

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Zsámboki Péter**

**2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Szent István Campus**

**Műszaki Intézet**

**Gépészmérnök mesterképzési szak**

**Kompakt, kísérleti hőtároló egység megvalósíthatóságának vizsgálata**

<b>Belső konzulens:</b>	Dr. Kurják Zoltán Egyetemi docens
<b>Belső konzulens intézete/tanszéke:</b>	<b>Műszaki Intézet</b> <b>Járműtechnika Tanszék</b>
<b>Külső konzulens:</b>	Gerda István Zsolt Online Projects Kft, elemző
<b>Készítette:</b>	<b>Zsámboki Péter</b>

**Gödöllő**

**2023**

**MŰSZAKI INTÉZET  
GÉPÉSZMÉRNÖK MESTERSZAK  
Műszaki fejlesztő specializáció**

**DIPLOMADOLGOZAT**

feladatlap

**Zsámboki Péter (GZCR05)**

\_\_\_\_\_  
részére

**A diplomadolgozat címe:**

**Kompakt, kísérleti hőtároló egység megvalósíthatóságának vizsgálata**

**Feladatkiírás:**

Végezze el egy kísérleti hőtároló egység hőtechnikai vizsgálatát, amelynek során végezze el a szerkezet megalkotásához szükséges anyagok kiválasztását, hőtároló és hőszigetelő anyagok vizsgálatát, a komplex rendszer megvalósíthatóságának vizsgálatát.

**Közreműködő tanszék:** Járműtechnika tanszék

**Külső konzulens:** Gerda István Zsolt, Online Projects kft, elemző

**Belső konzulens:** Dr. Kurják Zoltán egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

**A dolgozat beadási határideje:** 2023 év 11. hó 06. nap

Kelt: Gödöllő, 2023 év 06 hó 15 nap

**Jóváhagyom**

  
\_\_\_\_\_  
(tanszékvezető)

  
\_\_\_\_\_  
(szakfelelős)

**Átvettem**

  
\_\_\_\_\_  
(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt: Gödöllő, 2023 év 11 hó 03 nap

  
\_\_\_\_\_  
(külső konzulens)

# 1. Tartalom

1.	Tartalom.....	4
2.	Bevezetés.....	6
3.	Szakirodalmi áttekintés .....	7
3.1.	Hőtárolás alapvetései.....	7
3.1.1.	Hőtárolók tervezése .....	8
3.1.2.	A hőtárolás módszerei.....	9
3.1.3.	Az érzékelhető hő tárolása.....	10
3.1.4.	A látens hő tárolása.....	11
3.1.6.	Termokémiai hőtárolás .....	17
3.2.	Hőátadás alapvetései.....	19
3.2.1.	Hővezetés (kondukción).....	19
3.2.2.	Hőszállítás (konvekcion).....	21
3.2.3.	Hősugárzás (radiáción).....	22
3.2.4.	Összetett hőátvitel.....	22
3.3.	Csőköteg hőcserélők kialakítási szabályai .....	23
3.4.	Már létező hőtároló megoldások .....	25
4.	Alkalmazott módszer.....	27
4.1.	A rendszer peremfeltételei.....	27
4.2.	Anyagválasztás .....	27
4.2.1.	Hőtárolásra alkalmas anyagok meghatározása .....	27
4.2.2.	Hőszállításra alkalmas anyagok.....	34
4.2.3.	Hőszigetelésre alkalmas anyagok .....	35
4.2.4.	Szerkezeti anyagok .....	41
4.3.	Hőtároló egység koncepciója.....	42
4.4.	Hőkapacitás meghatározása.....	42

4.5.	A prototípus hőkapacitásának meghatározása .....	43
5.	Eredmények és értékelésük .....	55
6.	Következtetések és javaslatok .....	59
7.	Összefoglalás.....	60
8.	Summary .....	61
9.	Köszönetnyilvánítás .....	62
10.	Irodalomjegyzék.....	63
11.	Ábrák és táblázatok jegyzéke .....	65
12.	Nyilatkozatok .....	68

## 2. Bevezetés

Az utóbbi években jelentősen elterjedt a megújuló energiaforrásokon alapuló háztartási energiatermelés, úgymint szél- és napenergia. Ezen erőforrások legfőbb jellegzetessége, hogy intenzitásuk fluktuál. Mivel a felhasználás intenzitása az esetek többségében időben eltér az egyes erőforrások rendelkezésre állásától, így nagy hangsúly helyeződik az energiátárolásra. Kis méretben a legelterjedtebb és legkézenfekvőbb az elektromos energia tárolása széleskörű, egyszerű felhasználhatósága miatt. Az ilyen célra használt akkumulátorok bekerülési költsége nagy és élettartamuk ideális esetben a termelő egység élettartamának körülbelül harmada/negyede. Ezt követően kapacitásuk már jelentős mértékben kisebb, mint eredeti állapotukban így nem képesek ugyanazt a feladatot teljesen ellátni, mint korábban, így cserére, bővítésre szorulnak, amely ismételten egy jelentős költségekkel bíró beruházás. Az előzőekben leírt energiátárolási problémák nem csak épületek, hanem járművek esetében is fennállnak.

Egy jobb megoldást jelenthet hőenergia tárolására alkalmas egység használata. Igaz a kinyerhető energia felhasználása szűkebb körű, viszont épületek és járművek esetében a belső terek klimatizálása jelentős energiafelhasználással jár, amely eredetileg több energiaátalakítási folyamaton megy keresztül. Mindezek mellett az energiátárolására ólom-savas vagy lítium-ion cellák kerülnek felhasználásra, amelyek a környezetre káros anyagokat tartalmaznak, valamint újrahasznosításuk feldolgozásuk az értékes elemek visszanyeréséhez vagy a káros anyagok semlegesítéséhez nagy költségvonzattal járnak, így nem széleskörűen elterjedtek ezen folyamatok. Egy könnyebben feldolgozható, kevésbé veszélyes, azaz környezetbarátabb megoldás lehet egy megfelelő anyaghasználattal megtervezett hőakkumulátor az ilyen célú felhasználásra.

Célom egy olyan kompakt hőtároló egység megvalósítása, amely alkalmas egy személygépjármű utasterének fűtésére akár hűtésére előre meghatározott időtartamig az éghajlatnak megfelelő időjárási körülmények között. A dolgozatomban bemutatom az ehhez szükséges mérési, számítási, tervezési folyamatokat.

### 3. Szakirodalmi áttekintés

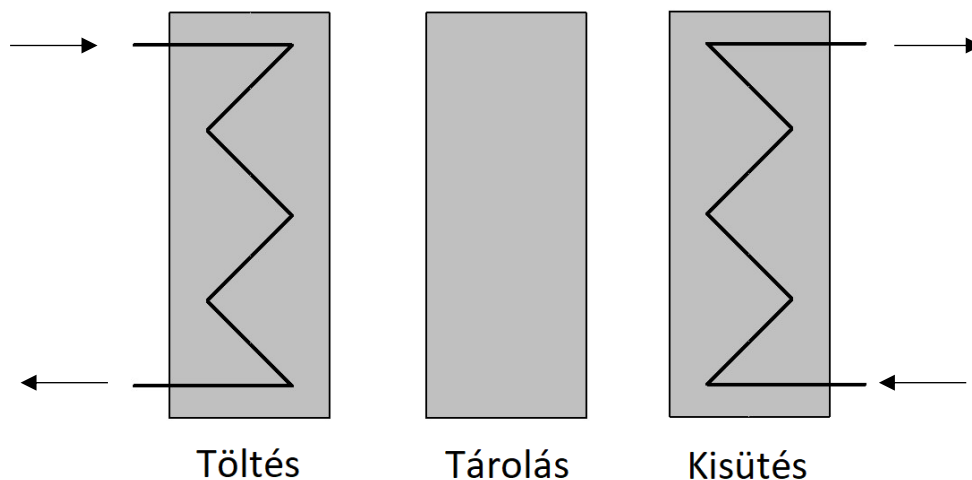
Egy hőtároló egység esetén két főcsoportra bonthatjuk a fennálló folyamatokat: hőtárolás és hőátadás.

#### 3.1. Hőtárolás alapvetései

A hőenergia-tárolás (HET) alkalmazásával lehetőség nyílik a hő- és a hidegenergia későbbi felhasználására. A HET segítséget nyújthat a hőenergia hatékony felhasználásában és biztosításában olyan esetben, amikor az energiatermelés és a felhasználás között idő-, hőmérséklet-, idő-, teljesítmény-, vagy helybeli eltérés áll fenn.

Az alapelv minden HET alkalmazásban megegyező. Az energiát egy annak tárolására alkalmas rendszerbe juttatjuk, hogy azt később visszanyerve felhasználjuk. A teljes folyamat három lépésre bontható (1. ábra): töltés, tárolás és kisütés.

A gyakorlatban alkalmazott rendszerek esetében az egyes lépések egyszerre is végbemehetnek és minden egyes lépés többször is megismétlődhet a teljes ciklus során.



1. ábra A TES (Thermal Energy Storage) elemi: töltés, tárolás, kisütés

Forrás: Saját szerkesztés

A HET rendszerek típusának kiválasztása során számos tényezőt figyelembe kell venni. Az egyik kulcsfontosságú szempont a rendszer hőteljesítménye. A megfelelő rendszer meghatározása azonban számos más szemponttól is függ. Ilyen szempontok például: a gazdaságosság, környezeti- és műszaki feltételek.

A hőtárolási rendszereket két nagy csoportba lehet sorolni. Ezek az aktív vagy passzív rendszerek. Az aktív tárolórendszert elsősorban a tároló anyagon belüli kényszer konvekciós hőátadás jellemzi, amely során a tárolóközeg hőcserélőn keresztül kering. Az aktív rendszerek

egy vagy két tartályt használnak a közeg tárolására. Az aktív rendszereken belül közvetlen és közvetett rendszerekről beszélhetünk. Közvetlen rendszerek esetén a hőátadó közeg tárolóközegként is szolgál. Ezzel szemben a közvetett rendszerben hőtárolásra egy második közeget használnak. A passzív tárolórendszerek általában két közeget használnak fel melyek közül az egyik szilárd hőtároló, míg a másik hőátadó fluidum.

A legfontosabb műszaki elvárások:

- Magas energiasűrűségű töltet (hőtároló kapacitás),
- Jó hőátadás a hőszállító közeg és a töltet között (hatékonyság),
- A tárolóanyagok mechanikai és kémiai stabilitása (több töltési-kisütési ciklust kell teljesíteni),
- Kompatibilitás a hőátadó közeg, a hőcserélő és/vagy a hordozó közeg között (biztonság),
- A töltési-kisütési ciklusok teljes átalakulásának biztosítása (élettartam),
- Kis mértékű hőveszteség,
- Egyszerű vezérlés.

A technológia szempontjából a legfontosabb tervezési kritériumok a következők:

- Működési módszer,
- Maximális teljesítmény,
- Névleges hőmérséklet és entalpia csökkenés az energiakinyerés során,
- Integrálhatóság.

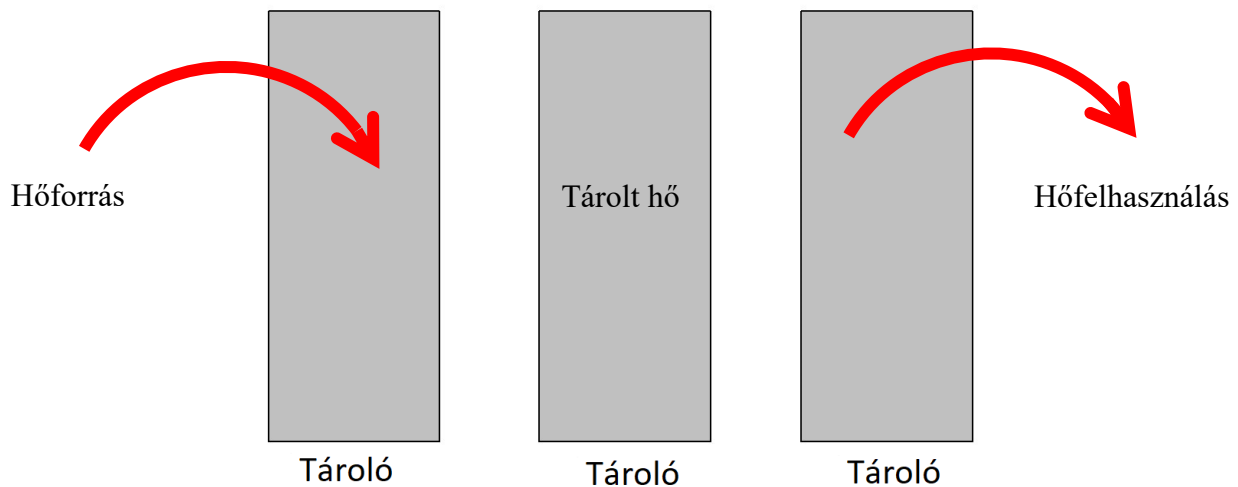
### 3.1.1. Hőtárolók tervezése

A hőtárolás alapfolyamata: a hőforrásból származó hő- vagy hidegenergiát a hőtárolóba bevezetjük, ott tároljuk, majd később az igényeknek megfelelően kinyerjük. (2. ábra)

Hőtárolási feladatok legfontosabb határfeltételei:

- Hőmérséklet: a fűtőközeg hőmérséklete legalább egyenlő vagy nagyobb kell legyen a tároló és felhasználási hőmérsékletnél.
- Teljesítmény: egységnyi idő alatt átadott hőmennyiségnek meg kell egyeznie a töltés és a kisütés során.
- Közeg áramlások: egyes felhasználási körülmények között figyelembe kell venni a hőátadó közeg áramlási viszonyait szabad- vagy kényszer konvekció esetén.





2. ábra A hőtárolás alapvető működési folyamata  
 Forrás: Saját szerkesztés

A tárolórendszerek tervezése során három alapvető lehetőség van a rendszer kialakítása szempontjából [Mehling és Cabeza, 2008]:

- Hőátadás a tároló felületén:  
 Ebben az esetben a fő paraméter a felületi hőátadási ellenállás. Fontos figyelembe venni a hővezetési ellenállást, valamint a fellépő kényszer- vagy szabadkonvekció sajátosságait.
- Hőcserélő használata:  
 Ebben az esetben a hőcserélőre rendelkezésre álló felület jelentősen nagyobb, így annak intenzitása is.
- Hő átvadó és szállító közeg megegyezik:  
 A legegyszerűbb eset mely során a hő tárolását és szállítását is ugyanaz a közeg látja el. A folyamat során a hőtároló anyag egy része is elszállítódik, így utánpótlásának megoldása fontos.

### 3.1.2. A hőtárolás módszerei

Megfordítható kémiai vagy fizikai folyamatok felhasználásával megvalósítható az energiatárolás. A folyamatok lényege, hogy egyik irányba endotermek, míg másik irányban exotermek legyenek. Ilyen folyamat lehet:

- anyag hűtése és melegítése,
- anyag olvasztása és megszilárdítása,
- anyag elpárologtatása, majd kondenzálása.

A hőtároló anyagok ez alapján különböző csoportokba sorolhatóak:

- Érzékelhető hő tárolás,
- Látens hő tárolás:
  - Szorpciós folyamat segítségével,
  - Kémiai energia formájában,
  - Fázisváltás segítségével (szilárd-folyadék, szilárd-szilárd, szilárd-gáz, folyadék-gáz).

### 3.1.3. Az érzékelhető hő tárolása

Az érzékelhető hő tárolása a hőtárolás egyik leggyakoribb módszere, mely során az energiát egy tárolóközeg, például: víz, olaj vagy homok hőmérsékletének megváltoztatásával tárolják. A bevezetett energia mennyisége arányos a hőmérsékletváltozással, a tárolóközeg tömegével és a tárolóközeg hőkapacitásával. Egy anyagban tárolt érzékelhető hőmennyiség a következőképpen fejezhető ki:

$$Q_{\text{érz.}} = \int_{T_1}^{T_2} m \cdot c_p \cdot dT = \int_{T_1}^{T_2} V \cdot \rho \cdot c_p \cdot dT \quad (1)$$

ahol:

$m$  - a tárolóközeg tömege [kg],

$c_p$  - tárolóközeg fajhője [kJ/kgK],

$T$  - a hőmérséklet [K],

$V$  - a tárolóközeg térfogata [ $m^3$ ],

$\rho$  - a tárolóközeg sűrűsége [ $kg/m^3$ ].

Az egyes anyagok  $V$  [ $m^3$ ] térfogatra jutó hőtárolóképességét a  $\rho \cdot c_p$  [kJ/ $m^3K$ ] térfogati hőtárolókapacitás határozza meg. A hőtárolásra használt anyag kiválasztásánál fontos figyelembe venni, hogy az a működési hőmérséklet tartományában hogyan viselkedik.

A hőtárolásra leggyakrabban használt anyagokat a 1. táblázat tartalmazza.

Az érzékelhető hő tárolására használt anyag olcsó és jó hőkapacitású kell legyen, hogy hőtárolására alkalmas legyen. A tárolóanyag sűrűsége és fajhője mellett fontos tulajdonságok:

az üzemi hőmérséklet, a hővezető képesség és a hődiffúziós tényező, a gőznyomás, a stabilitás, az anyagok közötti kompatibilitás és a költség.

*1. táblázat Az érzékelhető hő tárolására használt néhány általános anyag hőkapacitása 20 °C-on*

*[Stryi\_Hipp G., 2016]*

<b>Anyag</b>	<b>Sűrűség [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Fajhő [J/kgK]</b>	<b>Térfogati hőtárolókapacitás [x10<sup>6</sup> J/m<sup>3</sup>K]</b>
agyag	1458	879	1,28
acél	7840	465	3,57
beton	2000	880	1,76
etanol	790	2400	4,17
fa	700	2390	1,67
homokkő	2200	712	1,57
kavicsos föld	2050	1840	3,68
motor olaj	888	1880	3,89
tégla	1800	837	1,51
üveg	2710	896	2,27
vas	7900	452	2,43
víz	988	4182	3,77

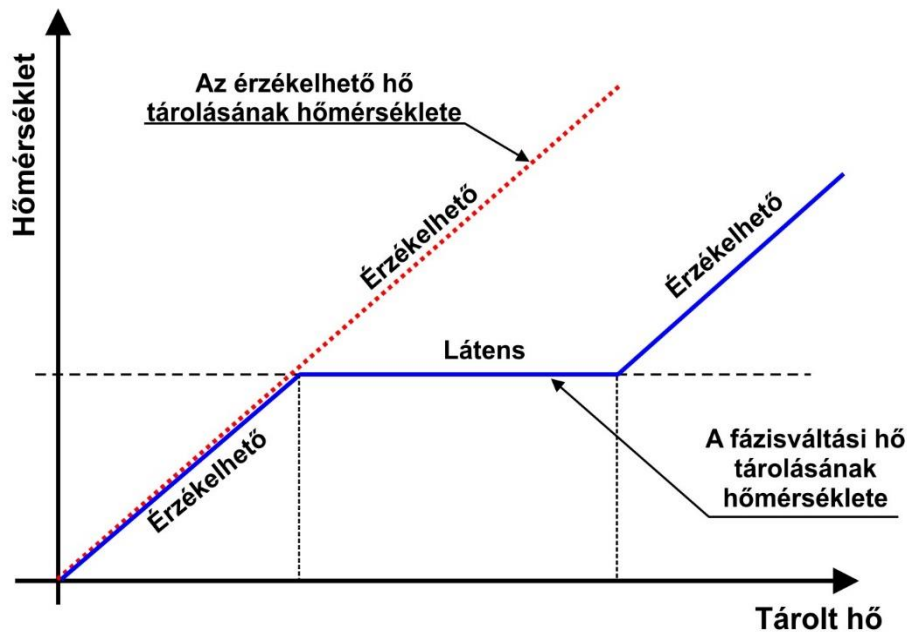
Az érzékelhető hő tároló rendszerek olyan komplex struktúrák, melyek a tároló közegből, tároló edényből és a hőszállító anyag szerelvényeiből állnak. A tartály feladata kettős, mivel alkalmas kell legyen a tárolóközeg megőrzésére és el kell szigetelje azt a külvilágtól ezzel csökkentve a hőveszteségeket. A tárolóközeg lehet szilárd vagy folyékony halmazállapotú. Szilárd közegek esetén elengedhetetlen egy másodlagos, közvetítő közeg használata is. Ilyen esetekben a tároló és közvetítő közeg energiatartalmát együttesen kell figyelembe venni. Ezeket a rendszereket kettős tárolású rendszereknek nevezzük.

