

Možnosti akumulácie tepelnej energie

¹Vladimír JURENKA, ²Dušan MEDVEĎ

^{1,2} Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

¹vladimir.jurenka@student.tuke.sk, ²dusan.medved@tuke.sk

Abstrakt — Článok sa zaoberá hľadaním alternatívnych zdrojov tepelnej energie na pokrytie spotreby tepelnej energie na ohrev teplej úžitkovej vody a na vykurovanie v domácnostiach. Dôležitou súčasťou je výpočet tepelnej bilancie materiálov na zistenie či daný materiál v zadanom množstve vyhovuje na pokrytie spotreby tepelnej energie v domácnosti.

Kľúčové slová — akumulácia tepelnej energie, solárne kolektory, vykurovanie, teplá úžitková voda

I. ÚVOD

Fosílna palivá sú v dnešnej dobe už palivá, ktoré tzv. „dosluhujú“ našej populácii. Preto je dôležité hľadať nové alternatívy energie, ktorá nám je potrebná pre náš každodenný život.

Zdrojov, z ktorých vieme získať teplo, je mnoho a v tomto článku bolo zvolené získanie tepla zo Slnka pomocou solárnych kolektorov. Získané teplo je potrebné uskladniť do materiálu a neskôr z daného materiálu naakumulované teplo využiť na pokrytie energie na vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody (TÚV) v domácnosti. Úlohou bolo zistiť, aký materiál je najvhodnejší pre akumuláciu tepla, ktorá by postačovala na pokrytie spotreby tepla pre domácnosť počas celého roka.

II. AKUMULÁCIA CITEĽNÉHO A LATENTNÉHO TEPLA

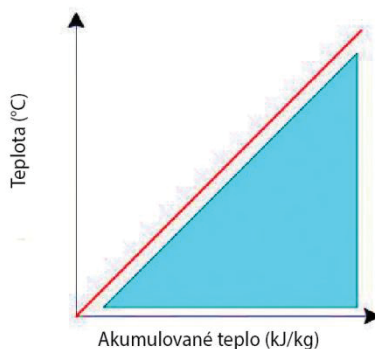
A. Akumulácia citeľného

Pri akumulácii citeľného tepla sa tepelná energia uskladňuje počas ohrievania látky, ktorá má vhodné vlastnosti na tieto účely. Tento spôsob sa využíva predovšetkým na akumuláciu ohriatej pitnej vody v obytných budovách [1].

Fyzikálna podstata akumulácie citeľného tepla je založená na princípe kalorimetrickej rovnice, ktorú definuje nasledujúci vzťah:

$$Q = m \cdot c \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (1)$$

kde Q teplo dodané/odoberané látke [J]
 m hmotnosť [kg]
 c merná tepelná kapacita látky [J/(kg · K)]
 ϑ_1 teplota látky [°C]
 ϑ_2 teplota látky [°C]



Obr. 2 Princíp akumulácie citeľného tepla [1]

K výhodám tohto systému patria najmä nízke investičné náklady, netoxicity látky na akumuláciu tepla a dostupný sortiment zásobníkov na akumuláciu teplej vody. Za negatívum možno považovať fakt, že tepelná kapacita akumulovaného citeľného tepla je limitovaná. Na uskladnenie veľkého množstva energie je teoreticky potrebný veľký objem zásobníka, čo znižuje účinnosť z hľadiska tepelných strát. Rovnako platí, že zvyšovaním teploty látky, za účelom uskladnenia väčšieho množstva tepla, narastá tepelná strata na rozhraní materiálu s okolitým prostredím, čím sa znižuje účinnosť procesu [1].

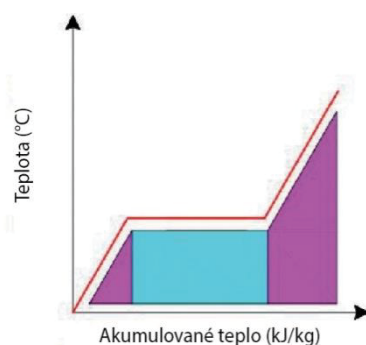
B. Akumulácia latentného tepla

Latentné teplo, inak nazývané aj ako skupenské teplo, je tepelná energia, ktorá sa uvoľní z látky alebo je do látky, dodaná pri transformácii skupenstva. Pri tejto forme akumulovanej energie možno docieľiť veľkú tepelnú kapacitu pri malom objeme a konštantnej teplote. Tento princíp akumulácie tepla sa aplikuje pri dlhodobom uskladnení tepelnej energie v procesoch, kde sa prísne požaduje dodržanie teploty. Nevýhoda akumulácie latentného tepla je v tom, že má nižšiu tepelnú vodivosť materiálu na zvýšenie tepelnej vodivosti a teda k zvýšeniu účinnosti môžeme pomôcť uhlíkovými vláknami alebo kovovou penou [1].

Fyzikálnu podstatu akumulácie latentného tepla definuje vzťah:

$$Q = m \cdot c_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) + L \cdot m + m \cdot c_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_3) \quad (2)$$

Kde Q teplo dodané/odoberané látke [J]
 m hmotnosť [kg]
 c merná tepelná kapacita látky [J/(kg · K)]
 ϑ teplota [°C]
 L špecifické latentné teplo látky [J·kg⁻¹]



Obr. 2 Princíp akumulácie latentného tepla [1]

III. MATERIÁLY PRE AKUMULOVANIE TEPELNEJ ENERGIE

A. Vlastnosti látok pre akumuláciu tepla:

- **Tepelné vlastnosti**
 - vhodná teplota topenia
 - vysoká merná tepelná kapacita
 - vysoké skupenské teplo topenia
- **Fyzikálne vlastnosti**
 - vysoká objemová hustota
 - žiadne alebo malé podchladenie počas tuhnutia
 - nízky tlak pár
- **Chemické vlastnosti**
 - predĺžená chemická stabilita
 - kompatibilita s konštrukčnými materiálmi zásobníka
 - netoxicity
 - nehorľavosť a neexplozivnosť
- **Ekonomické vlastnosti**
 - dostatočná zásoba
 - cenová dostupnosť

B. Parametre vybraných akumulčných materiálov

Tabuľka 1
 Vlastnosti vody

Názov	Voda
Objemová hustota ρ (kg/m ³)	999,972
Merná tepelná kapacita, tuhý stav c (J/kg·K)	4180
Merná tepelná kapacita, kvapalný stav c (J/kg·K)	4200
Tepelná vodivosť, tuhý stav λ (W/m·K)	2,3
Tepelná vodivosť, kvapalný stav λ (W/m·K)	0,55312
Teplota tuhnutia ϑ (°C)	−0,001
Teplota topenia ϑ (°C)	0
Teplota varu ϑ (°C)	100
Latentné teplo z tuhého do kvapalného L (J/kg)	334000
Latentné teplo z kvapalného do plynného L (J/kg)	2257000

Tabuľka 2
 Vlastnosti parafrínového vosku

Názov	Parafrínový vosk
Objemová hustota ρ (kg/m ³)	0,916
Merná tepelná kapacita, tuhý stav c (J/kg·K)	2384
Merná tepelná kapacita, kvapalný stav c (J/kg·K)	1250
Tepelná vodivosť, tuhý stav λ (W/m·K)	0,346
Tepelná vodivosť, kvapalný stav λ (W/m·K)	0,22
Teplota tuhnutia ϑ (°C)	33,6
Teplota topenia ϑ (°C)	64
Teplota varu ϑ (°C)	300
Latentné teplo z tuhého do kvapalného L (J/kg)	200000
Latentné teplo z kvapalného do plynného L (J/kg)	–

IV. VÝPOČET POTREBNÉHO TEPLA PRE AKUMULAČNÉ MÉDIUM VODA

Predpokladaný objem akumulčnej nádrže: $V_{\text{akumulčnej nádrže}} = 40 \text{ m}^3$

Energia potrebná z tuhého do kvapalného skupenstva

Pre určenie energie potrebnej na prechod medzi skupenstvom potrebujeme poznať hmotnosť, mernú tepelnú kapacitu v tuhom stave a rozdiel teplôt teploty topenia a teploty vnútorného priestoru, teda platí:

$$E_{T \rightarrow K} = m \cdot c_T \cdot (\vartheta_{\text{topenia}} - \vartheta_{\text{vnútorná}}) = -3678 \text{ MJ} \quad (3)$$

kde: m hmotnosť (súčin objemovej hustoty a objemu akumulčnej nádrže) [kg]

Energia skupenskej zmeny

Energia skupenskej zmeny je súčin hmotnosti a latentného tepla z tuhej látky na latentné teplo kvapalnej látky.

$$E_{SZ} = m \cdot L_{T \rightarrow K} = 13,36 \text{ GJ} \quad (6)$$

kde: E_{SZ} energia skupenskej zmeny [J]

Energia potrebná na ohriatie média z teploty topenia na požadovanú teplotu

Keď máme vypočítanú energiu skupenskej zmeny, tak potom si vypočítame energiu potrebnú na zahriatie média z teploty topenia na konečnú teplotu média. Na tento výpočet potrebujeme hmotnosť, mernú tepelnú kapacitu kvapaliny, rozdiel teplôt konečnej teploty média a teploty topenia. Teda platí:

$$E_{\text{ohriatia}} = m \cdot c_K \cdot (\vartheta_{\text{konečná}} - \vartheta_{\text{topenia}}) = 14,28 \text{ GJ} \quad (9)$$

kde: E_{ohriatia} energia potrebná na ohriatie média z teploty topenia na požadovanú teplotu [J]

Celková energia potrebná na ohriatie média z ϑ_1 na ϑ_2 , aj s koeficientom účinnosti akumulácie

Celková energia je súčet energií $E_{T \rightarrow K} + E_{SZ} + E_{ohriatia}$. Teda platí:

$$E_{celková} = (E_{T \rightarrow K} + E_{SZ} + E_{ohriatia}) \cdot \frac{\eta_{akumulácie}}{100\%} = 53,25 \text{ GJ} = 14,79 \text{ MWh} \quad (10)$$

kde: $E_{celková}$ celková energia potrebná na ohriatie média z ϑ_1 na ϑ_2 upravená koeficientom účinnosti 45% [J]

$\eta_{akumulácie}$ koeficient účinnosti akumulácie [%]

Energia na akumuláciu

Je to rozdiel energie (E_{SK}), ktorú nám dodávajú slnečné kolektory o ploche 50 m² a celkovej energii potrebnej na ohriatie média z ϑ_1 na ϑ_2 ($E_{celková}$). Teda platí:

$$E_{akumulácie} = E_{SK} - E_{celková} = 92,19 \text{ GJ} \quad (15)$$

kde: $E_{akumulácie}$ energia na akumuláciu [J]

E_{SK} energia slnečných kolektorov s koeficientom účinnosti 75% [J]

Prebytok energie na zabezpečenie vykurovania a ohrevu TÚV budovy z akumuláčného zdroja

Je to energia, ktorá zostala ako prebytok po rozdiel celkovej energie na ohriatie média z ϑ_1 na teplotu ϑ_2 , vrátane koeficientu akumulácie a celkovej energetickej náročnosti budovy ($E_{budova}=52,66 \text{ GJ}$). Teda platí:

$$E_{prebytok} = E_{celková} - E_{budova} = 585,71 \text{ MJ} = 162,70 \text{ kWh} \quad (10)$$

kde: $E_{prebytok}$ prebytok energie na zabezpečenie vykurovania a ohrevu TÚV z akumuláčného zdroja [J]

E_{Budova} energetická náročnosť budovy na vykurovanie a ohrev teplej vody [J]

V. VÝPOČET PRE PARAFÍNOVÝ VOSK AKO AKUMULAČNÉ MÉDIUM

Predpokladaný objem akumuláčnej nádrže: $V_{akumuláčnej \text{ nádrže}} = 40 \text{ m}^3$

Energia potrebná z tuhého do kvapalného skupenstva

$$E_{T \rightarrow K} = m \cdot c_T \cdot (\vartheta_{topenia} - \vartheta_{vnútorná}) = 3669 \text{ MJ} \quad (21)$$

kde: m hmotnosť (súčin objemovej hustoty a objemu akumuláčnej nádrže) [kg]

Energia skupenskej zmeny

$$E_{SZ} = m \cdot L_{T \rightarrow K} = 7328 \text{ MJ} \quad (6)$$

kde: E_{SZ} energia skupenskej zmeny [J]

Energia potrebná na ohriatie média z bodu topenia na požadovanú teplotu

$$E_{ohriatia} = m \cdot c_K \cdot (\vartheta_{konečná} - \vartheta_{topenia}) = 732,80 \text{ MJ} \quad (22)$$

kde: $E_{ohriatia}$ energia potrebná na ohriatie média z teploty topenia na požadovanú teplotu [J]

Celková energia potrebná na ohriatie média z ϑ_1 na ϑ_2 , aj s koeficientom účinnosti akumulácie

$$E_{celková} = (E_{T \rightarrow K} + E_{SZ} + E_{ohriatia}) \cdot \frac{\eta_{akumulácie}}{100\%} = 7,24 \text{ MWh} \quad (24)$$

kde: $E_{celková}$ celková energia potrebná na ohriatie média z ϑ_1 na ϑ_2 upravená koeficientom účinnosti 45% [J]

$\eta_{akumulácie}$ koeficient účinnosti akumulácie [%]

Energia na akumuláciu

$$E_{akumulácie} = E_{SK} - E_{celková} = 119,37 \text{ GJ} \quad (26)$$

kde: $E_{akumulácie}$ energia na akumuláciu [J]

E_{SK} energia slnečných kolektorov s koeficientom účinnosti 75% [J]

Prebytok energie na zabezpečenie vykurovania a ohrevu TÚV budovy z akumuláčného zdroja ($E_{budova} = 52,66 \text{ GJ}$)

$$E_{prebytok} = E_{celková} - E_{budova} = -7,39 \text{ MWh} \quad (28)$$

kde: $E_{prebytok}$ prebytok energie na zabezpečenie vykurovania a ohrevu TÚV z akumuláčného zdroja [J]

E_{budova} energetická náročnosť budovy na vykurovanie a ohrev teplej vody [J]

Do sivých buniek zapíšte požadované hodnoty	
Vypočítané hodnoty sú písané červenou farbou	
V ružových bunkách sú importované hodnoty z iných buniek	
Akumulácia	
typ akumuláčného média	Voda
objem	40 m ³
objemová hustota "ρ"	999,972 kg·m ⁻³
hmotnosť "m"	39998,88 kg
merná tepelná kapacita v tuhom stave "c"	4180 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
merná tepelná kapacita v kvapalnom stave "c"	4200 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
tepelná vodivosť v tuhom stave "λ"	2,3 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
tepelná vodivosť v kvapalnom stave "λ"	0,55312 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
teplota tuhnutia	-0,001 °C
teplota topenia	0 °C
teplota varu	100 °C
Latentné teplo (z tuhého stavu do kvapalného)	334000 J·kg ⁻¹
Latentné teplo (z kvapalného stavu do plynného)	2257000 J·kg ⁻¹
počiatočná teplota média	22 °C
konečná teplota média	85 °C
Potrebná energia z tuhého stavu do kvapalného stavu	-3678 MJ
Energia skupenskej zmeny (prechod z tuhého stavu do kvapalného)	13359,626 MJ
Energia potrebná na ohriatie média z bodu topenia na požadovanú teplotu	14279,600 MJ
Celková energia potrebná na ohriatie média z teploty 22 °C na teplotu 85 °C:	23,961 GJ
	6,66 MWh
Koeficient zohľadňujúci straty akumulácie	45 %
Celková energia potrebná na ohriatie média z teploty 22 °C na teplotu 85 °C, vrátane koeficientu strát:	53,247 GJ
	14,79 MWh
Energia na akumuláciu	92,193 GJ
	25,609 MWh
Vyhovuje dané množstvo média?	ÁNO
Domácnosť (spotreba)	
Energetická náročnosť budovy počas roka (vykurovanie)	12000 kWh
	43,200 GJ
Energetická náročnosť budovy počas roka (TUV)	2628 kWh
	9,461 GJ
Celková energetická náročnosť budovy počas roka	14628 kWh
	52,661 GJ
Prebytok energie na zabezpečenia vykurovania budovy z akumuláčného zariadenia:	585,709 MJ
	162,70 kWh
Vyhovuje dané množstvo média?	ÁNO

Obr. 3 Výstup z MS Excel - akumuláčné médium „voda“

Do sivých buniek zapíšte požadované hodnoty	
Vypočítané hodnoty sú písané červenou farbou	
V ružových bunkách sú importované hodnoty z iných buniek	
Akumulácia	
typ akumuláčného média	Parafínový vosk
objem	40 m ³
objemová hustota "ρ"	916 kg·m ⁻³
hmotnosť "m"	36640 kg
merná tepelná kapacita v tuhom stave "c"	2384 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
merná tepelná kapacita v kvapalnom stave "c"	1250 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
tepelná vodivosť v tuhom stave "λ"	0,346 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
tepelná vodivosť v kvapalnom stave "λ"	0,22 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
teplota tuhnutia	33,6 °C
teplota topenia	64 °C
teplota varu	300 °C
Latentné teplo (z tuhého stavu do kvapalného)	200000 J·kg ⁻¹
Latentné teplo (z kvapalného stavu do plynného)	0 J·kg ⁻¹
počiatočná teplota média	22 °C
konečná teplota média	80 °C
Potrebná energia z tuhého stavu do kvapalného stavu	3669 MJ
Energia skupenskej zmeny (prechod z tuhého stavu do kvapalného)	7328,000 MJ
Energia potrebná na ohriatie média z bodu topenia na požadovanú teplotu	732,800 MJ
Celková energia potrebná na ohriatie média z teploty 22 °C na teplotu 80 °C:	11,729 GJ
	3,26 MWh
Koeficient zohľadňujúci straty akumulácie	45 %
Celková energia potrebná na ohriatie média z teploty 22 °C na teplotu 80 °C, vrátane koeficientu strát:	26,066 GJ
	7,24 MWh
Energia na akumuláciu	119,374 GJ
	33,159 MWh
Vyhovuje dané množstvo média?	ÁNO
Domácnosť (spotreba)	
Energetická náročnosť budovy počas roka (vykurovanie)	12000 kWh
	43,200 GJ
Energetická náročnosť budovy počas roka (TUV)	2628 kWh
	9,461 GJ
Celková energetická náročnosť budovy počas roka	14628 kWh
	52,661 GJ
Prebytok energie na zabezpečenia vykurovania budovy z akumuláčného zariadenia:	-26595,267 MJ
	-7387,57 kWh
Vyhovuje dané množstvo média?	NIE

Obr. 4 Výstup z MS Excel - akumuláčné médium „parafínový vosk“

VI. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo priblížiť možnosť akumulácie tepelnej energie do akumulčných materiálov. Na výpočet tepelných bilancií bol zostavený výpočtový program v MS Excel.

Tepelná energia bola v tomto prípade získavaná zo slnečných kolektorov a akumulovaná do akumulčného média v akumulčnej nádrži. Energetická náročnosť budovy sa skladá z energie na vykurovanie (12000 kWh) a energie na ohrev teplej úžitkovej vody (2628 kWh). Energetická náročnosť na ohrev teplej úžitkovej vody zodpovedá spotrebe 4 osobám v domácnosti.

Porovnali sme vlastnosti dvoch akumulčných médií, vodu o objeme 40 m³ a parafrínový vosk, taktiež o objeme 40 m³. Našou úlohou bolo zistiť či obidva tieto akumulčné médiá budú postačovať na pokrytie tepelnej spotreby domácnosti.

Na Obr. 3 je možné vidieť výstup z výpočtového programu pre akumulčné médium voda. Pre toto akumulčné médium bolo zvolené množstvo akumulčného média o objeme 40 m³. Toto médium o danom objeme postačovalo na pokrytie spotreby tepla v domácnosti. Dane množstvo vody je pre naše potreby predimenzované o 585,71 MJ.

Na Obr. 4 je možné vidieť výstup z výpočtového programu pre akumulčné médium parafrínový vosk. Parafrínový vosk o objeme 40 m³ nepostačuje svojou akumulčnou schopnosťou na pokrytie celkovej tepelnej spotreby domácnosti. Zistili sme, že dané množstvo tohto akumulčného média by postačovalo počas roka len na ohrev teplej úžitkovej vody. Ak by sme chceli týmto médium pokryť tepelnú spotrebu domácnosti, museli by sme tento zdroj zväčšiť minimálne o energiu 27 GJ.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18.

LITERATÚRA

- [1] Gašparík, M. „Akumulácia tepelnej energie v solárnych systémoch“. [online] [citované: 4.11.2019]. Dostupné na internete: < <https://www.asb.sk/stavebnictvo/technicke-zariadenia-budov/energie/akumulacia-tepelnej-energie-v-solarnych-systemoch> >
- [2] Ukrainczyk, N., Kurajica, S.; Sipusic, J., „*Thermophysical Comparison of Five Commercial Paraffin Waxes as Latent Heat Storage Materials*. *Chemical & Biochemical Engineering Quarterly*“, [online] [citované: 15.3.2020]. Dostupné na internete: < https://www.researchgate.net/publication/44858087_Thermophysical_Comparison_of_Five_Commercial_Paraffin_Waxes_as_Latent_Heat_Storage_Materials >
- [3] „Voda“, [online] [citované: 10.3.2020]. Dostupné na internete: < <https://sk.wikipedia.org/wiki/Voda> >
- [4] Jurenka, V., „*Možnosti akumulácie tepelnej energie*“. Bakalárska práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2020.