

SZAKDOLGOZAT

HORTI KRISTÓF

Létesítményenergetikai szakmérnök szakirányú továbbképzés

**Gödöllő
2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Létesítményenergetikai szakmérnök szakirányú
továbbképzési Szak**

**Fázisváltó anyagok alkalmazhatósága épületgépészeti
rendszerekben**

Belső konzulens: Dr. Szabó Márta
egyetemi docens
Külső konzulens: Nagy Zsombor György
tervezőmérnök
Készítette: **Horti Kristóf**
SYZZDX
levelező tagozat
Intézet/Tanszék: **Műszaki Intézet**

**Gödöllő
2023**

**MŰSZAKI INTÉZET LÉTESÍTMÉNYENERGETIKA SZAKIRÁNYÚ
TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK**

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Horti Kristóf

részére

A szakdolgozat címe:

Fázisváltó anyagok alkalmazhatósága épületgépészeti rendszerekben

Feladatkiírás:

Fázisváltó anyagok bemutatása különböző szempontok szerint. Az épületgépészeti alkalmazhatósága során egy aktív szoláris rendszer esetében alkalmazott hőtároló tartályba integrált különféle fázisváltó anyagok vizsgálata az extra hőtárolás reményében.

Közreműködő tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

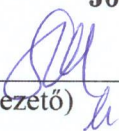
Külső konzulens: Nagy Zsombor György tervezőmérnök, MVM Mátra Energia Zrt.

Belső konzulens: *Dr. Szabó Márta egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet*

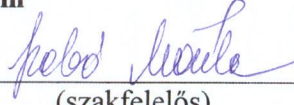
Beadási határidő: 2023. május 2.

Gödöllő, 2023. április 15.

Jóváhagyom

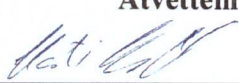


(tanszékvezető)



(szakfelelős)

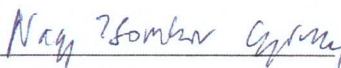
Átvettem



(hallgató)

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

Gödöllő, 2023. 04. hó 25. nap



(külső konzulens)

Tartalom

1. Bevezetés	1
1.1. Célkitűzés.....	2
2. Hőtárolás	3
2.1. Hőtárolás általánosságban.....	3
2.2. Hőtárolási módszerek csoportosítása és összehasonlítása.....	3
2.3. A hőtárolás jellemzői.....	5
2.4. Hőtárolás vízzel.....	6
3. Fázisváltó anyagok	8
3.1. Fázisváltó anyagok bemutatása.....	8
3.2. Fázisváltó anyagok tulajdonságai.....	10
3.3. Típusaik kémiai felépítésük alapján.....	11
3.4. Fázisváltó anyagok fizikai tulajdonságai.....	13
3.5. Tárolási lehetőségek.....	15
3.5.1. Hőtárolás kapszulázott fázisváltó anyagokkal.....	17
3.6. A fázisváltó anyagok felhasználási területei.....	20
3.6.1. Felhasználásuk az építőiparban.....	20
3.6.2. Épületgépészeti alkalmazhatóságuk.....	22
4. Fázisváltó anyagok alkalmazása szoláris épületgépészeti rendszereknél	23
4.1. Aktív szoláris rendszer megtervezése.....	25
5. Puffertartályba integrált fázisváltó anyag	30
5.1. 1. Konstrukció - csövekben tárolt fázisváltó anyag.....	30
5.2. 2. Konstrukció - csőhálózatokban tárolt PCM.....	35
5.3. Eredmények részletezése.....	38
6. Összefoglalás	41
7. Summary	42
Irodalomjegyzék	43

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre jobban előtérbe helyezkedik az energiatakarékosság, aminek közvetlen velejárója a fenntarthatóság és a környezetvédelem. Már az 1970-es években kialakuló energiaválság alkalmával megállapították, hogy a Föld fosszilis energiahordozó forrásai végesek, a fogyasztás mértéke pedig folyamatosan csak növekszik. A kielégíthetetlen fogyasztói igények következtében az energiafelhasználás mértéke fenntarthatatlanná vált. Ezt felismerve kérdésessé vált az általános életszínvonal fenntarthatósága is. Az Egyesült Nemzetek Szervezete az 1987-es Bruntland jelentésben megfogalmazta a fenntartható fejlődés fogalmát; „kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket.” (Európai Környezeti Információs és Megfigyelő Hálózat, 2018)

A fenntartható fejlődés megvalósításához mindenképpen szükséges a fogyasztói társadalom magatartásának a megváltoztatása, a lakóhelyül szolgáló élettereink, valamint a mindennapi használatban lévő eszközeink modernizálása energetikai szempontok szerint. Ezért mindenféleképpen új megoldásokra, ezzel együtt új technológiákra van szükség. A már meglévőket is oly módon kell átalakítani, hogy azok megfeleljenek a modern kor követelményeinek. A másik fontos szempont a környezetszennyező tevékenységek közel nullára történő redukálása. A megújuló energiaforrások megjelenésével jelentősen tudjuk csökkenteni a környezet terhelését, azonban felhasználásuk korlátozott. Ugyanis a megújuló energiaforrások többségének a legnagyobb hátránya, hogy a termelése nem szabályozható, így bizonyos korlátok közé szorul a felhasználásuk. Illetve fontos azt is megjegyezni, hogy a földrajzi adottságoknak megfelelően kell kiválasztani, hogy az egyes régiókban melyeket célszerű telepíteni. Az elmúlt évtizedben nagymértékben növekedett a zöld beruházások száma, mint Magyarországon, mint egész Európában. Ennek következményeként a hálózatokban feszültség ingadozások alakultak ki, ami a szabályozhatóság rendszertelenségéből fakadt részben. A közel jövő időszakban, ezért a szabályozhatóság kérdéskörét kell megoldani, vagy az energiátárolás terén olyan berendezést kell kifejleszteni, amely hosszú távon képes eltárolni az energiát anélkül, hogy veszítene a hatásfokából. Mindemellett megbízhatónak és ezzel együtt költséghatékonynak is kell lennie.

Az energiát úgy kell előállítani, hogy előtérbe kell helyezni a környezet- és költségtudatosságot, de mind emellett a pazarlást minimális szintre kell csökkenteni. Leginkább a hőenergia előállításával lehet lokálisan előrelépni az említett tézisekkel

szemben. A hőenergia ugyanis legtöbbször nem akkor áll rendelkezésünkre, amikor mi azt szeretnénk. A veszteségek visszaszorítása és a gazdaságosság jegyében tárolós rendszereket szükséges kialakítani, amely megnöveli a beruházási költségeket, de ki lehet vele küszöbölni az időben változó nagy felhasználási különbségeket.

Az energiatárolás nem egy újkeletű dolog, már régóta foglalkoztatja az emberiséget, ám ez idáig nem sikerült egy olyan rendszert kialakítani, ami hosszútávon hatékony megoldást nyújthatna és ezzel együtt párhuzamosan megtérülne a befektetett összeg is. A dolgozatomban szeretnék bemutatni egy olyan hőtárolási rendszert, ami az elmúlt időszakban kezd kibontakozni és hatalmas potenciál lehet a hőenergia tárolás jövőjét tekintve. Ez nem más, mint a fázisváltó anyagok alkalmazhatósága épületgépészeti rendszerekben.

1.1. Célkitűzés

A hőenergia tárolása már a múltban is nagyon fontos szerepet töltött be az emberiség életében. Elég csak a jégvermekkel történő hűtésre gondolni az élelmiszereknél, vagy a fűtési rendszerek esetében alkalmazott puffertárolókra.

A dolgozatom első részében az irodalomelemzés során, a különféle hőtárolási lehetőségeket és csoportokat, valamint a vízzel történő hőtárolási lehetőségeket fogom bemutatni. Ezt követően a fázisváltó anyagokat fogom ismertetni típusaik szerint, fizikai és kémiai tulajdonságaik szerint, tárolási lehetőségeik szerint, valamint alkalmazhatóságuk és felhasználásuk terén általánosságban, az építészetben, és az épületgépészetben.

A dolgozatom második felében a szoláris rendszerek esetében alkalmazható fázisváltó anyagok lehetőségét fogom megvizsgálni. Létre fogok hozni egy szoláris rendszert egy program segítségével, és ezt részletezni fogom a különböző beállításoknak megfelelően. A megalkotott rendszer tárolójába, kétféle konstrukciót fogok vizsgálni, amelyek esetében három eltérő tulajdonságú fázisváltó anyaggal végzem el a szükséges számításokat.

2. HŐTÁROLÁS

A hőenergia tárolása során a rendszerben lévő közeget melegítjük vagy éppenséggel hűtjük, annak megfelelően, hogy mire szeretnénk felhasználni azt. A megtermelt többlet energiát betárolva, azt a későbbiekben szükség esetén fel tudjuk használni. Az energia ilyen fajta tárolásának a legegyszerűbb kialakításaként egy vízzel töltött tartályt használnak. A tartályban lévő vizet felmelegítik és amennyiben többlet energiával rendelkezik a rendszer az elraktározódik. A rendszernél amikor jelentős mértékben megfogyatkozik az energia, akkor kezdik el felhasználni a tartályban betárolt meleg vizet.

2.1. Hőtárolás általánosságban

Hőtárolók segítségével képesek vagyunk a már rendelkezésünkre álló olcsó hőt összegyűjteni és tárolni mindaddig, amíg a rendszernek szüksége nem lesz rá bizonyos idő elteltével. Az olcsó hő érdekében történő beruházások, nagy hátránya, hogy a tárolók alkalmazása egy bonyolultabb, ezzel együtt járva költségesebb rendszert igényelnek. (Dr. Szánthó & Andrásy, 2021)

A hőtárolóban lévő és az onnan kiürített hő hőfokszintje lehetőség szerint ne különbözzön jelentős mértékben egymástól. A magasabb hőfokszinttel rendelkező hő értékesebb. Ennek a követelményeknek a megfelelése érdekében szükséges nagyfokú termikus rétegződést, kiváló hőszigetelést, és a hőcserék számának a minimalizálását biztosítani a tárolónál. (Borbély, 2014)

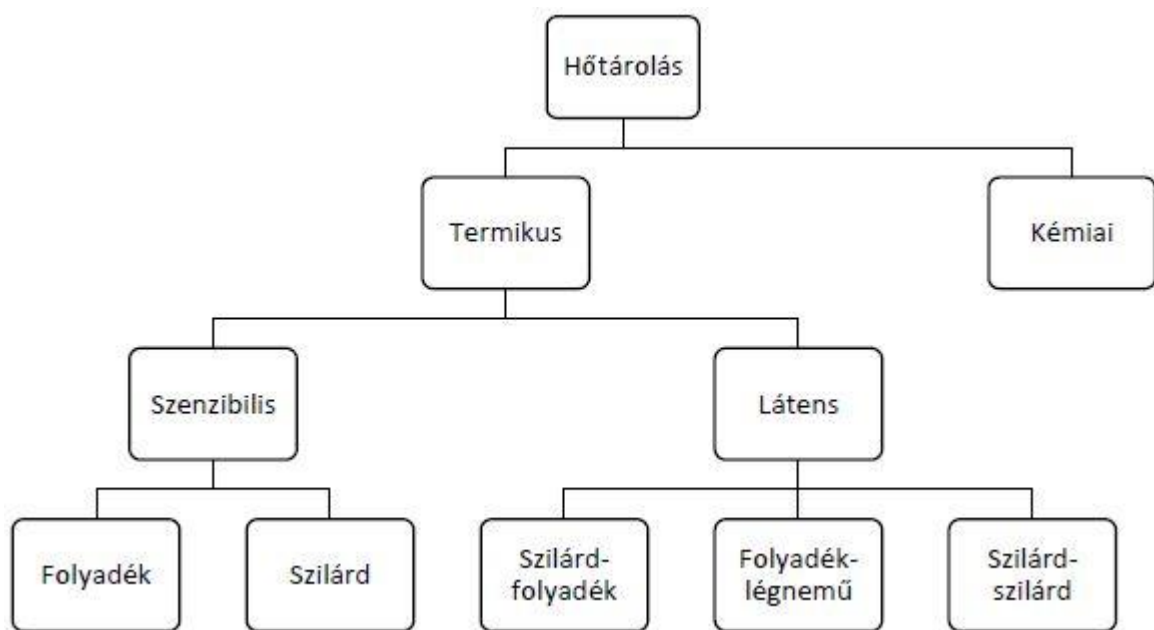
2.2. Hőtárolási módszerek csoportosítása és összehasonlítása

Az épületgépészeti rendszerekben használható hőtárolási lehetőségek csoportosítása és a hozzájuk tartozó technológiai háttér (Andrásy , 2021) (Árokszállási, 2011):

- szenzibilis (érzékeltető) hőtárolás: a víz hőmérsékletének a változása, például indirekt tárolók esetében
- látens (nem érzékeltető) hőtárolás: fázisváltás révén létrejövő (a fázisváltás során halmazállapot-változás és halmazállapot-váltás nélküli molekulaszervezet átalakulás történik), például fázisváltó anyaggal töltött hőtároló

- kémiai hőtárolás: Ebben az esetben a hőelnyelés és hőkibocsátás ciklikusságára utal, ami reakciók során jön létre. Ide sorolhatjuk a szorpciós elven működő hőtárolókat is, amelyeknél valamilyen szilárd vagy folyékony anyag és az általa megkötött anyag közötti energiát használják tárolásra, ami nem más, mint az oldáshő.

A hőtárolás két nagy csoportra osztható, a termikus és a kémiai hőtárolásra. A termikus hőtárolás tovább bontható szenzibilis és látens csoportokra. A szenzibilis hőtárolás esetében a folyadék és szilárd halmazállapotok vannak jelen, mivel ezek az érzékelhetőek. A látens hőtárolás esetében mind a három halmazállapot jelen van. A szemléltetés végett az 1. ábra mutatja be a legjelentősebb hőtárolási csoportokat.



1. ábra. Hőtárolási lehetőségek csoportosítása (Andrássy , 2021)

Minden egyes hőtárolási formának megvan a saját előnye és hátránya. Nehéz kiválasztani a megfelelőt, mert amelyik a beruházási költségeket tekintve megfelelőnek tűnhet az nem biztos, hogy felhasználhatóságát tekintve ideális. Az egyes hőtárolási fajták összehasonlítását előnyeik és hátrányaik szerint az 1.számú táblázatban foglaltam össze.

1. táblázat. Hőtárolási lehetőségek összehasonlítása (Andrássy , 2021)

Hőtárolási fajta	Előny	Hátrány
Szenzibilis	<ul style="list-style-type: none"> • olcsó hőtároló anyag • egyszerű kivitelezés 	<ul style="list-style-type: none"> • alacsony energiasűrűség • nagy hőmérsékleti tartomány • nagy tömeg és méret
Látens	<ul style="list-style-type: none"> • nagy energiasűrűség • szűk hőmérséklet tartomány • kis méret és tömeg 	<ul style="list-style-type: none"> • alacsony hővezetési tényező • ciklusságok során változhatnak a fizikai és kémiai tulajdonságok • sűrűségváltozás • anyagokkal szembeni kizáró feltételek: <ul style="list-style-type: none"> • folyadék aláhűlés • szegmentáció • reaktív • korrózió veszély • gyúlékonyság
Kémiai	<ul style="list-style-type: none"> • magas energiasűrűség, szűk hőmérséklet tartomány 	<ul style="list-style-type: none"> • drága anyagok • gyenge stabilitás miatt a ciklusok száma alacsony • bonyolult folyamat

2.3. A hőtárolás jellemzői

A betárolás-kiürítés teljesítménye, valamint a tárolt hőmennyiség a két legfontosabb jellemzője a hőtárolóknak. A hő betárolása, majd annak későbbi felhasználása lehetséges minden olyan kémiai és fizikai eljárással, ahol az egyik irányban hő felvétel, a másik irányba hőleadás történik. A tárolt hőmennyiség alul méretezése esetén könnyen lehet segíteni egy nagyobb méretű tároló egység beszerelésével. A hő betárolása és annak teljes felhasználása, azaz a tartály kisütési teljesítménye néhány megoldandó problémát állít elénk. A teljesítménynek szorosan illeszkedni kell a kiszolgált rendszer által megkövetelt igényekhez. Egy hőellátó rendszer maximális csúcsigényét a rendelkezésre álló hőforrás teljesítményével,

és a hőtároló egyidejű kisütésével érjük el. A tároló kisütési teljesítményét az 1.számú képlet mutatja be. (Dr. Szánthó & Andrassy, 2021) (Borbély, 2014)

$$Q_{\text{tároló}}(\tau) = Q_{\text{hőigény}}(\tau) - Q_{\text{hőtermelő}}(\tau) \quad (1)$$

ahol $Q_{\text{hőigény}}(\tau)$ a pillanatnyi hőigény, a $Q_{\text{hőtermelő}}(\tau)$ a hőtermelő pillanatnyi teljesítménye. Mivel időben mindkettő változik a tárolóból kivett teljesítménynek is változnia kell. A tároló töltöttségi állapotának mértékétől függ a kivethető teljesítmény. A tároló töltését meghatározhatjuk 2.számú összefüggéssel. (Andrassy , 2021)

$$Q_{\text{tároló}}(\tau) = Q_{\text{hőtermelő}}(\tau) - Q_{\text{hőigény}}(\tau) \quad (2)$$

Az összefüggésekből kiolvasható, hogy a tároló töltöttségétől függően kinyerhető vagy betárolható teljesítménynek az idő függvényében mindig egyenlőnek kell lennie a rendszer igényeivel. A tároló, amennyiben az igényelnél több teljesítménnyel rendelkezik azt szabályozással meg lehet oldani, azonban teljesítményhiány esetében csak konstrukciós átalakítással oldható meg a probléma. A tároló töltésének behatárolására a legjobb példa az indirekt tárolós HMV termelés, ahol a tároló töltésekor az emelkedő hőmérséklet folyamatosan leszabályozva csökkenti a bevihető teljesítményt, amellyel így romlik a hőtermelő egység hatásfoka. (Dr. Szánthó & Andrassy, 2021)

2.4. Hőtárolás vízzel

A fűtési rendszerek munkaközege általánosságban a víz, mivel olcsón és korlátok nélkül áll a rendelkezésünkre. Használata biztonságos, alkalmazásával azonban a rendszerben előfordulhat a korrózióknak kitett fenyegetettség, melynek megelőzése érdekében különböző intézkedéseket kell tenni a tervezés, a kivitelezés és az üzemeltetés terén. A vízzel történő hőtárolás nem egy intenzív folyamat, nagy térfogatot igényel a nagy hőlépcsők esetében is. Az épületgépészeti rendszerekben hagyományos hőtárolási megoldás a vizes puffertároló. Puffertárolóról akkor beszélünk, ha a benne lévő vizet fűtési vagy hűtési célokra használják, és nem szükséges a higiéniai szempontokkal szembeni követelményeknek megfelelnie. A használati melegvíz tároló esetében pedig, ivóvíz minőségű vizet kell tartalmazni kötelező jelleggel. A hőtárolással lényegében a hőmennyiséget tároljuk, ami 1°C hőmérséklet különbség esetén a tárolt víz 1 kg-jára tekintve körülbelül 4,2 kJ. A tárolóra vonatkozó hőmennyiséget a 3.számú összefüggéssel tudjuk kiszámolni. (Andrassy , 2021) (Dr. Szánthó & Andrassy, 2021)

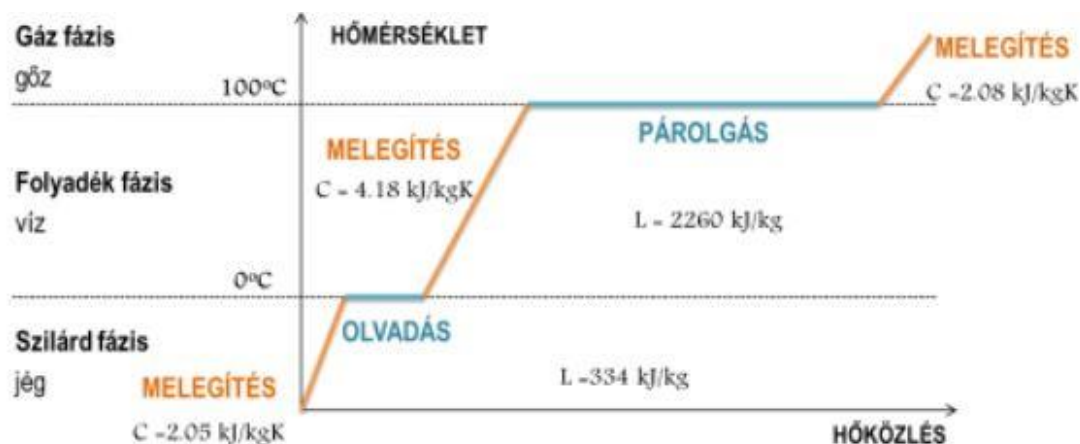
$$Q = m_{\text{tároló}} \cdot C_{\text{víz}} \cdot (T_{\text{előre}} - T_{\text{vissza}}) \quad (3)$$

ahol Q a hőmennyiség, $m_{\text{tároló}}$ a tárolóban lévő víz tömege, $C_{\text{víz}}$ a víz fajhője, a T pedig a hőmérsékletkülönbség az előremenő és a visszafolyó ág között.

A hatékony hőtároló képesség növelésénél nem feltétlenül a tároló tömegét szükséges megnövelni, érdekesebb a tároló töltött és kiürített üzemi állapotának a hőmérsékletkülönbségét növelni. Ebből adódóan a vizes hőtárolást a nagy hőmérsékletkülönbség esetén célszerű alkalmazni. A korszerű olcsó hő előállító fűtési és hűtés rendszerek, ezzel párhuzamban egyre alacsonyabb, vagy egyre magasabb hőmérséklettel üzemelnek, nincs meg tehát a nagy hőmérsékletkülönbség, így a vízzel történő hőtárolás hatékonysága csökkenő tendenciát mutat. (Dr. Szánthó & Andrassy, 2021)

A hőlépcsők csökkenésével, jut jelentős szerephez a fázisváltás kihasználása, melynél szintén lehet alkalmazni a vizet. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a víz-jég átmenet határánál atmoszferikus nyomás esetében 1 kg jégben hozzávetőlegesen 334 kJ energia tárolható be. Ez a hőmennyiség 1 kg víz esetében $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletkülönbséggel érhető el. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a víz-gőz átmenet határánál légköri nyomás esetében az elgőzölgés látens hője körülbelül 2260 kJ , ez a víz esetében $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletkülönbséggel lenne elérhető, de mindez csak elméleti síkon létező hőtárolás. A gondot az okozza hogy fázisváltás hőmérséklete légköri nyomás alatt kötött, és viszonylag szűk határok között mozog. Fűtési rendszereknél ma már nem közkedvelt a gőz használata a tetemes hővesztesége és a komplex technológiája miatt, akármennyire is tűnik ideálisnak a víz-gőz átmenet hőtárolási jellemzője. (Andrassy, 2021)

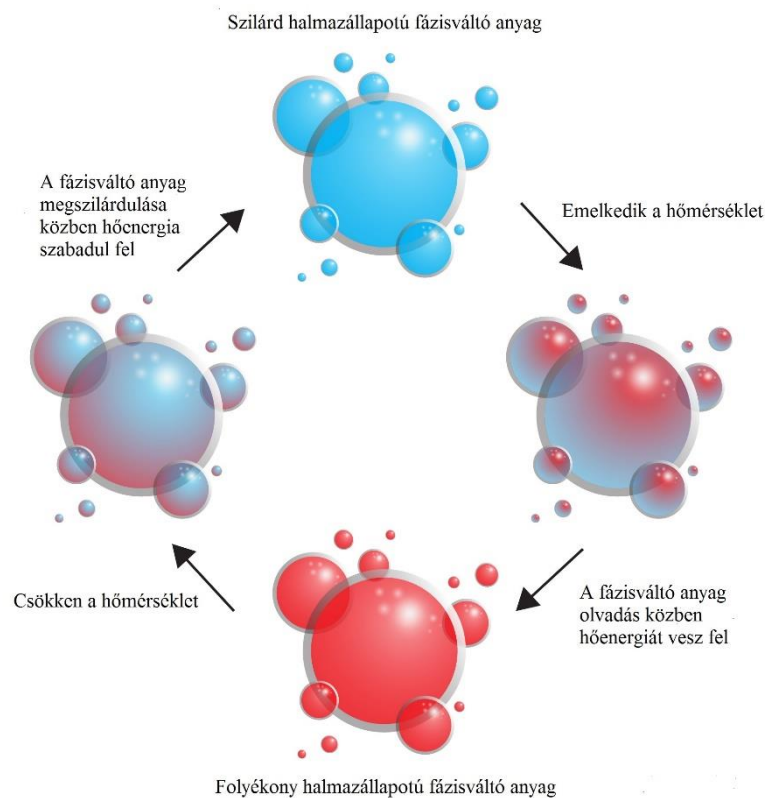
A víz hőmérséklet-hőközlés közötti kapcsolatot a 2. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy az fázisváltások során, az olvadás és a párolgás jelenségénél mekkora mértékű olvadáshő alakul ki. Az ábrán szereplő értékek közel megegyeznek a fentebb leírt értékekkel.



2. ábra. A víz hőmérséklet-hőközlés diagramja (Szabó, 2017)

3. FÁZISVÁLTÓ ANYAGOK

A fázisváltó anyagok alkalmazása egy gyorsan fejlődő ígéretes technológia az építőiparban és az épületgépészetben egyaránt, ahol a hőenergia felhasználását és energiatakarékossági szempontokat tekintve szigorú követelményeknek kell megfelelni. Ezek az anyagok nagy mennyiségű hőt képesek eltárolni és felszabadítani. A hagyományos materiáknak akár többszörösét is. Megfelelően képesek kezelni az energiát a különböző hőtárolási felhasználásuk során. Az olvadási/töltési fázisban energiát vesz fel, azaz tárolja, a megszilárdulási/kisütési fázisban pedig energia szabadul fel, ezzel szabályozva a szükséges energiaszükségletet. Az anyagnak ezt féle a ciklikusságát a 3.számú ábra mutatja be.



3. ábra. A fázisváltó anyagok működési ciklusa (Külküte Temperature Regulating Technology, -)

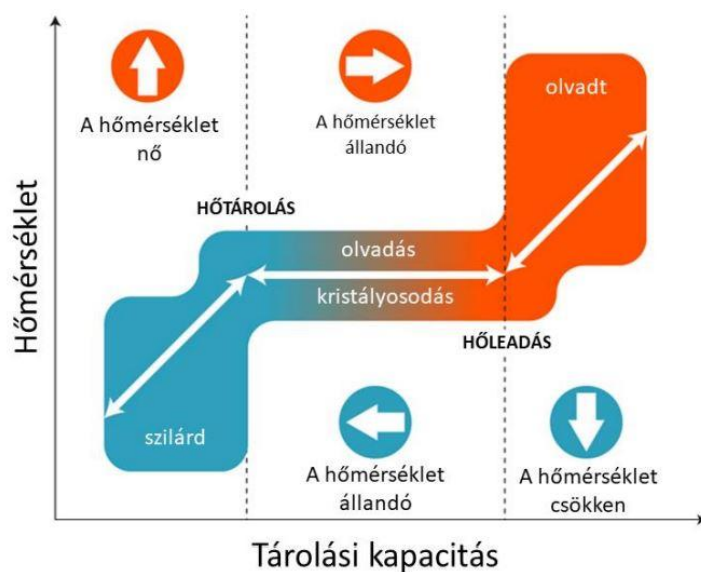
3.1. Fázisváltó anyagok bemutatása

A fázisváltó anyagok vagy az angolul elterjedt rövidítéssel PCM-ek (Phase Change Material) olyan energiátároló anyagok, amelyek a látens hőt felhasználva nagyobb energiasűrűséggel

képesek a hőenergia tárolására. Egy adott egységnyi térfogat esetén a rejtett hőtárolást kihasználva nagyobb energiasűrűséget tudunk elérni, mert nem csak a fajhő, de a párolgás- és az olvadáshő is alkalmazható a hőátadási folyamatoknál. (Rádi, 2018)

Az energiatárolás kellő hőmérsékleti tartományában egy anyag halmazállapota is változik, de akkor fajlagosan sokkal több hőt képes raktározni, mintha csupán a hőmérséklete változna meg. Ez a látens hőtartalom változásnak tudható be. A halmazállapot-változások közül gazdaságosan a folyadék-szilárd, vagy ennek az inverz verziója a szilárd-folyadék fázisátmenet hőtartalom-változása használható ki. (Gyenis, Tóth, Feczkó, & Szépvölgyi, 2014)

A 4.ábra szemlélteti a pcm-ek hőtartalmát-tárolási kapacitását a hőmérséklet függvényében. A hőmérséklet növelésével a szilárd anyag elkezd megolvadni. A hőmérséklet fokozásával a hőtartalom is jelentősen megnövekszik és ez egészen addig emelkedik, amíg teljes mértékben folyadék halmazállapotú lesz, ekkor éri el a legnagyobb hőtartalmát. A maximális hőtartalom elérése után csökkenni kezd a hőmérséklet, szépen lassan elkezd kristályosodni még nem újra eléri a teljes szilárd halmazállapotot. A folyamat alatt mindvégig csökken a hőmérséklet és a hőtartalom is.



4. ábra. Fázisváltó anyagok hőmérséklet-hőtartalom diagram (HeatVentors, 2023)

Az angol szakirodalmak nem tesznek különbséget fázis és a halmazállapot-váltás szavai között. Pedig érdemes megemlíteni, hogy a fázisváltó anyagoknál nem mindegyik esetben történik halmazállapot változás is, például vegyük alapul a vas allotróp átkristályosodását 911°C-on, ahol szilárd-szilárd fázisátalakulás megy végbe. (Dr.Szánthó & Andrassy, 2019/1-2) (Dr. Gácsi & Dr. Mertinger, 2000)

3.2. Fázisváltó anyagok tulajdonságai

A fázisváltó anyagok pozitív tulajdonságai: (Dr.Szánthó & Andrásy, 2019/1-2)

- nagy sűrűségű energiatárolás
- hőingadozások csökkentése
- alkalmazásukkal csökkenthető a hőtároló egységek mérete, amellyel a rendszer mérete és költsége optimalizálható

A fázisváltó anyagok negatív tulajdonságai: (Dr.Szánthó & Andrásy, 2019/1-2)

- időben változó hővezetési tényezők
- sűrűségváltozás
- a sok ismétlődő ciklus miatt a fizikai és kémia tulajdonságaik negatív irányba változhatnak
- folyadék aláhűlés (nem történik meg a fázisváltás a fagypontra elérését követően sem), ilyenkor egy külső behatás következtében hirtelen megszilárdulhat a matéria, így egy belső feszültséget létrehozva, ami komoly károsodást idézhet elő
- fázis szegmentáció (a nagy egybe függő tárolók esetében csoportosulások jöhetnek létre)
- gyúlékony
- reakcióképes
- korrozív

A tárolt energiafelhasználását tekintve négy nagyobb csoportba tudjuk sorolni: (Dr.Szánthó & Andrásy, 2019/1-2)

- $T < 25\text{ °C}$ – hűtésre
- $T > 25\text{ °C}$ – fűtésre
- $T > 90\text{ °C}$ – abszorpciós fűtésre
- $T > 200\text{ °C}$ – naphőerőműveknél alkalmazható

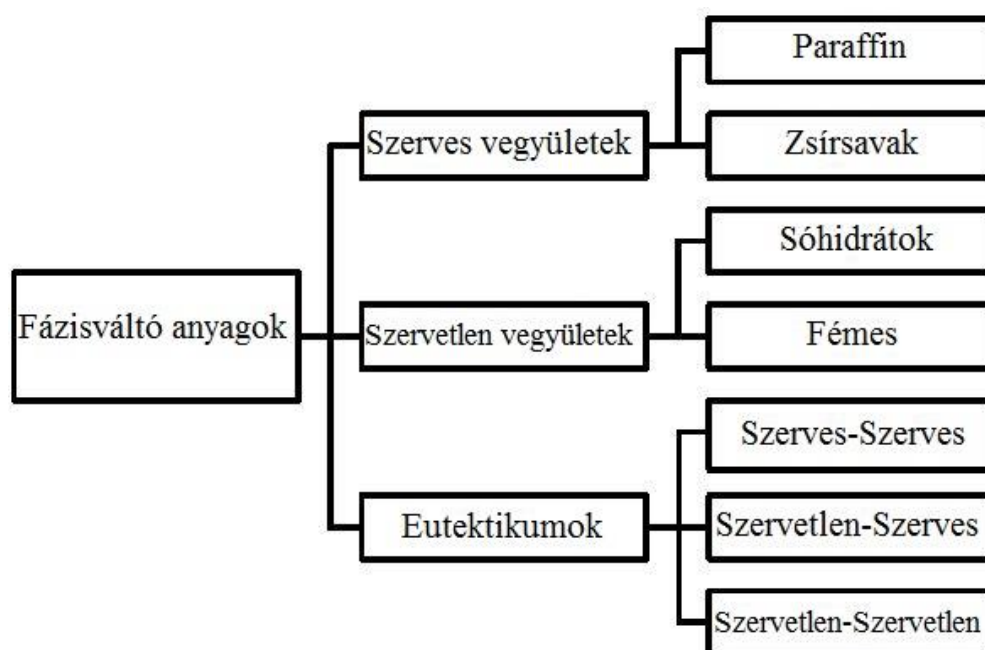
Az adott anyag olvadáspontja különböző kémiai eljárások segítségével változtatható viszonylag széles keretek között, ebből adódóan a felhasználási területük is elég széles. Olvadás közben a matéria hőt vesz fel, míg a fagyás esetében a hőt adja le környezetnek. (Dr.Szánthó & Andrásy, 2019/1-2)

A fázisváltások során bizonyos anyagnál térfogatváltozások alakulhatnak ki, ami nem túl jelentős, 12% alatti, de ezt a tárolónak vagy az adott szerkezetnek rugalmasan kell felvennie. Annak a megvalósítása érdekében, hogy az anyag rugalmasan tudjon tágulni a térben a legtöbb esetben fóliázott kapszula táblákban, vagy mikrokapszulákba integrálva alkalmazzák. (Balogh , Hódosi, & Hollósi , 2012)

3.3. Típusaik kémiai felépítésük alapján

A fázisváltó anyagokat kémiai szerkezeti felépítésüket tekintve három nagyobb osztályba sorolhatjuk. Az egyik csoport a szerves PCM-ek, mint például a paraffinok (C_nH_{2n+2}) vagy a telített zsírsavak ($CH_3(CH_2)_{2n}COOH$). A másik a szervesetlenek, ide sorolhatjuk a sóhidrátokat (MnH_2O). Továbbá ott vannak még az eutektikumok, amelyeknél a már fent említett szerves és szervesetlen PCM-ek különböző variációjú elegyei találkoznak, mint a szerves-szerves, szerves-szervesetlen, szervesetlen-szervesetlen. Ezeken kívül léteznék még bioPCM-ek is ezek leginkább állati és növényi eredetű zsírok. A fázisváltó anyagok között fellelhetők a nedvszívó anyagok is, amelyeknél a hőtárolás nem az olvadás-megszilárdulás révén, hanem a kondenzáció-párolgás révén valósul meg. (Dr.Szánthó & Andrassy, 2019/1-2) (Zhou, Zhao, & Tian, 2012)

Az 5.ábra bemutatja hogyan is épül fel a fázisváltó anyagok csoportosítás.



5. ábra. A fázisváltó anyagok osztályozása (Zhou, Zhao, & Tian, 2012)

Jól látható a három fő csoport (szerves vegyületek, szervesetlen vegyületek, eutektikumok), és hogy azokhoz mely további alcsoportok tartoznak. A fentebb említett bioPCM nem található meg sajnos az ábrán, de a szerves vegyületek csoport leágazása ként lenne jelen.

Az 2.;3.;4.számú táblázatokban foglaltam össze a kémiai felépítésük szerinti csoportok pozitív és negatív tulajdonságait.

2. táblázat. *A szerves fázisváltó anyagok tulajdonságai* (Pasupathy, Velraj, & Seeniraj, 2008) (Chandel & Agarwal, 2007)

Szerves fázisváltó anyagok tulajdonságai	
Előnyök	Hátrányok
<ul style="list-style-type: none"> • nem áll fenn az aláhűlés veszély • magas hőátadás a fagyási ciklus során • a hagyományos szerkezeti anyagokkal kompatibilis • az olvadási képesség megfelelő • nincs szegregáció • kémiailag stabil • magas olvadáshő • újrahasznosítható 	<ul style="list-style-type: none"> • rosszul vezetik a hőt szilárd halmazállapotban • a térfogati látens hőtároló képessége alacsony • tűzveszélyes, de a megfelelő tarolással ez orvosolható • magas előállítási költség a kitűnő minőség miatt

3. táblázat. *A szervesetlen fázisváltó anyagok tulajdonságai* (Pasupathy, Velraj, & Seeniraj, 2008) (Chandel & Agarwal, 2007)

Szervesetlen fázisváltó anyagok tulajdonságai	
Előnyök	Hátrányok
<ul style="list-style-type: none"> • nagy hőraktározási kapacitás • jó hővezető képesség • olcsó előállítás • könnyen beszerezhető • nem éghető • alacsony gőznyomás • pontosan meghatározható olvadáspont 	<ul style="list-style-type: none"> • fennáll az aláhűlés veszélye • jelentős térfogat változás • fázis szegregációk alakulhatnak ki • fém tartályokban nem használható

4. táblázat. *Eutektikum fázisváltó anyagok tulajdonságai* (Pasupathy, Velraj, & Seeniraj, 2008) (Chandel & Agarwal, 2007)

Eutektikumú fázisváltó anyagok tulajdonságai	
Előnyök	Hátrányok
<ul style="list-style-type: none"> • Pontos meghatározható olvadás és forráspont • A sűrűségük nagyobb, mint a szerves PCM-ké 	<ul style="list-style-type: none"> • drága • kevés adat áll rendelkezésre a termofizikai tulajdonságaikról

3.4. Fázisváltó anyagok fizikai tulajdonságai

A gyártók jelentős része sok esetben hiányosan adja meg a különböző anyagokra vonatkozó fizikai tulajdonságokat. A fázisváltó anyaggal töltött hőtárolóknak a rendszerekhez való illesztése, így komoly fejtörést okoz. Annak érdekében, hogy a megfelelő anyag kerüljön kiválasztásra, néha extra munkát kell befektetni a hőtechnikai tulajdonságok mérésébe. A mérések során olyan fontos fizikai tulajdonságot kell meghatározni, mint például olvadási-fagyási hőmérséklet, látens hő kibocsátás fázisváltás során, vagy éppenséggel a különböző halmazállapotokban mért sűrűség érték. A sűrűség az egyik legmeghatározóbb, ugyanis halmazállapot váltás során térfogatváltozás is történik, így, ha nem megfelelő a PCM tároló tágulásának méretezése, komoly hibát idézhet elő.

Fázisváltó anyagok fizikai tulajdonságainak mérésével Andrassy Zoltán foglalkozott nagyobb volumenben a BME Épületgépészeti és Gépeszeti Eljárástechnika Tanszéken. A mérési eredményeit a 5. és 6. számú táblázat foglalja össze. Az 5.számú táblázatban olyan fázisváltóanyagok találhatóak, amelyek akár mindennapi életben is előfordulhatnak.

5. táblázat. Mérések során meghatározott fizikai tulajdonságok fázisváltó anyagoknál (Andrássy, 2021)

Anyagnév	T_{sz}^{sz}	T_{sz}^o	T_f^{sz}	T_f^o	Látenshő kJ/kg	Fajhő		Sűrűség		Kockázat
	°C	°C	°C	°C		Szil.	Foly.	Szil.	Foly.	
	kJ/kgK		kJ/m ³							
Kókuszszír 1	2	15	9	25	107,6	3,2	2,7	892	831	nincs
Kókuszszír 2	5	15	11	25	104,2	3,2	2,7	894	793	nincs
Kókuszszír 3	5	15	11	25	98,5	3,2	2,7	881	858	nincs
Kókuszszír 4	5	15	11	25	102,3	3,2	2,7	888	791	nincs
Kókuszszír 5	9	16	11	25	106,1	3,2	2,7	891	853	nincs
Kókuszszír 6	10	17	11	26	106,7	3,2	2,7	886	849	nincs
Glicerin monosztearát 1	2	22	13	34	52	2,6	2,3	1218	1157	aláhülés
N-hexadekán	16,2	19,5	17	20	221,7	2,3	2,1	847	797	higroszkóp
Glicerin	-30	-28	18	20,1	198,6	3,4	2,9	1223	1127	higroszkóp
PEG 600	20,2	21,6	21	22,3	127,2	3,2	2,7	789	716	higroszkóp
Glicerin disztearát	25,6	28,1	27	29,8	146,8	2,9	2,5	1245	1179	nincs
Glicerin monosztearát 4	37	42	57	61,3	170,5	3,4	2,9	1206	1112	aláhülés
Glicerin monosztearát 2	55	60	58	63	80,5	3,3	2,8	1203	1077	nincs
LiCH ₃ COO*2H ₂ O	55,1	56,9	56	58,5	172	4	3,4	1657	1471	nincs
MnCl ₂ *4H ₂ O	57,3	58,3	58	60,1	213,2	3,4	2,9	1913	1692	higroszkóp
NaH ₂ PO ₄ *2H ₂ O	58,2	60,9	60	61,6	154,2	3,8	3,1	1675	1570	nincs
Glicerin monosztrarat 3	59	64	61	66	91,6	3	2,7	1241	1142	nincs
Cr(NO ₃) ₃ *9H ₂ O	59,1	60,7	60	62,1	231,2	3,5	3	1820	1626	korrozív
Sztearinsav	60,3	67,4	66	75,7	212,6	2,8	2	870	831	aláhülés
Palmitinsav	61,1	62	62	62,5	166,1	3,2	2,2	895	874	nincs
Kandelilla viasz	67,4	70,1	70	72	167,2	2,9	2,3	988	911	nincs
Na ₃ PO ₄ *12H ₂ O	73,5	74,9	74	75,7	199,2	4,3	3,6	1620	1439	aláhülés
Mg(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	86,7	88,1	87	89,8	162	3,5	3	1555	1387	korrozív

A 6.számú táblázatban a gyártók által fejlesztett speciálisabb kivitelű fázisváltó anyagok találhatóak.

6. táblázat. Mérések során meghatározott fizikai tulajdonságok kereskedelmi forgalomban kapható fázisváltó anyagoknál (Andrássy , 2021)

Kereskedelmi forgalomban kapható anyag	T_{sz}^{sz}	T_{sz}^o	T_f^{sz}	T_f^o	Látenshő kJ/kg	Fajhő		Sűrűség		Kockázat
	°C	°C	°C	°C		Szil.	Foly.	Szil.	Foly.	
						kJ/kgK	kJ/m ³			
CrodaTherm 19	14	19	15	20,5	162,5	3,4	3	857	778	nincs
PureTemp 23	15	22	17	26	154	2,4	1,9	875	805	nem stabil
Zehaochem	17,8	22,1	19	23	127,1	3,2	2,6	900	860	nincs
PCM18G	16	18,1	18	21,3	194,1	3,1	2,6	865	796	nincs
BioPCM Q23	18	23	20	25	210	3,9	3,6	760	683	korrozív
RT21	18	22	19	23	125	2,6	2	850	778	nincs
CrodaTherm 21	18,5	20,3	20	21,4	185,2	2,3	2,6	891	850	nincs
Climator Climsel 21B	19,8	21,7	21	23,6	82,4	4,2	3,8	1423	1311	nincs
Climator Climsel 21	17,3	18,9	18	24,5	90,2	3,9	3,6	1457	1283	korrozív
Climator Climsel 24	24,2	27,1	26	28	108,3	3,9	3,3	1561	1513	nincs
PP53 paraffin	49,5	55,7	51	56,5	192,7	4,1	3,1	802	743	nincs
RT60	56,1	58,7	58	61,1	161,2	2,8	2,5	723	704	nincs
Paraffin 63	60	63,5	61	65	186,2	3,7	2,9	846	811	nincs
Sasolwax 6403	61,8	64,2	64	65,9	140	3,4	2,7	812	793	nincs

A fázisváltás egy hiszterézis görbe mentén zajlik, aminek négy jellegzetes pontja van, és a hőmérséklethez köthető. Ez a négy pont a táblázatban megadott hőmérséklet jelölések, ahol a T_{sz}^{sz} - a fagyás véghőmérséklete, a T_{sz}^o – az olvadás kezdő hőmérséklete, a T_f^{sz} - a fagyás kezdő hőmérséklete, a T_f^o az olvadás véghőmérséklete. (Andrássy , 2021)

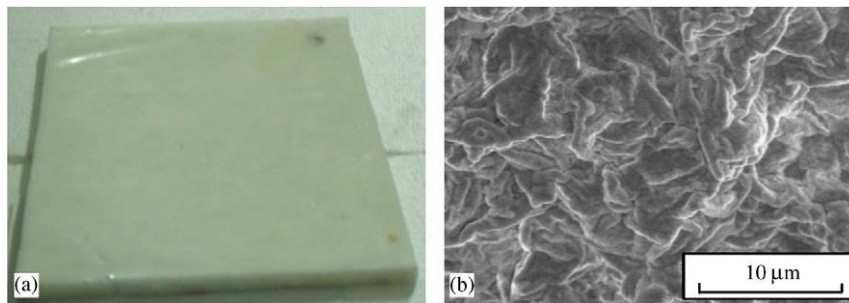
3.5. Tárolási lehetőségek

A PCM-ek tárolása többféleképpen is megvalósítható, mivel nem egyforma tulajdonságokkal rendelkeznek. Némelyik anyag reaktív, robbanékony vagy akár gyúlékony is lehet, ezek esetében speciálisabb tárolásra van szükség. A másik oldalról nézve viszont vannak olyanok, amelyek semmiféle veszélyt nem jelentenek, de ezeket is célszerű tárolóban tartva elzárni a külvilágtól a különféle alkalmazásuk végett.

A legegyszerűbb kialakítás a tömbös vagy táblás kivitel, ami a 6.ábrán látható. Ennek a kivitelnek a nagy előnye, hogy gyorsan és könnyedén lehet mozgatni, vagy éppen beépíteni (akár falburkolatba vagy álmennyezetbe) és mindemellett állandó rétegvastagságot biztosít.

A hőt hosszú ideig képes tárolni viszont hőátadási tulajdonságok nem ideálisak, mivel a hőátadó felület fajlagosan kisebb. A veszélynek kitett helyeken is jól alkalmazható, mert a határoló héjszerkezet ellenálló a mérgező, korrozív vagy éppenséggel éghető anyaggal szemben is. (Andrássy , 2021)

A tömb relatív nagy mérettel rendelkezik, ezért a töltésre szánt PCM mennyisége is sok lesz. Ez negatív hatással lehet a felhasználásra, mert az anyagban fázis szegmentáció fog kialakulni. Egymástól elkülönült csoportok fognak megszilárdulni és nem minden alkalommal fog teljes mértékben egyesülni a fázisváltó anyag. (Andrássy , 2021)



6. ábra. A PCM tömbös tárolása (a) és annak elektron mikroszkópos felvétele(b) (Zhang, Zhou, Lin, Zhang, & Di, 2007)

A tömbös kialakításhoz hasonló a cellás vagy zsebes elnevezésű kialakítás, aminek a fő előnye, hogy a cellák között megoszlik a fázisváltó anyag mennyisége, így nem alakulhat ki fázis szegmentáció. Kapható négy vagy akár nyolc cellás elrendezésben is. A négy cellásnak nagyobb a PCM tartalma, így több ideig adja át a hőt, míg a nyolc cellás esetében nagyobb hatékonyság érhető el, de rövidebb távon. Ezeket elsősorban ruházati termékeknel alkalmazzák. A 7.ábrán egy nyolc cellás kialakítású fázisváltó anyag tároló látható. (EZCooldown, 2023)



7. ábra. Nyolc cellás kialakítású fázisváltó anyag tároló (JOPA, 2023)

A következő a szőnyegszerű kialakítás, amely nagyon hasonlít egy nagyméretű kipukkasztott buborék fóliára, amit a 8.ábra szemléltet. Itt is több kisebb rekeszben osztódik el a fázisváltó

anyag. A töltőanyagként sok esetben alkalmaznak organikus PCM-et, növényi vagy állati zsiradékot. (Katahdin Cedar Log Homes, 2013)



8. ábra. Szőnyegszerű kialakítású fázisváltó anyag tároló (Katahdin Cedar Log Homes, 2013)

Az itt felsoroltakon kívül a tárolásuk történhet még kapszulázással, de ezzel bővebben szeretnék foglalkozni, mert az az egyik, hanem a legelterjedtebb és talán a hatékonyságot is tekintve a legjobb tárolási módszer.

3.5.1. Hőtárolás kapszulázott fázisváltó anyagokkal

Számos mikrokapszulázott fázisváltó anyag (MPCM) és nanokapszulázott fázisváltó anyag (NPCM) felhasználható a hőenergia tárolására és szállítására a látens hőt kihasználva. A kapszulázott PCM-ek méretük szerint különböző osztályokba sorolhatóak. Az 1000 μm feletti esetben makrokapszulákról, 1 és 1000 μm -on belül mikrokapszulákról, 1000 nm alatt pedig nanokapszulákról beszélünk. Nagy érdeklődés övezi a mikro- és nanokapszulázott PCM-ek szintézisét, amelyek nagy felületi-térfogati aránnyal rendelkeznek, ezzel megkönnyítve a hőátvitelt. (Feliépe, Pabón-Gelvé, & Farid , 2019)

A mikrokapszulák mag-héj szerkezetű felépítéssel rendelkeznek, ezt a 9.ábra mutatja be. Maga a hőtároló anyag a kapszula magjában helyezkedik el, és egy zárt burok választja el csupán a külső hatásoktól. A külső burok, vagyis a héj az esetek többségében valamilyen szerves polimer, de fellelhető már SiO_2 bázisú bevonat is. A polimer lehet szintetikus vagy organikus is, bár az iparban az előbbi használatát preferálják. A burokkal szembeni legfőbb követelmények a kémia stabilitás, a mechanikai és termikus stressztűrő képesség. Továbbá a kompatibilitás a magban felhasználandó anyaggal, és minden olyan anyaggal (szerkezeti

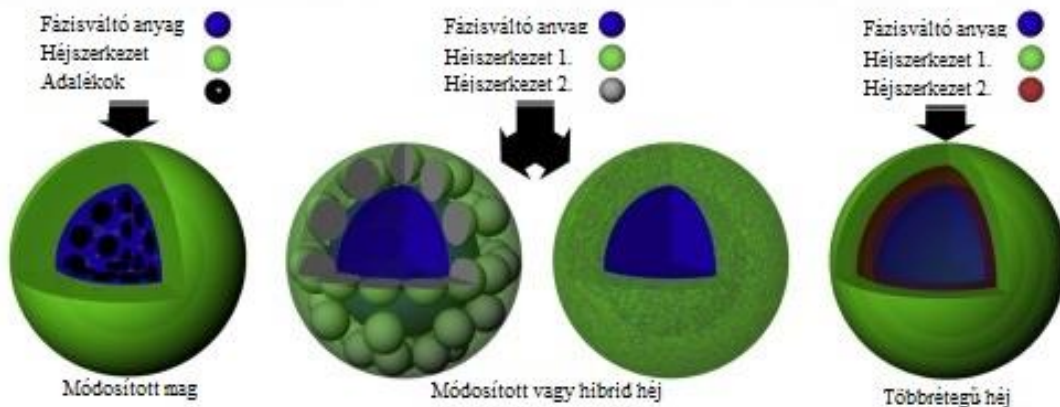
anyagok, hőközvetítőanyagok) szemben, amellyel a felhasználás során a mikrokapszulának érintkeznie kell. (Gyenis, Tóth, Feczkó, & Szépvölgyi , 2014)



9. ábra. Mikrokapszulák általános nézete (a) és a mag-héj szerkezete (b) (Refat, Mohammed, & Charles, 2022)

A mikrokapszulázott fázisváltó anyagok legnagyobb felhasználási területe az épületszerkezeti elemekben és a textíliákba integrálva fordul elő a termikus csillapítás vagy a termikus védelem érdekében. (Gyenis, Tóth, Feczkó, & Szépvölgyi , 2014)

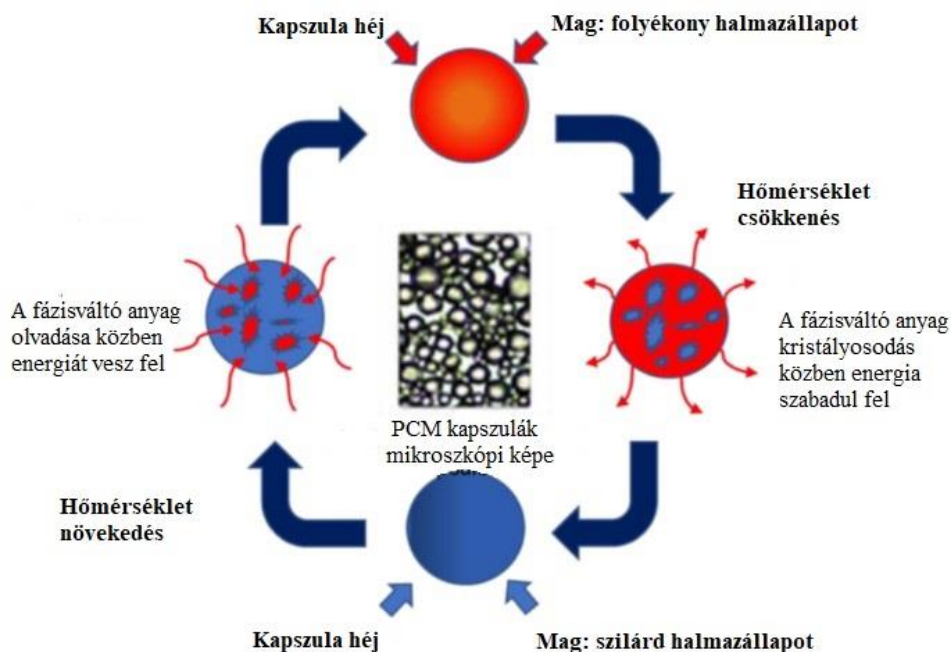
Energetikai felhasználású mikrokapszulák, vagyis hőtárolásra és hőközvetítésre szánt felhasználása egyre jobban kezd teret nyerni a szoláris rendszerek alkalmazásánál. Az elmúlt években folyamatosan fejlődött és javult az MPCM-ek teljesítménye, a hő és kémiai stabilitása, hővezetőképessége és az élettartam növelése. A kutatásokat új szintre emelve a legfőbb kihívás, hogy új funkciókkal ellátott, innovatív mikrokapszulázott fázisváltó anyagot fejlesszenek ki. Rodríguez-Cumplido és munkatársainak sikerült kifejlesztenie különböző kapszulázási lehetőségeket mind a nano- és mikrokapszulák terén, amelyekkel új funkciók ágyazhatóak be a kapszulázott PCM-ekbe, ezáltal javíthatóak a termikus tulajdonságaik. Ezt a három módszert a 10. ábra szemlélteti. A kép jobb oldalán látható az a fajta eljárás, ahol adalékanyagokkal egészítik ki a maganyagot. Középen a hibrid héjjal ellátott kapszula figyelhető meg, amelynél a burokba kisebb méretű extra kapszulák vannak integrálva, de ezeknek a funkciója megegyezik a fő héj funkciójával. Ilyen lehet például a $\text{MnO}_2/\text{SiO}_2$ hibrid héj alkalmazása, amely megfelelő termikus tulajdonságokat és nagy elektrokémia hatékonyságot mutatott a szuperkondenzátorok hőszabályozó elektródarendszerénél és a Li-ion akkumulátor cellák alkalmazásánál. A kép bal oldalán az úgynevezett kagylós szerkezet látható, ahol a külső héjréteg alatt egy vékonyabb héj réteg borítja és védi a fázis váltó anyagot. (Ghada, Zohir, Hassane , & Fabien , 2021) (Feliupe, Pabón-Gelves, & Farid , 2019)



10. ábra. A különböző multifunkcionális mikrokapszulázott fázisváltó anyagok (Feliupe, Pabón-Gelves, & Farid , 2019)

Több vegyipari vállalat is foglalkozik már a fázisváltó anyagok mikrokapszulázásával és nanokapszulázásával, a világ számos országában többek között Németországban az Egyesült Királyságban és az Egyesült Államokban is. A gyártási technológiák már adottak, ám igen költségesek. Viszont ezzel a fajta tárolással lehet a leghatékonyabb és a legszélesebb körben felhasználni a fázisváltó anyagokat, így érdemes lehet mérlegelni a használatukon. (Andrási, 2018)

Az 11.ábra a mikrokapszulázott fázisváltó anyagok energia ciklusát mutatja be, a tárolás és a kibocsátás során. Az ábra közepén található fotó a kapszula magjában lévő anyagot szemlélteti a ciklus folyamán.



11. ábra. A kapszulázott fázisváltó anyag energia ciklusa (Refat, Mohammed, & Charles, 2022)

3.6. A fázisváltó anyagok felhasználási területei

A fázisváltó anyagok felhasználására számos terület adott. Először az 50-es években a NASA kezdett kísérletezni, olyan anyagokkal, amelyek az űrruhákba integrálva megvédik az űrhajósokat az extrém hőmérsékleti körülményektől. Ezek az anyagok egy passzív rendszer részei voltak, így azt külön keringetni kellett a ruhában. A 80-as években kezdtek el kutatni újfajta anyagokat, amelyeket folyamatos cirkuláció nélkül lehetett alkalmazni. A kutatások eredményeként megszülető fázisváltó anyagokat magánvállalatok segítségével sikeresen tudták beültetni textíliába. A későbbiekben a NASA nem csak az űrhajós ruháknál alkalmazta a fázisváltó anyagokat, de hűtőtáskáknál (Coldbag) is, ahol a begyűjtött mintát egy adott hőmérsékleten kellett szállítani. A hűtőtáskákat nagy sűrűségű polietilén kapszulába zárt PCM-ekkel (Ice Bricks/Icepacs) bélelik ki. Különböző hőmérsékleti értékekhez más és más IceBricket használnak, amelyek eltérő színekkel vannak jelölve, a megkülönböztetés érdekében. Zajlanak még továbbá a kutatások, hogy miként lehetne a fázisváltó anyagokat az űrhajók hőmérséklet szabályozási rendszerében is alkalmazni. (Nasa, 2013.) (Balogh , Hódosi, & Hollósi , 2012)

Alkalmazási területük szinte korlátlan, mivel kedvező az izoterm jellegű teljesítményük minden olyan folyamatnál, ahol hőcsere zajlik és azt szeretnénk befolyásolni is. Az alvási komfort javításának az érdekében előszeretettel használják ágyneműkbe és matracokba ágyazva. Textil iparnál alkalmazzák speciális munkásruhákhoz, síruházatokhoz, készítenek velük pulóvereket, nadrágokat, sapkákat, kesztyűket, cipőket és szőnyeget is. A textíliáknál különböző technológiák segítségével építik be a fázisváltó anyagot, annak tudatában, hogy milyen célra szeretnék felhasználni, azon belül is milyen biztonsági előírásoknak kell megfelelni. Bizonyos keretek között használják szépségipar célokra is arcmaszkoknál, és gyógyászati kellékeket is készítenek belőlük. (Balogh , Hódosi, & Hollósi , 2012) (Andrási, 2018)

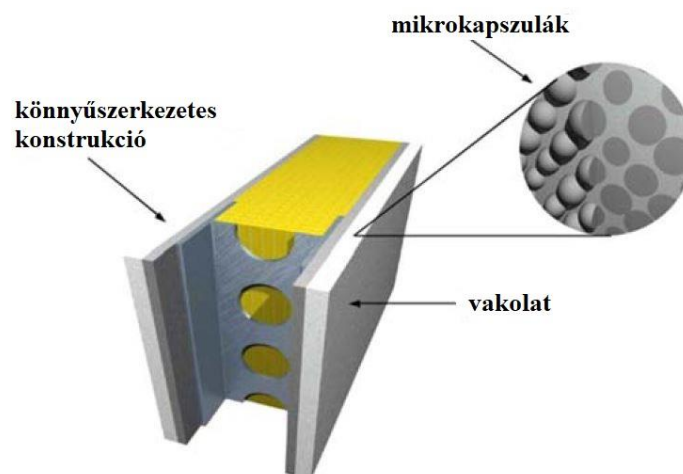
3.6.1. Felhasználásuk az építőiparban

A tudatos energiafelhasználás szemléletét előtérbe helyezve elkezdték kutatni a PCM felhasználást az épületeknél is. Az anyag energiát tárol el így, csökkenthetjük a felhasznált energia veszteségének a mértékét. Különböző felhasználási célokra alkalmazzák épületeknél, mint a hűtési-fűtési hőigénybevételek csökkentésére, a hőkomfort szabályozására, az építőanyagok hőmérsékletének a szabályozására, az épületek állag és hatékonyságának megóvására, valamint az energiamegtakarítás növelésére is. Az építőipari termékeknél,

amelyek a nyáron túlmelegedhetnek érdemes lehet alkalmazni, az egyenletesebb hőmérséklet szabályozás érdekében. (Balogh , Hódosi, & Hollósi , 2012)

Fázisváltó anyag megfelelő arányban hozzákeverhető a cementhabarcsához, pórusbetonhoz, gipszkartonhoz vagy akár vakolathoz is, így egy kiváló hőtároló képességű kompozit építőanyag hozható létre. Többen kísérleteztek már ilyen típusú energiatároló beton előállításával. Például Fauda és munkatársai, illetve Feldmen és munkatársai, akik úgynevezett direkt merítéses eljárással hoztak létre hőtároló betont. A tesztelés során azonban kiderült, hogy a PCM szivárgásra hajlamos és több fázisátalakulási ciklust követően a repedés jelei mutatkoztak meg az anyagon. Ennek tudatában a kutatók, úgy határoztak, hogy a fázisváltó anyagokat nanokapszulában vagy mikrokapszulában ágyazva hasznosítják további felhasználásra az építőanyagokba. Ezzel sikeresen meggátolhatják a PCM kijutását és továbbterjedését az építőanyagban, ezáltal meggátolva annak szétrepedését, tönkremenetelét. A fázisváltó ciklusok száma is növekedni fog mert nem veszik el az anyag, nem tud kijutni a kapszulából. Cabeza és munkatársai kísérletekkel igazolták, hogy a mikrokapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazása nem csökkenti az építőanyagok mechanikai szilárdságát. 1945-ben elsőként egy magyar származású fizikus hölgy, Telkes Mária kísérletezett épületszerkezethez történő felhasználásuk terén. Ötleteit, elképzeléseit mind a mai napig vizsgálják, miként lehetne megvalósítani. (Andrási, 2018) (Bin , és mtsai., 2023) (Gyenis, Tóth, Feczko, & Szépvölgyi , 2014)

A 12. ábrán egy belső vakolatba integrált fázisváltó anyaggal töltött mikrokapszulák láthatóak egy könnyűszerkezetes konstrukció esetében.



12. ábra. Belső vakolatba integrált fázisváltó anyag (Shazim Alli, 2014)

3.6.2. Épületgépészeti alkalmazhatóságuk

Épületgépészeti alkalmazásuk során több akadállyal kell szembenézni. Az üzemeltető részéről a hő felhasználása a külső hőmérséklet függvényében előszabályozott, vagyis változó előremenő hőmérsékletet kell szolgáltatnia. Az épületgépészeti rendszerek üzemelése komfortkörnyezetben zajlik, ezért a biztonsági szempontok betartása prioritást élvez minden mással szemben. A tárolót úgy kell kialakítani, hogy gondozásmentes legyen, így nem szükséges szakképzett üzemeltetőt alkalmazni. A tárolóban lévő anyagnak pedig stabilnak kell maradni a tervezett és számolt élettartamra. (Dr. Szánthó & Andrassy, 2021) (Andrassy, 2021)

A technológiai fejlődésnek köszönhetően adott a lehetőség, hogy a vizes puffertárolók helyett inkább valamilyen fázisváltó anyagokat alkalmazzunk hőtárolásra. A fázisváltással szűk hőmérséklettartományban nagy hőmennyiséget tudunk eltárolni, mert az olvadáshőt kihasználva intenzív hőtárolás érhető el. Példának okáért 1 kg 210 kJ/kg olvadáshővel rendelkező a kereskedelmi forgalomban kapható 800 kg/m³ sűrűségű PCM (PP53-paraffin) fázisváltása során felszabaduló hő megegyezik 1 kg víz 40°C hőmérséklet változásához szükséges energiájának. Alacsony hőmérsékletű fűtési rendszereknél, ezért is kerülhet előtérbe a fázisváltó anyagok használata, ugyanis hasonló kedvező hőmérsékletváltozási lehetőség a jelenlegi tudásunk szerint nem áll rendelkezésünkre a szokványos anyagoknál. (Andrassy, 2021)

Egy fűtési rendszernél használt puffertárolóba a rendszerhez szükséges munkaközeget, vagyis a vizet tároljuk el. Ennél a rendszernél, ha eltekintünk a hőveszteségtől, akkor a tárolóban lévő hőt ugyanazon a hőmérsékleten tudjuk felhasználni, mint amikor betároltuk azt. Fázisváltó anyagok alkalmazása során ez nem lehetséges, mert a be és kitarulásnál is hőcsere folyamat zajlik a tárolóban lévő PCM és a munkaközegként használatos víz között. Mindez azt eredményezi, hogy a vizet már csak alacsonyabb hőmérsékleten tudjuk hasznosítani. (Andrassy, 2021)

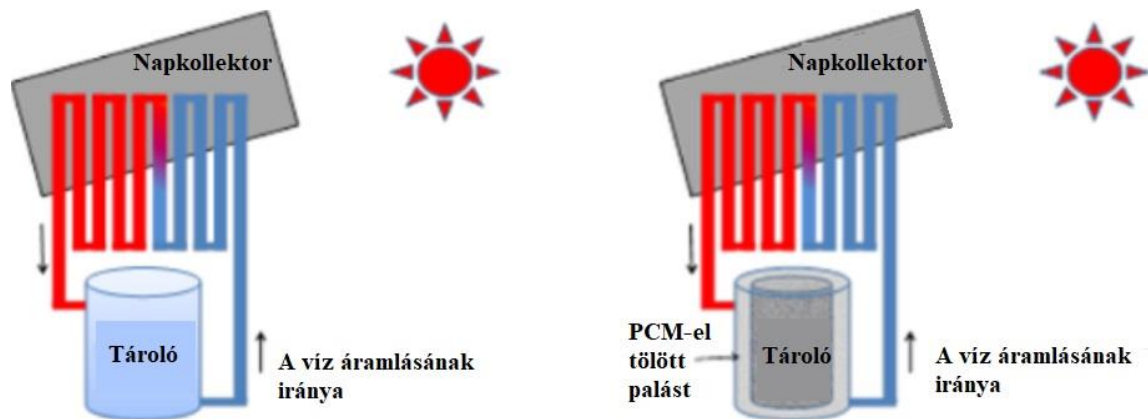
4. FÁZISVÁLTÓ ANYAGOK ALKALMAZÁSA SZOLÁRIS ÉPÜLETGÉPÉSZETI RENDSZEREKNÉL

A napfény a nagy mennyiségű sugárzó energiáját, a fotovoltatikus eszközökkel is csupán a töredékét alakítják át elektromos energiává. A maradék visszaverődik, elnyelődik, vagy éppenséggel nem hasznosított hővé alakul át. Épületgépészeti felhasználásuk során a fázisváltó anyagokat ma már számos területen alkalmazzák, mint például napkollektoros rendszerek esetében is. A PCM-ek nagy mennyiségű hőt képesek átadni, csak éppenséggel az időbeni szabályozhatóságára nincs igazán mód, ugyanis nagymértékben függ a levegő hőmérsékletétől. (Stauffer, 2018.)

Szoláris rendszerek fő funkciói közé tartozik, a napsugárzásból érkező energia begyűjtése vagy elnyelése, a tárolása és a leadás. Köztes funkciónak számít az energia szállítása. Abban az esetben, ha a funkciókat gépészeti elemekkel vagy berendezésekkel látjuk el, akkor aktív szoláris rendszerről beszélünk. (Kreativlakas.com, -)

Az aktív napenergia hasznosítása esetében épületgépészeti berendezések segítségével alakítják át a Nap által sugárzott energiát villamos vagy hőenergiává. A legelterjedtebb aktív szoláris rendszer a víz melegítésére szolgáló napkollektor. A haza viszonylatot tekintve ilyen módon előállított használati melegvíz kínálta lehetőség nagy potenciállal rendelkezik, mivel Magyarország napsugárzási viszonya igen jónak mondható. Az éves Napsugárzás összessége 1200-1400 kWh/m² értékhatár között mozog. (Naplopó Kft., 2021)

A 13.ábra mindkét oldalán aktív szoláris rendszer látható. A különbséget a tárolók mivolta adja. A baloldali esetében egy egyszerű vízzel töltött tároló segítségével történik a hőtárolás. A jobb oldali esetében a vízzel töltött tároló egység palástjában lévő fázisváltó anyag segítségével plusz hőforráshoz juthatunk anélkül, hogy elektromos fűtőpatront vagy hagyományos hőtermelő egységet vennénk igénybe. A napkollektorok segítségével a puffertároló felmelegszik, a tartály palástjában megtörténik a fázisváltás, mégpedig oly módon, hogy az anyag felveszi az energiát. A napsütéses órák elteltével a kollektorok nem tudják már biztosítani megfelelő hőmérsékletet, ekkor kezd el szépen lassan aktiválódni a PCM anyag, de ekkor már az energiát adja át a tárolóban lévő víz melegítésére.

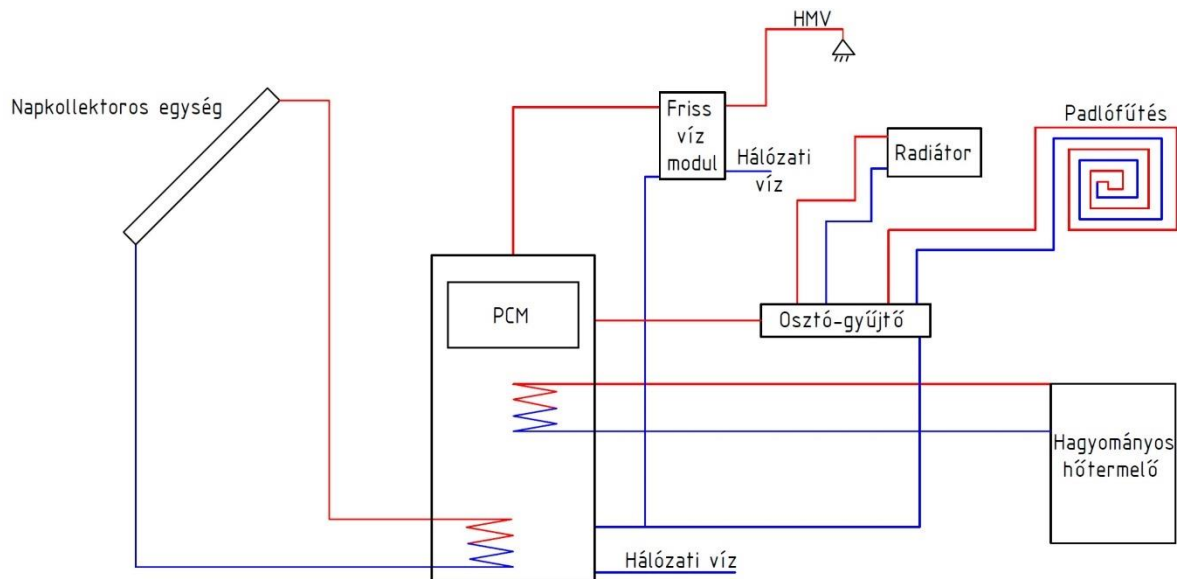


13. ábra. Aktív szoláris rendszer egyszerű vizes tárolóval (balra) aktív szoláris rendszer PCM tárolóval (jobbra) (Linqip, 2021.)

A dolgozatomban azt vizsgálom, hogy egy aktív szoláris rendszernél, miként lehetséges a fázisváltó anyagok segítségével extra hőtárolást elérni. Először is ehhez egy ideális aktív szoláris rendszer fogok létrehozni a Naplopo Kft. által fejlesztett program segítségével. A létrehozott rendszerhez pedig próbálok megkeresni, milyen módon lehetséges a PCM-es hőtárolás beintegrálása.

Napkollektor méretező rendszerrel egy átlagos méretű 85 négyzetméteres egyszintes családi ház esetében fennálló fűtésére és meleg víz ellátására szolgáló aktív szoláris rendszert hozok létre. A ház tetején elhelyezett napkollektorok 45°-os elhelyezkedésben vannak telepítve, és ideális déli tájolásúak. A rendszerben használati melegvíz tároló van továbbá beépítve. A házfűtési rendszeréhez szükséges hőszolgáltatást egy osztó-gyűjtőről elágazva egy magasabb hőmérsékletű radiátoros és egy alacsony hőmérsékleten üzemelő padlófűtéssel szolgálja ki. Az elképzelés szerint ez egy olyan rendszer lenne, amiben egy nagyobb méretű 1000 literes puffertárolóval lenne kiszolgálva mindkét igény. A használati melegvíz egy hőcserélős melegvíz modullal készül el, amely segítségével higiénikus melegvíz állítható elő. A puffertárolóban két darab hőcserélő foglalna helyet. Az egyik a primer ágon lévő hőcserélő, amit a napkollektoros hőtermelő egységek táplálnak meg és ez helyezkedik el alul. A fentebb lévő hőcserélőn foglal helyet a szekunder ág, amely egy hagyományos hőtermelő berendezéssel lenne megtáplálva. Az előző mondatban említett hőcserélőre azért célszerű rákötni a hagyományos hőtermelő egységet, mert ez csak egy kiegészítő fűtése a tartálynak. A napkollektoros egységek nem tudjuk mindig felfűteni a kívánt hőmérsékletre a puffertartályt. Ha az alsó hőcserélőre lenne rákötve a hagyományos hőtermelő egység, akkor az egész tartályt kéne fűtenie, ami gazdaságilag nem túl kifizetődő, illetve a napkollektoros

rendszerünket lényegében nem tudnánk kihasználni. A tároló egyik kilépő ágán helyezkedik el a fűtési rendszer egy másikon pedig a használati meleg vizes rendszer. A fentebb részletezett rendszer sematikus ábráját a 14. ábrán tekinthető meg.



14. ábra. Az elképzelt rendszer elvi sémája

4.1. Aktív szoláris rendszer megtervezése

Az aktív szoláris rendszer megtervezéséhez a Naplopó Kft. által fejlesztett Naplopo-Energy D programot használtam. Ebben a programban több fajta napkollektoros rendszer méretezésre van lehetőség, amik mind adottak és ezeket lehet finomra hangolni különböző beállítások módosításával. Van amelyik két tartállyal rendelkezik, egy másik esetében használati melegvizes tartállyal és egy puffertartállyal is el van látva a rendszer. Létezik olyan is amelyik csak HMV-t állít elő, egy másikat például csak a fűtési rendszerhez használják.

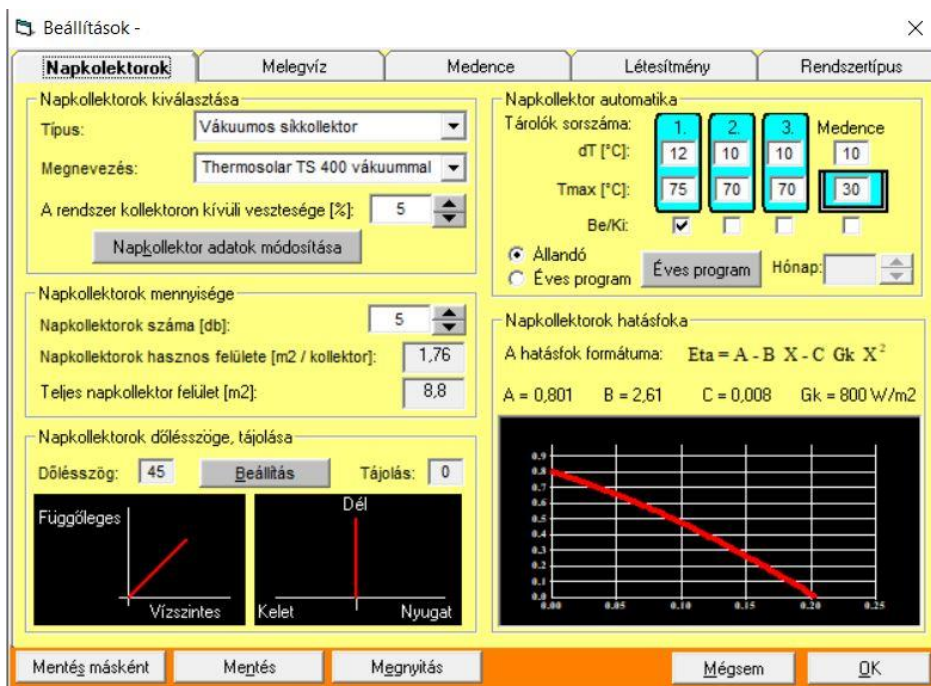
Én egy olyan rendszert választottam, amelyben egy darab 1000 literes puffertárolóról van megoldva, a fűtés és a használati melegvíz ellátás is. A biztos üzemelés érdekében két darab hőcserélővel van ellátva a hőtároló tartály. Abban az esetben, ha a napkollektoros hőtermelő egység nem tudja megfelelő határfokkal felmelegíteni a rendszert, akkor ráségít a hagyományos hőtermelő egység. Ez utóbbi akkor kapcsol be, ha az érzékelő pontnál 50°C alá esik a hőmérséklet. A kiegészítő fűtés egy 24 kW névleges teljesítménnyel rendelkező kondenzációs kazán segítségével történik. A melegvíz fogyasztás napi szinten 240 literre van saccolva, ami 4 felhasználó személy között oszlik el fejenként 60 literre. A tartályból kilépő melegvíz 60°C -os, amely a frissvíz modul hőcserélő segítségével jut el a fürdéshez,

mosogatáshoz, illetve minden olyan cselekvéshez, ahol fontos a higiénikus víz. A padlófűtéshez használt víz maximum 40° C lehet az alacsony fűtési rendszer révén. Ez a 40 °C-ot úgy tudjuk biztosítani, hogy a padló fűtéses hőleadó rendszer elé egy osztó-gyűjtőt építünk be és kiegészítjük radiátoros hőleadókkal. A tartály veszteségeinek töltéséhez 12°C-os hálózati vizet használunk fel. A cirkulációs veszteség 5%, mivel jól szigetelt csővezeték hálózatot építünk be. A fogyasztás jellegénél és a fűtési üzemidőnél is heti programot állítottam be. A 15. ábrán megtekinthetőek a fentebb leírt adatok. A melegvíz tárolóknál 3 darab látható, de csak az 1.számú lesz mérvadó mert az rendelkezik 1000 literes térfogattal, a 2. és 3.számút egy másik beállítási fülön ki lehet kapcsolni, így azzal nem fog számolni a rendszer.

15. ábra. Melegvízre vonatkozó beállítások

Következő lépésként a napkollektorokat határozom meg. Vákuumos síkkollektorokat fogok használni, mivel ezeket sokkal nagyobb hatékonysággal lehet használni téli üzem alatt is ellentétben az egyszerűbb kivitelű szelektív síkkollektorokkal. A vákuumos síkkollektorok közül is a Thermosolar TS 400 napkollektort választottam. Ez egy 2 m²-es felületű, vákuumos hőszigetelésű, álló elrendezésű, rézcsöves, csőkígyós, belső átkötőcsöves napkollektor, ALOx szelektív elnyelőmezővel. A kollektorház alumínium ötvözet, amelyre nagy tisztaságú edzett üveg kerül fedés gyanánt. (Naplopó Kft., 2021)

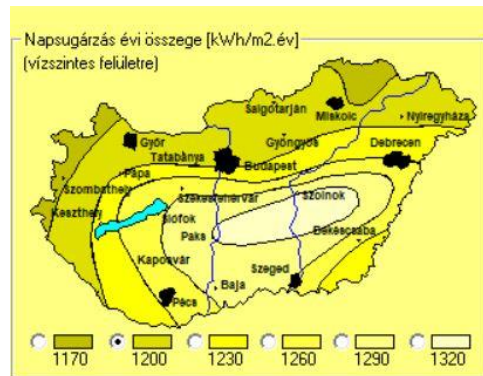
Összesen 5 darab Thermosolar TS 400 típusú kollektorral számolunk, amelyeknek egyenként 1,76 m² hasznos felülettel rendelkeznek, így a teljes hasznos felület 8,8 m² lesz. A kollektoron kívüli veszteség százalékos értékben adható meg. Ez elsősorban a csővezeték rendszer veszteségéből adódik, ami esetében 5%-kal számolok, mivel jó szigeteltségű csőhálózatotl rendelkezőnk. Szintén ebben a menüpontban állítom be az előre meghatározott 45° dőlésszöget és déli tájolású irányt, valamint itt lehet a tároló egységek számát és azokhoz kapcsolódó hőmérsékleti tartományokat is megadni. A dT-vel jelölt mezőnél azt a hőmérsékletet kell megadni, amelynél a primer ágon lévő napkollektorok hőmérsékletének magasabbnak kell lennie ahhoz, hogy a rendszer egyáltalán bekapcsoljon. Ezt 12°C-ra állítottam, mert a tároló töltéséhez is 12°C vizet használunk, ezért nem érdemeszerű ennél alacsonyabb hőmérsékletet beállítani. A Tmax jelölésű mezőnél a tároló maximális hőmérséklete állítható be, ha a beállított értéket meghaladja akkor a rendszer automatikája lekapcsol, abban az esetben is, ha a kollektor hőmérséklete magasabb a tároló hőmérsékleténél. Itt célszerű minél magasabb értéket megadni, hogy növeljük a napkollektoros rendszer kihasználtságát, ezért 75°C fokot adtam meg. A 16. ábrán látható a fentebb részletezett beállítások, amelyek speciálisan a napkollektorokra vonatkoznak.



16. ábra. Napkollektorra vonatkozó beállítások

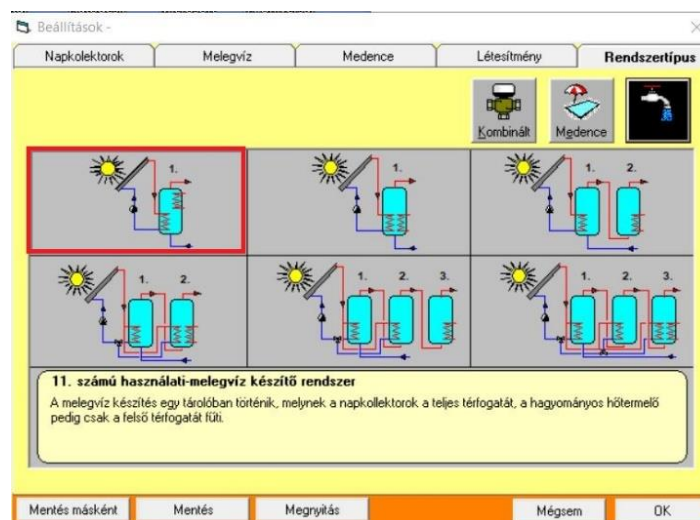
Beállításokon belül tudnánk megadni még a medencére vonatkozó adatokat is, azonban a rendszerünk nem rendelkezik medencével ezért ezt a részt kihagyom. A létesítmény fül alatt, a létesítménnyel kapcsolatos információkat tudunk megadni, mint annak megnevezése,

jellege és címe, de ezek nem fontos adatok jelen esetben. Ezen a beállítási fülön a napsugárzás éves összeg, ami egyedüli számottevő információ. A 17.ábrán látható Magyarország területére beérkező napsugárzási értékek, amelyek értékükből adódóan különböző színű sávokban helyezkednek el. Összesen hat különböző érték közül lehet választani. Gyöngyös környékén élek, ezért az ott megjelenő színű sávnak megfelelő értéket választottam, ami 1200 kWh/m²év.



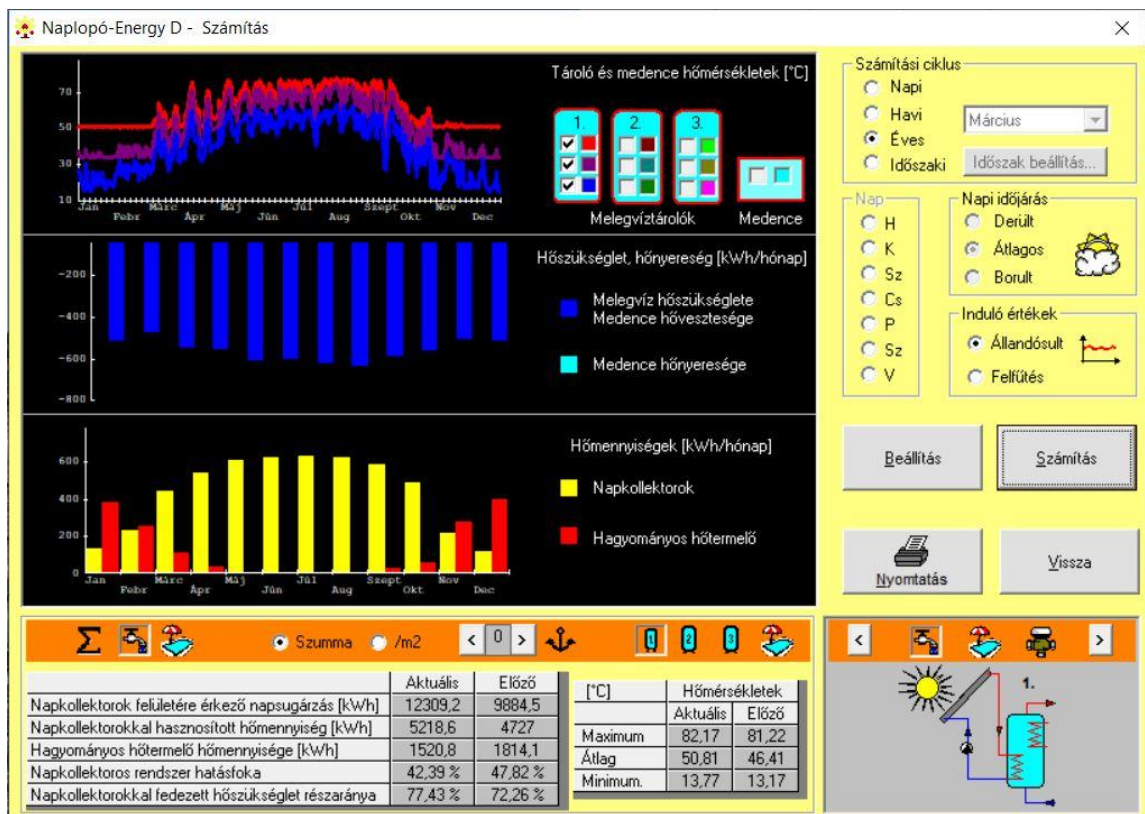
17. ábra. Magyarországi napsugárzás éves összege

Végül de nem utolsó sorban a rendszer típusát határozzuk meg. A választott rendszer a 18.ábrán látható. A 11. számú típust választottam. A melegvíz készítés ennél a típusnál egy darab tárolóval történik. A primer ágon lévő szoláris rendszer a tartály teljes térfogatát, a szekunder ágon lévő hőtermelővel a tartály felső részében elhelyezkedő térfogatot fűti. Sajnálatos módon a programban nem volt olyan lehetőség, ahol HMV előállítás és fűtés is benne lenne egy közös típusban, de a 11.számú ált hozzá a legközelebb, ezért esett erre a választás. A kombinált fül alatti rendszerek a használati-melegvíz ellátás társítható össze a különböző medence fűtési rendszerekkel.



18. ábra. A rendszer kiválasztása

Az elképzelt rendszert nem sikerült teljes mértékben olyan módon véghez vinni, mint terveztem, így sajnos az eredmények sem nem tekinthetők teljes mértékben ideálisnak. Minden esetre kaptunk olyan adatokat, amelyeket nem befolyásol a rendszer típusa. Az eredményeket a 19. ábra szemlélteti. A számolt értékeknél az „aktuális” mező alatti értékeket 5 darab kollektorral az „előző” mező alatti értékeket 4 darab kollektor esetében kaptam. A diagramok is az 5 kollektoros rendszer eredményeit részletezi. A számottevő adatok közé tartozik, a napkollektor felületére érkező napsugárzás, ami éves szinten 12309,2 kWh, a hasznosított hőmennyiség pedig 5218,6 kWh. A többi adat, mint a hagyományos hőtermelő hatásfoka, a napkollektoros rendszer hatásfoka, a napkollektorokkal fedezett hőszükséglet részaránya és a tartályra vonatkozó értékek sajnos fars eredmények, abban az esetben ha a fűtési rendszerünket is ráköjtjük a tárolóra.



19. ábra. Az eredmények részletezése

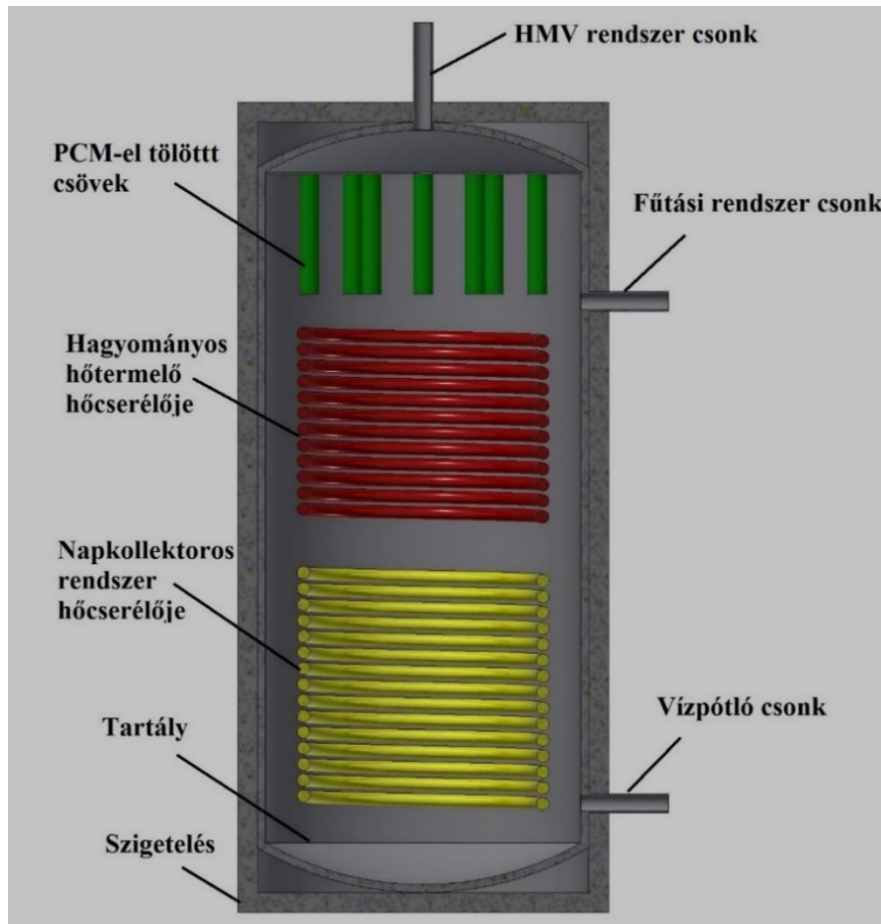
5. PUFFERTARTÁLYBA INTEGRÁLT FÁZISVÁLTÓ ANYAG

Az aktív szoláris rendszerek egyik meghatározó eleme a tároló egység, amely felhasználását tekintve lehet puffertároló, használati meleg víz tároló vagy kombinált puffertartály, ez utóbbi az előző két tároló lehetőségek összetársított változata. Nevükből adódóan fő feladatuk a tárolás, mégpedig a hőenergiának a tárolása. A dolgozatban szeretném ezt gondolatmenetet tovább vinni, hogyan lehetne még energiatakarékosabban előállítani a fűtési rendszerhez és a használati melegvízes rendszerhez szükséges meleg vizet. A fázisváltó anyag alkalmazása egy kiváló alternatívát nyújthat, ugyanis a rendszerbe nem feltétlenül szükséges plusz energiát bevinni a már meglévőkön kívül.

A megtervezett aktív szoláris rendszerhez egy 1000 literes puffertárolóval számolok, amelyet a ház használati melegvíz ellátásra és a fűtési rendszer üzemeléséhez is szeretnék használni. A rendszer hatékonyabb működéséhez és azért, hogy kevesebb energiát kelljen felhasználni célszerű lehet fázisváltó anyagot használni extra hőtárolásra. Két fajta konstrukciót fogok bemutatni, amivel megoldható lehet ez a fajta extra hőtárolás a tartályon belül.

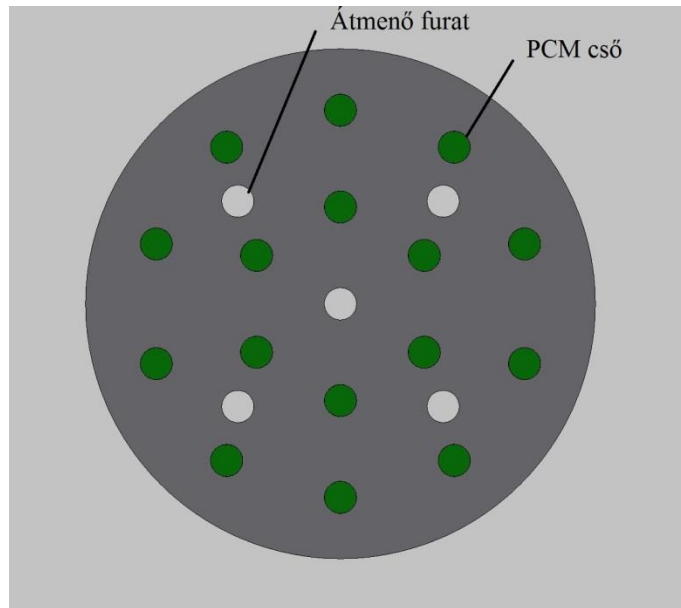
5.1. 1. Konstrukció - csövekben tárolt fázisváltó anyag

Adott az 1000 literes puffertartály, ami kereskedelmi forgalomban kapható. A primer ágát a napkollektoros rendszer táplálja meg a szekunder ágat egy másik hőtermelő egység. A primer ági hőcserélő a nagyobb, hogy napkollektoros rendszer a lehető legjobb hatékonysággal tudjon üzemelni. A hőcserélő egységek felett a puffertartály tetejében lévő utólag beépített lemezen helyezkednek el az 50 mm átmérőjű csövek, melyek hossza 400 mm, a falvastagsága pedig 1 mm. A fázisváltó anyagot ezekben a csövekben helyezzük el. A csövek mindkét vége lezárt, így a vízzel közvetve nem érintkezik a PCM. A tartály oldalán lévő alsó csonk a víz pótlását látja el, míg a felső a fűtési rendszer kiszolgálását végzi. A tároló tetején elhelyezkedő csonk a használati-melegvíz ellátását szolgálja. A tartályról készített model a 20. ábrán tekinthető meg.



20. ábra. Fázisváltó anyaggal töltött csövek integrálása hőtároló tartályba

A csöveket egy síkfelületre kell elhelyezni, ebben az esetben lehet ez egy korrózióálló acéllemez is, így ellenálló lesz a vizes közeggel szemben. Összesen 16 darab cső van beépítve a tartályba. A 300 mm-es osztókörön 6 darab, míg a 600 mm-es osztókörön 10 darab foglal helyet. A lemezen további 5 darab 50 mm-es átmenő furat van létrehozva, hogy a lemez felett lévő területre is áramoljon a melegvíz. A 21. ábrán látható a fázisváltó anyaggal töltött csövek és az átmenő furatok pozíciója a lemezen. A csövek anyaga lehet korrózióálló acél abban az esetben, ha mikrokapszulázott fázisváltó anyagot alkalmazunk, mert a polimer héj védelmet biztosít a különböző veszélyek ellen, és a szivárgás esélye is minimálisra csökken. A kapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazásának másik előnye, hogy nem áll fenn fázis szegmentáció veszélye sem.



21. ábra. A PCM-el töltött csövek és a furatok pozíciója a lemezen

A csövek átmérője 50 mm, falvastagsága 1 mm, így a hasznos töltésre használható átmérő az 48 mm. A töltésre használható alapterület és térfogat értékét, így a következő összefüggésekből kapjuk:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,048^2 \cdot \pi}{4} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = A \cdot h = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

A fázisváltó anyagok a fázisváltás közben térfogat növekedésre hajlamosak, némelyik esetében akkor 12%-ot is elérheti, ennek megfelelően a töltési térfogatot le kell csökkenteni.

$$V_{\text{hasznos}} = V \cdot 0,88 = 7,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,88 = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

A 16 darab cső esetében a töltésre használható térfogat:

$$V_{\text{hasznos16}} = V_{\text{hasznos}} \cdot 16 = 0,01 \text{ m}^3$$

A különböző fázisváltó anyagok esetében a látenshő mértéke is változó nagyságrendű. Háromféle PCM anyaggal fogok további számításokat végezni, ahol meghatározom a csövekbe tölthető fázisváltó anyag mennyiségét és hogy azok mennyi energiát képesek leadni. Kiszámolom, hogy ezzel az energiával hány liter víz melegítgető fel, abban az esetben ha a víz hőmérsékletét 5°C-al emeljük meg. Az anyagok kereskedelmi forgalomban kaphatóak, az adatok a gyártók által kiállított táblázatokból származnak. Három olyan anyagot választottam, amelyek eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. A típusuk sem

megegyező, egyedüli a fázisváltó hőmérséklet, ami közel azonos. A három kiválasztott fázisváltó anyag a 7.táblázatban látható a fizikai tulajdonságukkal együtt részletezve.

7. táblázat. A számításhoz kiválasztott fázisváltó anyagok és a hozzájuk tartozó fizikai tulajdonságok (PCM Products Ltd, dátum nélk.) (Rubitherm Technologies GmbH, dátum nélk.)

Anyag	Típus	Fázisváltó hőmérséklet	Látens hő	Fajhő	Sűrűség		Max. használati hőmérséklet	Hővezető képesség
		°C	kJ/kg	kJ/kgK	Szilárd	Folyékony	°C	W/mK
					kg/m ³			
S54	Sóhidrát	54	120	2,5	1510	120	0,65	
A53	Szerves	53	155	2,22	910		250	0,22
RT54HC	BioPCM	53-54	200	2	850		800	85

Először az S54 elnevezésű sóhidrát típusú fázisváltó anyaggal fogok számolni. Az S54 esetében a gyártó a folyékony és szilárd halmazállapotnál is megegyező sűrűséget adott meg, ami 1510 kg/m³. A tölthető PCM mennyiséget a sűrűség alap definícióját leíró empirikus összefüggés átrendezésével számolom ki. A mennyiséget egyből 16 darab csőre határozom meg.

$$m = \rho \cdot V_{hasznos16} = 1510 \cdot 0,1 = 15,1 \text{ kg}$$

A 7.táblázatból leolvassa az S54-es anyagra vonatkozó fajlagos látenshő 120 kJ/kg. Ezzel számolva a 16 darab cső esetében kialakuló látenshő mértéke:

$$L_{16} = \Delta_m H \cdot m = 120 \cdot 15,1 = 1812 \text{ kJ}$$

Az eredményül kapott látenshő érték megadása kWh-ban:

$$L_{16} = \frac{\Delta_m H \cdot m}{3600} = 0,5 \text{ kWh}$$

A tartály felső tartományában lévő víznek a hőmérsékletén 5°C-ot szeretnék emelni, így akkor közel 60 °C-os vízzel gazdálkodhatunk. A kazán 50 °C-on kapcsol be, tehát a fázisváltás 53-54°C létre tud jönni. Az eredményül kapott látenshővel (kJ) most meghatározom, hogy hány liter víz felmelegítésére elegendő. Ehhez a hőmennyiséget leíró empirikus összefüggést átrendezve alkalmazzuk, ahol a víz fajhője 4,2 kJ/kgK.

$$m = \frac{L_{16}}{c_{v\acute{i}z} \cdot \Delta t} = \frac{1812}{4,2 \cdot 5} = 86,3 \text{ kg} \rightarrow 86,3 \text{ l}$$

Az S54 megnevezésű anyaggal a 16 darab csőbe töltve 86,3 liter víz melegíthető, amennyiben 5°C-os hőmérsékletkülönbséget szeretnénk elérni a víz hőfokán.

Összehasonlítás képen 1 m³ földgáz felhasználásával, aminek a fűtőértéke 34 MJ/kg, körülbelül 1600 liter vizet tudunk felmelegíteni szintén 5 °C-os hőmérsékletkülönbség esetében.

$$m = \frac{Q}{c_{\text{víz}} \cdot \Delta t} = \frac{34000}{4,2 \cdot 5} = 1619 \text{ kg} \rightarrow 1619 \text{ l}$$

A másik két anyag esetében is ezeket a számolásokat fogom végrehajtani. A következő matéria az A53 megnevezésű szerves típusú fázisváltó anyag.

$$m = \rho \cdot V_{\text{hasznos16}} = 910 \cdot 0,01 = 9,1 \text{ kg}$$

A 7.táblázatból leolvassa az A53-as anyagra vonatkozó fajlagos látenshő 155 kJ/kg. Ezzel számolva a 16 darab cső esetében kialakuló látenshő mértéke:

$$L_{16} = \Delta_m H \cdot m = 155 \cdot 9,1 = 1410,5 \text{ kJ}$$

Az eredményül kapott látenshő érték megadása kWh-ban:

$$L_{16} = \frac{\Delta_m H \cdot m}{3600} = 0,39 \text{ kWh}$$

Felmelegíthető vízmennyiség:

$$m = \frac{L_{16}}{c_{\text{víz}} \cdot \Delta t} = \frac{1410,5}{4,2 \cdot 5} = 67,2 \text{ kg} \rightarrow 67,2 \text{ l}$$

Az A53 megnevezésű anyaggal a 16 darab csőre számolva 67,2 liter víz melegíthető fel 5°C hőmérséklet különbség esetében. Ennek az alkalmazhatóság nem indokolt mivel az S54-es több látenshővel rendelkezik összességében.

A fázisváltó anyagoknál a hőleadás a szilárd fázis esetében történik ezért az RT54HC-nál, ahol két sűrűség érték is megvan adva, a szilárd fázisú sűrűségi értékkel számolok, ami a 7.táblázatból kiolvassa 850 kg/m³.

$$m = \rho \cdot V_{\text{hasznos16}} = 850 \cdot 0,01 = 8,5 \text{ kg}$$

A 7.táblázatból leolvassa az RT54HC anyagra vonatkozó fajlagos látenshő 200 kJ/kg. Ezzel számolva a 16 darab cső esetében kialakuló látenshő mértéke:

$$L_{16} = \Delta_m H \cdot m = 200 \cdot 8,5 = 1700 \text{ kJ}$$

Az eredményül kapott látenshő érték megadása kWh-ban:

$$L_{16} = \frac{\Delta_m H \cdot m}{3600} = 0,47 \text{ kWh}$$

Felmelegíthető víz mennyisége:

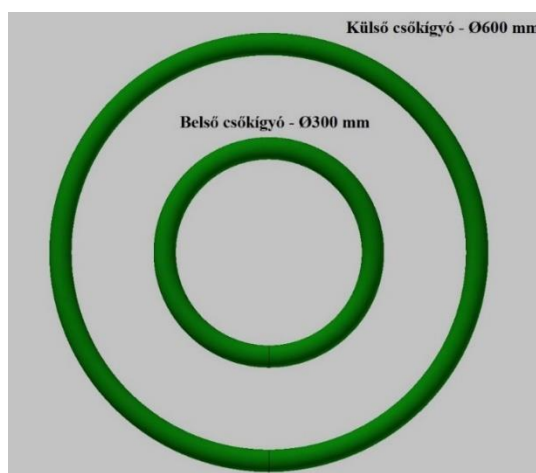
$$m = \frac{L_{16}}{c_{v\acute{I}z} \cdot \Delta t} = \frac{1700}{4,2 \cdot 5} = 81 \text{ kg} \rightarrow 81 \text{ l}$$

Az RT54HC megnevezésű anyaggal a 16 darab csőbe töltve 61,85 liter víz melegíthető fel 5°C különbséggel. Ez a mennyiség ugyan több mint az A53 esetében számolt érték, de kevesebb mint az S54-nél megkapott érték.

5.2. 2. Konstrukció - csőkígyókban tárolt PCM

Az első konstrukció esetében viszonylag minimális vízmennyiség melegíthető fel a kívánt hőmérsékletre, ezért a második konstrukció esetében egy olyat igyekeztem megalkotni, ahol ugyanakkor térben helyezkedik el a fázisváltó anyaggal töltött tároló, mint az első konstrukciónál, csak a hely kihasználása hatékonyabb lenne.

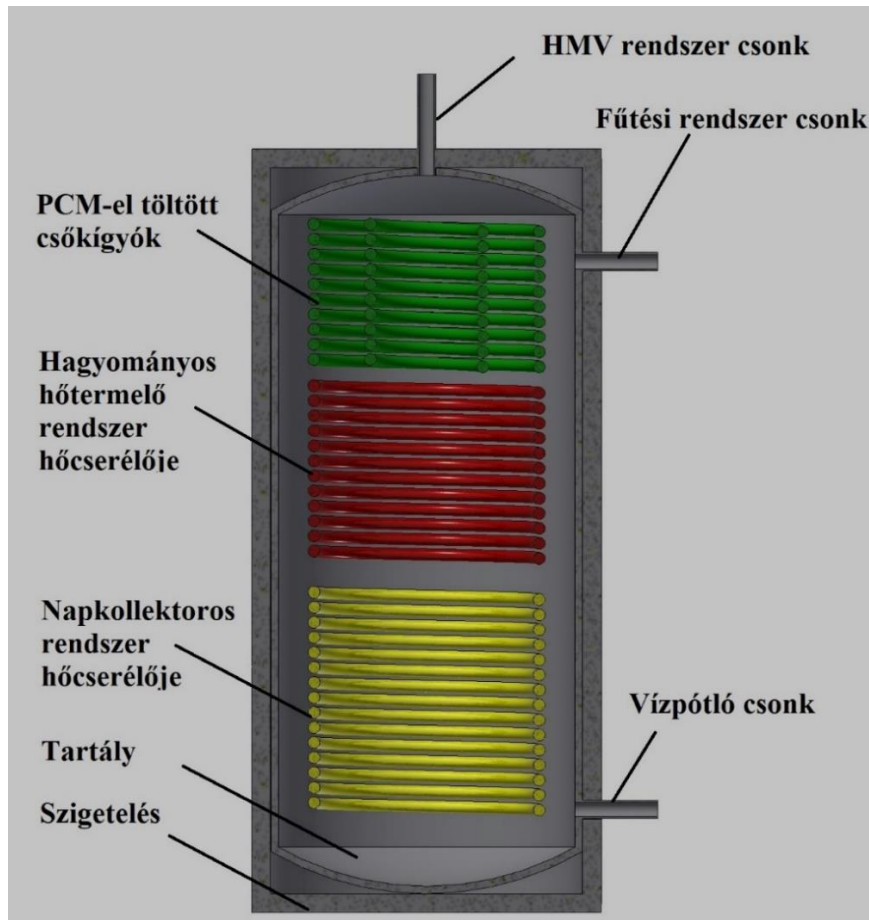
A fázisváltó anyagot két darab csőkígyóban helyezzük el, amiknek az egymáshoz viszonyított helyzete koncentrikus, mindezeket a 22. ábra szemlélteti. A belsőnek, vagyis a kisebb csőkígyónak a semleges szál átmérője 300 mm, a külsőnek, azaz a nagyobbaknak 600 mm. A csövek átmérője mindkét esetben 32 mm a falvastagsága pedig 1 mm. A csőkígyó anyag korrózióálló acél, vagy esetleg valamilyen hőálló polimer is megfelelő lehet.



22. ábra. A csőkígyók elhelyezkedése egymáshoz képest

A puffertartály és a benne elhelyezett csőkígyók a 23. ábrán láthatóak. A tartály és a benne lévő berendezések teljes mértékben megegyeznek az előző konstrukcióval, leszámítva a

fázisváltó anyag tárolóját. A fázisváltó anyaggal történő hőcsere ebben az esetben is a tároló felső szegmensében történik.



23. ábra. Fázisváltó anyaggal töltött csőkígyók integrálása hőtárolóba

Először a csőkígyó hosszát és keresztmetszetét határozom meg, majd ebből a kettőből megkapom a térfogatát is. A csőkígyók 10 teljes fordulatot tesznek meg, így a hosszuk hozzávetőlegesen 10 darab kör átmérőjének felel meg. Ez a kisebb csőkígyó esetében:

$$l_k = d \cdot \pi \cdot 10 = 0,3 \cdot \pi \cdot 10 = 9,4 \text{ m}$$

A nagyobb csőkígyó esetében kétszer akkora lesz mert az átmérő is dupla akkora:

$$l_n = d \cdot \pi \cdot 10 = 0,6 \cdot \pi \cdot 10 = 18,8 \text{ m}$$

A csövek belső, hasznos átmérője 30 mm, így a keresztmetszet:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,03^2 \cdot \pi}{4} = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$$

A kapott adatok segítségével meghatározható a csőkígyók térfogata.

A belső csőkígyó térfogata:

$$V_k = A \cdot l_k = 7,1 \cdot 10^{-4} \cdot 9,4 = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

A külső csőkígyó térfogata:

$$V_n = A \cdot l_k = 7,1 \cdot 10^{-4} \cdot 18,8 = 0,013 \text{ m}^3$$

A számolás egyszerűsítése érdekében a térfogatokkal a továbbiakban együtt számolok.

$$V = V_k + V_n = 0,02 \text{ m}^3$$

A fázisváltás során felmerülő térfogatváltozással járó károsodás elkerülése érdekében 12%-kal csökkenteni kell a térfogatot. A hasznosítható térfogat a csőkígyók esetében a következő:

$$V_{hasznoscsk} = V \cdot 0,88 = 0,018 \text{ m}^3$$

A későbbiekben szeretnék majd összehasonlítást végezni a két konstrukció esetében, ezért itt is a 7.táblázatban szereplő anyagokkal végzem a további számításokat. Először az S54 megnevezésű anyaggal kezdem itt is. A számolási metódus lényegében megegyezik a 1.számú konstrukció esetében használtakkal, ezért itt már nem részletezem teljes mértékben számításokat, csak az egyenleteket írom fel.

$$m = \rho \cdot V_{csk} = 1510 \cdot 0,018 = 27,2 \text{ kg}$$

$$L_{16} = \Delta_m H \cdot m = 120 \cdot 27,2 = 3261,6 \text{ kJ}$$

$$L_{16} = \frac{\Delta_m H \cdot m}{3600} = 0,9 \text{ kWh}$$

$$m = \frac{L_{16}}{c_{v\acute{I}z} \cdot \Delta t} = \frac{3261,6}{4,2 \cdot 5} = 155,3 \text{ kg} \rightarrow 155,3 \text{ l}$$

Az S54-es anyaggal töltött két darab csőkígyóval 155,3 liter víz melegíthető fel, abban az esetben, ha a víz hőmérsékletváltozása 5°C.

A második A53 megnevezésű szerves típusú fázisváltó anyaggal a következő eredményeket kaptam a két csőkígyóra:

$$m = \rho \cdot V_{hasznoscsk} = 910 \cdot 0,018 = 16,4 \text{ kg}$$

$$L_{16} = \Delta_m H \cdot m = 155 \cdot 16,4 = 2538,9 \text{ kJ}$$

$$L_{16} = \frac{\Delta_m H \cdot m}{3600} = 0,7 \text{ kWh}$$

$$m = \frac{L_{16}}{c_{v\acute{I}z} \cdot \Delta t} = \frac{2538,9}{4,2 \cdot 5} = 120,9 \text{ kg} \rightarrow 120,9 \text{ l}$$

Az A53-as anyaggal töltött két darab csőkigyóval 120,9 liter víz melegíthető fel, abban az esetben, ha a víz hőmérsékletváltozása 5°C.

Végül a Rubitherm által forgalomban lévő RT54HC megnevezésű bio típusú fázisváltó anyaggal végzem el a számításokat.

$$m = \rho \cdot V_{\text{hasznoscsk}} = 850 \cdot 0,018 = 15,3 \text{ kg}$$

$$L_{16} = L \cdot m = 200 \cdot 15,3 = 3060 \text{ kJ}$$

$$L_{16} = \frac{\Delta_m H \cdot m}{3600} = 0,85 \text{ kWh}$$

$$m = \frac{L_{16}}{c_{\text{viz}} \cdot \Delta t} = \frac{3060}{4,2 \cdot 5} = 145,7 \text{ kg} \rightarrow 145,7 \text{ l}$$

Az RT54HC elnevezésű anyaggal töltött két darab csőkigyóval 145,7 liter víz melegíthető fel, abban az esetben, ha a víz hőmérsékletváltozása 5°C.

5.3. Eredmények részletezése

A kapott eredményeket az 8.táblázatban foglaltam össze, ahol definiáltam a hasznos térfogatra-, töltő mennyiségre-, látenshőre- (kJ-ban és kWh-ban is) és a felmelegített víz mennyiségére vonatkozó adatokat. Mind a három anyagnál kapott eredményeket, mindkét konstrukció esetében bejegyeztem a táblázatban.

8. táblázat. Az eredményeket összesítő táblázat

Anyag		S54		A53		RT54HC	
Konstrukció		1.	2.	1.	2.	1.	2.
Hasznos térfogat	m ³	0,01	0,0177	0,01	0,018	0,01	0,018
Töltő mennyiség	kg	15,1	27,2	9,1	16,4	8,5	15,3
Látenshő	kJ	1812	3261,6	1410,5	2538,9	1700	3060
	kWh	0,5	0,9	0,39	0,7	0,47	0,85
Felmelegített víz mennyiség (ΔT=5°C)	l	86,3	155,3	67,2	120,9	81	145,7

Az egyes és kettes konstrukció között a hasznos térfogat mennyiséget tekintve is viszonylag nagy eltérés látható. A kettes konstrukció több mint másfélszeres az elsőnek, egész pontosan $0,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ több. Ebből adódóan magától értetődő, hogy a kettes konstrukció esetében,

ugyanazon anyagokkal számolva magasabb látenshő tartalommal rendelkeznek. A választott anyagok is eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek.

Az S54 rendelkezik a többihez képest a legnagyobb sűrűséggel (1510 kg/m^3) de a fajlagos látenshője ennek a legalacsonyabb (120 kJ/kg), mégis ez az anyag rendelkezik összességében a legtöbb látenshő tartalommal. Az egyes konstrukció esetében ez 1812 kJ ($0,5 \text{ kWh}$), ami $86,3$ liter víz felmelegítéséhez elegendő. A kettes konstrukció esetében pedig $3261,6 \text{ kJ}$ ($0,9 \text{ kWh}$), ami $155,3$ liter víz felmelegítéséhez elegendő.

Az A53 jóval kisebb sűrűséggel rendelkezik 910 kg/m^3 , viszont a fajlagos látenshője magasabb értékkel 155 kJ/kg -al rendelkezik. Ez a fajlagos látenshő ugyan nagyobb az előző anyagénál, viszont nagyságrendekkel rosszabb eredményeket tapasztaltam. Az egyes konstrukció esetében $1410,5 \text{ kJ}$ ($0,39 \text{ kWh}$) a látenshő tartalom, ami $67,2$ liter víz felmelegítését szolgálja. A második konstrukció esetében a nagyobb térfogatnak köszönhetően ez valamelyest kedvezőbb $2538,9 \text{ kJ}$ ($0,7 \text{ kWh}$) $120,9$ liter víz hőmérséklet növekedését tudja eredményezni.

Az RT54HC rendelkezik a legalacsonyabb sűrűséggel (850 kg/m^3), ellenben ez rendelkezik a legnagyobb értékű fajlagos látenshővel (200 kJ/kg). A nagy értékű fajlagos látenshőnek köszönhetően, valamelyest kompenzálja az alacsony sűrűség következtében ért hátrányát. Az egyes jelölésű konstrukciónál összesen 1700 kJ ($0,47 \text{ kWh}$) látenshő áll rendelkezésre, amely segítségével 81 liter víz melegíthető fel a tartályban. A kettes számú konstrukciónál 3060 kJ ($0,85 \text{ kWh}$) a rendelkezésre álló látenshő, ezzel $145,7$ liter víz melegíthető fel az előírt hőmérsékleti tartományban.

A 8.táblázatból, illetve fentebb leírtakból következik, hogy a kettes számú csőkígyós fázisváltó anyag tároló konstrukció a leghatékonyabb, az S53-as megnevezésű anyaggal kombinálva. Ugyanez a konstrukció RT54HC fázisváltó anyaggal kombinálva szintén nem egy rossz választás, ugyanis a felmelegített víz mennyiségét tekintve viszonylag nem olyan nagy a differencia ($\sim 10 \text{ l}$). Ez nem kevés, de az S54-et az A53-hoz képest viszonyítva, ahol az eltérés már nagynak számít ($\sim 35 \text{ l}$), igenis jónak mondható. Az egyes számú konstrukciónál kapott eredmények, jóval elmaradnak a kettesétől mind a három anyag esetében, de plusz csövek beépítésével javíthatóak az értékek.

A kettes számú konstrukció az S54-es anyaggal kombinálva, napi egy fázisváltással számolva, éves szinten $328,5 \text{ kWh}$ energia megtakarítást eredményezhet. Ez a napkollektoros

rendszerrel kiegészítve összesen már 5547,1 kWh hőenergia megtakarítást eredményezhet a vizsgált rendszerben.

Összességében megállapítható a számolások alapján, hogy a fázisváltó anyagok két legfontosabb fizikai tulajdonsága a sűrűség és a fajlagos látenshő. Ezeknek az értéke minél nagyobb, annál nagyobb lesz a látenshő értéke is a rendszerben, mivel a látenshőt a sűrűség és a fajlagos látenshő szorzatából kapjuk.

A számítások során mindkét konstrukciónál egyszerű alapvető matematikai egyenletekkel határoztam meg a fázisváltó anyagoknál fellépő látenshőmennyiséget. Ezek így sajnos nem tekinthetők teljesen valós eredményeknek, mivel további számítások és szimulációk elvégzése lenne szükséges a pontos eredmények meghatározásához, de ezeket nem tartalmazza ezen szakdolgozat. Feltételezhetőleg a számolt értékeknél alacsonyabb értéket kapunk a szimulációs folyamatok során, mivel nem számoltam a hőátadással és a hővesztésekkel. Illetve sok esetben kiszámíthatatlanul viselkednek ezek az anyagok. Nem minden esetben történik fázisváltás, és nem feltétlenül azon a hőmérsékleten, amit a gyártók feltüntetnek.

Sok esetben ezeket az anyagokat úgy tervezik, hogy napi egy fázisváltással számolnak és akkor mondják rá, hogy 15-25 éves az élettartamuk. Egy ilyen tárolós berendezés esetében több fázisváltással kell számolni, de ez nagyban függ az évszaktól, a kinti hőmérséklettől, hogy rendszerben fűtésre és melegvíz ellátásra is használják-e az évszaknak megfelelően, és az elfogyasztott vízmennyiségétől is. A több fázisváltás jelen rendszernél, akkor áll fenn, ha hagyományos hőtermelővel is rá kell segíteni a tároló fűtésére, mivel a szoláris egység nyáron nem sok esetben fogja 55°C körüli hőmérsékletre engedni a tartály felső tartományát. A fázisváltás ebben az esetben csak éjszaka valósul meg egy alkalommal. A tartályban alkalmazott fázisváltó anyagok nagy valószínűséggel rövidebb élettartammal fognak rendelkezni. Elkezd csökkenni a hőtároló képességük, ezt pedig a szekunder ágon üzemelő hőtermelő egység működésén lehet majd leginkább tapasztalni. Egyre sűrűbben fog bekapcsolni a berendezés, ezáltal látható nyoma lesz nem csak üzemórákba, de a számlákon is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom tárgya a fázisváltó anyagok alkalmazhatósága épületgépészeti rendszerekben, amiben az elsődleges feladat egy aktív szoláris rendszer esetében alkalmazott hőtároló tartályba integrált különféle fázisváltó anyagok vizsgálata volt az extra hőtárolás reményében.

Bemutattam a hőtárolási csoportokat, majd összehasonlítottam azokat előnyeik és hátrányaik szerint. Ismertettem a vízzel történő hőtárolási lehetőségeket, valamint a víz hőmérséklet-hőközlés közötti kapcsolatot. A fázisváltó anyagok ismertetése során betekintést nyújtottam, hogy milyen anyagok sorolhatóak ebbe a csoportba, a fázisváltás során kialakuló energia ciklust, a kémiai felépítésük szerinti csoportosítást és néhány konkrét anyag fizikai tulajdonságát. Többféle tárolási lehetőséget mutattam be, amelyek közül részletesen a kapszulázási módszerrel foglalkoztam. Bemutattam az alkalmazási lehetőségeit a hétköznapi életben, az építészetben és az épületgépészeti rendszerek esetében.

Megvizsgáltam, hogy a fázisváltó anyagot miként lehetne alkalmazni egy aktív szoláris rendszer esetében. Röviden ismertettem a rendszer felépítését, majd ezt követően a Naplopo-Energy D elnevezésű program segítségével méreteztem azt. A fázisváltó anyag rendszerbe való illesztését kétféle elképzelés szerint vizsgáltam. Az egyik esetben 16 darab csőbe, a másik esetben 2 darab csőkigyóba volt betöltve az anyag elméleti síkon. Mindkét esetben a tároló felső szakaszába lett tervezve a hőcsere, és ugyanazzal a három eltérő tulajdonságokkal rendelkező fázisváltó anyaggal lettek elvégezve a számítások. Az eredményeket végül táblázatba foglaltam és részleteztem.

Konklúzióként elmondható, hogy az elképzelt rendszerhez a csőkigyós konstrukció bizonyult a jobbnak, és a legmegfelelőbb választás a vizsgált három anyag közül az S54 sóhidrát típusú fázisváltó anyag volt. A fázisváltó anyagokkal történő hőtárolás hatékonyságát, egy ilyen rendszer esetében leginkább úgy tudnák növelni, ha egy külső különálló tároló egységben alkalmaznánk, mivel abban az esetben nem szükséges a puffertároló vagy egyéb tároló méreteihez igazodni.

7. SUMMARY

The subject of my thesis is the applicability of phase change materials in building services systems. The primary task was to investigate the integration of different phase change materials in a heat storage tank for an active solar system with the hope of extra heat storage.

I presented the heat storage groups and compared them according to their advantages and disadvantages. I described the heat storage options using water and the relationship between water temperature and heat transfer. In the description of phase change materials, I gave an insight into which materials can be classified in this group, the energy cycle during phase change, their chemical grouping, and the physical properties of some specific materials. I have presented several storage options, of which the encapsulation method was discussed in detail. I have presented its potential applications in everyday life, architecture and building services engineering.

I investigated how the phase change material could be used in an active solar system. I briefly described the design of the system and then scaled it up using a program called Naplopo-Energy D. The integration of the phase change material into the system was investigated according to two different concepts. In one case, the material was loaded into 16 tubes, in the other case into 2 tubes in the theoretical plane. In both cases, the heat exchange was designed in the upper part of the tank and the same three phase change materials with different properties were used for the calculations. The results were finally tabulated and detailed.

In conclusion, the tube snake design proved to be the better choice for the envisaged system, and the most suitable choice of the three materials tested was the S54 salt hydrate type phase change material. The efficiency of heat storage with phase change materials in such a system could be best increased by using them in an external separate storage unit, as in that case it is not necessary to adapt the dimensions of the buffer tank or other storage.

IRODALOMJEGYZÉK

- Andrási, A. G. (2018). *Fázisváltó anyagok alkalmazása épületszerkezetekben*. TDK, BME.
- Andrássy, Z. (2021). *Fázisváltó anyaggal töltött hőtároló modellezése, optimalizálása és épületgépészeti rendszerekbe illesztése*. Doktori disszertáció, BME.
- Árokszallási, K. (2011). *Hőtárolás - A jövő technológiája*. Érd: Roxa Kft.
- Balogh, D., Hódosi, D., & Hollósi, K. (2012). *Fázisváltó anyagok az energiatudatos építészetben*. BME.
- Bin, W., Wenhe, Z., Jianyun, W., Lei, S., Meng, W., & Wenxie, Z. (2023). A phase change thermal storage material and its performance for floor electric heating system. *Journal of Energy Storage*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106518>
- Borbély, T. (2014). *Szilárd töltetű hőtároló optimális kialakítása*. Doktori disszertáció, Pannon Egyetem.
- Chandel, S., & Agarwal, T. (2007). Review of current state of research on energy storage, toxicity, health hazards and commercialization of phase changing material. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 581-596. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.070>
- Dr. Gácsi, Z., & Dr. Mertinger, V. (2000). *Fémtan*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Dr. Szánthó, Z., & Andrássy, Z. (2021. 4). Fázisváltó anyagok épületgépészeti alkalmazásának szempontjai. *Magyar Épületgépészet*, old.: 3-7.
- Dr. Szánthó, Z., & Andrássy, Z. (2019/1-2). Fázisváltó anyaggal töltött energiatároló alkalmazása adatközpontok hűtési energiafelhasználásának csökkentésére. *Magyar Épületgépészet*, 12-16.
- Európai Környezeti Információs és Megfigyelő Hálózat*. (2018. december 18.). Letöltés dátuma: 2023. február 22., forrás: <https://eionet.kormany.hu/a-fenntarthato-fejlodes-fogalma>
- EZCooldown*. (2023). Forrás: <https://www.ezcooldown.com/products/set-of-pcm-inserts>
- Feliepe, R.-C., Pabón-Gelves, E., & Farid, C.-J. (2019). Recent developments in the synthesis of microencapsulated and nanoencapsulated phase change materials. *Energy Storage*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100821>

- Ghada, B., Zohir, Y., Hassane , N., & Fabien , S. (2021). A Comprehensive Review of Microencapsulated Phase Change Materials Synthesis for Low-Temperature Energy Storage Applications. *Apply Science*. doi:<https://doi.org/10.3390/app112411900>
- Gyenis, J., Tóth, J., Feczko, T., & Szépvölgyi , J. (2014). Mikrokapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazása hőtárolásra. *Magyar Kémikusok lapja*, 368-372.
- HeatVentors*. (2023). Forrás: <https://www.heatventors.com/hu>
- JOPA*. (2023). Forrás: <https://www.jopa.nl/en/inuteq-biobased-pcm-inserts-15c-8-cells-aqua/a50284>
- Katahdin Cedar Log Homes*. (2013. 08. 15.). Forrás: Green Tip: Thermal Mass Insulation Through Phase Change Materials: <https://www.katahdincedarloghomes.com/blog/green-tip-thermal-mass-insulation-through-phase-change-materials/>
- Kreativlakas.com*. (-). Forrás: Szoláris energiaellátás: aktív, passzív, direkt és indirekt rendszerek: <https://kreativlakas.com/hoszigeteles/szolaris-energiaellatas-aktiv-passziv-direkt-es-indirekt-rendszerek/>
- Külküte Temperature Regulating Technology*. (-). Letöltés dátuma: 2023.. 03. 31., forrás: What are phase change materials?: <https://kulkote-inside.com/technical/what-are-pcms>
- Linquip, T. (2021.. 08. 10.). *What is Phase Change Material? Theory, Example and Applications*. Forrás: Linquip Technews: <https://www.linquip.com/blog/what-is-phase-change-material/>
- Naplopó Kft.* (2021). Forrás: Naplopó Kft. Napenergia hasznosítás: <https://naplopo.hu/index.php>
- Nasa*. (2013.. január 22.). Letöltés dátuma: 2023.. március 23., forrás: https://www.nasa.gov/centers/johnson/engineering/life_support_systems/crew_payload/index.html
- Pasupathy, A., Velraj, R., & Seeniraj, R. (2008). Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39-64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.010>
- PCM Products Ltd.* (dátum nélk.). Forrás: Types of Phase Change Materials: <https://www.pcmproducts.net/Phase-Change-Material-Solutions.htm>

- Rádi, R. (2018. 05 18). *Alternatív energia*. Letöltés dátuma: 2023. 03 05, forrás: <https://alternativenergia.hu/a-jovo-energiatarolasa-fazisvalto-anyagok/82483>
- Refat, A.-S., Mohammed, M., & Charles, A. (2022). Methods for the Synthesis of Phase Change Material Microcapsules with Enhanced Thermophysical Properties—A State-of-the-Art Review. *Micro*, 426-474. doi:<https://doi.org/10.3390/micro2030028>
- Rubitherm Technologies GmbH*. (dátum nélk.). Forrás: PCM RT-LINE: <https://www.rubitherm.eu/en/productcategory/organische-pcm-rt>
- Shazim Alli, M. (2014). Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 870-906.
- Stauffer, N. (2018.. december 19.). *MIT News*. Forrás: Saving heat until you need it: <https://news.mit.edu/2018/thermal-energy-storage-material-saves-heat-1219>
- Szabó, F. (2017). *DOCPLAYER*. Letöltés dátuma: 2023.. március 23., forrás: https://docplayer.hu/46111693-Termodinamikai-rendszerek-kalorimetria-extenziv-es-intenziv-mennyisegek-hokapacitas-fajho-mennyi-a-felvettho.html#google_vignette
- Types of Phase Change Materials*. (dátum nélk.). Forrás: PCM Product Ltd: <https://www.pcmproducts.net/>
- Zhang, Y., Zhou, G., Lin, K., Zhang, Q., & Di, H. (2007). Application of latent heat thermal energy storage in buildings:. *Building and Environment*, 42., 2197-2209. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.023>
- Zhou, D., Zhao, C., & Tian, Y. (2012. április). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy*, old.: 593-605. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025>

4. sz. függelék – Hallgatói és konzulensi nyilatkozat minta

NYILATKOZAT

Alulírott Horti Kristóf, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Létesítmény energetikai szakmérnök szakirányú továbbképzés szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023. év április hó 25. nap

Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023. év augusztus hó 2 nap

Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!