarea azotului lichid, depunerea de zăpadă de pe peretele conductei de testare a fost surprinsă în figura 5.

Fig. 5 Depunerea de zăpadă de pe peretele conductei de testare

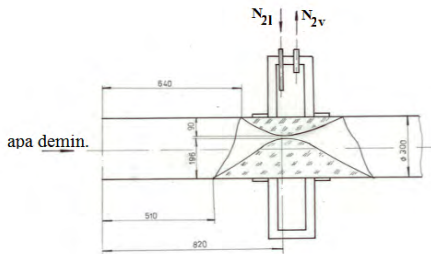
Lungimea depunerii de zăpadă semnifică lungimea depunerii de gheață în interiorul conductei. Temperaturile

măsurate pe peretele exterior al conductei, înainte și după dispozitiv, în acest moment au atins valorile: la intrarea în manșon, jos – 71,4 °C (Th 12), sus – 33,5 °C (Th 13) și la ieșire, jos, – 95,2 °C (Th 16) și sus – 43,3 °C (Th 17). Temperatura apei a crescut în continuare mai lent însă, doar cu încă 0,3 °C ajungând la 22,7 °C. În aceste minute de final de experiment, cererea de azot lichid în proces a fost depășită, azotul în exces a grăbit vizibil scăderea de temperatură lucrând în folosul reducerii suprafeței de curgere, fiind identificat la un moment dat un transfer de masă (prezența picăturilor de azot lichid în vaporii de azot evacuați). Fenomenul s-a înregistrat pentru câteva zeci de secunde în care s-a intervenit în sensul reducerii debitului de azot lichid injectat. Temperaturile însă au stagnat sau au început să crească și de aceea am fost nevoiți să revenim printr-o mică mărire a debitului de azot lichid injectat. După încă 40 de minute, la aproximativ 5 ore și 30 de minute, testul s-a încheiat datorită epuizării cantității de azot disponibile pentru experiment. Temperaturile măsurate pe peretele exterior al conductei, înainte și după dispozitiv, au atins valorile: la intrarea în manșon, jos – 73,4 °C (Th 12), sus – 35,4 °C (Th 13) și la ieșire, jos, – 97,5 °C (Th 16) și sus – 51,7,3 °C (Th 17). Temperatura apei a crescut în continuare la fel de lent însă, doar cu încă 0,2 °C ajungând la 22,9 °C. S-a procedat, la demontarea tronsonului din amonte de secțiunea de testare, în paralel cu golirea traseului și apoi, la îndepărtarea lui pentru vizualizarea depunerilor de gheață, figura 6.



Fig. 6 Depunerea de gheață

Orificiul rămas în gheață a avut un diametru echivalent de circa 14 mm. Suprafața de curgere rămasă liberă reprezintă doar ~ 0,22 % din suprafața de curgere a conductei cu Dn 300. O secțiune imagină prin



axa longitudinală a conductei de testare, cu respectarea cotelor măsurate direct în raport cu fața plană a flanșei de legătură a secțiunii de testare, este reprodusă în figura 7.

Fig. 7 Secțiune imagină prin depunerea de gheață

Reducerea în timp a temperaturii peretelui la intrare/ieșire în/din dispozitivul de înghețare pentru acest experiment este reprezentată în figura 8.

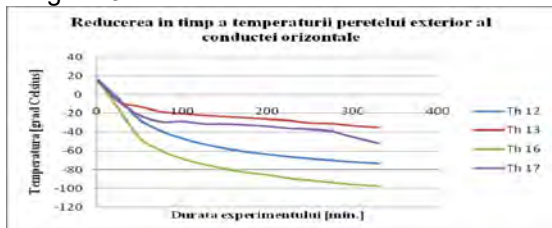


Fig. 8
Variația în timp a temperaturilor peretelui exterior

4. Rezultate experimentale și concluzii

Experimentul descris a fost și cel mai reușit, suprafața de curgere rămasă în depunerea de gheață fiind cea mai mică (~ 0,22 % din suprafața de curgere a conductei Dn 300). Evoluția parametrilor de interes pe durata experimentului este redată în figura 9.

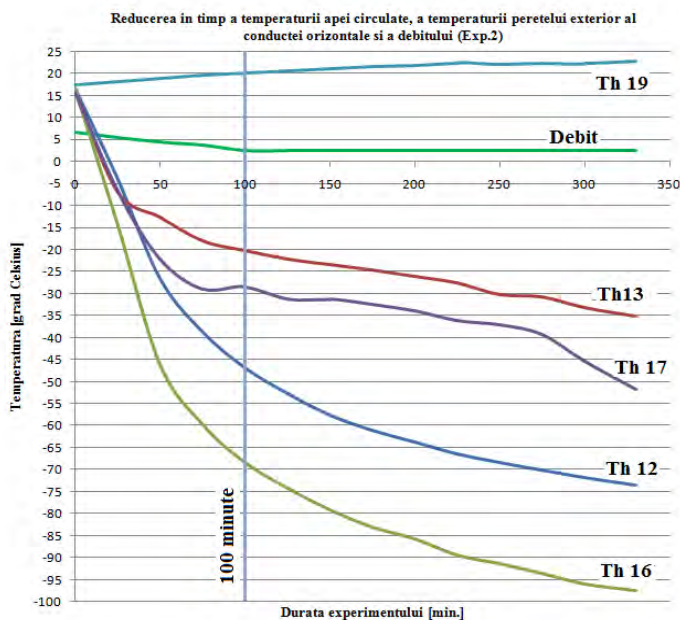


Fig. 9
Evoluția în timp a temperaturii apei, a temperaturilor peretelui exterior și a debitului