Az érzékelhető hő tároló rendszerek általában épületek hűtési, fűtési, valamint használati melegvíz előállító rendszereiben alkalmazottak.

#### 3.1.4. A látens hő tárolása

Abban az esetben, ha egy anyag a hőtárolás során halmazállapotváltáson megy keresztül, akkor a hő látens hőként kerül tárolásra. A szilárd-folyékony halmazállapotváltás során, kvázi-izotermikus körülmények állnak elő és tömegegységre vonatkoztatva nagy energiasűrűség érhető el velük. Speciális esetekben, ahol fontos egy bizonyos hőmérséklet

tartomány megtartása, ott megfelelő méretezéssel és anyagválasztással elérhető az állandó hőmérséklet megtartása. Ez az állandó hőmérsékletű energia felszabadulás vagy elnyelés a legfontosabb különbség a fázisváltási hő tárolására, valamint érzékelhető hő tárolására kialakított rendszerek között (3. ábra)



3. ábra Az érzékelhető és a fázisváltási hő tároló rendszerek hőmérsékleti viszonyai.

Forrás: Saját szerkesztés

Egy adott hőmérsékleti tartományban fázisváltó anyaggal tárolható hő számítása a következő összefüggéssel határozható meg:

$$Q_{fáz.} = \int_{T_1}^{T_{fv}} m \cdot c_{szil.} \cdot dT + \Delta H_{fv} + \int_{T_{fv}}^{T_2} m \cdot c_{foly.} \cdot dT \quad (2)$$

ahol:  $m$  - a tárolóközeg tömege [kg],

$c_{szil.}$  - a szilárd tárolóközeg fajhője [kJ/kgK],

$c_{foly.}$  - a folyékony tárolóközeg fajhője [kJ/kgK],

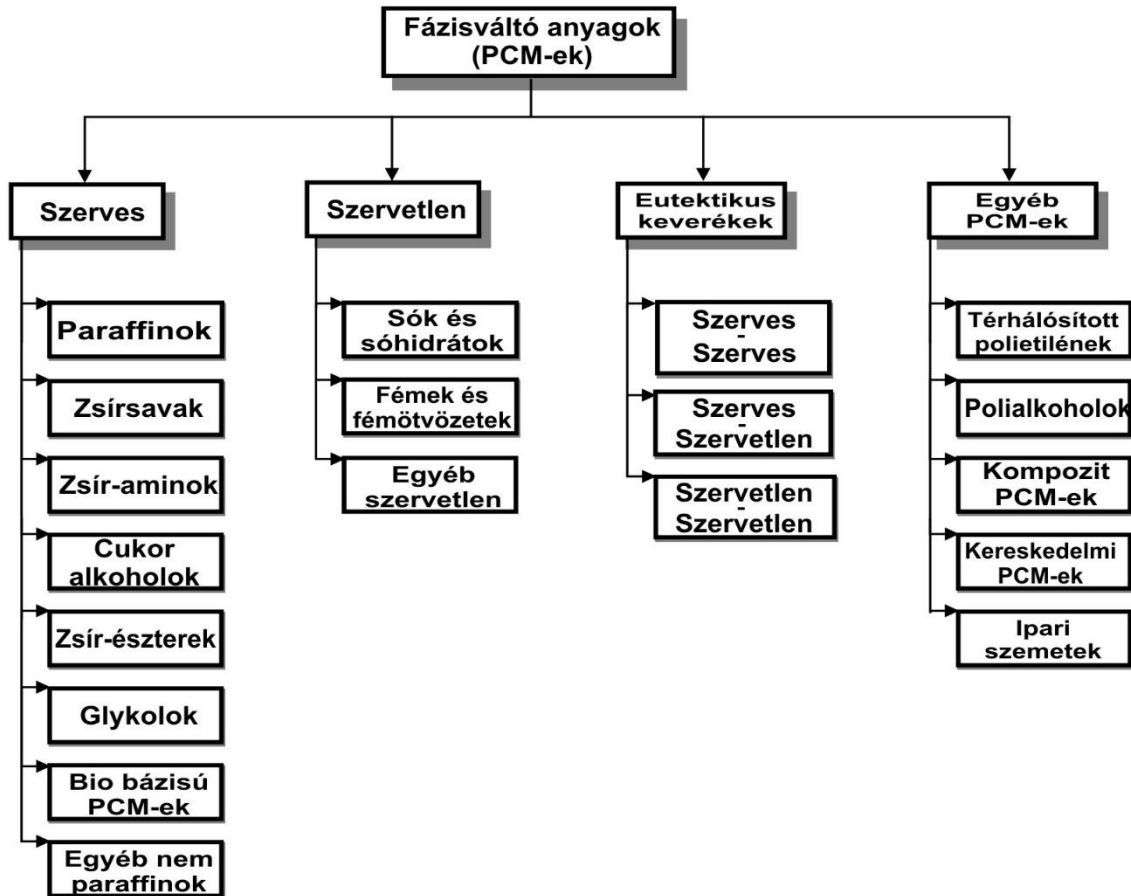
$T_{fv}$  - a tárolóközeg fázisváltási hőmérséklete [K],

$\Delta H_{fv}$  - a tárolóközeg látens hője [kJ].

### 3.1.5. A fázisváltó anyagok csoportosítása

A fázisváltó anyagokat általában két nagy csoportra szokás osztani: szerves- és szervetlen anyagok. A szervetlen vegyületek előnye, hogy térfogati látens hőtároló kapacitásuk nagyjából duplája a szerves vegyületekéhez képest. Viszont a szerves anyagok fontos hőtároló

közegként szolgálnak, mivel természetes tulajdonságaik sok esetben előnyökkel járnak, ilyen tulajdonság például: nem mérgezőek, nem korrozívak, környezetbarát anyagok. Az alkánok és a paraffin is ezek közé tartoznak. A 4. ábrán a PCM-ek csoportosítása látható.



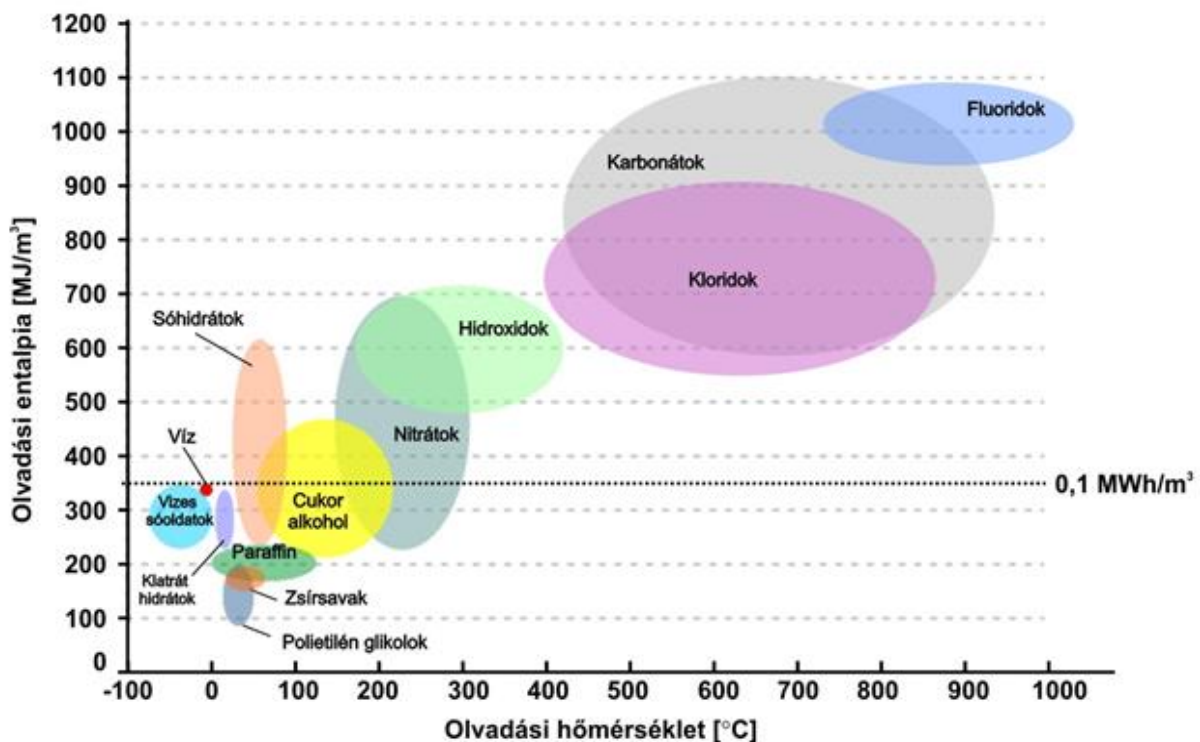
4. ábra A fázisváltó anyagok csoportosítása  
 Forrás: Saját szerkesztés

Az 5. ábrán az egyes fázisváltó anyagcsoportok fázisváltási entalpiája és hőmérséklet jellemzői láthatóak. A leggyakrabban használt PCM a víz, amelyet már régóta használnak hűtőtárolásra. Eltérő hőmérsékleti tartományokban más-más fázisváltó anyagokat használnak. Például:

- 0 °C alatt vizes sóoldatok,
- 0-130 °C között paraffinok, sóhidrátok, zsírsavak, cukoralkoholok,
- 130 °C felett sók és egyéb szervetlen anyagok.

A látens hőtárolásban alkalmazott anyag kiválasztása nem könnyű, mivel számos szempontnak kell megfelelnie. Ezek közül általában a legfontosabb az anyag beszerezhetősége

és költsége. Ezen túl fontosak lehetnek még az anyag fizikai és kémiai tulajdonságai (például: a korróziós hatás, a hosszú távú stabilitás, a hővezető képesség).



5. ábra Fázisváltó anyagok az olvadási hőmérséklet és olvadási entalpia szerint

Forrás: Saját szerkesztés

A fázisváltó anyagokat nagy látens hő és magas hővezető képesség kell jellemezze, de a legfontosabb paraméter az anyagok olvadási/megszilárdulási hőmérséklete, amelynek az alkalmazott működési tartományba kell esnie. A 2. és 3. táblázat a szerves és szervetlen PCM-ek összehasonlítását tartalmazzák. [Zalba et al., 2003; Mehling és Cabeza, 2008; Rathod és Banerjee, 2013].

2. táblázat Szerves és szervetlen hőtároló PCM-ek alkalmazásának előnyei és hátrányai

[Zalba et al., 2003; Mehling és Cabeza, 2008]

	Szerves	Szervetlen
Előnyök	Nem korrozív Alacsony aláhűlés (vagy nincs) kémiai stabilitás	Nagyobb fázisváltási entalpia
Hátrányok	Alacsonyabb fázisváltási entalpia Alacsony hővezető képesség Gyúlékonyság	Aláhűlés Korrozív Fázisszétválás jelensége Fáziselkülönülés, termikus stabilitás hiánya

3. táblázat Szerves és szervetlen hőtároló PCM-ek összehasonlítása  
 [Rathod és Banerjee, 2013]

	Szerves		Szárvetlen	
	Paraffinok	Zsírsvak	Sóhidrátok	Fémek
Képlet	$C_nH_{2n+2}$ (n=12-38)	$CH_3(CH_2)_nCOOH$	$AB \cdot nH_2O$	-
Olvadáspont	-12 – 71 °C	7,8 – 187 °C	11 – 120 °C	30 – 96 °C
Olvadási entalpia	190 – 260 kJ/kg	130 – 250 kJ/kg	100 – 200 kJ/kg	25 – 90 kJ/kg
Költség	Drága	2-3-szor drágább a paraffinnál	Olcsó	Mérsékeltlen drága

Kenisarin és Mahkamov (2007) szerint a hatékony látens hőtároláshoz a következő PCM-tulajdonságok szükségesek:

- Az egységnyi térfogatra és tömegre vetített olvadási hő és fajhő magas értéke,
- Az alkalmazásnak megfelelő olvadáspont,
- Alacsony gőznyomás (<1 bar) üzemi hőmérsékleten,
- Kémiai stabilitás és korróziómentesség,
- Nem veszélyes, erősen gyúlékony vagy mérgező,
- Reprodukálható kristályosodás lebomlás nélkül,
- Kis túlhűlési fok és magas kristálynövekedési sebesség,
- Kis térfogatváltozás a megszilárdulás során,
- Magas hővezető képesség,
- Egyszerű beszerezhetőség (akár nagyobb mennyiségben is).

Az iparban leggyakrabban használt PCM a paraffin. A paraffinok olyan alkánok, amelyek fázisváltási hőmérséklete széles tartományú. Hátrányuk, hogy hővezető képességük alacsony így csak bizonyos esetekben használhatóak megfelelő hatékonysággal. A kereskedelemben elérhető paraffinviaszok olcsók, jó hőtárolósűrűséggel ( $\sim 200$  kJ/kg vagy  $\sim 150$  MJ/m<sup>3</sup>) és széles olvadási hőmérséklettel rendelkeznek. Kémiaileg semlegesek és stabilak, azonban hővezető képességük alacsonyabb a szerves anyagokhoz képest ( $\sim 0,2$  W/mK), ami korlátozza alkalmazásukat.

A sóhidrátok remekül használhatók a hőtárolására, mivel nagy a térfogati hőtárolási sűrűségük ( $\sim 350$  MJ/m<sup>3</sup>), a szerves anyagokhoz képest magas a hővezető képességük ( $\sim 0,5$  W/mK), és a paraffinviaszokhoz viszonyítva mérsékeltek a költségeik. A sóhidrátok alkalmazhatóságát korlátozza, hogy kémiaileg instabilak magasabb hőmérsékleten lebomlanak, és minden fűtési ciklusban elveszítik víztartalmuk egy részét. Ezen túl egyes sók maró hatásúak a szerkezeti anyagokkal szemben és alacsony hővezető képességgel rendelkeznek.

Cabeza et al. (2011) szerint a hőtároló rendszer tervezésénél használandó PCM-nek a következő termofizikai, kinetikai, kémiai és gazdaságossági jellemzőkkel kell rendelkeznie:

### 1. Termofizikai tulajdonságok

- a. Olvadási hőmérséklet a kívánt üzemi hőmérséklet-tartományban: a hő tárolásának és kivonásának biztosítása egy rögzített hőmérséklet-tartományú alkalmazásban,
- b. Magas látens hő egységnyi térfogatra: nagy tárolási sűrűség elérése az érzékelhető hőn alapuló tároláshoz képest,
- c. Magas fajhő a további jelentős mértékű érzékelhető hőtároláshoz,
- d. Mind a szilárd, mind a folyékony fázis magas hővezető képessége a tárolórendszer töltésének és kisütésének elősegítése érdekében,
- e. Kis térfogatváltozás a fázisátalakuláskor és kicsi gőznyomás üzemi hőmérsékleten, a tárolási problémák csökkentésének érdekében,
- f. A PCM egybeolvadása az anyag állandó tárolókapacitása érdekében minden fagyasztási / olvasztási ciklusnál,
- g. Reprodukálható fázisváltozás: a tároló anyag sokszoros felhasználása (más néven ciklus stabilitás).



## 2. Kinetikai tulajdonságok – magképződés és kristálynövekedés

a. Magas gócképződési sebesség a folyadékfázis túlhűlésének elkerülése érdekében, valamint annak biztosítása, hogy az olvadás és a megszilárdulás ugyanazon a hőmérsékleten menjen végbe,

b. Magas kristálynövekedési sebesség, amellyel a rendszer képes kielégíteni a tárolórendszer hővisszanyerésének igényét.

## 3. Kémiai tulajdonságok

a. Teljes mértékben visszafordítható fagyasztási/olvadási ciklus,

b. Nincs lebomlás nagyszámú fagyasztási/olvadási ciklus után,

c. Nincs korrozív hatása a rendszer szerkezeti elemeire,

d. A környezetvédelmi és biztonsági szempontokat figyelembe véve nem mérgező, nem gyúlékony és nem robbanásveszélyes.

## 4. Gazdaságossági tulajdonságok

a. Nagyobb mennyiségben beszerezhető,

b. Könnyen beszerezhető,

c. Költséghatékony: versenyképes a többi hő- és hidegtárolási lehetőséggel.

### 3.1.6. Termokémiai hőtárolás

Bármilyen nagy reakcióhővel rendelkező kémiai reakció alkalmazható a TES-hez, ha a reakció termékei tárolhatók és ha a reakció során tárolt hő felszabadul, amikor a fordított reakció végbemegy [Mehling és Cabeza, 2008]. A különböző tárolási módokkal elért energiatárolási sűrűségek összehasonlítását a 4. táblázat mutatja.

A kémiai változások energiasűrűsége nagyobb, mint a fizikai változásoké. A kémiai energiaátalakítás legnagyobb előnye a hatékony energiatárolási teljesítmény, ami kifejezetten jól használható a hőenergia tárolása során. A kémiai tárolás kis veszteséggel képes hőenergiát tárolni, de minden esetben fontos az adott energiaforrás hőmérsékleti tartományához illeszteni a megfelelő reverzibilis kémiai reakciót.

4. táblázat A különböző hőtároló rendszerek tárolási sűrűségének összehasonlítása

A hőtárolási technológia típusa	Anyag	Tárolt energia (MJ/m <sup>3</sup> )	Tárolt energia (kJ/kg)	Megjegyzés
Érezhető hő	Gránit	50	17	$\Delta t = 20\text{ °C}$
	Víz	84	84	$\Delta t = 20\text{ °C}$
Látens hő	Víz	306	330	$t_{olv.} = 0\text{ °C}$
	Paraffinok	180	200	$t_{olv.} = 5 - 130\text{ °C}$
	Sóhidrátok	300	200	$t_{olv.} = 5 - 130\text{ °C}$
	Sók	600-1 500	300-700	$t_{olv.} = 300 - 800\text{ °C}$
Kémiai reakciók	H <sub>2</sub> gáz (oxidáció)	11	120 000	300 K, 1 bar
	H <sub>2</sub> gáz (oxidáció)	2130	120 000	300 K, 200 bar
	H <sub>2</sub> folyékony (oxidáció)	8 400	120 000	20 K, 1 bar
	Fosszilis gáz	32		300 K, 1 bar
	Benzin	33 000	43 000	
Villamos	Zn/Mn oxid akkumulátorok		180	
	Pb akkumulátor		70-80	

### 3.2. Hőátadás alapvetései

Hőátadás esetén három alapesetről beszélhetünk, melyek: hővezetés, hőszállítás, hősugárzás.

