



INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
2023. november 22.

ÉPÍTETT ELEKTROMOS JÁRMŰ HŰTŐ-FŰTŐ EGYSÉGÉNEK RENDSZERINTEGRÁCIÓJA

**The system integration of a built-in electric vehicle
heating and cooling unit**

Készítette:

Szabó József (VC20QG)

Mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök, BSC

Nappali tagozat

Szent István Campus

Zsámboki Péter (GZCR05)

Gépészmérnök, MSC

Nappali tagozat

Szent István Campus

Témavezetők:

Dr. Bártfai Zoltán, egyetemi docens, tanszékvezető, Szent István Campus,
Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Dr. Kurják Zoltán, egyetemi docens, Szent István Campus, Műszaki Intézet,
Járműtechnika Tanszék

Lágymányosi Attila, egyetemi adjunktus, Szent István Campus, Műszaki Intézet,
Mérnökinformatikai Tanszék

Gödöllő

2023.

Tartalom

Bevezetés.....	3
1. Szakirodalmi áttekintés	4
1.1 Piaci kitekintés	4
1.2 Elektromos járművek hűtésére, fűtésére szolgáló megoldások.....	7
1.2.1 Hőszivattyús hűtőrendszer	7
1.2.2 Ellenállásos elven működő fűtési rendszer	8
1.2.3 Peltier-elem	9
1.3 A hőenergia-tárolásának alapelvei, követelményei és a hőátadás módszerei	10
1.3.1 Hőenergia tárolás.....	10
1.3.2 Hőtárolók tervezése.....	12
2. A hőtároló rendszer kialakításával kapcsolatos termodinamikai kérdések.....	13
2.1 A hőtárolás módszerei.....	13
2.2 Az érzékelhető hő tárolása	14
2.3 A fázisváltási hő tárolása.....	14
2.4 A fázisváltó anyagok csoportosítása	15
3. Az elektromos jármű klímaberendezésének koncepciója	18
3.1 Alapvető műszaki kritériumok	18
3.2 A kísérleti hűtő-fűtő berendezés rendszerterve	20
4. A kísérleti rendszer elemei.....	21
4.1 A járműben elhelyezendő klíma egység.....	21
4.1.1 Központi tartály.....	22
4.1.2 Belső hőtároló elemek (csöves hőcserélő)	24
Mérési módszer	24
4.1.3 Keringtető szivattyú	28
4.1.4 Fűtőradiátor	29
4.1.5 Szigetelés.....	29
4.2 A járművön kívüli hőenergia előállító és töltő egység.....	31
4.2.1 Funkció és szerkezeti elvek.....	31
Összefoglalás.....	40
Szakirodalom.....	41
Köszönetnyilvánítás	43

Bevezetés

Az utólagosan elektromossá átépített járművek esetében a karosszéria rendszerint nem rendelkezik megfelelően kialakított hellyel a hajtáshoz szükséges akkumulátorok számára, amelynek következtében a beépíthető akkumulátor kapacitás jellemzően 10 -20 kW/óra. Az ilyen jellegű „retrofit” járművekbe beépített elektromos hajtáslánc energiaátviteli hatásfoka rendszerint elmarad a modern, elektromos járművekre jellemző értéktől. Az alacsony akkumulátor kapacitás és az említett magas hajtásátviteli veszteségek miatt ezen járművek hatótávolsága jellemzően 80-150 km körül alakul. Amennyiben a jármű saját elektromos energiatároló rendszerét használjuk az utazási komfort érdekében pl. szezonálisan a fűtés, illetve a hűtés biztosításához, az tovább csökkenti az egy töltéssel megtehető utat.

Pályázatos kutatási projekt keretében a MATE Műszaki Intézetében egy hagyományos belsőégésű motorral szerelt gépjármű elektromos üzeművé alakításán dolgozunk. A műszaki fejlesztés kiterjed a hajtásrendszer átalakítására, valamint egyedi hűtő-fűtő rendszer tervezésére és megépítésére. Dolgozatunkban bemutatjuk az energiahatékonyság elveit szem előtt tartó, egyedi klímarendszer fejlesztését célzó projektmunkánk főbb koncepcionális kérdéseit, egy lehetséges pilot rendszer kialakítását, az alkalmazható hűtő-fűtő közegek előzetes hő-, és áramlástechnikai vizsgálata során szerzett tapasztalatokat, a rendszer működésével kapcsolatos kísérleti eredményeket.

Kutatómunkánk célja olyan alternatív megoldások vizsgálata, amelyek segítségével részben vagy teljes mértékben kiváltható a jármű saját elektromos energiaforrásának használata a megfelelő klímaviszonyok előállítására. A kísérleti fejlesztés során újszerű megközelítéssel egy olyan hűtő-fűtő rendszer alapjait kívánjuk kidolgozni, amely egy külső fali töltőegység segítségével nyeri az utazáshoz szükséges hőenergiát.

A fejlesztőmunka eredményeit folyamatos publikációs tevékenységgel is igyekeztünk nyilvánossá tenni, dolgozatunk összeállításához e megjelent szakmai munkák is hasznos segítséget adtak.

1. Szakirodalmi áttekintés

1.1 Piaci kitekintés

Az elektromos átépítés sajátossága, hogy olyan technológiákat kell ötvözni, melyek számos, egymástól jelentősen eltérő sajátossággal bírnak, továbbá fel kell készíteni egy, akár több évtizeddel ezelőtti konstrukciót a XXI. század kihívásainak történő megfelelésre. A villamos energia tárolásán és mozgási energiává alakításán kívül a járművek temperálása szintén kulcsfeladat, hiszen meghatározza az utazási komfortot, illetve a vezető koncentrációját, a munkavégzés során tapasztalható figyelem megoszlást jelentékenyen befolyásolja.

Az elektromos meghajtású járművek piaca jelentős átalakuláson megy keresztül. Nem kizárólag arról van szó, hogy az új járművek piacának abszolút mérete növekszik, hanem arról is, hogy ezen méretnövekedés számos új, korábban nem létező szegmens létrejöttét eredményezi. A környezetvédelmi és energiahatékonysági szempontok előretörése megnyitotta az utat a közúti járművek elektromossá alakítása előtt, az ugyanis már nem kizárólag elszigetelt jelenség, hanem sok esetben gazdasági érdekek által vezérelt piaci magatartás, sőt, számos esetben jól átgondolt üzleti terveken alapuló működés.

Bártfai et. al (2022) rendszerező áttekintést ad az elektromobilizáció alakulásáról, a szakterületen tapasztalható főbb trendekről, amelyek a világ technológiai váltását eredményező meghatározó megatrendek által determináltak. Cikkükben a szerzők hangsúlyozzák, hogy az Európai Unió (EU) gazdaságának egyik fontos hajtóereje az autóipar, amely a GDP-jének 8%-kát adja, és 14,6 millió munkahelyet biztosít a régióban. 13 millió európai dolgozik az autóiparban (közvetlenül és közvetve), ami az összes uniós munkahely 7%-a. A gépjárművek 374,6 milliárd eurónyi adóbevételt jelentenek a kormányok számára a kulcsfontosságú európai piacokon és 79,5 milliárd euró kereskedelmi többletet termelnek az EU számára. Évente 58,8 milliárd eurót a K+F-be fektetve az autóipar Európa legnagyobb innovációs magántámogatója, amely a teljes uniós kiadás 32%-át teszi ki. Mindezekkel együtt azonban a közlekedés az egyetlen szektor, ahol a károsanyag-kibocsátás folyamatosan növekszik: a közúti járművek az EU szén-dioxid-kibocsátásának 21%-áért felelős.

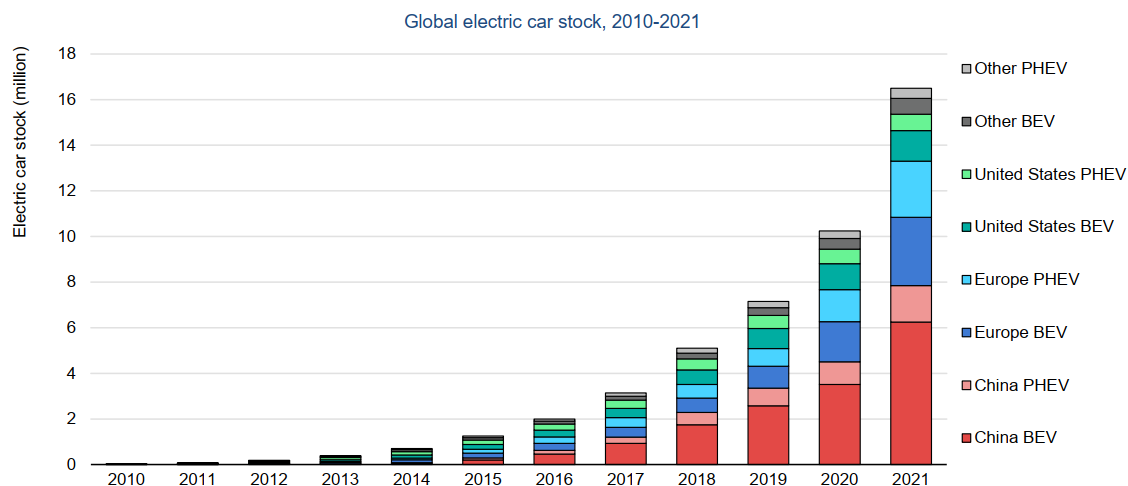
Az elmúlt években jelentősen megváltozott az autópiac összetétele. Amíg 2012-ben az összes eladott autónak mindössze 0,17%-a volt elektromos, ez az arány öt év múlva 1,36%-ra ugrott,

majd még gyorsabb növekedésnek indult: 2019-ben 2,5%-on, 2020-ban 4,11%-on, tavaly pedig már 8,57 %-on állt. Kínában 16, Európában 17 % volt az elektromos autók aránya az összes eladott autó között 2021-ben, de országonként nagyon eltérők az adatok. Norvégiában 86, Svédországban 43, míg Spanyolországban csak 9 %-os eladási arányt értek el a villanyautók, a legtöbb elektromos modellt pedig a 25%-os arányban (a vásárlóknak jelentős állami támogatásokat biztosító) Németországban adták el Európában.

Két év alatt a háromszorosára nőtt a globálisan értékesített elektromos autók száma: a Nemzetközi Energia Ügynökség jelentése szerint 2019-ben 2,2 milliót, 2021-ben már 6,6 milliót adtak el belőlük, és ennek a felét Kínában. 2021-ben a globális autóeladások közel 10%-a volt elektromos, ami a 2019-es piaci részesedés négyszerese. Ezzel a világ útjain közlekedő elektromos autók száma elérte a 16,5 milliót. A Covid-19 világjárvány és az orosz-ukrajnai háború megzavarta a globális ellátási láncokat, és az autóipart is súlyosan érintette.

A közeljövőben az elektromos járművek szállításának késése az ügyfelek számára egyes piacokon visszafoghatja az eladások növekedését. Hosszabb távon azonban a közlekedés villamosítására irányuló kormányzati és vállalati erőfeszítések szilárd alapot biztosítanak az elektromos járművek értékesítésének további növekedéséhez.

A hivatalos becslések azt feltételezik, hogy 2030-ban a világszerte eladott járművek több mint 30%-át az elektromos autók teszik majd ki.



1. ábra Elektromos autók piaci részesedése

Forrás: International Energy Agency (IEA)

A személyautók forgalomba helyezése Magyarországon is mérséklődött az elmúlt időszakban. Nálunk mindössze 4,4% a villanyautók aránya az új autók értékesítésében, amely jelentősen elmarad Nyugat-Európához viszonyítva. (Németországban például az újautó eladások 13,4%-át, Franciaországban 11,9%-át, az Egyesült Királyságban pedig 15,4%-át adták a tisztán elektromos modellek.)

1. Táblázat Elektromos autók arányának alakulása

Forrás: villanyautosok.hu

Tisztán elektromos autók arányának változása

	2021. Q1	2022. Q1	2019	2020	2021
Új személyautó eladások [db]	32 194	28 690	157 909	128 030	121 920
Tisztán elektromos [db]	502	1 272	1 833	3 047	4 311
Villanyautók aránya [%]	1,6	4,4	1,2	2,4	3,5

Nem szabad figyelmen kívül hagyni a hagyományos üzemű és az elektromos autók költségviszonyainak eltéréseit sem. A villanyautók fenntartási költségei alacsonyabbak a hagyományos gépjárművekénél, ám még mindig nagyon drágák. A flottakezeléssel foglalkozó LeasePlan 13 európai országra kiterjedő tanulmányában vizsgálta, hogy hosszú távon mennyibe kerül a villanyautók fenntartása a hagyományos modellekhez képest. A tanulmányból kiderül, hogy az elektromos autók szervizelésére az első 5 évben átlagosan 23%-kal kell kevesebbet költeni, ami igen jelentős különbség és az idő előrehaladtával még nagyobb lehet a differencia. Mégis, a legkomolyabb megtakarítást a fenntartás területén az üzemanyagköltségekkel lehet elérni.

A mai üzemanyag árak mellett egy hagyományos autóval 3-4000 Ft költséget jelent 100 kilométer megtétele, elektromos autóval ugyanezt a távolságot akár 7-800 Ft-ból is meg lehet tenni, ha valaki otthon tudja tölteni az autóját. A publikus töltőt használva is csupán feleakkora összeget kell fizetni száz kilométerenként, mint a többieknek. Ezen adatok a jelenlegi helyzetben dinamikusán változnak, azok vizsgálatára, elemzésére és előrejelzésére folyamatosan szükség van, azonban az elektromos meghajtás, mint technológia határfok-előnye mindenképp megmutatkozik az üzemeltetési költségekben.

