

doc. Ing. Miroslav PETRÁK, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav energetiky

Oxid uhličitý jako chladivo

Část 1: Zvláštnosti CO₂ jako chladiva

Carbon Dioxide as a Refrigerant Part 1: Particularities of CO₂ as a Refrigerant

Recenzent
 prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Oxid uhličitý je klasické chladivo známé již z konce 19. století, které bylo ve 30. letech 20. století s rozvojem chemického průmyslu vytlačeno halogenovanými látkami, ale v posledních 25 letech se dostalo zpět do pozornosti. V článku jsou popsány jeho vlastnosti a specifika, která ovlivňují konstrukci, provoz a energetickou náročnost chladicího zařízení, a rovněž negativa, která limitují jeho větší a rychlejší rozšíření. Je pojednáno o nadkritickém tepelném oběhu a optimalizaci výtlačného tlaku pro dosažení maximálního chladicího faktoru.

Klíčová slova: oxid uhličitý, nadkritický oběh, optimální výtlačný tlak

Carbon dioxide is the classic refrigerant known since the late 19th century which was pushed by halogenated substances with the development of the chemical industry in the 30s of the 20th century, but came back into the spotlight in the last 25 years. There are described properties and characteristics which affect the construction, operation and energy consumption of chillers and are mentioned negatives limiting its larger and faster expansion. The article deals with supercritical thermal cycle and with optimization of the discharge pressure to maximize coefficient of performance.

Keywords: carbon dioxide, supercritical cycle, optimum discharge pressure

ÚVOD

Počátkem devadesátých let se oxid uhličitý dostal do pozornosti jako chladivo v souvislosti s potvrzením škodlivosti tehdy používaných plně halogenovaných uhlovodíků na životní prostředí, zejména na ozónovou vrstvu. V současné době se situace v určitém ohledu opakuje v souvislosti s Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 517/2014 ze dne 16. dubna 2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení (ES) č. 842/2006, přičemž oxid uhličitý je jednou z mála látek používaných v současné době, jíž se regulace podle tohoto nařízení vyhne. Série tří článků si klade za cíl přiblížit současný stav využívání tohoto chladiva.

HISTORIE

Oxid uhličitý je spolu se čpavkem NH₃ a oxidem siřičitým SO₂ jedním ze tří chladiv, které stály na počátku průmyslového rozvoje chladicí techniky [1, 8]. Jeho použití se uvádí od roku 1881 [1]. Pro svoji nehořlavost a nevybušnost byl hojně používán zejména pro chladicí zařízení pracující na lodích a v klimatizaci budov [8].

S rozvojem chemie se v třicátých letech minulého století objevily na trhu pod obchodním názvem Freony plně halogenované uhlovodíky obsahující ve své molekule uhlík, chlor a fluor a na dlouhou dobu se zdálo, že se jedná o látky s vynikajícími vlastnostmi pro chladicí techniku, zejména pro svou nehořlavost, nevybušnost a nejedovatost. Velmi rychle vytěsnily dosavadní chladiva vyjma čpavku, přičemž k opuštění CO₂ přispěly i jeho vysoké tlaky v zařízení. Vzhledem k šíři aplikací chladicí techniky byla vyvinuta celá řada halogenovaných uhlovodíků a jejich směsí vhodných pro každou oblast použití. Mezi nejznámější patřily R11, R12, R12B1, R13, R22, R23, R114, R500 a R502.

Bezstarostné používání těchto látek skončilo v polovině osmdesátých let minulého století, kdy bylo prokázáno negativní působení v nich obsaženého chloru na ozónovou vrstvu Země a jejich vliv na globální oteplování. Řadou mezinárodních dohod bylo postupně omezováno jejich

použití (1987 Montrealský protokol, 1990 konference v Londýně, 1992 konference v Kodani a další). Jako první a z hlediska životního prostředí nejnebezpečnější byly vyřazovány halony (bromované uhlovodíky) a plně halogenované uhlovodíky (bez atomu vodíku).

S hledáním nových, ekologicky vhodných chladiv se pozornost obrátila i na přírodní chladiva a v rámci nich zpátky i na oxid uhličitý. Velkým propagátorem tohoto chladiva byl na přelomu osmdesátých a devadesátých let minulého století norský profesor Gustav Lorentzen, na jehož počest jsou nyní nazývány pravidelné konference o přírodních chladivech Mezinárodního institutu chladicí techniky IIR (International Institute of Refrigeration) se sídlem v Paříži, jehož členem je i Česká republika. Profesoru Lorentzenovi se zdál oxid uhličitý ideálním chladivem pro všechny oblasti chladicí techniky [4, 5, 6, 7].

První vývoj novodobých zařízení s oxidem uhličitým byl v devadesátých letech minulého století zaměřen na nadkritická tepelná čerpadla pro ohřev teplé vody na vysoké teploty (70 až 90 °C) a automobilovou klimatizaci, z nichž ale sériové uplatnění našel zatím jen u těchto tepelných čerpadel. Vedle toho se v současné době naopak prosazuje v oblasti stacionárního chlazení, a to jak v roli chladiva, tak i teplotnosné látky.

VLASTNOSTI CO₂

Oxid uhličitý se v devadesátých letech dostal do opětovné pozornosti zejména pro tyto své příznivé vlastnosti [3, 5]:

- nehořlavý, nevybušný,
- nejedovatý,
- chemicky a tepelně stabilní,
- přírodní látka,
- bez vlivu na ozónovou vrstvu $ODP = 0$,
- s velmi malým vlivem (ve srovnání s halogenovanými uhlovodíky) na globální oteplování $GWP = 1$,
- lehce dostupný,
- levný (ve srovnání s halogenovanými uhlovodíky),

- ❑ velká hustota par a velká objemová chladivost (obojí díky vysokým tlakům),
- ❑ menší tlakový poměr při kompresi (ve srovnání s jinými chladivy),
- ❑ kompatibilní s normálními oleji a běžnými konstrukčními materiály,
- ❑ výborné termokinetické vlastnosti (přestup tepla), a to i v nadkritické oblasti.

Většina oběhů v chladicí technice je založena na vypařování a kondenzaci chladiva, tedy fázových změnách kapalina – pára a naopak, takže pracovní rozsah použití chladiva omezuje trojný a kritický bod. U oxidu uhličitého nabývají hodnot [10, 11]

- a) trojný bod: tlak 0,518 MPa
teplota -56,56 °C
- b) kritický bod: tlak 7,38 MPa
teplota 31,06 °C

Poznámka: U většiny chladiv je dolní omezení dáno místo trojného bodu teplotou sytosti při tlaku 0,1 MPa, aby zařízení i v nízkotlaké části pracovalo v přetlaku. U CO₂ je ovšem tato teplota nižší (-78,40 °C) než teplota trojného bodu a oxid uhličitý při ní sublimuje.

U chladicích zařízení je produkované odpadní teplo odváděno do okolí. Letní extrémy teploty vzduchu jsou v našich klimatických podmínkách vyšší než kritická teplota oxidu uhličitého. Má-li chladicí zařízení jen jedno chladivo, tak v případě oxidu uhličitého musí v létě v našich zeměpisných šířkách pracovat nadkriticky. Tlaky na vysokotlaké straně pak dosahují hodnot, jež byly na dlouhá desetiletí v chladicí technice zapomenuty. S klesající teplotou vzduchu je ovšem možné v chladném období snížit výtlačný tlak na podkritické hodnoty a chladicí zařízení provozovat klasicky s kondenzací chladiva na vysokotlaké straně.

ZVLÁŠTNOSTI NADKRITICKÉHO OBĚHU

Základním parametrem názorně popisujícím energetickou náročnost procesu chlazení je u chladicích zařízení chladicí faktor

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_o}{P} \quad (1a)$$

a u tepelných čerpadel topný faktor

$$\varepsilon_t = \frac{\dot{Q}_t}{P} \quad (1b)$$

vyjadřující, s jakými energetickými náklady (příkon P) je získáván užitek v podobě chladicího výkonu \dot{Q}_o , resp. tepelné energie – topného výkonu \dot{Q}_t . Pro samotný tepelný oběh v idealizované podobě Rankinova cyklu s izoentropickou kompresí lze oba faktory upravit do tvaru

$$\varepsilon_{ie} = \frac{\dot{Q}_o}{P_{ie}} = \frac{\dot{m} \cdot q_o}{\dot{m} \cdot a_{ie}} = \frac{q_o}{a_{ie}} \quad (2a)$$

$$\varepsilon_{t,ie} = \frac{\dot{Q}_t}{P_{ie}} = \frac{q_t}{a_{ie}} \quad (2b)$$

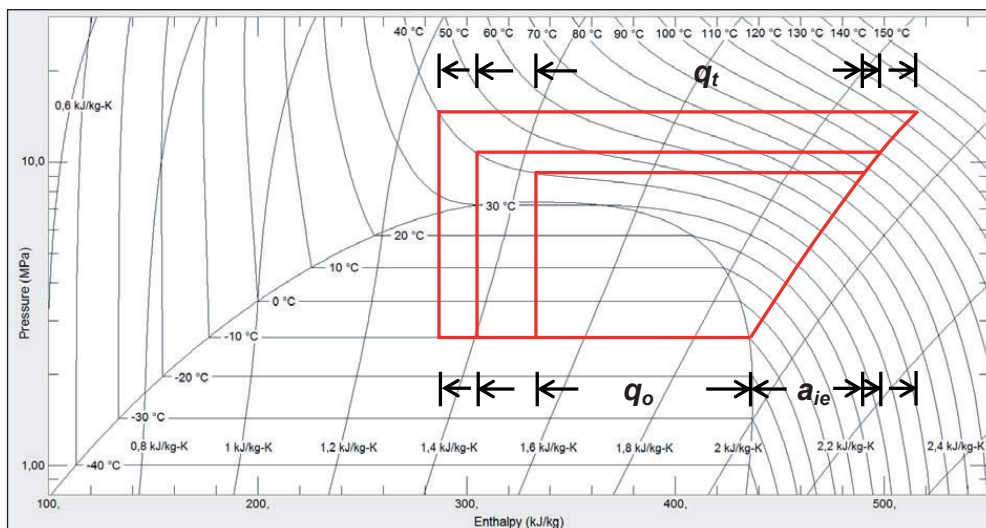
kde je:

- P_{ie} izoentropický příkon [W],
- \dot{Q}_o chladicí výkon [W],
- \dot{Q}_t topný výkon [W],
- \dot{m} množství obíhajícího chladiva [kg/s],
- q_o hmotnostní chladivost [J/kg],
- q_t hmotnostní topivost [J/kg],
- a_{ie} měrná izoentropická práce [J/kg].

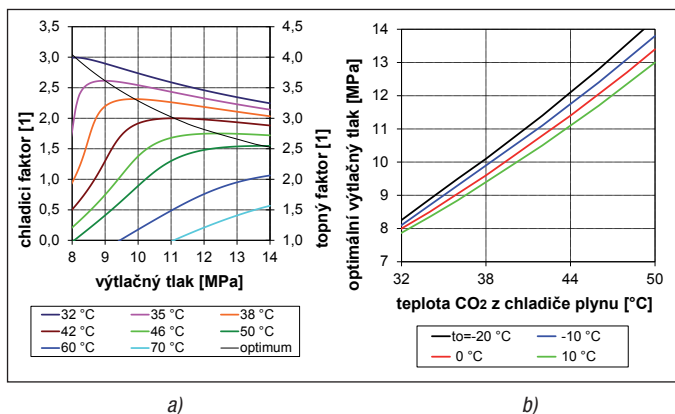
Na obr. 1 je nakreslen nadkritický Rankinův oběh v tepelném diagramu $p-h$ používaném v chladicí technice. Základní odlišností oproti podkritickému oběhu je, že na vysokotlaké straně není žádná vzájemná souvislost mezi tlakem a teplotou chladiva a obě stavové veličiny jsou na sobě nezávislé. Odvod tepla ve vysokotlakém chladíči pouze určuje výstupní teplotu chladiva z chladíče, nikoliv jeho tlak (jak tomu je u podkritických oběhů díky jednoznačné závislosti teploty fázové přeměny na tlaku), a oběh tak může být při stejných teplotních podmínkách provozován za různých tlaků, jak je na obrázku naznačeno červeně. S rostoucím výtlačným tlakem sice narůstá měrná izoentropická práce a_{ie} (stejně jako u podkritického oběhu), ale současně také narůstá hmotnostní chladivost q_o (na rozdíl od podkritického oběhu, u něhož hmotnostní chladivost naopak vždy klesá), takže nárůst výtlačného tlaku není jednoznačně škodlivý.

Situace je znázorněna na obr. 2a pro vypařovací teplotu -10 °C (např. běžná chladírenská aplikace nebo tepelné čerpadlo v zemi). V souladu s předchozím odstavcem se ukazuje, že s rostoucím výtlačným tlakem chladicí faktor v první fázi roste, až při určitém tlaku dosáhne svého maxima a pak dále klesá. Výtlačný tlak, při němž je dosaženo nejvyššího chladicího faktoru, je v dalším označován jako optimální. Tento tlak nemá jednu konstantní hodnotu, ale jak je vidět z obrázku, je proměnlivý podle výstupní teploty plynu z vysokotlakého chladíče. Na obr. 2a je naznačen tenkou černou čarou a na obr. 2b je vyneseno do samostatného grafu a doplněno o další vypařovací teploty. Je tak patrné, že optimální tlak je současně mírně závislý i na vypařovací teplotě.

Citlivost chladicího faktoru na neoptimální provozní podmínky je ukázána na obr. 3. Při vysokých výstupních teplotách oxidu uhličitého z chladíče plynu není dosažení optimálního výtlačného tlaku nezbytně nutné, protože i v rozsahu ± 1 MPa od optimálního tlaku je pokles chladicího faktoru max. 1 až 3 %. Naopak velmi důležité je správné nastavení tlaku v blízkosti kritické teploty. Obecně se



Obr. 1 Nadkritický Rankinův oběh v diagramu $p-h$



Obr. 2 Parametry nadkritického Rankinova oběhu s CO_2 : a) chladičí a topný faktor pro vypařovací teplotu -10 °C (parametrem je výstupní teplota plynu z vysokotlakého chladiče); b) optimální výtlačný tlak

pro všechny teploty plynu ukazuje, že při neoptimálním provozu je lepší mít výtlačný tlak mírně vyšší než nižší, protože v tomto směru je citlivost chladičího faktoru menší.

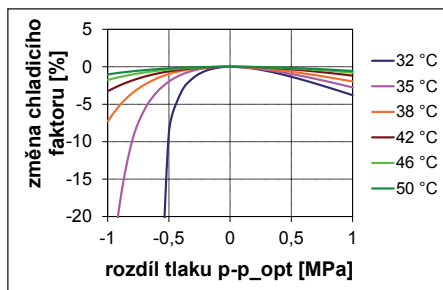
Z teorie chladičí techniky [1] vyplývá, že topný faktor je větší než chladičí faktor o konstantní hodnotu, kterou je 1

$$\varepsilon_{t,ie} = \varepsilon_{ie} + 1 \quad (3)$$

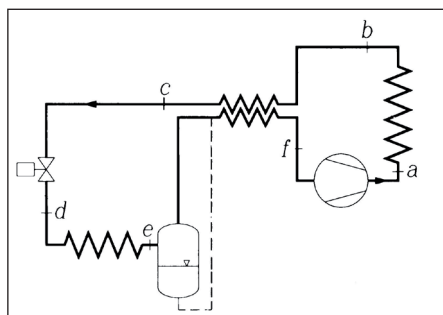
a je na obr. 2a vynesena na pomocné ose y. To znamená, že při stejné vypařovací teplotě a výstupní teplotě nadkritického plynu z vysokotlakého chladiče tak mají chladičí zařízení i tepelné čerpadlo stejný optimální tlak.

Diagramy na obr. 2 a 3 jsou sestaveny pro ideální Rankinův oběh. Chladičí a topný faktor je ale ovlivněn reálnou kompresí, což deformuje průběhy na obr. 2 a může tak u skutečných zařízení s reálnými kompresory přinést i jiné hodnoty optimálního tlaku a citlivosti chladičího, resp. topného faktoru.

Vzájemná nezávislost tlaku a teploty v nadkritické oblasti způsobuje, že výtlačný tlak na vysokotlaké straně neurčuje kondenzátor jako u podkritického oběhu, ale expanzní ventil. Ten tak musí u zařízení se suchou expanzí plnit dvě funkce současně: regulovat množství chladiva přiváděného do výparníku stejně jako u podkritického oběhu a nově regulovat výtlačný tlak, aby dosahoval hodnot optimálního tlaku. Zajistit sou-



Obr. 3 Změna chladičího faktoru nadkritického Rankinova oběhu s CO_2 při výtlačném tlaku v rozsahu $\pm 1\text{ MPa}$ od optimálního tlaku (parametrem je výstupní teplota plynu z vysokotlakého chladiče; $t_{co} = -10\text{ °C}$)



Obr. 4 Nadkritický oběh navržený prof. Lorentzenem [6]

časné splnění dvou požadavků pouze jedním regulačním elementem je nerealizovatelné. Expanze se proto řeší např.:

- Jedním expanzním ventilem spolu s nízkotlakým sběračem (odlučovačem) za výparníkem podle mezinárodního patentu profesora Lorentzena, viz obr. 4. Sběrač slouží jednak jako odlučovač kapek kapaliny, aby se nedostaly do kompresoru, a jednak jako akumulátor chladiva vyrovnávající změny náplně při různých provozních režimech. Návrat oleje zajišťuje kapilára propojující spodek sběrače se sacím potrubím. Vnitřní výměna tepla slouží k vypaření případných zbytků kapaliny a z hospodárňuje provoz podchlazováním nadkritického chladiva [2, 6].
- Dvěma expanzními ventily zapojenými do série, tj. dvoustupňovou expanzí, přičemž v prvním stupni je tlak snížen do podkritické oblasti a je tak nutné se vypořádat se vzniklou párou. Výhodou je, že pro druhý stupeň škrcení může být použita technologie nástřiku známá z podkritických oběhů, tedy pro suché výparníky termostatické nebo elektronické expanzní ventily. Při vhodné volbě středního tlaku lze použít běžně dostupné výrobky, aniž by bylo nutné ventily konstruovat na speciální tlaky. Komprese může zůstat jedno-
stupňová. Toto řešení je využíváno např. v komerčním chlazení v supermarketech.
- Dva expanzní ventily zapojené paralelně používané v experimentálních zařízeních [9].

Změny tlaku na výtlačné straně ovlivňují hustotu par chladiva a tím způsobují kolísání množství chladiva ve vysokotlaké části oběhu, které je nutné v rámci celého zařízení kompenzovat. Na rozdíl od podkritických oběhů nelze sběrač umístit na vysokotlaké straně, neboť tím by narůstal objem vysokotlaké části a kolísání náplně by se tak pouze zvětšovalo. V nadkritické oblasti rovněž není k dispozici žádná kapalná fáze, pomocí jejíhož přebytku se změny náplně v jednotlivých částech chladičího zařízení vyrovnávají. Proto je u nadkritických oběhů nutné umísťovat sběrač do nízkotlaké části pracující v podkritické oblasti, kde je již akumulace v kapalně fázi možná.

ZÁVĚR

Oxid uhličitý se jako chladivo dostal v posledních dvaceti letech opět do pozornosti v souvislosti s negativním působením dosud používaných chladiv na bázi halogenovaných uhlovodíků na životní prostředí. To patří k hlavním přednostem oxidu uhličitého, který nejenže nenarušuje ozónovou vrstvu ($ODP = 0$), ale ve srovnání s jinými chladivy používanými v současné době má i zanedbatelný vliv na globální oteplování Země ($GWP = 1$). Díky nadkritickému oběhu vykazují zařízení s oxidem uhličitým jako chladivem určité konstrukční a provozní odlišnosti oproti běžným zařízením s podkritickým oběhem. Srovnání energetické náročnosti zařízení s oxidem uhličitým budou věnovány dva následující články, samostatně pro chladičí zařízení a tepelná čerpadla.

Rozšíření oxidu uhličitého jako chladiva bude ovlivněno i legislativní situací v oblasti chladiv. Dnes je již jisté vyřazení fluorovaných halogenovaných uhlovodíků (označovaných jako F-plyny) jako silných skleníkových plynů, což jsou v současnosti hlavní chladiva používaná v Evropě, přičemž legislativa se může dále vyvíjet.

Kontakt na autora: miroslav.petrak@fs.cvut.cz

Použité zdroje

- BÄCKSTRÖM, M., EMBLIK, E. *Kältetechnik*. Karlsruhe: Verlag G. Braun, 3. vyd., 1965.
- GENTNER, H. Passenger Car Air Conditioning Using Carbon Dioxide as Refrigerant. In: *Natural Working Fluids '98*. Oslo Norsko: IIR-Gustav Lorentzen Conference komisi B1, B2, E1 a E2, 1998, s. 303-313. ISBN 2 903633 97 5

- [3] HESSE, U., KRUSE, H. Alternatives for CFC's and H-CFC 22 Based on CO₂. In: *Energy Efficiency in Refrigeration and Global Warming Impact*. Gand Belgie: IIR konference komisi B1 a B2, 1993, s. 317-325. ISBN 2 903 633 622
- [4] LORENTZEN, G. Use of CO₂ in Commercial Refrigeration – An Energy Efficient Solution. In: *New Applications of Natural Working Fluids in Refrigeration and Air Conditioning*. Hannover Německo: IIR konference komise B2, 1994, s. 703-709. ISBN 2 903 633 68 1
- [5] LORENTZEN, G. Use of Natural Refrigerants. A Complete Solution to the CFC/HCFC Predicament. In: *New Applications of Natural Working Fluids in Refrigeration and Air Conditioning*. Hannover Německo: IIR konference komise B2, 1994, s. 23-36. ISBN 2 903 633 68 1
- [6] LORENZEN, G. Application of "Natural" Refrigerants. A Rational Solution to a Pressing Problem. In: *Energy Efficiency in Refrigeration and Global Warming Impact*. Gand Belgie: IIR konference komisi B1 a B2, 1993, s. 55-64. ISBN 2 903 633 622
- [7] LORENTZEN, G. Large Heat Pumps Using CO₂ Refrigerant. In: *Energy Efficiency in Refrigeration and Global Warming Impact*. Gand Belgie: IIR konference komisi B1 a B2, 1993, s. 191-197. ISBN 2 903 633 622
- [8] PLANK, R. Handbuch der Kältetechnik. 4. Band Kältemittel. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag, 1956.
- [9] STENE, J. Residential CO₂ Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating. Thesis for the Degree of Doktor Ingeniør. NTNU – Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology, 2004
- [10] Thermodynamic Properties Refprop. National Institute of Standards and Technology, USA.
- [11] Thermodynamical Properties R744, CO₂. IIR, Paris 2003. ISBN 2-913149-30-8 ■



**VYTÁPĚNÍ
VĚTRÁNÍ
INSTALACE**

Webová prezentace časopisu VVI
www.stpcr.cz/vvi

- historie a současnost časopisu
- informace pro autory
- informace pro recenzenty
- soutěž o cenu prof. Pulkrábka
- obsahy všech čísel od r. 1958
- vyhledávací databáze
- plné verze vybraných článků
- dostupnost starších čísel

Stěny jako úložiště elektrické energie?

Tuto otázku si položili vědci Vanderbiltovy univerzity v Nashvillu. Vynulí porézní křemík a vytvořili z něho superkondenzátor, jenž umožňuje materiálům, podobným jako jsou stěny, skladovat elektrickou energii, a to dlouhou dobu. Ukládací schopnost stěny je sice zlomkem schopnosti např. současné lithiové baterie, pouhou desetinou, avšak mnohem rychlejší a s více než tisícínásobnou životností. Snáší i mechanická namáhání, vibrace, přetížení více než 80 g a tlak až 3 bar.

Kondenzátor se skládá ze dvou tenkých vrstev jako elektrod, mezi nimiž se nachází vrstvička elektrolytu v nanopórech grafenu. Zatímco u baterií vytváří proud chemické reakce, drží kondenzátor elektricky nabitě ionty pevně na povrchu. Způsob byl popsán 19. 5. 2014 v časopise Nano Letters.

Pramen: CCI 09/2014, s. 4 (AB)

Chemický veletrh Achema 2015 již v červnu

Největší světový chemický veletrh Achema 2015, pořádaný jako trienále, se koná jako již tradičně ve dnech 15. až 19. června 2015 ve Frankfurtu nad Mohanem. Průřezový veletrh má co říci i technice prostředí. Nejobsazenějším oborem nomenklatury je obor čerpadel, kompresorů, armatur a potrubí. S každou akcí roste obsazení oboru přístrojové techniky, řízení a automatizační techniky. V oboru materiálové techniky jsou věnována tři patra haly novým konstrukčním materiálům, zkoušení materiálů a ochraně proti korozi. V oboru výzkumu a inovací zdůrazňuje veletrh témata energetické účinnosti, využití oxidu uhličitého a nanotechnologie.

Pramen: www.dechema.de (AB)

Plastové trubky z PEEK s kluzným povrchem

Na veletrhu lékařské techniky MD&M 2014 v Anaheimu předvedla americká firma Zeus ze Spartansburgu v Jižní Karolině nové plastové trubky pro lékařskou a přístrojovou techniku, vyrobené z polymeru polyetheretherketon (PEEK), které dosahují nízkého součinitele tření a až 42 % kluzných vlastností nekluznějšího polymeru tetrafluorethylen (PTFE), známého např. jako

Teflon. Nemají však některé nepříznivé vlastnosti PTFE, které omezují jeho použití v medicíně.

Nové tenkostěnné trubky vyráběné i v malých průměrech nejsou smáčeny vodou a mají tím snadnější průtok vody a jiných tekutin, užívaných v přístrojové technice a vyžadují menší energii k čerpání. Snáší vysoké teploty sterilizace. Neobsahují toxický bisfenol A (BPA) jako např. měkčené typy PVC hadic. Trubky, hadice, trubičky a hadičky ze 100% PEEK jsou schváleny americkým úřadem pro potraviny a léky FDA.

Pramen: MD&M 2014 Showstoppers Plastic News (AB)

Úspory jsou ve vzduchu

Trh centrálního větrání klimatizace v Německu stejně jako v Evropě neustále roste. Na objednávku německého svazu výrobců větrací a klimatizační techniky provedla Univerzita aplikovaných věd v Trevíru studii, která zjistila, že centrální větrací systémy v Německu mohly v roce 2013 získat zpět kolem 20,1 TWh tepla. Předpověděla, že v roce 2020 to může být až 33,2 TWh.

Evropská, resp. německá směrnice k úsporám energie EnEV 2014, resp. EnEG 2013 nařizují užití jednotek pro zpětné získávání odpadního tepla u všech větracích a klimatizačních jednotek s průtokem nad 4 000 m³/h. Zatímco německá vládní politika sleduje úspory energie a uhlíku, evropská politika sleduje náklady a konkurenční výhody. Podle výpočtů firmy Keller Lufttechnik GmbH může zpětné získávání tepla u zařízení s průtokem 10 000 m³/h snížit potřebu energie až o 70 %.

I zcela rozdílné průmyslové výroby se musí věnovat zpracování odpadního vzduchu – od chemické výroby po zpracování kovů nebo od výroby kompozitů po lakovny a jiné povrchové úpravy. Větrací systémy jsou „žrouty“ energie zvláště u povrchových úprav. To je dostatečný důvod pro správný výběr technologie větrání z hlediska energetické náročnosti. Tomu se přizpůsobil i letošní veletrh Hannover Messe zavedením nové kategorie do oboru „Energy & Environmental Engineering“, která předvede nové komponenty, celé závody a řešení specifická z hlediska spotřeby energie, vody a osvětlení.

Pramen: Newsletter Hannover Messe, 12. 2. 2015 (AB)