

Ing. Vít KOVERDYNŠKÝ, Ph. D.
VUT, Stavební fakulta, Ústav TZB,
Brno

Tepelná izolace s kapilárně vodivou tkaninou

The Wick-Concept for Thermal Insulation of Cold Piping

Recenzent
prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Článek se zabývá novým přístupem, který eliminuje akumulaci vlhkosti v chladové izolaci. To je možné použitím tepelné izolace s kapilárně vodivou tkaninou. Princip funkce je založen na kapilárním vedení vláknité tkaniny, která slouží k odvedení zkondenzované vodní páry z povrchu potrubí na vnější povrch izolace. Odtud se zkondenzovaná vodní pára odpařuje do okolního vzduchu. Izolační systém je takto schopen udržet své tepelně izolační vlastnosti po celou dobu životnosti izolace. Experimentální testování dokázalo, že tento typ izolace funguje u potrubí s povrchovou teplotou vyšší než 0 °C a pro okolní podmínky, které se běžně v praxi vyskytují.

Klíčová slova: tepelná izolace, rozvody chladu, kapilárně vodivá tkanina, akumulace vlhkosti

The paper deals with a new approach, which eliminates moisture accumulation in cold pipe insulation by using of the wick-concept insulation. It is based on capillary suction of a fibre fabric to remove excess water from the pipe surface by transporting it to the outer surface of the insulation. From the surface of the insulation jacket the water will evaporate to the ambient air. This will prevent long term accumulation of moisture in the insulation material. The wick keeps the hydrophobic insulation dry, allowing it to maintain its thermal performance during the whole durability of insulation. Experiments proved that the wick-concept insulation works for pipes with temperature above 0 °C and for ambient conditions within common ranges for industrial applications.

Key words: thermal insulation, cold piping, wick-concept, moisture accumulation.

Izolování rozvodů chladu je spojeno s řešením problematiky kondenzace vodní páry. Povrchová teplota potrubí je nižší než teplota rosného bodu okolního vzduchu. Za těchto podmínek vodní pára z okolního vzduchu, která se dostane k chladnému povrchu potrubí, zkondenzuje. Srážení vlhkosti je velmi vážným problémem, protože způsobuje odkapávání z povrchu izolace. Stále kapající kondenzát může narušit pracovní režimy, způsobit stavební vady, korozi, atd.

Proto je výběr druhu izolačního materiálu pro chladicí zařízení a výpočet jeho správné tloušťky důležitou prací projektanta. Potrubí s chladicí látkou je nutné izolovat minimálně tak, aby se zvýšila teplota na jejím vnějším povrchu nad teplotu rosného bodu okolního vzduchu. I za tohoto stavu však stále dochází k prostupu vodní páry izolací směrem k chladnému potrubí. To vede, v závislosti na vlastnostech izolace, k větší nebo menší akumulaci vlhkosti.

Pro minimalizaci akumulace vlhkosti v izolaci je využíváno tří principálních metod, které jsou v souladu s mezinárodním standardem EN 14 114 [5]:

- ❑ Instalace parozábrany na vnějším povrchu izolace.
- ❑ Použití izolačního materiálu s vysokým faktorem difuzního odporu (izolace s nízkou paropropustností) – elastomerické izolace (např. syntetický kaučuk), pěnové sklo.
- ❑ Použití parozábrany a kapilárně vodivé tkaniny pro nepřetržitě odvádění zkondenzované vodní páry z povrchu potrubí do okolního prostředí. Tato nová a netradiční metoda je dále vysvětlena v příspěvku.



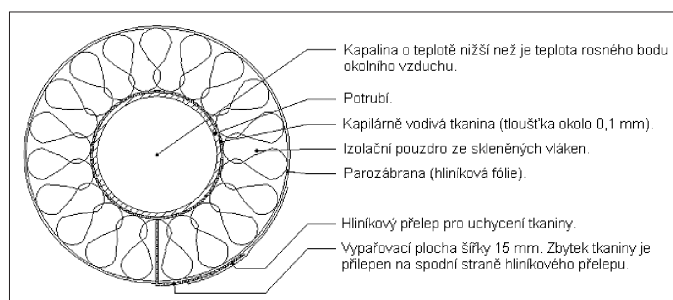
Ing. Vít Koverdynský, Ph. D. (1979)

Absolvent Fakulty stavební VUT v Brně, oboru TZB (2003), hlavní zaměření – vytápění. Působí jako pedagogický a vědecký pracovník na Ústavu TZB a dále jako konzultant firmy Saint-Gobain Orsil, kde se specializuje na technické izolace.

PRINCIP FUNKCE IZOLACE S KAPILÁRNĚ VODIVOU TKANINOU

Jedním z faktorů, který stál za vývojem izolace s kapilárně vodivou tkaninou bylo, že dokonale utěsněný izolační systém zcela omezující průnik vodní páry je v praxi neproveditelný. I na perfektním těsném izolačním systému se v průběhu užívání objeví netěsnosti (zejména u průniků způsobených závěsy a konzolami), mezery ve spojích (dané dilatací potrubí) či mechanická poškození.

Izolační pouzdro zobrazené na obr. 1 má vnitřní vložku z hydrofilní tkaniny s dobrými kapilárně vodivými vlastnostmi. Tkanina prochází drážkou a vyčnívá na vnější povrch izolace. Rychlost vypařování z vyčnívající části tkaniny byla testována Prof. Korsgaardem (z Dánské technické univerzity) a je popsána ve [2]. Výsledky ukázaly, že nejvyšší rychlost odpařování je pro vyčnívající část tkaniny 10 mm a více (v rozmezí 10 až 75 mm byla rychlost odpařování stejná). Proto byla pro výrobu zvolena šířka okolo 15 mm. Tyto experimenty proběhly při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 60 %. U horizontálních potrubí se doporučuje umístit pouzdro do pozice s drážkou dolů (což je pozice o 180° otočená oproti běžným zvyklostech při izolování potrubí). V této poloze gravitace může napomoci s odstraňováním zkondenzované vodní páry a vypařovací plocha je chráněna proti zvýšenému znečišťování prachem.



Obr. 1 Řez izolace s kapilárně vodivou tkaninou

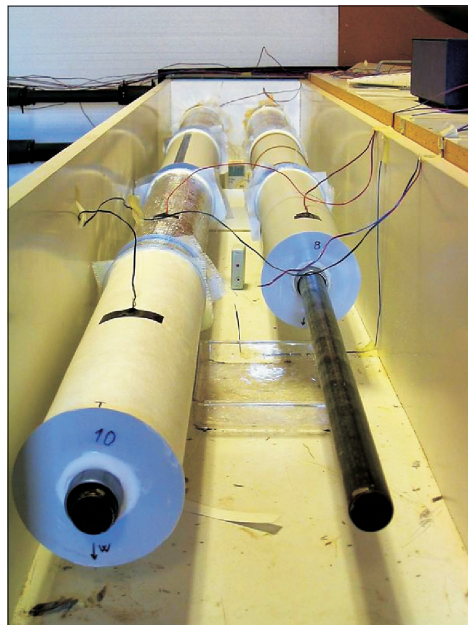
Zkondenzovaná vodní pára je z povrchu potrubí absorbována tkaninou. Se vzrůstajícím množstvím absorbované vody se zaplní meziprostor tkani-

ny a kapilární vedení způsobí pohyb kondenzátu směrem k suššímu oblasku tkaniny. Kapilární vedení přemístí kondenzát drážkou na vnější povrch izolace, odkud se může odpařit do okolního vzduchu.

Drážku v parozábraně, z které vyčnívá tkanina, lze považovat za mezeru v opláštění. Vodní pára však nemůže difundovat přes drážku, jakmile je tkanina nasycena vodou. Vysvětlení je následující. V počátečním období, když je tkanina suchá, dojde k difuzi vodní páry z okolního vzduchu směrem k chladnému potrubí. Je-li například v místnosti teplota 22 °C a relativní vlhkost 70 %, parciální tlak vodní páry je 1850 Pa. Pokud je teplota povrchu potrubí 5 °C, tlak vodní páry při nasycení je 870 Pa. Rozdíl tlaků bude 980 Pa směrem k potrubí. Po nějaké době (řádově ve dnech) tkanina zvlhne a parciální tlak vodní páry v drážce se zvýší téměř na stav nasycení při okolní teplotě, jenž by činil 2650 Pa. Dojde k vysychání vyčnívající tkaniny do okolního vzduchu, kde je parciální tlak nižší. Vodní pára následně může do izolace difundovat pouze parozábranou a přes možné trhliny v opláštění, způsobené např. mechanickým poškozením. Tato vodní pára, která do systému vnikne „navíc“ však bude bezpečně odvedena tkaninou ven z izolace.

EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ IZOLACE

Experimenty jsem provedl v laboratoři na Dánské technické univerzitě v Kodani. Toto experimentální testování, finančně podpořené firmami Saint-Gobain Orsil a Isover Scandinavia, prokázalo funkčnost izolace s kapilárně vodivou tkaninou a schopnost kompenzovat špatně provedenou izolační práci či netěsnosti vzniklé během životního cyklu izolace. Definoval také určitá omezení, která je nutné při aplikaci vzít v úvahu. Detailní popis všech prováděných pokusů je popsán v disertační práci [3], část výstupů byla publikována v [4]. Základní experiment dokazující funkčnost izolace bude popsán dále v této kapitole.



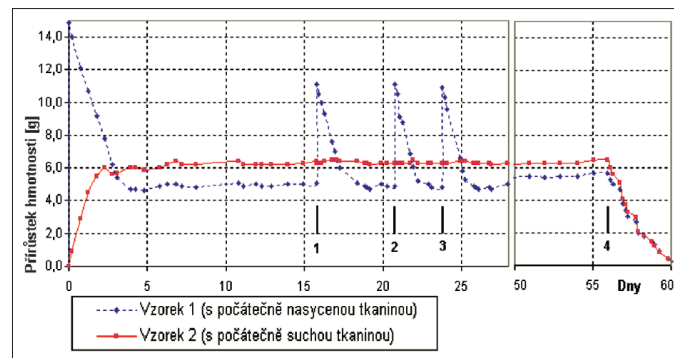
Obr. 2 Vzorok izolace ve zkušební kanále

skládalo ze dvou koncentrických trubek, kde vnější trubka sloužila jako přívod a vnitřní jako zpátečka. Tato konfigurace bude dále nazývána „chladný prst“. Dovoluje pravidelné sundávání a vážení vzorků pro určení změny hmotnosti. Chladicí jednotka udržovala teplotu vody v potrubí okolo +6 °C. Jedná se o typickou teplotu rozvodu chlazené vody vyskytující se v praxi.

V popisovaném experimentu jsem na dva vzorky použil 1" černou trubku o délce 0,65 m, kterou jsem oplástil izolačním pouzdrům délky 0,6 m

s vnějším průměrem 92 mm. Tloušťka použité izolace byla 30 mm. Konce izolačních pouzder jsem zakryl PVC mezikružím. Obvodový styk pouzdra a mezikružím jsem utěsnil silikonovým tmelem tak, aby ze strany vzorku nedocházelo k nežádoucí difuzi vodní páry. Šířka vyčnívající části tkaniny byla 13 mm. Tyto dva vzorky jsem nejdříve zvažil (na elektronické váze Sartorius 1507, jenž má přesnost 0,01 g) a poté umístil na chladný prst. Testovací období trvalo dva měsíce. Během celého období byla průměrná teplota v kanále 20 °C, průměrná relativní vlhkost 71 % a průměrná povrchová teplota potrubí 6 °C.

Jeden ze vzorků jsem instaloval s předem navlhčenou tkaninou – proto, aby bylo kapilární vedení aktivní ihned po instalaci vzorku a byl simulován stav instalace izolace na potrubí v chodu. Druhý vzorek byl suchý. Na obr. 3 je možno vidět, že u vzorku 2 (s počátečně suchou tkaninou), došlo během prvních dvou dnů k prudkému nárůstu hmotnosti. Následně se hmotnost vzorku ustálila na konstantní hodnotě. Toto odpovídá předpokladu, že v počátečním období musí dojít k akumulaci vlhkosti, než se tkanina nasatí. Vzorek 1, který měl předem navlhčenou tkaninu, začal okamžitě odvádět zkondenzovanou vodní páru drážkou do vyčnívající části tkaniny. Po třech dnech bylo dosaženo stavu rovnováhy – difuze vodní páry do systému se rovnala kapilárnímu vedení kondenzátu ze systému. Za rovnovážného stavu nedochází k dalšímu zvyšování obsahu vlhkosti v izolaci a ta proto může plnit svoji tepelně-technickou funkci. Každý bod v grafu odpovídá sundání vzorku z chladného prstu a jeho zvažení. Takto jsem stanovoval hmotnostní přírůstek či úbytek vlhkosti v tkanině.



Obr. 3 Změna hmotnosti vzorku v čase

Data z experimentu ukazují, že nárůst hmotnosti byl zhruba 5 až 6 g na vzorek (8 až 9 g/m). 100% nasycení tkaniny by odpovídalo nárůstu hmotnosti o 12 g na vzorek (19 g/m). Z toho je možné usoudit, že (1) měřený nárůst vlhkosti je obsažen pouze v tkanině (což znamená, že vlastní izolace je suchá) a (2) tkanina je nasycená zhruba z 50 %.

V 16. dni testování (ozn. 1), kdy již bylo bezpečně dosaženo stavu rovnováhy bez jakýchkoliv hmotnostních změn, jsem tkaninu vzorku 1 navlhčil vstříknutím 6 ml vody. Během tří dnů obsah vlhkosti v tkanině klesl na stejnou úroveň, jaká byla před navlhčením. Ve dnech 21 (ozn. 2) a 24 (ozn. 3) jsem tkaninu opět navlhčil 6 ml vody, avšak nyní jsem vzorek otočil do pozice s drážkou nahoru. Jak je možno vidět, tkanina odváděla vlhkost i bez pomoci gravitace, tzn. pouze kapilárním vedením. Od 24. do 56. dne byly vzorky v rovnovážném stavu. 56. den (ozn. 4) jsem vypnul chladicí jednotku. Během následujících čtyř dnů se ze vzorků do okolního vzduchu odpařila všechna vlhkost a vzorky tak byly suché stejně jako před experimentem.

Z výsledků je patrné, že izolační systém spolehlivě funguje, i když dojde k nesprávné instalaci, tj. v pozici s drážkou nahoru. Je to proto, že kapilární vedení tkaniny je daleko účinnější jev než transport vlhkosti vlivem gravitace. Vzhledem k možnému nebezpečí znečištění vypařovací plochy prachem by drážka měla být otočena vždy dolů, případně do pozice tří hodin.



Obr. 4 Příklad použití izolace HygroWick na chladicích rozvodech

Obrázek vlevo je z budovy dánské televize na periferii Kodaně, obrázek vpravo z kancelářské budovy v centru Kodaně (izolace navíc doplněna o PVC opláštění).

ZÁSADY PRO INSTALACI

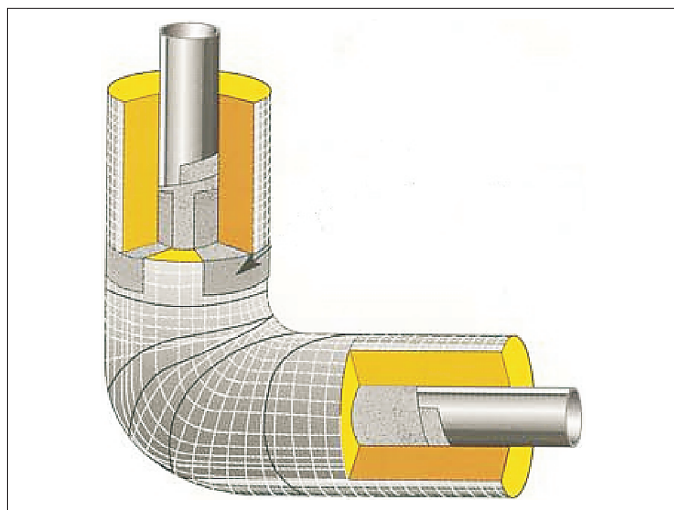
Způsob instalace izolace s kapilárně vodivou tkaninou je podobný způsobu izolování tepelných rozvodů trubkami z minerální vlny. Tato izolace však může být použita nejen na nové rozvody, ale i na výměny izolací na rozvodech, které jsou v provozu. Tloušťka izolace musí být minimálně taková, aby povrchová teplota opláštění byla vyšší než teplota rosného bodu.

V aplikacích, kde hrozí zvýšené riziko poškození vnějšího povrchu izolace či tam kde jsou vysoké hygienické požadavky, a kde je nutné zajistit efektivní čištění povrchu izolace (např. v potravinářském či textilním průmyslu), je vhodné použít druhého opláštění (např. viz obr. 4 vpravo). V tomto případě je však nutné dbát na to, aby mezery v druhém plášti či perforování pláště přímo nad vypařovací plochou nebyly utěsněny. Utěsnění vypařovací plochy by způsobilo nefunkčnost systému. Více ve [3].

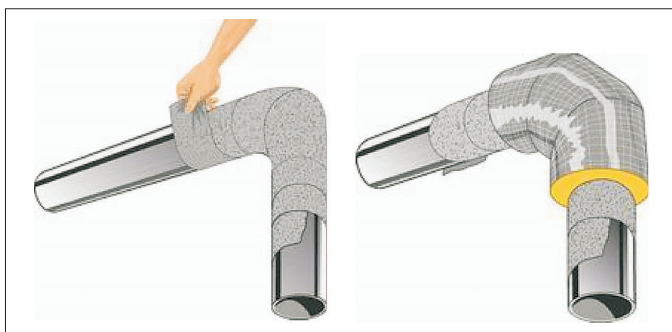
Izolace je vhodná pro chladové či duální rozvody v rozmezí teplot 0 až 250 °C. Pokud se teploty nižší než 0 °C vyskytují krátkodobě, je tento systém možné použít. Experiment s podnulovými teplotami [3] ukázal, že pro teploty potrubí okolo -5 °C, dojde ke zvýšení hmotnosti na stav nasycení tkaniny za tři dny. Pokud by byl časový úsek delší, došlo by ke zmrznutí kondenzátu v izolaci přilehlé ke tkanině a postupně by se tato oblast se zmrzlým kondenzátem zvětšovala. To by mělo za následek zhoršování tepelné vodivosti. Je-li použito druhého opláštění, které omezí difuzi vodní páry do systému (např. PVC s nezalepeným podélným spojem), toto období se může prodloužit až na 50 dní. V periodě, kdy je povrchová teplota nad nulou, zmrzlá vlhkost roztaje a bude tkaninou odvedena do okolního prostředí.

Během instalace je třeba zabezpečit pozici tkaniny na místě během posouvání, otáčení či napojování dalších izolačních úseků. Jednotlivé potrubní úseky je nutné k sobě srazit na doraz a spoj přelepit hliníkovou páskou. Všechny konce úseků (např. konce u přírub a ventilů) je také nutné utěsnit (přelepit hliníkovou páskou).

U vertikálních rozvodů je vhodné podélnou vypařovací plochu přelepit hliníkovou páskou. Především se tak možnému zvýšenému vnikání okolního vlhkého vzduchu do systému vlivem obráceného komínového efektu. Okolní vzduch, který by do drážky pronikl, by se ochladil a mohl by tak dojít k zvýšené konvekci v izolaci a tím i ke zvýšenému nasávání okolního vzduchu do drážky. Dále je nutné zajistit návaznost tkaniny z jednotlivých izolačních pouzder. Tím se docílí toho, že vlhkost, která se k chladnému

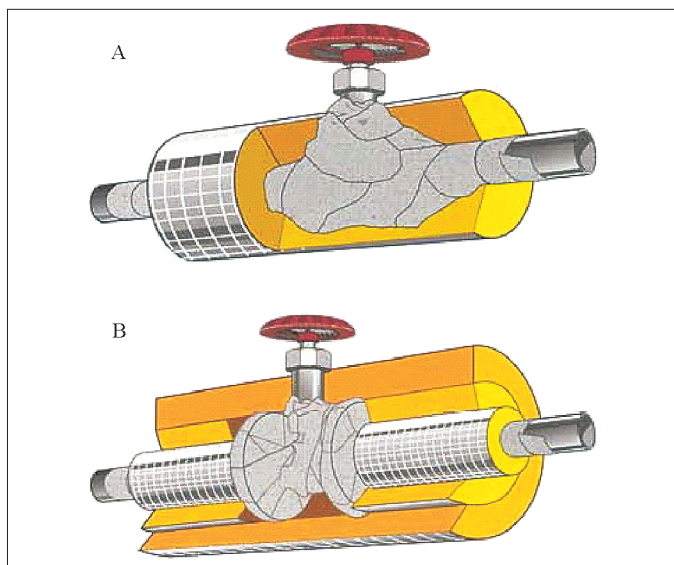


Obr. 5 Zvětšení vypařovací plochy nad nejnižším kolenem



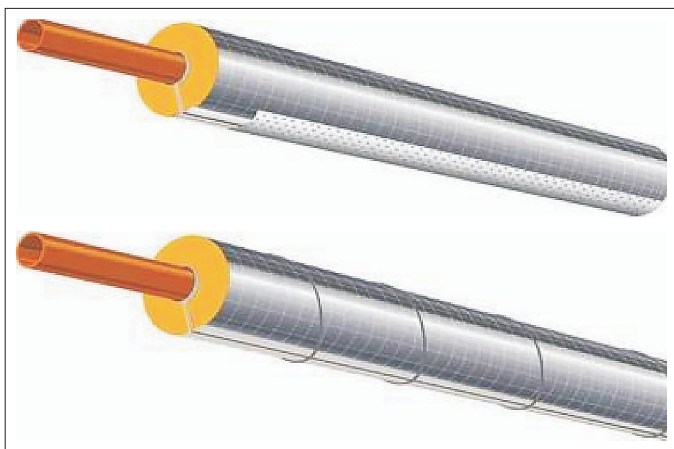
Obr. 6 Izolování kolen

potrubí může dostat například mechanicky poškozenou parozábranou na vnějším povrchu izolace bude tkaninou odvedena do místa, odkud se bude moci odpařit, tj. k nejbližšímu horizontálnímu úseku (zejména pod stoupačkou). V případě, kdy pod stoupačkou není horizontální potrubí nebo je vypařovací oblast kratší než 15 cm, je vhodné nechat 10 až 15 cm vypařovací plochy nad spodním kolenem nezalepenou, případně zvětšit vypařovací plochu podle obr. 5. U vertikálních rozvodů ve zvlášť nepříznivých podmínkách (vysoká teplota a vysoká relativní vlhkost) by se vlhkost ze stoupačky mohla akumulovat v izolaci spodního kolena pod stoupačkou. Za těchto podmínek je nutné použít druhého opláštění (vhodné zejména PVC), pro zpomalení difuze vlhkosti do systému.



Obr. 7 Izolování ventilů

A ... ventil se závitěm, B ... ventil s přírubou



Obr. 8 Zabezpečení podélné drážky proti rozevírání přelepením děrovanou hliníkovou páskou (nahore) či omotáním drátem po délce potrubí (dole)

Kolena, příruby, ventily a další armatury musí být 100% omotány tkaninou (viz obr. 6 a 7). Tkanina by měla přesahovat minimálně 3 cm na navazující tkaninu izolačního pouzdra pro zajištění průběžné kapilární cesty s přilehlou izolací. Tloušťka izolace by měla být stejná jako u přilehlého rovného úseku. Spoj izolace armatury s izolací rovného úseku musí být přelepen hliníkovou páskou pro vytvoření těsnosti parozábrany. Více vlhkosti by se mohlo do izolace dostat, pokud by podélná drážka nebyla instalována na sraz, ale byla příliš rozevřená.

Existují tři způsoby, jak zaručit uzavření podélné drážky. Prvním a nejvhodnějším je přelepení podélného spoje děrovanou hliníkovou lepicí páskou (obr. 8 nahore). Druhým způsobem je omotání pouzdra mosazným nebo měděným drátem po celé délce potrubí (obr. 8 dole). Třetím způsobem, který byl využit i při testování, je uzavření pouzdra příčným přelepením hliníkovou páskou po vzdálenostech okolo 30 cm. Páska musí být omotána kolem celého obvodu izolace s přesahem několika cm, aby po určitém čase nedošlo k odlepení pásky.

ZÁVĚR

Tepelná izolace ze skleněné vlny, uvnitř které je kapilárně vodivá tkanina, dokáže úspěšně předejít akumulaci vlhkosti v izolaci potrubních rozvodů s povrchovou teplotou nižší než je teplota rosného bodu okolního vzduchu. Izolace zůstává suchá a tak je splněn předpoklad udržení počáteční tepelné vodivosti izolace po celou dobu její životnosti.

Výhody izolace s kapilárně vodivou tkaninou:

- Aktivní element (kapilárně vodivá tkanina) udržuje strukturu izolace suchou. Nedochází ke zvyšování tepelné vodivosti izolace λ , zkon-

denzovaná vodní pára je obsažena pouze ve tkanině. Za běžné se vyskytujících podmínek je tkanina z 50 % nasycená.

- Není třeba lepidla na lepení příčných a podélných spojů izolace. Tyto spoje se jednoduše přelepí hliníkovou páskou (jde o izolaci, která nemusí mít difúzně dokonale těsné opláštění, jak to vyžadují ostatní izolace pro chladicí rozvody).
- Izolace je vyrobena ze skleněné vlny, je nehořlavá (třída reakce na oheň A2 dle ČSN EN 13501-1).
- Izolace může být užita i na potrubí v provozu, chladicí systém není nutno kvůli izolování rozvodů vypínat, jak je tomu u ostatních izolací. Tkanina odvede zabudovanou vlhkost do okolního prostředí.
- Produkt je vyroben z 80% z recyklovaného skla a je dále recyklovatelný.
- Izolaci je možné vyrobit ve větších izolačních tloušťkách. Navýšení tloušťky je u izolace z minerální vlny mnohem levnější než u jiných typů chladivých izolací (kaučuk, pěnové sklo). Sníží se tím tepelné ztráty potrubí, což sebou nese výhodu snížení spotřeby elektrické energie nutné pro pohon chladicího zařízení (např. kompresoru).

Nevýhody izolace s kapilárně vodivou tkaninou:

- Izolace nemůže být použita pro trvale se vyskytující podnulové teploty. V současné době sledujeme možnost aplikace tohoto principu i na chladicí potrubí. Tam je problematika promrzání izolace vážným problémem. Její úspěšné vyřešení by sneslo i zvýšené investice na izolační vrstvu a uvedenou nevýhodu by se tak podařilo odstranit.
- Izolaci nelze použít pro aplikace, které neumožní vypařování z vyčnívající části tkaniny, jako např. rozvody zasypané zeminou.

Rád bych tímto poděkoval Ing. Luboši Melicharovi za podporu při pořizování výzkumné stáže na Dánské technické univerzitě v Kodani a za cenné rady a připomínky v průběhu naší čtyřleté spolupráce.

Kontakt na autora: vit.kov.@email.cz

Použité zdroje:

- [1] ASHRAE Handbook 2005 – Fundamentals, Chapter 26, USA, Atlanta: ASHRAE, Inc., 2005, pp 26.10, ISBN 1-931862-71-0.
- [2] KORSGAARD V., Innovative Self-drying Concept for Thermal Insulation of Cold Piping. *Insulation Materials: Testing and Applications: Third Volume*, ASTM STP 1320, R.S. Graves and R.R. Zarr, Eds., American Society for Testing and Materials, 1997, pp 416-425.
- [3] KOVERDYNŠKÝ V., Self-Drying Insulation for Cold Piping, *Ph.D. Thesis*, Vysoké učení technické, Brno, 2007, 143 stran.
- [4] KOVERDYNŠKÝ V., Tepelná izolace s kapilárně aktivní tkaninou pro rozvody chladu, *VVI*, 15. ročník, 1/2006, Praha: STP, strana 49–54, ISSN 1210-1389.
- [5] EN 14114, *Hygrothermal Performance of Building Equipment and industrial installations – Calculations of Water Vapour Diffusion – Cold Pipe Insulation systems*, European Committee for Standardization, March 2002. ■