#### 3.2.1. Hővezetés (kondukción)

Hővezetés során a testen belüli nagyobb energiával rendelkező részecskék a szomszédos, de kisebb energiával rendelkező részecskéknek átadják energiájukat. Ezen folyamat során a részecskék elmozdulása nem számottevő, valamint rendezetlen. A folyamat addig folytatódik amíg a hőfokkülönbség ki nem egyenlítődik. Jó példa erre az egyik végén melegített fém rúd melynek a másik vége is felmelegszik [Beke, 2014] [Bihari, 2012].

5. táblázat Anyagok hővezetési tényezői

Anyag	Hővezetési tényező: $\alpha$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
<b>Fémek</b>	
Alumínium	210
Sárgaréz	85
Réz	386
Arany	293
Vas	73
Ólom	35
Platina	70
Ezüst	406
Acél	~ 46
<b>Folyadékok</b>	
Aceton	0,20
Benzol	0,16
Etilalkohol	0,17
Higany	8,7
Motorolaj	0,15
Vazelin	0,18
Víz	0,58
<b>Gázok</b>	
Levegő	0,026
Széndioxid	0,017
Nitrogén	0,026
Oxigén	0,027

Anyag	Hővezetési tényező: $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
<b>Egyéb szilárd anyagok</b>	
Azbeszt	0,16
Tégla	0,63
Kartonpapír	0,21
Cement	0,30
Pehely toll	0,02
Földkéreg	1,7
Gyapjú nemez	0,036
Üveg	0,8
Üvegszál	0,04
Gránit	2,1
Jég	2,2
Lenvászon	0,088
Papír	0,13
Puha gumi	0,14
Száraz homok	0,39
Selyem	0,04
Tömör hó	0,21
Száraz talaj	0,14
Fa	0,13

Hővezetés során beszélhetünk: egyrétegű síkfal, többrétegű síkfal, valamint hengeraláston lejátszódó folyamatokról.

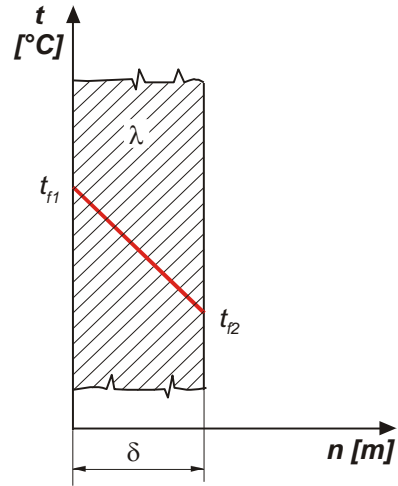
### Egyrétegű síkfal

Egyrétegű síkfal esetén a hővezetési egyenlet:

$$Q = \lambda \cdot \frac{t_{f_2} - t_{f_1}}{\delta} \cdot A \cdot \tau \quad (3)$$

Ahol:

- Q - a hőmennyiség dimenziója [kJ],
- $\lambda$  – hővezetési tényező [W/mK],
- t - a hőmérséklet [°C],
- $\delta$  - a rétegvastagság [m],
- A - a felület [m<sup>2</sup>],
- $\tau$  - az idő [h],

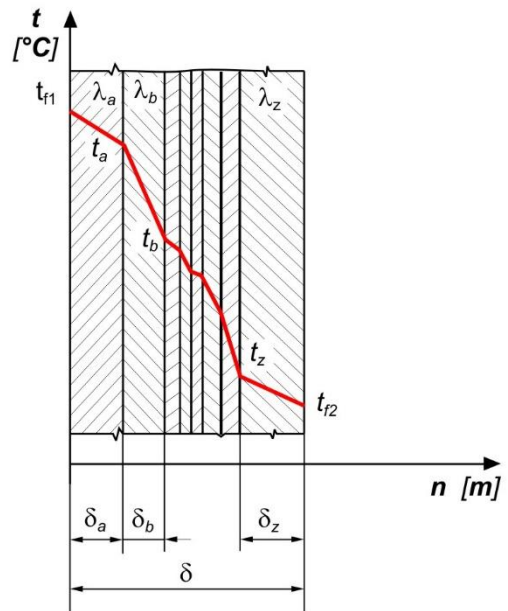


6. ábra Az egyrétegű síkfal hővezetési modellje  
Forrás: [Beke, 2014]

### Többrétegű síkfal

Többrétegű síkfal eseté a hővezetési egyenlet:

$$Q = \frac{t_{f_2} - t_{f_1}}{\sum_{i=1}^z \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \cdot A \cdot \tau \quad (4)$$

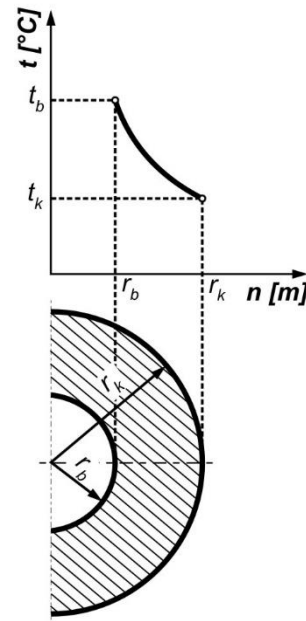


7. ábra A többrétegű síkfal hővezetési  
Forrás: [Beke 2014]

## Hengeres fal

Hengeres fal hővezetési egyenlete:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot \lambda \cdot \tau \cdot (t_b - t_k)}{\ln \frac{r_k}{r_b}} \quad (5)$$



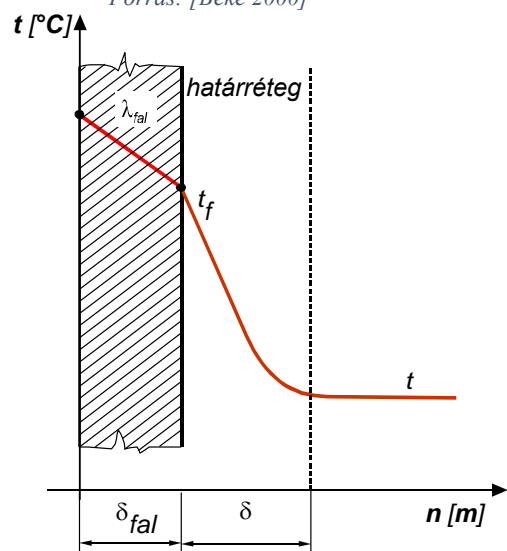
8. ábra Hengeres fal hővezetési modellje

Forrás: [Beke 2000]

### 3.2.2. Hőszállítás (konvekció)

Hőszállítás során a hőközlés valamely szilárd fal és fluidum között lép fel olyan módon, hogy a hőt a fluidum részecskéi szállítják a tér egyik részéről a másikba. A folyamat a hőmérsékletkülönbségből következő sűrűségkülönbség következtében vagy mesterségesen előállított áramlással jön létre. [Beke, 2014] [Bihari, 2012]

A konvekciós hőátadási tényező meghatározása számítással bonyolult, így általában korábbi mérések eredményei alapján kerül felhasználásra a számítások során.



9. ábra: Konvektív hőátadás modellje

Forrás: [Beke 2014]

6. táblázat: Konvekciós hőátadási tényezők általános értékei

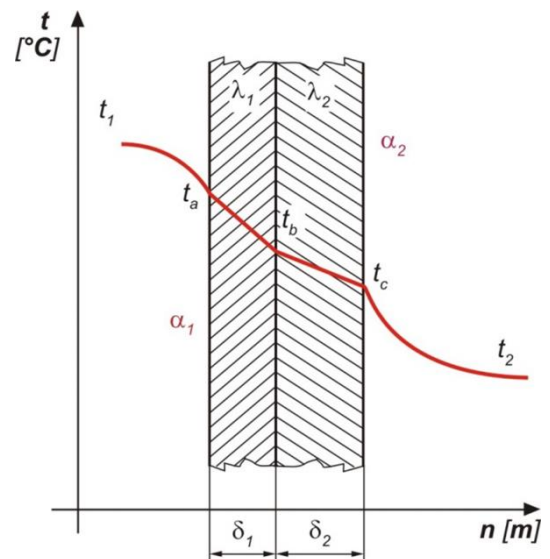
Folyamat és a közeg megnevezése	$\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K)
Gáz természetes konvekció esetén Gáz csövekben áramoltatva	6–35 10–350
Víz természetes konvekció esetén Víz csövekben áramoltatva	110–1 100 600–12 000
Forrásban levő víz Hártyás kondenzáció Cseppkondenzáció	2 500–45 000 4 000–15 000 30 000–120 000

### 3.2.3. Hősugárzás (radiáció)

Hősugárzás során a keletkezés helyéről elektromágneses sugárzás formájában jut a hő a felületre. A besugárzott felületen teljesen vagy részben hővé alakul. A folyamat eltér a hővezetéstől és hőszállítástól, mivel folyamatos energiaátalakulás révén (hő-elektromágneses sugárzás- hő) valósul meg. Szobahőmérsékletű tárgyak esetén többségében elhanyagolható mértékű. [Beke, 2014] [Bihari, 2012]

### 3.2.4. Összetett hőátvitel

Az összetett hőátvitel olyan folyamat, amely során az előzőekben ismertetett klasszikus folyamatok valamely kombinációjából épül fel. A hőátadás két rendszer (fluidum) között jön létre egy elválasztófalon keresztül. Ebben az esetben a fal a transzportfolyamat eszköze.



10. ábra Összetett hőátvitel modellje

Forrás: [Beke 2014]

Ekkor a falon átáramló hőmennyiség:

$$Q = \frac{A \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (6)$$

Ebből kifejezhető a  $\kappa$  hőátvezetési tényező általános esetre:

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (7)$$

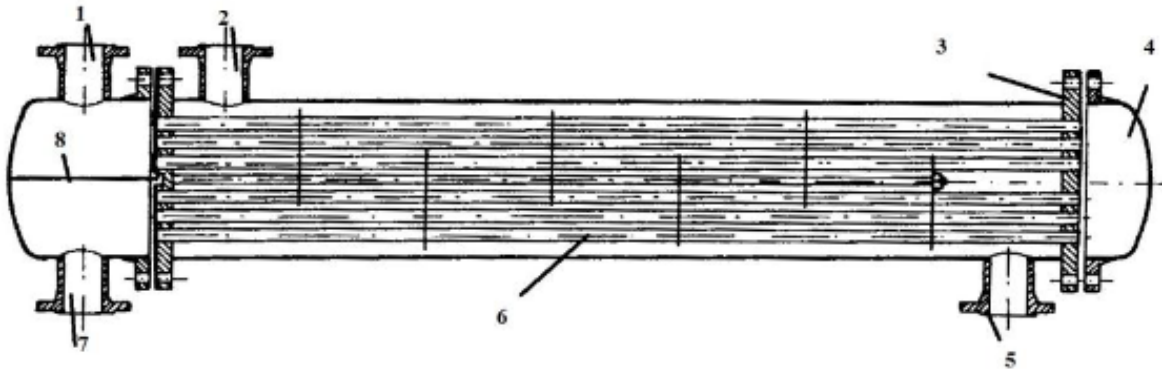
Így

$$Q = \kappa \cdot A \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2) \quad (8)$$

[Beke 2014]

### 3.3. Csőköteg hőcserélők kialakítási szabályai

A csőköteges hőcserélők kialakításuknál fogva lehetővé teszik, hogy ugyanakkora csőhossz esetén, mint a cső a csőben típusú hőcserélőknél, jelentősen nagyobb fajlagos felületet érjünk el. A csőköteges hőcserélő (11. ábra) főbb elemei a következők:



**Merev csőköteges hőcserélő:**

**1, 7- meleg közeg csomkj a, 2,5 hideg közeg csomkj a, 3- csőköteg fal, 4-for duló kamra, 6- csőköteg, 8 elválasztó lem ez.**

*11. ábra Merev csőköteges hőcserélő*

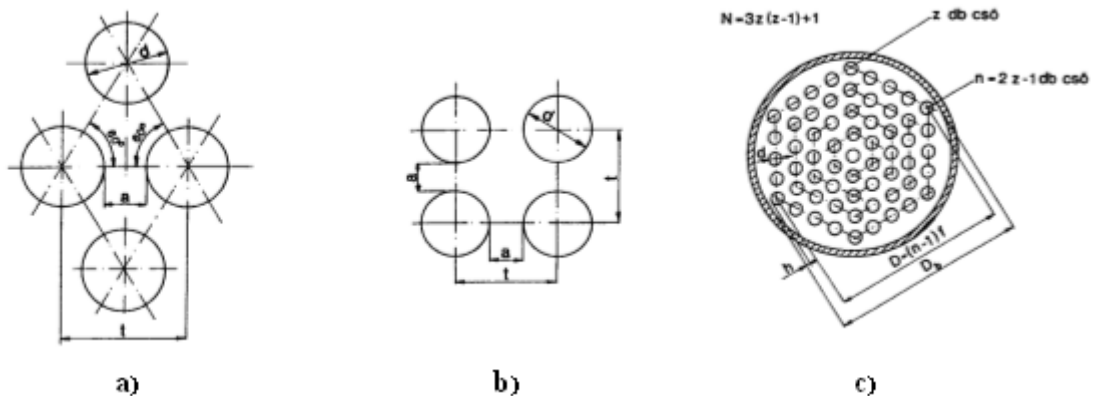
*Forrás: [Fonyó, Fábry 2004]*

Kivitelezés szempontjából a csőkötegek lehetnek:

- merev;
- úszófejes;
- U- csöves- hajtúcsöves.

Elhelyezésük szempontjából a csőköteges hőcserélő lehet vízszintes, függőleges vagy dőlt. A vízszintes elhelyezés általában kerülendő a kis átmérőjű és könnyen behajló csövek esetén. Illetve kötelező, ha a hőcsere során fellép kondenzáció, ugyanis ezzel kiküszöbölhető a lecsurgó felületi hártya kialakulása és annak hőátbocsátási tényezője.

Ha a hideg és melegoldali közeg is folyadék, akkor akár álló vagy fekvő kialakítás is alkalmazható, ilyen esetekben a telepítésükre fennálló hely szabja meg a pozíciójukat. A hőcserében részt vevő csövek megszabott elosztásban, tömören illeszkednek a csőfalban. A csövek rögzítése lehet hegesztett, sajtolt vagy a kettő kombinációja. Elosztásuk lehet háromszöges, négyzetes vagy hexagonális kiosztás (12. ábra).



12. ábra Csőelrendezések: a - háromszög, b - négyszög, c- hatszög  
 Forrás: [Fonyó, Fábry 2004]

A csövek elrendezését úgy kell kialakítani, hogy minimalizálja a köteg elkerülésének lehetőségét. A sajtolással előállított hőcserélőt csak 80 bar nyomásig alkalmazzák, más megoldással rögzített csövek esetén a nyomás határt maga a cső határozza meg. A sajtolási hossz körülbelül 50 mm és nem nyúlhat túl a csőköteg fal köpenyoldali homloklapján. A csövek közötti teret egy külső köpenylemezzel zárják le, ezzel alakítva ki a köpenyteret. A köpenytérhez csatlakozik a két kamra, a beömlő és kiömlő. Az ilyen kialakítású hőcserélőket egyjáratúnak nevezzük. Ezeknek a legkisebb a hidraulikus ellenállása.

Az ilyen kialakítású hőcserélőkben a csövek hossza korlátozott így kézenfekvő megoldás a hasznos felület növelésére a járatok számának növelése. Ezt úgy valósítják meg, hogy a csőköteget több párhuzamos csoportra osztják. Ilyen esetekben a kiömlő és beömlő kamra mellett forduló kamrá(ka)t alakítanak ki. A járatok számát nem ajánlatos növelni, hisz a kamrákból való ki és beömlés jelentős helyi ellenállást jelent.

A csőköteges hőcserélő esetében a köpenytér áramlási keresztmetszete általában nagyobb, mint a csőtéri keresztmetszet. A megfelelő hőátvitel megvalósításához arra kell törekedni, hogy a két közeg minél nagyobb sebességgel áramoljon. A folyadék-folyadék hőcsere alkalmával célszerű a két térben áramló közeg sebességét közel azonosnak beállítani körülbelül 0,5 – 2,0 m/s közötti értékre.

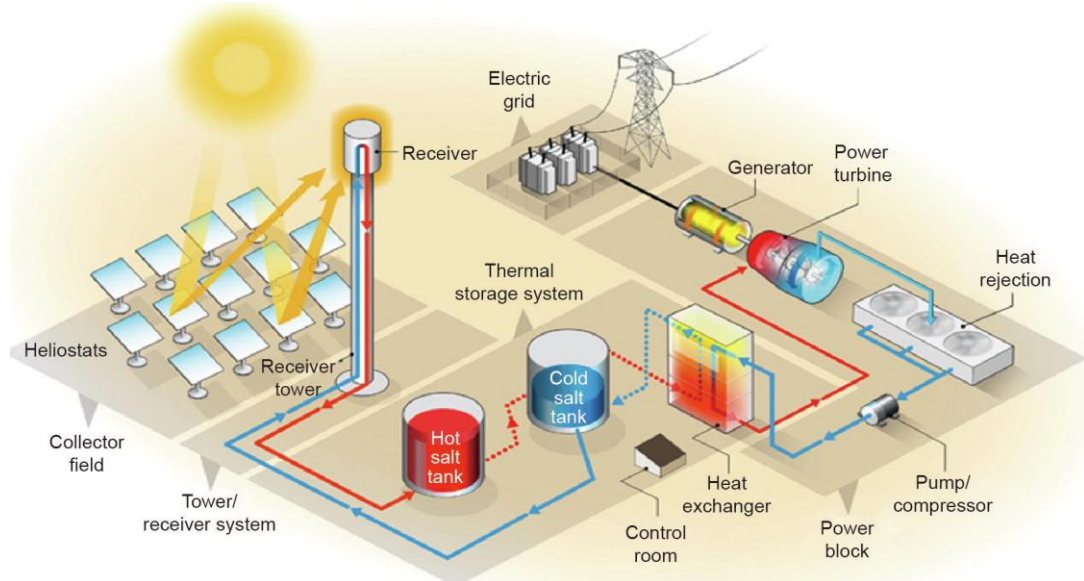


### 3.4. Már létező hőtároló megoldások

Az iparban több megoldás is létezik a hőtárolásra. Ezek főbb változati az alábbiak:

- Olvadt só technológia

Az olvadt sót koncentrált napenergia által gyűjtött hő tárolására használják (például napkollektorokból vagy napfókuszú toronyból). Az olvadt sót a nap összpontosított sugarai felhevítik, majd később szuperszaturált gőzzé alakítják, hogy hagyományos gőzturbinákat hajtson, és később elektromosságot generáljon. Működési hőmérséklete 130-800 °C közötti.



13. ábra Olvadt só TES vázlat

Forrás: [W. Ding, T. Bauer 2021]

- Forró szilícium technológia

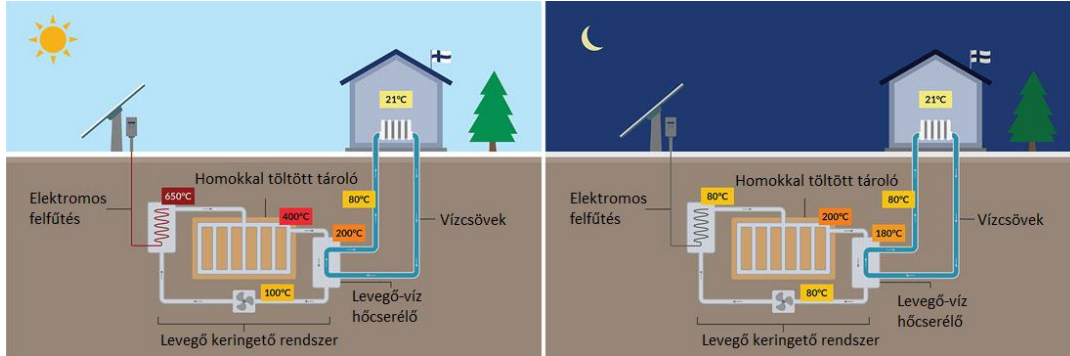
A szilícium szilárd vagy olvadt formában sokkal magasabb hőmérsékleteket kínál, mint a sók, így nagyobb tárolókapacitással és hatékonysággal rendelkezik. A szilícium több, mint 1 MWh energiát képes tárolni köbméterenként 1400 °C-on.

- Olvadt alumínium

Egy másik közeg, amely tárolhat hőenergiát, az olvadt (újrahasznosított) alumínium. Ezt a technológiát a svéd Azelio cég fejlesztette ki. Az anyagot 600 °C-ra melegítik. Amikor szükség van rá, az energia egy hőátadó folyadékon keresztül juttatható el a felhasználás célpontjáiig.

- Érzékelhető hő tárolása

A hőtárolás legegyszerűbb módja, mely esetében csak hőmérséklet változtatás történik. Remekül jellemzi költséghatékonyságuk és megbízhatóságuk az ilyen rendszereket. Működési hőmérsékletük széleskörű. Töltetük gyakran víz vagy homok.



14. ábra Homok töltetű TES

Forrás: Saját ábra

- Látens hő tárolás

A látens hőtárolás a fázisátalakuláshoz kapcsolódik, a hozzá kapcsolódó anyagok általában PCM néven ismertek. Ezek a rendszerek fázisátalakulások során hőt tudnak felvenni vagy kisugározni anélkül, hogy az anyag hőmérséklete megváltozna. Az egyik előnyük, hogy a tárolókapacitásuk általában magasabb, és lehetővé teszi célzott rendszertervezést.

## 4. Alkalmazott módszer

### 4.1. A rendszer peremfeltételei

A kísérleti rendszer megalkotása során egy elektromos meghajtásúvá átalakított személygépkocsi hőenergia szükségletét vettem figyelembe,  $dT=40\text{ °C}$  esetén ez az értéke 1,2 kW-nak adódott. A jármű városi használatra lett tervezve, így a fűtőegység működési ideje 45 percen lett meghatározva. Ezekből következik, hogy a tároló tervezett hőkapacitása 0,9 kWh. Ezek mellett az egység maximális hőmérséklete  $150\text{ °C}$ -ban minimális hőmérséklete pedig  $-20\text{ °C}$ -ban lett meghatározva.

### 4.2. Anyagválasztás

Az anyagválasztás során négy felhasználási célra szükséges a megfelelő anyagok meghatározása, melyek a következők:

- Hőtárolás,
- Hőszállítás,
- Hőszigetelés,
- Szerkezeti kialakítás

#### 4.2.1. Hőtárolásra alkalmas anyagok meghatározása

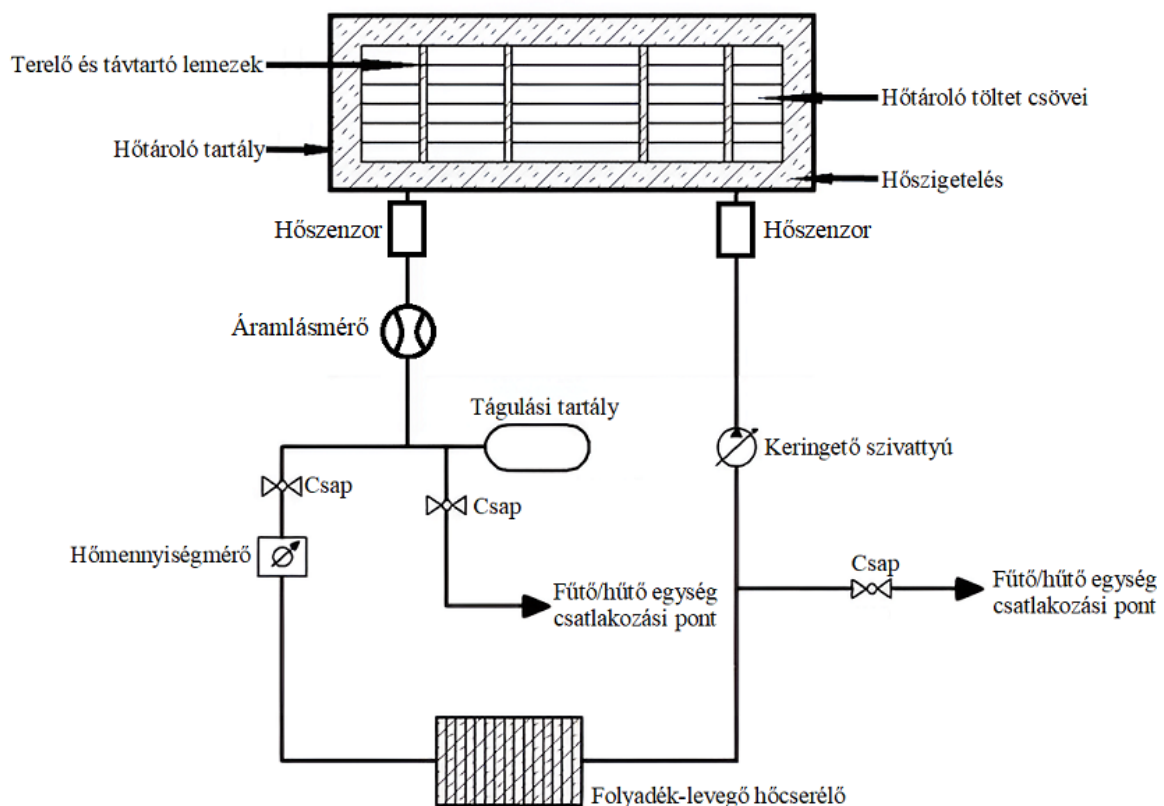
Hőtárolási célra jó hőkapacitással rendelkező anyagok választása célszerű. Mint az a szakirodalmakból kiderült ez elérhető fázisváltással vagy anélkül is. Az anyagok kiválasztása során figyelembe kellett vennem a meghatározott maximális és minimális hőmérsékleteket.

Az autóiparban, illetve hasonló projekteken használt anyagokat, valamint a meghatározott elvárásokat figyelembe véve a következő anyagokra esett a választásom:

- Ioncserélt víz,
- Etilénglikol vizes oldata,
- Kalcium-klorid vizes oldata,
- Paraffin,
- RT5HC,
- RT70HC.

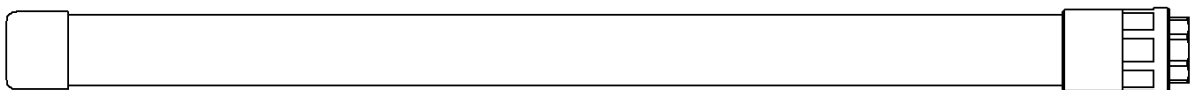
A felsorolt anyagok fizikai jellemzői ígéretesek, viszont egyes anyagok (RT5HC és RT70HC) beszerzése akadályokba ütközött.

A továbbiakban egy mérőkört készítettem az egyes hőtároló anyagok vizsgálatára, melynek az elvi rajza a következő 15. ábrán látható:



15. ábra Mérőkör elvi rajza  
Forrás: Saját ábra

A mérőkör fő eleme, a tartály rozsdamentes acélból készült. Benne hatvan darab rézből készült töltet tároló cső került elhelyezésre, melyekbe az egyes hőtárolásra alkalmas anyagok kerültek betöltésre. A csövek közötti megfelelő hézag megtartásáról az általam tervezett 3D nyomtatott távtartó és terelő lemezek gondoskodtak.



16. ábra Töltet tároló cső rajza  
Forrás: Saját ábra

Adatrögzítés céljára két hőszenzor és egy térfogatárammérő került beszerelésre a rendszerbe. Az adatok rögzítése egy Arduino Mega mikrokontroller felhasználásával került megvalósításra. A mért adatok hitelesítésére a rendszerbe beszerelésre került egy hőmennyiségmérő is, amely alkalmas pillanatnyi fűtőteljesítmény, térfogatáram meghatározására.

A mérőkör főbb elemei az alábbi fotókon láthatóak (17-23. ábrák):



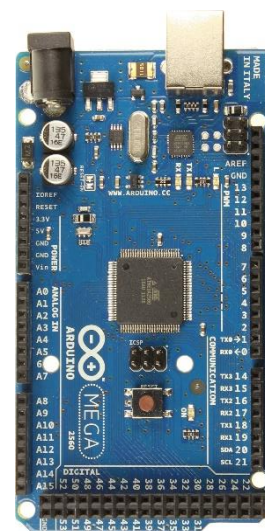
17. ábra Grundfos Alpha Solar 15-75 130 szivattyú

Forrás: Saját fotó



18. ábra Siemens SWN 615 hőmennyiségmérő

Forrás: Saját fotó



19. ábra Arduino Mega mikrokontroller



20. ábra DS18B20 Digitális hőszenzor

Forrás: [https://www.hestore.hu/prod\\_10035575.html](https://www.hestore.hu/prod_10035575.html)



21. ábra Áramlás szenzor

Forrás: [https://www.hestore.hu/prod\\_10036440.html](https://www.hestore.hu/prod_10036440.html)



22. ábra Folyadék - levegő hőcserélő

Forrás: Saját fotó



23. ábra A hőtároló tartály a töltet tároló csövekkel terelőlemezekkel

Forrás: Saját fotó

A mérés menete:

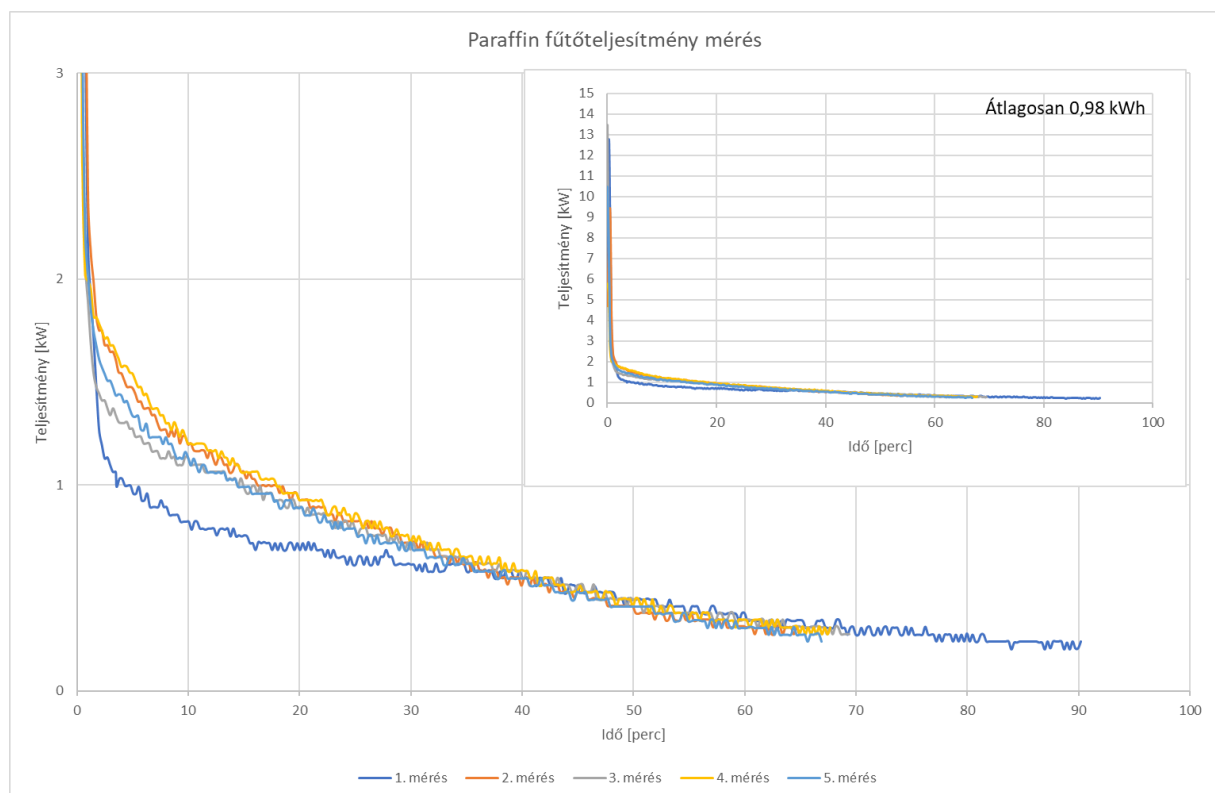
A mérés megkezdése előtt a töltet tároló csöveket előre meghatározott mennyiségű hőtároló anyaggal feltöltöttem, ezután lezártam. A csöveket az előre elkészített távtartó-terelő lemezekbe helyeztem, majd az így elkészült egységet a tartályba helyeztem. A rendszert hőszállító folyadék gyanánt feltöltöttem vízzel, ezt követően az egész rendszert lezártam.

A csapokat átállítottam, hogy a fűtőegység és a tartály között történhessen csak folyadékcsere. Elindítottam a szivattyút, majd bekapcsoltam a fűtést. A felfűtés a 75°C-os hőmérséklet eléréséig folytatódott, ezután 5 percig hőntartás következett.

A mérés megkezdéséhez leállítottam a felfűtést és a szivattyút, átállítottam a csapokat, hogy csak a hőcserélő felé áramolhasson a folyadék, majd elindítottam sorban az adatrögzítést és a szivattyút.

A mérés addig folytatódott, amíg a hőcserélő ki- és belépő ági hőmérsékletének különbsége el nem érte az 1°C-os különbséget. Ezalatt 15 másodpercenkénti mintavételezéssel kerültek rögzítésre az adatok.

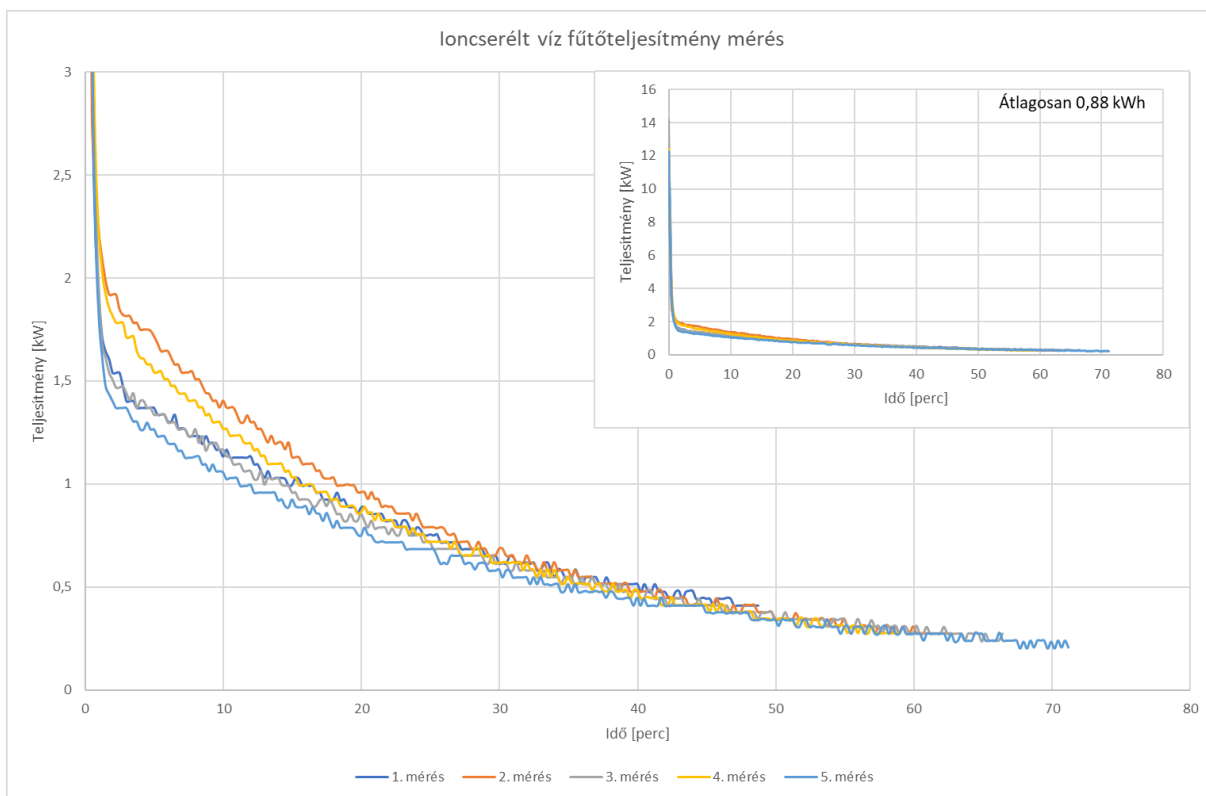
A mérések eredményei a következő ábrákon láthatóak (24-27. ábrák):



24. ábra Paraffin töltetű fűtőteljesítmény mérés

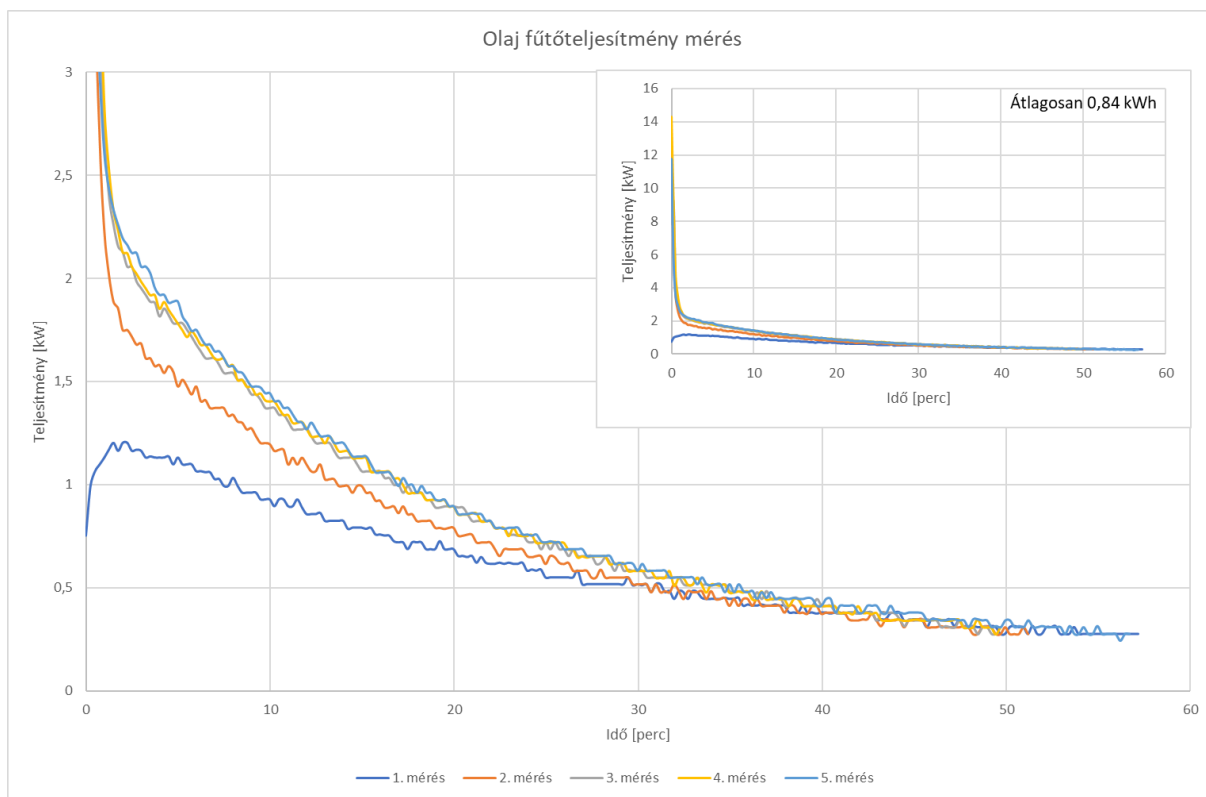
Forrás: Saját ábra





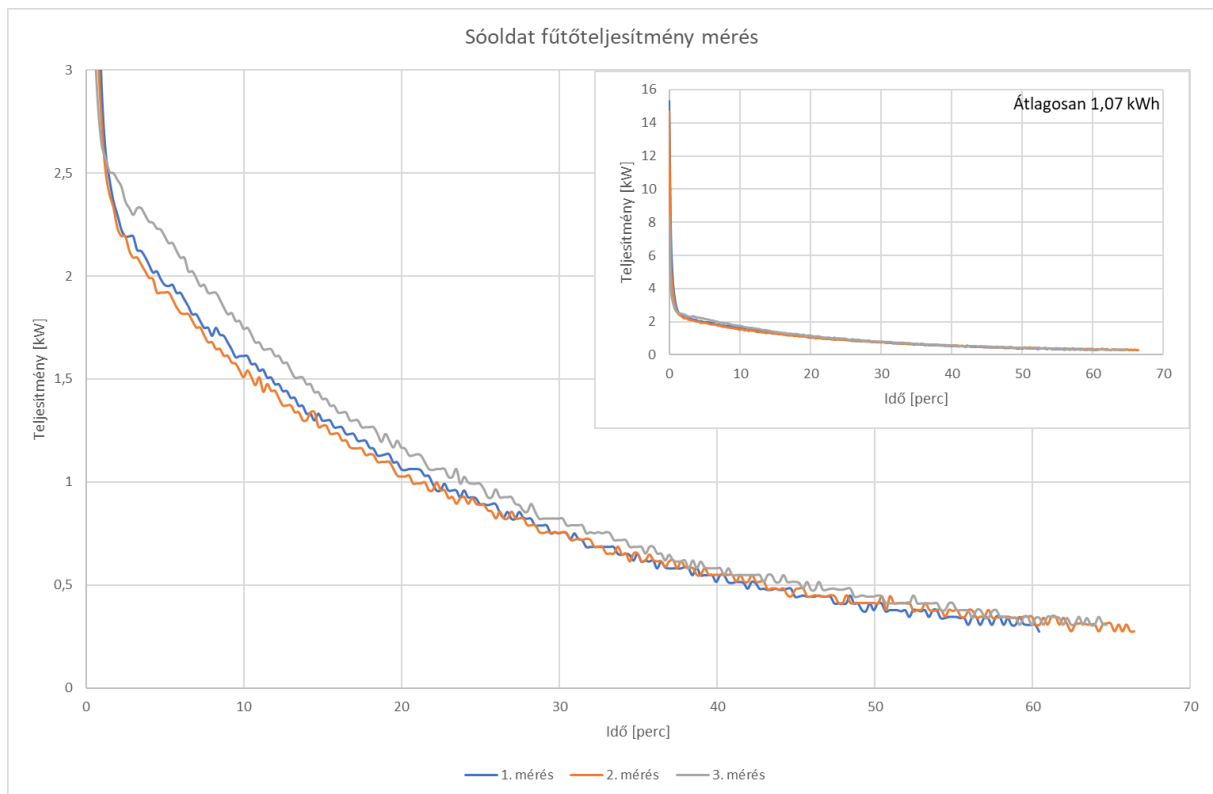
25. ábra loncserélt víz töltetű fűtőteljesítmény mérés

Forrás: Saját ábra



26. ábra Olaj töltetű fűtőteljesítmény mérés

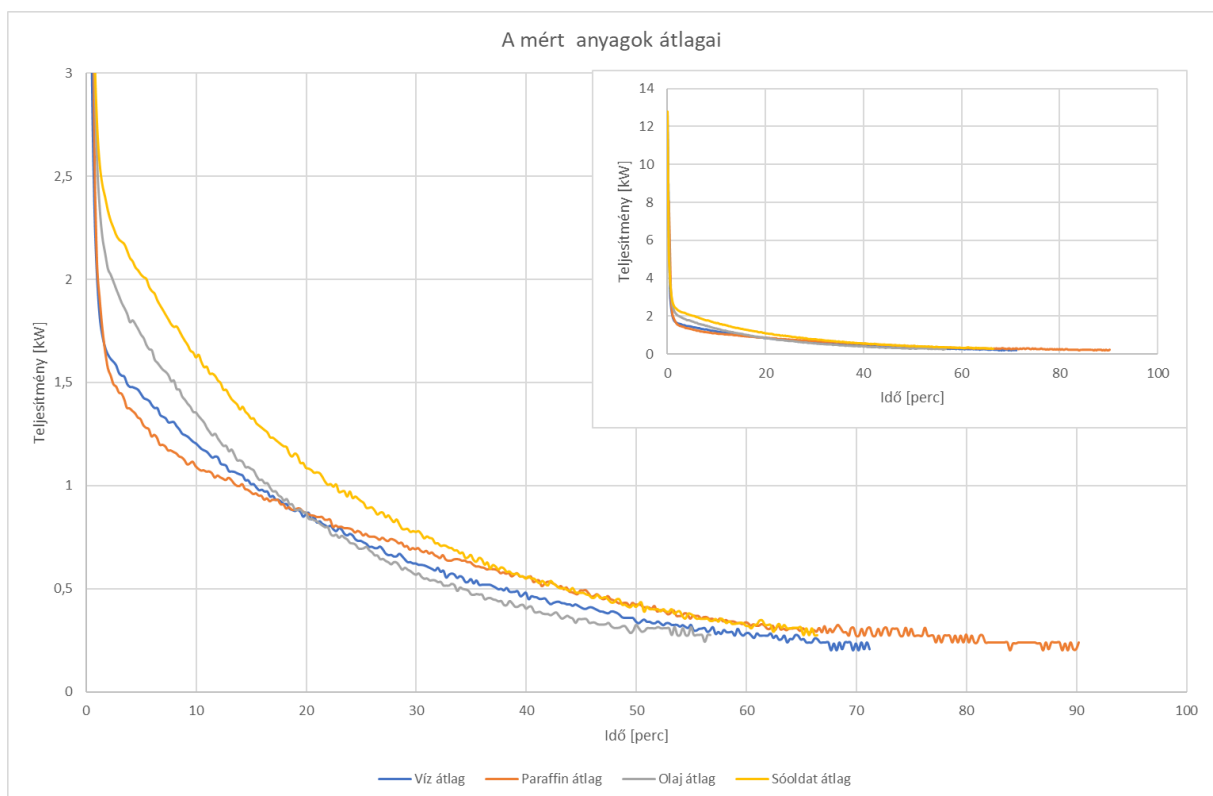
Forrás: Saját ábra



27. ábra Sóoldat töltetű fűtőteltjesítmény mérés

Forrás: Saját ábra

A könnyebb összehasonlítás érdekében az átlagokat egy külön diagramban ábrázoltam (28. ábra):



28. ábra Az elvégzett mérések átlagai anyagonként

Forrás: Saját ábra



A pillanatnyi fűtőteljesítményértékek számítása a következő egyenlettel történt:

$$\frac{c_{hsz} \cdot Q \cdot \rho \cdot \Delta T}{3600} = P_{fűtő} [kW] \quad (9)$$

Ahol:

$c_{hsz}$  – a hőszállító közeg fajhője [kJ/kgK],

$Q$  – a térfogatáram [m<sup>3</sup>/h],

$\rho$  – a hőszállító közeg sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>],

$\Delta T$  – a hőszállító közeg ki- és belépő ági hőmérsékletének különbsége [K],

$P_{fűtő}$  – a pillanatnyi fűtőteljesítmény [kW].

A mérések során a környezeti hőmérséklet közel állandó,  $26 \pm 1,5^\circ\text{C}$  a relatív páratartalom pedig  $48 \pm 5\%$  volt.

#### 4.2.2. Hőszállításra alkalmas anyagok

Az egység kialakítása során fontos meghatározni a megfelelő hőszállító közeget. A választott fluidum az alábbi tulajdonságokkal kell rendelkezzen:

- Magas hővezetőképesség  
Az optimális hőszállító közeg kiemelkedő hővezetési tulajdonságokkal rendelkezik, amelyek lehetővé teszi a hatékony hőátadást a rendszerben.
- Jó hőtároló kapacitás  
A kiválasztott hőszállító közeg képes hatékonyan tárolni és átadni a hőt a rendszerben, ami nélkülözhetetlen a stabil és folyamatos hőátadáshoz.
- Alacsony viszkozitás  
Az alacsony viszkozitás segít a közeg könnyű áramlásában, így minimalizálva a hőcserélő felületeken keletkező hővesztéseket.
- Alacsony fagyáspont  
A hőszállító közeg alacsony fagyáspontja ellenállóvá teszi a fagykárosodás ellen, amely kritikus lehet hidegebb környezetben.
- Magas forráspont  
A magas forráspontú hőszállító közeg lehetővé teszi a hatékony hőátadást magas hőmérsékleteken is, miközben minimalizálja a párolgás és a gőznyomás hatásait.
- Korrózióállóság  
A kiválasztott közeg ellenáll a korróziónak, így megőrizve az eszközök és csövek integritását hosszú távon.
- Stabilitás  
A hőszállító közeg stabilitása biztosítja, hogy a rendszer megbízhatóan működjön változó hőmérsékleti és nyomási feltételek mellett is.
- Környezetbarát  
A hőszállító közeg környezetbarát, nem károsítja a természetet, és biztonságosan kezelhető az emberek és az élőlények számára.

A fenti szempontokat, illetve az iparban használt folyadékokat figyelembevéve az alábbi három közeg került előtérbe:

- Ioncserélt víz
- Etilénglikol vizes oldata
- Olaj

Ezt a három anyagot megvizsgálva a választásom az etilénglikol vizes oldatára esett mivel a negatív hőmérséklettartományban víz megfagyhat az olaj viszkozitása pedig jelentősen megnő.

#### 4.2.3. Hőszigetelésre alkalmas anyagok

A megfelelő hőszigetelés kiválasztása során elengedhetetlen a következő tulajdonságok vizsgálata:

- Hővezetési ellenállás (R-érték)  
Az R-érték mutatja meg, mennyire képes az anyag ellenállni a hővezetésnek. Minél magasabb ez az érték, annál jobb a hőszigetelő képesség.
- Hővezetőképesség ( $\lambda$ )  
Az anyag hővezető képessége alacsony legyen, ami azt jelenti, hogy ne engedje át könnyen a hőt.
- Tűzállóság  
Fontos, hogy a hőszigetelő anyag ne égjen könnyen, és ne terjedjen tovább a tűzben.
- Könnyű telepíthetőség  
Az anyagnak könnyen telepíthetőnek kell lennie, lehetőleg anélkül, hogy komolyabb szerkezeti változtatásokat igényelne.
- Tömeg  
A könnyű hőszigetelő anyagok könnyen kezelhetők és telepíthetők.
- Környezetbarát  
Környezetkímélő, könnyen újrahasznosítható anyagok használata.

Az autó- és építőiparban használatos anyagokat megvizsgálva a következőket választottam további vizsgálatra:

- Kőzetgyapot
- Ásványgyapot
- Alu kasírozott üveggyapot
- Poliuretán hab
- Kaucsuk alapú szigetelőlap

Az egyes szigetelőanyag vizsgálatához azokból egy-egy hasonló kivitelű szigetelő burkot készítettem két és fél literes palackokhoz, amelyek a 29. ábrán láthatóak.



29. ábra Hőszigetelő burkok

Balról jobbra sorban: Kaucsuk alapú szivacs, Alu borítású üvegyapot, Ásványgyapot, Kőzetgyapot, PU hab

Forrás: Saját fotó

Ezt követően a palackokat megtöltöttem vízzel, majd azokat  $-13^{\circ}\text{C}$ -ra hűtve lefagyasztottam.

A mérés megkezdéséhez a tartályokat a hűtőből kivéve a burkokba helyeztem, ezután egy-egy hőszenzort rögzítettem a burkok külső és belső felületére ezzel mérve a szigetelőanyag két oldalán fellépő hőmérsékleteket, valamint elhelyezésre került egy szenzor a környezeti hőmérséklet monitorozására is (30. ábra).



30. ábra Palackok tele jéggel és hőszigetelő burkok hőszenzorokkal

Forrás: Saját fotó

A próbadarabok alatti tálcák az esetleges kondenzáció felfogását szolgálják.

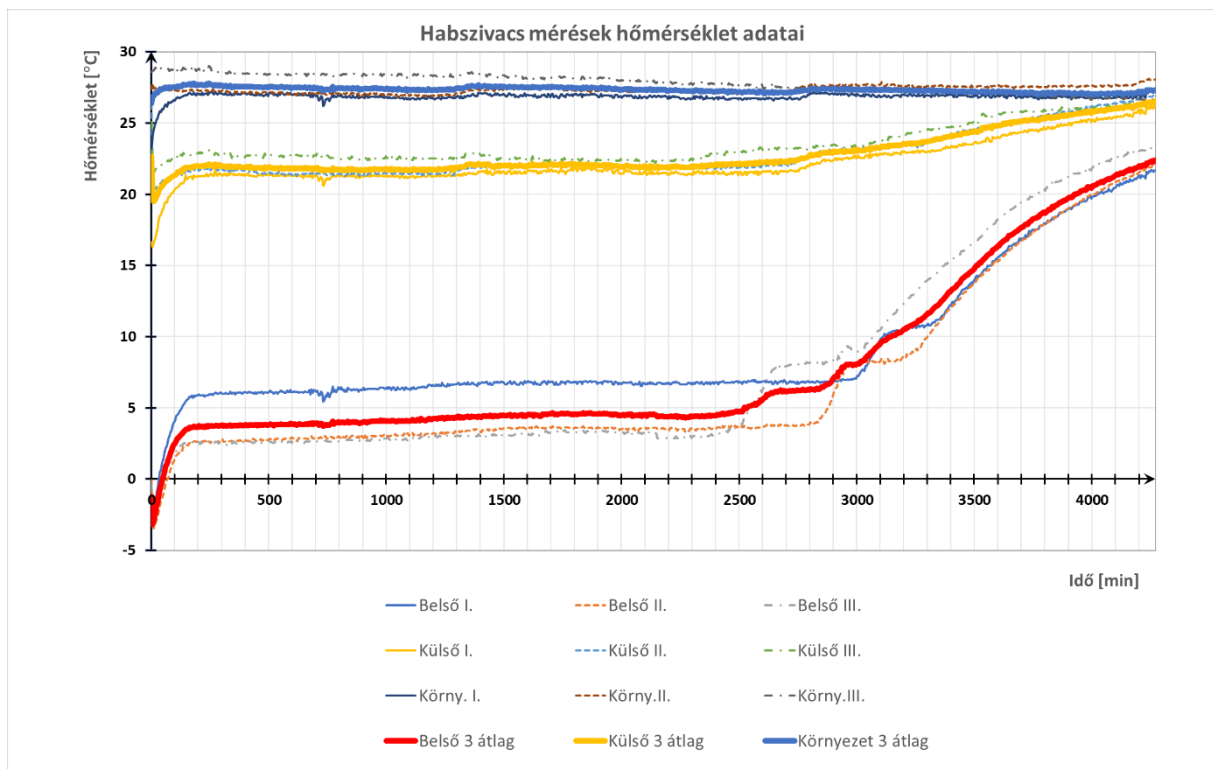
A méréshez Fe-CuNi és Ni-CrNi termoelemeket és Jumo adatgyűjtőt használtam(ábrák). A mért adatok a 33-37. ábrákon láthatóak:



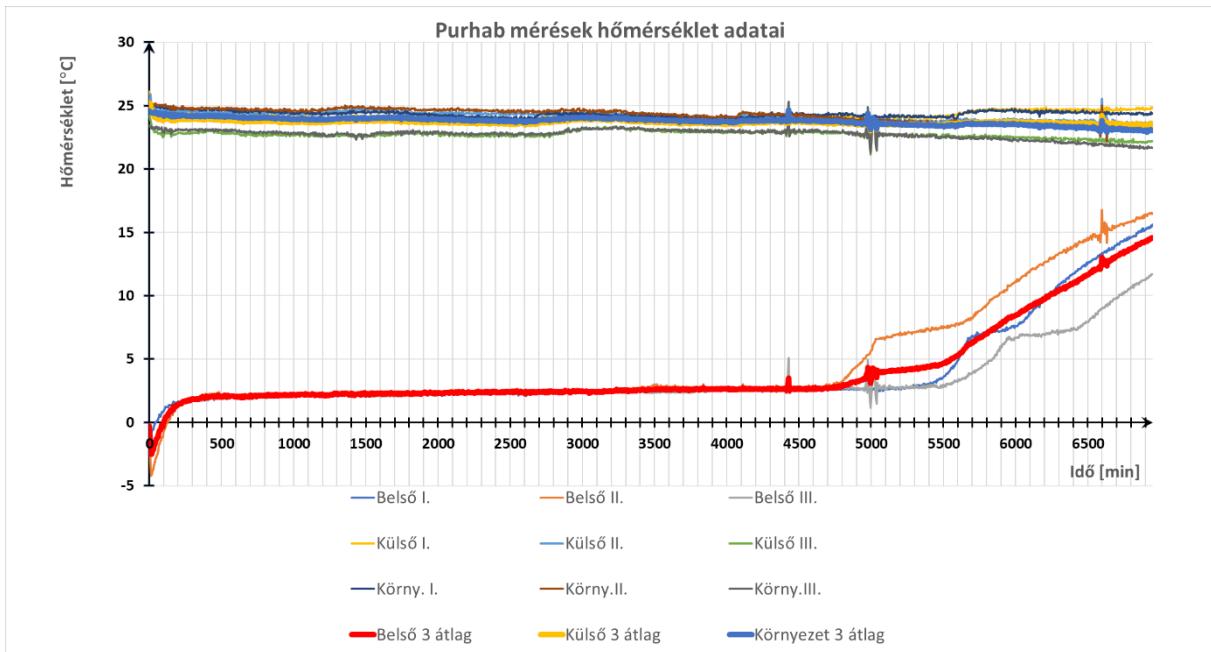
31. ábra Jumo adatgyűjtő  
Forrás: Saját fotó



32. ábra Termoelem

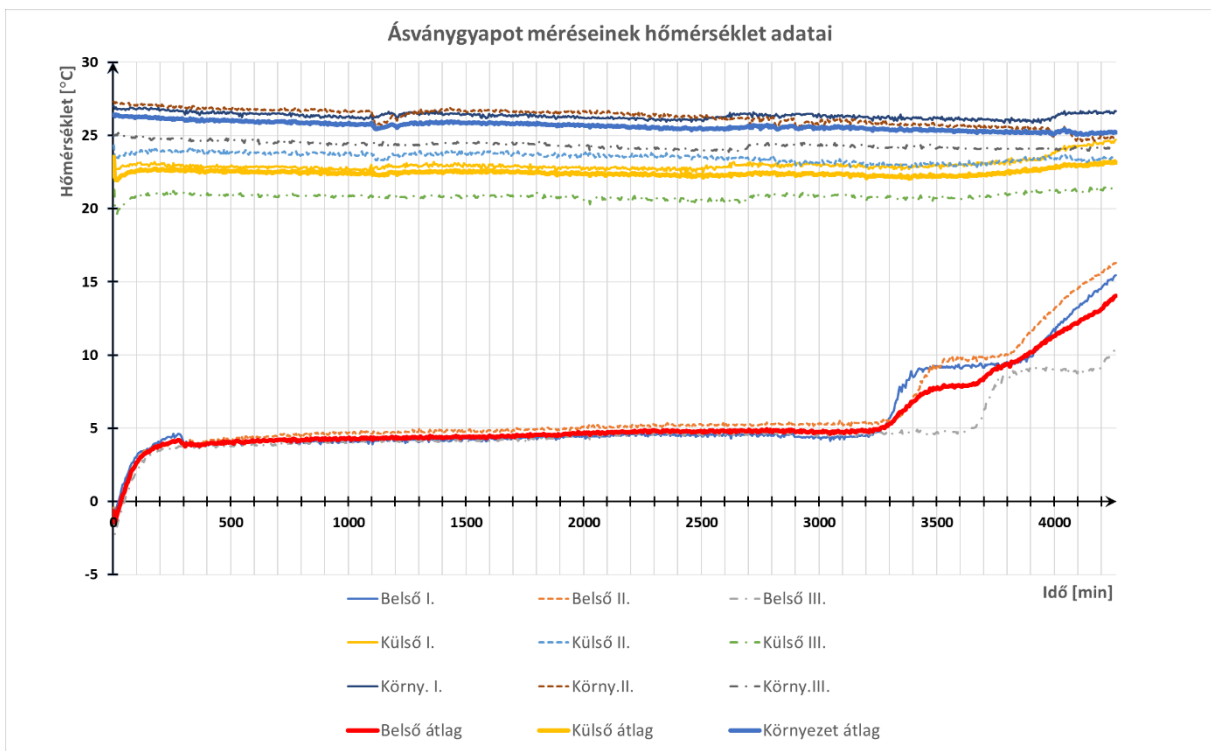


33. ábra Kaucsuk alapú habszivacs szigetelés hőmérsékleti adatai  
Forrás: Saját ábra



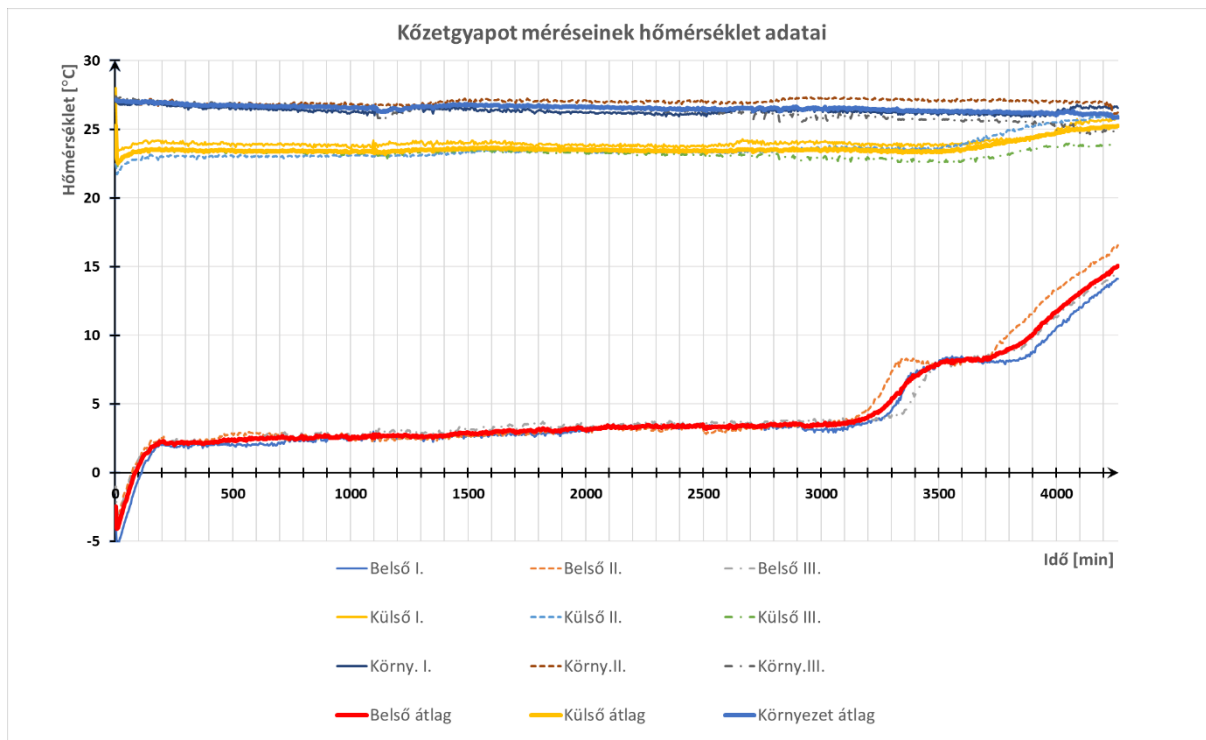
34. ábra Poliuretán hab mérések hőmérséklet adatai

Forrás: Saját ábra

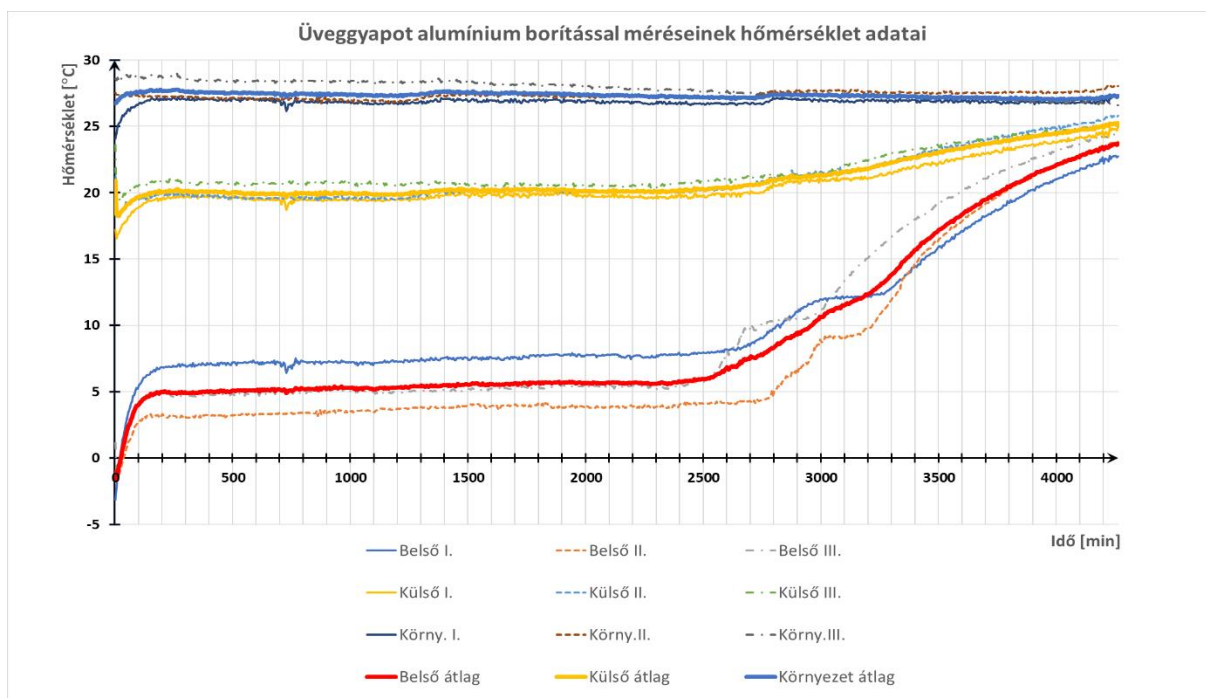


35. ábra: Ásványgyapot méréseinek hőmérséklet adatai

Forrás: Saját ábra

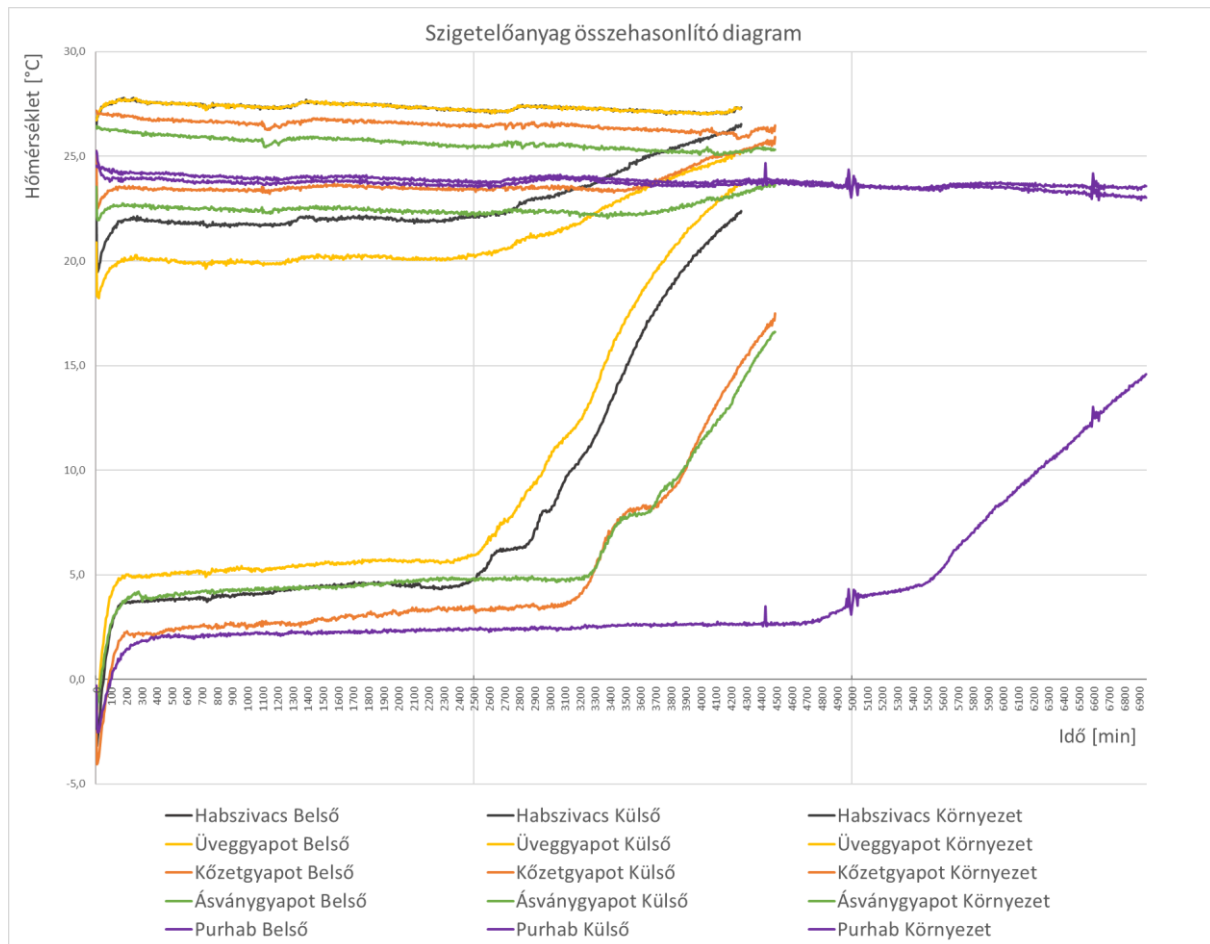


36. ábra Kőzetgyapot méréseinek hőmérséklet adatai  
 Forrás: Saját ábra



37. ábra: Alumínium borítású üveggyapot mérésének hőmérsékleti adatai  
 Forrás: Saját ábra

A könnyebb feldolgozhatóság érdekében az átlagokat egy külön diagramban is ábrázoltam (38. ábra):



38. ábra: Szigetelőanyag összehasonlító diagram

Forrás: Saját ábra

A 38. ábrából kiderül, hogy a legjobb szigetelő tulajdonságokkal a poliuretán hab rendelkezik, viszont a palackok borítása, illetve korábbi tapasztalataim szerint formázása bonyolult, rengeteg hulladékkal jár.

A különböző gyapotfélék jó hőszigetelő képességgel rendelkeznek viszont a használatuk jelentősen nagyobb odafigyelést igényel, illetve síkfelülethez való tartós rögzítésük nehézkesnek bizonyult.

Választásom végül a kaucsuk alapú szigetelésre esett mivel használatához nem szükséges semmilyen védőfelszerelés, nedvesség hatására szigetelőképesége nem romlik, könnyen formázható, rögzíthető és hőszigetelő képessége sem marad el jelentős mértékben a többi vizsgált anyagtól.



#### 4.2.4. Szerkezeti anyagok

A szerkezeti anyagok kiválasztása során a következő szempontokat tartottam szem előtt:

- Hőtágulás  
A szerkezeti anyagok csak elhanyagolható mértékben változtassanak alakjukon a hőmérséklettartományban.
- Hővezetőképesség  
A felhasználási célnak megfelelő hővezető tulajdonsággal rendelkezzenek az egyes elemek anyagai.
- Mechanikai szilárdság  
Az egyes elemek ellen tudjanak állni az őket érő mechanikai behatásoknak.
- Hőállóság  
Az alkatrészek ne lágyuljanak fel vagy ridegedjenek el túlságosan a kívánt hőmérséklettartományban.
- Korrózióállóság  
Az anyagoknak ellen kell állniuk a korróziónak, mivel nedves környezetben kerülnek felhasználásra. Fontos megjegyezni a galvánkorrózió fennállásának lehetőségét, amely ellen megfelelő szigetelésekkel, anyagpárosítással lehet védekezni.
- Környezetvédelmi szempontok  
A szerkezet kialakítása során fontos az olyan anyagok használata, amelyek könnyen újrahasznosíthatóak.
- Könnyű megmunkálhatóság  
A könnyű megmunkálhatóság a gyártási költségek csökkentését szolgálja.
- Tömeg  
Az autóiipari felhasználás miatt fontos a tömeg szem előtt tartása is.

A leírtak, illetve korábbi tapasztalataim alapján az egyes szerkezeti elemekhez az anyagpárosítást a következőképpen határoztam meg, melyet a 7. számú táblázat tartalmaz:

7. táblázat: Kiválasztott anyagok és megmunkálási módszereik

Szerkezeti elem	Anyag	Megmunkálási eljárás
Tartály	Alumínium	Hegesztés, ragasztás
Töltet tároló csövek	Vörösréz	Forrasztás
Távtartó/terelőlemezek	PETG	3D nyomtatás
Szigetelő lapok	Gumi	Vágás

### 4.3. Hőtároló egység koncepciója

A hőtároló egység kialakításánál törekedtem arra, hogy a megfelelő hőcsere biztosított legyen, így alapjául egy csököteg hőcserélő szolgált.

### 4.4. Hőkapacitás meghatározása

A pontos hőkapacitás meghatározásához szükséges a rendszerben jelen lévő összes anyag jellemzőinek ismerete.

#### Számítás menete szilárd anyagok és folyadékok esetén:

- Egyes anyagok térfogatának meghatározása.
- A térfogatokból a sűrűség segítségével egyes anyagok rendszerbeli tömegeinek meghatározása.
- A tömegek és hőmérsékletkülönbség alapján tárolható hőenergia meghatározása.

$$c \cdot m \cdot dT = Q_{\dot{e}} \quad (10)$$

#### Számítás menete fázisváltó anyagok esetén:

- Az anyagok térfogatának meghatározása.
- A térfogatokból a sűrűség segítségével egyes anyagok rendszerbeli tömegeinek meghatározása.
- A tömegek és hőmérsékletkülönbség alapján tárolható hőenergia meghatározása.
  - o Szilárd és folyékony esetben:

$$c \cdot m \cdot dT = Q_{\dot{e}} \quad (11)$$

- o Fázisváltáskor:

$$m \cdot L = Q_l \quad (12)$$

- Kapott értékek összegzése

A számítással és méréssel kapott eredményeket a 8. számú táblázat foglalja össze:

8. táblázat: Mérések és számítások eredményei

	loncserélt víz	Olaj	Kalcium-klorid vizes oldata (10%)	Paraffin	
Fűtés számított	0,86	0,75	0,85	1,05	kWh
Fűtés mért	0,88	0,84	1,07	0,98	kWh
Hűtés számított	0,98	0,37	0,42	0,35	kWh

#### 4.5. A prototípus hőkapacitásának meghatározása

A tartály hasznos térfogata:

$$h \cdot sz \cdot m = V_T \quad (13)$$

$$375 \cdot 362 \cdot 130 = 17647500 \text{ mm}^3$$

$$17647500 \text{ mm}^3 = 17,6475 \text{ L}$$

Ahol:

$h$  – a tartály belső hossza [mm]

$sz$  – a tartály belső szélessége [mm]

$m$  – a tartály belső magassága [mm]

$V_T$  – a tartály hasznos térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

Alumínium térfogata:

$$H \cdot Sz \cdot M - V_T = V_A \quad (14)$$

$$379 \cdot 366 \cdot 137 - 176475 = 1356318 \text{ mm}^3$$

$$1356318 \text{ mm}^3 = 1,356318 \text{ L}$$

Ahol:

$H$  – a tartály teljes szélessége [mm]

$Sz$  – a tartály telje hossza [mm]

$M$  – a tartály teljes magassága [mm]

$V_A$  – alumínium szerkezeti elemek térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

Alumínium tömege:

$$V_A \cdot \rho_A = M_A \quad (15)$$

$$1356318 \cdot 10^{-9} \cdot 2700 = M_A$$

$$M_A = 3,66 \text{ kg}$$

Ahol:

$V_A$  – alumíniumszerkezeti elemek térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

$\rho_A$  – alumínium sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$M_A$  – a felhasznált Alumínium tömege [ $\text{kg}$ ]

Egy hőtároló cső hasznos térfogata:

$$D_{cs}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H_{cs} = V_{cs} \quad (16)$$

$$20^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 340 = V_{cs}$$

$$V_{cs} = 106814,2 \text{ mm}^3 = 0,0001068142 \text{ m}^3 = 0,1068 \text{ L}$$

Ahol:

