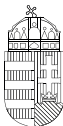


# ÉPÜLETEK KORSZERŐ HŐTÁROLÁSA KÖRNYEZETBARÁT FÁZISVÁLTÓ ANYAGOK ALKALMAZÁSÁVAL ÉPÍTŐ-ÉS SZIGETELŐELEMekben

A projektet megvalósító konzorcium: **Thermofoam Kft.** ([www.thermofoam.hu](http://www.thermofoam.hu))  
**Pannon Egyetem** ([www.uni-pannon.hu](http://www.uni-pannon.hu)) **Természettudományi Kutatóközpont** ([www.ttk.hu](http://www.ttk.hu))



SZÉCHENYI  2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Regionális  
Fejlesztési Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

## Bevezetés

A **Thermofoam Kft.**, a **Pannon Egyetem** (továbbiakban **PE**), valamint a **MTA (ELKH) Természettudományi Kutatóközpont** (továbbiakban **TTK**) által alapított konzorcium a Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Program (továbbiakban: GINOP) keretén belül a „K+F versenyképességi és kiválósági együttműködések” pályázati felhívásán 2016.08.01. napon elfogadott támogatási döntés szerint 610 945 341 forint támogatást nyert el biológiai eredetű fázisváltó anyagokból és hordozókból álló, környezetbarát hőtároló mikrokapszulák fejlesztésére. A támogatásban részesített projekt címe **„Épületek korszerű hőtárolása környezetbarát fázisváltó anyagok alkalmazásával építő- és szigetelőelemekben”**, azonosító száma **GINOP-2.2.1-15-2016-00010**. A konzorciumvezető Thermofoam Kft. saját forrásból további 147 411 652 Ft összeget fordított a megvalósításra.

A Bács-Kiskun megye déli részén található Bácsalmáson, valamint Veszprémben megvalósított projekt célja az említett tulajdonságokkal bíró környezetbarát hőtároló mikrokapszulák kifejlesztése, azok energiatakarékos épületszerkezeti elemekbe és hőtároló-hőszigetelő rendszerekbe történő beépítése, alkalmazása, előállítási technológiák kifejlesztése, az új termékek hőtechnikai tulajdonságainak és viselkedésének kísérleti meghatározása, modellezése, és hagyományos épületszerkezeti rendszerekkel való összehasonlítása volt konténer méretű modellházakban végzett vizsgálatokkal.

A fejlesztendő termékek elsődleges alkalmazási területe az építőipar, ahol épületszerkezeti elemekben és hőszigetelő rendszerekben felhasználva ezek a mikrokapszulázott fázisváltó anyagok kedvezően befolyásolják az épületek hőtechnikai adottságait: segítségükkel kisebb tömegű építőanyag felhasználás mellett az épületek belső hőmérsékletét többlet fűtőanyag vagy villamosenergia fogyasztás nélkül tudják komfortosabbá tenni. A 2016. szeptember 1-jén megkezdett projekt megvalósítása 2021. május 31. dátummal fejeződött be.

## A projekt célja

A GINOP-2.2.1-15-2016-00010 azonosító számú, „Épületek korszerű hőtárolása környezetbarát fázisváltó anyagok alkalmazásával építő- és szigetelő elemekben” című kutatási-fejlesztési projekt megvalósításán az erre a célra szerződött konzorcium tagjai, azaz a **Thermofoam Kft.**, a **Pannon Egyetem** (továbbiakban **PE**) és a **Természettudományi Kutatóközpont** (továbbiakban **TTK**) szakmailag kompetens szervezeti egységei szoros együttműködésben dolgoztak a megvalósítás helyszínein. Az alap- és alkalmazott kutatások, valamint a fejlesztő kutatások első fázisának munkálatai a két kutatási szervezet veszprémi telephelyén, a PE és TTK közös működtetésű Funkcionális Nanorészecskék Kutatólaboratóriumában, a PE Anyagmérnöki Intézeti Tanszékén, és a PE Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszékén folytak. A kísérleti fejlesztés első fázisai a pilot kísérleti léptékig a Funkcionális Nanorészecskék Kutatólaboratórium üzemkísérleti csarnokában, az ott rendelkezésre álló műszaki infrastruktúra és újonnan beszerzett berendezések felhasználásával valósultak meg. A kísérleti fejlesztés végső fázisának végrehajtása a félüzemi léptékű ellenőrző kísérletektől a kísérleti üzem létrehozásáig a Thermofoam Kft. bácsalmási telephelyén történt. A kifejlesztett termékek termikus tulajdonságainak évszakokon átívelő végső tesztelése a Pannon Egyetem által beszerzett és felszerelt kísérleti modellházakban folyik. A négy darab, irodakonténer méretű modellház elhelyezéséhez a projekt fenntartásának időtartamára a Thermofoam biztosított megfelelő nagyságú kísérleti terepet és műszaki infrastruktúrát a vállalkozás bácsalmási telephelyén. Működtetésüket informatikai távfelügyelettel, és időnkénti személyes jelenléttel a PE végzi.

### A 4 év 9 hónap alatt megvalósított projekt céljai az alábbiak voltak:

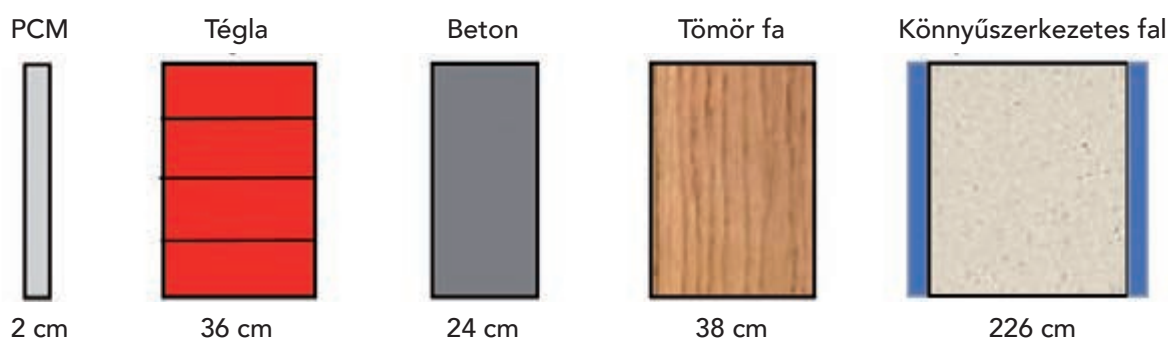
1. Környezetbarát fázisváltó hőtároló mikrokapszulák (BioPCM) előállításának laboratóriumi léptékű megvalósítása, pilot léptékű kísérletek végzése a termékek előállítása céljából, és azok minőségi tesztelésére alkalmas alapfeltételek megteremtése.
2. A mikrokapszulák előállítására alkalmas pilot léptékű technológiája megvalósítása, prototípus termékminták előállítása, azok funkcionális vizsgálatainak elvégzése, pozitív vizsgálati eredmények elérése. Az előállított mikrokapszulákat tartalmazó épületszerkezeti elemek és hőszigetelő rendszerek előállítási módszerei kidolgozása laboratóriumi és pilot méretekben, megfelelő termékminták és vizsgálati próbadarabok előállítása.
3. A fázisváltó hőtároló mikrokapszulák előállítására szolgáló kísérleti üzemi technológia kidolgozása, a kísérleti üzem megtervezése és megvalósítása Bácsalmáson, termékminták előállítása. Hőtároló mikrokapszulákat tartalmazó épületszerkezeti elemek és hőtároló hőszigetelő rendszerek prototípus mintadarabjainak előállítása, azok funkcionális vizsgálatai, pozitív vizsgálati adatok bemutatása. A kidolgozott új technológiát és termékeket bemutató tanulmányok készítése.

A megvalósított projekt alapja, a kifejlesztett fázisváltó hőtároló mikrokapszulák épületszerkezeti elemekben történő alkalmazásának potenciális előnyei:

Ismeretes, hogy az épületek energiafelhasználása világszerte igen jelentős: elérheti az adott ország éves energiaigényének akár 40 %-át is. Ennek a helyzetnek javítására erőteljes törekvések történnek, például a hagyományos energiaforrások megújuló energiafajtákkal történő – legalábbis részbeni – kiváltására. Ennek egyik nagy akadálya, hogy utóbbiak (napsugárzás energiája, szélenergia) nem mindig az aktuálisan fellépő igényeknek megfelelő időben és mennyiségben állnak rendelkezésre. További törekvés az épületek korszerűsítése, gyorsabban beépíthető és olcsóbb építőanyagok alkalmazása, például könnyűszerkezetes épületek elterjedtebb használata révén. Ezzel kapcsolatban azonban főleg az a baj, hogy a hagyományos építőanyagokhoz képest viszonylag kis hőtehetetlenséggel vagyis termikus tömeggel bírnak, ezért a külső időjárási körülmények megváltozása esetén, vagy a fűtés/hűtés kikapcsolása után nagyon rövid ideig tartják fenn a belső komfortos körülményeket.

Mindkét probléma megoldása lehet az épületszerkezeti elemekben alkalmazott úgynevezett látens hőtároló anyagok (Phase Change Materials – PCM) alkalmazása, melyek elsősorban a szilárd-folyadék-szilárd fázisváltozás hőjét felhasználva a termikus tömeg növelésével képesek a hőmérséklet ingadozások jelentős mérséklésére, valamint az időnként rendelkezésre álló megújuló energia napszakokon átívelő, vagy akár több napon át történő tárolására.