Debitul apei demineralizate circulante s-a redus după primele 15 minute de la 6,6 l/min la 6,1 l/min datorită depunerii mai consistente a

gheții în amonte de dispozitivul de formare dop de gheață în partea superioară și în aval în partea de jos, în condițiile în care temperatura apei s-a redus cu circa 0,6 °C. Asimetria depunerii straturilor de gheață se datorează nivelului relativ redus al presiunii pernei de azot atinse și menținute pe toată durata experimentului. Nivelul temperaturii suprafeței exterioare a conductei în zona de influență a dispozitivului de testare semnalează evoluția grosimii stratului de gheață depus. Cu cât valoarea temperaturii suprafeței exterioare a conductei este mai redusă cu atât grosimea stratului de gheață depus este mai mare, transferul de căldură de la apă la azotul lichid fiind mai anevoios. Creșterea temperaturii apei circulante prin secțiunea de testare de la 17,4 °C la 22,9 °C pe durata experimentului contribuie major la întârzierea procesului de obturare a conductei prin depunerea straturilor de gheață.

După primele 100 de minute, debitmetrul ultrasonic nu mai indică, debitul coborând sub valoarea de 2,5 l/min. Din acest moment, procesul formării dopului de gheață încetinește vizibil, rata de creștere a grosimii straturilor de gheață depuse în timp se reduce cu mult, mai ales în partea superioară a conductei, grosimile straturilor de gheață depuse în partea superioară cresc extrem de puțin în timp în raport cu cele din partea inferioară. Prin urmare reducerea debitului are loc în continuare și după primele 100 de minute însă debitmetrul nu o sesizează.

Creșterea rezistenței hidraulice generată de depunerile de gheață determină doar reducerea debitului nu și o creștere a căderii de presiune pe traseul instrumentat. Căderea de presiune pe zona de influență a dispozitivului va crește doar din momentul opririi curgerii apei și se va datora suprapresiunii generate în amonte de înaintarea peretelui (dopului) de gheață.

5. Concluzii

- experimentul descris a fost și cel mai reușit, orificiul rămas în depunerea de gheață a avut o suprafață de aproximativ 0,22 % din suprafața de curgere a conductei;

- transferul de căldură de la apa circulantă în conductă la volumul de azot lichid din dispozitivul, model experimental, se reduce consistent pe măsură ce grosimea stratului de gheață depus pe peretele interior al conductei crește;

■ reducerea coeficienților de schimb de căldură prin convecție și respectiv, prin conducție este importantă în primele 100 de minute după care continuă să scadă ușor în timp contribuind prin valorile lor reduse la creșterea duratei experimentului;

■ rata diminuării în timp a cantității de căldură cedate volumului de azot lichid din dispozitiv este mai consistentă în primele patru ore și jumătate ale experimentului, după care scade vizibil cu excepția părții superioare amonte unde probabil că ar fi avut loc închiderea traseului dacă nu se epuiza azotul lichid din vasul Dewar;

■ reducerea acestei cantități de căldură favorizează extinderea axială a depunerii de gheață;

■ ratele de creștere a grosimii stratului de gheață (inclusiv asimetria repartizării lor) și evoluția lor în direcție axială, depind de valoarea presiunii pernei de azot și influențează direct procesul de formare a dopului de gheață și implicit, obturarea conductei;

■ cu cât lungimea depunerii de gheață la interiorul conductei, în zona de influență a manșonului, este mai mare cu atât durata închiderii culoarului format în gheață este mai mare;

■ durata calculată a obturării primare cu dop de gheață a conductei orizontale cu Dn 300 în condițiile de realizare a experimentului descris (debit, temperatura apei circulante, modul de injectare a azotului lichid,...) depășește șase ore și 20 de minute.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Kulin, M., Pavel, Al., Voicu, I., Ionescu, N., *Cuantificarea duratei de înghețare a apei în tubulaturi*, Asociația Română de Mecanica Ruperii (ARMR) - Simpozion național de Mecanica Ruperii, Călimănești 1998.
- [2] * * * *Cryostop „International - pipe freezing services”*, documentație de prezentare a serviciilor; 6.03.2004.
- [3] Gyongyoși, T., Valeca, Ș., Doca L., și alții, *Izolarea conductelor orizontale de diametru mare prin înghețare*. Temă de proiectare, R.I. 6838/30.06.2004, SCN Pitești.
- [4] Gyongyoși, T., Valeca, Ș., Constantin L., și alții, *Încercări de formare a dopului de gheață în secțiunea de testare, conductă orizontală străbătută de apă demineralizată*, R.I. 9028/2010, SCN Pitești.

[5] Gyongyoși, T., Valeca, Ș., Puiu, D-tru, ș.a., *Încercări de formare a dopului de gheață la debit minim de apă demineralizată în secțiunea de testare: conductă orizontală cu Dn 300*, R.I.9654/2012, SCN Pitești.

[6] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*. Ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005.

Drd. Ing. Bogdan CORBESCU
Institutul de Cercetări Nucleare Pitești
e-mail: bogdan.corbescu@gmail.com

Dr. Ing. Tiberiu GYONGYOȘI
Ing.Dezv.Tehn.I, Șef colectiv,
Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, membru AGIR
e-mail: tiberiu.gyongyoși@nuclear.ro

Prof. em. Dr.Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU
Departamentul de Mecanica fluidelor, Mașini hidraulice și Ingineria mediului,
Universitatea Politehnica București, membru AGIR
e-mail: valeriu.panaiteescu@yahoo.com