$D_{cs}$  – a hőtároló cső belső átmérője [ $\text{mm}$ ]

$H_{cs}$  – a hőtároló cső hossza [ $\text{mm}$ ]

$V_{cs}$  – a hőtároló cső hasznos térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

Réz térfogata egy hőtároló cső esetében:

$$\left( (D_{cs} + 2z_{cs})^2 - D_{cs}^2 \right) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H_{cs} + 2 \cdot D_{cs}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot z_{cs} = V_R \quad (17)$$

$$\left( (20 + 2 \cdot 1)^2 - 20^2 \right) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 340 + 2 \cdot 20^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 1 = V_R$$

$$V_R = 23059,29 \text{ mm}^3 = 0,00002305929 \text{ m}^3 = 0,02306 \text{ L}$$

Ahol:

$D_{cs}$  – a hőtároló cső belső átmérője [ $\text{mm}$ ]

$z_{cs}$  – hőtároló cső falvastagsága [ $\text{mm}$ ]

$H_{cs}$  – a hőtároló cső hossza [ $\text{mm}$ ]

$V_R$  – a réz szerkezeti elemek térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

Réz tömege:

$$V_R \cdot \rho_R = M_R \quad (18)$$

$$0,00002305929 \cdot 8940 = M_R$$

$$M_R = 0,2062 \text{ kg}$$

Ahol:

$V_R$  – vörösréz szerkezeti elemek térfogata [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_R$  – vörösréz sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$M_R$  – a felhasznált vörösréz tömege [ $\text{kg}$ ]

Az összes réz tömege:

$$M_R \cdot x = M_{R\ddot{O}} \quad (19)$$

$$0,2062 \cdot 62 = M_{R\ddot{O}}$$

$$M_{R\ddot{O}} = 12,784 \text{ kg}$$

Ahol:

$M_R$  – a felhasznált vörösréz tömege [ $\text{kg}$ ]

$x$  – a hőtároló csövek darabszáma [db]

$M_{R\ddot{O}}$  – az összes réz szerkezeti elem tömege [ $\text{kg}$ ]

Hőtároló cső által elfoglalt térfogat:

$$(V_{cs} + V_R) \cdot x = V_{cse} \quad (20)$$

$$(106814,2 + 23059,29) \cdot 62 = V_{cse}$$

$$V_{cse} = 8052156,38 \text{ mm}^3 = 0,0805215638 \text{ m}^3 = 8,052 \text{ L}$$

Ahol:

$V_{cs}$  – a hőtároló cső hasznos térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

$V_R$  – vörösréz szerkezeti elemek térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

$x$  – a hőtároló csövek darabszáma [db]

Hőszállító közeg térfogata a tartályban:

$$V_t - V_{cse} = V_{hsz} \quad (21)$$

$$17647500 - 8052156,38 = V_{hsz}$$

$$V_{hsz} = 9595343,62 \text{ mm}^3 = 0,00959534362 \text{ m}^3 = 9,595 \text{ L}$$

Ahol:

$V_t$  – a tartály hasznos térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

$V_{cse}$  – a hőtároló csövek által elfoglalt térfogat [ $\text{mm}^3$ ]

$V_{hsz}$  – a hőszállító közeg térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

### **Fűtés esetén a rendszerben tárolt energia**

Hőmérsékletkülönbség:

$$T_{max_f} - T_{min_f} = dT_f \quad (22)$$

$$75 - 30 = dT_f$$

$$dT_f = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ahol:

$T_{max_f}$  – maximális hőmérséklet fűtés esetén [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{min_f}$  – minimális hőmérséklet fűtés esetén [ $^\circ\text{C}$ ]

$dT_f$  – hőmérséklet különbség fűtés esetén [ $^\circ\text{C}$ ]

Hőszállító közegek aránya:

60 V/V%-os oldat esetén:

- 40% desztillált víz
- 60% etilénlikol

Desztillált víz térfogata:

$$V_{hsz} \cdot 0,4 = V_{dv} \quad (23)$$

$$9595343,62 \cdot 0,4 = V_{dv}$$

$$V_{dv} = 3838137,45 \text{ mm}^3 = 0,00383813745 \text{ m}^3 = 3,838 \text{ L}$$

Etilénglikol térfogata:

$$V_{hsz} \cdot 0,6 = V_{eg} \quad (24)$$

$$9595343,62 \cdot 0,6 = V_{eg}$$

$$V_{eg} = 5757206,17 \text{ mm}^3 = 0,00575720617 \text{ m}^3 = 5,757 \text{ L}$$

Ahol:

$V_{hsz}$  – a hőszállító közeg térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

$V_{dv}$  – a desztillált víz térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

$V_{eg}$  – az etilénglikol térfogata [ $\text{mm}^3$ ]

Hőszállító közeg tömege:

Desztillált víz tömege:

$$V_{dv} \cdot \rho_{dv} = M_{dv} \quad (25)$$

$$0,00383813745 \cdot 1000 = M_{dv}$$

$$M_{dv} = 3,838 \text{ kg}$$

Etilénglikol tömege:

$$V_{eg} \cdot \rho_{eg} = M_{eg} \quad (26)$$

$$5757206,17 \cdot 1113,2 = M_{eg}$$

$$M_{eg} = 6,409 \text{ kg}$$

Ahol:

$V_{dv}$  – a desztillált víz térfogata [ $\text{m}^3$ ]

$V_{eg}$  – az etilénglikol térfogata [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_{dv}$  – a desztillált víz sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\rho_{eg}$  – az etilénlikol sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]

$M_{dv}$  – a víz tömege [kg]

$M_{eg}$  – az etilénlikol tömege [kg]

Hőszállító közegben tárolt energia:

Desztillált vízben tárolt hőenergia:

$$M_{dv} \cdot c_{p_{dv}} \cdot dT_f = E_{dv} \quad (27)$$

$$3,838 \cdot 4,183 \cdot 45 = E_{dv}$$

$$E_{dv} = 722,446 \text{ kJ}$$

Etilénlikolban tárolt hőenergia:

$$M_{eg} \cdot c_{p_{eg}} \cdot dT_f = E_{eg} \quad (28)$$

$$6,409 \cdot 2,4 \cdot 45 = E_{eg}$$

$$E_{eg} = 692,172 \text{ kJ}$$

Ahol:

$M_{dv}$  – a víz tömege [kg]

$M_{eg}$  – az etilénlikol tömege [kg]

$c_{p_{dv}}$  – desztillált víz fajhője [kJ/kgK]

$c_{p_{eg}}$  – az etilénlikol fajhője [kJ/kgK]

$dT_f$  – hőmérséklet különbség fűtés esetén [°C]

$E_{dv}$  – desztillált vízben tárolt hőenergia [kJ]

$E_{eg}$  – etilénlikolban tárolt hőenergia [kJ]



Hőtároló közegben tárolt energia:

Egy csőbe 90g paraffin viasz kerül így a felhasznált paraffin tömege:

$$x \cdot 90 = M_{pa} \quad (29)$$

$$62 \cdot 90 = M_{pa}$$

$$M_{pa} = 5580 \text{ g} = 5,58 \text{ kg}$$

Szilárd halmazállapotú paraffinban tárolt hőenergia:

$$M_{pa} \cdot c_{p \text{ viasz}} \cdot (T_{olvpa} - T_{minf}) = E_{pa I} \quad (30)$$

$$5,4 \cdot 2,14 \cdot (50 - 30) = E_{pa I}$$

$$E_{pa I} = 231,12 \text{ kJ}$$

A halmazállapotváltozásból származó hőenergia:

$$M_{pa} \cdot L_{olvpa} = E_{pa II} \quad (31)$$

$$5,4 \cdot 200 = E_{pa II}$$

$$E_{pa II} = 1080 \text{ kJ}$$

Folyékony paraffinban tárolt hőenergia:

$$M_{pa} \cdot c_{p \text{ olv}} \cdot (T_{maxf} - T_{olvpa}) = E_{pa III} \quad (32)$$

$$5,4 \cdot 2,14 \cdot (75 - 50) = E_{pa III}$$

$$E_{pa III} = 288,9 \text{ kJ}$$

Paraffinban tárolt hőenergia összesen:

$$E_{pa I} + E_{pa II} + E_{pa III} = E_{pa \ddot{o}} \quad (33)$$

$$231,12 + 1080 + 288,9 = E_{pa \ddot{o}}$$

$$E_{pa \ddot{o}} = 1600,02 \text{ kJ}$$

Ahol:

$x$  – a hőtároló csövek darabszáma [db]

$M_{pa}$  – a felhasznált paraffin tömege [kg]

$c_{pviasz}$  – a paraffin viasz fajhője [kJ/kgK]

$c_{polv}$  – az olvadt paraffin fajhője [kJ/kgK]

$L_{olvpa}$  – a paraffin olvadáshője [kJ/kg]

$T_{olvpa}$  – a paraffin olvadási hőmérséklete [°C]

$T_{maxf}$  – maximális hőmérséklet fűtés esetén [°C]

$T_{minf}$  – minimális hőmérséklet fűtés esetén [°C]

$E_{pa I}$  – a paraffin viaszból származó hőenergia [kJ]

$E_{pa II}$  – a paraffin megszilárdulásából származó hőenergia [kJ]

$E_{pa III}$  – az olvadt paraffinból származó hőenergia [kJ]

$E_{pa \delta}$  – a paraffinból származó teljes hőenergia [kJ]

Rézben tárolt energia:

$$M_{R\ddot{o}} \cdot c_{p_{r\acute{e}z}} \cdot dT_f = E_{r\acute{e}z} \quad (34)$$

$$12,784 \cdot 0,39 \cdot 45 = E_{r\acute{e}z}$$

$$E_{r\acute{e}z} = 3,62 \text{ kJ}$$

Ahol:

$M_{R\ddot{o}}$  – réz szerkezeti elemek tömege [kg]

$c_{pr\acute{e}z}$  – réz fajhője [kJ/kgK]

$dT_f$  – fűtőközeg hőmérsékletkülönbsége [°C]

$E_{r\acute{e}z}$  – rézben tárolt hőenergia [kJ]

Alumíniumban tárolt energia:

$$M_A \cdot c_{p_{alu}} \cdot dT_f = E_{alu} \quad (35)$$

$$3,66 \cdot 0,9 \cdot 45 = E_{alu}$$

$$E_{alu} = 148,23 \text{ kJ}$$

Ahol:

$M_A$  – acél szerkezeti elemek tömege [kg]

$c_{p_{alu}}$  – alumínium fajhője [kJ/kgK]

$dT_f$  – fűtőközeg hőmérsékletkülönbsége [°C]

$E_{alu}$  – alumíniumban tárolt hőenergia [kJ]

Összes tárolt energia

$$E_{dv} + E_{eg} + E_{pa\ddot{o}} + E_{r\acute{e}z} + E_{alu} = E_{\ddot{o}} \quad (36)$$

$$722,446 + 692,172 + 1600,02 + 224,35 + 148,23 = E_{\ddot{o}}$$

$$E_{\ddot{o}} = 3387,2272 \text{ kJ}$$

Ahol:

$E_{dv}$  – desztillált vízben tárolt hőenergia [kJ]

$E_{eg}$  – etilénlikolban tárolt hőenergia [kJ]

$E_{pa\ddot{o}}$  – a paraffinból származó teljes hőenergia [kJ]

$E_{r\acute{e}z}$  – rézben tárolt hőenergia [kJ]

$E_{alu}$  – alumíniumban tárolt hőenergia [kJ]

$E_{\ddot{o}}$  – az összes tárolt energia [kJ]

A rendszerben tárolt összes energia 3387,2272 kJ, ami megfelel 0,94 kWh-nak.

## Hűtés esetén a rendszerben tárolt energia

Hőmérsékletkülönbség:

$$\begin{aligned}T_{max_h} - T_{min_h} &= dT_h & (37) \\10 - (-10) &= dT_h \\dT_h &= 20^\circ C\end{aligned}$$

Ahol:

$T_{max_h}$  – maximális hőmérséklet hűtés esetén [ $^\circ C$ ]

$T_{min_h}$  – minimális hőmérséklet hűtés esetén [ $^\circ C$ ]

$dT_h$  – hőmérséklet különbség hűtés esetén [ $^\circ C$ ]

A vizsgált hőszállító közegben tárolt energia:

Desztillált vízben tárolt hőenergia:

$$\begin{aligned}M_{dv} \cdot c_{p_{dv}} \cdot dT_f &= E_{dv} & (38) \\3,838 \cdot 4,183 \cdot 20 &= E_{dv} \\E_{dv} &= 321,09 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Etilénglikolban tárolt hőenergia:

$$\begin{aligned}M_{eg} \cdot c_{p_{eg}} \cdot dT_f &= E_{eg} & (39) \\6,409 \cdot 2,4 \cdot 20 &= E_{eg} \\E_{eg} &= 307,632 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Ahol:

$M_{dv}$  – a víz tömege [kg]

$M_{eg}$  – az etilénglikol tömege [kg]

$c_{p_{dv}}$  – desztillált víz fajhője [kJ/kgK]

$c_{p_{eg}}$  – az etilénglikol fajhője [kJ/kgK]

$dT_h$  – hőmérséklet különbség hűtés esetén [ $^\circ C$ ]

Hőtároló közegben tárolt energia:

Paraffinban tárolt hőenergia:

$$M_{pa} \cdot c_{p_{viasz}} \cdot dT_h = E_{pa} \quad (40)$$

$$5,4 \cdot 2,14 \cdot 20 = E_{pa}$$

$$E_{pa} = 231,12 \text{ kJ}$$

Rézben tárolt energia:

$$M_{R\ddot{o}} \cdot c_{p_{r\acute{e}z}} \cdot dT_h = E_{r\acute{e}z} \quad (41)$$

$$12,784 \cdot 0,39 \cdot 20 = E_{r\acute{e}z}$$

$$E_{r\acute{e}z} = 99,7152 \text{ kJ}$$

Ahol:

$M_{R\ddot{o}}$  – réz szerkezeti elemek tömege [kg]

$c_{p_{r\acute{e}z}}$  – réz fajhője [kJ/kgK]

$dT_h$  – hűtőközeg hőmérsékletkülönbsége [°C]

$E_{r\acute{e}z}$  – rézben tárolt hőenergia [kJ]

Alumíniumban tárolt energia:

$$M_A \cdot c_{p_{ac\acute{e}l}} \cdot dT_h = E_{alu} \quad (42)$$

$$3,66 \cdot 0,9 \cdot 20 = E_{alu}$$

$$E_{alu} = 65,88 \text{ kJ}$$

Ahol:

$M_A$  – alumínium szerkezeti elemek tömege [kg]

$c_{p_{alu}}$  – alumínium fajhője [kJ/kgK]

$dT_h$  – hűtőközeg hőmérsékletkülönbsége [°C]

$E_{alu}$  – alumíniumban tárolt hőenergia [kJ]

Összes tárolt energia

$$E_{dv} + E_{eg} + E_{pa} + E_{r\acute{e}z} + E_{alu} = E_{\acute{o}} \quad (43)$$

$$321,09 + 307,632 + 231,12 + 99,7252 + 65,88 = E_{\acute{o}}$$

$$E_{\acute{o}} = 1025,45 \text{ kJ}$$

Ahol:

$E_{dv}$  – desztillált vízben tárolt hőenergia [kJ]

$E_{eg}$  – etilénlikolban tárolt hőenergia [kJ]

$E_{pa}$  – a paraffinból származó hőenergia [kJ]

$E_{r\acute{e}z}$  – rézben tárolt hőenergia [kJ]

$E_{alu}$  – alumíniumban tárolt hőenergia [kJ]

$E_{\acute{o}}$  – az összes tárolt energia [kJ]

A rendszer tárolókapacitása 1025,45 kJ, vagyis 0,285 kWh.

## 5. Eredmények és értékelésük

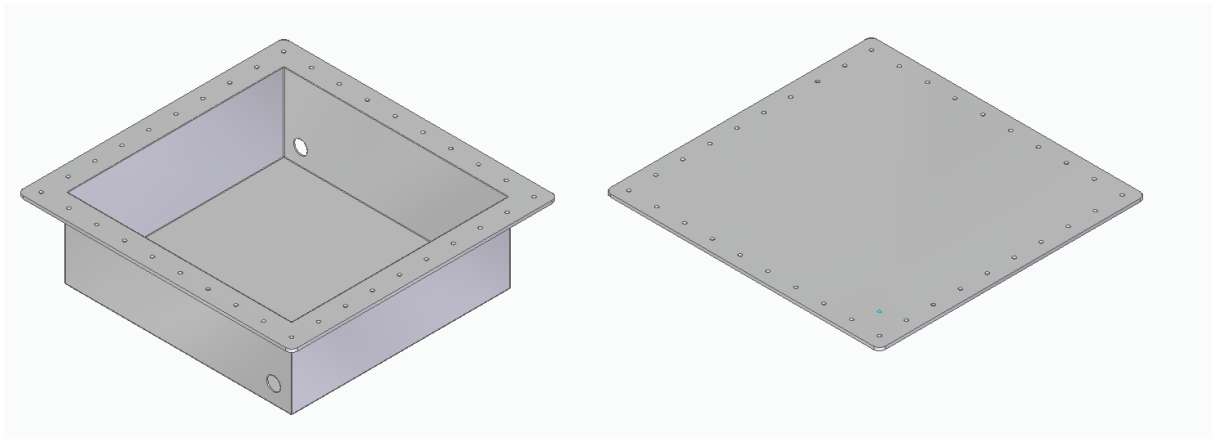
A korábbiakban bemutatott mérések alapján a megvizsgált anyagok közül a következőket találtam megfelelőnek egy hőtároló egység kialakításához:

- Hőtároló anyag: Paraffin
- Hőszállító anyag: Ioncserélt víz és etilénlikol keveréke
- Hőszigetelő anyag: Kaucsuk alapú habzivacs
- Szerkezeti anyagok: Alumínium, vörös- és sárgaréz, gumi, PETG

Ezek alapján megterveztem a következőkben bemutatott egységeket:

### Tartály

A tartály kialakításakor a járműben rendelkezésre álló tér, valamint tervezett kapacitás szabta meg főként a befoglaló méreteket. Ennek anyagául alumíniumot választottam, mivel ellenáll a korróziónak nedves környezetben is és szerkezetileg megfelelő. Ennek az egységnek a 3D modellje a következő ábrán látható (39. ábra):



39. ábra: A tartály és annak teteje

Forrás: Saját ábra

A tartály és annak teteje csavarokkal kerül egymáshoz és a szerkezethez rögzítésre melyeknek furatai már az ábrán láthatóak. A szerkezeti elem közé tömítőlap kerül elhelyezésre. A tartály légtelenítéséről egy a tetőn lévő menetes furatba helyezhető csavar gondoskodik. A perem és a tető vastagsága 5 mm a tartály többi részén pedig 2 mm. Befoglaló méretei 460x445x135 mm.

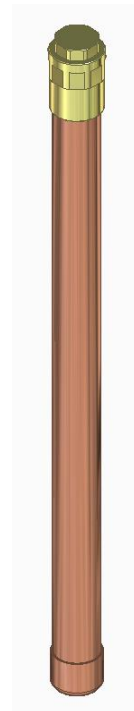
### Töltet tároló csövek:

A töltet tároló csövek négy részből állnak:

- Mentés záródugó,
- Belső mentes forrvég,
- 22x1mm-es félkemény vörösréz cső,
- Forrasztható záródugó.

Az egyes elemek egymáshoz rögzítését és tömítését forrasztással, valamint menettömítő ragasztóval terveztem.

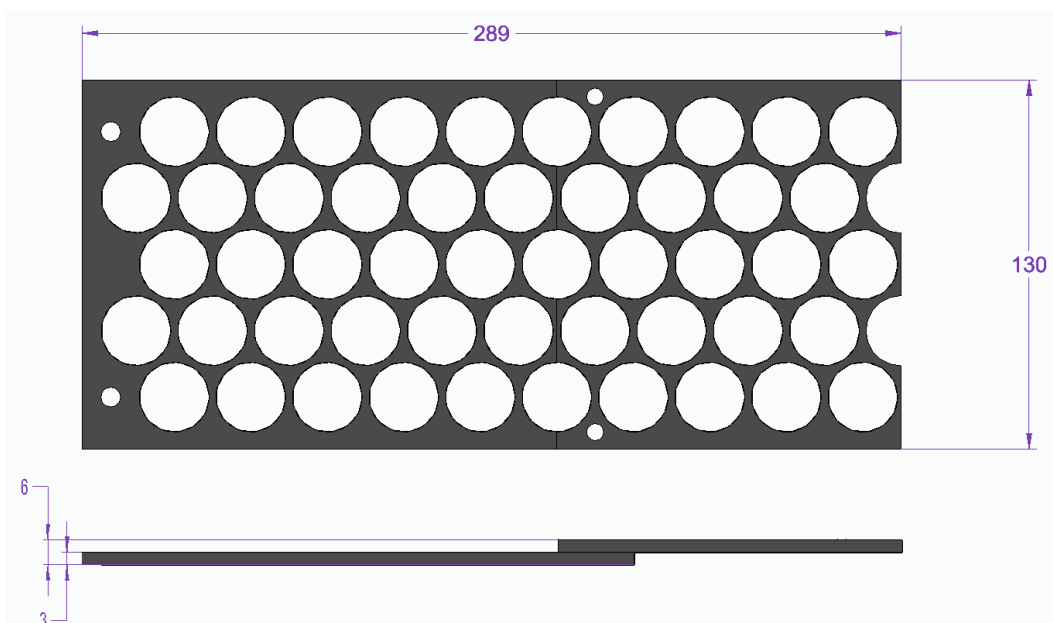
Ebből összesen a prototípusba 62 db készült.



40. ábra: Töltet tároló cső  
Forrás: Saját ábra

### Távtartó és terelő lemezek:

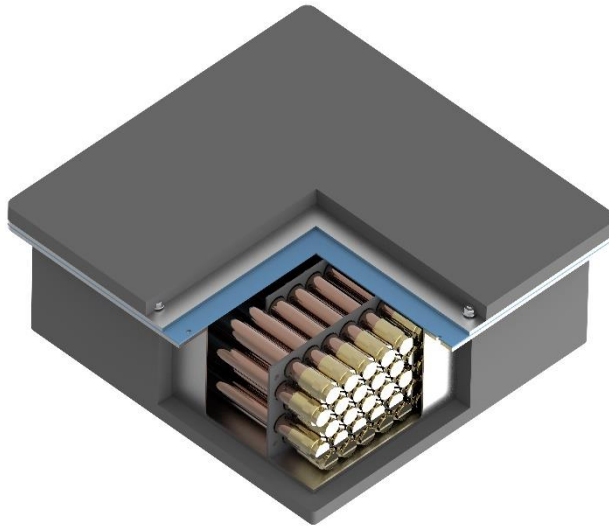
A távtartó és terelőlemezek anyagául PETG-t választottam, a hozzá kapcsolódó gyártástechnológiának pedig a 3D nyomtatást. Ezen elemek tervezésekor hőtani, áramlási és 3D nyomtatási szabályokat kellett figyelembe vennem. Ezek alapján a következő 3D modellek készültek, melyeket a 41. számú ábra szemléltet:



41. ábra: Terelő és távtartó lemezek kialakítása  
Forrás: Saját ábra



A lemezek a nyomtató adottágai miatt állnak több részletből, mivel meghaladták a hasznos nyomtatótér méretét. Az egyes furatok egymáshoz viszonyított távolsága 27 mm a szükséges áramlási keresztmetszet megtartásához. Az lemezek pozícióját a 42. ábrán látható



42. ábra: A teljes egység renderelt képe  
Forrás: Saját ábra

kisebb furatokon átvezetett menetesszárok és anyák biztosítják.

A 3D modellekből tervek készültek, majd azok megvalósításra is kerültek. A töltet tároló csövek kialakítását saját magam végeztem a darabolástól a forrasztáson át, azok megtöltéséig és lezárásáig. A 3D nyomtatott elemeket szintén magam terveztem, viszont a nyomtatáshoz nem állt rendelkezésre saját eszköz, így ebben kollégám segített.



43. ábra: Töltet tároló csövek és terelőlemezek összeszerelve  
Forrás: Saját ábra

A tartály anyagait magam végtam és hajlítottam formára. Mivel hegesztéséhez nem állt rendelkezésemre megfelelő eszköz és tudás, így azt szakemberrel végeztem el.



44. ábra Az elkészült hőtároló egység

Forrás: Saját fotó

Az összeszerelést teljes egészében magam végeztem.

A prototípusra vonatkozóan is készítettem számításokat annak hőtároló kapacitására vonatkozóan (3.5. fejezet) melyek eredményei a következők:

Fűtésre vonatkozó hőkapacitás: 0,97 kWh

Hűtésre vonatkozó hőkapacitás: 0,29 kWh

A számítások validálására készülő mérések még folyamatban vannak. Viszont a korábbi mérések alapján 0,9 kWh kapacitás várható.

A tömege ~38 kg-nak teljes térfogata szigetelés nélkül pedig ~19 L-nek adódott. Ezekből az értékekből következik, hogy:

- Tömegre vetített kapacitása: 25,5Wh/kg
- Térfogatra vetített kapacitása: 51 Wh/l

Ezekkel az értékeknek értékekkel hozzávetőlegesen egy ólom-savas akkumulátor adottságaival rendelkezik, viszont annál jóval környezetbarátabb és hosszabb élettartamú lehet.

## 6. Következtetések és javaslatok

Diplomamunkám értelmezhető egy alapozó kutatásnak is, amely alapot nyújthat új rendszerek kialakítására vagy új kutatási irányokhoz is.

### További anyagok vizsgálata

Saját munkám során csak limitált anyagkombináció vizsgálatára volt lehetőségem. További anyagok vizsgálatával szélesebb képet lehet alkotni és lehetséges egy jobb térfogatra vagy tömegre vetített hőkapacitású rendszer kialakítása.

### Más kialakítások vizsgálata

Munkám során csak egy, a csököteg hőcserélőkre emlékeztető kialakítású rendszert vizsgáltam. További kialakítások vizsgálatával más eredmények érhetőek el, így mindenképp célszerű ilyen vizsgálatokat végezni.

### Más területen való hasznosítás vizsgálata

Ez a tároló egység kimondottan egy jármű utasterének fűtésére készült. Érdeemes lenne megvizsgálni, hogy egy hasonló kialakítású egység akár az áru fuvarozás terén a szállított termékek, akár épületek temperálásában miként lenne felhasználható.

## 7. Összefoglalás

A diplomamunkám megalapozó kutatásaként áttekintettem több, a témában releváns kutatást magyar és idegennyelven is, valamint elvégeztem hőtároló és hőszigetelő anyagok vizsgálatát is, melyhez saját mérőkört készítettem. Az anyagvizsgálatok eredményeképpen sikeresen meghatároztam a kezdetben kiválasztott anyagok közül a megfelelőt a meghatározott felhasználási célra.

A szakirodalmak és mérési eredményeim felhasználásával megterveztem egy kompakt hőtároló egységet, amelyet be is mutattam dolgozatomban. Ezt követően a tervek alapján megépítettem a hőtároló egység prototípusát. Az alátámasztó mérések még nem készültek el, viszont a korábbi méréseim alapján megállapítható, hogy ez a hőakkumulátor alkalmas lehet a kezdetekben meghatározott elvárások teljesítésére.

Ez a kutatás fontos előrelépést jelent a hőtároló rendszerek új irányú felhasználásában. Kulcsfontosságú lehet a fenntartható energiahasználat és az energiahatékonyság szempontjából. Az eredmények alapján kifejlesztett rendszerek nemcsak környezetbarátak, hanem gazdaságosak is, hozzájárulva ezzel a fenntartható jövő kialakításához.

A dolgozatom átfogó betekintést nyújt egy hőakkumulátor tervezésének lépéseibe, mind anyagválasztás, mind számítások terén. Az itt leírt eredmények és módszerek alapján további kutatások és fejlesztések is elvégezhetők ezen a fontos tudományterületen.

## 8. Summary

As a basic research for my thesis I reviewed several relevant researches in Hungarian and foreign languages, I also performed the examination of heat storage and insulation materials with my own measuring circuit that I prepared before. As a result of the material tests, I successfully determined the most suitable one for the defined application from the initially selected materials.

Using the preliminary research and my measurement results I designed a compact heat storage unit that I presented in my thesis. Then I built a prototype of the heat storage unit based on the designs. The measurements of the prototype have not yet been completed but based on my previous measurements the conclusion is this heat accumulator may can fulfill the prior defined requirements.

This research is an important step in a new direction for the use of heat storage systems. That can have major importance in terms of sustainable energy use and energy efficiency. Systems developed on the basis of these results will not only be environmentally friendly also economical, thus help us building a more sustainable future.

My thesis provides a comprehensive insight into the design steps of a thermobattery, both in terms of material selection and calculations. The results and methods described here can be used as a basis for further research and development in this important area of science.

## 9. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Kurják Zoltánnak konzulensemnek és Gerda István Zsoltnak külső konzulensemnek, hogy munkájukkal elősegítették dolgozatom elkészültét.

Köszönöm kollégáimnak, barátaimnak Balogh Bélának és Schillinger Zsoltnak, hogy munkájukkal, támogatásukkal elősegítették a projekt és ezzel ezen dolgozat elkészültét.

Köszönöm családomnak a támogatást munkám során.

## 10. Irodalomjegyzék

### Magyar nyelvű források:

- [1.] Árokszállási K. (2001): Hőtárolás a jövő technológiája. Roxa Kft. Érd.
- [2.] Balogh B., Kis T. O. Zsámboki P. (2019): Nem hulladékhőn alapuló komplex fűtési és hűtési rendszer-koncepció kidolgozása elektromos meghajtású közúti járművek számára, Szent István Egyetem. Gödöllő. TDK Konferencia
- [3.] Bártfai Z.- Balogh B.-Szabó J. -Gerda Zs.-Lágymányosi A. -Schillinger Zs. -Szabó G. - Zsámboki P. -Hegedűs L. Zs. -Kurják Z. (2022): Egyedi kialakítású klímarendszer fejlesztése átépített elektromos hajtású gépjárműbe - I.  
MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA (0026-1890): 63 12 pp 28-31
- [4.] Bártfai Z. -Balogh B. -Szabó J. -Lágymányosi A. -Schillinger Zs. -Szabó G. -Zsámboki P. -Szalkai I. -Kurják Z. -Gerda Zs. (2023): Egyedi kialakítású klímarendszer fejlesztése átépített elektromos hajtású gépjárműbe – II  
MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA (0026-1890): 64 2 pp 34-38.
- [5.] Bártfai Z. -Balogh B. -Szabó J. -Lágymányosi A. -Schillinger Zs. -Szabó G. -Zsámboki P. -Szalkai I. -Gerda Zs. -Kurják Z. (2023): Egyedi kialakítású klímarendszer fejlesztése átépített elektromos hajtású gépjárműbe- III.  
MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA (0026-1890): 64 5 pp 2-4.
- [6.] Bártfai Z. et al (2022): Szemelvények a "Folyadék alapú moduláris temperáló egység (famote) kutatás-fejlesztése elektromos meghajtású közúti járművek számára" projekt alkalmazott kutatási eredményeiből, ISBN 978-615-01-6947-7
- [7.] Beke J. (2000): Műszaki hőtan mérnököknek. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest
- [8.] Beke J. (2014): A műszaki termodinamika alapjai, Szent István Egyetemi Kiadó
- [9.] Bihari P. (2012): Műszaki hőtan. Edutus Főiskola
- [10.] Fonyó Zs., Fábry Gy. (2004): Vegyipari művelettani alapismeretek. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest.
- [11.] Író B. (2006): Hő- és áramlástan. Egyetemi jegyzet. Széchenyi István Egyetem, Győr

### Idegen nyelvű források:

- [12.] Abhat, A.. (1983): "Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials", Solar Energy, 30, 4, 313-331.

- [13.] Agyenim F, Hewitt N, Eames P, Smyth M. (2010): A review on materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). *Renew Sustain Energy Rev*;14(2):615–28.
- [14.] Cabeza, L.F., Castell, A., Barreneche, C., de Gracia, A., Fernandez, A.I. (2011): Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 15, 1675-1695.
- [15.] Gerhard Stryi-Hipp. (2016): *Renewable Heating and Cooling - Technologies and Applications Chapter 7 - Thermal energy storage for renewable heating and cooling systems*
- [16.] Kaygusuz, K. (1999): “The viability of thermal energy storage”, *Energy Sources*, 21, 745-755.
- [17.] Kenisarin M, Mahkamov K. (2007): Solar energy storage using phase change materials. *Renew Sustain Energy Rev* ;11:1913–65.
- [18.] Kenisarin M. Kenisarina K. (2012): Form-stable phase change materials for thermal energy storage
- [19.] Kitano H. Sagara K., Sharma D. S. (2004): *Phase Change Materials for Low Temperature Solar Thermal Applications*
- [20.] Lane, G.. (1983): "Latent heat materials", Volume 1, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [21.] Mehling, H., Cabeza, L.F. (2008): *Heat and Cold Storage with PCM: An Up to Date Introduction into Basics and Applications*. Springer, Heidelberg, Berlin. ISBN: 978-3-540-68557-9
- [22.] Pillai, K.K. and Brinkwarth, B.J. (1976): "The storage of low grade thermal energy using phase change materials," *Applied Energy*, 2, 205-216.
- [23.] Rathod, M.K., Banerjee, J. (2013): Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 18, 246-258.
- [24.] W. Ding, T. Bauer. (2021): *Progress in Research and Development of Molten Chloride Salt Technology for Next Generation Concentrated Solar Power Plants*
- [25.] Zalba, B., Marín, J.M., Cabeza, L.F., Mehling, H. (2003): Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Appl. Therm. Eng.* 23, 251-283.
- [26.] Zheng N, Wirtz RA. (2004): A hybrid thermal energy storage device, Part 1: design methodology. *J Electron Packag* ;126(1):1–7.



## 11. Ábrák és táblázatok jegyzéke

### Ábrák:

1. ábra A TES (Thermal Energy Storage) elemi: töltés, tárolás, kisütés .....	7
2. ábra A hőtárolás alapvető működési folyamata.....	9
3. ábra Az érzékelhető és a fázisváltási hőt tároló rendszerek hőmérsékleti viszonyai. ....	12
4. ábra A fázisváltó anyagok csoportosítása.....	13
5. ábra Fázisváltó anyagok az olvadási hőmérséklet és olvadási entalpia szerint.....	14
6. ábra Az egyrétegű síkfal hővezetési modellje .....	20
7. ábra A többrétegű síkfal hővezetési.....	20
8. ábra Hengeres fal hővezetési modellje.....	21
9. ábra: Konvektív hőátadás modellje .....	21
10. ábra Összetett hőátvitel modellje .....	22
11. ábra Merev csőköteges hőcserélő.....	23
12. ábra Csőelrendezések: a - háromszög, b - négyszög, c- hatszög.....	24
13. ábra Olvadt só TES vázlata .....	25
14. ábra Homok töltetű TES.....	26
15. ábra Mérőkör elvi rajza .....	28
16. ábra Töltet tároló cső rajza .....	28
17. ábra Grundfos Alpha Solar 15-75 130 szivattyú .....	29
18. ábra Siemens SWN 615 hőmennyiségmérő .....	29
19. ábra Arduino Mega mikrokontroller .....	29
20. ábra DS18B20 Digitális hőszenzor .....	29
21. ábra Áramlás szenzor .....	29
22. ábra Folyadék - levegő hőcserélő.....	29
23. ábra A hőtároló tartály a töltet tároló csövekkel és terelőlemezekkel .....	29
24. ábra Paraffin töltetű fűtőtéljesítmény mérés .....	30

25. ábra Ioncserélt víz töltetű fűtőteljesítmény mérés.....	31
26. ábra Olaj töltetű fűtőteljesítmény mérés .....	31
27. ábra Sóoldat töltetű fűtőteljesítmény mérés .....	32
28. ábra Az elvégzett mérések átlagai anyagonként.....	32
29. ábra Hőszigetelő burkok.....	36
30. ábra Palackok tele jéggel és hőszigetelő burkok hőszensorokkal.....	36
31. ábra Jumo adatgyűjtő .....	37
32. ábra Termoelem.....	37
33. ábra Kaucsuk alapú habszivacs szigetelés hőmérsékleti adatai .....	37
34. ábra Poliuretán hab mérések hőmérséklet adatai .....	38
35. ábra: Ásványgyapot méréseinek hőmérséklet adatai .....	38
36. ábra Kőzetgyapot méréseinek hőmérséklet adatai .....	39
37. ábra: Alumínium borítású üvegyapot mérésének hőmérsékleti adatai.....	39
38. ábra: Szigetelőanyag összehasonlító diagram .....	40
39. ábra: A tartály és annak teteje.....	55
40. ábra: Töltet tároló cső Forrás: Saját ábra.....	56
41. ábra: Terelő és távtartó lemezek kialakítása.....	56
42. ábra: A teljes egység renderelt képe Forrás: Saját ábra.....	57
43. ábra: Töltet tároló csövek és terelőlemezek összeszerelve .....	57
44. ábra Az elkészült hőtároló egység.....	58

## **Táblázatok:**

1. táblázat Az érzékelhető hő tárolására használt néhány általános anyag hőkapacitása 20 °C-on.....	11
2. táblázat Szerves és szervetlen hőtároló PCM-ek alkalmazásának előnyei és hátrányai.....	14
3. táblázat Szerves és szervetlen hőtároló PCM-ek összehasonlítása.....	15
4. táblázat A különböző hőtároló rendszerek tárolási sűrűségének összehasonlítása.....	18
5. táblázat Anyagok hővezetési tényezői.....	19
6. táblázat: Konvekciós hőátadási tényezők általános értékei.....	21
7. táblázat: Kiválasztott anyagok és megmunkálási módszereik.....	41
8. táblázat: Mérések és számítások eredményei.....	42

## 12. Nyilatkozatok

### NYILATKOZAT

#### A diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Zsámboki Péter
A Hallgató Neptun kódja:	GZCR05
A dolgozat címe:	Kompakt, kísérleti hőtároló egység megvalósíthatóságának vizsgálata
A megjelenés éve:	2023
A konzulens intézetének neve:	Műszaki intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Járműtechnika tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év Október hó 29. nap



Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Zsámboki Péter (hallgató Neptun azonosítója: GZCR05) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom<sup>1</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>2</sup>

Kelt: Göteborg 2023 év 11 hó 03 nap

  
belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő aláhúzendó.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendó.