



# Cascade thermochemical storage with internal condensation heat recovery for better energy and exergy efficiencies



Kokouvi Edem N'Tsoukpoe<sup>a,\*</sup>, Thomas Osterland<sup>b</sup>, Oliver Opel<sup>c</sup>, Wolfgang K.L. Ruck<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE), Département Génie Electrique, Energétique et Industriel, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso*

<sup>b</sup> *Faculty of Mechanical and Process Engineering, University of Applied Science Augsburg, Postbox 110605, 86031 Augsburg, Germany*

<sup>c</sup> *Institute of Sustainable and Environmental Chemistry, Faculty of Sustainability, Leuphana University Lüneburg, Scharnhorststraße 1, 21335 Lüneburg, Germany*

## HIGHLIGHTS

- Salt hydrates thermochemical storages reject  $\frac{2}{3}$  of the charging heat at the condenser.
- A cascade thermochemical storage with internal condensation heat recovery is proposed.
- This cascade design improves the energy and exergy efficiencies.
- In the case study, energy and exergy efficiencies were enhanced by a factor of 1.8.
- The process with heat recovery requires less heat input during the charging.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 27 April 2016

Received in revised form 25 July 2016

Accepted 16 August 2016

### Keywords:

Cascade thermochemical storage  
Thermochemical heat storage  
Thermodynamic design  
Energy efficiency  
Condensation heat recovery  
Exergy efficiency

### Schlüsselwörter:

Kaskadierte thermochemische Speicherung  
Thermochemische Wärmespeicherung  
Thermodynamische Auslegung  
Energieeffizienz  
Kondensationswärmerückgewinnung  
Exergieeffizienz

## ABSTRACT

Thermochemical heat storage processes generally involve significant condensation heat rejection to the environment during charging. This heat rejection is about two thirds of the charging heat of salt hydrates, which are a promising class of materials for heat storage in the low temperature range, i.e. for space heating and domestic hot water production. We showed that internal condensation heat recovery through a new concept of a cascade thermochemical heat storage process leads to an improvement of the energy and exergy efficiencies of the process. To illustrate the potential of this new concept, we compare a classical thermochemical based heat storage with one involving internal condensation heat recovery. In order to have an unbiased comparison basis, the two processes have similar boundary temperature conditions. The energy and exergy efficiencies of the process with internal heat recovery is as much as 1.8 times that of the classical thermochemical heat storage process. The process with heat recovery requires only 55% of the energy input at high temperature during charging of the classical process, for the same discharging heat output.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## ZUSAMMENFASSUNG

Thermochemische Wärmespeicherprozesse beinhalten grundsätzlich eine signifikante Abgabe von Kondensationswärme an die Umgebung während des Beladens. Diese Wärmeabgabe beträgt bei Salzhydraten etwa 2/3 der für die Beladung aufgewendeten Wärme. Salzhydrate sind aber im Niedertemperaturbereich eine vielversprechende Materialklasse für Wärmespeicher in den Anwendungsfeldern Raumwärme und Bereitung von warmem Trinkwasser. Wir zeigen, dass interne Rückgewinnung von Kondensationswärme mithilfe eines neuen Konzepts der kaskadierten thermochemischen Wärmespeicherung zu einer Verbesserung der Energie- und Exergieeffizienz des Prozesses führt. Um das Potenzial dieses neuen Konzepts zu veranschaulichen vergleichen wir ein "klassisches" thermochemisches Wärmespeichersystem mit einem, welches die Kondensationswärmerückgewinnung enthält. Zur Vermeidung von Ergebnisverfälschungen haben beide Prozesse vergleichbare Temperatur-Randbedingungen. Die Energie- und Exergieeffizienz ist jeweils 1,8 mal so hoch wie die der "klassischen" thermochemischen Wärmespeicherung. Der Prozess mit Wärmerückgewinnung benötigt nur 55% des

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [edem.ntsoukpoe@2ie-edu.org](mailto:edem.ntsoukpoe@2ie-edu.org), [n\\_christedem@yahoo.fr](mailto:n_christedem@yahoo.fr) (K.E. N'Tsoukpoe).

Energieaufwands des “klassischen” thermochemischen Systems zum Beladen, bei gleichem Wärmeoutput.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## R É S U M É

### Mots clés:

Stockage thermochimique en cascade  
Stockage thermochimique  
Optimisation thermodynamique  
Efficacité énergétique  
Récupération de la chaleur de condensation  
Efficacité exergetique

Les procédés de stockage thermochimique de la chaleur impliquent généralement un rejet d'une quantité importante de chaleur de condensation dans l'environnement. Cette chaleur correspond généralement à environ deux tiers de la chaleur de charge du procédé, notamment dans le cas des sels hydratés, qui forment une classe de matériaux considérés comme prometteurs pour le stockage thermique à basse température, c'est-à-dire pour le chauffage de l'habitat et la production d'eau chaude sanitaire. Nous avons montré que la récupération interne de la chaleur de condensation, à travers un nouveau concept de procédé de stockage thermochimique en cascade, permet une amélioration des rendements énergétique et exergetique du procédé. Pour illustrer le potentiel de ce nouveau concept, nous avons comparé un stockage thermochimique classique avec un stockage thermochimique avec récupération interne de la chaleur de condensation. Afin d'avoir une comparaison non biaisée, les deux procédés comparés ont des températures aux limites similaires. Les rendements énergétiques et exergetiques avec la récupération interne de la chaleur de condensation sont 1,8 fois plus élevés que les rendements du procédé classique. Le procédé avec récupération de chaleur demande seulement 55% de la chaleur fournie à haute température pour la charge du procédé classique, pour la même quantité de chaleur délivrée par le procédé.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## Nomenclature

### Abbreviations

CHP combined heat and power  
DHW domestic hot water  
TCM thermochemical material

### Latin symbols

$\bar{C}$  average specific heat ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )  
 $Dv$  energy storage density ( $\text{kWh m}^{-3}$ )  
 $Ex_u$  useful exergy recovered by the user (kWh)  
 $h$  specific enthalpy ( $\text{kJ kg}^{-1}$ )  
 $m$  mass (kg)  
 $M$  molar mass ( $\text{kg mol}^{-1}$ )  
 $n$  number of moles of water (-)  
 $Q$  heat (kWh)  
 $s$  specific entropy ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )  
 $T$  temperature ( $^\circ\text{C}$ )  
 $\bar{T}$  entropic mean temperature of the process  
 $T_{B,o,min}$  minimum temperature of the system that is to be increased the discharging heat

### Greek symbols

$\alpha$  fraction of the total heat to be stored in the first stage  
TCM (-)

$\Delta H$  molar enthalpy ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )  
 $\varepsilon$  exergy efficiency (-)  
 $\eta$  energy efficiency taking into account the evaporation heat input ( $Q_d/(Q_c + Q_{ev})$ ) (-)  
 $\eta'$  energy efficiency ( $Q_d/Q_c$ ) (-)  
 $\rho$  density ( $\text{kg m}^{-3}$ )

### Subscripts/superscripts

\* value including the volume of the water in the water storage tank  
0 ambient  
1 reactor 1  
2 reactor 2  
*bind* binding  
*c* charging  
*cond* condensation  
*ev* evaporation  
*d* discharging  
*net* net  
*r* reaction  
*sens* sensible  
*sup\_vap* superheated vapour  
*vap* vapour

## 1. Introduction: background and operating principle of a classical thermochemical heat storage process

Today, thermal energy storage appears to be very important in order to achieve better energy efficiency and a large-scale utilisation of renewable energy resources [1]. In particular, long-term solar thermal energy storage towards building applications mobilises a lot of energy in research departments, since the share of this sector in energy consumption is very high (40% in Europe). The main different methods of long-term solar thermal energy storage are presented in Fig. 1.

Systems based on sensible and latent heat storage methods are relatively mature and a lot of research activities are currently focused on thermal energy storage in form of chemical potential (sorption or thermochemical energy storage<sup>1</sup>). Indeed, thermochemical heat storage theoretically exhibits only negligible heat loss and it is claimed to offer potentially higher energy storage density (up to

<sup>1</sup> A distinction between the expressions “sorption storage” and “thermochemical energy storage” is provided in Ref. [2]. For the sake of simplicity, both expressions are used interchangeably in this text, unless otherwise indicated.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/4917180>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/4917180>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)