

SZENT ISTVÁN EGYETEM GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

GLAUBERSÓ, MINT TEMPERÁLÓ KÖZEG ENERGETIKAI CÉLÚ VIZSGÁLATA

Készítette: **KERTÉSZ DÁNIEL KRISZTIÁN**
III. évf. hallgató

Témavezető: **DR. VÍG PIROSKA**
egyetemi docens



**Gödöllő
2012**

GLAUBERSÓ, MINT TEMPERÁLÓ KÖZEG ENERGETIKAI CÉLÚ VIZSGÁLATA

Investigation of Glauber's salt as tempering medium

Szerző: **Kertész Dániel Krisztián**, Gépészmérnöki Kar, Gépészmérnöki BSc szak,
III. évfolyam

Témavezető: Dr. Víg Piroska, egyetemi docens, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

A 2011. évi Tudományos Diákköri Konferenciára készült dolgozatomban egy olyan fázisváltó anyagot kerestem és vizsgáltam alapvető hőtani tulajdonságait, amely által a napsugárzásból nyert hőenergia tárolási lehetőségeit szélesíthetem. Több alkalmasnak tűnő anyag mind műszaki, mind gazdasági megfontolások alapján történő összehasonlítása után választottam ki a glaubersót. Meghatároztam a hőtani paramétereit többségét (olvadáspont, fajhő, fázisátalakulási hő), kiderült, hogy fajhője a hőmérséklet függvényében változik. A méréseim során felvetődtek előre nem várt problémák is: a glaubersó hajlamos a túlhűlésre, illetve gyakran előforduló jelenség, hogy a fázisváltás után a szilárd halmazállapotba való visszaalakulás csak részlegesen történik meg.

A jelen dolgozat ezen munka folytatása, az említett problémák megoldására tett kísérleteimet mutatja be. A korábbi eredményeimet felhasználva új célok körvonalazódtak. Az épített cserépkályha-moddal való további kísérletezést elvettem, a glaubersó, mint temperáló közeg energetikai célú vizsgálatát és közvetlen felhasználásának lehetőségei kutatását tűztem ki célul.

Mivel nagyobb mennyiségben körülményes az anyag homogenitását biztosítani, kisméretű, légmentesen záródó zacskós mintákat használtam. Kísérleteket végeztem a fázisátalakulás hiszterézise csökkentése érdekében. Eddigi tevékenységemet ártértékelve, úgy döntöttem, hogy célszerű az anyag olvadáspontjának csökkentése. Ezt az indokolja, hogy a felhasználás ezáltal multifunkcionálissá válhat, a fűtésen kívül hűtésre is felhasználhatóvá válik az anyag. Az olvadáspont csökkentésének lehetőségeit a minta összetételének változtatásával vizsgáltam. A technikai kivitelezés szempontjából a minél egyszerűbb és olcsóbb megoldásra törekedve vizsgáltam a szívoszállba és a kapszulába történő csomagolás lehetőségét és ezen esetekben az energetikai hatékonyságot.

A dolgozat részletezi a különböző mérések körülményeit, az eredményeket, a belőlük levont következtetéseket és összegzi a tapasztalatokat.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
1.1 Célmeghatározás és aktualitás	4
1.2 Rövid EU-s megújuló helyzetkép és történelem	4
1.4 Megújulók szerepe a hazai energetikában	5
1.4 A napenergia várható szerepe a hazai energiatermelésben.....	6
2. A Glaubersóval kapcsolatos eredmények összefoglalása.....	8
2.1 Miért a glaubersó?.....	8
2.3 Gyakorlati eredmények.....	10
2.3 A túlhűlési jelenség	14
3. A felmerült problémák az eddigi elmélettel és modellel	16
3.1 Az ár problémája	16
3.2 A túlhűlés problémája	16
3.4 Az olvadási pont problémája	16
3.4 A hővezetés problémája	17
4. A problémák megoldására tett kísérletek.....	18
4.1 Az ár problémája	18
4.2 A túlhűlés problémája	19
4.3 Az olvadáspont problémája	25
4.4 A végleges keverék megalkotása	29
4.5 A hővezetés problémája	36
5. Következtetések.....	40
6. További feladatok.....	41
7. Bibliográfia	42

1. Bevezetés

1.1 Célmeghatározás és aktualitás

A tavaly beadott TDK dolgozatom témája egy fázisváltó anyag (idegen szóval: phase changing material, PCM) termodinamikai tulajdonságainak vizsgálata volt. A vizsgálat célja a napenergia hasznosítás lehetőségeinek bővítése volt. A téma azóta sem veszített aktualitásából, sőt mára talán még növekedett is jelentősége, hiszen továbbra is az egész világon a kormányok harcot vívnak a fenntartható fejlődésért, a megújuló energiaforrások nagyobb arányú hasznosításáért.

A jelen dolgozat témája a tavaly kiválasztott anyag hátrányos tulajdonságainak kiküszöbölése olyan módon, hogy a jelenleg hőtárolásra legszélesebb körben használt vízzel szemben az általam létrehozott új anyag versenyképes alternatívává váljon.

Célom, egy olcsó és mindenki számára könnyen elérhető fázisváltó anyaggal elősegíteni a fototermikus rendszerek felhasználási körének bővítését, és ezen keresztül hozzájárulni a fenntarthatósághoz, a környezet- és éghajlatvédelemhez illetve gazdasági-takarékossági megfontolásokkal elősegíteni az energiahatékonyság fejlődését.

1.2 Rövid EU-s megújuló helyzetkép és történelem

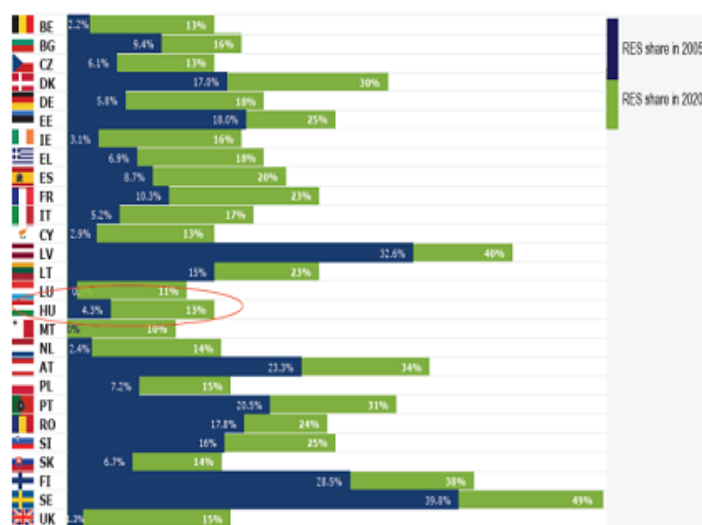
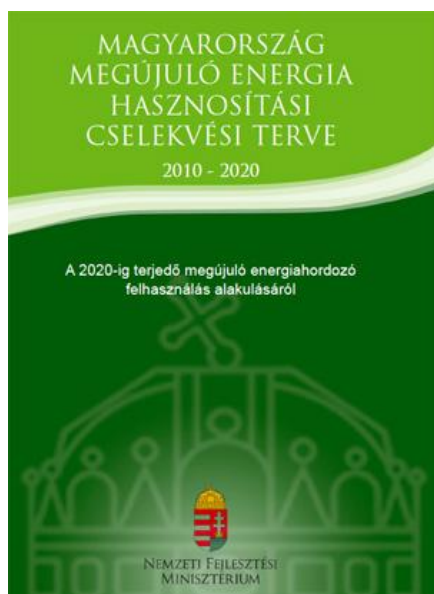
A fenntartható fejlődés (sustainable development) 1992-ben a Rio de Janieróban tartott konferencián került igazán előtérbe. Itt született meg a „Feladatok a XXI. századra” című dokumentum (Agenda 21), mely magába foglalta az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezményét, egy egyezményt a biológiai sokféleségről, valamint egy nyilatkozatot az erdőkre vonatkozó elvekről. A konferencián az Egyesült Nemzetek Szövetségének 178 tagországából 172 részt vett, beszédet mondott Göncz Árpád akkori köztársasági elnökünk is. Az egyezményben ugyan még nem mondták ki a megújuló energiaforrások minél nagyobb arányú hasznosításának fontosságát, de innen már egyenes út vezetett ennek felismeréséhez.

Mégis 5 év kellett ahhoz, hogy az Európai Unió egyértelműen kimondja, hogy a megújuló energiaforrások nélkülözhetetlenek az éghajlatváltozás elleni harcban. 1997-ben adták ki az úgynevezett „Fehér könyv”-et, melyben megszületett az elhatározás, hogy az EU-ban a megújulók részarányát 12%-ra kell növelni.

10 évvel később 2007 márciusában az Európai Tanács elfogadta az új európai uniós Energia és Klímacsomagot. A csomag fő célkitűzései a fenntarthatóság, a versenyképesség és az ellátás biztonsága. Itt született meg a „20-20-20” program is a fenti célok elérésének érdekében, azaz 20%-kal csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását, 20%-ra növeli a megújuló energiafelhasználást és 20%-kal javítja az energiahatékonyságot. Ennek szellemében minden tagország számára meghatároztak egy bizonyos célszámot, amely a megújuló energiafelhasználásának arányára vonatkozik a végső energiafelhasználáson belül.

1.3 Megújulók szerepe a hazai energetikában

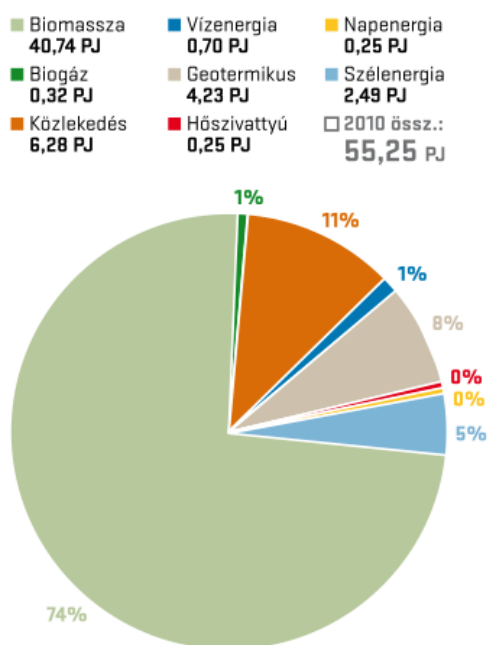
A Magyarországnak megállapított célszám 13% lett. Ennek ellenére hazánk 14,65% teljesítését vállalta a 2010-ben megírt Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben.



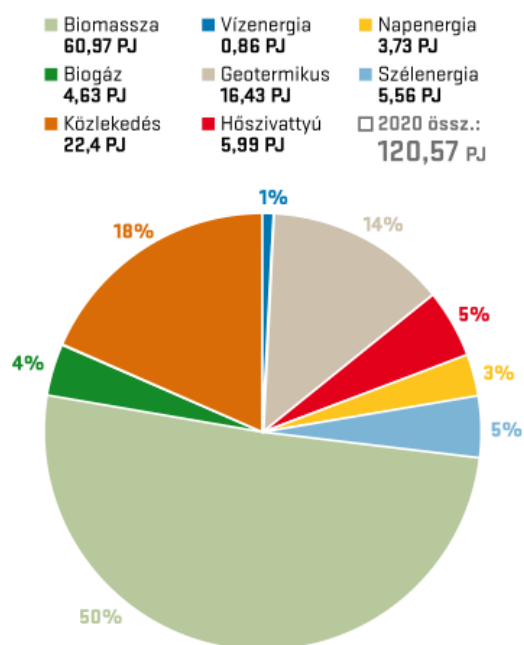
A tagállami megújuló energia célok 2005- 2020

- 1.1 ábra: Forrás: 1. <http://energiavadasz.hu/?p=904>
 2. http://energiaklub.hu/sites/default/files/ek_sajto_hatter__megujulok_eu.pdf

Az alábbi diagramból jól látszik, hogy a 2020-ra tervezett megújuló felhasználáson belül a legjelentősebb szerepe a biomasszának lesz, ami figyelembe véve hazánk mezőgazdasági adottságait természetesnek mondható. Ugyanakkor megfigyelhető, hogy a napenergia jövőbeni szerepe sem lesz elhanyagolható, ez végenergia-felhasználásunk kb. 3 %-át fogja adni a tervezet szerint.



10. sz. ábra
A villamos energia, hűtés-fűtés és közlekedés szektorokban felhasznált megújuló energiahordozók megoszlása (2010)



11. sz. ábra
A villamos energia, hűtés-fűtés és közlekedés szektorokban felhasznált megújuló energiahordozók megoszlása (2020)

1.2 ábra: Forrás: <http://epulet-energetika.hu/megujulo-energiak-hasznositasa-2020-ig/>

1.4 A napenergia várható szerepe a hazai energiatermelésben

Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében olvasható: „Napenergia vonatkozásában az elvi potenciál több tízezer MW teljesítmény lehet, a legjelentősebb korlátozó tényező a berendezések magas árához kapcsolódóan a rendelkezésre álló támogatási keretek. Mindazonáltal a magyarországi napsütéses órák számát tekintve a

termikus napenergia-hasznosítás a kifejlett technológia révén igen jó eszköz a megújuló energiaforrások elterjesztésében, a fotovoltaiikus napenergia esetén a felgyorsult gyakorlatorientált kutatás-fejlesztési munkák és rövid időn belül várható eredmények versenyképes rendszerek terjedését teszik lehetővé.”

A bekezdésből megfigyelhető, hogy a szakemberek, akik összeállították a fent említett dokumentumot komolyan számoltak a napenergia arányának növelésével 2020-ra. Megemlítették, hogy az egyik legnagyobb probléma jelenleg a napenergiával a nagy beruházási költség, mely a megfelelő technológia telepítéséhez szükséges. Kiemelték, hogy a jelenlegi tudásunk szerint egyelőre a napenergia termikus hasznosítása a legkifizetődőbb a magas hatásfok miatt (kb. 30%-50%) (forrás: <http://www.matud.iif.hu/2010/08/05.htm>, Farkas István, 2010). A fotovillamos rendszerekkel a probléma az, hogy hatásfokuk alacsony (kereskedelmi forgalomban kb. 16-18%) (forrás: <http://www.matud.iif.hu/2010/08/05.htm>, Farkas István, 2010), illetve beruházási költségük sokkal magasabb. Ahogy az idézetben is hangsúlyozták: nem biztos, hogy ez sokáig így marad, mert komoly kutatások folynak a hatásfok javítására, de jelenleg a fototermikus rendszerek megtérülési ideje csupán töredék a fotovillamos rendszerekének.

A közelmúltban született meg a Nemzeti Energiastratégia 2030 című dokumentum, melyben újra megerősítik, hogy Magyarországon a napenergia hasznosításának komoly jövőt szánnak:

„A megújuló energiaforrásokon belül Magyarország földrajzi adottságainak figyelembevételével a biogén forrású energiatermelés (erdészetből és mezőgazdaságból származó biomassa, biogáz, bioüzemanyagok), a geotermikus és termálenergia, **illetve hosszú távon a napenergia a legfontosabbak.**”

Ez okból rendkívül nagy fontosságú, hogy kiemelten foglalkozzunk azzal, hogy az e célra rendelkezésünkre álló forrásokat hogyan használjuk fel, hiszen kreativitással, alapos kutatómunkával még az is elképzelhető, hogy a napenergia felhasználás részaránya meghaladja az elvárt 3%-ot úgy, hogy jelentős többletforrást nem használunk fel e célra.

Ehhez kapcsolódik kutatásom, ami a napenergiából származó hő tárolására kíván hatékony alternatív megoldást adni.

2. A Glaubersóval kapcsolatos eredmények összefoglalása

2.1 Miért a glaubersó?

A 2011-es TDK konferenciára készült dolgozatomban a hatékony hőtárolásra kerestem alternatív megoldást, amely a fázisváltó anyagok magas olvadáshőjének kihasználásán alapul. Bemutattam, hogy igen jelentős mennyiségű szakirodalmat dolgoztam fel annak érdekében, hogy megtaláljam a céljaimnak legnagyobb mértékben megfelelő fázisváltó anyagot.

Az anyaggal szemben megfogalmazott elvárások, célok a következők voltak:

- Ne legyen mérgező hatása.
- Ne legyen gyúlékony.
- Legalább a vízhez közelítő nagyságú fajhője legyen.
- A látenshője (olvadáshő) minél magasabb legyen.
- Jó hővezető képesség.
- Olyan olvadáspontja legyen, mely nagy valószínűséggel elérhető akár télen is napkollektor segítségével. Így a 30 és 40 °C közötti olvadáspont tekinthető a legideálisabbnak.
- Viszonylag olcsó legyen.

A kritérium rendszer legfontosabb elemeit csupán pár anyag (Nátrium-karbonát-decahidrát, Sodium-foszfát-dodecahidrát, Cink-nitrát-hexahidrát, Lítium-nitrát-trihidrát, glaubersó) elégítette ki. Ezek közül gazdasági, hőtani megfontolások és saját mérési eredményeim alapján a glaubersóra illeszkedett legjobban a fent ismertetett szempontrendszer, így ezzel az anyaggal kezdtem meg a munkát 2010-ben.

A glaubersó ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$) termodinamikai jellemzői a vizsgált szakirodalmakban igen hiányosak voltak.

Az ismert termodinamikai jellemzők:

- olvadáspont: 32,4 °C
- olvadáshő: 240-254 kJ/kg
- hővezetési tényező: 0,544 W/mK
- illetve a glaubersó sűrűsége 1485 kg/m³

A fajhőre vonatkozó adatokat hosszasan kerestem, de ilyet sajnos nem találtam semmilyen forrásban sem, így ezt méréssel kellett meghatároznom.

Fontos még megemlíteni, hogy a kutatás ezen fázisában a glaubersót egy gyógyszertártól szereztük be 2600 Ft/kg áron. Ennek majd az új eredmények ismertetésekor lesz jelentősége.



2.1 ábra: Glaubersó

2.2 Gyakorlati eredmények

Kezdeti méréseim során megállapítottam, hogy a glaubersó valóban a szakirodalomban megírt $32,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on vált halmazállapotot. Valamint megállapításra került az, hogy a tároló anyagát körülményesen kell megválasztani, mert egyes fémekkel (például a vörösréz) a glaubersó reakcióba lép.

Ennél is fontosabb volt megállapítani, hogy a glaubersó szilárd állapotban nem olyan jó hővezető. Ezt jól bizonyítja az is, hogy mérhettünk mi akár még $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot is egy bizonyos folyékony halmazállapotú ponton, mikor még voltak szilárd halmazállapotú részek is.



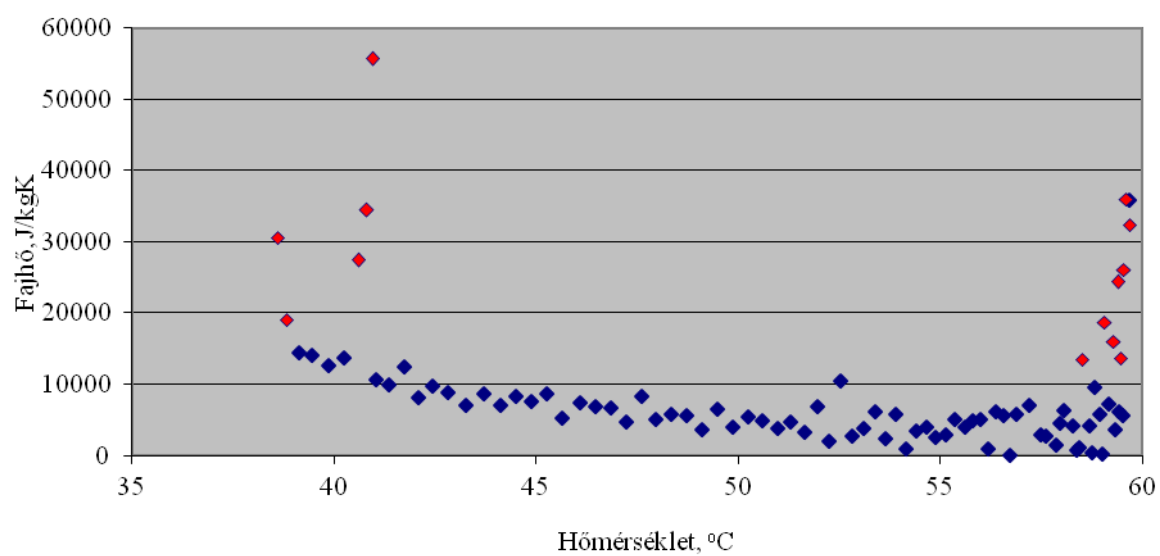
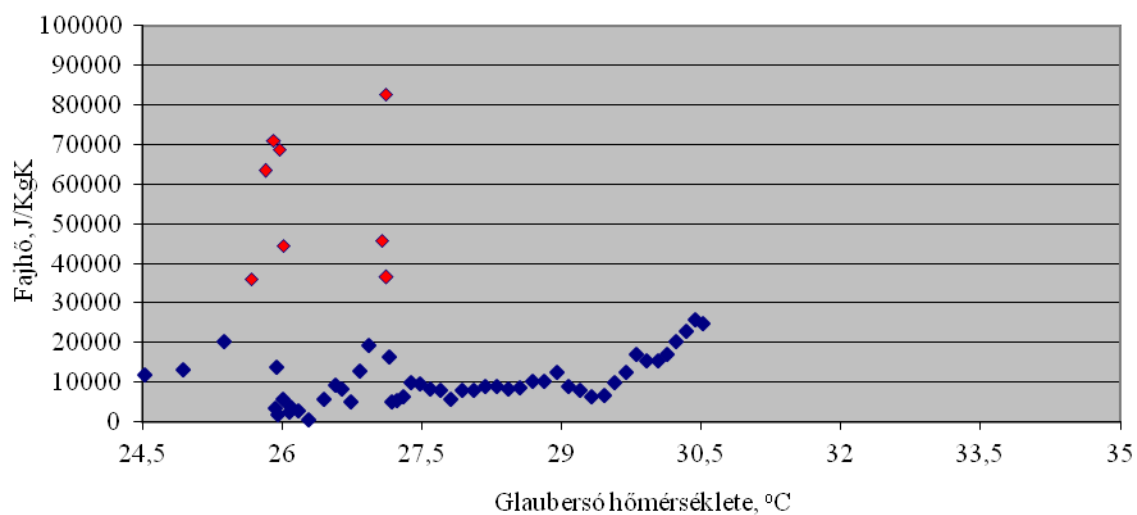
2.2 ábra: Glaubersó halmazállapotváltása

A kezdeti tapasztalatok után meghatározásra került a glaubersó fajhője, illetve olvadáshője is. A fajhő, mint a fázisváltó anyagok esetének többségében a hőmérséklettől függően változik a glaubersónál is. A méréseimhez egy házilag gyártott hungarocell kalorimétert használtam.

Modellemben a víz és a hungarocell doboz által leadott hőt teljes egészében a glaubersó és az őt tartalmazó doboz vette fel. A meleg vizet tartalmazó dobozba helyeztem a glaubersót a tartállyal. A számítógéppel rögzített hőmérséklet értékekből a vízártékek figyelembe vételével határoztam meg a fajhőket és az olvadáshőt.



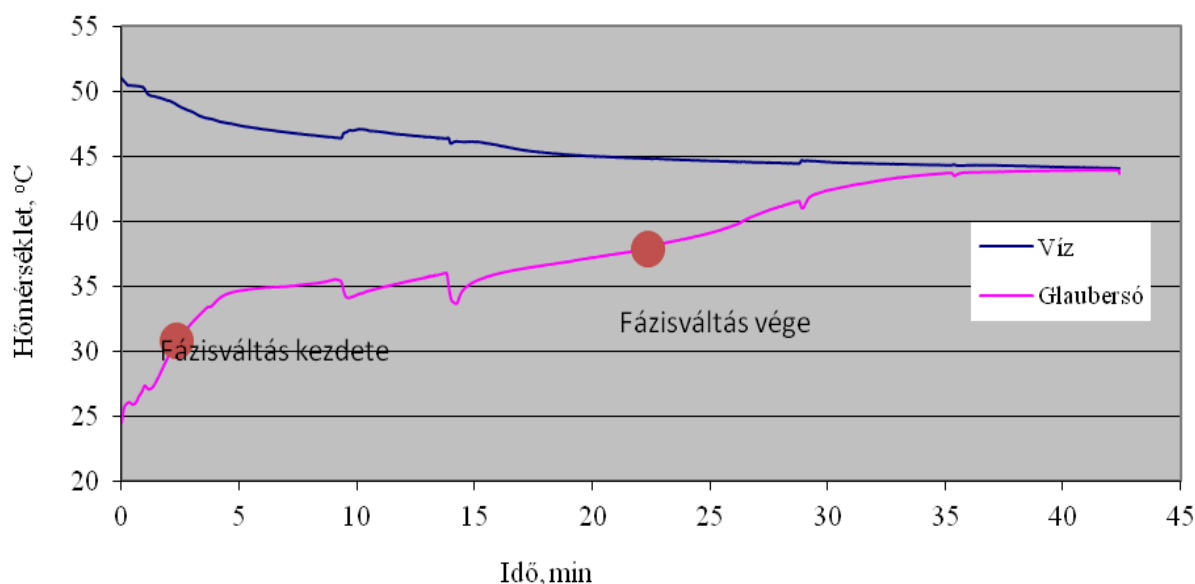
2.3 ábra: Hungarocell kaloriméter



2.4 ábra: A glaubersó fajhője

A fajhőre vonatkozó méréseimet többször is elvégeztem. Pirossal jelöltem azokat a pontokat, melyeknél feltehetően valamilyen mérési rendellenesség adódott. Megfigyelhető, hogy közvetlen a fázisváltás előtt és után a legnagyobb, alacsonyabb hőmérsékleteken is gyakran van 8000-10000 J/(kgK) között a glaubersó fajhője, és magasabb hőmérsékleteken is általában magasabb, mint a víz 4183 J/(kgK) fajhője.

Ezután meghatároztam az olvadáshőjét is az anyagnak. A már fent említett, a víznél gyengébb hővezetési tulajdonságok miatt megfigyelhető, hogy a fázisváltás során nem ugyanolyan hőmérsékletű a teljes anyaghalmoz. Így a fázisváltást szabad szemmel is megfigyelve kijelenthető volt, hogy ez egy hőmérséklet tartományon belül történik. Az ok a későbbi vizsgálatok szerint is a gyengébb hővezetési tulajdonság volt.



2.5 ábra: Glaubersó fázisváltása

A mérés szerint az alábbi módszerrel számítva a glaubersó olvadáshője: **241,88 kJ/kg.**

$$Q_{le} = Q_{fel}$$

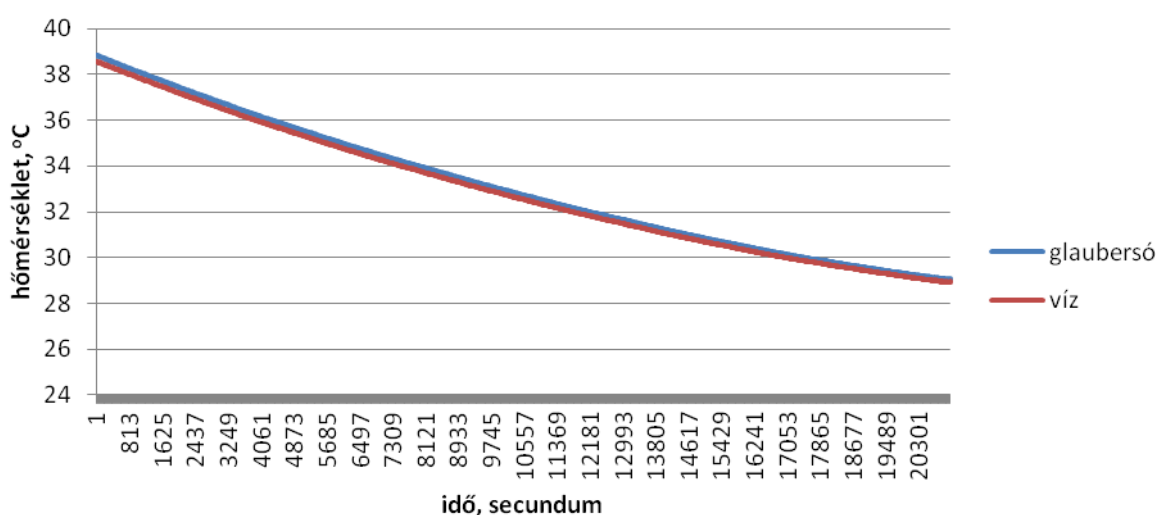
$$c_v \times m_{v\acute{z}} \times \Delta T + c_v \times v \times \Delta T = L_{glaubers\acute{o}} \times m_{glaubers\acute{o}}$$

ahol: - c_v = a víz fajhője (4183 J/(kg x K))
 - $m_{v\acute{z}}$ = a meleg víz tömege (kg)
 - ΔT = a víz hőmérséklete különbsége a fázisváltás kezdete és vége között (°C)
 - $m_{glaubers\acute{o}}$ = a glaubersó tömege (kg)
 - L = a glaubersó olvadáshője (J/kg)
 - v = a hungarocell doboz vízértéke (kg)

A mérés adatai: - $m_{v\acute{z}} = 1,3528$ (kg)
 - $\Delta T = 4,13$ (°C)
 - $m_{glaubers\acute{o}} = 0,1007$ (kg)
 - $v = 0,05713$ (kg)

2.3 A túlhűlési jelenség

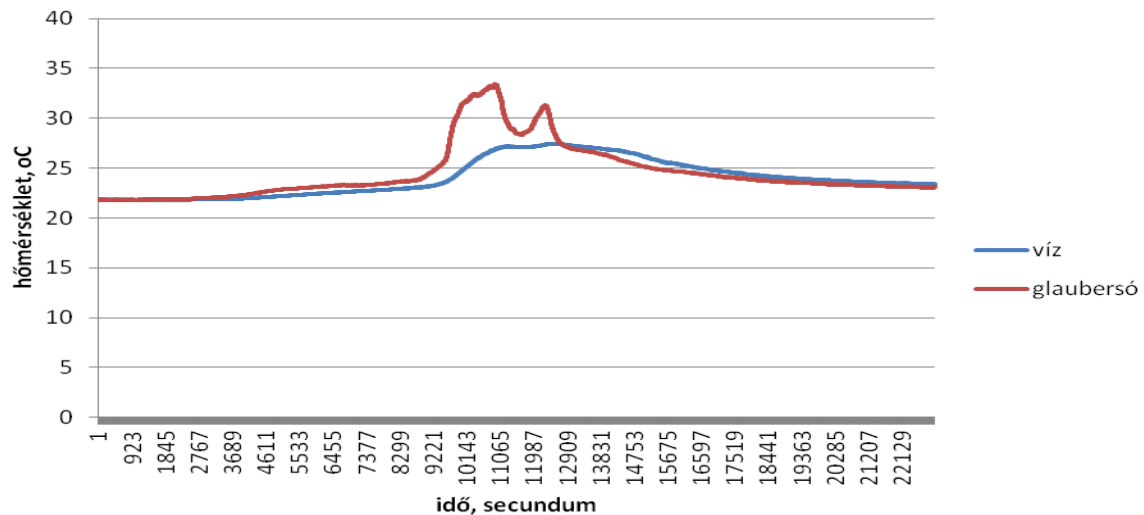
A visszasilárdulási folyamatnál egy számomra addig az anyaggal kapcsolatban ismeretlen jelenséget tapasztaltam. Mégpedig azt, hogy az anyag nem váltott fázis a szakirodalomban megírt és általam is tapasztalt hőmérsékleten. Ez a jelenség további kutatást igényelt. Hosszas kutatás után végül Dr. Harald Mehling & Prof. Dr. Luisa F. Cabeza: Heat and cold storage with PCM írásában fedeztem fel, hogy Telkes Mária (az MTI magyar származású professzora, aki korábban már foglalkozott a glaubersóval) is ismerte a glaubersóval kapcsolatban a túlhűlés jelenségét. Különböző módszerekkel próbált is ellene védekezni.



2.6 ábra: Glaubersó túlhűlése

Én jó lehetőségként kezeltem a túlhűlést. Hiszen kísérleteim során az anyag mindig túlhűlt, és észrevettem, hogy mozgási energia közlésére a 32,4 °C hőmérséklet alatti túlhűlt anyag elkezd fázist váltani és felmelegszik. Így szabályozhatóvá válik a fázisváltási energia átadásának kezdete. Ez épületfűtési célú felhasználáskor (amilyen az enyém is) nagyon előnyös tulajdonság. Így még jobban ki lehet használni a napenergiát, hiszen most már szabályozhatom is, hogy a napsugárzásából eltárolt energiát mikor kívánom felhasználni.

Az alábbi diagramon megfigyelhető a glaubersó viselkedése a túlhűlés után mozgási energia közlés hatására.



2.7 ábra: Glaubersó túlhűlés utáni melegítése

Az eddigi eredményeket felhasználva cserépkályha modellt építettem. Az volt az ötletem, hogy a glaubersóval teli tartályt majd egy cserépkályha belsejébe helyezem, ezt a tartályt fűtöttem volna fel napenergia hasznosításával, napkollektoros megoldással és éjszaka mikor egy meghatározott hőmérséklet alá hűlt a levegő egy automatika mozgási energiát közölt volna a tartályban lévő glaubersóval és ez elkezdett volna hőenergiát leadni a környezetének.



2.8 ábra: Cserépkályha modell

Azonban problémákkal találkoztam, melyeket a következő fejezetben részletezek és melyek megoldása során a kitűzött céljaim is módosultak.

3. A felmerült problémák az eddigi elmélettel és modellel

3.1 Az ár problémája

Az egyik legfontosabb probléma az volt, hogy bár a fázisváltó anyagok között a glaubersó a 2600 Ft/kg-os árral is olcsónak számított, ez egy átlagos magyar háztartásnak még mindig igen drága. Az olcsóság pedig az alapvető célkitűzéseim között is egy igen fontos szempontként szerepelt. A kereskedelemben szakcégeknél kapható fázisváltó anyagok árai és pontos anyagösszetétele nem szerepel a honlapokon (ezek külföldi, jellemzően amerikai vállalatok), de fórumokon kiderül, hogy az emberek még mindig drágának tartják őket. Így céljaim között az egyik prioritás minél olcsóbb beszerzési forrás keresése.

3.2 A túlhűlés problémája

Továbbá a későbbiekben sokszor megismételtem a méréseimet az elgondolások fejlesztése érdekében. A mozgási energia rendszerbe juttatásának gyakorlati megvalósítása sok újabb problémát vetett fel, a legnagyobb gond az volt, hogy a túlhűlés ugyan az esetek döntő többségében jelentkezett, de néhány esetben megfigyelhető volt a jelenség elmaradása. Ez nagymértékben aláásta az eddigi elképzeléseimet az anyag felhasználását illetően. Tehát szükségserűvé vált e probléma kiküszöbölése valamilyen módszerrel.

3.3 Az olvadási pont problémája

Mindezeken túl el kellett gondolkoznom azon, hogy megfelelő-e az általam választott anyag olvadási hőmérséklete. Vajon tényleg 30-40 °C között van a legoptimálisabb olvadáspont? Hiszen ha ezt sikerül levinni 22 és 26 °C közé, akkor az anyag alkalmas lehet fűtésre és hűtésre egyaránt, azaz temperálásra. Az ismert irodalmakat áttekintve nem találtam olyan fázisváltó anyagot, amely fázisváltási hőmérséklete ebbe a tartományba esne és elfogadható lenne gazdaságossági szempontok alapján. Így az jelentette a megoldást, hogy a glaubersó olvadáspontját valahogyan csökkentem.

3.4 A hővezetés problémája

Alapvetően fontossá vált, hogy valamilyen módszerrel csökkentsem vagy kiküszöböljem a gyengébb hővezetési képességből fakadó hátrányokat. Ugyanis ha rosszabb a hővezetési képesség az komoly beruházási költségnövekedést okoz, mivel bonyolultabb kivitelű hőcserélő alkalmazását teszi indokolttá.

A vázolt problémák megoldására tett kísérleteimet a 4. fejezet részletezi.

4. A problémák megoldására tett kísérletek

4.1 Az ár problémája

Az előző fejezetből látható, hogy a megoldandó problémák igen sokrétűek, mivel a problémák jellege igen különböző.

Elsőként az árral kellett valamit kezdeni, hiszen, csak abban az esetben láttam értelmét a kutatás folytatásának, ha valóban sikerül egy versenyképes terméket előállítani. Sajnos sem a hazai, sem a külföldi piacokon nem találtam a jelenleginél jelentősebben versenyképes glaubersó árakat.

Viszont ha nem glaubersót keresünk, hanem csak az összetevőit. Tehát nátrium-szulfátot (Na_2SO_4) és desztillált vizet (sajnos a sima csapvíz nem megfelelő, mert ezt kezelik és tartalmaz egyéb anyagokat is, például klórt), akkor igen meglepő eredményre jutunk, mert ezeket igen olcsón beszerezhetjük.

A nátrium-szulfát beszerzési ára 250 Ft/kg volt (25 kg-os kiszerelésben).

A desztillált víz kilogrammonként megközelítőleg 100 Ft-ért beszerezhető (becsült ár mert számuomra az Egyetem Mezőgazdasági és Környezettudományi Karának Kémia Tanszéke biztosította a szükséges mennyiséget).

1 kg glaubersó előállításához szükség van:

- 441 g Na_2SO_4 -re
- 559 g H_2O -ra

Így a szükséges:

- Na_2SO_4 ára: 110,25 Ft
- H_2O ára: 55,90 Ft

Így 1 kg glaubersó ára: **166,15** Ft-ra mérséklődik a jelenleg 2600 Ft-os beszerzési árról. Ez 93,6%-os ármegtakarítást eredményez. És bátran kijelenthető, hogy az így előállított glaubersó már versenyképes.

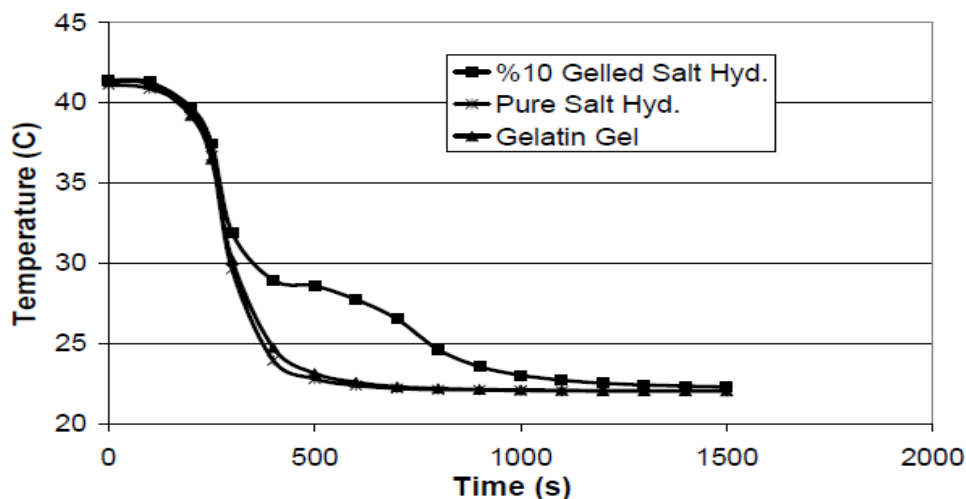
4.2 A túlhűlés problémája

A következő probléma a túlhűlés kiküszöbölése volt. Mivel elhatároztam, hogy változtatok a felhasználáson a túlhűlés csak bonyolította a rendszert. Kezelése valamilyen automatikát igényelt volna, ami érzékeli a külső (szobában uralkodó) hőmérsékletet is, és szükség esetén valamilyen egyéb berendezés által mozgási energiát közöl a glaubersóval, vagy az azt tartalmazó tartállyal. Bizonytalan volta miatt pedig, ez a tulajdonság szabályozásban való felhasználásra alkalmatlan.

Mint ahogyan a 2. fejezetben említettem a túlhűléssel, mint problémával már Telkes Mária is foglalkozott. Ennek a nyomára azonban csak egy forrásban bukkantam, ez Dr. Harald Mehling & Prof. Dr. Luisa F. Cabeza: Heat and cold storage with PCM című angol nyelvű munkája.

Alaposan utánajártam a témának hátha van más lehetőség is, és megtaláltam a Çukurovai egyetem három kutatójának publikációját, akik szintén ezzel a jelenséggel foglalkoztak (Özgül GÖK, Metin Ö. YILMAZ, Halime Ö. PAKSOY). Ők zselatint használtak stabilizátorként. A probléma ezzel az volt, hogy ez lecsökkentette az olvadáshőjét az anyagnak 180 kJ/kg-ra.

Tekintettel arra, hogy ez az érték még mindig igen magas, főleg a víz fajhőjéhez viszonyítva, úgy döntöttem, hogy én is kísérleteket fogok folytatni a zselatinnal.



4.1 ábra A glaubersó és a zselatinozott glaubersó hűlési görbéje, Forrás: Özgül GÖK, Metin Ö. YILMAZ, Halime Ö. PAKSOY: STABILIZATION OF GLAUBER'S SALT FOR LATENT HEAT STORAGE

A fenti diagrammon látható a török kutatók mérése. Ők 10 százalék zselatin hozzáadásával elérték, hogy a hűlési görbének legyen vízszintes szakasza is, de még mindig megfigyelhető egy elég nagy hiszterézis a görbében, a halmazállapotváltás sem az irodalomban meghatározottak szerinti hőmérsékleten történt, de ez nyilván a zselatin egyik „mellékhatása”.

Így, mint az alábbi képen is látható kisebb mintákat készítettem és különböző mennyiségű zselatint kevertem bele az egyes mintákba.



4.2 ábra Zselatinnal elkevert glaubersó

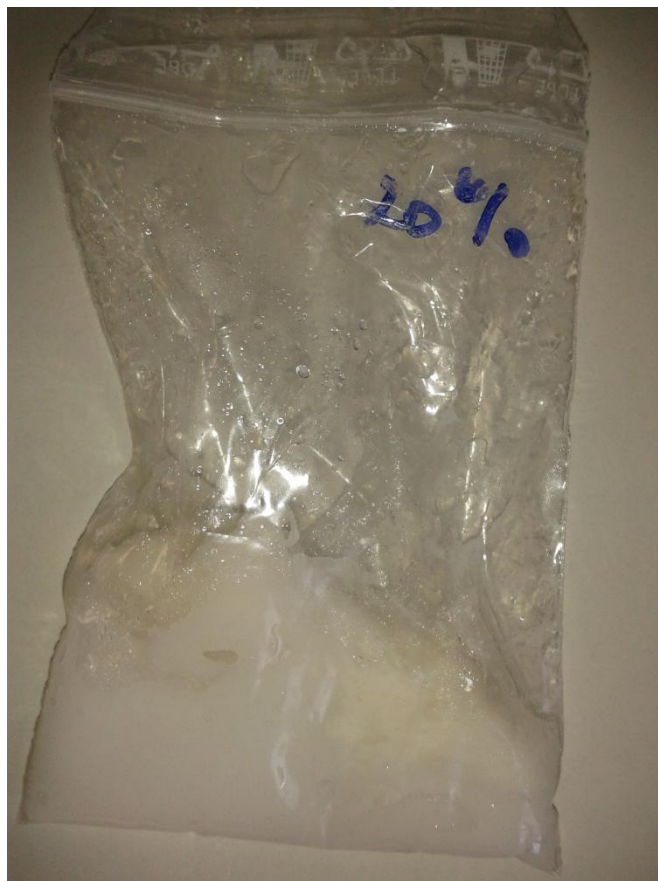
Készítettem 5 darab mintát, melyeknél a teljes tömeg:

- 0%
- 5%
- 10%
- 15%
- 20%-ban tartalmazott zselatint.

A zselatint vízzel oldott állapotban helyeztem bele a mintákba.

Mint a lenti képen látható az eredmény számomra nem volt olyan sikeres, mint a török kutatóknak. Minden esetben azt tapasztaltam, hogy a zselatin az anyaghalmoz valamely részen összetapadt és összeállt. Tehát nem sikerült homogén keverék létrehozása.

Valamint a méréseim is alátámasztották azt, hogy a zselatin nem stabilizálta az anyagot, a túlhűlés továbbra is megfigyelhető volt mind az 5 minta esetében.



4.3 ábra: A zselatin összeállása az anyaghalmozban

Tekintettel arra, hogy a török kutatók eredményei sokkal frissebbek a Telkes féle kutatásoknál reménykedtem benne, hogy az általuk kapott eredmények jobb megoldáshoz fognak vezetni, de sajnos tévedtem. Így következő lépésként a Telkes-féle módszerrel próbálkoztam, azaz borax-ot adagoltam a glaubersóhoz. Az 5%-os keverék bizonyult a leghatékonyabbnak.

A borax-ot megint csak egy gyógyszertárból szereztem be, mert eleinte csak kis mennyiségre volt szükségem. Így a beszerzési ár 200 Ft/20 g volt. Ugyanakkor az interneten 1 kilogrammos kiszerelésben 562 Ft-ért is beszerezhető a borax, így ez nem drágítja nagymértékben a keverékünket.

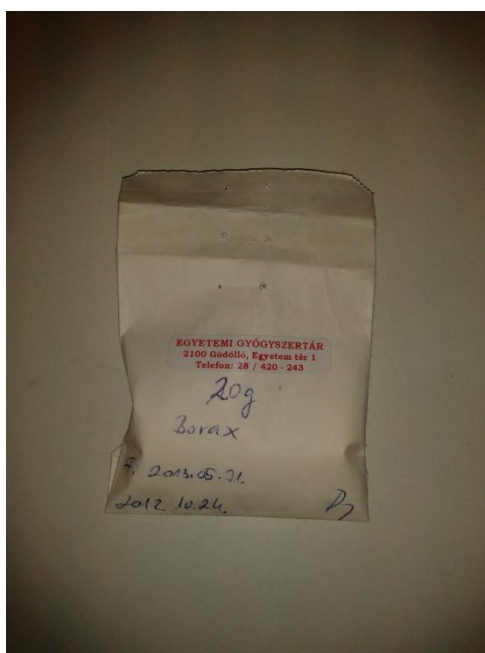
A keverékünk 1 kg-ra vonatkoztatva így a következőképpen alakul:

- 50 g BORAX
- 419 g Na_2SO_4
- 531 g H_2O

Az így képzett ár pedig:

- BORAX: 28,1 Ft
- Na_2SO_4 : 104,75 Ft
- H_2O : 53,1 Ft

Így 1 kg ára a keverékből: **185,95 Ft**, amely még mindig igen versenyképesnek mondható.



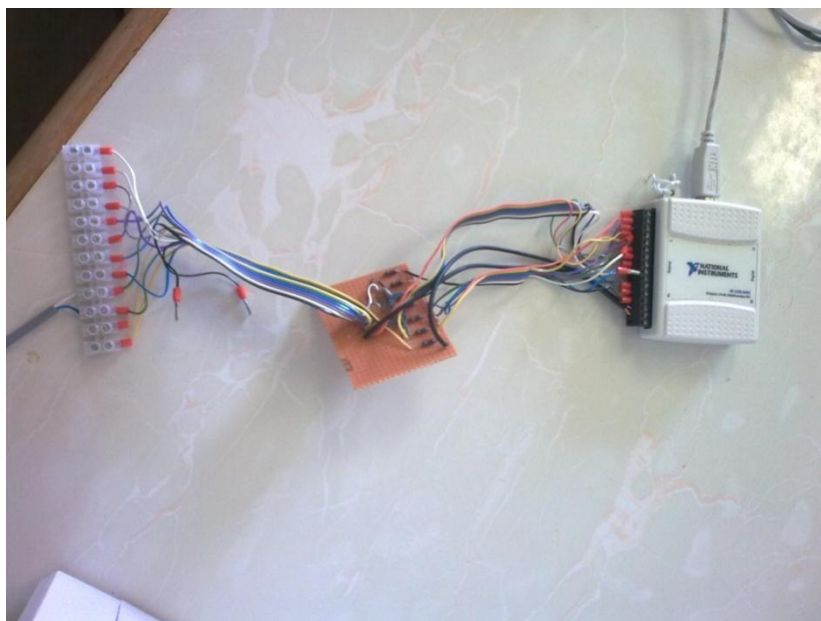
4.4 ábra: BORAX

A hőmérsékletmérést az ellenállás hőmérsékletfüggését használó NCT 10K B=3950 típusú szenzorral valósítottam meg.



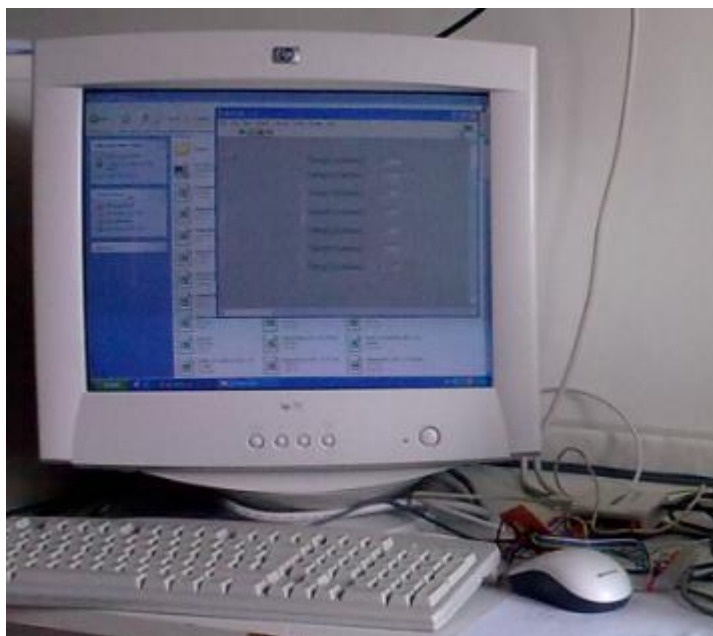
4.5 ábra: NTC10K B=3950 mérőszenzor, Forrás: <http://www.ultisolar.com/post/NTC10K-B=3950,-Dia650mm-Sensor-Solar-Controllers-Solar-Water-Heater-Controllers-Solar-Smart-Controllers.html>

Ezt a szenzort csatlakoztattam az alábbi képen látható National Instrument berendezéshez, amely számítógéphez csatlakozik.



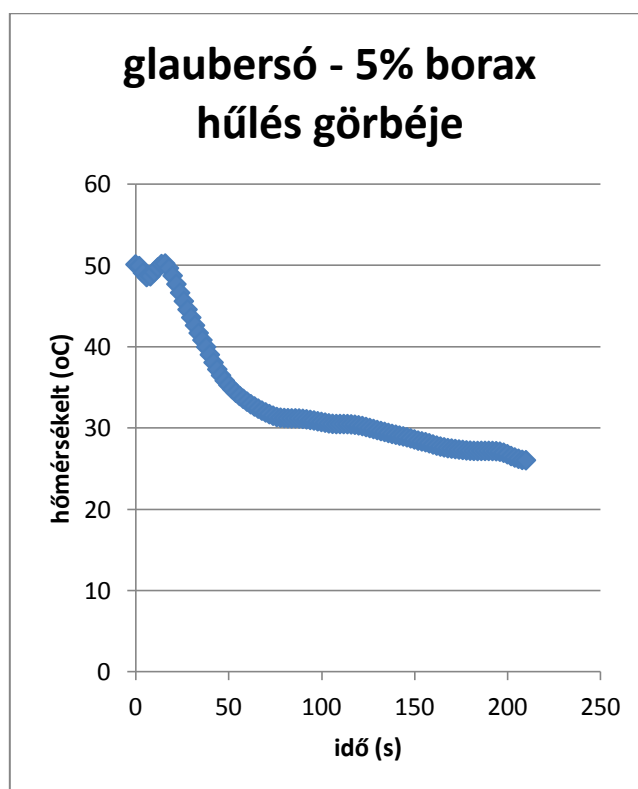
4.6 ábra: A National Instrument mérőberendezés

A számítógépen LabView program segítségével rögzítettem az adatokat, mely Microsoft Excel táblázatokba írta ki az adott mérési időponthoz tartozó hőmérséklet értékeket.

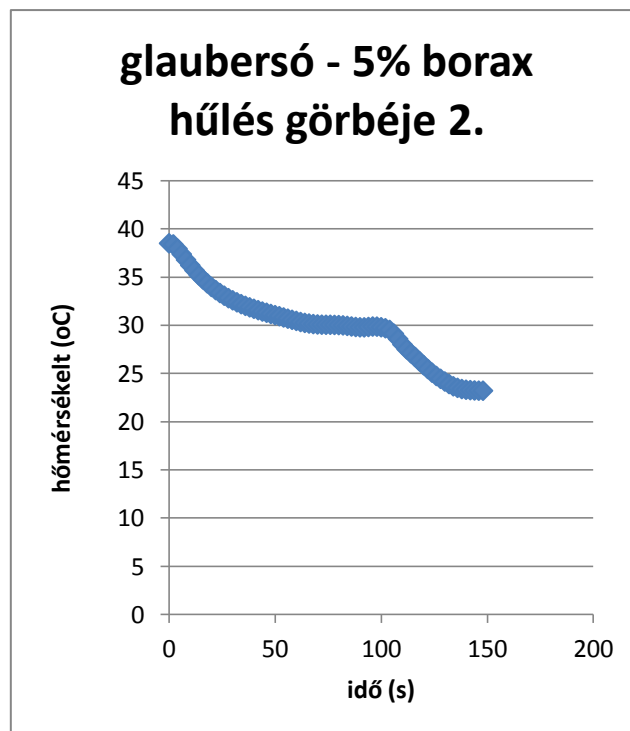


4.7 ábra: A LabView kezelőfelület

Az alábbi diagramon megfigyelhető, hogy az 5% borax hatására a túlhűlési jelenség megszűnt. Illetve hiszterézis sem volt megfigyelhető. A hőtani tulajdonságokat most nem vizsgáltam. A cél egyértelműen csak a glaubersó stabilizálása volt.



4.8 ábra: Az 5 % boraxszal elkevert glaubersó hűlési diagramja 1.



4.9 ábra: Az 5 % boraxszal elkevert glaubersó hűlési diagramja 2.

4.3 Az olvadáspont problémája

Az előző alfejezetben közölt diagramokon szemléltetett mérési adataimból megállapítható, hogy a borax 1-2 °C-kal csökkentette az új keverék olvadáspontját. Ezáltal a borax közelebb vitt másik célomhoz is, azaz az olvadáspont 22-25 °C közötti tartományba való csökkentéséhez.

A borax tartalom további növelése az elegyben nem tűnt célravezető megoldásnak.

A szakirodalomban hosszas kutatás után sem találtam tapasztalatokat a glaubersó olvadáspontjának csökkentésével kapcsolatban. Így saját ötletet kellett kidolgozni a cél eléréshez. Számos találgatás és ötlet megfontolása után a közönséges konyhasó (NaCl) kipróbálása mellett döntöttem. A konyhasó felhasználása két okból is igen logikusnak tűnt, és reményt adott a sikerre:

1. Ezt az anyagot használják fel télen az utak, járdák tisztítására is, mivel „elolvasztja” a jeget. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy lecsökkenti a jég olvadáspontját.
2. A konyhasó viszonylag olcsó anyagnak tekinthető. Nagymennyiségben elérhető még egy átlagos háztartás számára is.

A felsorolt megfontolások miatt tehát konyhasóval kezdtem meg kísérleteimet a keverék olvadáspontjának csökkentésére.

Összesen 4 darab mintát készítettem, a méréseimben a konyhasót sima glaubersóval kevertem össze, a boraxot kihagytam a keverékből. Ezekben az esetekben nem volt szükséges a glaubersó stabilizálása, kizárólag az olvadáspont érdekelt, hogy ezt hogyan befolyásolja a konyhasó tartalom..

A 4 minta:

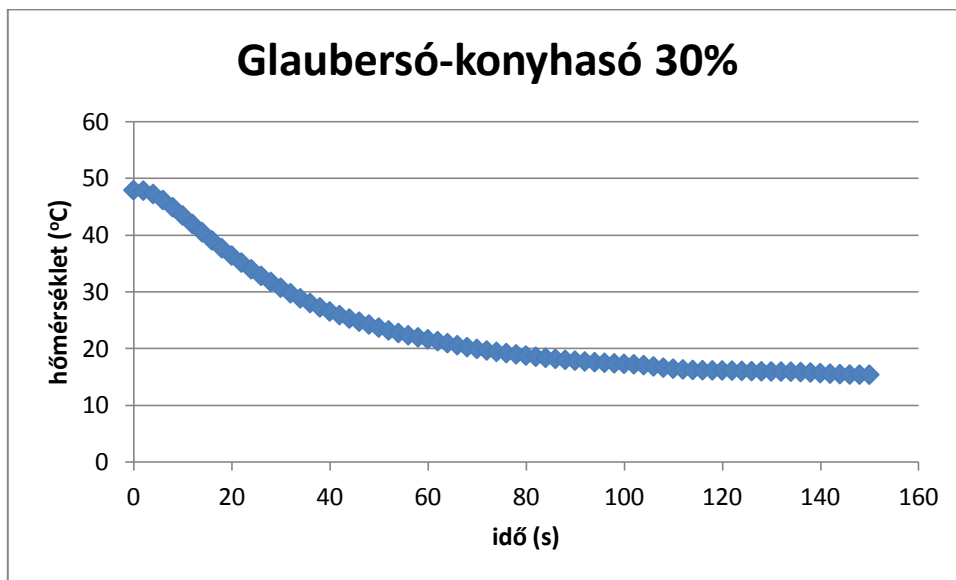
- 5% sótartalom
- 10% sótartalom
- 20% sótartalom
- 30% sótartalom



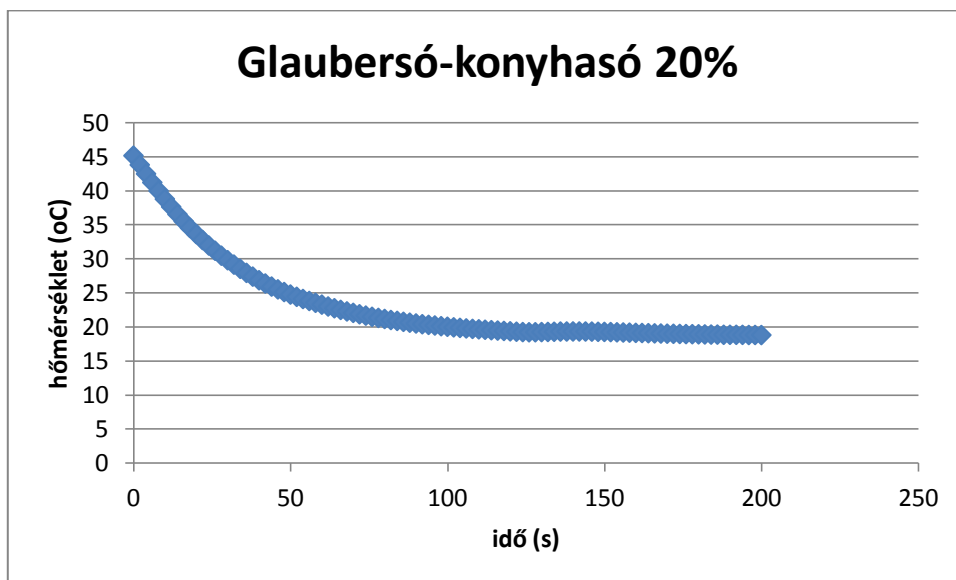
4.10 ábra: A konyhasóval összekevert minták

A vékony önzáródó zacskókba adagolt különböző konyhasó tartalmú keverékeket felmelegítettem (egy forró vízzel teli pohárban áztatva őket) majd lehűtöttem őket egy hideg vízzel megtöltött pohárban, eközben pedig mértem a hőmérsékletet. A méréseket újfent az előző fejezetben bemutatott berendezésekkel hajtottam végre.

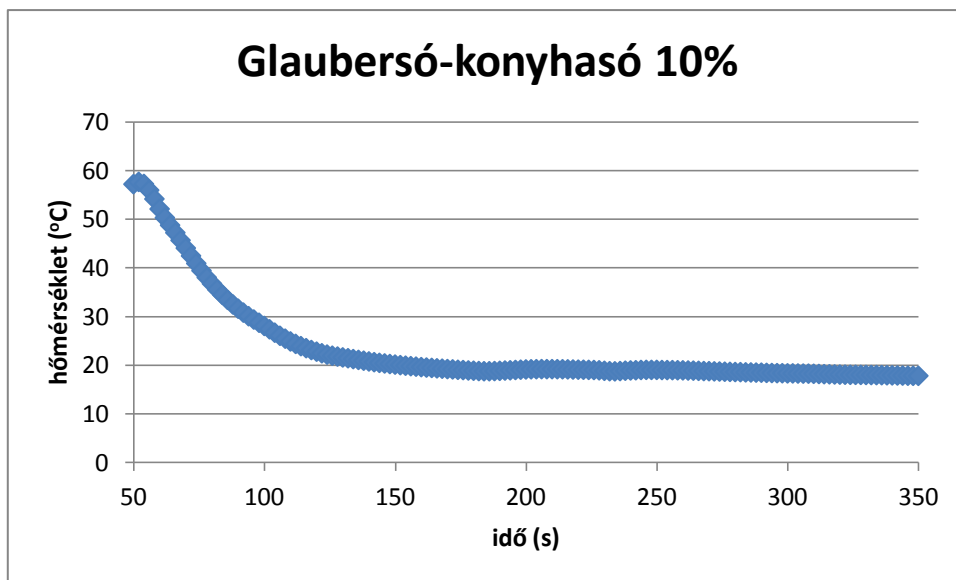
A mérési adatokat a következő diagramok szemléltetik:



4.11 ábra: 30% sótartalmú glaubersó hűlése

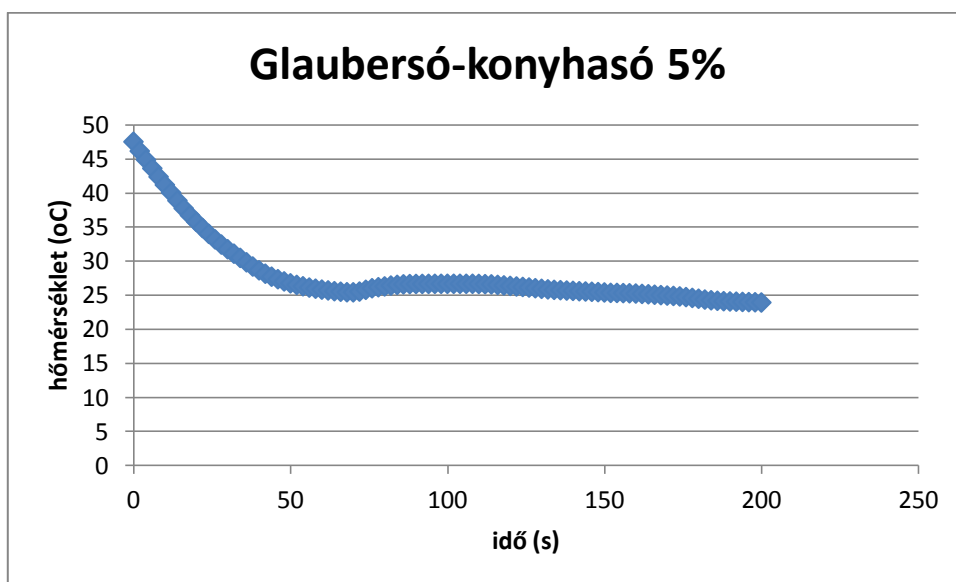


4.12 ábra: 20% sótartalmú glaubersó hűlése



4.13 ábra: 10% sótartalmú glaubersó hűlése

A 10%-os, 20%-os és a 30%-os sótartalmú keverék – mint a fenti diagramokon is látható – a vizsgált hőmérséklettartományban nem váltott fázist. A kísérletekből leszűrtem viszont, hogy a konyhasó alkalmas a keverék olvadáspontjának nagymértékű csökkentésére. Ennek tudatában kezdtem hozzá a kisebb sótartalmú keverékekkel való kísérletek megvalósításához.



4.14 ábra: 5% sótartalmú glaubersó hűlése

Az 5%-os sótartalmú keverék olvadáspontja 25 °C körül alakult. Ez pontosan a kívánt hőmérséklettartomány teteje. Így megállapítható, hogy az olvadáspont csökkentésére tett kísérleteim a konyhasóval sikerre vezettek.

Fontos megjegyezni, hogy a teljesen pontos értéket nem is volt célom ebben a fázisban meghatározni csak a viselkedés jellegét és körülbelüli tartományát, hiszen az alkalmazott mérőeszközök sem tettek lehetővé nagy pontosságú méréseket. Már az előző fejezetekben is leírtam, hogy a glaubersó relatíve gyenge hővezető és a hőmérőnek is van egy bizonyos tehetetlensége. A precízebb méréshez több ponton termoelemes hőmérsékletmérést és pontosabb digitális mérleggel történő tömegmérést tervezek. Ezek ellenére megfigyeléseim és méréseim számossága miatt megállapítható, hogy a jelenlegi eredményeim pontatlansága nem olyan mértékű mely akadályozná helyes végkövetkeztetések levonását.

4.4 A végleges keverék megalkotása

Eddigi eredményeim felhasználásával arra a következtetésre jutottam, hogy az ideálist nagymértékben megközelítő tulajdonságokkal rendelkező anyag összetétele:

- 90% glaubersó
- 5% borax
- 5% konyhasó

Az új anyag költsége 1 kg mennyiségre vetítve:

- 900 g glaubersó: 149,535 Ft
- 50g borax: 28,1 Ft
- 50g konyhasó: 5 Ft

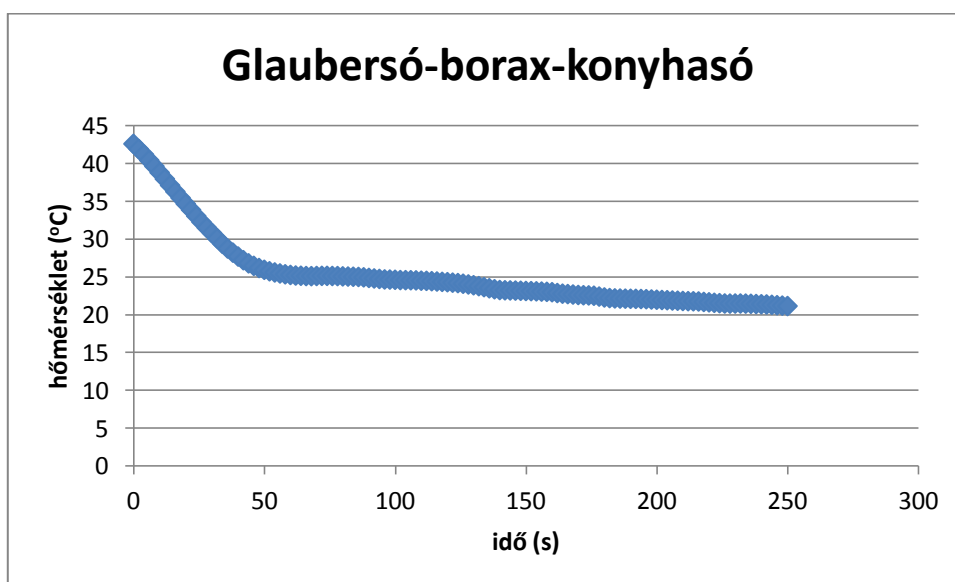
Így 1 kilogramm ára a létrehozott keverékből: **182,635 Ft**

Egyértelműen megállapítható tehát, hogy az ár szempontjából igen nagy előrelépést tettem a 2600 Ft/kg árhoz képest. Az árcsökkenés mértéke megközelítőleg 93%.



4.12 ábra: Az új keverék (5%borax-5%konyhasó-90%glaubersó)

A kezdeti tapasztalatok az új keverékkel megfigyelhetők az alábbi diagramon. A várakozásoknak megfelelően itt az olvadáspont még megközelítőleg 1 °C-kal tovább csökkent. Azaz összegződött a glaubersó és a borax előzőekben megfigyelhető hatása. Így a keverék még inkább megfelel az ideálisnak megjelölt kritériumoknak.



4.13 ábra: Az új keverék hűlési diagramja

Mivel az általam létrehozott anyag eddig vizsgált tulajdonságai minden igényemet kielégítették, a következő lépésem az energetikai tulajdonságainak megvizsgálása volt. A fő célom az volt, hogy az olvadáshő a többszöröse maradjon a víz fajhőjének, csakis így tud versenyképes alternatívává válni az anyag.

A méréseimhez az alábbi képen látható kalorimétert használtam, illetve az előzőekben bemutatott érzékelőket.



4.14 ábra: A kaloriméter és a szenzorok

Legelőször a kaloriméter vízértékét (= a kaloriméter fajhője hány gramm víznek felel meg hőcsere szempontjából) határoztam meg.

E célból három mérést végeztem. A mérés elve az volt, hogy hidegvizet öntöttem a kaloriméterbe, ezáltal a kaloriméter is felvette ezt a hőmérsékletet. Ezután meleg vizet

öntöttem bele, és így megvártam az egyensúlyi állapot bekövetkezését (a közös hőmérséklet beálltát).

A mérések adatai:

1. mérés:

- $T_{\text{meleg}}: 59\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_{\text{meleg}}: 63\text{ g}$
- $T_{\text{hideg}}: 18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_{\text{hideg}}: 68\text{ g},$
- $T_{\text{közös}}: 39,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. mérés:

- $T_{\text{meleg}}: 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_{\text{meleg}}: 70\text{ g}$
- $T_{\text{hideg}}: 7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_{\text{hideg}}: 73\text{ g}$
- $T_{\text{közös}}: 34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

3. mérés:

- $T_{\text{meleg}}: 57,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_{\text{meleg}}: 69\text{ g}$
- $T_{\text{hideg}}: 8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_{\text{hideg}}: 68\text{ g}$
- $T_{\text{közös}}: 34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

A számítás menete:

$$c_v \times m_{\text{vízmeleg}} \times (T_{\text{meleg}} - T_{\text{közös}}) = c_v \times (m_{\text{vízhideg}} + v) \times (T_{\text{közös}} - T_{\text{hideg}})$$

ahol: - c_v = a víz fajhője (4183 J/(kg x K))
 - $m_{\text{vízmeleg}}$ = a meleg víz tömege (kg)
 - $m_{\text{vízhideg}}$ = a hideg víz tömege (kg)
 - T_{meleg} = a meleg víz hőmérséklete (°C)
 - T_{hideg} = a hideg víz hőmérséklete (°C)
 - $T_{\text{közös}}$ = a beállt közös hőmérséklet (°C)
 - v = a kaloriméter vízártéke (kg)

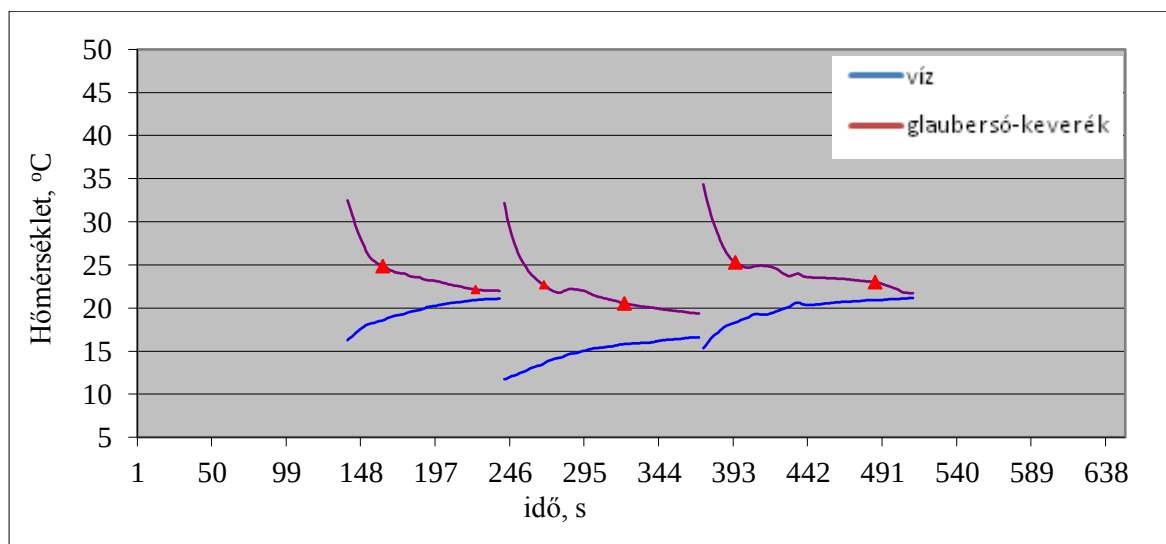
Az 1. mérés eredménye: 8,8 g

A 2. mérés eredménye: 6,43 g

A 3. mérés eredménye: 8,76 g

Így tehát a kaloriméter vízártéke, a három eredmény átlagolása alapján: **8 g**

A kaloriméter vízártékének ismeretében megkezdhettem az energetikai méréseket. A glaubersó-keverék fajhőjének és olvadáshőjének meghatározásához mért 3 méréssorozatot a mérési adatait mutatja egymás után fűzve az ábra. A mérések során kihűlési szakaszokat vizsgáltam, a glaubersó-keverék minden esetben 24 g, míg a hidegvíz rendre 86, 93, 86 g volt. A kaloriméter vízártéke pedig az előzőekben kiszámított 8 g.



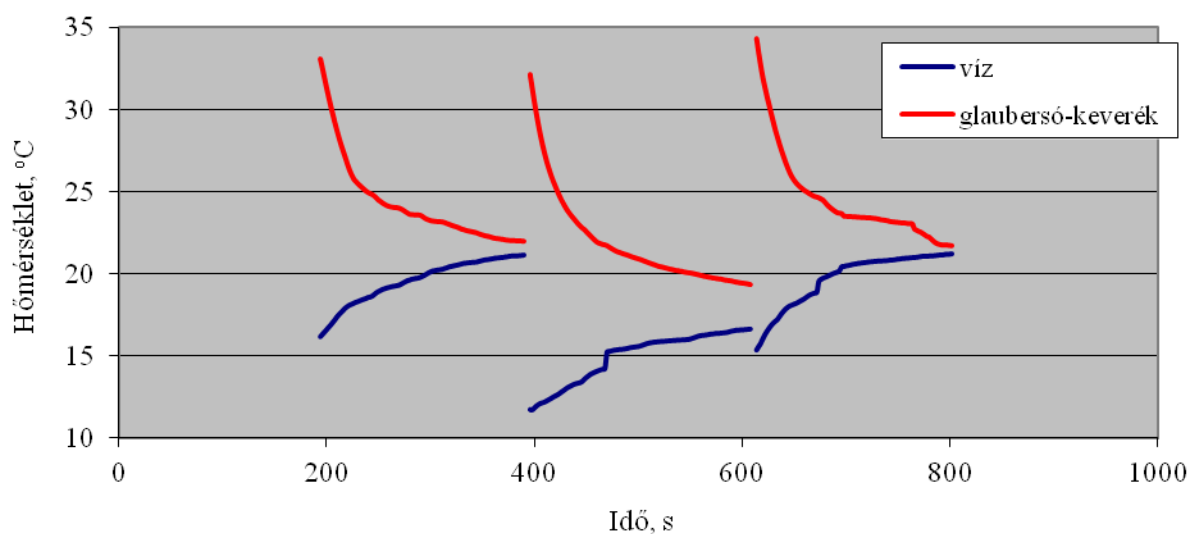
4.15 ábra: A keverék hűlése vízfürdőben

A fenti diagramon megfigyelhető, hogy a fázisváltás kismértékben eltérő hőmérsékleteken történik. Jól látható, hogy az olvadáspont valahol a kívánt mezőben helyezkedik el $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ között, és ez a kutatásom jelen szakaszában kielégítő eredménynek mondható, nagyobb pontosságra majd csak a későbbiekben lesz szükség.

A fázisváltás hőmérsékletének kismértékű eltérését okozhatja az, hogy az anyag hőmérsékleti homogenitását a rossz hővezető képessége miatt nehéz biztosítani és hogy az alkalmazott ellenálláshőmérő viszonylag nagy felületű. Több, párhuzamos, sűrűn elhelyezkedő termoelemes méréssel majd pontosítható a hőmérsékletmérés. A jelen eredményeim tehát közelítő jellegűek.

A piros háromszögekkel jelölt idő és hőmérsékletintervallumban játszódik le a fázisváltás. Erre a szakaszra számoltam ki az olvadáshőt, még a vizsgált tartomány alatti és fölötti hőmérséklet tartományokban a fajhőt.

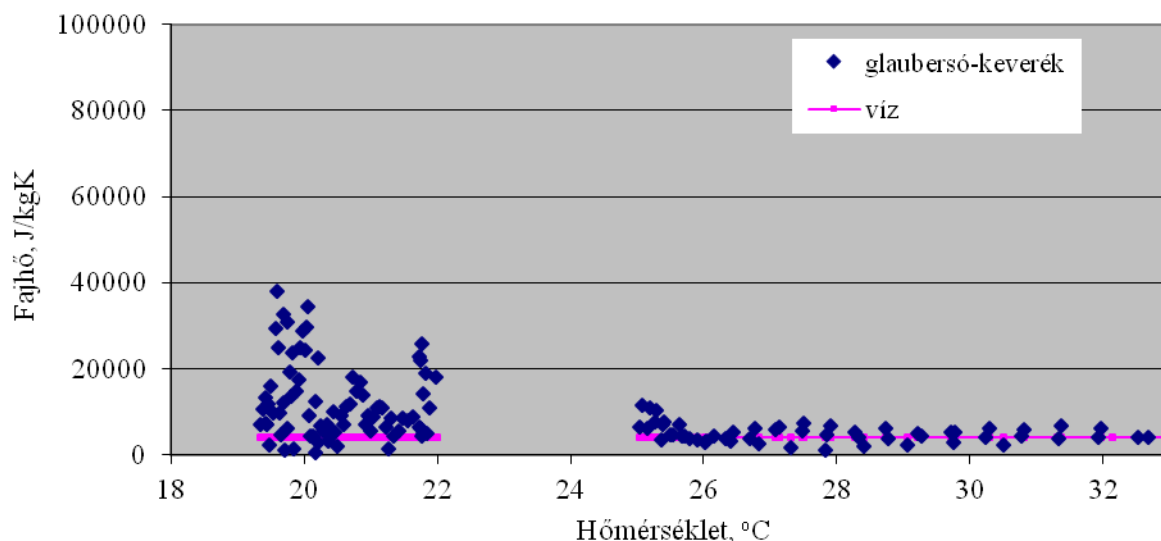
A fajhő értékek számításánál a rövid, kismértékű túlhűlésre emlékeztető szakaszokat nem vettem figyelembe (megfigyelhető volt, hogy itt nincs szó túlhűlésről, csak arról, hogy az anyag rossz hővezető, és a kevergetés hiánya is közrejátszik), az ezek kivágásával adódó, a számításoknál felhasznált adatsorokat mutatja az alábbi ábra. Jól megfigyelhető a fázisváltás szakasza, amikor a hidegvíz hőmérséklete ugrásszerűen megemelkedik, a keverék hőmérséklete pedig csak kismértékben változik.



4.16 ábra: A keverék hűlése a túlhűlésre emlékeztető szakaszok kivágása után

A fajhőt a kalorimetria alapegyenletéből határoztam meg: A kaloriméter és a benne levő hidegvíz által felvett hő megegyezik a glaubersó-keverék által leadott hővel.

A glaubersó-keverék fajhőjére a mérési adatok alapján számított értékek a hőmérséklet függvényében láthatók az ábrán, referenciaként a víz 4138 J/kgK fajhő értékét is feltüntettem.



4.17 ábra: A glaubersó-keverék fajhője

Megfigyelhető, hogy közvetlenül a fázisváltás előtti és utáni szakaszokban a glaubersó-keverék fajhője magasan meghaladja a víz fajhőjét. Ez hőtárolási célú felhasználásnál igen előnyös tulajdonság.

A méréseim alapján meghatároztam az olvadáshőt. a 4.15 ábrán jelölt szakaszokra.

Számításom menete:

$$c_v \times m_{\text{víz}} \times \Delta T + c_v \times v \times \Delta T = L_{\text{glaubersó}} \times m_{\text{glaubersó}}$$

- ahol:
- $c_v =$ a víz fajhője (4183 J/(kg x K))
 - $m_{\text{víz}} =$ a meleg víz tömege (kg)
 - $\Delta T =$ a víz hőmérséklete különbsége a fázisváltás kezdete és vége között (°C)
 - $m_{\text{glaubersó}} =$ a glaubersó tömege (kg)
 - $L =$ a glaubersó olvadáshője (J/kg)
 - $v =$ a kaloriméter vízértéke (kg)

Eredmények:

mérés sorszáma	$m_{\text{víz}+v}$ [g]	$\Delta T_{\text{víz}}$ [°C]	$L_{\text{glaubersó-keverék}}$ [J/kg]
1	94	2,67	43795,8
2	101	2,58	45359,8
3	94	2,61	42720,1
			átlag: 43958,6

Tehát az általam mért olvadáshők átlagai alapján az anyag olvadáshője 43958,6 J/kg. $\pm 5\%$ Ez a tiszta glaubersó megközelítőleg 242 kJ/kg olvadáshőjéhez viszonyítva nem magas, viszont a víznek ezen hőmérséklettartományban lévő 4138 J/kgK fajhőjéhez képest igen jó értéknek mondható. Tehát ebben a hőmérséklettartományban a glaubersó-keverék használata, mint hőtároló közeg igen sok előnnyel kecsegtet.

4.5 A hővezetés problémája

A számomra nem megfelelő hővezetés problémáját egészen más oldalról közelítettem meg, mint az eddigiekben ismertetett problémákat, mivel a keverékem hőtani tulajdonságait kielégítőnek találtam. A megoldásom a gyógyszeriparból jól ismert kapszulázás. Tehát az elv az, hogy valamilyen olyan anyaggal vonom be a kismennyiségű keveréket, ami:

- gyenge hőszigetelő (illetve lehet jó hőszigetelő is, ha a belőle képzett megfelelő bevonat vastagsága olyan elenyésző, hogy jelentős mértékben nem akadályozza a hő leadást illetve hő felvételt)
- nem lép reakcióba a glaubersóval
- egyszerűen és olcsón elérhető



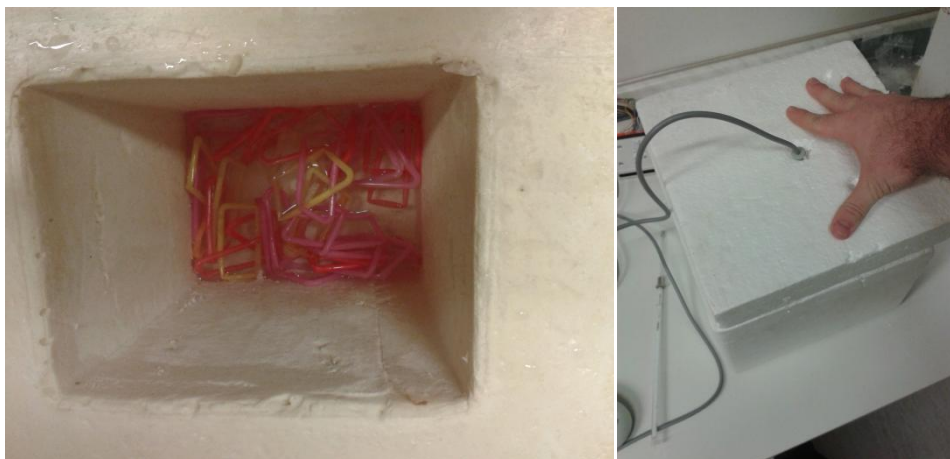
4.18 ábra: Gyógyszerkapszula

A legelső próbálkozásom a kapszulás modell megalkotására a glaubersó-keverék szívószálakba való töltése volt. 1 szívószálba megközelítőleg 1 gramm mennyiségű keveréket töltöttem. Az első problémát a szívószálak lezárása jelentette. Ezt próbáltam hővel, a szívószál végének megolvasztásával történő összeragasztással, de ezt sem a rendelkezésemre álló fóliahegesztővel, sem vasalással nem sikerült jól megvalósítanom. A megoldás a szívószál két végének összedugása lett, ezáltal gyakorlatilag szívószál gyűrűket kaptam. Ez működőképes megoldásnak bizonyult.



4.19 ábra: A glaubersó-keverékkel töltött szívószálak

A méréshez a glaubersó-keveréket tartalmazó szívószálakat felmelegítettem melegvíz fürdőben 50 °C fölé és ezután a hűlési diagram felvételéhez hidegvízbe tettem őket. A víz hőmérsékletét mértem.



4.20 ábra: Szívószálak melegítése, majd hűtése

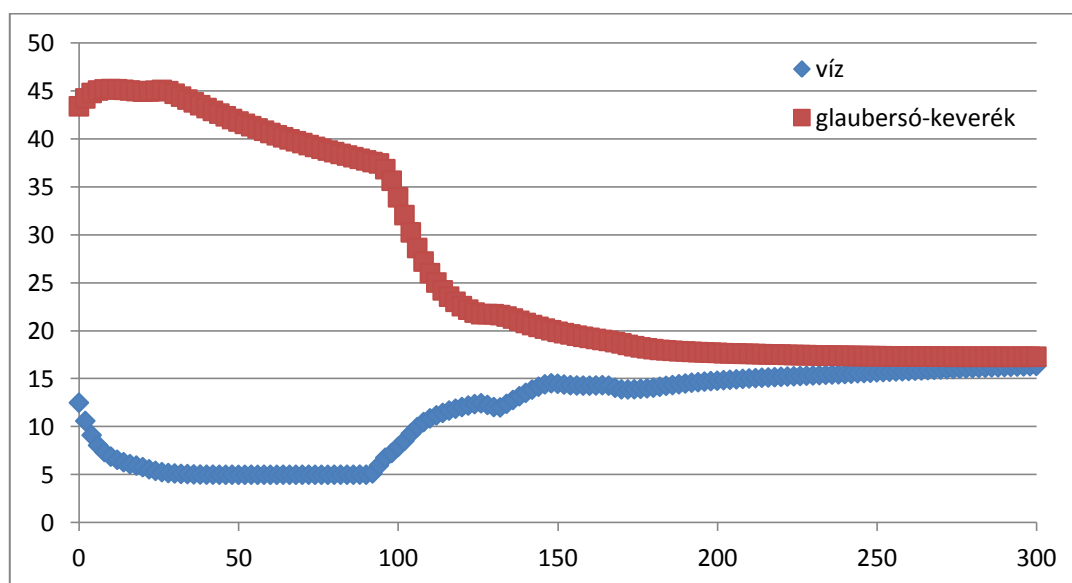
A méréssel az volt a legnagyobb probléma, hogy a glaubersó-keverék hőmérsékletének méréséhez nem volt megfelelő felszerelésem. Így nem tudtam, hogy pontosan mi történik a keverékkel. Nem tudtam mérni, hogy mikor vált fázist, ezáltal nem láttam, hogy valóban megoldást jelent-e ez a 'kapszulázásos' módszer.

A következő módszer az energetikai jellemzők mérésekor is használt zacskókból készített kisebb méretű zacskók glaubersó-keverékkel való megtöltése volt. A kisebb méretű zacskókat vasalóval készítettem, majd ezeket töltöttem meg a keverékkel.



4.21 ábra: A zacskó-kapszulák

A zacskókat szintén felmelegítettem, majd behelyeztem a hideg vizet tartalmazó kaloriméterbe (a 4.4 alfejezetben bemutatott kaloriméterbe). A glaubersó-keverék hőmérsékletének mérését úgy oldottam meg, hogy a sok kisebb zacskó mellett használtam egy eredeti méretű zacskót is, melyben el tudtam helyezni a hőmérőszenzort.



4.22 ábra: A zacskók hűlési diagramja

A fenti diagramon jól megfigyelhető, hogy a keveréknél fázisváltás közbeni hőmérsékletváltozás majdnem teljes egészében eltűnt. Érdekes lehet még megfigyelni, hogy a fázisváltás során a víz hőmérséklete csak kis fáziskéséssel kezd számottevően emelkedni. Ez azért történt, mert a mérés közben nem tudtam megoldani a kaloriméter tartalmának keverését. Tehát nagy valószínűséggel helyes a feltételezés, hogy a közvetlen a fázisváltást követő intenzív víz hőmérsékletnövekedést a fázisváltás okozta, csak a kevergetés hiánya miatt ezt késve érzékelt a víz egy pontján elhelyezett hőmérő.

Így tehát okkal feltételezem, hogy a hővezetésből adódó problémák a kapszulázásos módszerrel igen hatékonyan kezelhetők, kivédhetőek és a kapszulás megoldás az anyag homogenitását is biztosítja, ugyanis nagyobb mennyiség együtt alkalmazása esetén a magas víztartalomtól adódóan a keverék heterogénné válik és az oda-vissza történő fázisátalakulás nem valósul meg a teljes térfogatban, ami csökkenti a hőtárolási képesség hatékonyságát.

5. Következtetések

Megállapítható, hogy az újonnan létrehozott anyag versenyképes hőtárolási alternatíva a vízhez képest, még annak ellenére is, hogy a glaubersó olvadáshője egy nagyságrenddel nagyobb, mint az új keveréké. A keverék a glaubersóval kapcsolatos összes hátrányt megszüntette.

A rendszer gyakorlati felhasználhatóságát nagymértékben javítja a kapszulázás. Az anyag így sokkal nagyobb mennyiségű tárolt hő leadására képes egységnyi idő alatt és biztosíthatóvá válik a homogenitása.

A legegyszerűbb és legolcsóbb fűtési-hűtési módszer mellyel kombinálni célszerű a keverékkel megvalósított hőtárolót csupán egy ventilátort tartalmaz, ezáltal cirkuláltatja a levegőt, ami érintkezik a hőtárolóval. Ilyen módon temperálásra alkalmas a kidolgozott keverék.

A keverék felmelegítése a fázisváltási hőfok fölé – köszönhetően a lecsökkent hőmérsékletű olvadáspontnak és olvadáshőnek - még télen is könnyedén megoldható napenergiával.

Az újonnan kialakított ár már gazdaságilag is versenyképesé teszi az anyagot a piacon. Egy napenergiás rendszer kiépítésében elenyésző költségként jelentkezne az általam létrehozott fázisváltó anyag, még nagyobb mennyiség alkalmazása esetén is.

6. További feladatok

A kutatás folytatásában a következőkre szeretném fektetni a hangsúlyt:

1. Fontos a homogenitást is biztosító kapszulaméret meghatározása és a keverék viselkedésének vizsgálata a ciklusszám függvényében.
2. Szeretnék a kapszulázásra egy végleges, professzionális megoldást találni. A fő cél az, hogy olyan bevonatot találjak ki a glaubersó-keverék köré, amely kielégíti mind a 4.5 alfejezetben felvetett kritériumokat, mind pedig alkalmas tömeggyártásra.
3. Fontosnak tartom a keverék „finomhangolását is”. Azaz a konyhasóarány finom változtatásával be lehet állítani a fázisváltási hőmérsékletet. Így megalkotható egy táblázat, mely pontosan közli, hogy az adott fázisváltási hőmérséklet eléréséhez milyen arányban kell összekeverni az összetevőket. Ezáltal a kívánt igénynek megfelelő, személyre szabható keverékek előállítására nyílna lehetőség.
4. Végül pedig szeretnék az anyaggal napenergia hasznosítására vonatkozó kísérleteket végezni.

7. Bibliográfia

1. NFM: Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Terve 2010-2020
2. NFM: Nemzeti Energiastratégia 2030
3. <http://energiavadasz.hu/?p=904> (megtekintés ideje: 2011.09.30.)
4. http://energiaklub.hu/sites/default/files/ek_sajto_hatter_megujulok_eu.pdf
(megtekintés ideje: 2011.10.23.)
5. <http://epulet-energetika.hu/megujulo-energiak-hasznositasa-2020> (megtekintés ideje: 2011.09.21.)
6. <http://www.matud.iif.hu/2010/08/05.htm> (megtekintés: 2011.10.04.)
7. Dr Harald Mehling & Prof. Dr. Luisa F. Cabeza: Heat and cold storage with PCM, Springer, 2008
8. H. P. Garg, S. C. Mullick, A. K. Bhargava: Solar thermal energy storage, 1985, Springer
9. Özgül GÖK, Metin Ö. YILMAZ, Halime Ö. PAKSOY: STABILIZATION OF GLAUBER's SALT FOR LATENT HEAT STORAGE