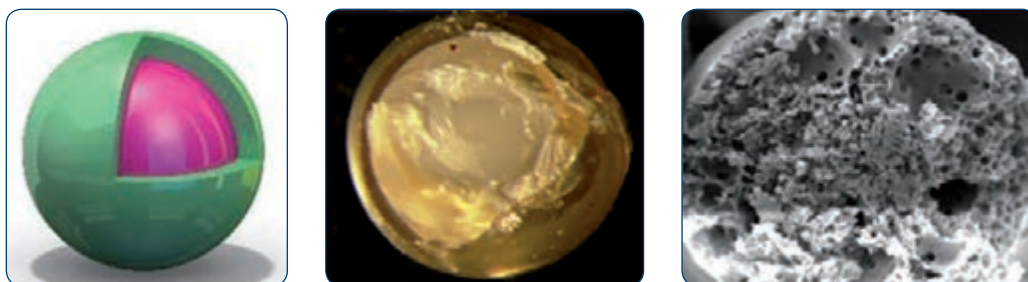
A következő sematikus ábra jól érzékelteti, hogy adott hőmérsékletváltozás megengedése esetén egy szokásos látens hőtároló anyagot tartalmazó néhány centiméter vastag falszerkezet alkalmas arra, hogy akár 24 cm vastag tömör beton, vagy 36 cm széles téglafal hőtároló képességét biztosítsa. De ez egyenértékű lehet akár 226 cm keresztmetszetű könnyűszerkezetes fal termikus csillapító hatásával is. A hagyományos beton és téglafalazat kis termikus ellenállása ráadásul nagy hőveszteséget is generál, amit csak nagy vastagságú hőszigeteléssel lehet ellensúlyozni.



1. ábra: PCM réteg szükséges vastagságának összehasonlítása megegyező hőtároló képességű más szerkezeti elemekkel



A fázisváltó hőtároló anyagok különböző formákban alkalmazhatók épületszerkezetekben, például zárt fém- vagy polimer csövekbe vagy tasakokba, lapos tartályokba töltve (makrokapszulák), illetve ezeknél jobban kezelhető és nagy hőátadó felülettel rendelkező mikrokapszulákba zárva. A mikrokapszulák esetében a fázisváltó hőtároló anyagot egy azzal nem elegyedő, megfelelő zárást biztosító mátrixba vagy bevonatba zárjuk be néhány mikronos vagy akár milliméteres gyöngyök formájában. Ezeket a mikrokapszulákat az épületszerkezeti elem anyagába keverve, vagy önálló réteg formájában használhatjuk fel. A Thermofoam Kft. által vezetett projektben környezetbarát PCM mikrokapszulák előállítási technológiájának kidolgozásával, a gyártásukra alkalmas kísérleti üzem létesítésével, és alkalmazástechnikai vizsgálatok elvégzésével járultunk hozzá ennek a korszerű megoldásnak hazai meghonosításához.



2. ábra: Fázisváltó hőtároló anyagot tartalmazó egy- és többmagvú mikrokapszulák

## A megvalósítás folyamata

Már a projekt megvalósításának első időszakában jelentős előrehaladást értünk el a környezetbarát hőtároló mikrokapszulák laboratóriumi léptékben történő előállítási módszerének kidolgozása, az alapanyagok és előállított termékek funkcionális tulajdonságainak – elsősorban a megkívánt hőmérsékleti tartományban mutatott hőtároló képességének – vizsgálatában.

Az előállítás technológia az eredeti elképzelésünk szerint nagyrészt a Pannon Egyetem ezirányú szabadalmán alapult volna, „amely mag-héj szerkezetű hőtároló mikrokapszulákra és azok előállítására vonatkozik, melyeknek fázisváltó hőtároló anyagot tartalmazó magja és amorf, üvegszerű állapotú alginát bevonata van. Ez a bevonat legalább kétrétegű, és legalább az egyik réteg nanorészecskéket tartalmaz, és a mag vagy teljesen kitölti a mikrokapszula belső részét, vagy belső üreget tartalmaz”.

A találmány szerinti mikrokapszulázási folyamatot a következő ábrán mutatjuk be. Első lépésben kismennyiségű (1 m/m %) emulgeátort tartalmazó vizes nátrium-alginát oldatot (8 m/m %) keverés közben 75°C-ra melegítünk, majd 10 m/m % arányban adott olvadási tartományú paraffint adunk hozzá. A paraffin felolvadása után a keverés és ultrahangos diszpergálás hatására stabil olaj-a-vízben típusú emulziót állítunk elő.

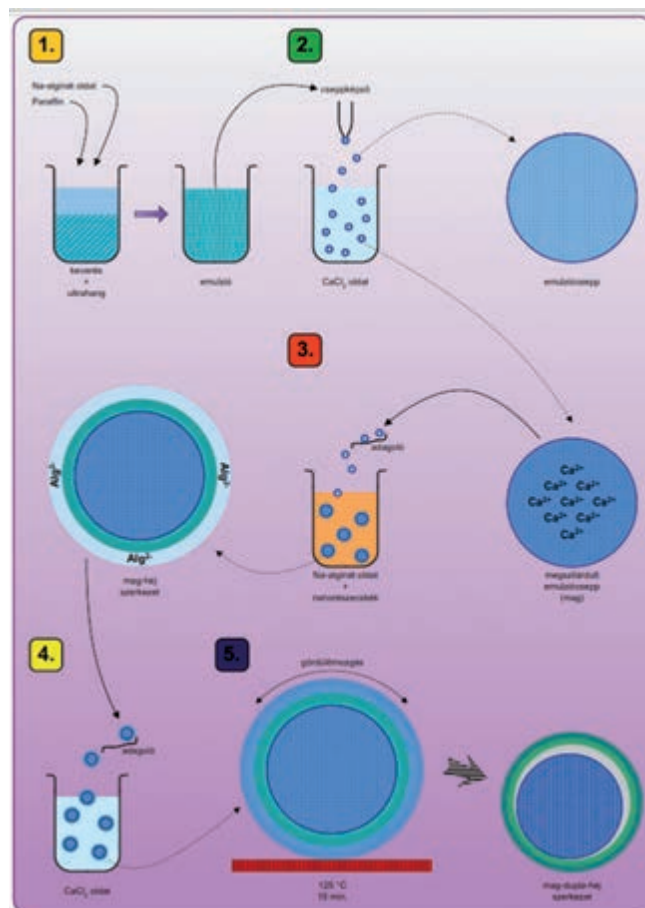
Második lépésben az előállított emulziót 8 m/m %-os szobahőmérsékletű kalcium-klorid oldatba

csepegtetjük kémleletes keverés közben. A be-  
csepegtetést követő kb. 30 perces keverés során  
kalcium-alginát mátrixba zárt, diszpergált paraffint  
tartalmazó, gélszerű nedves mikrogömböket  
kapunk, amit kémleletes szűréssel elválasztunk az  
oldatból. A mikrogömbök pórusaiban és felszínén  
bizonyos mennyiségű el nem reagált kalcium klorid  
oldat marad vissza.

A harmadik lépésben 8 m/m %-os vizes nátrium-  
alginát oldathoz néhány tized százalékban szilárd  
nanorészecskéket adunk és ultrahangos kezeléssel  
szuszpenziót állítunk elő. Ezután kémleletes keverés  
közben ehhez hozzáadjuk a második lépésben  
előállított nedves mikrogömböket, melynek során  
az azok felületén és pórusaiban lévő el nem reagált  
kalcium-klorid reakcióba lép a folytonos fázisban  
jelen lévő alginát ionokkal. Ennek következtében  
a mikrogömbök felületén felépül egy második,  
nanorészecskéket tartalmazó, külső kalcium-alginát  
gél réteg. Ezeket a nedves mikrokapszulákat  
elválasztjuk a folyadéktól.

A negyedik lépésben a nedves mikrokapszulákat,  
melyek felületén és pórusaiban elreagálatlan  
(feleslegben lévő) nátrium-alginát oldat található,  
másodszor is kalcium-klorid oldatba adagoljuk,  
és kémleletes keverés mellett áztatjuk. Eközben a  
mikrokapszulákban maradt, el nem reagált alginát  
ionok reakcióba lépnek az oldatban lévő kalcium  
ionokkal, és így kialakul egy stabil, kettőshéjú mag-  
héj szerkezet. Az így kapott nyers mikrokapszulákat  
elválasztás után vízzel többször mossuk.

Az utolsó lépésben a nedves mikrokapszulákat 125°C  
hőmérsékletű rövid idejű intenzív hőkezelésnek  
vetjük alá, melynek során a körülbelül 3 mm átlagos  
méretű kapszulák kétrétegű bevonata vízvesztéssel



3. ábra: A PE szabadalmán alapuló eljárás vázlatja  
kettőshéjú alginát mikrokapszulák előállítására

gyakorlatilag pórus nélküli, nanorészecskéket  
tartalmazó mikrokapszulák üveges szerkezetűvé  
alakulnak, átmérőjük mintegy felére zsugorodik,  
és önállóan, vagy épületszerkezeti elemekbe  
ágyazva felhasználható mikrokapszulázott látens  
hőtároló termékként. A szabadalom szerint az  
eljárási körülmények megfelelő beállításával  
laboratóriumi léptékben 1,5-3,5 mm közötti átlagos  
részecskeméretű mikrokapszulákat állíthatunk elő.  
A mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagok  
az ipar, a mezőgazdaság és a mindennapi élet  
számos területén alkalmazhatók. Ilyen felhasználási  
területek például a kis- és közepes méretű ipari

létesítmények energiagazdálkodása (hulladékhő hasznosítás, változó intenzitású energiaforrásokból származó technológiai hőigény kielégítése, fűtés, melegvíz ellátás), mezőgazdasági berendezések (terményszárítás és egyéb fűtés vagy hűtés igényes technológiák) energiaigénye, épületek és háztartások energiaigényének legalább részbeni biztosítása (fűtés, hűtés, melegvíz ellátás, belső terek temperálása). Mivel a találmány szerinti hőtároló mikrokapszulák alkalmazása jelentősen hozzájárulhat a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának csökkentéséhez, a megújuló energiaforrások és hulladékhő hasznosításához, a konzorcium által elnyert pályázat szerint megvalósítandó projekt kidolgozói arra vállalkoztak, hogy kísérleti üzemi léptékben valósítsák meg a környezetbarát fázisváltó hőtároló mikrokapszulák előállítását és épületszerkezeti elemekbe történő integrálását, modellházakban való tesztelését.

A csupán laboratóriumi kísérleteken alapuló szabadalom eredményeiből kiindulva léptéknövelt ipari kísérleti technológia kidolgozása, és piacokon értékesíthető termékek - így környezetbarát mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagok - előállítása, azok épületszerkezeti elemekben történő hasznosítása nem volt egyszerű - és k°C-kázat nélküli - célkitűzés. A kidolgozás, különösen az ipari kísérleti üzemi megvalósításig terjedő többszörös léptéknövelés során számos nehézséggel és több alkalommal is technológiai változtatási kényszerrel találtuk szembe magunkat, ahogy az később, a megvalósítás folyamatának leírásából látható. A konzorciumi partnerek rugalmasan együttműködő, komplex felkészültséggel rendelkező csapata azonban eredményesen oldotta meg feladatait környezetbarát hőtároló mikrokapszulák és azokat tartalmazó épületszerkezeti elemek előállítási technológiáinak kidolgozása, és piacra vihető új termékek kifejlesztése területén. A projekt révén kifejlesztett termékek komplex vizsgálatait és modellházakban történő tesztelése egyértelműen pozitív eredményeket hoztak.

## Az első munkaszakasz végrehajtása

### Laboratóriumi léptékű előállítás

A projekt első munkaszakaszában elvégzett kutatási-fejlesztési munkák során módszert dolgoztunk ki építő- és hőszigetelő elemekben alkalmazható, környezetbarát fázisváltó hőtároló mikrokapszulák laboratóriumi léptékű előállítására. Ezen túlmenően megkezdtük a pilot léptékű előállítás alapjainak kidolgozását is. A kutatás eredményeként elkészült a laboratóriumi léptékű technológia első leírata, amit részletes kísérleti adatokat tartalmazó jegyzőkönyvek támasztottak alá. A dokumentációkat kiegészítették a modellanyagoknak használt paraffinok, illetve biológiai eredetű, környezetbarát hőtároló fázisváltó anyagok, elsősorban természetes kókuszszír minták és a végtermékek kémiai, fizikai, és termikus viselkedésére vonatkozó vizsgálati eredményei. Már a projekt megvalósítás első évének befejezése előtt rendelkezésünkre álltak a laboratóriumi léptékben előállított, fázisváltó hőtároló anyagokat tartalmazó, környezetbarát bevonattal (kalcium-alginát burkolattal) ellátott mikrokapszulák laboratóriumi mintái (10-10 g), valamint a második évre ütemezett pilot léptékű előállításból származó első kísérleti minták. A kókuszszír és hasonló biológiai eredetű anyagok felhasználása mellett azért foglalkoztunk a körülbelül



4. ábra: A projekt megvalósításának kezdetén alkalmazott laboratóriumi léptékű kísérleti berendezések

16-28 °C közötti olvadási hőmérséklet tartományú paraffinfrakciók mikrokapszulázásával is, mert utóbbiak termikus és egyéb tulajdonságai (nagy hőtároló képesség, variábilis olvadási hőmérséklet tartomány, könnyű kezelhetőség, nagy mennyiségben való rendelkezésre állás, megfelelő beszerzési árak) különösen jól alkalmazhatóvá teszi ezeket épületszerkezeti elemekben történő felhasználásra, tekintettel az épületek akár nyári, akár téli klimatizálási (elsősorban hőmérsékleti) követelményeire. Emellett a modellanyagként használt kőolaj eredetű paraffinoknak megfelelő tulajdonságokkal bíró, biológiai eredetű, úgynevezett *bioparaffinok* ma már kedvező árakon és kívánt mennyiségben beszerezhetők, vagyis a gyártás során ezek felhasználására bármikor áttérhetünk.

Az alapanyagok kiválasztását és bevizsgálását, megkívánt és tényleges tulajdonságaik meghatározását elsősorban a Természettudományi Kutatóközpont munkatársai végezték, ezzel hozzájárulva a laboratóriumi léptékű előállítási technológia kidolgozásához is. Ennek során elvégezték az alapanyagok és előállított mikrokapszula minták hőtechnikai tulajdonságainak meghatározását, elemzését és ezen információk visszacsatolását az előállítási technológia kidolgozását végző kutatók számára. A munkába az alapanyagok körének különböző biológiai eredetű fázisváltó anyagokkal (növényi és állati eredetű zsírok, zsírsavak, zsírkoholok) történő potenciális bővítése céljából alvállalkozóként a gödöllői Szent István Egyetem szakértőit is bevontuk.



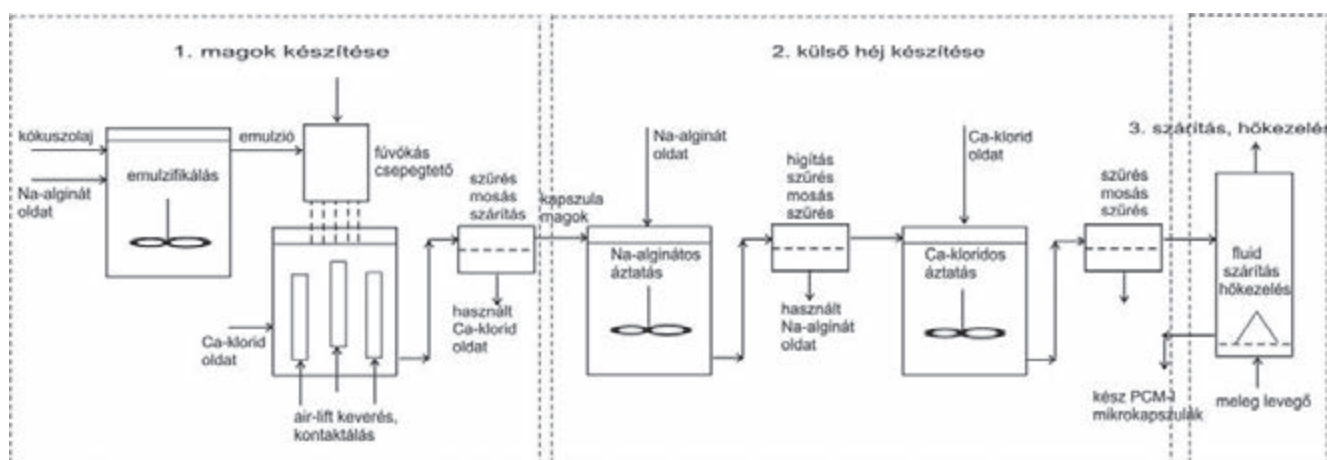
A termékminták morfológiai és hővezetési tulajdonságainak vizsgálatát a PE Anyagmérnöki Intézet kutatói végezték. Már a projekt első évének vége előtt rendelkezésre álltak az addig előállított laboratóriumi minták, azok vizsgálati eredményei és értékelése, melyek alapján megállapítható volt, hogy a kapott termékek minőségileg megfelelnek a projektben vállalt követelményeknek.

### Pilot léptékű előállítás - első fázis

Az első munkaszakaszban a laboratóriumi módszerek kidolgozásán túlmenően a pilot léptékű előállítási technológia alapfeltételeinek megteremtésével, és célirányos előkísérletekkel is jól haladtunk. Ennek során viszonylag nagyobb mennyiségű, kókuszszír fázisváltó anyagot, valamint különböző paraffinokat tartalmazó mikrokapszula mintákat állítottunk elő, több kilogrammos mennyiségekben. Ezeket a mintákat átadtuk a Thermofoam Kft. részére, épületszerkezeti anyagokba történő integrálási módszerek kidolgozásához, mely kísérletek nagyrészt már a második munkaszakaszra tolódtak át.

A pilot technológia egyes részeinek megépítését és az előkísérleteket az első munkaszakaszban a PE MÜKKI kutatói végezték a veszprémi üzemkísérleti csarnokban, a PE Anyagmérnöki Intézet és a TTK kutatóinak vizsgálati adataira és a velük történt szakmai konzultációkra támaszkodva.

A laboratóriumi előállítási kísérletek tapasztalatait felhasználva kidolgoztuk az akkori elképzelésünk szerinti, második szilárd héjjal stabilizált alginát bevonatú mikrokapszulák pilot léptékű technológiáját. Meghatároztuk az egyes technológiai lépések részleteit, melynek alapján a következő elvi séma szerinti technológiát terveztük megvalósítani:



5. ábra: A pilot technológia megvalósításának elvi folyamatábrája az első elképzelésünk szerint

## Az PCM kapszula-I elnevezésű termék előállítására kidolgozott technológia fő lépései:

1. Magok készítése:
  - 1.1. Emulzifikálás: kókuszszír – nátrium alginát o/w emulzió előállítása.
  - 1.2. Alginát gél alapú mátrixban diszpergált kókuszszírt tartalmazó nyers kapszulák készítése az o/w emulzió kalcium-klorid oldatba történő becsepegtetéssel, levegő befúvásos (air-lift) keveréssel, és a nyers kapszulák megszilárdítása kalcium-alginát gél képződése révén.
  - 1.3. A nyers kapszulák elválasztása a folyadéktól, szitán történő szűréssel, vizes mosással és előzetes szárítással (szikkasztással). Ennek révén többmagvú mikrokapszulák képződtek (kalcium-alginát gél mátrixban diszpergált kókuszszír cseppek), ahol a még pórusos kalcium-alginát gél a mikrokapszulák külső felületét is befedte (első kapszulahéj).
2. Második, külső héj készítése:
  - 2.1. A következő lépés nátrium-alginát oldatban történő áztatás volt, ami azt célozta, hogy a nyers mikrokapszulákban és azok felületén megtapadva az oldatból újabb nátrium-alginát réteg rakódjon a mikrokapszulákra, ami egyik kiindulási anyaga volt a második héj kialakításának.
  - 2.2. Elválasztás a nátrium-alginát oldatból, szitán történő szűréssel és lecsepegtetéssel.
  - 2.3. Külső, második héj képzése egy második kalcium-kloridos áztatással, ami azt célozta, hogy a lecsepegtetés után a felületen megmaradt viszkózus nátrium-alginát oldat kalcium ionokkal történő reagáltatásával újabb kalcium-alginát gél réteg alakuljon ki, bevonva a folyamat előző részében létrehozott nyers mikrokapszulákat.
  - 2.4. Elválasztás szitán, szűréssel.
  - 2.5. Vizes mosás a kalcium-klorid oldat felesleg eltávolítására a végső szárítás előtt.
3. Szárítás és hőkezelés üveges állapotú stabilizált héj kialakítására egy kúpos betétes fluidizációs berendezésben, ahol meleg levegő befúvással mozgatjuk a mikrokapszulákat, melynek hatására először azok víztartalma távozik, majd a kalcium-alginát bevonat részbeni megömlésztésével szilárd üveges, átjárhatatlan kapszulahéj alakul ki.

Az első elképzelés szerinti pilot léptékű előállító technológia és berendezések megvalósítása és próbái a következő lépésekben történtek. Az első év végére működőképes állapotba kerültek a pilot léptékű technológia következő részegységei: 1. Emulzifikálás: a megolvasztott kókuszszír (leendő kapszula mag) és vizes nátrium-alginát oldat (leendő kapszula bevonat alapanyaga) keverékéből o/w (olaj-a-vízben) emulziójának előállítása. 2. Emulzió becsepegtető egységet fejlesztettünk ki, atmoszférikusnál nagyobb nyomású levegőpárna alkalmazásával és csepegtető fúvókákkal ellátott edényfenék kialakításával. 3. Air-lift rendszerű (azaz levegőbuborékokkal kevert és cirkuláltatott), kalcium-klorid oldatot tartalmazó gélesítő reaktort építettünk a kísérletek kivitelezésére. A kalcium-klorid oldatba csepegtetett o/w emulzió külső vizes fázisát alkotó alginát oldat ekkor a kalcium ionok hatására sűrű gélbevonattá alakult. 4. Kúpos betétes fluidizációs szárító berendezés a nyers mikrokapszulák hőkezelésére.



6. ábra: A pilot léptékű előállítási technológiában alkalmazott emulzió készítő recirkulációs berendezés a vezérlőpanellel (balra), és az alginát mikrokapszulák szárítására szolgáló kúpos betétes fluidizációs szárító (jobbra)

Ahogy már korábban láttuk, a kókuszszír mikrokapszulákból történő szivárgásának elkerülésére azt terveztük, hogy a 4. lépést megelőzően egy második, külső kalcium-alginát héjat alakítunk ki a mikrokapszulák felületén. Ehhez újabb alginát oldatban történő áztatást, vizes mosást, majd újabb kalcium-kloridos gélesítést, és ismételt vizes mosást alkalmazunk a szárítást (üvegesítést) megelőzően. A laboratóriumi léptékű kísérletekben ugyanis ezek a többször ismételt lépések minden probléma nélkül végrehajthatóak voltak, és a végső szárítással stabil, minden igényt kielégítő mikrokapszulákat lehetett előállítani. A pilot léptékű kísérletekben azonban az alginát oldatban történő áztatás során nem várt probléma lépett fel.

A léptéknövelt technológiában anyagtakarékosság érdekében mind az air-lift reaktorba töltött, gélesítésre használt kalciumklorid oldatot, mind az ezt követő áztatáshoz használt nátrium-alginát oldatot több alkalommal, ismételten fel kívántuk használni a mikrokapszulák második stabil héjjal történő bevonásához. A laboratóriumi léptékű kísérleteknél az ismételt felhasználhatóság a kis anyagmennyiségek miatt még nem volt szempont. A léptéknövelés során azonban tekintettel kellett lennünk arra, hogy akár pilot, akár kísérleti üzemi léptékben a héj kialakításhoz használt oldatokat többszörösen is fel kell tudnunk használni, időnkénti regenerálás vagy tisztítás után.

A probléma viszont abban jelentkezett, hogy az első kalcium-kloridos gélesítést követő alginátos áztató oldatba a nyers mikrokapszulákból még mosás közbeiktatása esetén is bizonyos mennyiségű szabad kalcium ion került be. Ez még igen kis mennyiség esetén is a teljes oldattérfogat besűrűsödéséhez,

gégeledéséhez vezetett, így azt már nem lehetett egy következő második vagy harmadik ciklusban felhasználni. Üzemszerű működés esetén így olyan nagy mennyiségű „begégeledett” használt kalcium-alginát tartalmú oldat keletkezett, ami ebben a technológiában használhatatlan melléktermék volt. Ez gazdaságtalanná tette volna az eredeti elképzelés szerinti technológiát, másrészt a nehezen kezelhető melléktermék elhelyezése környezeti szennyeződést okozott volna. Bár ennek mezőgazdasági hasznosítása esetleg elképzelhető, de sok problémával járna és nem látszott gazdaságosnak. Így a továbbiakban le kellett mondanunk egy ilyen, második kapszulahéj ráépítéséről.

Bizonyos felhasználási területeken, ahol a mikrokapszulák esetleges szivárgása nem okoz problémát, például zárt pórusú polimer hőszigetelő habokban, a második külső héj nélküli mikrokapszulák is alkalmazhatók lehetnek. Ezért ennek az előállítási módnak az első szakaszát nem vetettük el, és arra jutottunk, hogy ez akár része is lehet egy összetettebb, többtermékes technológiának.

A második héj ráépítése nélküli technológia teljes elvetése ellen szólt az is, hogy az említett négy lépésben előállított mikrokapszula minták fázisváltó anyag (itt kókuszszír) tartalma elérte a 70 m/m %-ot, és fajlagos látens hőtároló kapacitásuk meghaladta a 100 kJ/kg értéket. Ez teljes mértékben megfelel a projektben vállalt minőségi követelményeknek, kivéve a szivárgásmentességet.

A következő munkaszakasz feladatai között tervbe vettük egy új, komplex gyártási technológia kidolgozását, melynek révén hulladék keletkezése nélkül szivárgás nélküli mikrokapszulák állíthatók elő.

Az előállított mikrokapszulák fázisváltási hőmérséklettartománya paraffin esetében 55-57 °C volt, kókuszszír esetében pedig 23-26 °C. Előbbi, magasabb hőmérséklettartomány a napkollektorokkal begyűjtött hő tárolására látszott alkalmasnak, míg a kókuszszír esetében mért tartomány épületek belső tereinek temperálására. Végeztünk sikeres előállítási kísérleteket a kókuszszírhoz hasonló, alacsonyabb olvadási hőmérséklet tartományú paraffin mikrokapszulázásával is.

Paraffin fázisváltó anyagot tartalmazó mikrokapszulák felhasználásával sikeres kísérletek történtek azok polimer hab hőszigetelő rendszerekbe történő beágyazására és tesztelésére. A hőszigetelő hab kis sűrűsége lehetővé tette, hogy a jóval nagyobb sűrűségű mikrokapszulák számottevő tömeget és nagy fajlagos hőtároló képességet képviseljenek a hőszigetelő rendszerben: az előállított mintákban a mikrokapszulák tömegaránya elérte a 44-50 tömegszázalékot is.

Munkáink során kísérleteket végeztünk a mikrokapszulák más hőszigetelő szerkezeti anyagokba történő beépítésére is. Az előállított kompozit szerkezetek hőtechnikai vizsgálatai alapján megállapítottuk, hogy cellulóz alapú hőszigetelő csomagolóanyag (hullámpapír), illetve poliuretán hab esetében jelentős hőingadozást csökkentő hatást lehet elérni azok termikus tömege (látenshő kapacitása) növelésével. Adott hőmérséklettartományban és térfogatban ez 3-4-szeres hőkapacitás növekedést jelent.



Az első év folyamán felkészültünk a mikrokapszulákat tartalmazó kompozit épületszerkezeti elemek és hőszigetelő rendszerek hőtechnikai viselkedésének tesztelésére alkalmas, irodakonténer méretű, kísérleti modellházak kialakítására. Erre a célra a projekt pénzügyi támogatásából összesen 4 darab irodakonténer beszerzését indítottuk el, melyeket beérkezésük után kívántuk a kifejlesztett mikrokapszulákat tartalmazó épületszerkezeti elemekkel felszerelni. Egyik modellházat azonban hőtároló mikrokapszulák nélkül, referencialház gyanánt terveztük rendszerbe állítani.

A házakat egyenként 28 darab hőmérséklet érzékelővel, a beépített elektromos fűtőtest, illetve klímaberendezés szabályozására és távvezérlésére alkalmas rendszerrel, a fűtésre vagy hűtésre fordított villamos teljesítmény mérésére szolgáló műszerekkel, valamint számítógépes adatgyűjtő rendszerrel terveztük felszerelni. Utóbbi távfelügyeletét a PE villamosmérnöki laboratóriumából láttuk el. A kísérleti modellházak termikus viselkedését befolyásoló külső időjárási körülmények mérésére, követésére a modellházak közelében helyszíni meteorológiai állomást telepítettünk. Mindezekhez elkészítettük a gépészeti és műszerezési terveket és a beszerzendő műszerek listáit, és elindítottuk az előírás szerinti közbeszerzési eljárást (beszerzési ár nettó 6 229 865 Ft, nyertes szállító: Mobilbox Kft).

Elkészítettük a modellházak és a meteorológiai mérőállomás bácsalmási telepítési terveit, melynek alapján elkészült a telepítéshez szükséges tereprendezés, az elhelyezésre szánt terület tömörített kőzúzalék borítása, valamint a szükséges energetikai és informatikai infrastruktúra.

### **Modellház termikus viselkedésének modellezése**

Az első munkaszakasz ideje alatt kidolgoztuk a modellházak termikus viselkedésének előrejelzésére alkalmas matematikai modellt és szimulációs szoftvert, ModelMaker<sup>®</sup> keretszoftver alkalmazásával. Különböző időjárási körülmények és paraméterek, valamint változó fal rétegrendek feltételezésével megkezdtük a fázisváltó hőtároló anyagok várható hatásainak elméleti vizsgálatait.

Az eredményeket figyelembe vettük a modellházak felszerelésének és mérési programjának tervezéséhez. Meghatároztuk az évszakokon átívelő modellházi mérések során alkalmazandó üzemmódokat. Ezeket a szimulációs munkákat elsősorban a PE MÜKKI és a PE Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék kutatói végezték el.

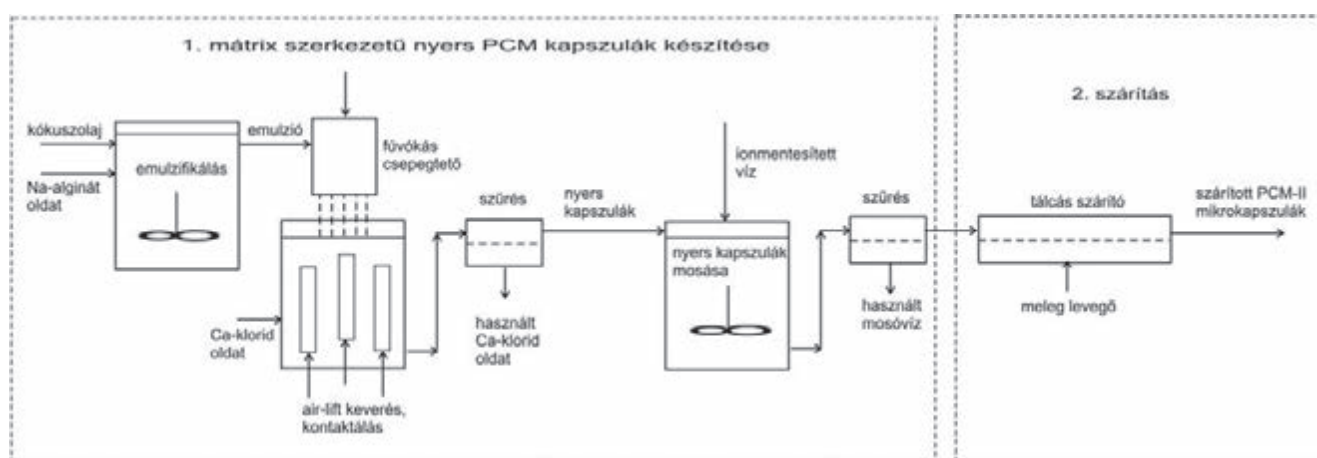
### **A második munkaszakasz végrehajtása**

#### **Pilot léptékű előállítás - második fázis**

Ahogy említettük, az első elképzelésünk szerinti technológia megvalósítása során nem várt technológiai probléma lépett fel. A kalcium-kloridos keresztkötéssel előállított nyers kapszulamagok nátrium-alginát oldatban történő áztatása során az oldat besűrűsödött, gélyszerű állagúvá vált, ami megakadályozta az oldat többszöri felhasználását. Így ezzel a technológiával nem tudtuk biztonságosan megvalósítani a szabadalom szerinti kettős bevonatú, szivárgásmentes mikrokapszulák előállítását, és ezért alternatív technológia kidolgozását kellett megcéloznunk.

Megjegyezzük, hogy a technológia kidolgozására fordított addigi munka sem vált feleslegessé, mivel a

második bevonat nélküli mikrokapszulákat az utolsó szárítási lépésben olyan termékké tudtuk formálni, ami bizonyos felhasználási területeken, ahol a teljes szivárgásmentesség nem követelmény, kisebb előállítási költség mellett is alkalmazható lehet: például zárt pórusú hőszigetelő habokba vagy polimer buborékfóliákba beágyazva, zárt tárolóedényekben, fóliázott hullámpapír dobozok gyártása során. A külső második bevonat nélküli, PCM kapszula-II elnevezésű mikrokapszula terméknek elvi előállítási folyamata látható a következő ábrán:



7. ábra: A második bevonat nélküli PCM tartalmú alginát mikrokapszulák pilot léptékű megvalósítása

A külső bevonat nélküli, alginát mátrix szerkezetű kapszulák pilot léptékű előállítása a korábbi technológia első néhány lépésének meghagyásával, majd az ezt követő kíméletes szárítási művelettel történt. A technológia lépései két fő részfolyamatba csoportosíthatók: 1. nyers PCM mikrokapszulák készítése, 2. szárítás. Mivel a nyers mikrokapszulák sérülékenyebbek voltak a mechanikai behatásokra, a módosított eljárásban az intenzív fluidizációs szárító helyett tálcsás szárítót használtunk.

Az így előállított termék hőszigetelő habokba történő beágyazására és felhasználási lehetőségeinek bizonyítására a Thermofoam Kft. munkatársai számos kísérletet végeztek. Ezek azt mutatták, hogy ez a termék hőérzékeny anyagok (biológiai minták, tápszerek, gyógyászati termékek) innovatív csomagoló anyagaiban jól alkalmazható, elsősorban a szállított anyagok alacsony hőmérsékleten tartásához.

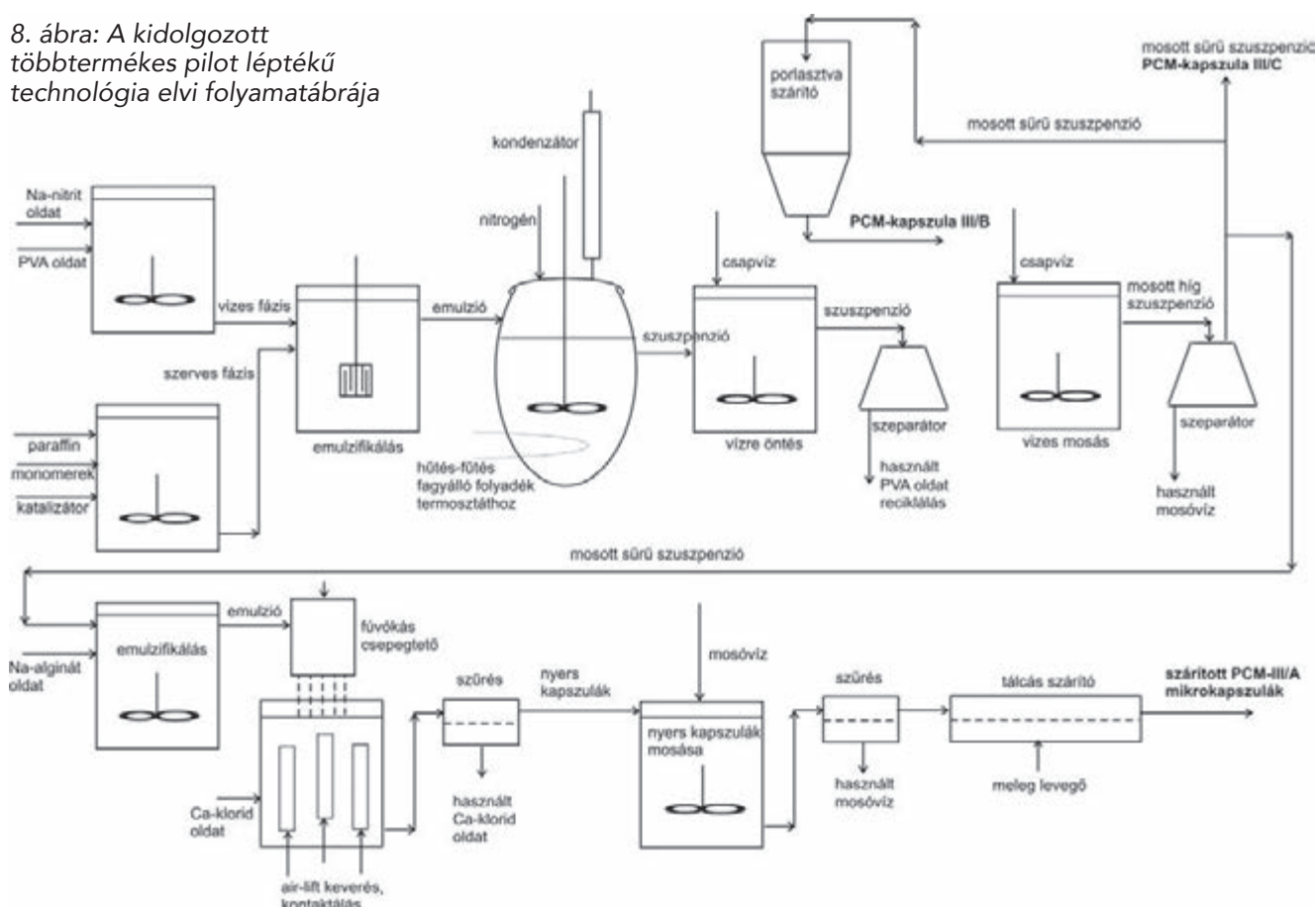
A felhasználhatóság ellenőrzésére ebből a termékből pilot léptékben 6 kg termékmintát állítottunk elő, kisebb részben anyagszerkezeti vizsgálatok céljából, de döntő részben a Thermofoam Kft. által végzett alkalmazástechnikai kísérletek elvégzésére. A vizsgálatok során beágyazási kísérleteket végeztünk polimer habokba és buborékfóliákba, és vizsgáltuk az előállított kompozit próbadarabok termikus tulajdonságait (érzékelhető és látens hőtartalom, olvadási és dermedési hőmérséklettartományok). Mivel a projekt eredeti célja szerint olyan termékek és előállítási módszerek kifejlesztését kellett elérni,

melyek a fázisváltó anyag kiszivárgása nélkül bármilyen épületszerkezeti elemekben felhasználhatók, a projekt második munkaszakaszában gyorsított ütemben kezdtük meg egy alternatív technológia kidolgozását.

