

VWE

Validierung von Wirbelrohr und Ejektor im Hinblick auf die Systemverbesserung industrielle Wärmepumpe

Programm / Ausschreibung	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschung 5. Ausschreibung 2018	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.05.2019	Projektende	31.08.2020
Zeitraum	2019 - 2020	Projektlaufzeit	16 Monate
Keywords	Hochtemperatur-Waermepumpen, Ejektor, Wirbelrohr		

Projektbeschreibung

Der Einsatz von Wärmepumpen in industriellen Hochtemperaturprozessen hat im Hinblick auf Energieeinsparung und Reduzierung der Treibhausgasemissionen ein hohes Potenzial (laut Statistik Austria, die Industrie ist für rund ein Drittel Endenergieverbrauchs in Österreich verantwortlich). Der Wärmepumpenbetrieb in industriellen Prozessen ist typischerweise mit hohen Kältemitteldrücken verbunden (da sie zum Erreichen so hoher Prozesstemperaturen benötigt werden), denen typischerweise ein hoher Anteil der Expansionsarbeiten im Kältemittelkreislauf folgt. In der Standardkonfiguration der Wärmepumpe erfolgt dieser Expansionsprozess in Form der irreversiblen Energieverluste. Um die Effizienz dieser Maschinen zu erhöhen, wird daher versucht, diese Expansionsenergie (zumindest teilweise) zurückzugewinnen (wodurch der Gesamtleistungskoeffizient erhöht wird).

Im Mittelpunkt dieses Sondierungsprojektes stehen zwei Komponenten zur Energierückgewinnung aus dem Expansionsprozess: der Ejektor und das Wirbelrohr. Diese beiden Komponenten (die derzeit an verschiedenen TRLs für industrielle Anwendungen erforscht werden) sind mit einer COP-Verbesserung von bis zu 27% (nach verfügbarer Literatur) besonders innovativ. Im Ejektor wird der Enddruck des Ausflusstroms auf ein mittleres Niveau angehoben (durch die Mischung zwischen Hoch- und Niederdruckstrom), wodurch der Arbeitsaufwand für den Kompressor reduziert wird. Die Wirbelrohrfunktion ist die Trennung des ankommenden Hochdruckstroms in einen kalten und einen heißen Strom auf dem niedrigeren Druckniveau (Ranque-Hilsch Effekt), wobei diese beiden Auslaufströme jeweils zur Unterkühlung und Überhitzung des Kältemittels genutzt werden können. Trotz der Vorteile, die Ejektoren und Wirbelrohre für die Gesamtleistung der industriellen Wärmepumpen mit sich bringen können, sind sie immer noch nicht weit verbreitet (die Ejektoren werden meist in Verbindung mit dem CO₂ als Kältemittel eingesetzt, während die Wirbelrohre in sehr engen Anwendungsbereichen zu finden sind). Der Grund dafür ist ein mangelndes praktisches Verständnis der zugrunde liegenden Strömungsprozesse im Ejektor bzw. im Wirbelrohr. Nämlich die in der Literatur verfügbaren experimentellen Untersuchungen, die die Systemleistung mit Ejektoren oder Wirbelrohren betrachten, sind bei der Behandlung der kritischen, fehlerhaften Elemente ihrer Funktionalität weitgehend nicht schlüssig.

Um dieses Hindernis zu überwinden und gleichzeitig den Einsatz dieser Energieverbesserungsmaßnahmen in industriellen

Wärmepumpen zu erweitern, werden die besten verfügbaren Simulationswerkzeuge eingesetzt, um eine Reihe detaillierter numerischer Untersuchungen durchzuführen. Ziel ist es, ein klares Bild über den Einfluss der genauen Geometriespezifikationen, die Anwendbarkeit verschiedener Kältemittel und die Teillastperformance zu erhalten. Zu diesem Zweck werden am Ende dieses Projekts drei Ergebnisgruppen (zur Verbesserung der Arbeitsabläufe, die innerhalb des Projekts als einzelne Arbeitspakete strukturiert sind) vorgelegt: 1) durch eine Reihe detaillierter numerischer Untersuchungen, um ein ausreichendes Verständnis der Strömungsvorgänge innerhalb des Ejektors und des Wirbelrohrs zu erreichen (letztendlich, um erste Entwürfe der Konstruktionszeichnungen sowohl des Ejektors als auch des Wirbelrohrs erstellen zu können); 2) auf der Grundlage des entwickelten Verständnisses, um realistisch lieferbare Wärmepumpenkonfigurationen zu modellieren und zu analysieren, die zu den Leistungsverbesserungen und Einsparpotenzialen führen, die durch den Ejektor und die Wirbelrohranwendung ausgelöst werden; 3) mit einem grundlegenden Design- und Konstruktionsvorschlag vom ersten Punkt an und der Abschätzung der Einsparungen und Verbesserungen vom zweiten Punkt an, ist das Endergebnis, dass die vorläufige Kosten-Nutzen-Bewertung sowohl für den Ejektor als auch für das Wirbelrohr in einer industriellen Hochtemperatur-Wärmepumpe erreicht wird.

Abstract

The application of heat pumps in high temperature industrial processes has a high potential from the point of view of energy savings and reductions of greenhouse emissions (according to Statistik Austria, the industry is responsible for about one third of final energy consumption in Austria). The heat pump operations in industrial processes typically involve high refrigerant pressure levels (as they are needed to reach such high process temperatures), which is, in turn, typically followed by high amount of the expansion work in the refrigerant cycle. In the standard heat pump configuration, this expansion process takes the form of the irreversible energy dissipation. Hence, in order to increase the efficiency of these machines, the attempts are made to recover (at least a part of) that expansion energy (increasing thus the overall coefficient of performance).

In the focus of this exploratory project are two devices for the energy recovery from the expansion process: the ejector, and the vortex tube. These two components (currently researched on different TRLs for industrial applications) are particularly innovative, with COP improvement of up to 27% (according to available literature). In the ejector, the final pressure of the outflow stream is lifted to some intermediate level (through the mixing between the high and low pressure streams), reducing thus the work needed by the compressor. The vortex tube feature is to separate incoming high pressure stream into a cold and hot stream on the lower pressure level (Ranque-Hilsch effect), whereby these two outflow streams can be used respectively for undercooling and superheating of the refrigerant. However, despite the advantages that ejectors and vortex tubes can bring for the overall performance of the industrial heat pumps, they are still not widely used (the ejectors are mostly used in conjunction with the CO₂ as the refrigerant, while the vortex tubes can be found in very restricted areas of application). The reason for this is a lack of practical understanding of the underlying flow processes within the ejector and vortex tube respectively. Namely, the experimental investigations available in literature, which are treating the system performance with ejectors or vortex tubes, are mainly inconclusive when addressing the critical failing elements of their functionality.

In order to tackle this shortcoming, while aiming at widening the use of these energy improvement measures in industrial heat pumps, the best available simulation tools will be deployed to perform a set of detailed numerical investigations. The aim is to gain a clear picture of the influence of the precise geometry specifications, the applicability of different

refrigerants, and the partial load performance. To that purpose, three groups of results (for better work streamlining, structured within the project as individual work packages) will be delivered at the end of this project: 1) through a set of detailed numerical investigations to reach a sufficient understanding of the flow processes taking place within the ejector and the vortex tube (ultimately, being able to create first drafts of the construction drawings of both the ejector and the vortex tube); 2) based on the developed understanding, to model and analyze realistically deliverable heat pump configurations, arriving at the performance improvements and saving potential triggered by the ejector and vortex tube application; 3) having a basic design and construction proposal from the first point, and the estimation for the savings and improvements from the second, the final result is to arrive at the preliminary cost-benefit evaluation for both the ejector and the vortex tube in an industrial high temperature heat pump.

Projektpartner

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH