



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
CLUJ NAPOCA, 2018

VIZUALIZARE SECVENȚIALĂ A PROCESULUI DE FORMARE A DOPULUI DE GHEAȚĂ ÎN SECȚIUNEA DE TESTARE A UNEI CONDUCTE DE DIAMETRU MARE Partea I-a

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

SEQUENTIAL VISUALISATION OF THE ICE PLUG DEVELOPMENT PROCESS INSIDE THE TEST SECTION OF A LARGE DIAMETER PIPE - I

The technique of forming controlled ice plugs in pipe-line installations in order to isolate a section from the rest of the circuit is used for carrying out circuit maintenance or repair activities without shutting down the entire installation. Planning an intervention requires an estimation regarding the necessary time and quantity of liquid nitrogen to form an ice plug inside the pipe. They (along with the geometrical characteristics of the ice plug) depend on a series of specific factors. Using a video equipment to visualise the ice plug formation provides useful information regarding the ice layer deposition which can be used to develop a calculus estimation for the required quantity of liquid nitrogen, for the process duration, and on a long term, to improve the freezing device configuration.

The paper then describes the convenience of visualizing the formation of ice plugs by studying the formation of the ice layers on the pipe inner wall.

Key words: isolating a pipe-line section, visualizing the forming of ice layers

Cuvinte cheie: izolarea unui tronson de conductă, vizualizarea depunerii de gheață

1. Introducere

Tehnica de izolare cu dop de gheață rezistent la presiune a unor conducte orizontale de diametru mare este specifică activităților de reparație sau înlocuire a componentelor instalațiilor hidraulice ai căror agenți de lucru sunt în stare lichidă. Principalul avantaj al acestei metode este că activitățile de mentenanță se pot realiza fără a opri întreg sistemul tehnologic afectat. Aplicații curente sunt: reparația conductelor, înlocuirea valvelor, testarea la scurgeri și presiune, protecție secundară în unele centrale nucleare-electrice, [1].

Formarea dopului de gheață în interiorul unei conducte umplute cu apă presupune circulația de azot lichid în interiorul unui manșon de oțel care învelește conducta. Agentul frigorific extrage căldura din pereții manșonului, din peretele conductei și din lichidul circulat în conductă. Căldura absorbită de azotul lichid evaporază o parte din azot și este transportată spre exteriorul dispozitivului de azotul gazos care iese din manșon. Transferul de căldură și masă are ca rezultat scăderea temperaturii apei și depunerea gheții în straturi succesive pe peretele conductei, concomitent cu reducerea debitului de apă până la obturarea completă a secțiunii de curgere prin formarea dopului de gheață. Din momentul în care s-a realizat oprirea stabilă a curgerii, formarea dopului de gheață continuă pe direcție axială, spre capetele corespunzătoare poziției manșonului de înghețare mărinđ presiunea în amonte de dispozitivul de înghețare, [2].

Planificarea activității de intervenție presupune estimarea timpului și a cantității de azot lichid necesare pentru obturarea cu dop de gheață a conductei. Acestea, precum și caracteristicile geometrice ale dopului de gheață depind de o serie de factori specifici, [1], [3]:

- lichidul vehiculat;
 - nivelul temperaturii de lucru a lichidului;
 - punctul de înghețare (presiune, temperatură) propriu-zis;
 - dimensiunile segmentului de conductă supusă intervenției,
- temperatura inițială a lichidului;
- curenții de convecție din lichid și debitul de curgere;
 - poziția în spațiu a conductei (verticală, orizontală sau înclinată);
 - distanțele până la primele restricții ale curgerii;
 - temperatura mediului ambiant;
 - viteza de intrare a azotului în compartimentul dispozitivului criogenic.

În general, o conductă prin care curge apă se poate obtura complet cu un dop de gheață cu atât mai repede cu cât diametrul acesteia este mai mic, respectiv debitul apei și temperatura sa inițială, ambele, sunt mai reduse.

O evaluare inițială a timpului necesar acestui lucru se poate obține (și) pe cale teoretică.

Implementarea unor echipamente de urmărire a formării dopului de gheață în interiorul conductei, în zona de influență a manșonului, furnizează informații importante asupra procesului de depunere a straturilor de gheață în interiorul conductelor instalațiilor de alimentare cu apă și a configurației geometrice a dopului de gheață obținut.

Datele culese sunt utile construirii unor modele de calcul necesare estimării inițiale a necesarului de azot lichid și a duratei acțiunii de obturare a conductei, precum și controlării proceselor de formare și menținere a dopului până la finalizarea activității de mentenanță solicitată iar pe termen lung, pentru îmbunătățirea configurației dispozitivului de formare dop de gheață în funcție de cerințele aplicației propriu-zise și pentru dezvoltarea de tehnologii destinate unor aplicații ce includ conducte orizontale de mari diametre (de până la Dn 800), [4].

În acest sens, s-a luat hotărârea folosirii unei camere video endoscopice pentru care s-a realizat o capsulă metalică de etanșare pentru a-i asigura o protecție suplimentară la presiunea de lucru din interiorul conductei.

2. Descrierea facilităților tehnologice experimentale

Cele două secțiuni de testare având dispozitivele criogenice montate pe conducta orizontală cu Dn 200 sunt componente ale unei bucle experimentale în circuit deschis. În circuitul buclei experimentale se identifică o pompă de circulație, un ansamblu de conducte și armături, și un rezervor de apă de umplere-golire, figura 1.

Pentru a urmări modificările generate de formarea dopului de gheață, cele două secțiuni de testare orizontală (ST1 și ST 2) sunt încadrate de prize de presiune, parte a unui circuit de măsură și supraveghere a căderii de presiune.

Dispozitivul de formare a dopului de gheață pentru obturarea tronsonului de conductă orizontală de diametru mare, este practic un manșon dublu compartimentat alcătuit prin îmbinarea etanșă a două semicoliere: semicolier superior 8 și semicolier inferior 2, figura 2, [5].

După montajul semicolierelor dispozitivului pe exteriorul conductei (1), în zona unde se dorește să se formeze dopul de gheață se realizează practic un compartiment inelar 4 destinat azotului lichid.

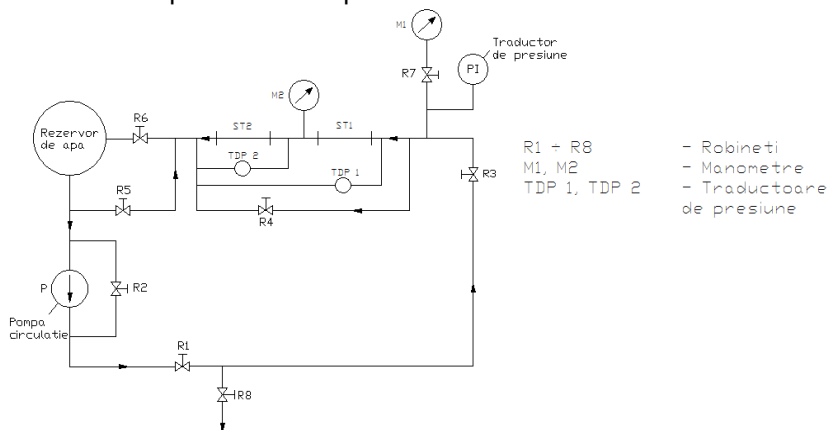


Fig. 1 Bucla experimentală – schemă de principiu

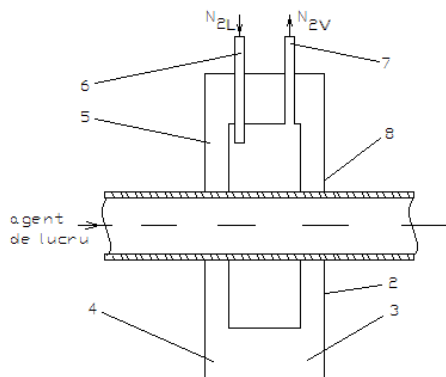


Fig. 2. Dispozitiv pentru formare dop de gheață

Compartimentul pentru azot lichid 4 este izolat termic în exterior de compartimentele vidate 5 și 3 înglobate fiecare în semicolierile 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 se realizează prin ștuțul 6, la nivelul semicolierului superior 8. Transvazarea azotului lichid N_{2L} de la rezervorul cu azot lichid la ștuțul central se realizează cu racorduri

speciale, în furtun de presiune. Dispozitivul este prevăzut cu un orificiu de evacuare a vaporilor de N_{2v} în partea superioară a semicolierului superior, [6].

În configurația actuală, primul dispozitiv se află montat pe secțiunea de testare I, la d_1 mm de capătul flanșei amonte. Cel de-al doilea dispozitiv se află montat în aval, pe secțiunea de testare II, la d_2 mm de capătul flanșei (aval), [5].

3. Descrierea experimentului



Fig. 3 Zona experimentală

Testul descris a vizat izolarea a două tronsoane de conductă având Dn 200 cu două dopuri de gheață realizate unul după altul, fără circulația agentului de lucru în interiorul secțiunii de testare, figura 3. Experimentul curent vizează formarea dopului de gheață amonte și abia apoi a celui aval, pentru a se putea realiza descărcarea presiunii apei cuprinse între cele două restricții.

Prin instalarea camerei de filmat în interiorul conductei cu Dn 200 aval de ST2 se urmărește monitorizarea evoluției dopului de gheață ca

un rezultat al modului în care s-a realizat injectarea azotului lichid în interiorul dispozitivului criogenic și identificarea momentului formării primare a dopului de gheață. Datele colectate sunt utile pentru evaluarea necesarului de azot lichid pentru fiecare aplicație în parte, [7]. Temperatura apei demineralizate în secțiunea de testare a avut valoarea de $11,4$ °C, în timp ce aerul a avut o temperatură de $10,5$ °C în momentul pornirii testului, [8].

S-a început experimentul cu o presiune de injectare a azotului lichid în circuitul de alimentare al celor două dispozitive de formare dop de gheață având valoarea de p_1 (bar). După un minut, pe ștuțul de evacuare a dispozitivului criogenic aval se poate observa o coloană de

vapori de azot din ce în ce mai densă ce semnalizează începutul transferului de căldură de la apa din interiorul conductei înspre azotul lichid din dispozitiv. După încă un minut procesul se poate observa și în cazul dispozitivului aval.

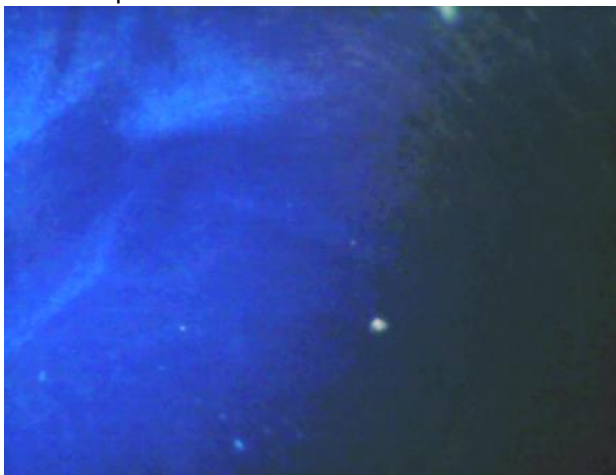


Fig. 4 Particule de gheață la 26 min. de la începutul experimentului

După 12 minute de la startul testului se coboară presiunea de injectare a azotului lichid la p_2 (bar), valoare atinsă după încă 7 minute. După două minute s-a deschis robinetul vasului Dewar pentru a crește viteza de injectare a azotului spre p_3 (bar) (valoare atinsă după alte

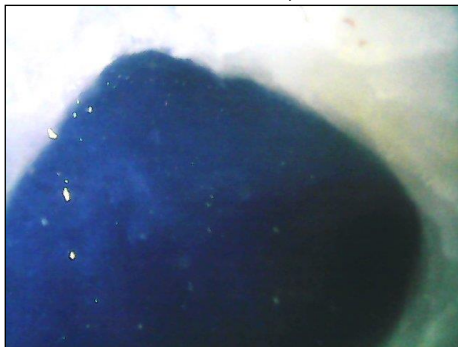
două minute), ce a fost menținută până la finalul experimentului.

La ~ 26 de minute de la începutul experimentului, în interiorul conductei în zona de influență a dispozitivului criogenic se poate observa din înregistrare apariția unor turbulențe în apă purtând particule fine de gheață (zai), figura 4. Temperaturile măsurate de sistemul de achiziție Hydra erau de: $-13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea superioară a intrării în manșon, $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea inferioară, iar la ieșirea din manșon: $2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea superioară și $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ în cea inferioară.

La ~ 30 de minute de la începutul experimentului, temperaturile măsurate pe peretele exterior al conductei, înainte și după dispozitivul aval, au coborât sub $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea superioară a intrării în manșon, $-12,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea inferioară, iar la ieșirea din manșon: $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea superioară și $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ în cea inferioară.

După 33 de minute de la începutul injectării azotului lichid în circuitul de alimentare al celor două dispozitive criogenice, gheața depusă pe peretele interior al conductei cu Dn 200 are forma prezentată în figura 5.

Unghiul mic de captură al camerei de filmat (45°) nu a permis vizualizarea depunerilor de gheață la nivelul peretelui conductei. În acest prim test s-a vizat testarea echipamentului pe durata experimentului în condițiile de vizibilitate scăzută din conductă; prin



poziționarea camerei la o distanță mai mare de zona de influență a manșonului exista posibilitatea ca vizualizarea dopului să nu se mai poată face în condițiile de lucru din interiorul conductei secțiunii de testare.

Fig. 5 Depuneri de gheață pe peretele conductei cu Dn 200, la ~ 33 min. de la începutul experimentului

Dopul de gheață amonte s-a format primar după ~ 57 minute de la începutul experimentului.

Momentul formării primare a dopului a fost semnalat de creșterea căderii de presiune pe ST I, căderea de presiune rezultată din calcul funcție de valorile presiunilor măsurate amonte și aval de dispozitivul aval a atins până la sfârșitul experimentului ~ 32,1 bar (în ~ 39 de minute de la obturarea secțiunii conductei: formarea primară a dopului de gheață).

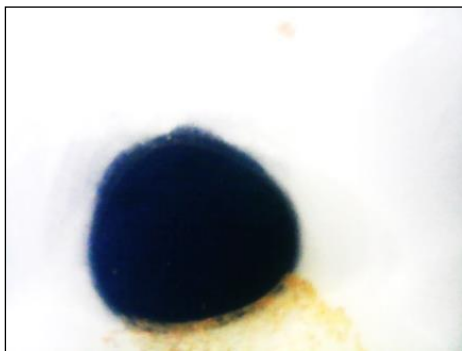


Fig. 6 Dopul de gheață, la ~ 57 min. de la începutul experimentului

În acest moment, temperaturile măsurate în zona dispozitivului criogenic aval sunt: $-39,9^{\circ}\text{C}$ în partea superioară a intrării în manșon, $-50,4^{\circ}\text{C}$ în partea inferioară, iar la ieșirea din manșon: $-15,4^{\circ}\text{C}$ în partea superioară și $-32,5^{\circ}\text{C}$ în cea inferioară.

Depunerile de gheață s-au mărit considerabil, figura 6.

Cu ~24 de minute mai târziu s-a putut vizualiza momentul formării primare a dopului de gheață aval (însoțit de creșterea valorilor înregistrate de TDP 2), ce a fost marcat de următoarele nivele de temperatură pe peretele exterior al conductei de testare: $-54,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea superioară a intrării în mașon, $-68,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea inferioară, iar la ieșirea din mașon: $-35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea superioară și $-51,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ în cea inferioară, figura 7.

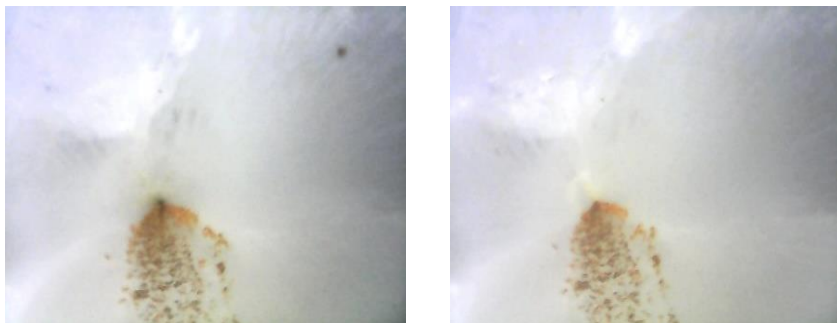


Fig. 7 Momentul formării primare a dopului de gheață aval

După formarea primară a dopului aval, experimentul a continuat pe o durată de 40 minute, timp în care depunerile de gheață au continuat să crească rapid atât înspre amonte cât și înspre aval.

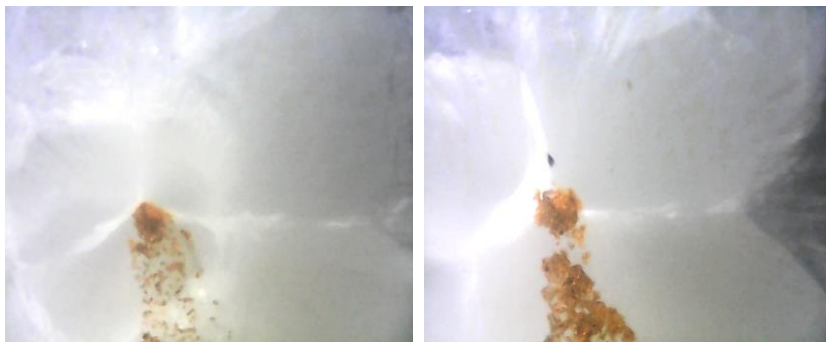


Fig. 8 Dopul de gheață aval după 90 min de la începutul testului

Fig. 9 Dopul de gheață aval la finalul experimentului

Creșterea dimensiunilor dopului înspre amonte este indicată de creșterea valorilor înregistrate de manometrele M2 și TDP 1 (din figura 1), iar creșterea dimensiunilor înspre aval este însoțită de creșterea valorilor înregistrate de TDP 2 și este vizualizată de camera de filmat, figurile 8 și 9.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Doca, C., *Asupra timpului de obturare, prin înghețare criogenică, a unei conducte umplute cu apă*. A XVII-a Conferință Națională cu participare internațională "Progrese în criogenie și separarea izotopilor", 26 -28 octombrie 2011, Călimănești-Căciulata, Vâlcea.
- [2] Corbescu, B., Gyongyoși, T., Puiu, D., Panaitescu, V.N., *O încercare de obturare cu dop de gheață a unui tronson de conductă orizontală (DN 300 mm) străbătut de apă demineralizată*, A XVI-a Conferința internațională multidisciplinară „Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”. Sebeș – Alba, 10-11 iunie 2016. Știință și inginerie. Vol. 29/2016, ISSN 2067-7138, Editura AGIR, București, 2016, pp. 483-492.
- [3] Gyöngyösi, T., Valeca, Ș., *Încercări de formare a dopului de gheață în secțiunea de testare, conductă orizontală străbătută de apă demineralizată*. ICN Pitești - R.I. Nr. 9028 /2010.
- [4] Corbescu, B., Gyöngyösi, T., *Posibilitatea implementării unui sistem de analiză video a formării dopului de gheață în secțiunea de testare, conductă orizontală cu Dn 200 mm. Proiectare*. ICN Pitești - R.I. Nr. 10646/2015.
- [5] Corbescu, B., Gyöngyösi, T., *Implementarea unui sistem de analiză video a formării dopului de gheață (aval) în secțiunea de testare, conductă orizontală cu Dn 200. Finalizare execuție model experimental și montaj*. ICN Pitești - R.I. Nr. 11020/2016.
- [6] Corbescu, B., Puiu, D., Gyongyoși, T., Panaitescu, V.N., *Elemente de calcul al necesarului de azot pentru izolarea cu dop de gheață a unei conducte orizontale de diametru mare*. A XVII-a Conferință internațională multidisciplinară „Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”. Sebeș – Alba, 2-3 iunie 2017. Știință și inginerie. Vol. 30/2017, ISSN 2067-7138, Editura AGIR, București, 2017, pp. 167-174.
- [7] Corbescu, B., Gyongyoși, T., *Încercări de vizualizare secvențială a procesului de formare a dopului de gheață în secțiunea de testare i, conductă orizontală cu dn 200 utilizând sistemul de analiză video*. ICN Pitești - R.I. Nr. 11389/2017.
- [8] Gyongyoși, T., *Încercări de izolare a unui tronson de conductă cu apă demineralizată, în regim staționar, prin formarea a două dopuri de gheață în*

conducta orizontală cu Dn 200 pentru primul mod de alimentare cu azot lichid al celor două dispozitive, ICN Pitești – R.I. Nr. 11591 / 2017.

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

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

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