Az évek múlásával és a futásteljesítmény növekedésével egyre jobban kidomborodik az elektromos autók árelőnye még úgy is, hogy a magasabb vételáruk miatt eleve jelentős hátrányból indulnak. Számításba véve az autók összes bekerülési-, szerviz-, üzemanyag-, gumizási-, biztosítási- és üzemanyagköltségeit is, megállapítható, hogy a villanyautók már akár három év és 20.000 kilométer megtétele után olcsóbbak lehetnek a belső égésű motorral szereltekénél.

Egy elektromos jármű alkotóelemei normál üzemi viszonyok mellett kevés hulladékhőt termelnek, mivel hatásfokuk jellemzően 90% felett van. A legnagyobb mennyiségben az akkumulátoroknál és a motoroknál keletkezik felesleg hőenergia. Az akkumulátorok töltése, valamint kisütése során kémiai energia alakul elektromossá. Az elektromos motorok esetén pedig elektromos energia konvertálódik forgó mozgássá, tehát mechanikai energiává. Ezek egy megfelelő hőszivattyús rendszerrel felhasználhatóak az utastér fűtésére is. (Bártfai et. al., 2022).

1.2 Elektromos járművek hűtésére, fűtésére szolgáló megoldások

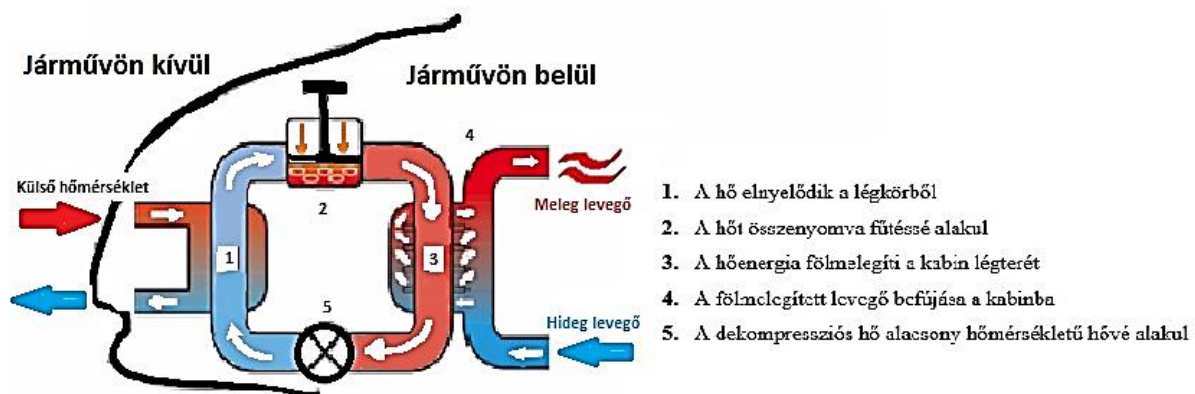
1.2.1 Hőszivattyús hűtőrendszer

Az alábbiakban Bártfai et. al. (2022) rendszerező áttekintésére hagyatkozva bemutatjuk az elterjedt, gyakorlatban is alkalmazott hűtő-fűtő rendszer megoldásokat. Az elektromos autókban általában hőszivattyú látja el a fűtési feladatokat. A hőszivattyú egy olyan kalorikus gép, amely alacsonyabb hőmérsékletű közegből képes energiát kivonni majd azt egy melegebb közegben leadni, befektetett munka ellenében. Ez a körfolyamat megfordítható. A legtöbb autóban megtalálható klíma rendszer is ezt a termodinamikai elvet hasznosítja.

Egy alacsony teljesítményű villanymotor egy kompresszort hajt meg, amely összenyomja a csövekben lévő gáz halmazállapotú anyagot, amely ettől felmelegszik. A meleg gáz hőjét átadja a meleg oldali hőcserélőn keresztül a levegőnek, ezáltal a gáz lehűl, és sok esetben a nagy nyomáson fázisváltáson megy keresztül (folyékony halmazállapotba lép át). A fluidum ekkor egy elektronikusan vezérelt szelepen keresztül átkerül egy alacsony nyomású térbe, a hideg oldali hőcserélőbe, ahol elpárolog és újra gázhalmazállapotot vesz fel. A párolgás következtében hőmérséklete lecsökken, és a hideg oldali hőcserélőt lehűti.

A hőcserélőkről a magas illetve az alacsony hőmérsékletű légtömeg ventilátorok segítségével jut az utastérbe. A hőszivattyús hűtő és fűtő rendszer teljesítményét befolyásolja a kompresszort

meghajtó villanymotor teljesítménye, valamint a hőcserélők hőleadó felülete. A hőszivattyú működését szemlélteti a **2. ábra**.



2. ábra Hőszivattyú működése

Forrás: <https://mobile.engineering.com/amp/19649.html> alapján saját szerkesztés

A klímaberendezés hőközlési irányának megfordítását útváltó szelepek és egy elektronikus vezérlő egység végzi. A költségek tekintetében egy ilyen rendszer létesítése magasabb ráfordítást kíván a fűtőszálas megoldásnál.

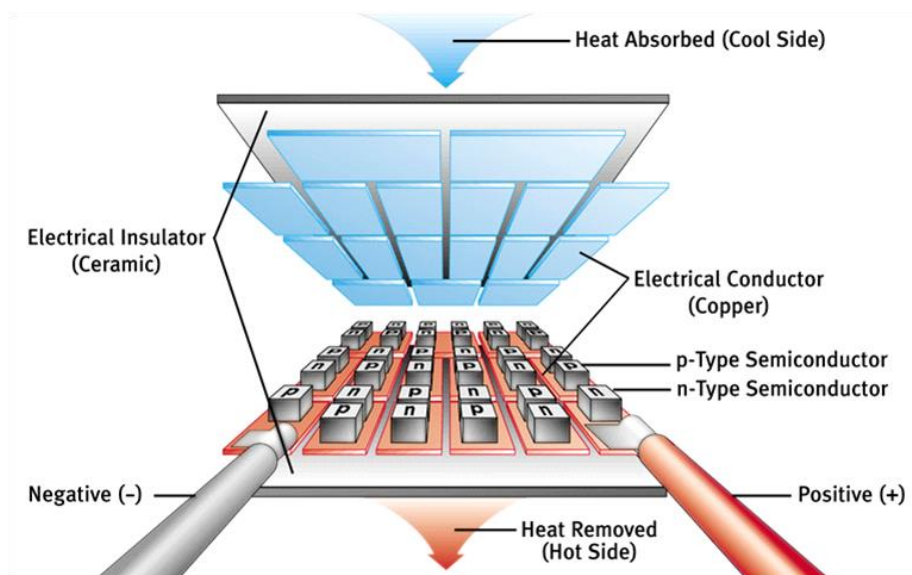
1.2.2 Ellenállásos elven működő fűtési rendszer

A hőszivattyús rendszereknek is meg vannak a saját korlátjai, ezért $-20-30^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet alatt már beindul egy segédfűtés amely működése ellenállásos elven működik. Ilyenkor egy PTC fűtőelem vagy az úgynevezett “cekászos” megoldás lép életbe. A PTC (Positive Temperature Coefficient) elemek olyan speciális kerámia félvezetők melyek ellenállása a hőmérsékletük változásával közel egyenesen arányos. Ezen tulajdonságuk miatt nem képesek túlmelegedésre és ezáltal tűz okozására.

Ezért alkalmazzák e megoldásokat, többek között dízel és elektromos autók, kiegészítő vagy teljes értékű fűtésre is. A fűtőszálas fűtés szintén hasonló elven működik viszont az a feszültség növekedésével képes a túlmelegedésre, felizzásra így akár tűz okozására is. Ez a megoldás, amennyiben a hajtás rendszer energiaforrását használja, csökkenti a megtehető hatótávolságot a jelentős áramfogyasztása miatt.

1.2.3 Peltier-elem

A Peltier elem (3.ábra) olyan termoelektronikus elem, amely a rajta átfolyó áram hatására jelentős hőmérsékletkülönbséget képes a hideg, valamint meleg oldal között létrehozni. Hatásfoka megközelíti a hagyományos értelemben vett hőszivattyúk hatásfokát. Az ilyen termoelem kialakítása oly módon történik, hogy a modul mindkét oldala érintkezzen akár p-n, akár n-p csatlakozással (a polaritástól függően). A modulra egyenáramú feszültséget kapcsolva a kerámia fegyverzetei közül az egyik melegszik, míg a másik lehül, így az egyikről a másikra hő-energiát pumpál át.



3. ábra Peltier elem felépítése

Forrás: <https://jrogel.com/peltier-effect-sci-advent-day-13/>

A 3. ábrán ismertetett főbb szerkezeti elemek magyar megnevezései:

Heat absorbed (cool side): Elnyelt hő (hideg oldal)

Heat removed: Átadott hő (meleg oldal)

Electrical conductor: elektromos vezető (réz)

Electrical insulator: elektromos szigetelő (kerámia)

p-típusú félvezető

n-típusú félvezető

1.3 A hőenergia-tárolásának alapelvei, követelményei és a hőátadás módszerei

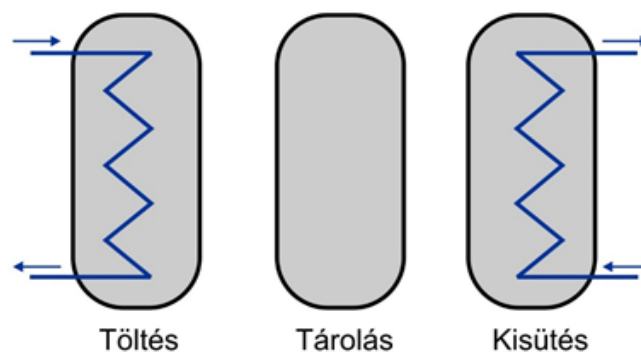
1.3.1 Hőenergia tárolás

A hőenergia-tárolás lehetővé teszi a hő-, és a hidegenergia tárolását annak későbbi felhasználás céljából. A hőenergia tárolása biztosítani tudja a hatékony hőenergia felhasználását azon esetekben is, amikor az energiatermelés és felhasználás nem ugyan abban az időben, helyen, hőmérsékleten, illetve teljesítményen történik.

Az alapelv minden hőenergia tároló rendszer alkalmazásban megegyezik. Az energiát egy tároló rendszerbe juttatjuk, hogy azt később kivegyük és felhasználjuk. A teljes folyamat három lépést foglal magában **(4. ábra)**:

- töltés,
- tárolás és
- kisütés.

A gyakorlatban alkalmazott rendszerekben az egyes lépések egyszerre is előfordulhatnak, és minden egyes lépés többször is megismétlődhet a tárolási ciklus során.



4. ábra A hőenergia tároló rendszer részei: töltés, tárolás, kisütés

Forrás: saját szerkesztés

A hőtároló rendszerek típusának és kiválasztása során számos tényezőt kell figyelembe venni, amelyek közül az egyik kulcsfontosságú kérdés a rendszer hőtéljesítménye. A megfelelő rendszer kiválasztása azonban számos más tényezőtől is függ, mint például a gazdaságossági megfontolások, a műszaki és a környezeti feltételek.

A hőtárolási rendszerek két nagy csoportba sorolhatók:

1. Aktív vagy
2. Passzív rendszerek.

Az aktív tárolórendszert elsősorban a tároló anyagon belüli kényszer konvekciós hőátadás jellemzi. Az aktív rendszerek egy vagy két tartályt használnak a közeg tárolására. Az aktív rendszerek tovább oszthatók közvetlen és közvetett rendszerekre. Közvetlen rendszerben a hőátadó közeg tárolóközegként is szolgál, ezzel szemben a közvetett rendszerben egy második közeget használnak a hő tárolására.

A passzív tárolórendszerek általában két közeges tárolórendszerek: a hőátadó közeg csak egy szilárd anyag feltöltésére és kisütésére halad át a tárolón.

A TES-rendszer (Hőenergia Tároló Rendszer, avagy angol nevén Thermal Energy Storage) költségei főleg a hőtároló anyagtól, a rendszer feltöltéséhez és kisütéséhez szükséges hőcserélőtől függenek.

Műszaki szempontból a legfontosabb követelmények a következők:

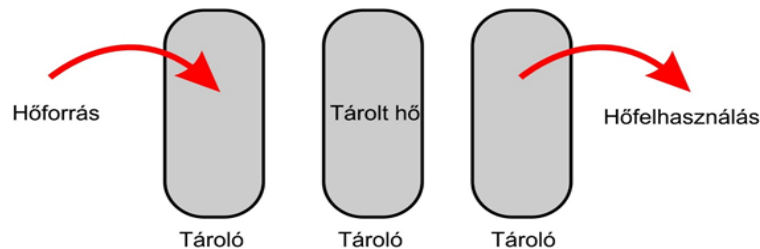
- Magas energiasűrűség a hőtároló anyagban (hőtároló kapacitás),
- Jó hőátadás a hőátadó közeg és a tárolóközeg között (hatékonyság)
- A tárolóanyagok mechanikai és kémiai stabilitása (több töltési-kisütési ciklust kell teljesíteni)
- Kompatibilitás a hőátadó közeg, a hőcserélő és/vagy a hordozó közeg között (biztonság)
- A töltési-kisütési ciklusok teljes átalakulásának biztosítása (élettartam)
- Alacsony hőveszteség
- Könnyű vezérlés

A technológia szempontjából a legfontosabb tervezési kritériumok a következők:

- Működési stratégia
- Maximum terhelés
- Névleges hőmérséklet és entalpia csökkenés a terhelés során
- Integráció a teljes rendszerbe

1.3.2 Hőtárolók tervezése

Az 5. ábra a hőtárolás alapvető működési folyamatát mutatja: a hőforrás által szolgáltatott hőt vagy hideget átvisszük a hőtárolóba, tároljuk a tárolóban, majd később az igényeknek megfelelően továbbítjuk a felhasználási helyre.



5. ábra A hőtárolás alapvető működési folyamata

Forrás: saját szerkesztés

Minden hőtárolási feladat számos határfeltételt határoz meg, amelyeket alaposan meg kell vizsgálni. Ezek közül a legfontosabbak:

- Hőmérsékleti szempontok: a fűtőközeg hőmérsékletnek magasabbnak vagy egyenlőnek kell lennie a tároló hőmérsékleténél, illetve a felhasználási hőmérsékletnél.
- A kívánt teljesítmény szempontjából: egy adott idő alatt átadott hőmennyiségnek meg kell egyeznie mind a töltés, mind pedig a kisütés során.
- Egyes alkalmazásokban figyelembe kell venni a hőátadó közeget és annak áramlási viszonyait szabad vagy kényszer konvekció esetén.

Mehling és Cabeza (2008) szerint a tárolórendszerek tervezése során három alapvető lehetőség van a rendszer kialakítása szempontjából. Az első az, amikor a hő hőátadással cserélődik ki a tároló felületén. Ez tulajdonképpen egy tipikus hőátadási probléma, amelyben a tárolótartály felületén létrejövő hőátadási ellenállás a fő paraméter. Az ilyen típusú hőátadási forma esetén figyelembe kell venni a hővezetési ellenállást és a szabad- vagy kényszer konvekciós folyamatok sajátosságait is.

A második esetben egy hőcserélőt használnak a hőszállító és a tároló anyag közötti hőcsere megvalósítására. Ez a megoldás jelentősen növeli a hőátadó felület nagyságát és ezzel a

hőátadás intenzitását is. A felület egyes esetekben tovább növelhető különböző kialakítású bordázat segítségével.

A harmadik megoldás talán a legegyszerűbb, amely során a hőtároló közeg egyben a hőszállító közeg is. Fontos megjegyezni, hogy a rendszer működése során a hő felhasználásával a hordozóközeg egy része is távozik, tehát annak folyamatos pótlását is meg kell oldani. Ebben az esetben a hőátadás alapvetően konvekcióval történik.

2. A hőtároló rendszer kialakításával kapcsolatos termodinamikai kérdések

A projektben szereplő cél megvalósításakor termodinamikai szempontból is többféle kihívással kerültünk szembe. A legfontosabb kérdés egyrészt az volt, hogy hogyan lehet a lehető legnagyobb mennyiségű hőt a rendelkezésre álló térfogatban eltárolni, másrészt a hogyan lehet ezt a legkisebb veszteséggel felhasználni az utastér hűtésére/fűtésére. Ehhez a számos hőtároló anyagot és módszert tanulmányoztunk, ami alapján meghatározhattuk a végleges kialakítást. Kutatási eredményeinket a szakmai közönséggel megosztottuk cikkünkben (Bártfai et. al., 2022).

2.1 A hőtárolás módszerei

Az energia tárolása megvalósítható megfordítható fizikai vagy kémiai folyamatok segítségével, amelyek egyik irányban hő felvevők (endoterm), a másik irányban hő leadók (exoterm). Ez a folyamat megvalósítható egy anyag hűtésével, melegítésével, olvasztásával, megszilárdításával vagy elpárologtatásával, és a tárolt hőenergia visszanyerhető, amikor ezeket a folyamatokat megfordítjuk.

A hőtároló anyagokat ez alapján különböző csoportokba sorolhatjuk:

- Érzékelhető hő formájában (szenzibilis) történő tárolás,
- Látenshő tárolás, ezen belül lehetséges:
 - Szorpciós folyamat segítségével,
 - Kémiai energia formájában,
 - Fázisátalakulás segítségével (szilárd-folyadék, szilárd-szilárd, szilárd-gáz, folyadék-gáz).

2.2 Az érzékelhető hő tárolása

Az érzékelhető hő tárolása a hő- és hidegtárolás egyik leggyakoribb módszere. Az érzékelhető hő tárolása során az energiát egy tároló közeg, például víz, levegő, olaj, kő, tégl, beton vagy homok hőmérsékletének megváltoztatásával tárolják. A tárolórendszerbe bevezetett energia mennyisége arányos a hőmérsékletváltozással, a tárolóközeg tömegével és a tárolóközeg hőkapacitásával.

Minden közegnek vagy anyagnak megvannak a maga előnyei és hátrányai, de kiválasztása általában a hőkapacitás és a tárolásra rendelkezésre álló hely alapján történik. Az anyagban tárolt hőmennyiség a következőképpen fejezhető ki:

(1)

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

ahol: m : a tárolóközeg tömege [kg],

c_p : a tárolóközeg fajhője [kJ/kgK],

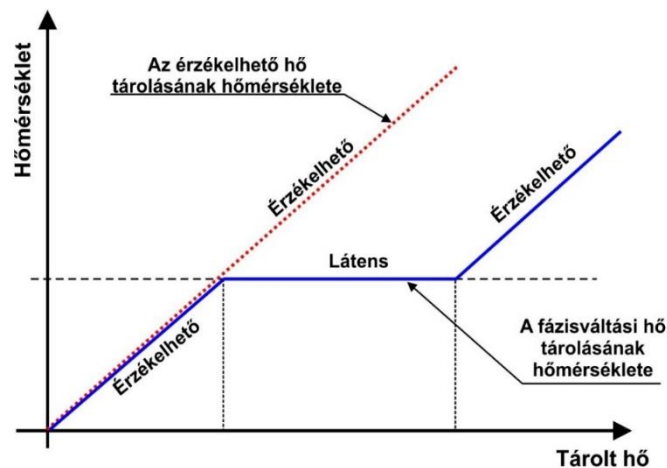
T : a hőmérséklet [K],

V : a tárolóközeg térfogata [m³],

ρ : a tárolóközeg sűrűsége [kg/m³],

2.3 A fázisváltási hő tárolása

Amikor egy anyag hőt tárol a fázisátalakulás során, a hő látens hőként tárolódik. Az olvasztással és megszilárdulással járó szilárd-folyékony fázisváltási folyamat megfelelő anyag kiválasztása esetén nagy mennyiségű hő- vagy hidegenergiát képes tárolni. A látens hő tároló rendszerek alkalmazása tömegegységre vonatkoztatva nagy energiatárolási sűrűséget képes biztosítani, kvázi-izoterm körülmények mellett. Ez azt jelenti, hogy olyan speciális felhasználások során, ahol a hőmérséklet-tartomány fontos, például érzékeny hőmérsékletű termékek szállításánál, a fázisváltó anyag alkalmazása előnyösebb, mivel az terméket a fázisváltó anyag fázisátalakulási hőmérsékletének megfelelő állandó hőmérsékleten tudja tárolni. Ez az egyik legfontosabb különbség az érzékelhető és a fázisváltási hőt tároló rendszerek között **(6. ábra)**.



6. ábra Az érzékelhető és a fázisváltási hőt tároló rendszerek hőmérsékleti viszonyai

Forrás: saját szerkesztés

Egy adott hőmérsékleti tartományban fázisváltó anyaggal tárolható hő számítása a következő összefüggéssel határozható meg: (2)

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

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]

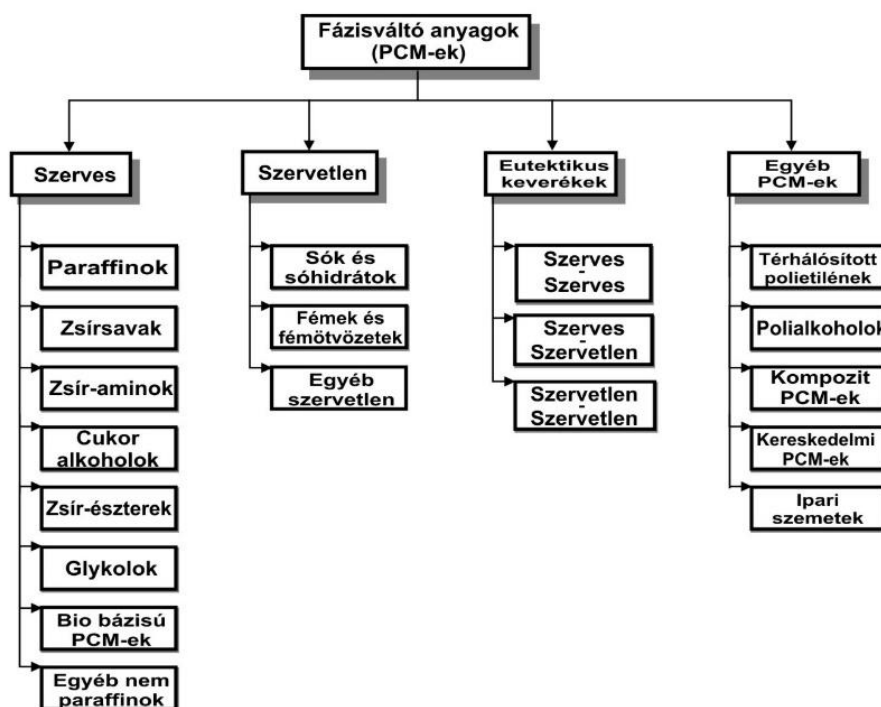
ΔH_{fv} : a tárolóközeg látenshője. [kJ]

A két tárolási rendszer közötti különbségeket figyelembe véve mind a fűtési, mind a hűtési feladatra fázisváltáson alapuló hőtároló rendszer kialakítását választottuk. A fázisváltó anyag kiválasztásakor számos egyéb szempont mellett figyelembe vettük a rendszer működési paramétereit, a kívánt hőtéljesítmény értékét, és a beszerezhetőséget is.

2.4 A fázisváltó anyagok csoportosítása

A fázisváltó anyagokat általában két nagy csoportra szokás osztani: szerves- és szervetlen anyagok. A szervetlen vegyületek térfogati látens hőtároló kapacitása hozzávetőleg kétszerese a szerves vegyületeknek.

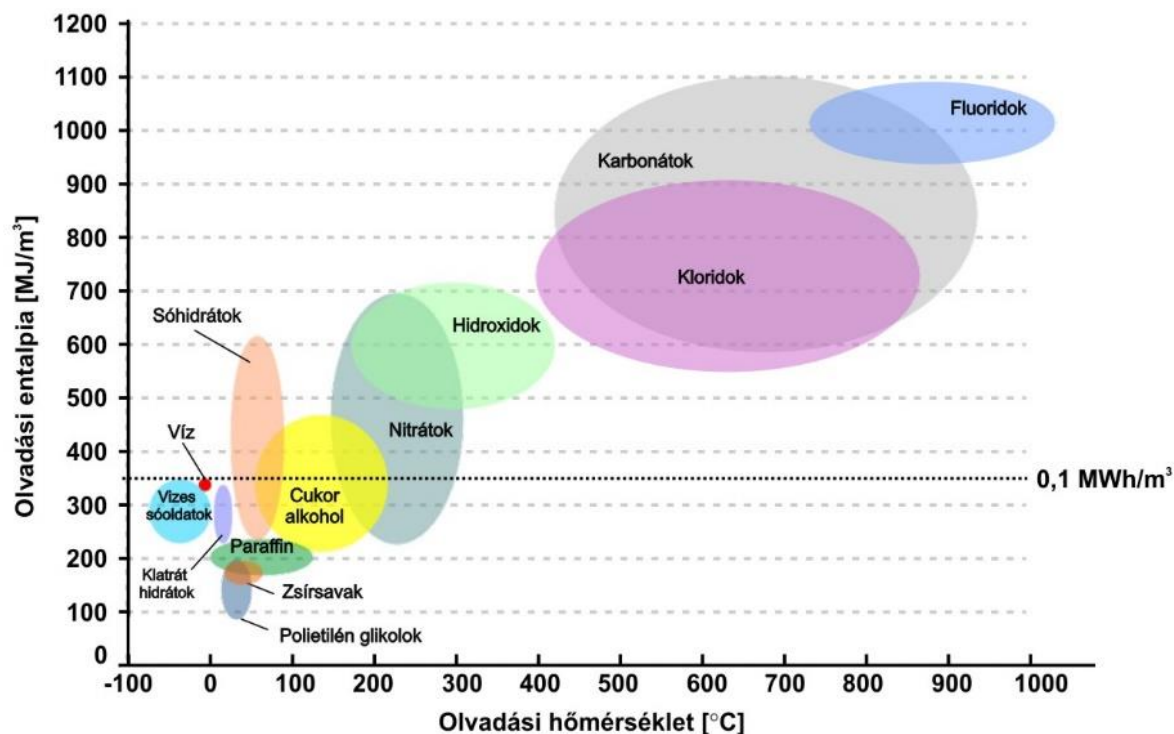
A szerves anyagok azonban fontos hőtároló közegként szolgálhatnak, mivel természetes tulajdonságaik sok esetben előnyökkel járhatnak, mint pl. nem mérgezőek nem korrozívak, ezért környezetbarát anyagok. Az alkánok és a paraffin az utóbbi kategóriába tartoznak. A **7. ábrán** különféle fázisváltó anyagok általános csoportosítását láthatjuk.



7. ábra Fázisváltó anyagok csoportosítása

A **7. ábrán** az egyes fázisváltó anyagcsoportok fázisváltási entalpiája és hőmérséklet jellemzői láthatóak. A legismertebb és a leggyakrabban használt PCM a víz, amelyet már régóta használnak hűtőtárolásra. A 0 °C alatti hőmérsékletek esetén vizes sóoldatokat, 0 és 130 °C közötti hőmérsékleten paraffinokat, sóhidrátokat, zsírsavakat és cukoralkoholokat, míg a 150 °C feletti hőmérséklet esetén sókat és egyéb szervetlen anyagokat használnak. A látens hőtárolásban alkalmazott anyag kiválasztása nem könnyű, mivel számos szempontnak kell megfelelni. Ezek közül általában a legfontosabb az anyag beszerezhetősége és költsége. Ezen felül szempont lehet még az anyag fizikai és kémiai tulajdonsága (pl. fázisválasztás, az aláhűtés folyamata, a korróziós hatás, a hosszú távú stabilitás, a hővezető képesség).

A fenti tulajdonságok és szempontokat figyelembe véve a választásunk két eltérő olvadáspontú paraffin származékra esett, amelyek fázisváltási hőmérsékletei megfeleltek a hideg és melegenergia tárolási hőmérsékleti szintjeinek.



8. ábra A fázisváltó anyagcsoportok fázisváltási entalpiája és hőmérsékleti jellemzői

Forrás: Saját szerkesztés

Kutatómunkánk során a fenti alapelvek szem előtt tartásával definiáltuk egy lehetséges hűtő-fűtő rendszer koncepcióját, és állítottuk össze a berendezés rendszertervét. Elképzelésünk szerint a rendszer két fő egységből áll, és ezek együttműködésével valósítható meg a jármű fűtése, vagy hűtése. Az egyik főegység a járműben elhelyezett hűtő-fűtő modul, amely a hideg, illetve a meleg energiát a másik főegységtől a járművön kívül (pl. a gépjárműtárolóban elhelyezett) töltőegységtől kapja. A külső egység a működéséhez hálózati feszültséget használ. Ezzel elérhető, hogy a klimatizálás energiaigényét ne a jármű hajtására szolgáló akkumulátor biztosítsa. A megoldás lehetőséget teremt az elektromos jármű hatótávolságának növelésére a kívánt utastéri hőmérséklet biztosítása mellett.

A dolgozat következő részében bemutatjuk a kísérleti hűtő-fűtő rendszer elemeit és azok működését.

3. Az elektromos jármű klímaberendezésének koncepciója

3.1 Alapvető műszaki kritériumok

Az elektromos járművek egyik jelentős hátránya, hogy az utas- és raktér megfelelő felfűtéséhez, vagy lehűtéséhez nagy mennyiségű energia felhasználására van szükség, amely a meghajtásért felelős akkumulátorokkal biztosítható. Azonban az utólagosan átépített jármű tömege nem növelhető szabadon. A temperáláshoz szükséges energia nagymértékben csökkenti a járművek hatótávolságát, mivel a meghajtástól veszi el az energiát. Így a klímarendszert kiszolgáló energiaforrást praktikusán a járművön kívül kell elhelyezni. Ez volt kutatómunkánk indíttatása.

A projekt keretében olyan folyadék alapú moduláris temperáló egységet fejlesztünk, amely az elektromos meghajtástól független rendszert alkot, ezáltal a jármű hatótávolságát érdemben nem csökkenti, azonban alkalmas az utas- és raktér hűtésére és fűtésére.

A kutatómunka során egyedi fejlesztésű rendszerelemek kerülnek kialakításra, illetve a kereskedelmi forgalomban beszerezhető alkotóelemekkel való integrálásra, többek közt:

- hűtő-fűtő közeg tartálya,
- energiatároló-, és közlő folyadék,
- szigetelés,
- hőcserélő,
- töltő egység
- vezérlő rendszer.

A laboratóriumi körülmények között és egy kísérleti céllal átalakított elektromos tesztautóban kvázi üzemi körülmények között megvalósul a rendszerintegráció. A fejlesztés eredményei hasznosíthatóvá válnak az eredetileg belsőégésű motorral gyártott, de átépített személygépjárművekben. A kifejlesztett rendszer megoldást kínálhat az áruszállítás területén is az egyre terjedő elektromos üzemű tehergépkocsik klimatizálásához.

Egy gépjármű klímaberendezésének tervezése során számos kritériumnak kell megfelelni, hogy a rendszer műszakilag megbízhatóan és üzemszerűen biztonságosan működhessen.

1. Hőkomfort: A légkondicionáló rendszernek olyan tartományban kell tartania a hőmérsékletet és a páratartalmat, amely komfortos a járműben ülők számára.
2. Levegőminőség: A légkondicionáló rendszernek friss, tiszta levegőt kell biztosítania, és ki kell szűrnie a szennyező anyagokat, allergéneket és szagokat.
3. Energiahatékonyság: A légkondicionáló rendszer lehetőleg alacsony teljesítményigényű legyen, miközben biztosítja a kívánt hőkomfortot és levegőminőséget. A rendszernek megfelelő hőszigeteléssel kell rendelkeznie
4. Alacsony zajszint: A légkondicionáló rendszernek minimális zajjal kell működnie, hogy ne zavarja a járműben ülőket.
5. Tartósság: A légkondicionáló rendszert úgy kell megtervezni, hogy ellenálljon a jármű környezete esetleges zord körülményeinek, beleértve a vibrációt, a hőmérséklet-változásokat és a port.
6. Költséghatékonyság: A rendszer előállítása és karbantartása költséghatékony legyen.
7. Rendszerintegráció: A légkondicionáló rendszert úgy kell integrálni a már meglévő járműbe, hogy támogassa a járműben rendelkezésre álló hely optimális kihasználását, és legyen képes együttműködni más rendszerekkel.
8. Vezérlés és felügyelet: A légkondicionáló rendszernek tartalmaznia kell kezelőszerveket az utasok számára a hőmérséklet, a ventilátor fordulatszám (légsebesség), és a légáramlás beállításához, valamint felügyeleti rendszereket az esetleges meghibásodások észlelésére és diagnosztizálására.

A kísérleti hűtő-fűtő rendszer tervezése során a fenti kritériumok mellett, további szempontokat foglalmaztunk meg. Az európai éghajlat időjárási jellemzőit alapul véve az üzemeltetés során a maximális hőmérséklet 35 – 40 °C, a minimális hőmérséklet -15 és -20 °C között alakul. A járművek utasterében az ideális hőmérséklet 20-25 °C, tehát a tervezett rendszernek képesnek kell lennie a hőmérséklet különbségek leküzdésére a lehető legrövidebb idő alatt. Tervezési szempont, hogy az egy töltéssel megtehető üzemidő során a klímarendszer csak a vezérléshez szükséges energiát használja fel a jármű akkumulátoraiból. Az üzemidőt a jellemző városi használat idejét alapul véve 30 percben határoztuk meg, ez általában elegendő lehet egy kisebb településen az otthon és a munkahely közötti távolság megtételéhez.

Fűtés esetén a jármű vagy a felépítmény falain át távozó hőmennyiségnél többet kell, hogy képes legyen leadni a rendszer az egy töltéssel elérhető maximális üzemidő során. Ugyanez érvényes a hűtési üzemállapotra is. Mindkét esetben a külső és belső hőmérséklet közötti különbségből, valamint a falat felépítő rétegek anyagi tulajdonságai alapján határozható meg a beépítendő hűtő és fűtő teljesítmény.

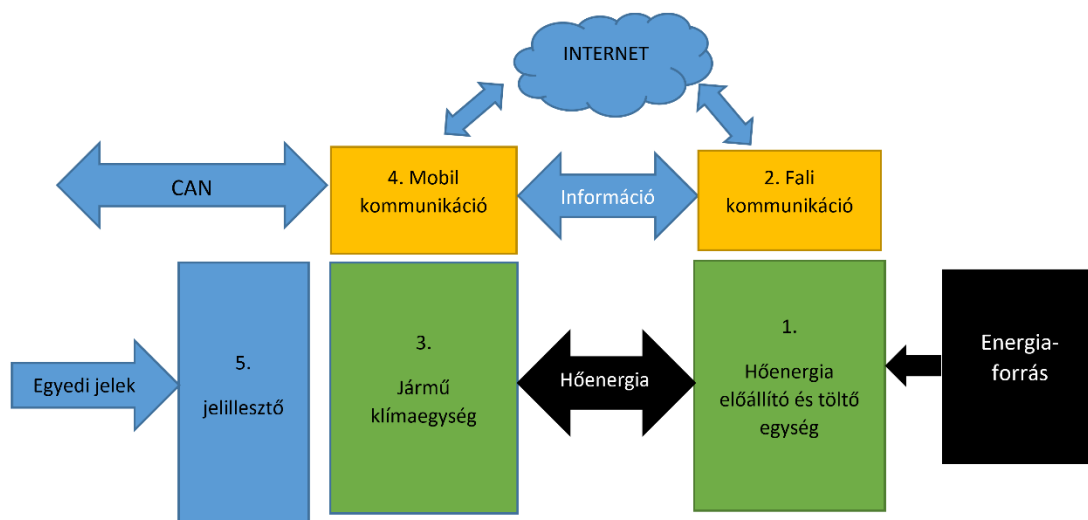
3.2 A kísérleti hűtő-fűtő berendezés rendszerterve

Az úgynevezett „retrofít” rendszer tervezésénél elengedhetetlen szempont a rendszerintegráció, mivel egy meglévő, működő járműbe kell az újonnan fejlesztett egységet telepíteni. Az egyes rendszerelemek kiválasztási szempontjainak meghatározásához rendszertervet készítettünk.

A hűtő-fűtő rendszer alapvetően két alrendszerből áll:

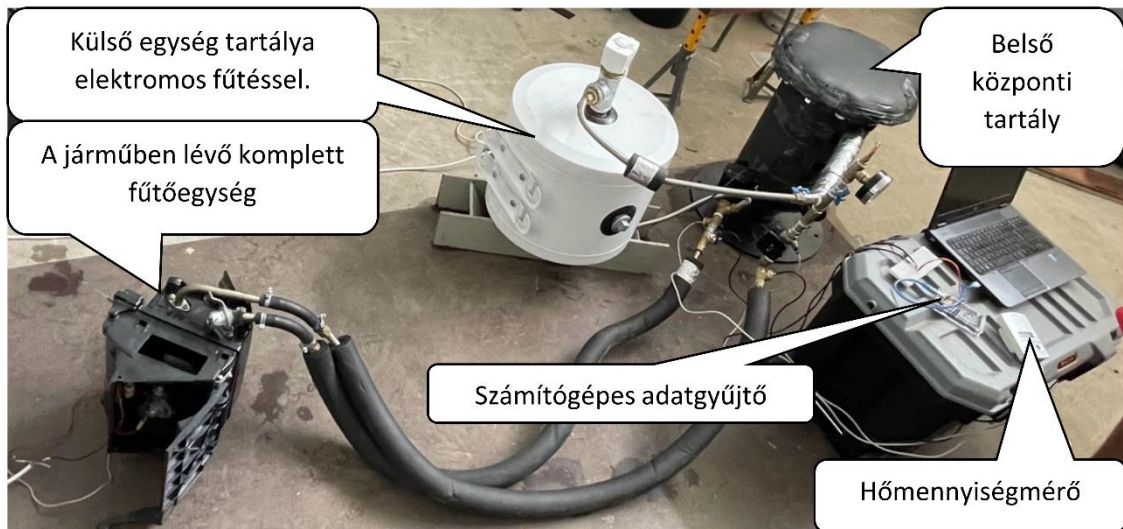
- I. A járművön kívüli hőenergia előállító és töltő egység
- II. A járműben elhelyezendő klíma egység

A **9. ábra** az új fejlesztésű hűtő-fűtő rendszer koncepcióját szemlélteti.



9. ábra Elektromos járművekhez tervezett hűtő-fűtő rendszer koncepciója

A **10. ábrán** az összeállított kísérleti hűtő-fűtő rendszer látható a főbb szerkezeti egységek kapcsolódásaival.

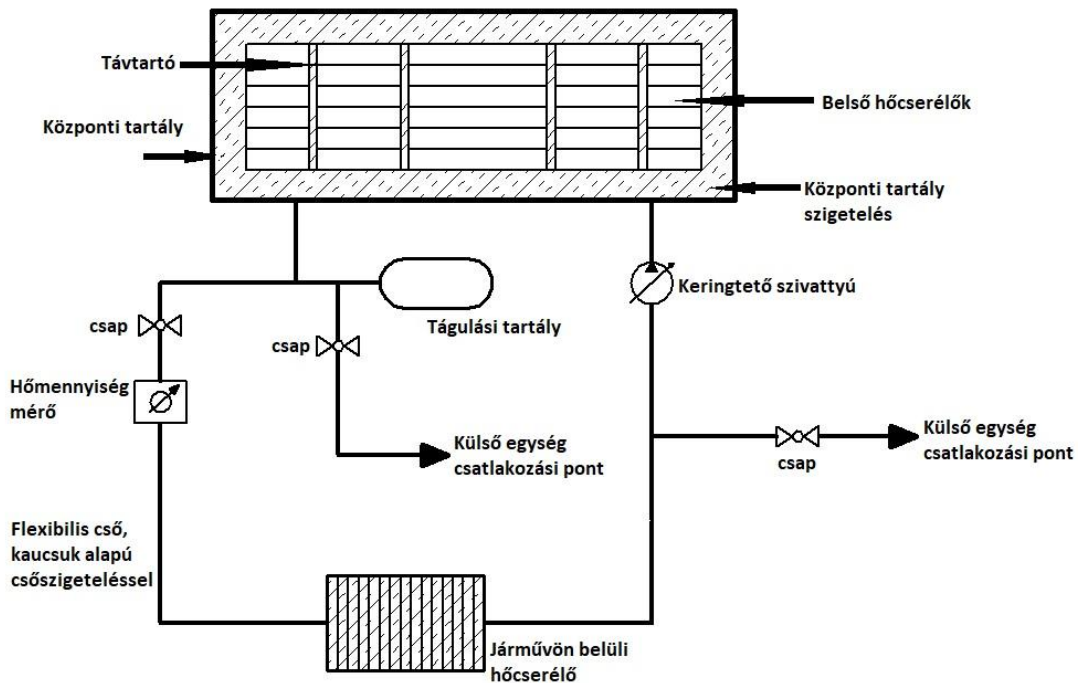


10. ábra Az összeállított kísérleti hűtő-fűtő rendszer

4. A kísérleti rendszer elemei

4.1 A járműben elhelyezendő klíma egység

A **11. ábra** szemlélteti a járműben elhelyezendő klíma egységet, mint a kísérleti hűtő-fűtő rendszer egyik alrendszerét, valamint a mérőeszközöket, amelyek az egyes rendszerelemek-, valamint a teljes rendszer együttes működésének vizsgálatához kerültek beépítésre.



11. ábra A hűtő-fűtő egység rendszerterve

4.1.1 Központi tartály

A komplex hűtő-fűtő rendszer egyik fő eleme a járműben elhelyezendő klímaegység **központi tartálya**, amelyben a hőközlő folyadék, valamint a belső hőtároló közeget tartalmazó, jó hővezetőképességgel rendelkező csövek találhatók. A csövek együttesen egy hőcserélőt alkotnak.

A tartály kialakításának egyik fontos szempontja, hogy megfelelő legyen a térfogata, és biztosítsa a belső hőcserélőt alkotó csövek stabil elhelyezését. A tartályból kivezető csatlakozókat úgy kell elhelyezni, hogy a hőközlő folyadék megfelelő áramlását biztosítsák. A központi tartály anyagválasztása során figyelembe kell venni a benne áramló közeg kémiai tulajdonságait. A tartály anyagát tekintve rozsdamentes acél, mely megfelel a biztonságos és hosszú élettartamú üzemeltetés szempontjából, valamint a hőszállító közeg kémiai összetétele nem befolyásolja annak rendeltetés szerinti működését.

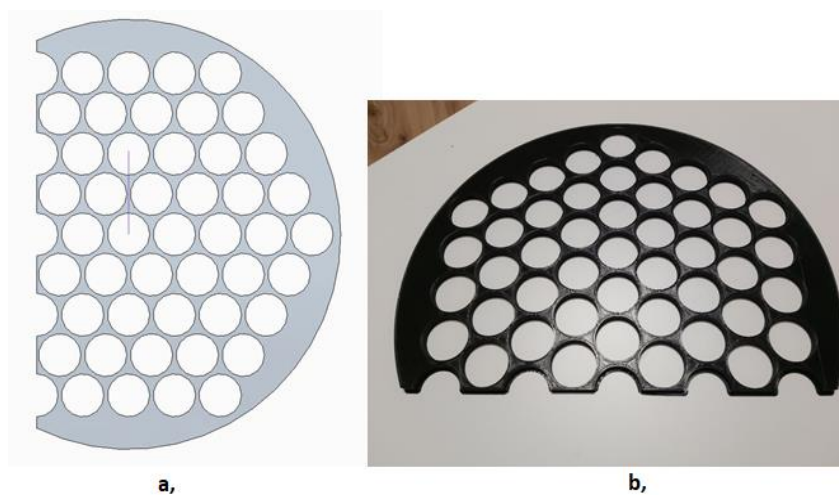
A szigetelt központi tartály járműspecifikus 3D modelljét a **12.ábra** mutatja



12. ábra A központi tartály és a belső hőcserélő modellje

A tartályban elhelyezett **csöves hőcserélőhöz** megterveztünk és additív gyártástechnológiai eljárással, 3D nyomtatás segítségével készítettünk egy **speciális távtartót**, amely biztosítja, hogy a központi tartályban a csövek ne mozdulhassanak el. A nyomtatáshoz felhasznált anyag PETG, amely kellő szilárdságot és megfelelő hőállóságot biztosít a szerkezeti elem felhasználásához. Különböző műanyag filamentek 3D nyomtatási technológiával történő hasznosítási lehetőségét már több felhasználási területen vizsgáltuk és örömmel tapasztaltuk, hogy erre a célra is kiválóan alkalmazható megoldást ad. A vizsgálataink megalapozásaként a vonatkozó szakirodalmi forrásokat igyekeztünk áttekinteni (Ousse et. al. 2020, 2021).

A távtartó modelljét és az elkészült 3D nyomtatott egységet a **13. ábra** szemlélteti.



13. ábra

a) ábrarész: a távtartó modellje, b) ábrarész: a kinyomtatott távtartó

4.1.2 Belső hőtároló elemek (csöves hőcserélő)

A központi tartályban lévő hőcserélő csövekkel szemben támasztott követelmény többek között, hogy jó hővezető képességgel rendelkezzen, továbbá belső hasznos térfogatának elegendőnek kell lennie a számítások alapján meghatározott hőtároló anyag fázisváltásakor létrejött térfogatváltozáshoz is.

Ezen szempontok alapján a csövek anyagának rézet választottunk a kedvező 399 W/mK értékű hővezetési tényező miatt. A csövekbe hőtároló közegnek paraffint választottunk. A paraffin rossz hővezetése miatt nem célszerű nagy átmérőjű csöveket alkalmazni, ezt a tervezés során figyelembe kell venni. A hőcserélő méretezése során csőátmérőnek 20 mm adódott.

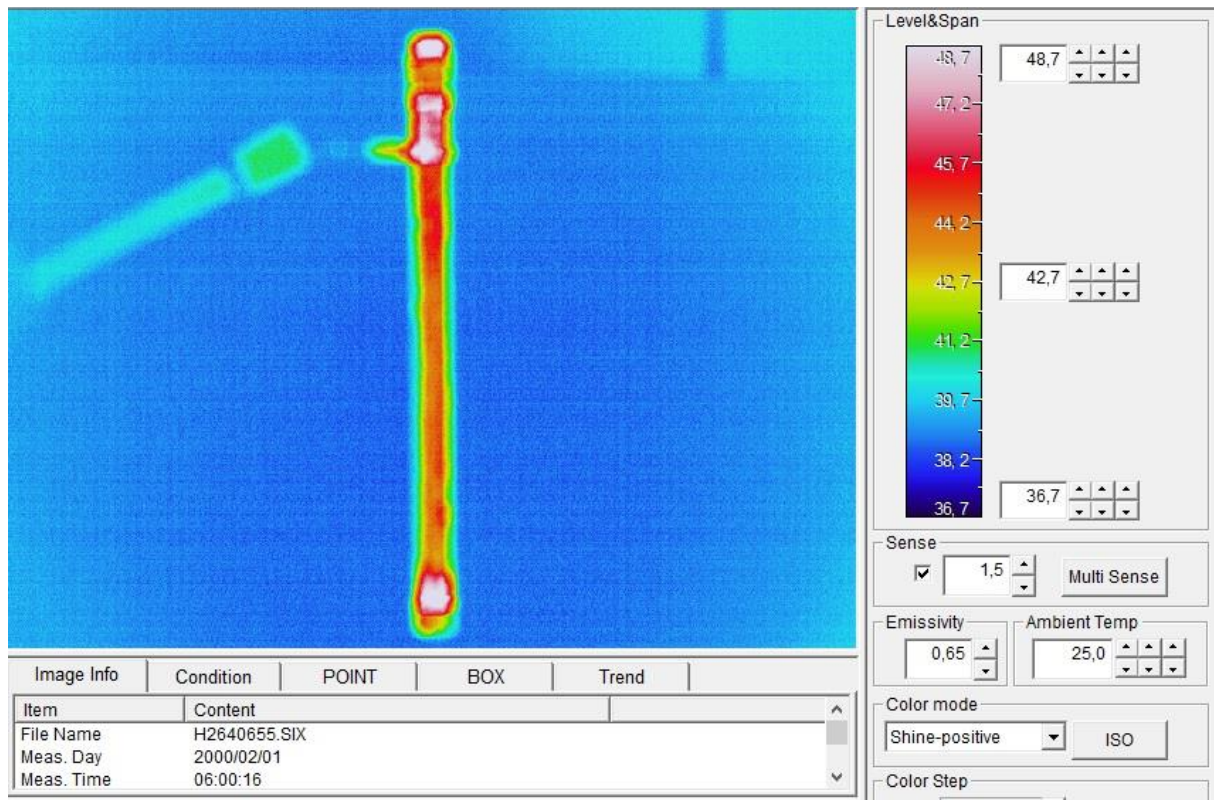
A belső hőcserélő csöveibe töltendő megfelelő hőtároló közeg kiválasztására kísérleti méréseket végeztünk négy különböző hőtároló anyaggal (desztillált víz, olaj, NaCl+víz oldata, parafin viasz).

Mérési módszer

Az elektromos fűtéssel (indukciós/elektromos fűtőszál) betáplált hőenergia kivétel folyamatát kalibrált hőmennyiség mérővel vizsgáltuk. A rendszer egyes elemeinek hőmérséklet változását kontakt-, és érintkezés mentes érzékelőkkel, valamint infrakamera segítségével követtük nyomon.

A **14. ábra** a hőkamerás mérések során nyert hőképet mutat. Szemlélteti a járművön belüli klímarendszer központi tartályában elhelyezett hőcserélő csőben a felhevített hőtároló közeg hűlési folyamata során tapasztalható hőmérséklet eloszlást.

A baloldali képrészen a vizsgált, paraffinnal töltött hőcserélő csőelem látható. A jobboldali színskála a vizsgálati hőmérséklet tartományt mutatja Celsius fokban mérve, amelynek felső értékét a fázisváltási hőmérséklet meghatározza. A méréseket 25 °C környezeti hőmérséklet mellett végeztük.

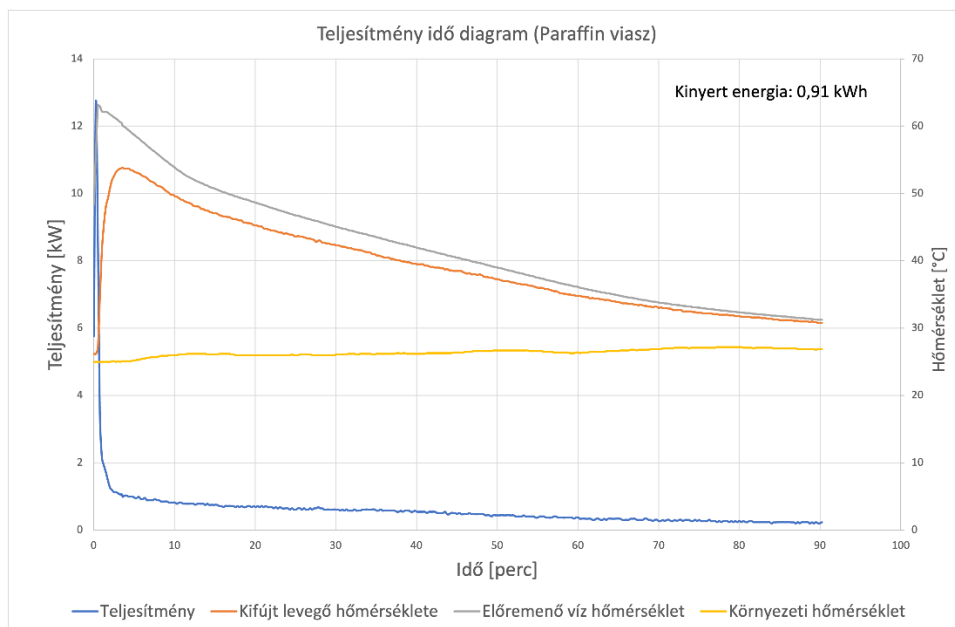


14. ábra A hőtároló anyaggal töltött hőcserélő cső hőmérséklet eloszlása a hűlés folyamatán

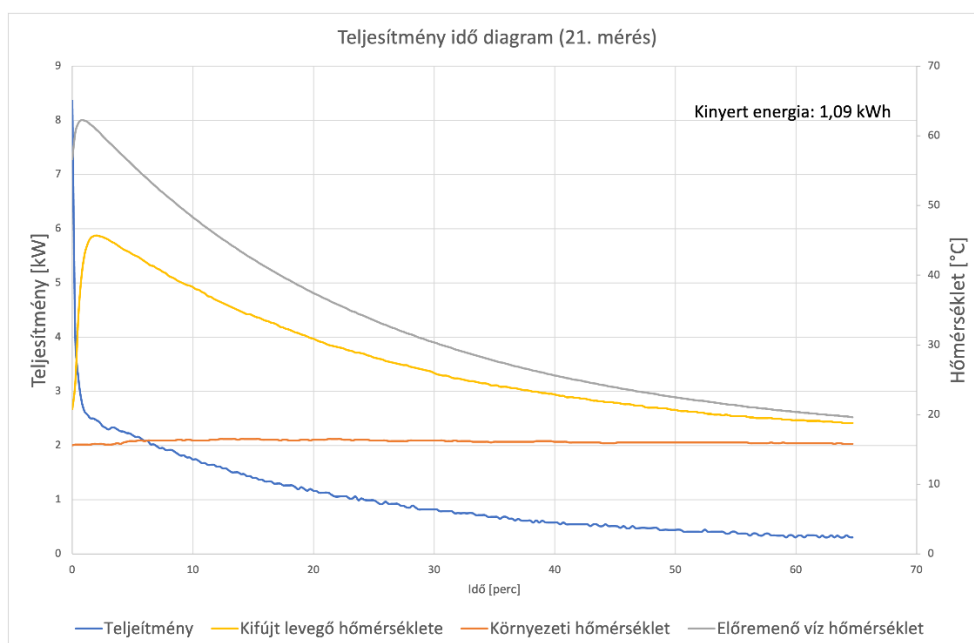
A megépített kísérleti modellen az egyes közegekkel végzett mérések eredményeit a **15-18 ábrákon** látható diagramokban foglaltuk össze.

A diagramon látható információk:

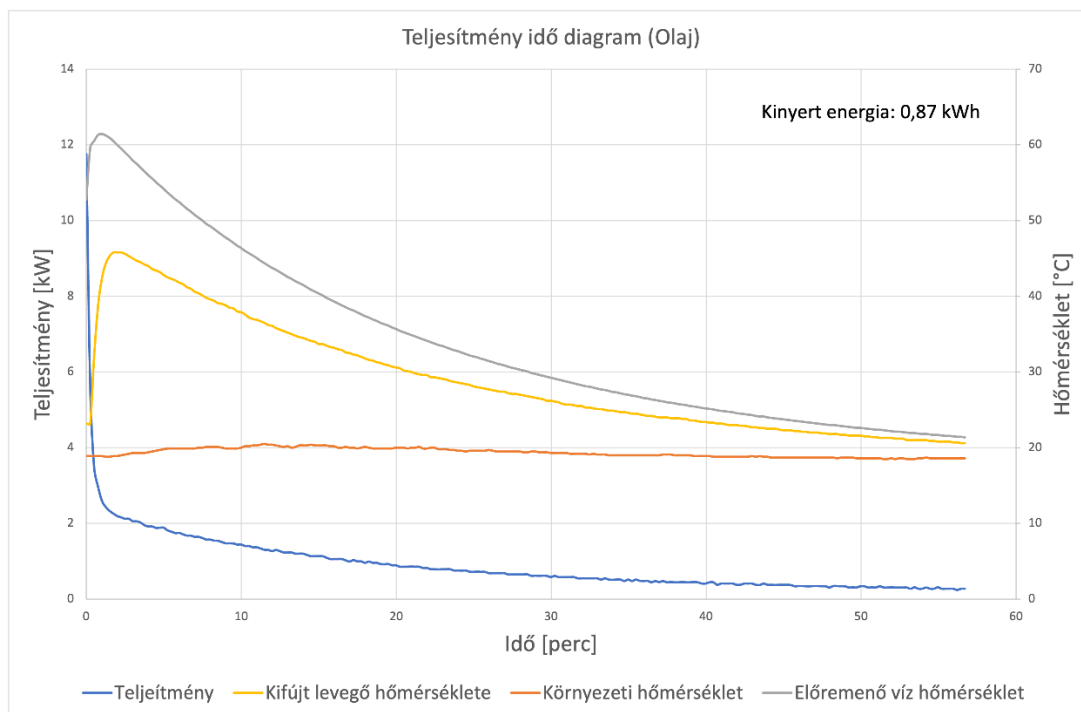
- a kifűjt levegő hőmérséklete alatt a modell fűtőradiátorából kilépő levegő hőmérsékletét értjük,
- az előremenő víz hőmérséklet alatt a központi tartályból kilépő hőközlő folyadék hőmérsékletét értjük,
- a fűtőteltjesítmény és a kinyert hőenergia a hőmennyiségmérő, valamint a csatlakoztatott mérési adatgyűjtő által szolgáltatott adatok.



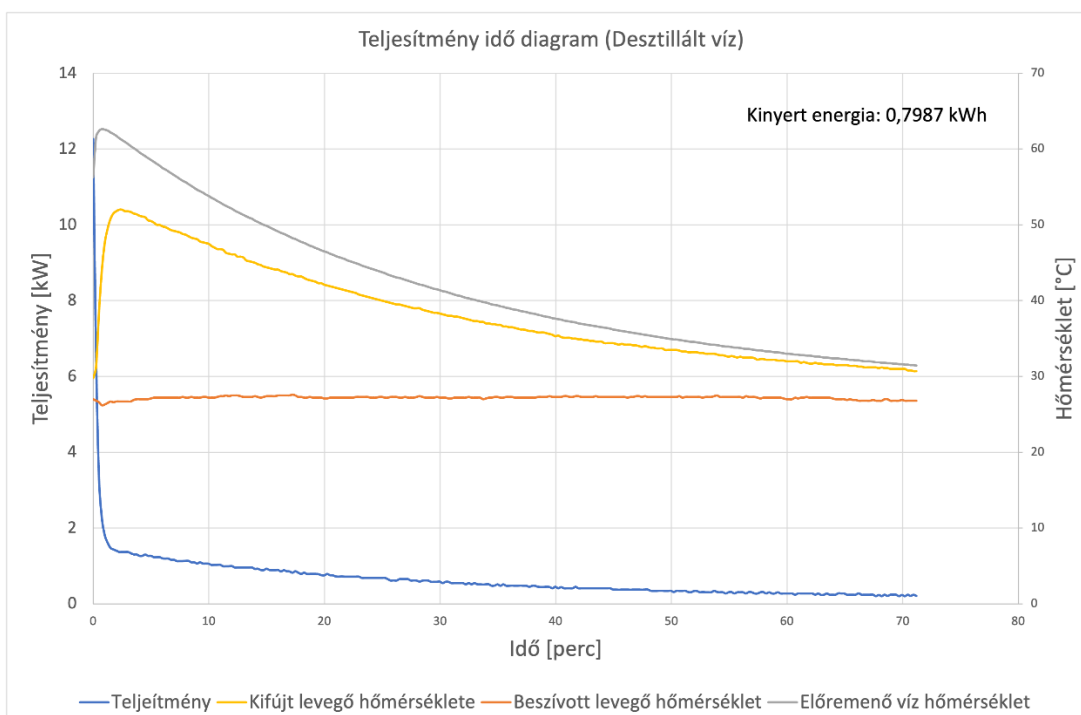
15. ábra A paraffinnal töltött hőcserélő hőmérséklet változása



16. ábra A NaCl-dal töltött hőcserélő hőmérséklet változása



17. ábra Az olajjal töltött hőcserélő hőmérséklet változása



18. ábra A desztillált vízzel töltött hőcserélő hőmérséklet változása

4.1.3 Keringtető szivattyú

A hőközlő folyadék áramlását a visszafolyó ágban elhelyezett **keringtető szivattyú** biztosítja.

A keringtető szivattyúval szemben támasztott főbb rendszerkövetelmények:

- relatív kis áramlási sebesség létrehozása a rendszeren belül,
- nagy hőmérséklettartományban való működés,
- rendszerbe való integrálhatóság,
- szabályozhatóság

Az áramoltatni kívánt hőszállító közeg térfogatának meghatározása:

(3)

$$V_t - V_{cse} = V_{hsz}$$

ahol:

V_t – a tartály hasznos térfogata [mm³]

V_{cse} – a hőtároló csövek által elfoglalt térfogat [mm³]

V_{hsz} – a hőszállító közeg térfogata [mm³]

A fent leírt szempontrendszer és a vonatkozó számítások alapján a **Grundfos Alpha Solar B** keringtetőszivattyút választottuk (**19. ábra**), amely napkollektor rendszerekben is jól hidraulikus tápegység.



19. ábra Grundfos Alpha Solar B keringtető szivattyú

A hőközlő (hőszállító) közeg áramlása az egyes rendszerelemek között **flexibilis csöveken** keresztül történik, mivel annak rugalmassága lehetőséget biztosít a rendszer járműbe való integrálására.

4.1.4 Fűtőradiátor

Az utastér fűtéséhez a rendszer integrálhatóságát szem előtt tartva, egy gépjárműből kisserelt fűtőradiátort alkalmazunk. A kísérleti modellen végzett mérések során egy jármű eredeti hőcserélőjét, elektromos ventilátorát és elzáró szerelvényeit használtuk. A mérési adatgyűjtőhöz kapcsolt érzékelőkkel ellenőriztük a fűtőradiátorból kilépő és a belépő levegő hőmérsékletét.

4.1.5 Szigetelés

Ahogy a dolgozat elején említettük, a klímarendszer fejlesztés kritériumai között szerepel az energiahatékonyság. A rendszer veszteségeinek minimalizálása érdekében a megfelelő hőszigetelés használata szükséges. Ez vonatkozik a központi tartályra, valamint a ki-és bemenő csövekre.

Fejlesztő munkánk során öt hőszigetelő anyagot vizsgáltunk megfelelőség szempontjából (lásd **20.a ábra** balról jobbra haladva):

- UV álló habszivacs,
- üveggyapot aluborítással,
- kőzetgyapot,
- ásványgyapot,
- poliuretánhab



a)



b)

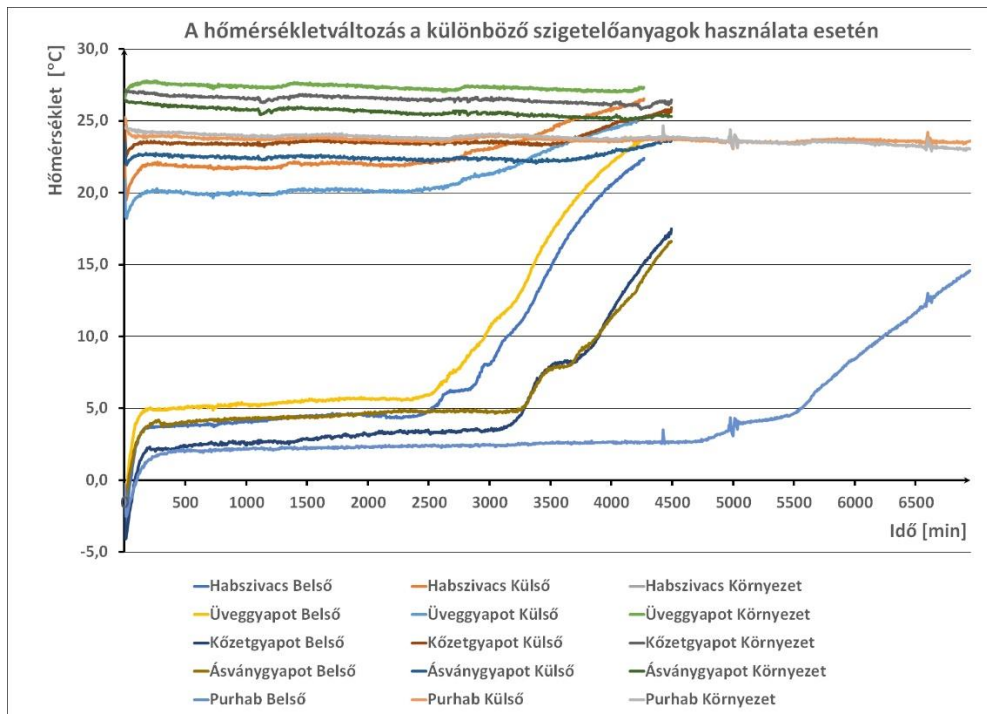
20. ábra Szigetelőanyag alternatívák és a vizsgálat előkészítése

A vizsgálatok módszere

Az egyes hőszigetelő anyagok vizsgálata minden esetben hasonlóan történt. Az előkészítés során műanyag palackokban azonos, 2,5 l mennyiségű vizet fagyasztottunk le, és ezeket helyeztük el a különböző anyagokból készített, a palackok méretéhez illeszkedő szigetelőtartályokba.

A vizsgálatok során folyamatosan 2-2 helyen mértük a palack felületi-, a szigetelés külső felületi-, és a környezet hőmérsékletét. Az adatokat 5 perces időintervallummal rögzítettük. A méréseket minden beállítást mellett 3 ismétléssel végeztük el, majd a kapott eredményeket átlagoltuk.

Az egyes hőszigetelő anyagokkal végzett vizsgálatok eredményét a **21. ábra** foglalja össze. Az ábrán látható diagram a hőmérséklet változását szemlélteti az idő függvényében.



21. ábra Szigetelőanyagok összehasonlítása

Vizsgálataink alapján, szem előtt tartva a hőszigetelő anyag kezelhetőségét és teljesítményét, a habszivacsot választottuk a szigetelésre. Ezt a kaucsuk alapú UV álló polifoam (habszivacs) szigetelést előszeretettel alkalmazzák napkollektor rendszerek esetében.

Mivel az általunk kifejlesztett klimatizáló rendszer egy előre bevitt hőenergiával rendelkező anyaggal működik, így annak feltöltését biztosítani kell. Ezt egy általunk tervezett külső felöltő egységgel tesszük meg.

4.2 A járművön kívüli hőenergia előállító és töltő egység

4.2.1 Funkció és szerkezeti elvek

A járművön kívüli hőenergia előállító és töltő egység funkcionálisan elektromos energiából meleg-, vagy hidegenergiát állít elő és azt hőközlő folyadék segítségével juttatja el a járműben található központi tároló tartályba.

A külső modul ennek megfelelően egy fűtő-, és egy hűtőegységből áll, amely a hőközlő folyadékot temperálja. A rendszer része továbbá a hőközlő folyadék tárolására szolgáló tartály.

Jelenlegi számításaink szerint a hőközlő folyadékként etilén-glikol-oldat, vagy speciális vízmentes hűtőfolyadék -amely etilén-glikol mellett észtereket ($C_8H_{16}O_2$) és nátrium nitrátot tartalmaz- alkalmazható leginkább.

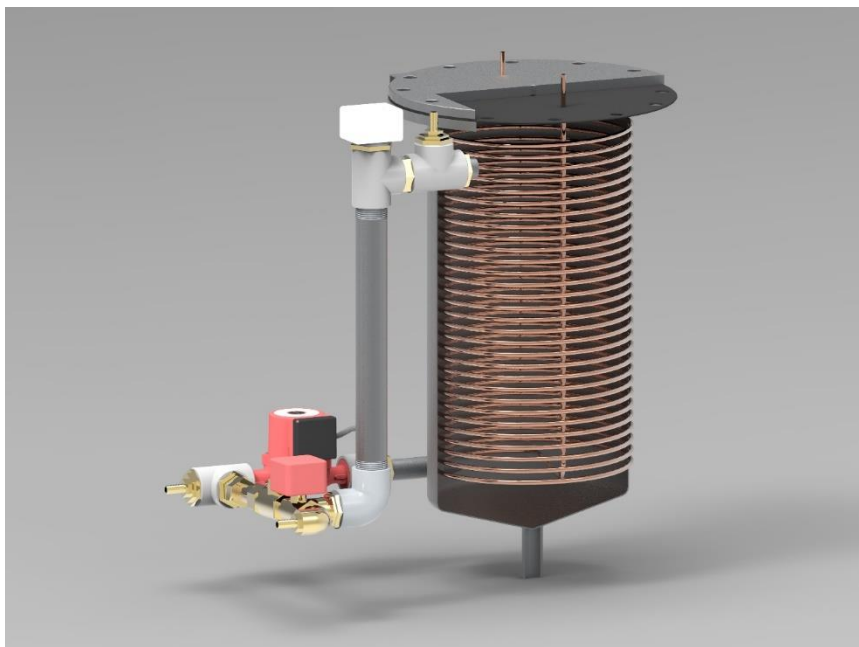
A működéséhez szükséges energiát az elektromos hálózat biztosítja. Mivel a tervezett klíma-rendszer elektromos járművek számára készül, előnyös, ha a hő előállítás és betöltési folyamat a hajtást szolgáló akkumulátorok töltésével párhuzamosan zajlik.

A külső hőenergia előállító és töltő alrendszer a **22. ábrán** látható. A hidegenergiát az ábra baloldalán látható hűtőkompresszor, míg a meleg energiát a tartályra szerelt elektromos indukciós elven működő fűtőegység állítja elő.



22. ábra A hűtő-fűtő rendszer külső modulja

A tartályt és a rajta elhelyezett fűtőegység modelljét a **23. ábra** szemlélteti.



23. ábra A külső egység központi tartálya

A dolgozat következő részében bemutatjuk a kísérleti hűtő-fűtő rendszer működésével kapcsolatos laboratóriumi vizsgálatokat és azok eredményeit.

4.2.2 A külső egység laboratóriumi vizsgálata

A szükséges hűtési és fűtési hőszükséglet meghatározása

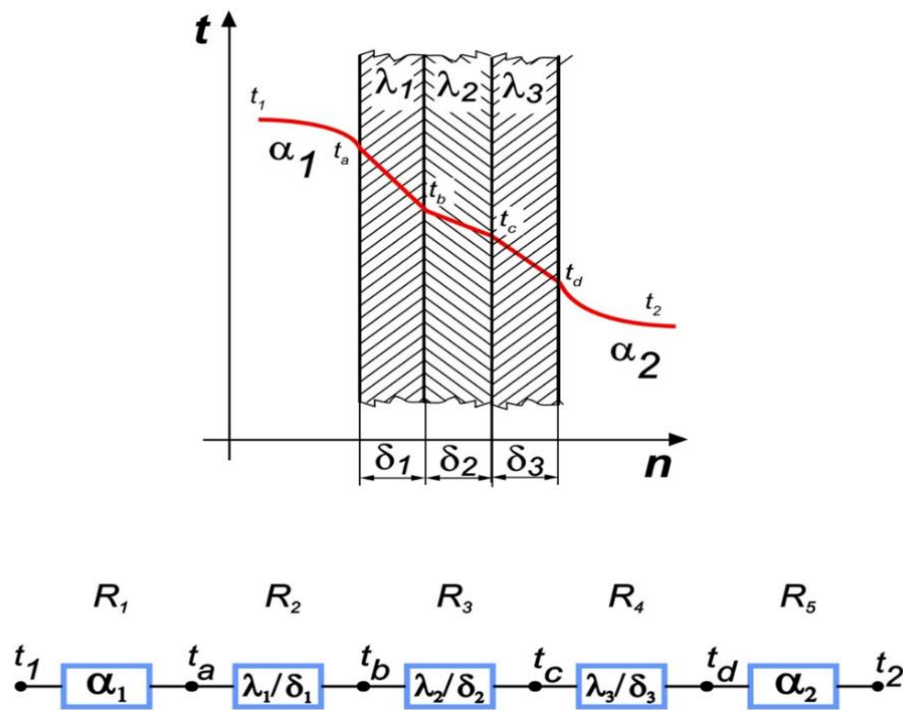
A fűtési és hűtési teljesítmény számításához fontos ismerni a karosszériát felépítő anyagokat, valamint azok méreteit. A jármű utastere egyszerűen modellezhető egy téglatesttel, melynek felületét többségben acéllemez, valamint üveg borítja. A különböző felületeket felépítő rétegeket a 2.táblázat mutatja.

2. Táblázat: A jármű felületeinek rétegrendje

Felület megnevezése	Rétegek
Ablakok	Egyrétegű üveglap
Ajtók	Acéllemez, légrés. műanyag
Fennmaradó felületek	Acéllemez, szivacs, kárpit

Az egyes rétegeken a hő, vezetékes formában (kondukciónak) halad keresztül, míg a külső és belső felületeken a környezeti levegővel történő hőátadás hőszállítással (konvekció) valósul meg.

Az egyes rétegek hőellenállása hasonlóan modellezhető, mint az elektromos áramkörökben alkalmazott ellenállások, így az ott használatos egyenletek, a hőátadás sajátosságait is figyelembe véve, kis átalakítás után az kombinált hőátadás leírására is alkalmasak.



24. ábra A rétegrendek soros kapcsolású modellje

Alapvetően a rétegrend egy soros kapcsolású ellenállásokból álló rendszert jelent, amelynek kialakítását az 1. ábrán láthatjuk.

Az egyes rétegek vezetékes hőellenállásának meghatározása:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (4)$$

ahol:

- R - hőellenállás [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
- δ - az egyes rétegek vastagsága [m]
- λ - a réteg hővezetési tényezője [$\text{W}/(\text{mK})$]

Az eredő vezetési hőellenállás soros kapcsolás esetén:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \dots R_n \quad (5)$$

A teljes rendszer kiegészítve a két felület konvekciós hőátadásával adja a hőátbocsátási tényező (v. összetett hőátadási tényező) értékét:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + R_e + \frac{1}{\alpha_k}} \quad (6)$$

ahol:

- U - Hőátbocsátási tényező [W/(m²K)]
- R - Hőellenállás [m²K/W]
- α_b - Belső hőátadási tényező [W/(m²K)]
- α_k - Külső hőátadási tényező [W/(m²K)]

Amint az a modellen is látható, a vezetési hőátadás esetén a hőellenállás meghatározásához az egyes rétegek anyaga alapján meghatározható hővezetési tényező (λ) mellett a réteg vastagsága is szerepet játszik. Ezeket minden felületen lemértük és összesített formában a 3. táblázatban mutatjuk be a felületek nagyságával és a rétegekhez tartozó hővezetési tényező értékekkel együtt.

3. táblázat Az egyes rétegek jellemzői

Megnevezés	Műanyag	Levegő	Üveg	Acéllemez	Szivacs	Kárpit
λ [W/(mK)]	0,44	0,024	5,8	50	0,1	0,044
A [m ²]	2,76	3,52	2,608	7,7525	3,3	4,8
δ [mm]	4,5	90	3,5	1,5	25	3,5

A számításokat a különböző felületekre alkalmazva, meghatározható az hőátbocsátási tényező értéke. Fontos azonban megjegyeznünk, hogy a hőszállítási tényező igen sok anyagi, áramlás-tani és termodinamikai tényezőtől, illetve ezek kölcsönhatásától függ. Többek között befolyásoló tényező lehet a közeg fajtája (gőz, gáz, folyadék), az áramlás jellege és módja, a geometriai méretek, a fal alakja és minősége, a közeg anyagi jellemzői és állapotjelzői. A változók közötti kapcsolatot leíró függvény bonyolultsága és a számos változó (valamint azok egymástól való függése) miatt az α értékét a konvekciós hőátviteli elmélet összefüggéseinek alkalmazásával

csak a legegyszerűbb esetekben lehet kiszámítani. A mérnöki gyakorlatban azzal kell számolni, hogy a hőszállítási tényező megállapításához számos kísérletet kell lefolytatni, illetve a nemlineáris parciális differenciálegyenleteket helyettesítő számítási módszert kell igénybe venni. A hőátadási tényező meghatározására, a sok paramétertől való bonyolult függése miatt, nem lehet egy minden esetre érvényes általános számítási egyenletet megadni. Néhány gyakrabban előforduló egyszerűbb folyamatnál a számításba vehető hőszállítási tényező értékét, tájékoztató jelleggel a 4. táblázat tartalmaz. [Beke 2014]

4. táblázat. A hőszállítási tényező tájékoztató értékei

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

Mivel a rétegek mindkét oldalon a levegővel érintkeznek, így a hőszállítási tényező értéke igen szűk értéktartományban (6-35 W/m²K) helyezkedik el, ezért a külső és belső felület közötti különbséget a levegő áramlási sebességének különbségét figyelembe véve vettük fel. Ez alapján az utastér oldali tényezőt $\alpha_1 = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$, míg a külső oldali tényezőt $\alpha_2 = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ értékben határoztuk meg.

A fenti adatok ismeretében a jellemző hőmérsékletet figyelembe véve számítható a teljes rendszer hővesztesége:

$$P = U \cdot A \cdot dT \quad (7)$$

ahol:

- P - Hőteljesítmény [W]
- A - Az egyes felületek területe [m²]
- dT - A belső és külső tér közti hőmérsékletkülönbség [K]

A rendszer fűtési üzemmódban szükséges hőteljesítményének meghatározásához felvett hőmérsékleti értékek:

Az utastérben kívánt hőmérséklet: 20 °C

A külső hőmérséklet: -20 °C

A rendszer hűtési üzemmódja esetén a felvett hőmérsékleti értékek:

Az utastérben kívánt hőmérséklet: 20 °C

A külső hőmérséklet: 40 °C

A számítások végeredményeit összesítve az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat. Az egyes felületek hőátbocsátási tényezői és hőteljesítményei.

Rétegek megnevezése	A hőátbocsátási tényező (U) értéke $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	A hőteljesítmény értéke [W]	
		Fűtés	Hűtés
ablakok (edzett üveg)	6,0385	629,94	314,97
ajtók (acéllemez, légrés, műanyag)	0,5429	59,94	29,97
egyéb felületek (acéllemez, szivacs, kárpit)	2,024	583,07	291,54
összesen:		1272,95	636,48

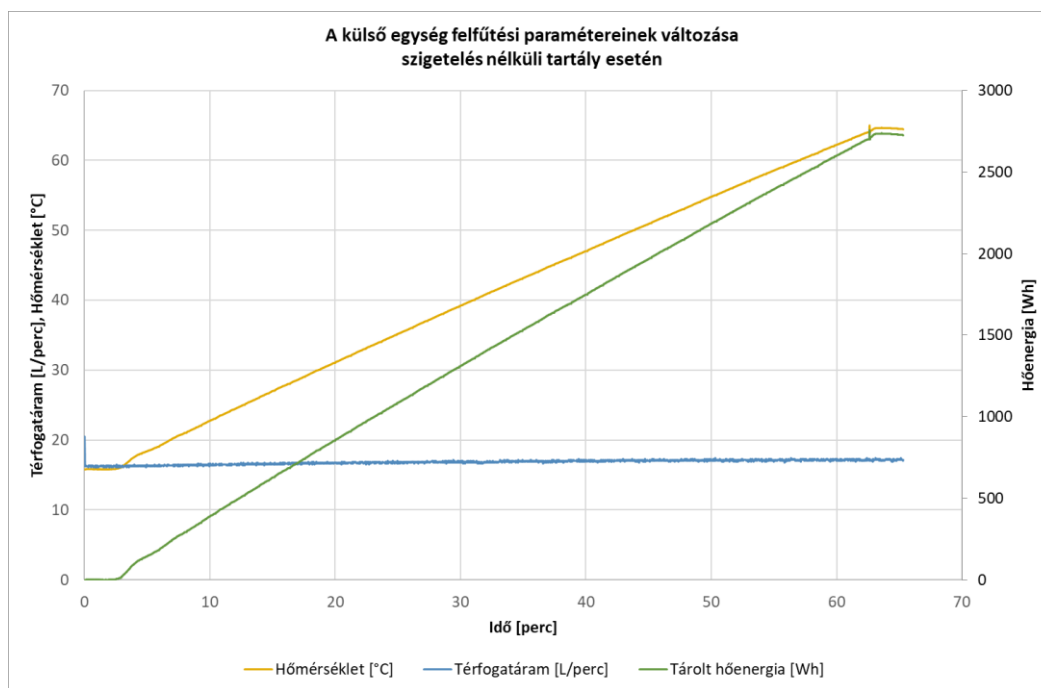
A számítások végeredményeinek alapján a szükséges fűtőtéljesítményt 1,5 kW-ban, míg a szükséges hűtőtéljesítményt 1 kW-ban határoztuk meg. Ez a teljesítmény növekmény biztosítja a számításokban szereplő egyes tagok (első sorban a hőszállítási tényezők) értékének bizonytalanságából származó kisebb eltérések kompenzációját.

A rendszer elemeinek kiválasztása, megtervezése ezen adatok alapján már elvégezhető mind a hűtési, mind a fűtési feladat ellátása esetén. Ennek első lépéseként a külső fűtő-hűtő központi egység került kialakításra, amely mind a hűtési mind a fűtési energiát szolgáltatja a járműben elhelyezett hőtároló egység számára. A külső egység szerkezeti kialakítását már részletesen ismertettük a dolgozat előző részében, a következőkben ennek felfűtési kísérleteit és a kapott eredményeket mutatjuk be.

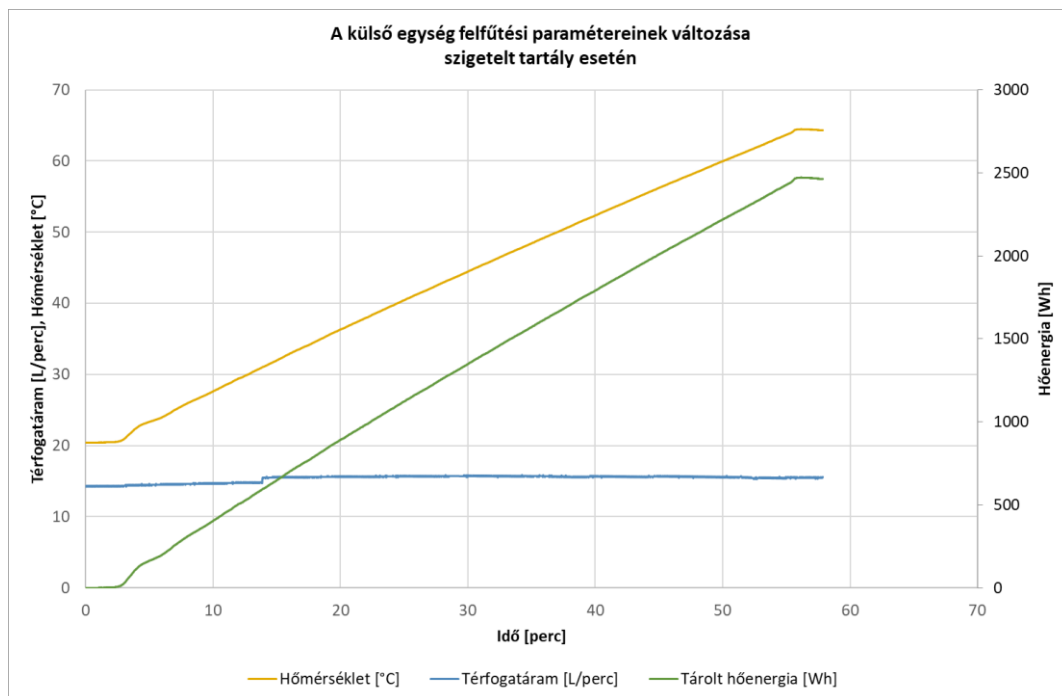
A fűtési kísérleteinkben azt vizsgáltuk, hogy a megépített külső egység mennyi idő alatt képes elérni az alapadatként meghatározott hőmérsékleti szintet (65 °C). Ehhez a rendszerben a fűtőközeget terhelés nélkül, rövidre zárva keringettük. A felfűtési kísérleteinket többszöri ismételéssel végeztük el a víz-fagyálló (G11) 1:2-es keverékével feltöltött rendszeren.

A mérések során rögzítettük a közeg hőmérsékletét (°C), tömegáramát (l/perc), és az eltelt időt. Ezen információk és a keverék fizikai jellemzőinek (fajhő, sűrűség) ismeretében a hőteljesítmény meghatározható.

A méréseket szigetelt és szigetetlen tartályra is elvégeztük, a felületi hőveszteség hatásának bemutatására. A mérési sorozat során nyert eredményeket diagramban ábrázoltuk (25. és 26.ábra).



25. ábra A külső egység felfűtési paramétereinek változása szigetelés nélküli tartály esetén



26. ábra A külső egység felfűtési paramétereinek változása szigetelt tartály esetén

Az adatok rögzítése minden esetben egy rövid indítási szakasszal kezdődött, amíg a paraméterek stabilizálódtak. Ezt követően került sor a fűtés indítására, amely a célhőmérséklet eléréséig tartott. A görbék alapján megállapítható, hogy a felfűtési folyamat szigetetlen tartály esetén átlagosan 60 percig, míg szigetelt tartály esetén 52 percig tartott. Ez mindkét esetben a kevesebb, mint a teljes külső egység és a járműben elhelyezett hőtároló egység felfűtési idejének meghatározott 4 órás időtartam $\frac{1}{4}$ -e. Ez egyben az is jelenti, hogy megfelelő idő áll rendelkezésre a külső egység felfűtését követően a beépített egység feltöltésére.

A külső egység felfűtési kísérleteiből származó információk ismeretében a járműbe épített egység felfűtési ideje is kalkulálhatóvá válik.

A fejlesztőmunka következő fázisában az előttünk álló feladat a külön-külön megfelelően működő alrendszerek üzemszerű együttműködésének vizsgálata, amelynek előkészítő munkáját megkezdjük. Ezzel lehetővé válik egy újszerű, elektromos töltésre épülő egységes energetikai rendszer létrehozása.

Összefoglalás

A MATE Műszaki Intézetében egy hagyományos belsőégésű motorral szerelt gépjármű elektromos üzeművé alakításán dolgozunk. Dolgozatunkban bemutatjuk a műszaki fejlesztő munka egyik részterületén, a jármű hűtő-fűtő rendszerének újszerű koncepción alapuló megtervezésén és kísérleti kialakításán elért eredményeinket.

Vázoljuk az energiahatékonyság elveit szem előtt tartó, egyedi kialakítású klímarendszer koncepcióját. Ismertetjük egy lehetséges pilot rendszer kialakításának rendszerszemléletű tervezési kérdéseit, amelyek minden esetben meghatározzák a műszaki, ökonómiai szempontokat, és ezzel a fejlesztés lehetőségeit, esetleges irányait. Megosztjuk az alkalmazható hűtő-fűtő közegek előzetes hő-, és áramlástechnikai vizsgálata során szerzett tapasztalatainkat. Végezetül ismertetjük a komplex hűtő-fűtő rendszer egyes alrendszerének működésével kapcsolatos kísérleti eredményeket, amelyek megalapozzák a rendszerintegrációt, az elektromos töltésre épülő egységes energetikai rendszer létrehozását.

A kutatómunkánk célja egyrészt alternatív megoldások vizsgálata, amelyek segítségével részben vagy teljes mértékben kiváltható a jármű saját elektromos energiaforrásának használata a megfelelő klímaviszonyok előállítására. A kísérleti fejlesztés során újszerű megközelítéssel egy olyan hűtő-fűtő rendszer alapjait kívánjuk kidolgozni, amely nem a jármű elektromos rendszerének energiáját használja fel a kívánt klímaviszonyok előállítására, hanem egy külső energia-rendszerből, áttöltéssel nyeri a működéséhez szükséges hőenergiát. Így a fejlesztő munka közvetett célt is szolgál, nevezetesen a jármű mozgásához szükséges saját elektromos energia megtartása, ezzel a hatótáv növelése.

A fejlesztőmunkát egy pályázatos kutatási program keretében, a projektben résztvevő hallgató társakkal, konzulens tanárainkkal, a nyertes vállalatok kollégáival és a koordinációt végző projektvezetőkkel, valamint a kutatást támogató és annak helyt adó Műszaki Intézettel közösen végezzük. A kutatómunka során elért eredmények a kiváló szakmai együttműködésnek is köszönhetőek.

A projekt lezárását követően a kutatás továbbvitelét tervezzük az eredmények gyakorlati alkalmazása, a piaci alapon is megjeleníthető újszerű klímarendszerek gyártásának, értékesítésének előkészítése céljával.

Szakirodalom

1. 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
2. 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.
3. 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.
4. Beke J. (2014): A műszaki termodinamika alapjai.
Szent István Egyetemi Kiadó
5. E. Oró, A. de Gracia, A. Castell, M.M. Farid, L.F. Cabeza, Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications Applied Energy 99 (2012) pp. 513–533
6. 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
7. Szabó I.-Hushki M.-Bártfai Z.-Kátai L. (2019): Operator’s behaviour measuring methodology inside off-road vehicle cabin, operator’s focusing scheme
Agronomy Research, ISSN: 1406-894X
8. I.Zs. Gerda, Z. Bártfai, G. Szabó, B. Balogh, Zs. Schillinger, P. Zsámboki (2019): System-oriented study of the conversion of an outdated internal combustion engine powered passenger car
VI. Synergy International Conference, ISBN 978-963- 269-855-7
9. P. Zsámboki et al. (2019): Tovább róhatják közöttünk kilométereiket a retró vasak
New technology, ISSN 1468-005X

10. P. Zsámboki et.al. (2019), Technical and economic analysis of an electric car rebuilding
Recent advances in agriculture, mechanical engineering and waste policy, Nitra, ISBN 978-80-552-1992-9
11. Balogh B., Zsámboki P., Kis T. O. (2019): Nem hulladékhőn alapuló komplex fűtési és hűtési rendszer-koncepció kidolgozása elektromos meghajtású közúti járművek számára,
Szent István Egyetem, Gödöllő, TDK Konferencia
12. I.Zs. Gerda, Z. Bártfai, G. Szabó, B. Balogh, Zs. Schillinger, P. Zsámboki (2019):
System-oriented study of the conversion of an outdated internal combustion engine powered passenger car
VI. Synergy International Conference, ISBN 978-963- 269-855-7
13. Oussai Alaeddine, Bártfai Zoltán, Kátai László: (2021): Development of 3D Printing Raw Materials from Plastic Waste. A Case Study on Recycled Polyethylene Terephthalate
Applied Sciences-Basel (2076-3417): 11 16 Paper 7338. 10 p.
14. Oussai, L. Kátai, Z. Bártfai (2020): Tensile strength of grid and concentric PET and affection on 3D printing process
Mechanical Engineering Letters (2060-3789): 20 1 pp 5-12
15. Oussai, L. Kátai, Z. Bártfai (2020): Development of 3D printing raw materials from plastic waste
Hungarian Agricultural Engineering, (0864-7410 2415-9751): 37 pp 34-40

Internetes forrás:

16. <https://qubit.hu/2022/11/09/statusszimbolumbol-az-eladasi-listak-elere-a-hibrid-es-az-elektromos-autok-tortenete-es-jovoje>
17. <https://www.vezess.hu/magazin/2022/01/08/elektromos-auto-villanyauto-ertekesites-2021/>
18. <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-11-9-hybrid-22-6-and-petrol-37-8-market-share-in-q3-2022/>
19. <https://villanyautosok.hu/2022/04/07/tovabb-zsugorodott-a-magyar-ujauto-piac/>
20. Global EV Outlook 2022. Securing supplies for on electric future (IEA 2022)
21. <https://mobile.engineering.com/amp/19649.html>

Köszönetnyilvánítás

Szerzők köszönetüket fejezik ki a kutatómunka támogatásáért, a TDK dolgozat elkészítéséhez nyújtott segítségért, az elért eredmények megjelenítéséért a kutatásnak keretet adó 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00071 „Folyadék alapú moduláris temperáló egység (FAMOTE) kutatás-fejlesztése elektromos meghajtású közúti járművek számára” c. projektben való együttműködésért Balogh Béla és Schillinger Zsolt hallgatótársaknak, Dr. Bártfai Zoltán, Dr. Kurják Zoltán és Lágymányosi Attila témavezető tanároknak, az Online Projects Kft munkatársai Gerda Zsolt és Szabó Gábor külső konzulenseknek, a projektet elnyert FLEX-PS 93Bt és az ALOHA Informatikai Kft munkatársainak, valamint a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézetének.