

ABSORPČNÍ CYKLY

Petr Kracík, Jiří Pospíšil, Ladislav Šnajdárek

VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Technická 2896/2, 616 69 Brno
email: kracik@fme.vutbr.cz

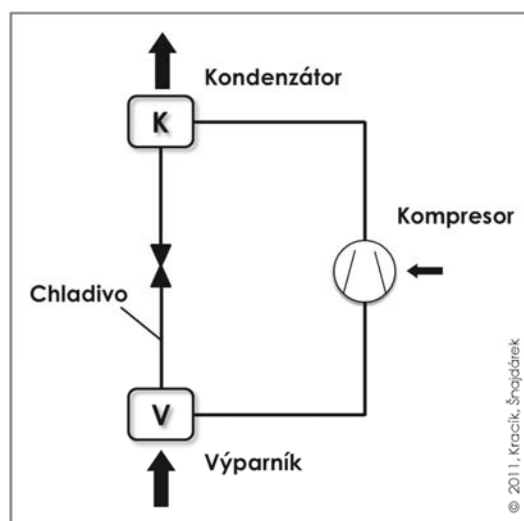
Požadavky lidí na jejich komfort se rok od roku stupňují a tím vzrůstají i jejich energetické nároky. Ale zásoby nerostných surovin se tenčí a jejich vzrůstající cena již řadu let tlačí na jejich efektivní transformaci. Z energetického pohledu lidé využívají hlavně tři druhy energií. A to elektřinu, teplo a v poslední době se vzrůstající tendencí i chlad, jehož problematikou se bude zabývat následující článek.

Klíčová slova: chlad, absorpční cyklus, kompresorový cyklus, skrápěné výměníky

CHLAD A JEHO VÝROBA

Chlad je nepostradatelnou součástí v potravinářském, chemickém i strojírenském průmyslu a v poslední době se dynamicky rozvíjí jeho spotřeba při zvyšování pohody prostředí nejen v nákupních centrech, kancelářských budovách ale hlavně v domácnostech.

Chlad se dnes převážně vyrábí pomocí kompresorových chladicích zařízení, která mají vysokou spotřebu elektrické energie. Jejich reálnou alternativou je absorpční cyklus. Rozdíl mezi těmito technologiemi výroby je uveden na následujících dvou obrázcích.

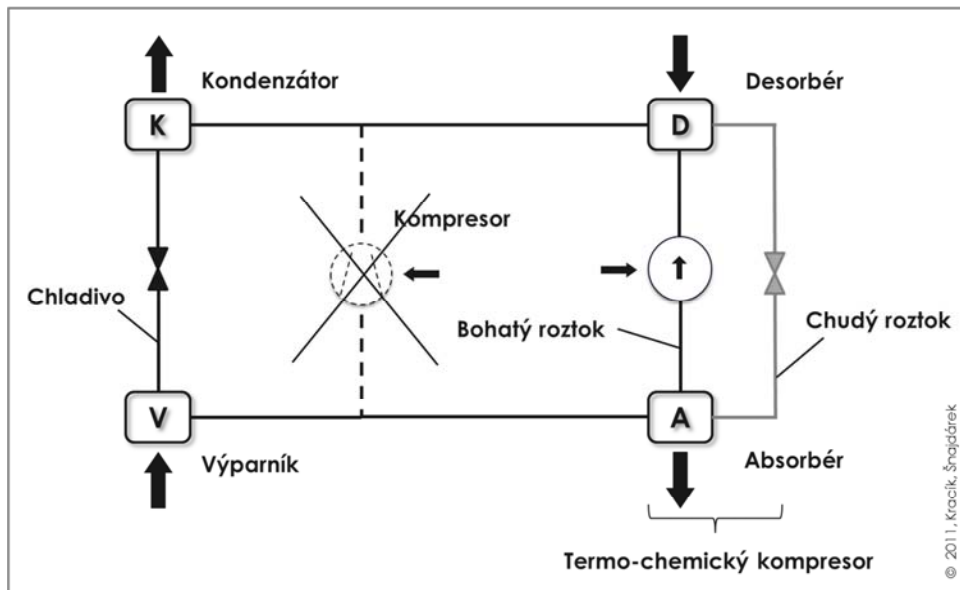


Obr. 1 Schéma kompresorového chladicího zařízení.

V kompresorovém chladicím zařízení je teponosnou látkou chladivo, které obíhá v uzavřeném cyklu. Chladivo proudící z kondenzátoru expanduje za expanzním ventilem ve výparníku. Latentní teplo potřebné pro vypařování je odebíráno ochlazené látce. Parní směs je dále stlačována v kompresoru, který dodává energii do cyklu. Vlivem ochlazení při vyšším tlaku začne parní směs kondenzovat a vzniklý kondenzát opět teče do expanzního ventilu, čím je cyklus uzavřen.

U absorpční jednotky je energie dodávána do cyklu v podobě tepla buď přímým spalováním paliva v absorpční jednotce (nejčastěji realizováno plynovými hořáky) nebo nepřímo z libovolné teponosné látky o vhodné teplotě (vodou či parou), jak je patrné z Obr. 2 viz níže. Parní směs proudící z výparníku, kde je teplo odnímáno ochlazené látce, jde do absorbéru, kde je absorbována do kapalné absorpční látky (absorbentu) při současném uvolnění absorpčního tepla. Směs absorbentu a chladiva je dále stlačována čerpadlem a dopravována do desorbéru, kde je dodávána již výše zmíněná tepelná energie do cyklu. Zvyšováním teploty dochází k vypařování chladiva, která následně proudí do kondenzátoru. Z desorbéru odchází absorpční látka prostá chladiva z vysokotlaké části cyklu přes redukční ventil zpět do nízkotlaké části, tedy do absorbéru. Chladivo

v kondenzátoru kondenzuje při vhodném odvodu tepla z cyklu a kondenzát odchází přes redukční ventil do výparníku, kde se po prudkém snížení tlaku začne vypařovat. Latentní teplo potřebné k vypařování je odnímáno opět ochlazené látce, čímž je celý cyklus uzavřen



Obr. 2 Schéma absorpčního cyklu.

Při výběru vhodných látek využitelných v absorpčních obězích hraje hlavní roli dobrá rozpustnost chladiva v absorpční látce. Dalším kritériem při výběru jsou tepelné stavy, při kterých látka prochází fázovou přeměnou, na čemž celý cyklus stojí. Těmito kritériím vyhovují nejlépe kombinace látek (chladio / absorbér) $\text{H}_2\text{O} / \text{LiBr}$ (bromid lithný), $\text{H}_2\text{O} / \text{NaOH}$ (hydroxid sodný), $\text{H}_2\text{O} / \text{LiCl}$ (chlorid lithný) či NH_3 (amoniak, resp. triviální název je čpavek) / H_2O . V současných instalacích se převážně používá dvojice $\text{H}_2\text{O} / \text{LiBr}$. Jelikož je voda v této kombinaci chladivem, vyplývají z ní omezené pracovní teploty využití, které musí být nad bodem mrazu, tedy větší než 0°C . Bromid lithný je sůl získávaná z mořské vody. Je tedy netoxická a šetrná k životnímu prostředí, ale v kombinaci s kyslíkem má vysoké korozivní účinky na ocel.

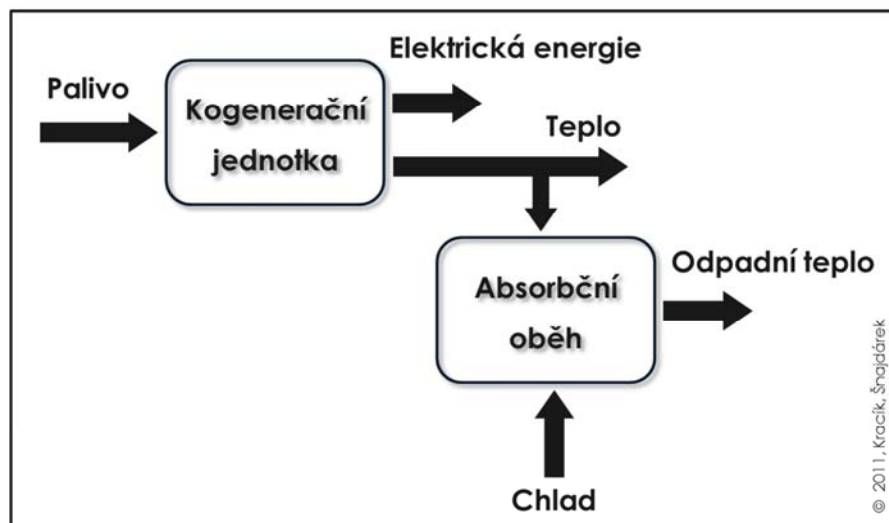
Když porovnáme závislost spotřeby elektrické energie obou cyklů, je zřejmá výhodnost absorpčního cyklu, neboť má jen přibližně pětinou spotřebu elektrické energie. Jeho nevýhodou jsou větší rozměry, resp. hmotnost a vyšší pořizovací cena, která je vyvážená delší dobou životnosti, protože jedinou rotační částí je čerpadlo, na které se při pořizování nekladou žádné zvláštní nároky, oproti kompresoru v kompresorovém chladicím zařízení. Investice jsou tedy do absorpčního oběhu větší, ale provozní náklady jsou nižší. Proto je doba návratnosti u absorpčního oběhu přibližně srovnatelná s dobou návratnosti u kompresorového chladicího zařízení.

KOGENERACE NEBO TRIGENERACE?

Společná výroba tepla a elektřiny neboli kogenerace přináší výhody v podobě úspory primárního paliva a centralizaci resp. snížení škodlivin, oproti oddělené výrobě tepla či elektřiny tím, že teplo, které již není efektivní expandovat na turbíně při výrobě elektřiny, je dále využíváno pro technické potřeby energetického zařízení (například pro regeneraci tepla, pro chemickou úpravu vody, pro parní napáječky apod.) nebo dodáváno dalšímu spotřebiteli čímž je zvyšována efektivnost parního oběhu v elektrárně.

Při pohledu na spotřební diagram tepla je zřejmé, že v průběhu roku je spotřeba nejvyšší v období zimy a nejnižší v období léta a v případě elektřiny není tento rozdíl tak markantní vlivem využívání klimatizací v letním období. Pro technická zařízení by ale byl optimální konstantní průběh výroby po celý rok a to nejen z ekonomického hlediska. Stabilní výkon zařízení vede k prodloužení jeho životnosti a spolehlivosti.

Jednou z možností, jak využívat teplo z teplotních celků ve větším objemu i v letním období, je výroba chladu. Společná výroba elektřiny, tepla a chladu se nazývá trigenerace a tepelné toky jsou zřejmé z následujícího obrázku.



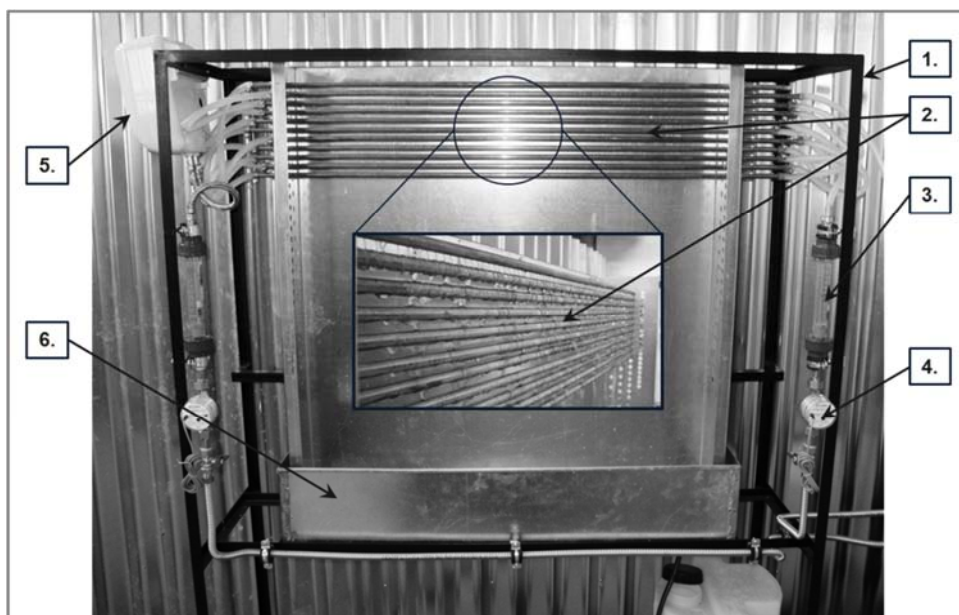
Obr. 3 Energetické toky v trigenerační jednotce.

Podle umístění absorpční jednotky a dodávky chladu lze dělit systémy na centralizovanou výrobu chladu a decentralizovanou výrobu chladu. V případě centralizované výroby chladu a jeho dálkového zásobování je absorpční jednotka umístěna přímo u zdroje tepla a chlad je rozváděn vlastním potrubím k zákazníkům. Jako teplotní látka se převážně využívá voda. Tento způsob se sice ve světě rozšiřuje, ale nese sebou velké investiční náklady na rozvody chladu. Potrubí nemusí být v zemi nijak speciálně izolováno, jelikož v nezamrzlé hloubce je malý teplotní spád mezi ochlazenou vodou a okolím trubky, ale v přebírací stanici u zákazníka musí být zaručeno nízké tepelné ovlivnění.

V případě decentralizované výroby chladu je chlad vyráběn u zákazníka, přičemž teplo je přiváděno stávajícím systémem centrálního zásobování teplem (CZT). Zde jsou úspory na rozvodu tepla patrné. Ale vlivem tepelných ztrát v potrubí na cestě k zákazníkovi je snížen možný tepelný spád v absorpční jednotce.

EXPERIMENTÁLNÍ ATMOSFERICKÝ SKRÁPĚNÝ TRUBKOVÝ VÝMĚNÍK

Jednou z hlavních komponent absorpčních oběhů je výměník zajišťující optimální přestup tepla. Touto problematikou se již řadu let zabývá náš Odbor energetického inženýrství. První vzniklé experimentální zařízení pracuje při atmosférickém tlaku a uvažuje různé rozteče a typy povrchů trubek výměníku.



Obr. 4 Experimentální atmosferický trubkový výměník.

Trubkový svazek (poz. 2 na Obr. 4) upevněný na rámu (poz. 1) může být tvořen až 20 ti trubkami uspořádanými nad sebou v zákrytu, u nichž lze nastavit rozteč trubek s krokem 5 mm a to v rozsahu 15 až 35 mm. Průtok v chladicí smyčce (v trubkovém svazku) může být udržován čerpadlem až ve výši 300 l/h. Skrápěná kapalina je rozváděna čerpadlem nad trubkový svazek pomocí rozváděcí trubky, která má v sobě otvory o průměru 1,5 mm s roztečí děr 10 mm po celé délce.

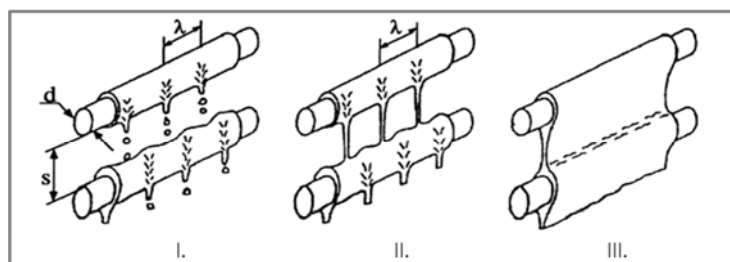
Experimentální zařízení je vybaveno čtyřmi termočlánky, které měří teploty na vstupu a výstupu skrápěné i skrápějící kapaliny. Průtok je měřen dvěma způsoby. Okamžitý průtok je sledován průtokoměrem na poz. 3 a celkový průtok je sledován vodoměrem (poz. 4). Průtokovým ohříváčem (poz. 5) je ohřívána skrápěcí kapalina, kterou zachytává žlab (poz. 6). Zkrápěná kapalina je brána z vodovodního řádu.

Samotný trubkový svazek tvoří měděné trubky o průměru 12 mm s různými povrchovými úpravami. Pro tento stand byly použity: hladké, pískované a žebrované trubky.



Obr. 5 Povrchy použitých trubek [3].

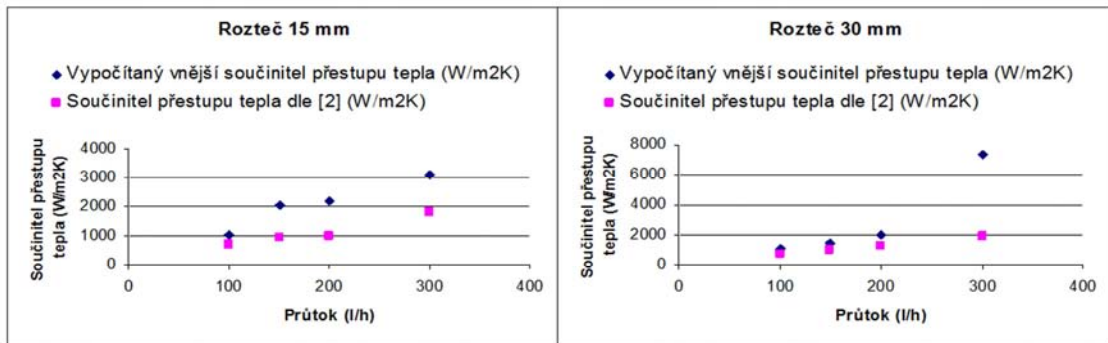
Ve skrápěném výměníku obecně nastávají 3 druhy režimů a to: I. kapkový, II. sloupcový, III. blánový viz. Obr. 6.



Obr. 6 Režimy při skrápění [4].

Na charakter zkrápění mají hlavní vliv dvě fyzikální vlastnosti a to povrchové napětí a viskozita. Pro optimální zkrápění trubek je nutná nižší viskozita. Toto je docíleno různými rozpustnými přísadami (např. vyšší alkoholy). Cílem je docílit optimálního nastavení průtoku, rozteče a tvaru trubek pro vytvoření kapkovo-sloupcového režimu.

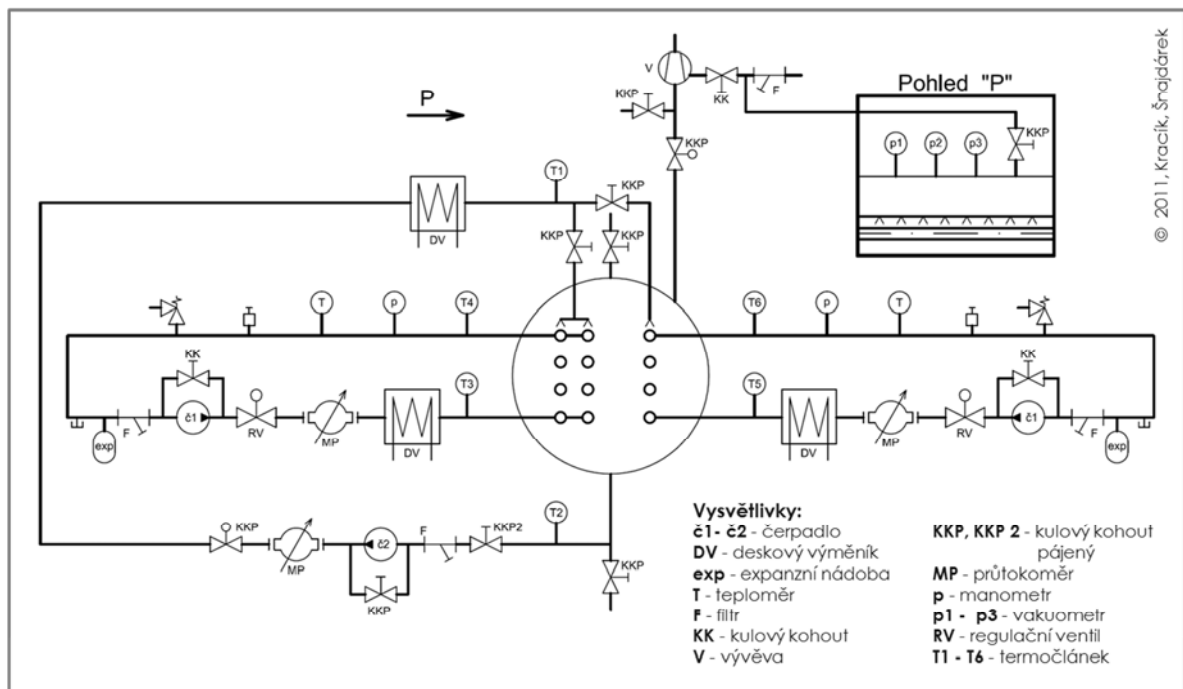
Součinitel přestupu tepla byl počítán pomocí dvou metod. Při první metodě byl využit Dittova-Boelova vztah, kde fyzikální vlastnosti byly odečteny pro průměrnou teplotu v chladicí smyčce. Ve druhé metodě byl využit Jakoby – Hu, kde fyzikální vlastnosti byly vztaheny ke vstupní teplotě skrápěné kapaliny. Na následujícím obrázku jsou srovnány obě varianty pro dvě rozteče.



Obr. 7 Součinitele přestupu tepla [3].

EXPERIMENTÁLNÍ PODTLAKOVÝ SKRÁPĚNÝ TRUBKOVÝ VÝMĚNÍK

Na výzkum přestupu tepla na skrápěném trubkovém svazku při atmosférickém tlaku plynule navazuje vývoj trubkového svazku umístěného v nádobě, ve které je vývěvou skrze ejektor tvořen podtlak. V komoře může být simulován var i kondenzace na skrápěném trubkovém svazku. Na Obr. 8 je schéma v současné době montovaného podtlakového stendu.



Obr. 8 Schéma podtlakového stendu.

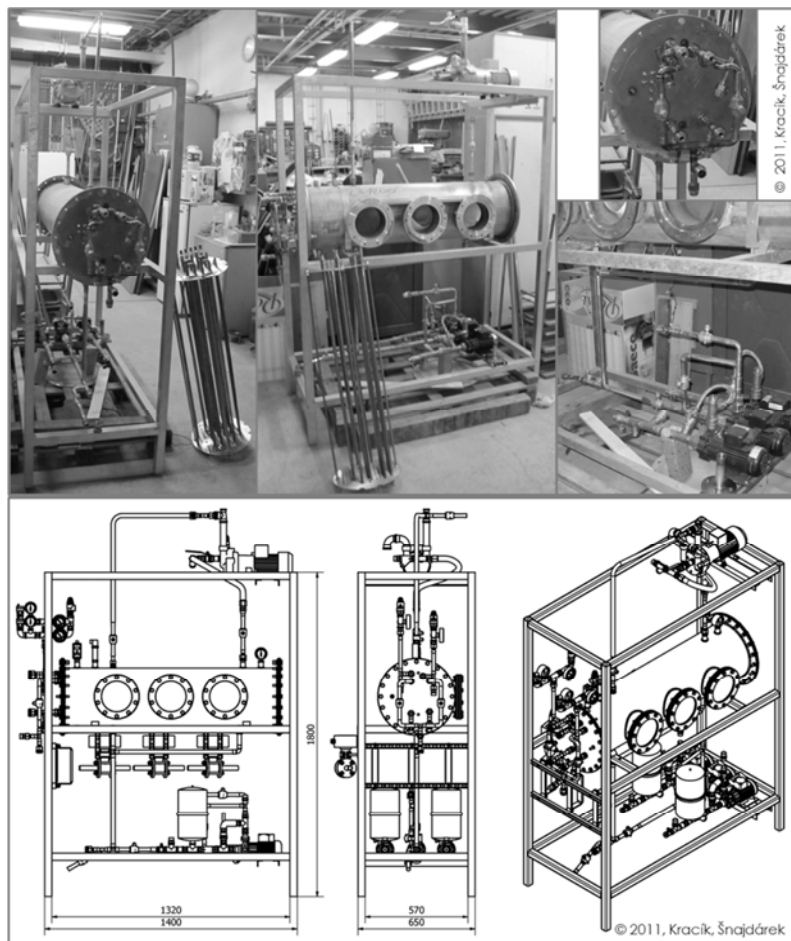
Komora podtlakového stendu je válcová nádoba s třemi průzory, v níž je umístěn trubkový svazek. Na komoru jsou napojeny tři uzavřené smyčky. Dvě smyčky jsou navrženy pro přetlak až 1,0 MPa a slouží pro dopravu chladicí/topné kapaliny. Třetí smyčka slouží pro dopravu skrápěcí kapaliny. Každá smyčka je osazena

čerpádem, regulačním ventilem, měřičem průtoku a deskovým výměníkem. Deskový výměník je možné napojit na boiler s horkou vodou pro ohřev kapaliny, nebo vodovodní řád v případě ochlazování. Přetlakové smyčky jsou navíc osazeny expanzními nádobami, které slouží pro vyrovnání dovolených tlakových diferencí, a pro případ nepřípustného navýšení tlaku slouží pojistný ventil, který část média může upustit. Pro vizuální kontrolu jsou smyčky také osazeny manometrem a teploměrem.

Teplotní stavy v jednotlivých smyčkách jsou měřeny termočlánky na vstupu resp. výstupu médií z nádoby a pro bližší přiblížení rozvrstvení tepla v trubkovém svazku jsou umístěny čtyři termočlánky po dvou v každé smyčce. Montážní plech trubkových svazků je rozdělen na dvě poloviny, kde v každé polovině jsou vrtány rozteče rozdílně pro velkou variabilitu uspořádání. Trubkový svazek je složen z měděných trubek o průměru 12 mm a ve skrápěcí trubce jsou otvory o průměru 1,0 mm s roztečí 9,2 mm na délce 940 mm.

Pro měření podtlaku slouží tři vakuometry. První je určen pro vizuální kontrolu a je rtuťový, druhý digitální měří v celém požadovaném spektru podtlaku, ale při velmi nízkých tlacích je značně nepřesný. Pro měření tohoto nízkého spektra (pod 20kPa absolutního tlaku) slouží třetí digitální vakuometr.

Na obrázku Obr. 9 je ukázka sestavy modelu podtlakového stendu a fotografie již realizovaných částí.



Obr. 9 Stav realizace podtlakového stendu a jeho počítačový model.

ZÁVĚR

Absorpční cykly jsou stále méně využívány kvůli větší pořizovací ceně, ale jejich produkce stále strměji roste. Na požadavky průmyslu ohledně výzkumu v této oblasti pružně již řadu let reaguje Odbor energetického inženýrství fakulty Strojního inženýrství na VUT v Brně. V současné době se zkoumá součinitel přestupu tepla při atmosférickém tlaku na povrchu skrápěných trubek a vlivy, které ho ovlivňují. Jako například povrch zkrápěných trubek, velikost kapek, vodné příměsi ve skrápěcí vodě atd. Na současný výzkum navazuje

realizace podtlakového stendu, který Vám snad budeme moci představit i s prvními naměřenými výsledky na další konferenci.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory GA ČR v rámci řešení projektu č. P10/10/1669.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Osterreicher D., Pol O., *Concerto Initiative and Polygeneration*, Proceedings of the 1st European Conference on Polygeneration, Vol.1, No.1, pp. 39-54., 2007
- [2] Petchers, Neil, *Combined heating, cooling & power handbook*, Lilburn: The Fairmont Press, Inc. 2003
- [3] Fortelný, Z.; Chroboczek, L.; Pospíšil, J.; Škvařil, J. *Přestup tepla ve svazkovém výměníku*. In ERIN 2010. 2010. s. 1-8. ISBN: 978-80-7043-866-4.
- [4] JACOBI, A. M., HU, X.: *The Intertube Falling-Film Modes: Transition, Hysteresis, and Effects on Heat Transfer*, Urbana, IL 61801, (217) 333-3115, 1995
- [5] Minciuc E., Corre O., Athanasovici V., Tazerout M., *Fuel saving and CO2 emissions for tri-generation systems*, Applied Thermal Engineering 23, pp. 1333-1346, 2003