

NAPENERGIA HASZNOSÍTÁS SZÉNHYDROGÉN ALAPÚ FÁZISVÁLTÓ ANYAGOKKAL

SOLAR ENERGY UTILIZATION WITH HYDROCARBON-BASED PHASE CHANGE MATERIALS

Bódi Szabolcs ^{1*}, Fekete István ²

^{1,2} Természet- és Műszaki Alaptudományi Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

fázisváltó anyagok
tárolt hőmennyiség
napenergia hasznosítás

Keywords:

phase change materials
stored heat
solar energy recovery

Cikk történet:

Beérkezett 2018. szeptember 20.
Átdolgozva 2019. január 5.
Elfogadva 2019. március 15.

Összefoglalás

Napjaink környezeti problémái miatt egyre nagyobb igény mutatkozik a megújuló energiaforrások iránt. A napenergia hasznosítás egyik jelentős területe a hőtárolás, aminek érdekében az elmúlt időszakban jelentős fejlesztések történtek. A napsugárzás által begyűjthető hő az időjárás, az évszakok függvényében változik, tehát különböző mennyiségben áll rendelkezésre. Ezért indokolt a hő megfelelő tárolása, amit jól el tudunk érni az anyag halmazállapot változása során.

Cikkünkben a szénhidrogén alapú fázisváltó anyagok tulajdonságait vizsgáljuk a tárolt hőmennyiség javítása céljából.

Abstract

Due to the environmental problems of today, there is an increasing demand for renewable energy sources. Heat storage is one of the important areas of solar energy utilization, and significant improvements have been made in the past. The heat to be collected by sunlight varies depending on the weather and the seasons, so it is available in different quantities. It is therefore appropriate to store the heat properly, which can be reached well when the substance is changed.

In our article, we investigate the properties of hydrocarbon phase change materials to improve stored heat.

1. Bevezetés

Az elmúlt 250 év során az ásványi tüzelőanyagok elégetésével állították elő és állítják elő jelenleg is a világ modern civilizációját működtető energiát- akár villamos- vagy hőenergiáról legyen szó.

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 76 516 338
E-mail cím: bodi.szabolcs@gamf.uni-neumann.hu

Egyre nyilvánvalóbbá vált a huszadik század utolsó harmadában, hogy nem fenntartható a fejlődés addigi trendje: korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre a fosszilis energiaforrások, a meglévő források egyre nagyobb költséggel szállíthatók. Globális léptékű éghajlatváltozáshoz vezet az elégetésük során az üvegházhatású gázok nagymértékű megnövekedése. A döntéshozók is felismerték a tudományos és szakmai körök után, hogy valamit tenni kell. A célokat, kibocsátási kvótákat nemzetközi egyezmények rögzítették, valamint a környezetbarát technológiák elterjedését állami szubvenciók segítik [6].

A megújuló energiaforrások felhasználása fontos szerepet játszik a környezetkárosítás csökkentésében, valamint az energiaellátás hosszabb távú racionalitásában [5]. A sugárzás passzív hasznosításakor, olyan épületszerkezetek alkalmazásával lehet csökkenteni az épületek fűtési energiaszükségletét, melyek fokozottan felhasználják a napsugárzást [3].

Az aktív napenergia hasznosítás során a végenergiává alakítjuk át a nap energiáját aktív hasznosító eszközzel. Két alapvető fajtája terjedt el az aktív napenergia hasznosításnak. Az első esetben hőenergiává alakítjuk át a Nap energiáját közvetítő közeg segítségével egy berendezésben (a napkollektorban), ezeket hívjuk napkollektoros rendszereknek. A második esetben közvetlenül villamos energiává alakítjuk át a Nap energiáját egy berendezésben (a napelemben), ezeket hívjuk napelemes rendszereknek [4].

