مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (2) 2012

استخدام الأنابيب البوليميرية في أنظمة التدفئة

الدكتور أيوب حسن *

(تاريخ الإيداع 21 / 11 / 2011. قُبِل للنشر في 18/ 3 / 2012)

□ ملخّص □

يتضمن هذا البحث دراسة استخدام الأنابيب البوليميرية – المعدنية في أنظمة التدفئة الكبيرة، حيث من المعلوم أن الأنابيب البوليميرية تستخدم في أنظمة التدفئة ذات الأحمال الحرارية الصغيرة، وفي مجال التجهيزات والدارات الحرارية الأخرى. وهذا يقود عموماً إلى أن القيم الحرارية االنوعية الخطية للأنابيب البوليميرية – المعدنية، ستكون أكبر بحدود %(15..-13..) من القيم الحرارية النوعية العائدة للأنابيب البوليميرية لوحدها، وتقود هذه الحالة إلى إنقاص فعّالية غرفة التدفئة عند استخدام موانع التسرب البوليميرية المفتوحة. نشير هنا إلى أنه حتى ولو تم وضع هذه الأنابيب في أقنية خاصة، فإن الفائدة التي نحصل عليها ضمن العمر الزمني للاستخدام، لا تعوض النفقات المصروفة على بناء هذه الأقنية. ومن المعلوم أنه عند استخدام الأنابيب المصنوعة من البوليميرات مع المعدن فإن الخواص النوعية الخطية لها ستكون أكبر مما هي عليه للأنابيب الفولاذية بحدود 2.5 إلى 3 مرات، وبالتالي سيؤخذ ذلك وبشكلً أكيد بالحسبان عند تصميم مشروع التدفئة. وقد تبين ازدياد قيمة التيار الحراري المنقول بالأنابيب المذكورة، بحدود 50% مقارنة مع الأنابيب التقليدية، خصوصاً عند توافر وسائل العزل ذات الكفاءة الجيدة.

الكلمات المفتاحية : أنابيب بوليميرية– تدفئة– انابيبب بوليميرية – معدنية –نظمة التدفئة

* أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين، اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (2) 2012

Using Polymers Pipe In Heating System

Dr. Ayuob Hasan *

(Received 21 / 11 / 2011. Accepted 18 / 3 / 2012)

□ ABSTRACT □

This paper includes studying the use of polymer- metals pipes in the larg heating systems, while it is known that the polymers pipes are used in heating systems that have small heat potential, and the domin of heating equipments.

It generally means that the values of the liner spiesific heat of the potymer-metal pipes, will be bigger in about (13-15) % than the polymer pipes only.

If those pipes were putt in special canals, the usefulness that we get donot harmonise with the expenses of building these canals in averge its time use.

It is known that while using the polymer- metals pipes, the liner specific properties woud be larger than the liner specific properties of the steel pipes na 2.5–3 times, which need to be considred while designing a heating project. It appears that the values of heat transferred stream of polymer–metal pipes are rising on (50) % compared to the steel pipes, property, if we are using sufficiency insulation.

Keywords: polymer pipe, heating, polymer- metals pipe, heating system

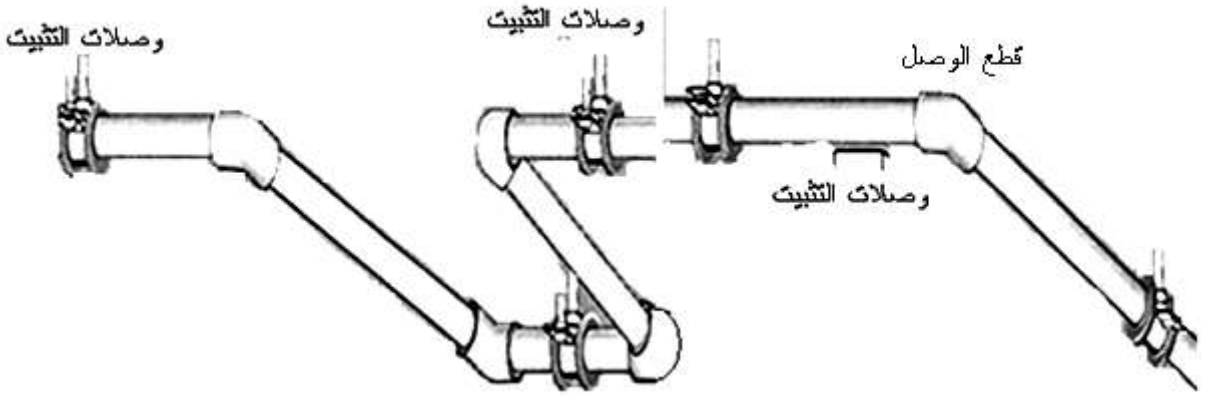
* **Assistant Professor, Power Mechanical Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

ظهر في الأعوام القليلة الماضية وفي جميع أنحاء العالم الاستخدام الواسع للأنابيب البوليميرية، في أنظمة التدفئة (أنابيب بولميرية بشكل أحادي، أو بوليمرات مع معدن). ومن المعلوم أن درجات الحرارة الحدية المستخدمة في أنظمة التدفئة لا تزيد عن $90°C$، حيث يمكن تصنيع أنابيب بوليميرية تلبي الحاجة من أجل درجة الحرارة والضغط المطلوبين لنقل الحرارة في هذه الأنظمة، وتملك تلك الأنابيب مواصفاتٍ وأشكالٍ محددةٍ، وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الأشكال، وكقاعدة عامة ترتبط بخصوصية نظام التدفئة بالماء الساخن، حيث يتطلب ذلك ثباتاً لكل من درجات الحرارة والضغط ضمن الأنابيب ولكامل نظام التدفئة، وكما هو معروف فإن هذه العوامل تكون متغيرة، ولهذا السبب فإن الأشكال المتوفرة من هذه الأنابيب لا تلبي متتطلبات استخدامها في انظمة التدفئة بشكلٍ كامل مما يستدعي التحول إلى أنواع أخرى وجديدة من الأنابيب .[1], [2].

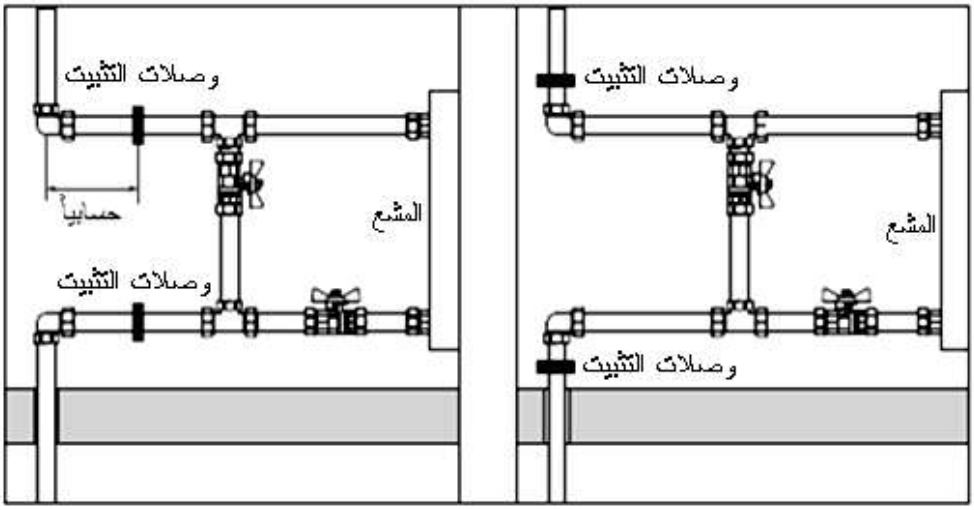
أهمية البحث وأهدافه:

إن مسألة تعديل الخواص الحرارية الخطية النوعية للبولميرات في أنظمة التدفئة تتعقد عند استعمالها في محطات توليد الطاقة، ففي مثل الأنظمة التعويضية التقليدية وعلى سبيل المثال السيلوفان، حيث تستخدم وفي الشروط الطبيعية (في أنابيب التصريف وجر المياه وغيرها) والتي لا تكفي حساباتها للحصول على الخواص الحرارية الخطية النوعية للأنابيب البويميرية ويظهر الشكلان (1) و(2) الحلول المقترحة، وقطع الوصل والإغلاق والتحويل لأحد أنابيب نظام تدفئة مصنع من البوليمرات عند استخدامها كنواقل حرارية..



الشكل(1) تركيبة أنبوب بولميري يستخدم كناقل حراري

لكن تجدر الإشارة هنا إلى أنه عند استخدام الأنابيب البوليميرية كنواقل حرارية في مجال التدفئة المركزية، يتم اعتماد مجال درجات حرارة تشغيلية للنظام صغيرة، مثل $^0C(65 - 75)$ بدلاً من المجال $^0C(70 - 90)$ في مجال المباني السكنية. يتم العمل في المشاريع الكبيرة على استخدام النواقل الحرارية المصنوعة من الأنابيب البوليميرية، ومن البوليميرات ذات معاملات توصيل حراري منخفضة، حيث تلعب دور العازل الحراري. ومن هنا تأتي أهمية البحث في دراسة استخدام نوع جديد من الأنابيب في أنظمة التدفئة، بهدف تقليل الضياعات الحرارية، وتحسين أداء هذه الأنظمةٍ بعامة.



الشكل(2) انتاج ملحقات المشع والأنابيب من البوليميرات – المعدن لمجموعة تدفئة بعنفة واحدة

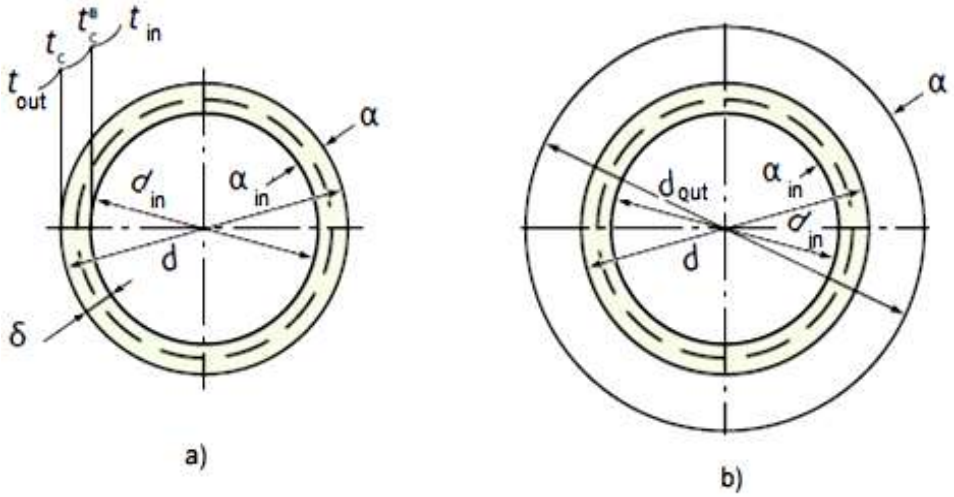
طرائق البحث ومواده

نعتمد في هذا البحث طريقة التحليل العلمي لمسألة انتقال الحرارة باستخدام وسيط ما كناقل حراري مناسب، وإجراء الحسابات الملائمة، لتغطية الأحمال الحرارية المطلوبة في دارات التدفئة عن طريق استخدام أنواع جديدة من الأنابيب لنقل هذا الوسيط، وتحليل العوامل المؤثرة من خلال تجارب تركيب وتجميع تلك الدارات، واستثمارها عملياً لفترات طويلة.

ولهذ السبب فإننا نقوم بحساب التيار الحراري المار عبر أنبوب مؤلف من جدار أسطواني مصنوع من مادة البوليميرات – معدن كما في الشكل(3) بالاعتماد على الدراسة الحرارية (الإيصالية الحرارية). [3]

من المعروف أن معامل الموصلية الحرارية لأنبوب مصنوع من الألمنيوم تبلغ قيمته $205W/m.K$، وهذه القيمة تزيد كثيراً عن قيمة معامل الموصلية الحرارية للمادة البوليميرية (البولي إتيلين في مثالنا) والتي تبلغ $0.45W/m.K$، الذي يصنع بتقنية ما كأنبوب واحد يؤمن التلامس الجيد بين المواد المشكلة من البولميرات والألمنيوم، والذي يمكن اعتماده كأنبوب ناقل حراري بقطر داخلي d_{in}، وبقطر خارجي d وبسماكة δ، ويملك معامل موصلية حرارية قيمته ثابتة ومقدارها $0.45W/m.K$، يمر الماء عبر الأنبوب بدرجة حرارة t_{in} حيث إن فعّالية انتقال الحرارة من الماء إلى السطح الداخلي لجدار الأنبوب عند درجة حرارة معينة، تتحدد من خلال معامل انتقال الحرارة الداخلي للماء α_{in} والذي يبلغ قيماً تتراوح ضمن المجال $\alpha_{in}=(500-3000)W/m^2.K$ وذلك حسب سرعة جريان الماء داخل الأنبوب، أما من الجهة الخارجية فتتحدد هذه الفعّالية بمعامل انتقال الحرارة الخارجي α والذي تتحدد قيمته تبعاً لدرجة حرارة الجدار t_{out}، ويمثل مجموع عاملي انتقال الحرارة من التيار الحراري بالحمل والاشعاع من السطح الخارجي إلى الهواء عند درجة حرارة الهواء الخارجية t_{air}، وتبلغ قيمته عموما ضمن الحدود $\alpha_{air}=(14-18)W/m^2.K$، يتحدد التيار الحراري المار من الأنبوب الذي طوله L(m) بالعلاقة:

$$Q=\frac{2\pi\lambda L(t_{air}-t_w)}{2.3\lg(d/d_{in})}=\frac{\pi L(t_{air}-t_w)}{(1/\alpha d)+(1.15/\lambda)\lg(d/d_{in})+(1/\alpha_{in}.d_{in})} \qquad (1)$$



الشكل(3) مخطط لأنبوب (بولميري – معدن) لحساب الإيصالية الحرارية عبر جدار اسطواني (الأنبوب مصنوع من الألمنيوم – مع غلاف بوليميري مشار إليه بخط متقطع) a – بدون عازل حراري . b – مع عازل حراري.

يمكننا، وبمساعدة العلاقة (1) إجراء التقييم التقريبي للضياعات الحرارية من أنبوب بوليميري في مثالنا. فمن أجل فرق حراري $\Delta t = t_{in} - t_{air} = 70°C$، ولأنبوب طوله $L = 1m$، وقطراه الداخلي والخارجي على التوالي، وعوامل انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع $d = 0.02m,\ d_{in} = 0.016m$ ومن أجل معامل موصلية حرارية للمادة البوليميرية $\alpha_{out} = 15W/m^2.K,\ \alpha_{\text{int}} = 1000W/m^2.K$ $\lambda = 0.45W/m.K$، وباعتماد المعادلة (1) تكون كمية الحرارة المفقودة $Q = 60.4W$، الأمر الذي يظهر التطابق عملياً، مع التبادل الحراري عبر أنبوب فولاذي محاط بالزيت ولمختلف أصناف التدفئة.[5],[4]

يتبين من المثال أعلاه أن المقاومة الحرارية الأساسية المؤثرة في التبادل الحراري هي المقاومة الحرارية الخارجية، وأن المقاومة الحرارية للأنابيب البوليميرية تكون صغيرة، وبغض النظر عن صغر معامل التوصيل الحراري لهذه الأنابيب التي لا تزيد عن 10% من المقاومة الحرارية الإجمالية. وعليه يمكن إهمال تأثير معامل انتقال الحرارة الداخلي α_{int}، وبذلك نعتبر أنه ومن أجل أقطار الأنابيب للحالة المدروسة فإن انتقال الحرارة عملياً لايرتبط بمواصفات نظام تدفق ماء التدفئة. ومن أجل استخدام عوازل حرارية تأخذ العلاقة (1) الشكل التالي:

$$Q = \frac{\pi L(t_w - t_{air})}{(1/\alpha d_{ins}) + (1.15/\lambda)\lg(d/d_{in}) + (1.15/\lambda_{ins})\lg(d_{ins}/d) + (1/\alpha_{in}.d_{in})} \quad (2)$$

حيث إن:(m) d_{ins} القطر الداخلي للعازل الذي يتطابق مع القطر الخارجي للأنبوب.

$\lambda_{ins}(W/m.K)$: معامل الموصلية الحرارية للعازل.

تعتبر العلاقة (2) صحيحة من أجل شروط التلامس المثالية بين السطح الخارجي للأنبوب والسطح الداخلي للعازل. أما إذا كان التماس بين السطحين مخالفاً لذلك فإن الطبقة الهوائية بينهما تلعب دوراً هاماً كطبقة عازلة إضافية.

دلت الحسابات التي تم إجراؤها وفقاً للعلاقة (2) والعائدة إلى الأنبوب البوليميري، إلى أن فعالية العازل الحراري بلغت حدود الـ 50% من أجل معامل موصلية حرارية للعازل قيمته $\lambda_{ins} = 0.05\ (W/m.K)$ وبلغت بحدود 70% من أجل معامل موصلية للعازل قيمته $\lambda_{ins} = 0.1\ (W/m.K)$، وهذا يظهر أنه في هذه الحالات يدخل إلى االتبادل الحراري للأنبوب معامل انتقال حراري بحدود 0.5 أو 0.7 ويدل ذلك على علاقة ضعيفة للعازل الحراري،

وارتباطاً مع ذلك فإنه عند زيادة سماكة الطبقة العازلة يتناقص معامل انتقال الحرارة الكلي بين الماء والهواء، ولكن بالمقابل تزداد مساحة سطح التبادل الحراري F وفقاً للنسبة d_{ins} / d .

تتفق نتائج تجريب هذه الأنابيب من أجل مختلف أنواع العوازل الحرارية، ونؤكد هنا، أنه عندما لا يكون التلامس بين سطح الأنبوب وسطح الطبقة العازلة مثالياً، فإن الغشاء الهوائي يحسن من فعاليته كما اشرنا، إضافةً لذلك فإن فاعّلية المادة العازلة تكون بحدود 40% أي أنها تمثل حاصل ضرب درجة حرارة الأنبوب بمعامل ليس أقل من 0.4.

إن مسألة تحديد العاملين α_{in} , α تعدّ عملية معقدة جداً، حيث تأخذ الحسابات وفقاً للعلاقتين (2),(1) بالأعتبار جميع العوامل الضرورية ومن أجل مختلف الشروط في ظروف ثبات درجة حرارة المكان، وبالاعتماد على الأنظمة الحرارية والتجهيزات الحرارية المطلوبة .[6] ،[5]

النتائج والمناقشة:

نورد في الجدول (1) النتائج التي تمَّ الحصول عليها، والتي تتفق مع نتائج المرجع [5] وتمثل علاقة التدفق الحراري لواحدة طول الأنبوب $q\ (W/m)$، بفرق درجات الحرارة $\Delta t\ ^\circ C$، لحالة توضع أفقي لأنبوب مكشوف وعلى ارتفاع 100mm من الأرض. أما في الجدول (2) فيعرض تلك النتائج من أجل أنبوب شاقولي مكشوف على بعد 25mm من الجدار.

عند تجريب أنابيب بوليميرية بأقطار مختلفة تبيَّن أن الفرق بين التيار الحراري للأنابيب ذات التوضع الأفقي، وتلك ذات التوضّع الشاقولي لايزيد عن %(17−11) ، بينما كان هذا الفرق من أجل الأنابيب الفولاذية بحدود −25) %(28، الأمر الذي يوضح الانحراف الزائد بعض الشيء لانتقال الحرارة من الأنابيب البوليميرية – المعدنية الشاقولية، بنتيجة التشوه غير الكبير من جراء زيادة درجات الحرارة، وكما تبين أن هذه الزيادة تكون أكبر مما هي عليه بالنسبة للأنابيب الفولاذية ذات التمدد الخطي. والتدفق الحراري الخطي المتوسط للأنبوب $q\ (W/m)$ يرتبط بفرق درجات الحرارة $\Delta t\ ^\circ C$ بعلاقة آسية من الدرجة 1.2 وفقاً للعلاقة:

$$Q = C(\Delta t / 70)^{1.2} \qquad W/m \quad (3)$$

حيث C: ثابت يطبق من أجل مختلف أقطار الأنابيب ارتباطاً مع مختلف الاحتمالات (..1,2, 0) وفقاً للجدولين(1) و (2) ويقدر بالـ (W/m) من أجل فرق حراري معياري مقداره $\Delta t = 70\,^\circ C$.

Δt : فرق درجات الحرارة الوسطية بين درجة حرارة الوسيط الناقل للحرارة ضمن الأنبوب ودرجة حرارة الهواء التصميمية للغرفة $^\circ C$.

يمثل الرقم 70 ، الفرق المعياري لدرجة الحرارة بالـ $^\circ C$.

الجدول(1) التيار الحراري الخطي لـ (1m) من طول أنبوب بولميري – معدني متوضع أفقياً ومكشوف

d_{in}/d_{out} mm	d mm	Δt °C	التيار الحراري الخطي $q\,(W/m.°C)$ لـ (1m) من طول الأنبوب من أجل فرق في درجات الحرارة مقداره 1 °C									
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
12/16	16	30	28.2	27.3	26.4	25.6	24.7	23.9	23.0	22.2	4.21	5.20
16/20	20		34.0	33.0	31.9	30,9	29.9	28.8	27,8	26.8	25,8	24,8
20/25	25		40.3	39.1	37.8	36,6	35.4	34.2	33,0	31.8	30.6	29.4
12/16	16	40	37.0	36.1	35.2	34,3	33.4	32.5	31,6	30.8	29.9	29.0
16/20	20		44.7	43.6	42.5	41,4	40.4	39.3	38,2	37.2	36.1	35.0
20/25	25		53.0	51.7	50.4	49,1	47.8	46.6	45,3	44.0	42.8	41.5
12/16	16	50	46.3	45.3	44.4	43,4	42.5	41.6	40,7	39.8	38.8	37.9
16/20	20		55.9	54.7	53.6	52,5	51.4	50.2	49,1	48.0	46.9	45.8
20/25	25		66.2	64.9	63.5	62,2	60.9	59.5	58,2	56.9	55.6	54.3
12/16	16	60	55.8	54.9	53.9	52,9	52.0	51.0	50,0	49.1	48.2	47.2
16/20	20		67.4	66.2	65.1	63,9	62.8	61.6	60,4	59.3	58.2	57.0
20/25	25		79.9	78.5	77.1	75,8	74.4	73.0	71,6	70.3	68.9	67.6
12/16	16	70	65.7	64.7	63.7	62,7	61.7	60.7	59,7	58.8	57.8	56.8
16/20	20		79.3	78.1	76.9	75,7	74.5	73.3	72,1	71.0	69.8	68.6
20/25	25		94.0	92.6	91.2	89,7	88.3	86.9	85,5	84.1	82.7	81.3
12/16	16	80	75.8	74.8	73.7	72,7	71.7	70.7	69,7	68.7	67.7	66.7
16/20	20		91.5	90.3	89.0	87,8	86.6	85.4	84,2	82.9	81.7	80.5
20/25	25		108.4	107.0	105.5	104,1	102.6	101.2	99,7	98.3	96.9	95.4

من المهم الإشارة هنا إلى أنه كلما كان القطر الخارجي للأنبوب الناقل للوسيط الحراري أصغر كلما كان الفرق في عملية انتقال الحرارة بين الأنابيب البوليميرية بوضعيها الأفقي والشاقولي أقل.

تحسب عملياً قيم التيار الحراري المفيد للأنابيب البوليميرية – المعدنية المكشوفة المتوضعة أفقياً وشاقولياً بمعدل %(100 – 50) من القيم الواردة في الجدولين (1) و (2).

عند استخدام أنبوب أفقي مكشوف تحت السقف، ينصح بأخذ قيمة التيار الحراري بحدود %(80 – 70) من قيمته المتوسطة.وعند استخدام انبوب بوليميري شاقولي محجوب بستارة معدنية، فإن التيار الحراري الإجمالي ينخفض بحدود 25%. في هذه الحالة وعند إخفاء الأنبوب المصفح بالمعدن في أرض كتيمة، يمكن اعتبار أن التيار الحراري الكلي ينقص بحدود 50% ، أما عند إخفاءه في مكان معرض للتهوية فيزداد التيار الحراري بحدود 10%.

الجدول(2) التيار الحراري الخطي لـ (1m) طولي من انبوب بوليميري – معدني مكشوف متوضع بشكل شاقولي.

d_{in}/d_{out} mm	d mm	Δt °C	التيار الحراري الخطي $q\,(W/m.°C)$ لـ (1m) من طول الأنبوب من أجل فرق في درجات الحرارة مقداره 1 °C									
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
12/16	16	30	25.3	24.6	23.8	23.0	22.2	21.5	20.7	20.0	19.2	18.5
16/20	20		29.9	29.0	28.1	27.2	26.3	25.4	24.5	23.6	22.7	21.8
20/25	25		34.6	33.6	32.5	31.5	30.4	29.4	28.4	27.3	26.,3	25.3
12/16	16	40	33.3	32.5	31.7	30.9	30.1	29.3	28.5	27.7	26.9	26.1
16/20	20		39.3	38.4	37.4	36.5	35.5	34.6	33.6	32.7	31.8	30.8
20/25	25		45.6	44.4	43.3	42.2	41.1	40.0	39.0	37.9	36.8	35.7
12/16	16	50	41.6	40.8	40.0	39.1	38.3	37.4	36.6	35.8	35.0	34.1
16/20	20		49.2	48.2	47.2	46.2	45.2	44.2	43.2	42.2	41.3	40.3
20/25	25		56.9	55.8	54.6	53.5	52.3	51.2	50.1	48.9	47.8	46.7
12/16	16	60	50.2	49.4	48.5	47.6	46.8	45.9	45.0	44.2	43.3	42.5
16/20	20		59.3	58.3	57.3	56.2	55.2	54.2	53.2	52.2	51.2	50.2
20/25	25		68.7	67.5	66.3	65.2	64.0	62.8	61.6	60.4	59.3	58.1
12/16	16	70	59.1	58.2	57.3	56.4	55.5	54.6	53.8	52.9	52.0	51.1
16/20	20		69.8	68.7	67.7	66.6	65.6	64.5	63.5	62.4	61.4	60.4
20/25	25		80.8	79.6	78.4	77.2	76.0	74.7	73.5	72.3	71.1	69.9
12/16	16	80	68.2	67.3	66.4	65.4	64.5	63.6	62.7	61.8	60.9	60.0
16/20	20		80.5	79.4	78.4	77.3	76.2	75.1	74.1	73.0	71.9	70.8
20/25	25		93.3	92.0	90.8	89.5	88.3	87.0	85.8	84.5	83.3	82.1

يزداد التيار الحراري الإجمالي لأنبوب مفرد، متوضع في الجدران بين طابقين مدفأين، ومحاط بالبيتون المتراص حيث $(\lambda \geq 1.8\ W/m.K,\quad \rho \geq 200kg/m^3)$ بمعدل 2.2 مرة، بالمقارنة مع حالة التوضع المكشوف، وتكون قيمة التيار الحراري المفيد عند توضع الأنبوب على بعد 30cm من الجدار الخارجي أقل، وتبلغ بحدود 95% من القيمة الإجمالية.

يزداد التيار الحراري الإجمالي من أنبوب مفرد محاط خارجياً بالبيتون المسلح، والذي يملك الخواص التالية $[\lambda_{cem} \geq 1.8W/m.K.\ \rho_{cem} \geq 2000kg/m^3]$ بمعدل 1.8 مرة، بينما يبلغ التيار الحراري الناتج عن استخدام العزل الحراري بين الأنبوب، والجدار المحيط بحدود 90% من القيمة الاسمية.

عند تغطية أنبوب مفرد بواسطة طبقة من البيتون غير المسلح، فإن قيم معامل التصحيح الذي يجب اعتماده لحساب التيار الحراري لمثل هذا لأنبوب تكون أكبر بحدود (1.15– 1.1) من القيم التجريبية المقاسة والمبينة في الجدولين (1,2).

عند تمديد الأنابيب في أقنية نظامية وعزلها بشكل كامل فإن التيار الحراري للأنبوب يزداد بحدود – 15) 20)%، أما في حالة توزيعها على الجدار الخارجي فإن قيمته تزداد بحدود (10– 5)% فقط بالمقارنة مع تمديدها داخل الحواجز.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن القيم المبينة في الجدول (1) للتيار الحراري للأنابيب البوليميرية والبوليميرية – المعدنية، يمكن اعتمادها كقيمة وسطية لمعظم الحالات المماثلة عند التوضع الأفقي للأنابيب، وذلك لأن الانحرافات الممكنة عن الوضع الأفقي لا تؤثر بشكلٍ كبير على النقل الحراري، خصوصاً في أنظمة التدفئة ذات درجات حرارة تغذية (^{0}C 90 – 50) وبسرعة تدفق m/s(1 – 0.5)، وبنفس الوقت تنحرف الأنابيب البوليميرية العادية عن الوضع الشاقولي بشكلٍ كبيرعند استخدامها بالمقارنة مع الأنابيب البوليميرية – المعدنية، وذلك عند الشروط نفسها ،

ولهذا السبب فإنه ووفقاً للمعطيات الأولية التي حصلنا عليها يختلف النقل الحراري في الأنابيب الشاقولية عما هو عليه الحال في الأنابيب الأفقية بمقدار %(7 – 5) وليس %(17 – 11) وبالتالي تكون قيم انتقال الحرارة عبرها أعلى من القيم الواردة في الجدول (2).

تجدر الإشارة هنا إلى أن الشركات الصانعة للأنابيب البوليميرية تروّج لها لدرجة كبيرة، من خلال النعومة العالية لسطوحها، حيث تبلغ خشونتها المكافئة بحدود mm(0.001 – 0.0003) وهي أقل بعدة مرات من الخشونة الحسابية المكافئة لسطوح الأنابيب الفولاذية والتي تبلغ بحدود 0.2mm. كما تقدم تلك الشركات توجيهات من أجل زيادة الجدوى الإقتصادية لاستخدام الأنابيب البوليميرية من خلال إنقاص القطر الحسابي للأنابيب إلى القيمة الدنيا عند استبدال الأنابيب الفولاذية بالأنابيب البوليميرية. فمثلاً يؤدي تبديل الأنابيب الفولاذية (المعدنية) ذات القطر 20mm بأنابيب بولميرية ذات القطر 16mm إلى تخفيض القطر الداخلي للأنابيب ليس إلى المقياس الأدنى لدرجة واحدة، وإنما إلى قياسين أدنى (أي ليس إلى 16mm وإنما إلى القيمة d=12mm)، لأن القطر المميز للأنابيب المعدنية هو القطر الداخلي، بينما للأنابيب البوليميرية فتتميز بقطرها الخارجي. إضافةً إلى ذلك فإن المقاومات الهيدروليكية في أماكن اتصال الأنابيب تزيد من تعقيد الحالة (خصوصاً في الأنابيب البوليميرية – المعدنية باستخدام المكابس الضاغطة لأماكن الإتصال). لأن القطر يتغير على طول الأنبوب في طريق الوسيط الناقل للحرارة. وأخيراً توجد مسألة أخرى لا تُؤخذ بعين الإعتبار في الحسابات الهيدروليكية لأنظمة التدفئة، وهي ما أشرنا إليه عن إمكانية انحناء الأنابيب البوليميرية عند التغذية بوسيط حراري ساخن، مقارنةً مع توضعها المستقيم عند تركيبها.

بينت تجارب اختبار الصواعد البوليميرية عن زيادة المقاومة الهيدروليكية بحدود %(10– 5)، وقد أجريت تجارب على الأنابيب البوليميرية – المعدنية أيضاً، حيث سمحت هذه التجارب بتحديد قيم معاملات المقاومات المحلية ζ_{Hy} وخصائص المتانة S_{Hy} عند الشروط العادية (عند تدفق للماء بمعدل 0.1 kg/s) وبعد فترة من الاستثمار حيث وصلت قيم معاملات الاحتكاك خلالها إلى قيم معاملات الاحتكاك لأنابيب فولاذية جديدة مستخدة في التدفئة بالماء الساخن وتملك خشونة 0.2mm.[7]

إضافة إلى ذلك فإن التجارب التي أجريت على استثمار تجهيزات التدفئة، بينت أن المؤشرات الهيدروليكية لتلك التجهيزات ولأنابيب التغذية المحددة وفقاً للمرجع [8] توافق وسطياً فترة استخدام مدتها ثلاث سنوات في ظروف الخدمة الفعلية لأنظمة التدفئة، هذا وقد أجريت تجارب هيدروليكية وحرارية متخصصة على أنابيب النقل الحراري البوليميري. ولفترات طويلة في غرفة تملك درجة حرارة ثابتة، حيث دلت هذه التجارب على تشكل طبقة ملساء رقيقة لأثار الصدأ والتأكل الناتج عن العناصر الفولاذية في جهاز الأختبار والتي زادت بمقدا %(15 – 10) على المؤشرات الهيدروليكية للأنابيب الجديدة، وبالتالي تبين أن الخشونة المكافئة للأنابيب البوليميرية أعلى مما تشير إليه الشركات الصانعة، إضف إلى ذلك، لوحظت مثل هذه الطبقة على الجدران الداخلية للأنابيب البوليميرية التي جرى استخدامها في شبكات التدفئة.

كما بينت الاختبارات على الأنابيب البوليميرية المعطوبة في أنظمة التدفئة عن عدم تماسك طبقة السطح الداخلي للأنبوب وخصوصاً في أنظمة التدفئة التي تستخدم ناقل حراري يحتوي على كمية كبيرة من المواد المخرشة القياسية، مما يؤدي إلى زيادة مؤشراتها الهيدروليكية مقارنةً مع حالة الأنابيب الجديدة والنظيفة. يجب وفي نفس الوقت الأخذ بعين الاعتبار، أنه عند سرعات جريان للماء في الأنابيب موافقة للجريان الصفائحي أو الجريان الانتقالي بشكل

جزئي، تتوافق المميزات الهيدروليكية للأنابيب المصنوعة من مواد مختلفة، ولهذا السبب لاينصح بإنقاص قطر الأنابيب في ظروف جريان الناقل الحراري هذه.

توفر الأبحاث في [6] معطيات عن انخفاض الضغط النوعي R(Pa/m) تبعاً للتدفق الكتلي للماء عبر الأنابيب $\dot{m}\ (kg/s)$ عند درجة حرارة وسطية للماء $70°C$ تقع قيمة R بشكل وسطي للأنابيب المختبرة ومن أجل تدفق للوسيط الناقل وقطر داخلي $d_{in}=12(mm)$ بحدود $R=109..\ 951\ Pa/m$ ومن أجل القطر $d_{in}=16(mm)$ تكون القيمة بين $R=(28-239)\,Pa/m$، بينما من أجل القطر $d_{in}=20(mm)$ تكون القيمة $R=(10-83)Pa/m$، نلاحظ هنا عدم تناسب قيمة المقاومة الحرارية R مع مربع قيم التدفق الحراري $\dot{m}\ (kg/s)$.

فمن أجل القطر $d_{in}=12(mm)$ كانت علاقة المقاومة الهيدروليكية بالتدفق من الشكل $R=6\times10^4\ \dot{m}^{1.8}$ ومن أجل القطر $d_{in}=16(mm)$ كانت $R=1.41\times10^4\ \dot{m}^{1.77}$ بينما من أجل $d_{in}=20(mm)$ كانت قيمة $R=0.47\times10^4\ \dot{m}^{1.75}$.

يستقر جريان السائل في الأنابيب بعد تشكل طبقة رقيقة لأثار التأكل، كما تتوقف الزيادة في انخفاض الضغط عند القيم الوسطية للتدفق $\dot{m}\ (kg/s)$، ينصح في الحالات التي تكون فيها درجة الحرارة الوسطية للماء مختلفة عن $70°C$ بإدخال معامل تصحيح ψ على قيم المقاومة الهيدروليكية R المأخوذة عند درجة الحرارة المتوسطة $70°C$ وفقاً للعلاقة:

$$R_t = R.\psi \qquad (Pa/m) \qquad (4)$$

حيث R_t انخفاض الضغط النوعي عند درجة حرارة وسطية للماء تتراوح بين $10-90°C$وتدفق $\dot{m}$. تعطى قيم ψ تبعاً لدرجة الحرارة الوسطية في الأنابيب، كما في الجدول: (3).[10],[9]

الجدول (3) قيم معامل تصحيح المقاومة الهيدروليكية ψ كتابع لدرجة حرارة الماء

درجة حرارة الماء $°C$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
قيم ψ	1.25	1.2	1.14	1.1	1.05	1.02	1	0.981	0.95

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تبين من خلال التجارب أن المواصفات الهيدروليكية للأنابيب البوليميرية المستخدمة من لفائف الأنابيب تتوقف على نوعية تحريرها من اللفائف، ولهذا ينصح باستخدام التجهيزلات التي تحافظ على الخصائص الهيدروليكية كما تعطيها الشركات الصانعة، كما أن المقاومة الهيدروليكية للأنابيب المتوضعة شاقولياً تزيد بحدود $(10-5)$% عما هي عليه للأنابيب ذات التوضع الأفقي.
2. تجدر الإشارة هنا إلى أن الأنابيب البوليميرية المطمورة بالبيتون يتغّير قطرها الداخلي عند استخدامها للمياه الساخنة، مما يؤدي إلى زيادة مقاومتها الهيدروليكية بمقدار 10% وسطياً.
3. عند تصنيع الوصلات وخصوصاً ذات الاستدارة الصغيرة، قد يأخذ مقطع الأنبوب الشكل البيضوي. وقد دلت المعطيات على أنه إذا كانت نسبة الفرق بين القطرين الكبير والصغير في الشكل البيضوي منسوبة إلى القطر الاسمي للأنبوب ذي المقطع الدائري، مضروبة بمئة في حدود 25% فإنها لا تسيء كثيراً

إلى المواصفات الهيدروليكية لتلك الوصلات، لكنها عنما تكون ضمن الحدود %(23 – 18) ستؤدي إلى نقصان المقاومات الهيدروليكية بعض الشيء.

4. تزداد قيمة التيار الحراري المنقول بالأنابيب البوليميرية – المعدنية بالمقارنة مع الأنابيب المعدنية التقليدية، ويختلف النقل الحراري في الأنابيب الشاقولية عما هو عليه في الأنابيب الأفقية بمعدل – 5) % (7 وتكون هذه القيمة أقل مما هي عليه عند استخدام الأنابيب الفولاذية ذات التوضع المشابه بمقدار 50% تقريباً.
5. يؤدي استبدال الأنابيب الفولاذية بأنابيب بولميرية – معدنية وبسبب النعومة العالية لسطوحها إلى تحقيق وفر في كلفة التمديدات المستخدمة في أنظمة التدفئة من خلال التحول إلى أنابيب ذات أقطار أقل بشكلٍ ملحوظ.
6. يؤدي استخدام الأنابيب البوليميرية – المعدنية المعزولة، وحسب طبيعة العزل الحراري، إلى زيادة التيار الحراري المنقول عبرها بحدود 50% وسطياً، وقد أثبتت إجراءات العزل فعالية واقتصادية عالية، من خلال عمر الاستثمار الأطول لتلك الأنابيب في أنظمة التدفئة.
7. تمتاز عملية تجميع دارات التدفئة من الأنابيب البوليميرية – المعدنية ببساطتها وسهولتها مقارنةً مع الأنابيب الفولاذية، كما تتمتع بعمر استخدام أطول دون تغيّر في مواصفاتها الهيدروليكية مع الزمن، من ناحية التكلس وتشكل الرواسب والتآكل على سطوحها الداخلية.

نشير في الختام إلى أن مسائل تركيب واستثمار أنظمة التدفئة باستخدام الأنابيب البوليميرية– المعدنية لنقل التيار الحراري، يتطلب دراسة التجارب السابقة بشكل واسع ومستقل. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار، عند استخدام الأنابيب البوليميرية في أنظمة التدفئة، الخصائص الحرارية لها بشكل كامل، وعدم إهمال مؤشراتها الهيدروليكية، بالاستفادة من الدراسات والمعطيات التي تم تقديمها في هذا البحث.

المراجع

1. **مجلة التدفئة والتهوية والتكييف**.روسيا. موسكو . العدد 41 الشهر الأول 2003.
2. Tullie Circle,N.E**. Ashrae Handbook Committee**, **Physiological Principles For Comfort And Healt**h, Chapter 8, Atlanta, Usa, 1985, (8.1-8.32).
3. **انتقال الحرارة والكتلة**. ف. ف .تسيتكوف ؛ ب.أ. غريغوروييف. الجامعة التقنية موسكو 2005 . (مترجم عن الروسية). 548
4. **ارشادات حول استخدام أجهزة التدفئة من الخلائط المعدنية (صناعات التجهيزات الصحية من الخلائط المعدنية)**. ساسين .ف. أي، بيرشيدسكي. غ . أ، بروكوبينكو. ف. د. موسكو روسيا .2010. 421
5. HOLMAN,J.P. **Heat Transfer**. ninth Edition, Methodist University, USA, 2002, 655
6. **ارشادات حول استخدام الأنابيب البوليميرية في أنظمة التدفئة والتزود بالمياه الباردة والساخنة**. ساسين ف. إ، بشيدسكي غ. أ، بركبينكا .ت.ن. موسكو . روسيا. 1996. 512
7. **المواصفات المعيارية لتجهيزات التدفئة وطرق اختبارها**.موسكو. روسيا. 2010. 213
8. **طرق تحديد الضياعات الهيدروليكية للضغط في تجهيزات التدفئة للمباني عند استخدام الماء الساخن كوسيط ناقل للحرارة**. ساسين .ف.أ ، ف. د كوشنير. موسكو . روسيا. 1996. 467

9. **ارشادات وتعليمات حول تصميم وتركيب أنظمة التدفئة للمباني باستخدام الأنابيب ابولميرية – المعدنية.** سلادكوف أ. ف. 1998 .315

10. **ارشادات ونصائح فنية حول تصميم وتركيب الأنظمة الداخلية للتزويد بالمياه للتدفئة والتبريد وباستخدام الأنابيب من أنواع مختلفة** . موسكو. روسيا. 2002. 535