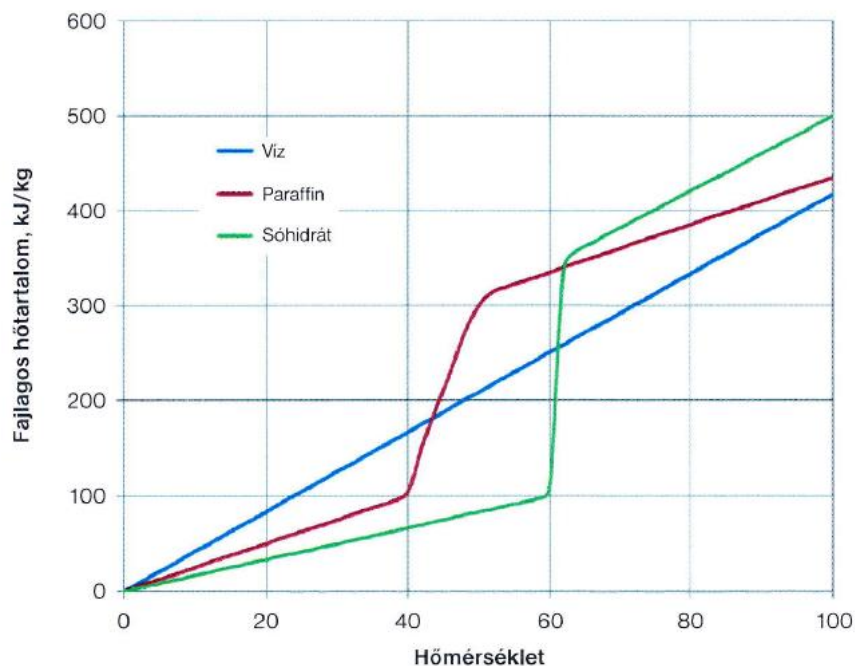
A hőt tárolnunk kell, ha hőenergiát akarunk felhasználni valamilyen formában és nincs mód arra, hogy alkalmazkodjunk a hőtermelés oldaláról a folyamatosan változó igényekhez. Két féle hőtárolásról beszélhetünk: szenzibilis, illetve látens hőtárolásról. Az olvadáspont alatt és felett szenzibilis hőtárolással szinte minden esetben számolnunk kell látens hőtárolás esetén [1]. Gazdaságosan leginkább a folyadék-szilárd/szilárd-folyadék fázisátmenet hőtartalom változást használjuk ki.

Számos műszaki probléma megoldására használjuk az ilyen fázisváltó hőtároló anyagokat (PCM-Phase Change Materials). Az előnyös tulajdonságok mellett, hátrányos pl. a nagy rétegvastagság, a nem túl jó hőátadási tényező, a viszonylag kis hőátadási felület miatt a bennük tárolt hőt csak túlságosan lassan vagy nagy hőmérséklet-különbség hatására veszik fel és adják le [2].

Az 1. ábrán látható az érzékelhető és látens hőt tároló anyagok összehasonlítása. Megfigyelhető az ábrán, hogy közel arányos a hőmérséklet-változással az egységnyi tömegben tárolható hőmennyiség (kJ/kg) növekedése a csak érzékelhető hő tárolására használt anyagok (pl. víz) esetén. Viszont ugyan közel lineáris összefüggés áll fent a fázisváltozás tartománya alatt és felett a látens hő tárolására használt anyagok (pl. paraffin) esetében, de a fajlagos dermedéshő vagy olvadáshő nagyságától függően ugrásszerű hőtartalom-változás következik be fázisváltáskor [2].

Cikkünkben a kereskedelemben könnyen beszerezhető szilárd halmazállapotú paraffin viasz (Paraffinum solidum) tulajdonságait vizsgáljuk, mely alapján következtetéseket vonunk le annak hőtárolási célra való felhasználhatóságára a napenergia hasznosító rendszerek esetében. A paraffin a C_nH_{2n+2} felépítésű alkán szénhidrogéneket foglalja össze, mely elnevezés a latin parum (kevés)+ affinis (reakcióképes) szavak összetétele. Az alkánok azon tulajdonságára utal a neve, hogy nagyon nehezen lépnek reakcióba más molekulákkal.

A paraffin viasz szilárd anyagot alkot, mely tiszta formában fehér, szagtalan. Sűrűsége $0,9 \text{ g/cm}^3$, olvadáspontja $47-64 \text{ }^\circ\text{C}$, mely függ a benne található molekulák átlagos hosszától. Kiváló villamos szigetelő anyagként használják a tiszta paraffint, a fajlagos ellenállása $10^{13}-10^{17} \text{ } \Omega\text{m}$. Olvadáshője $200-220 \text{ J/g}$, fajlagos hőkapacitása pedig $2,14-2,9 \text{ J/g}\cdot\text{K}$, ezért előszeretettel használják a jó hőtárolási képességei miatt [9].



1. ábra. Érzékelhető és látens hő tároló anyagok fajlagos hőtartalmának változása a hőmérsékletváltozás során [2]

2. A mérőrendszer bemutatása

RADWAG WPS 210/C/2 digitális mérleg (4. ábra) segítségével mértük a paraffin tömegét ~15 g-os kiszerezésekben, melyeket öntapadós zacskókba raktunk (2. ábra). A mérleg méréshatára 210 g, illetve 0,001 g-nyi pontossággal tud mérni [7].



2. ábra. A mérésekhez használt paraffin tömegek

Az víz, illetve a paraffin hőmérsékletének a mérését az idő függvényében a CASSY Lab 2 szoftvert és adatgyűjtő rendszer segítségével végeztük. Az anyagok olvadáshőjének, fajhőjének stb. meghatározására szolgáló kaloriméterben mértük a paraffin-, illetve a hideg- és melegvíz hőmérsékletét (3. ábra).

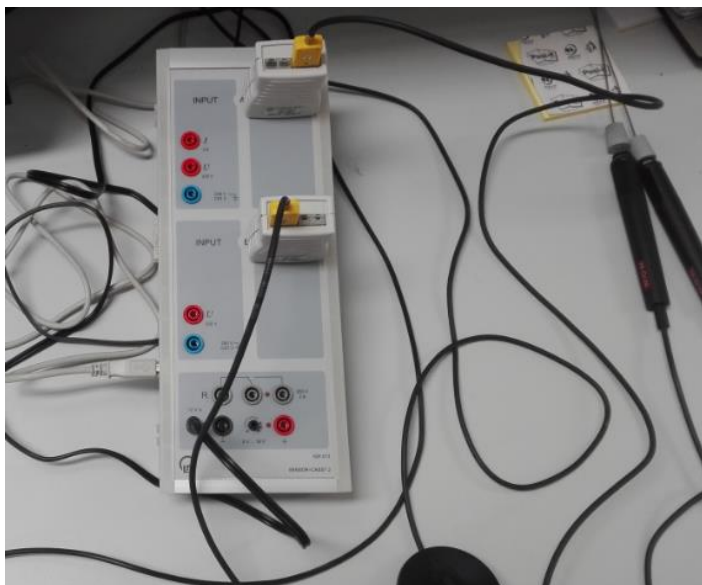


3. ábra. A kaloriméter a ráhelyezett szenzorokkal



4. ábra. RADWAG WPS 210/C/2 digitális mérleg

A hideg- illetve a meleg víz tömegének a mérését a HAUSER® által forgalmazott digitális konyhai mérleg (DKS-1064W) segítségével végeztük, melynek a méréshatára 5 kg, pontossága pedig 1 g. Az víz, illetve a paraffin hőmérsékletének a mérését az idő függvényében a CASSY® Lab 2 szoftvert és adatgyűjtő rendszer segítségével végeztük (5. ábra).



5. ábra. Az adatgyűjtő rendszer a szenzorokkal

A hőmérsékletmérést az ellenállás hőmérsékletfüggését használó szenzorokkal (5. ábra) valósítottuk meg, melyek a LEYBOLD® által forgalmazott NiCr-Ni, 1,5 mm, K típusú digitális termométerek, pontosságuk $\frac{1}{2}$ DIN IEC 584 class 2 ($\pm 1.25\%$) [8]. A szenzorokat csatlakoztattuk az említett adatgyűjtő rendszerhez. A hideg – illetve forró vizet, valamint a zacskókat, melyekben a paraffint helyeztük egy kaloriméterbe helyeztük a jobb energiatárolás céljából. A nagyobb merevség biztosítása céljából egy hungarocell lapot ragasztottunk a kaloriméter fedelére, hogy a szenzorok merőlegesen álljanak és a mérés menete optimális legyen.

3. Mérések bemutatása

A szemléletesség és cikk terjedelmére való tekintet miatt a 6 db. mérés közül a másodikat mutatjuk be, a többi mérés eredményeit táblázatban fogjuk ismertetni. Az ábrán látható diagram három szakaszból áll. Az első szakasz melegítés (6.a és 6. b. ábra), melynek során 15,01 g tömegű, valamint 28 ° C hőmérsékletű paraffint vettünk. Ehhez melegítettünk vízforralóban 180 g tömegű és 83,6 ° C hőmérsékletű vizet. Ezt követően beleöntöttük a kaloriméterbe a forró vizet, behelyeztük az öntapadós zacskóban lévő paraffint, lezártuk a kalorimétert. A₁₂ jelű szenzorral mértük a víz hőmérsékletének az alakulását az idő függvényében (kék szín), valamint B₁₁ jelű szenzorral a paraffin hőmérsékletének az alakulását az idő függvényében (narancssárga szín). A mért adatokat Excelben ábrázoltuk.

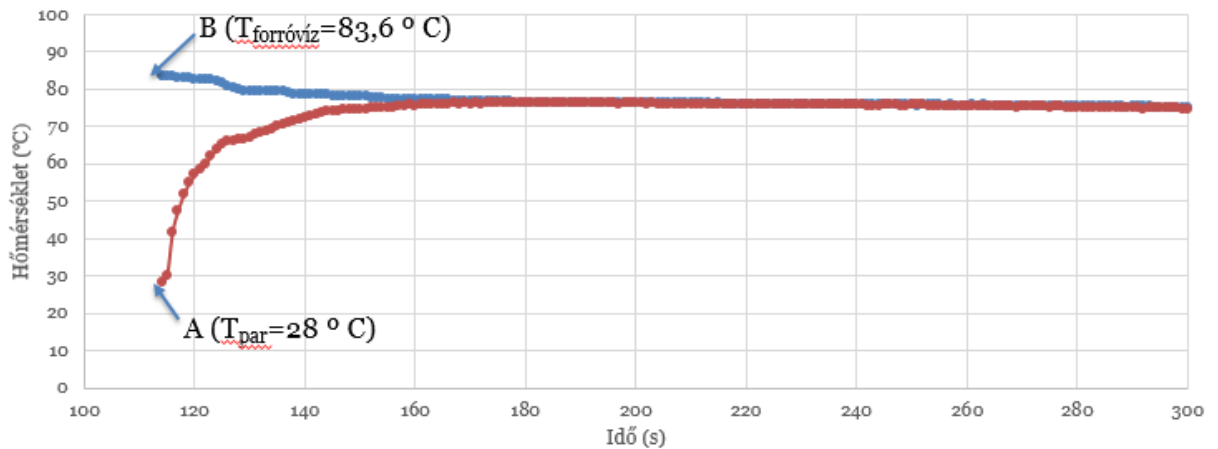
A 6. a. és 6. b. ábra adatai alapján meghatároztuk a fázisváltás olvadáshőjét (L_{olv}) azon két hőmérséklet intervallum között, amikor a paraffin elkezd olvadni, illetve amikor az egész paraffin mennyiség megolvadt, valamint a paraffin folyékony fajhőjét (c_{part}) azon a szakaszon, amikor már az egész paraffin mennyiség olvadt állapotban van. Mind a folyékony fajhő, mind a szilárd fajhő megállapításakor egy köztes hőmérséklet intervallumot vettünk figyelembe és nem azt a hőmérsékletet, amikor már beállt a közös hőmérséklet, nehogy torz értékeket kapjunk. A számolás korrektsége miatt külön megmértük a kaloriméter vízértékét (m_v), melynek részleteit most nem mutatjuk be. Az adatokat az 1. Táblázat tartalmazza.

1. Táblázat. Mérési adatok a 6.a. és 6.b. ábrához

m_{par} [g]	T_{par} [°C]	$m_{forróvíz}$ [g]	m_v [g]	c_v [kJ/(kgK)]	$T_{forróvíz}$ [°C]	$T_{parolv1}$ [°C]	$T_{parolv2}$ [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]
15,01	28	180	7,74	4,183	83,6	65,2	67,2	81,4	79,3

Ahol:

m_{par} [g]	a paraffin mennyiség tömege
T_{par} [°C]	a paraffin kezdeti hőmérséklete
$m_{forróvíz}$ [g]	a forróvíz tömege
m_v [g]	a kaloriméter vízértéke
c_v [kJ/(kgK)]	a víz fajhője
$T_{forróvíz}$ [°C]	a forróvíz kezdeti hőmérséklete
$T_{parolv1}$ [°C]	a diagramról leolvasott paraffin olvadásának feltételezett kezdeti hőmérséklete
$T_{parolv2}$ [°C]	a diagramról leolvasott paraffin olvadásának feltételezett végső hőmérséklete (az a hőmérséklet, amikor már az egész m_{par} tömeg megolvadt)
T_1 [°C]	a paraffin feltételezett olvadásának kezdetekor a víz hőmérséklete
T_2 [°C]	a paraffin feltételezett olvadásának végén a víz hőmérséklete



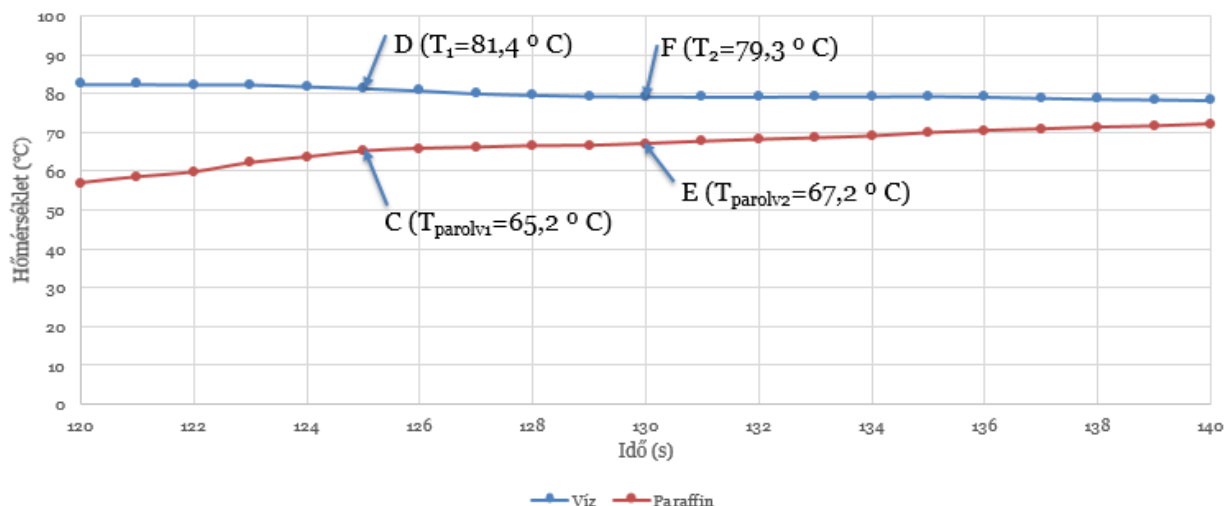
6. a. ábra. Melegítés

Az energia megmaradás törvénye értelmében a víz által leadott hő megegyezik a paraffin által felvett hővel.

$$m_{par}L_{olv} = (m_{forróvíz} + m_v)c_v(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Innen:

$$L_{olv} = \frac{(m_{forróvíz} + m_v)c_v(T_2 - T_1)}{m_{par}} = \frac{(180 + 7,74)4,183(81,4 - 79,3)}{15,01} = 110,4 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \quad (2)$$



6. b. ábra. A 6. a. ábra kinagyítása a paraffin feltételezett olvadásának kezdetének és végének bemutatásával

A paraffin folyékony fajhőjének meghatározására végeztünk számításokat azon a szakaszon, amikor már az egész paraffin mennyiség megolvadt, de a számolt értékek nagy eltérést mutattak, ezért ennek a meghatározása további átgondolást, méréseket igényel.

A paraffin folyékony fajhőjének meghatározása:

Ahol:

m_{par}	a paraffin mennyiség tömege [g]
$m_{forróvíz}$	a forróvíz tömege [g]
T_7	a folyékony paraffin hőmérséklete $t=155$ s pillanatban [°C]
T_8	a folyékony paraffin hőmérséklete $t=170$ s pillanatban [°C]
T_9	a víz hőmérséklete $t=155$ s pillanatban [°C]
T_{10}	a víz hőmérséklete $t=170$ s pillanatban [°C]

$$c_{parf} = \frac{(m_{forróvíz} + m_v) c_v (T_9 - T_{10})}{m_{par} (T_8 - T_7)} \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \quad (3)$$

A 2. mérés b. részében a kaloriméterben kicseréltük a forró vizet hideg vízre. Ezen mérési adatokból meghatároztuk a paraffin szilárd fajhőjét (c_{parasz}) azon a szakaszon, amikor a paraffin hőmérséklete csökken, a víz hőmérséklete pedig melegszik (7. ábra). A szilárd fajhő meghatározásához hasonlóan ezúton is vettünk két időpontot ($t_1=1189$ s és $t_2=1253$ s), amikor leolvastuk a paraffin és a víz hőmérsékletét. Az adatokat a 2. Táblázat tartalmazza.

2. Táblázat. Mérési adatok a 7. ábrához

$m_{hidegvíz}$ [g]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	T_5 [°C]	T_6 [°C]
150	46,4	39,2	28,2	28,7

Ahol:

$m_{\text{hidegvíz}}$ [g]

T_3 [° C]

T_4 [° C]

T_5 [° C]

T_6 [° C]

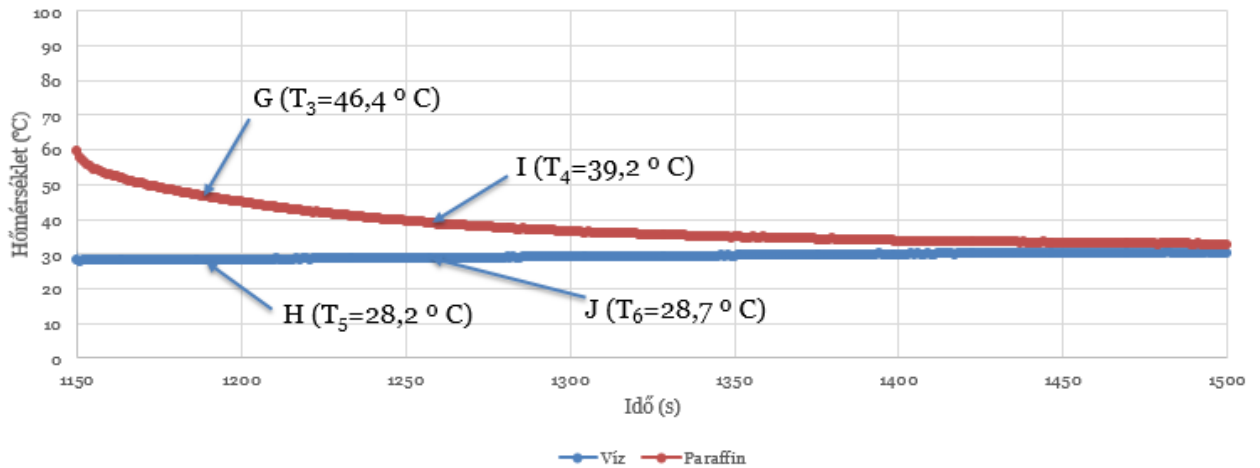
a hidegvíz tömege

a paraffin hőmérséklete $t=1189$ s pillanatban

a paraffin hőmérséklete $t=1253$ s pillanatban

a víz hőmérséklete $t=1189$ s pillanatban

a víz hőmérséklete $t=1253$ s pillanatban



7. ábra. Hűtés

A szilárd fajhő meghatározása:

$$c_{\text{parasz}} = \frac{(m_{\text{hidegvíz}} + m_v) c_v (T_6 - T_5)}{m_{\text{par}} (T_3 - T_4)} = \frac{(150 + 7,74) 4,183 (28,7 - 28,2)}{15,01 (46,4 - 39,2)} = 3,1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right] \quad (4)$$

A hűlés hatására a zacskóban lévő paraffin folyamatosan szilárdult.

A melegítési folyamat során (a. és c. szakaszon) meghatároztuk a tárolt hőmennyiséget ($Q_{\text{tárolt}}$), ameddig az egész paraffin mennyiség megolvadt. A víz által leadott hő megegyezik a paraffin által felvett hővel. Mivel a diagramról nem tudjuk egyértelműen meghatározni, hogy pontosan mikor kezdődik meg az olvadás és mikor fejeződik be, ezért a paraffin 40 °C és 65 °C közti intervallumban számoltuk a tárolt hőmennyiséget, vagyis a víz által leadott hőből számoltunk. A tárolt hőmennyiség számolását bemutatom a 2. mérés c esetében, melynél az adatokat a 3. Táblázat tartalmazza.

A paraffin által tárolt hőmennyiség:

$$Q_{\text{tárolt}} = \frac{(m_{\text{víz}} + m_v) c_{\text{víz}} (T_{11} - T_{12})}{1000} \quad (5)$$

$$Q_{\text{tárolt}} = \frac{(196 + 7,74) 4,183 (93,4 - 86,7)}{1000} = 5,7 \text{ [kJ]}$$

3. Táblázat. Mérési adatok a tárolt hőmennyiséghez

$m_{\text{víz}} [\text{g}]$	$m_{\text{v}} [\text{g}]$	$c_{\text{v}} [\text{J/gK}]$	$T_{11} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{12} [^{\circ}\text{C}]$
196	7,74	4,183	93,4	86,7

Ahol:

$m_{\text{víz}} [\text{g}]$	a forró víz tömege
$m_{\text{v}} [\text{g}]$	a kaloriméter vízártéke
$c_{\text{v}} [\text{J/gK}]$	a víz fajhője
$T_{11} [^{\circ}\text{C}]$	a víz hőmérséklete, mikor a paraffin hőmérséklete 40°C
$T_{12} [^{\circ}\text{C}]$	a víz hőmérséklete, mikor a paraffin hőmérséklete 65°C

A 4. Táblázatban ismertetjük az olvadáshőt és a tárolt hőmennyiséget.

4. Táblázat. Az olvadáshő és a tárolt hőmennyiség értékei két tizedesnyi pontossággal

Mérés	$L_{\text{olv}} [\text{kJ/kg}]$	$Q_{\text{tárolt}} [\text{kJ}]$
1. mérés (a)	86,2	2,4
2. mérés (a)	110,4	1,7
2. mérés (c)	92	5,7
4. mérés (a)	104	0,2
4. mérés (c)	72,1	6,6
5. mérés (c)	147,8	4,9
6. mérés (a)	23,8	2,2
6. mérés (c)	55,6	2,8

Az átlagosan tárolt hőmennyiség:

$$Q_{\text{átl}} = 3,3 \text{ kJ}$$

Az 5. Táblázatban ismertetjük a szilárd fajhő értékeit.

5. Táblázat. A szilárd fajhő értékei két tizedesnyi pontossággal

Mérés	$c_{\text{parsz}} [\text{kJ/kgK}]$
1. mérés (b)	2,1
2. mérés (b)	3,1
4. mérés (b)	11,6
5. mérés (b)	3,9
6. mérés (b)	1,7

A 3. (b) mérésnél azért nem határoztuk meg a szilárd fajhő értékét, mert ott a víz folyamatosan hűl.

4. Következtetések

Cikkünkben a szilárd paraffin viasz (Paraffinum Solidum) tulajdonságait vizsgáltuk annak érdekében, hogy megállapításokat tegyünk a hőtároló képességére, mely alapul szolgálhat az aktív napenergia hasznosítás (fotovillamos, fototermikus, hibrid napelem/napkollektor rendszer (PV/T), vagy akár épületbe integrálható napenergia hasznosító rendszerek) esetén hőtárolásra, vagy akár hűtésre, mely által a napelemes rendszer hatásfoka javítható.

Kaloriméterben mértük a hideg/melegvíz, illetve a paraffin hőmérsékletének a változását az idő függvényében, mely adatokat CASSY Lab 2 szoftvert és adatgyűjtő rendszer segítségével gyűjtöttünk össze és rögzítettünk. Eredeti célunk az volt, hogy meghatározzuk a paraffin szilárd fajhőjét, folyékony fajhőjét, olvadáshőjét, valamint a paraffin által tárolt hőmennyiséget.

A paraffin folyékony fajhőjére végeztünk számításokat, mely értékek viszont túl nagy eltérést mutattak. Ezért ennek a meghatározása további átgondolást, méréseket igényel.

A paraffin olvadáshőjének, szilárd fajhőjének, valamint az olvadás befejezéséig tárolt hőmennyiség értékeinek nagy szórását több tényező okozhatja.

- Egyrészt előfordulhat, hogy a zacskóba helyezett szenzor pontosan a paraffin hőmérsékletét méri-e, vagy hozzáér a zacskóhoz és esetleg a zacskó hőmérsékletét méri.
- Az is előfordulhat, hogy a zacskóban lévő paraffin egy része már megolvadt és nem egyértelmű, hogy az adott időpillanatban a még szilárd halmazállapotú paraffin hőmérsékletét méri a szenzor, vagy a már olvadt halmazállapotúét.
- Ha az öntapadós zacskó nem zár teljesen, az is befolyásolhatja a mérési eredményeket.
- További bizonytalanságot jelent a mérési értékek leolvasása, hogy pontosan melyik hőmérsékleten kezdődik el a paraffin olvadása és melyik értéken fejeződik be. A leolvasott hőmérséklet értékek nagyban befolyásolják a számolt eredményeket.

További mérésekre, vizsgálatokra van szükség, hogy a paraffin irodalmi értékeihez közelebb tudjunk kerülni. A gyorsabb hőtárolás elérése, valamint a pontosabb eredmények megállapítása céljából szeretnénk vizsgálni a paraffin hőtárolását kapszulázás esetén, mely alkalmazható vizes tárolóban. A paraffint túlmelegedés elleni védelemre is lehetne használni hűtőborda alkalmazásával Al-ból (mivel jobb hővezető a paraffinnál), pl. napelem modul alá helyezve, a napelem cella hőmérsékletének csökkentése által növelve a modul villamos hatásfokát. Megfelelő hőtárolással a hagyományos puffertartályok méreteit is lehetne csökkenteni.

Irodalomjegyzék

- [1] Árokszállási, K.: Hőtárolás- a jövő technológiája; Roxa Kft., Érd, 9-75. o. ISBN 978-963-08-1681-6 (2011)
- [2] Gyenis, J.; Tóth, J.; Feczkó, T.; Szépvölgyi, J.: Mikrokapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazása hőtárolásra, Magyar Kémikusok Lapja, LXIX. évfolyam, 12. szám, 368-369. o. (2014)
- [3] Farkas, I. (szerk). és tsai.: Napenergia a mezőgazdaságban, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 37.-55. o. ISBN: 963 9358 91 6 (2003)
- [4] Horváth, J.: Megújuló energia, tankönyv. (2011) Available: https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Megujulo_energia/ch05s03.html [Megtekintés: 27-May-2018]:
- [5] Sembery, P.; Tóth, L.: Hagyományos és megújuló energiák; Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 327-328. o. ISBN 963 9553 15 8 (2004)
- [6] Zöld, A.; Szalay, Zs.; Csoknyai, T.: Energiatudatos építészet 2.0. TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., Budapest, 11-186. o. ISBN 978 615 5445 34 7 (2016)
- [7] EMALOG Kft. honlapja: <http://www.emalog.hu/hun/termek/precizios/wps.html> [Megtekintés: 24-Nov-2018]
- [8] LD DIDACTIC cég honlapja: <https://www.leybold-shop.com/temperature-probe-nicr-ni-1-5-mm-type-k-529676.html> [Megtekintés: 24-Nov-2018]
- [9] WIKIPÉDIA: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Paraffin> [Megtekintés: 10-Oct-2018]