Ez utóbbi megoldás kidolgozásának alapgondolata az volt, hogy az olvadt fázisváltó anyag (kókuszszír, paraffin, bioparaffin, vagy más biológiai eredetű látens hőtároló anyagok, növényi- vagy állati eredetű zsírok, zsírsavak) szivárgását megakadályozhatjuk oly módon, hogy azok alginát mátrixba diszpergált apró cseppjeit nagyon vékony, de jól záró polimer héjjal vesszük körül, aminek tömegaránya elhanyagolhatóan kicsi a mikrokapszulák teljes tömegéhez képest, és így gyakorlatilag nem rontja azok környezetbarát jellegét. Az előzetes kísérletek során olyan tapasztalatokra tettünk szert, miszerint a vékony polimer héjjal rendelkező primer mikrokapszulákat adott felhasználási területeken alginát mátrixba történő beágyazás nélkül is felhasználhatjuk, és azt a technológiai folyamat adott pontjairól elvezetve, akár zagy vagy akár száraz por formájában önálló termékként is értékesíthetjük.

A pilot léptékben kidolgozott folyamat olyan többtermékes technológiára vezetett, melynek különböző fokozatai, illetve elágazásai háromféle termék (PCM-kapszula III/A, III/B, III/C) előállítására adnak lehetőséget, a felhasználási igényekhez rugalmasan alkalmazkodva. A technológia elvi folyamatábrája az alábbiakban látható.

8. ábra: A kidolgozott többtermékes pilot léptékű technológia elvi folyamatábrája



1. PCM olvadék – vizes monomer emulzió létrehozása nagysebességű rotációs diszpergáló keverő (Ultraturrax) segítségével, melynek során o/w (olaj-a-vízben) típusú tejszerű emulzió jön létre.
2. Polimerizációs reaktorban az emulgeált PCM olvadék cseppjeinek felületén vékony polimer héj kialakítása emulziós polimerizációval, melynek során a monomer tartalmú vizes fázisban polimerizációval keletkező nagyobb molekulák a kisebb oldhatóság következtében a diszpergált PCM cseppek felületére válnak ki és ott megszilárdulnak. Így vizes oldatban szuszpendált, néhány mikrométer méretű primer mikrokapszulák keletkeznek.
3. A primer mikrokapszulák elválasztása, illetve sűrítése két lépésben, vizes mosást követő szeparátor centrifugák segítségével. A tapasztalatok alapján ez a technológia egyszerűsödött, elegendő volt egyszeri mosás is.
4. A kapott sűrű zagy szuszpendálása nátrium-alginát oldatban, ahol a vékony polimer bevonattal ellátott primer mikrokapszulák egyenletesen elkeverednek a folytonos alginát oldatban.
5. A primer mikrokapszulákat tartalmazó vizes nátrium-alginát becsepegtetése vizes kalcium-klorid oldatba, melynek során lejátszódik a cseppekben lévő alginát ionok kalcium ionokkal történő keresztkötése. Így néhány milliméteres átmérőjű szekunder gélcseppek alakulnak ki, melyek szűréssel elválaszthatók a vizes fázistól, és diszpergált formában tartalmazzák a polimer bevonatú primer mikrokapszulákat.
6. A keletkezett gélcseppek (szekunder mikrokapszulák) elválasztása szűréssel.
7. Tálcás szárítón történő szárítás, melynek során a gélszerű mikrokapszulák vízvesztéssel mechanikailag ellenállóbb szilárd formát vesznek fel.

Ezzel a hétlépéses technológiával előállított, 2-3 mm méretű komplex, többmagvú mikrokapszulák (PCM kapszula III/A) biológiai eredetű alginát mátrixban rögzítve tartalmazzák a harmadik lépésben előállított, kb. 6,8-27,4 mikron közötti átlagos mérettel rendelkező, vékony polimer bevonatú primer mikrokapszulákat, és alkalmasak a látens hőtárolásra.

Ez a technológia nem vezet számottevő mennyiségű melléktermékhez vagy hulladékhoz, csupán a használt kalcium-klorid oldat időnkénti regenerálásáról kell gondoskodni. Emellett viszonylag kis mennyiségű, jól kezelhető, elsősorban kalcium-kloridot kis koncentrációban tartalmazó használt mosóvíz keletkezik.





9. ábra: A pilot léptékű technológia létrehozása során összeállított berendezések balról jobbra: Ultraturrax diszpergáló, üveg polimerizációs körtereaktor, csepegtető és gélesítő reaktor, csepegtető fűvókák

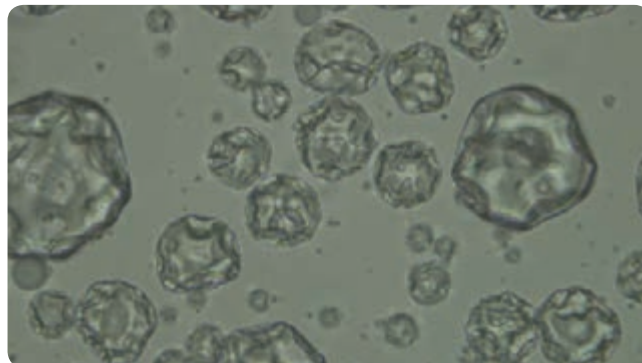
A folyamatábrából látható, hogy ez egy többtermékes technológia, melynek során a primer mikrokapszulák centrifugális szeparátorral lefölözött sűrű szuszpenzióját porlasztva szárító berendezésbe vezetve porszerű szilárd termék állítható elő, PCM kapszula III/B megnevezéssel.

A mikrokapszulák sűrű szuszpenziója – PCM kapszula III/C termék megnevezéssel – közvetlenül is felhasználható bizonyos épületszerkezeti elemekbe, például aljzatbetonba, vakolatba, vagy gipszkarton lemezekbe beágyazva. A második munkaszakaszban a pilot technológiával előállított mikrokapszula zagyok bekeverésével sikeres beágyazási kísérleteket végeztünk gipsz alapú vakolat, illetve gipszkarton lemez mintadarabok elkészítésével azok termikus és anyagszerkezeti jellemzőinek bevizsgálása céljából. A pilot léptékű technológia kidolgozása keretében a vékony polimer kapszulahéjak kialakítását kezdetben egy 20 literes, pilot léptékű üveg körtereaktorban végeztük. Az egy adagban előállított mikrokapszulák tömege itt 3,5 kg volt, melynek egy részét zagy formájában használtuk fel gipsz alapú vakolatba, illetve gipszkarton lemezekbe történő beágyazási kísérleteinkhez. Más részüket szűrés, mosás, és nátrium-alginátba történő szuszpendálás után kalcium-alginát gyöngyökbe ágyazott formában állítottuk elő (PCM-kapszula III/A). Az alginát gyöngyökbe ágyazott, szárított mikrokapszulák nagy részét (kb. 3 kg tömegű minta) átadtuk a Thermofoam Kft. részére, hőszigetelő polimer habokba

történő beágyazási kísérletek céljára. A mintákból anyagszerkezeti (SEM) és termikus (DSC, DTG) vizsgálatokat is végeztünk. A kapszulahéjak tízszeresen megnövelt léptékben történő kialakítása céljából a Thermofoam Kft. egy 200 liter űrtartalmú reaktort szerzett be (beszerzési ár nettó 17 250 000 Ft, szállító AlterEnergó Kft.), abból a célból, hogy a még nagyobb, 2 m<sup>3</sup> méretű kísérleti üzemi reaktor tervezéséhez további tapasztalatokat és adatokat nyerjünk. A 200 literes közbeeső méretű reaktort először a PE veszprémi üzemkísérleti csarnokában szereltük fel és üzemeltük be, majd átszállítottuk a Thermofoam Kft. bácsalmási telephelyére, további üzemi próbák elvégzéséhez. A reaktor termelési kapacitása a kisebb méretű körtereaktorhoz képest kb. 10-szeres léptéknövelést képviselt, ami lehetőséget adott egy-egy adagban kb. 35 kg mennyiségű PCM-kapszula III/C termék előállítására. Évi kb. 200 napos üzemelés figyelembevételével ez kb. 7 tonna/év előállítási kapacitásnak felelt meg.

A primer mikrokapszulák alginát mikrogöngyökbe ágyazására a projekt támogatásából pilotléptékű csepegtető és gélképző reaktort szereztünk be, amit a PCM kapszula III/A termék előállítására használtunk (beszerzési ár nettó 2 602 500 Ft, szállító: Alter Energó Kutatási és Fejlesztési Kft.).

A veszprémi pilot léptékű előállítási technológiában nélkülözhetetlen szerepet játszott a projekt pénzügyi támogatásából beszerzett Niro Mobil Minor típusú rotációs porlasztófej és porlasztva szárító berendezés (beszerzési ár: porlasztófej nettó 10 743 592 Ft, porlasztva szárító nettó 26 123 488 Ft, összesen nettó 36 867 080 Ft, szállító: GEA CEE GmbH Magyarországi Fióktelepe), melynek segítségével a PCM kapszula III/C porformátumú terméket tudtuk előállítani és alkalmazástechnikai vizsgálatoknak alávetni. A pilot léptékű technológia megvalósítása során kifejlesztett és felhasznált berendezéseket mutatják a következő fényképek.



10. ábra: 200 literes polimerizációs reaktor a mikrokapszulák bevonatának kialakítására (baloldali kép), a keletkezett primer mikrokapszulák vékony polimer bevonattal (jobbaldalt fent) és a primer mikrokapszulákat tartalmazó kalcium-alginát gyöngyök előállítására és megszilárdítására szolgáló pneumatikus csepegtető a gélesítő reaktor (jobbaldalt lent)



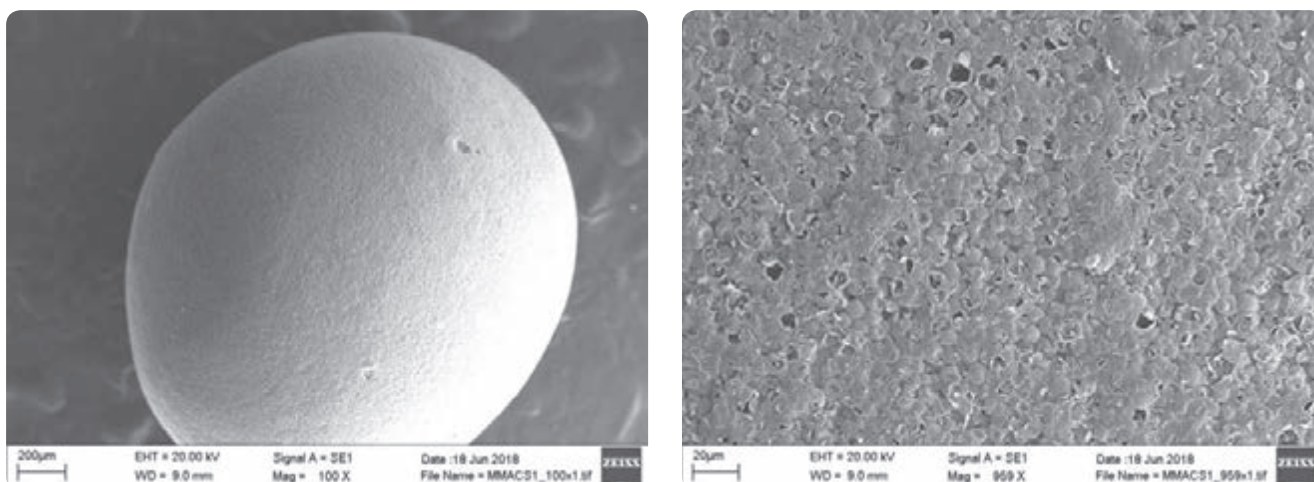
11. ábra: A pilot léptékű technológia eszközei: szerves fázis készítő tartály és hidrodinamikus emulzifikálás, polimerizációs reaktor (baloldali kép), alginát mikrogömböket előállító csepegtető és gélképző reaktor (középen), Niro Mobil Minor® porlasztva szárító (jobbra).



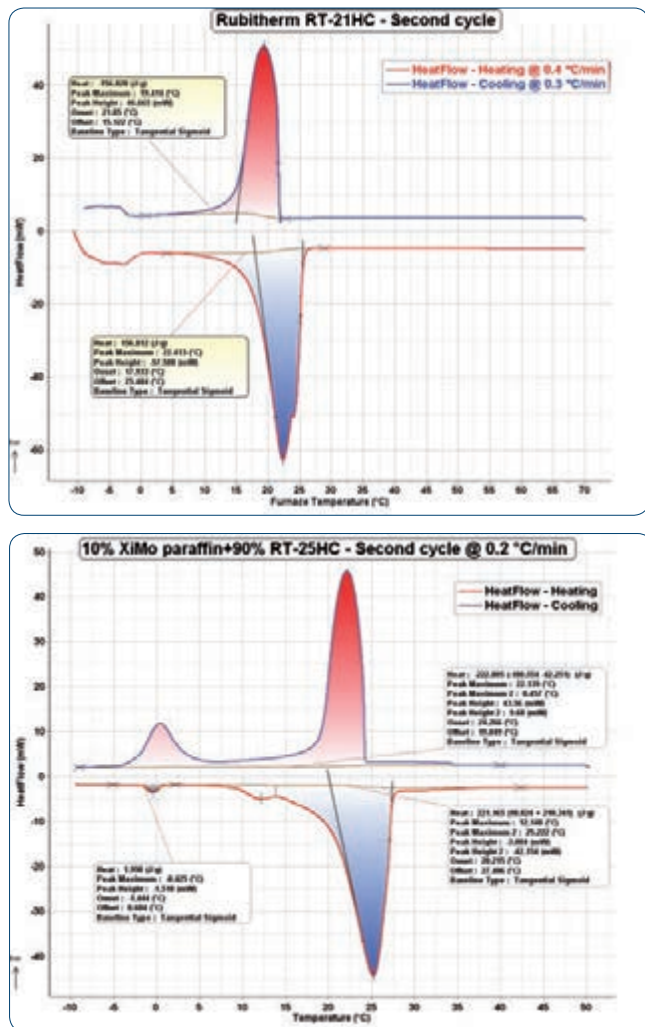
## Anyagszerkezeti és hőtechnikai vizsgálatok

A projekt mindhárom munkaszakaszában a PE és TTK kutatói összehangolt vizsgálatokat végeztek a laboratóriumi és pilot léptékű kísérletek során előállított mikrokapszulák anyagszerkezeti és hőtechnikai jellemzőinek felderítésére. Az eredmények alátámasztották, hogy az előállított termékminták a projekt célkitűzéseiben szereplő követelményeknek megfelelnek, jó fizikai és kémiai stabilitással, megfelelő hőállósággal, hőtároló képességgel és termikus jellemzőkkel rendelkeznek.

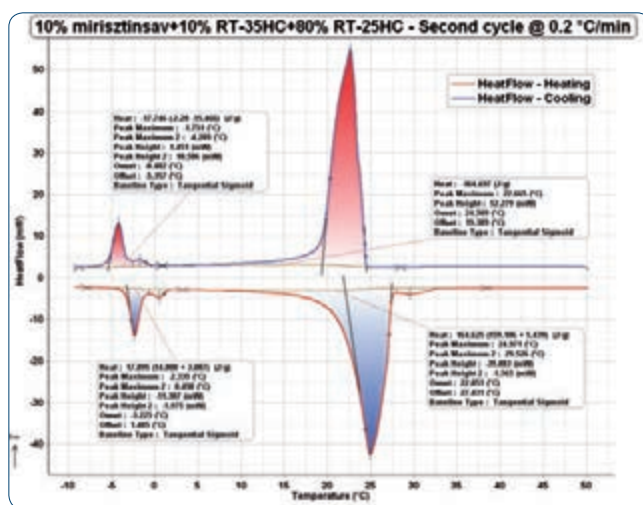
1. A következő SEM felvételek és DSC mérések néhány példát mutatnak be a pilot léptékben előállított minták anyagszerkezeti és hőtechnikai vizsgálati eredményeiről. A hőtechnikai vizsgálatok eredményeit a későbbi fejezetekben részletesebben is bemutatjuk.



12. ábra: A pilot léptékű kísérletekben előállított, alginát gyöngyökbe ágyazott fázisváltó hőtároló mikrokapszulák SEM felvétele (jobb oldali kép: egyik gyöngy külső felszíne és metszete)



13. ábra: Különböző fázisváltó hőtároló anyagok keverékeivel előállított mikrokapszulák differenciális pásztázó kalorimetriás (DSC) felvételei



## Épületszerkezeti anyagokba és hőszigetelő habokba történő integrálás

A második munkaszakaszban került sor a pilot léptékben előállított mindhárom fajta fázisváltó hőtároló mikrokapszula termék (PCM-III/A, B, C) mintáinak hőszigetelő habokba, gipszes vakolatokba és gipszkarton panelekbe történő beágyazási kísérleteire. A Thermofoam Kft. által végzett kísérletek megtervezésében, kivitelezésében és értékelésében részt vettek a Pannon Egyetem és a Természettudományi Kutatóközpont szakemberei is, akik korszerű mérőberendezéseikkel elvégezték az előállított kompozit épületszerkezeti minták minőségi (anyagszerkezet és termikus viselkedés) vizsgálatait.

## Hőtároló mikrokapszulák beágyazása vakolatba

A zagy formátumú PCM-kapszula III/C termékminta gipsz alakú vakolatba történő integrálására sikeres kísérleteket végeztünk dr. Jelinkó Róbert, az LB Knauf Kft. veszprémi gyára alkalmazástechnikai vezetőjének közreműködésével. A következő képen a PCM-kapszula III/C zagy felhasználásával készült, 2 cm vastag

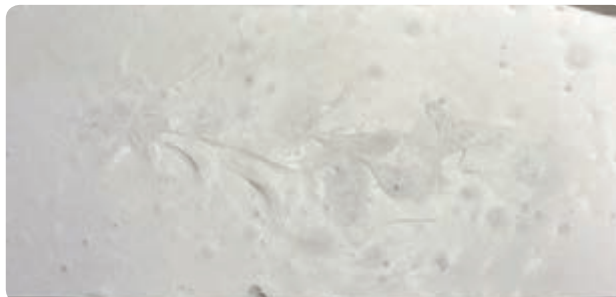


vakolat próbadarabok láthatók, melyek a vizsgálatok szerint megfelelő mechanikai szilárdsággal és kiváló hőtároló képességgel rendelkeztek.

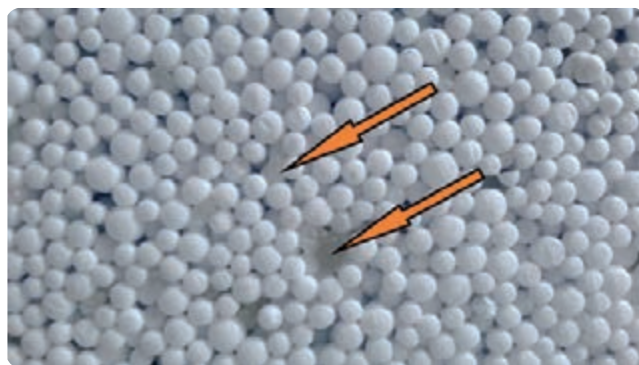
### Hőtároló mikrokapszulák beágyazása hőszigetelő habokba

A Thermofoam Kft munkatársai többféle módszert dolgoztak ki az alginát mátrixba ágyazott hőtároló mikrokapszulák (PCM kapszula III/A) polimer habokba történő integrálására. Egyik módszer szerint a hőszigetelő polimer hab tömböt az erre alkalmas polimer gyöngyök termikus duzzasztásával állították elő, ahogy az a következő képeken látszik. A jobboldali kinagyított részleten jól megfigyelhetők a megduzzasztott polimer gömbök között elhelyezkedő PCM-alginát mikrokapszulák. Utóbbiak jelentős mértékben növelték az eredeti polimer hab hőtároló képességét, mivel a mikrokapszulák nagyobb sűrűsége miatt nagyságrendekkel nagyobb tömegarányt képviseltek térfogatarányukhoz képest az azokat befogadó kis sűrűségű polimer habhoz képest.

Az előállított PCM/PU hab próbadarabokat a PE Anyagmérnöki Intézetében vizsgáltuk be, elsősorban annak bizonyítására, hogy a jobb hővezető képességű PCM-mikrokapszulák a hőtároló kapacitás javításával egyidőben nem rontják-e a hőszigetelő hab hőszigetelő képességét. Megállapítottuk, hogy az akár 40-50 tömeg %-ot kitevő hőtároló mikrokapszulák gyakorlatilag nem növelték a rendszer hővezetési tényezőjét (mivel ez csak kis térfogathányadot tett ki a teljes térfogatban), ugyanakkor ez a megoldás lehetőséget adott a hőszigetelő rétegen keresztül bejutó, jelentős mennyiségű hő elnyelésére, illetve átmeneti tárolására.

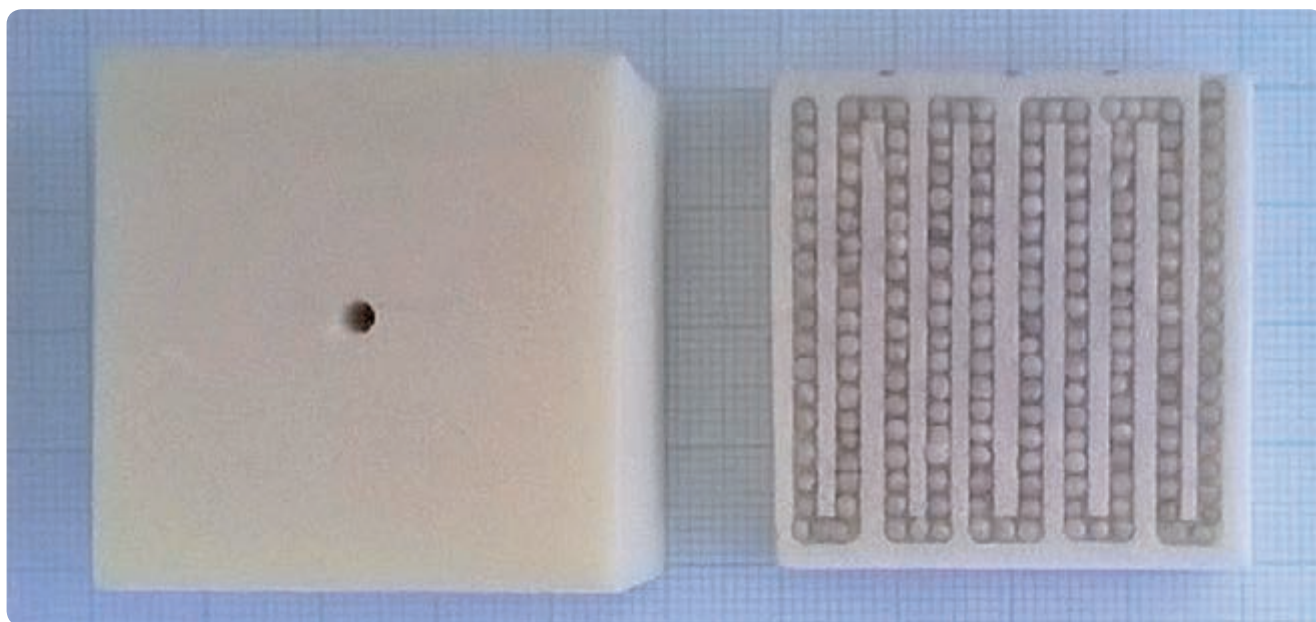


14. ábra: Sűrű zagy formátumú PCM mikrokapszulákat tartalmazó gipszes vakolat próbadarabok



15. ábra: Poliuretán gyöngyök duzzasztásával és kalcium-alginát gyöngyökbe ágyazott PCM mikrokapszulákból kialakított hőtároló-hőszigetelő rendszer

A Pannon Egyetem és a Természettudományi Kutatóközpont kutatói kidolgoztak egy egyszerű, alternatív módszert is a mikrokapszulák hőszigetelő habokba történő integrálására. A módszer lényege abban van, hogy a hőszigetelő hab tömb felületébe programozott módon marófejjel felszerelt plotterrel hornyokat marunk, és a keletkezett hornyokat feltöltjük PCM mikrokapszulákkal, ahogy a következő ábrán látható. A hornyokat ezután egy második habréteggel, vagy polimer fóliával fedjük le.



16. ábra: Hőszigetelő hab panelbe ágyazott alginát mátrixú PCM mikrokapszulák

A módszer előnye, hogy a hőszigetelő hab panelek vastagsága révén pontosan szabályozhatjuk a hőtároló mikrokapszulák elhelyezkedését a hőszigetelő réteg keresztmetszete mentén. Ez azért is előnyös lehet, mivel a tapasztalatok és elméleti számítások szerint a hőtárolás temperáló hatása annál kifejezettebb, minél közelebb helyezkednek el a PCM mikrokapszulák a temperálni kívánt térrészhez, például az épület belső légteréhez.

Hasonló módszerrel olyan hőszigetelőhab panelek is előállíthatók, melyek hornyaiba a többtermékes pilot technológia bármelyik terméke (PCM kapszula III/A, B, vagy C) beágyazható.

A Thermofoam szakmai irányításával történtek sikeres beágyazási kísérletek porformatumú hőtároló mikrokapszulák többretegű polimer fóliákba történő integrálására is a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen.

### Kísérleti modellházak az új hőtároló mikrokapszulák termikus hatásának vizsgálatára

A projekt második munkaszakaszában megtörtént az irodakonténer méretű modellházakkal végzendő mérésekhez szükséges 4 db konténerház beszerzése, melyek közül hármat azonnal a mérések helyszínére, a Thermofoam Kft. bácsalmási telephelyének erre a célra előkészített területén telepítettünk le. A Pannon Egyetem tulajdonát képező és könyveiben aktivált modellházak a projekt végrehajtásának és fenntartásának időtartamára kerültek ide kihelyezésre, mivel a hőtároló épületszerkezeti elemek tesztelése a mikrokapszulák és azokat tartalmazó épületszerkezeti elemek gyártási helyszínén látszott ésszerűnek. Emellett a telephely földrajzi fekvése az ottani klimatikus viszonyokat – például a magasabb nyári csúcshőmérsékleteket – tekintve is kedvezőbbnek látszott a tartamkísérletek lefolytatásához.

A Pannon Egyetem általi működtetésük a Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék erre a célra felszerelt laboratóriumából távirányítással folyik, a projekt keretében kidolgozott távinformatikai rendszer segítségével. A kísérletek befejezése után a modellházak visszakerülnek a Pannon Egyetem területére, illetve más kísérleti terepeken lesznek működtethetők.

A negyedik modellház az időjárási adatokat gyűjtő meteorológiai állomással együtt kezdetben a Pannon Egyetem alsó kampuszának udvarán került elhelyezésre, a mérő-, szabályzó- és számítógépes mérésadatgyűjtő rendszer prototípus szinten történő kialakítása és beüzemelése céljából. A rendszer végleges kialakítását hátráltatta a közbeszerzési eljárások



17. ábra: Kísérleti modellház és a meteorológiai állomás a PE veszprémi kampuszán a műszerezés kialakítása idején

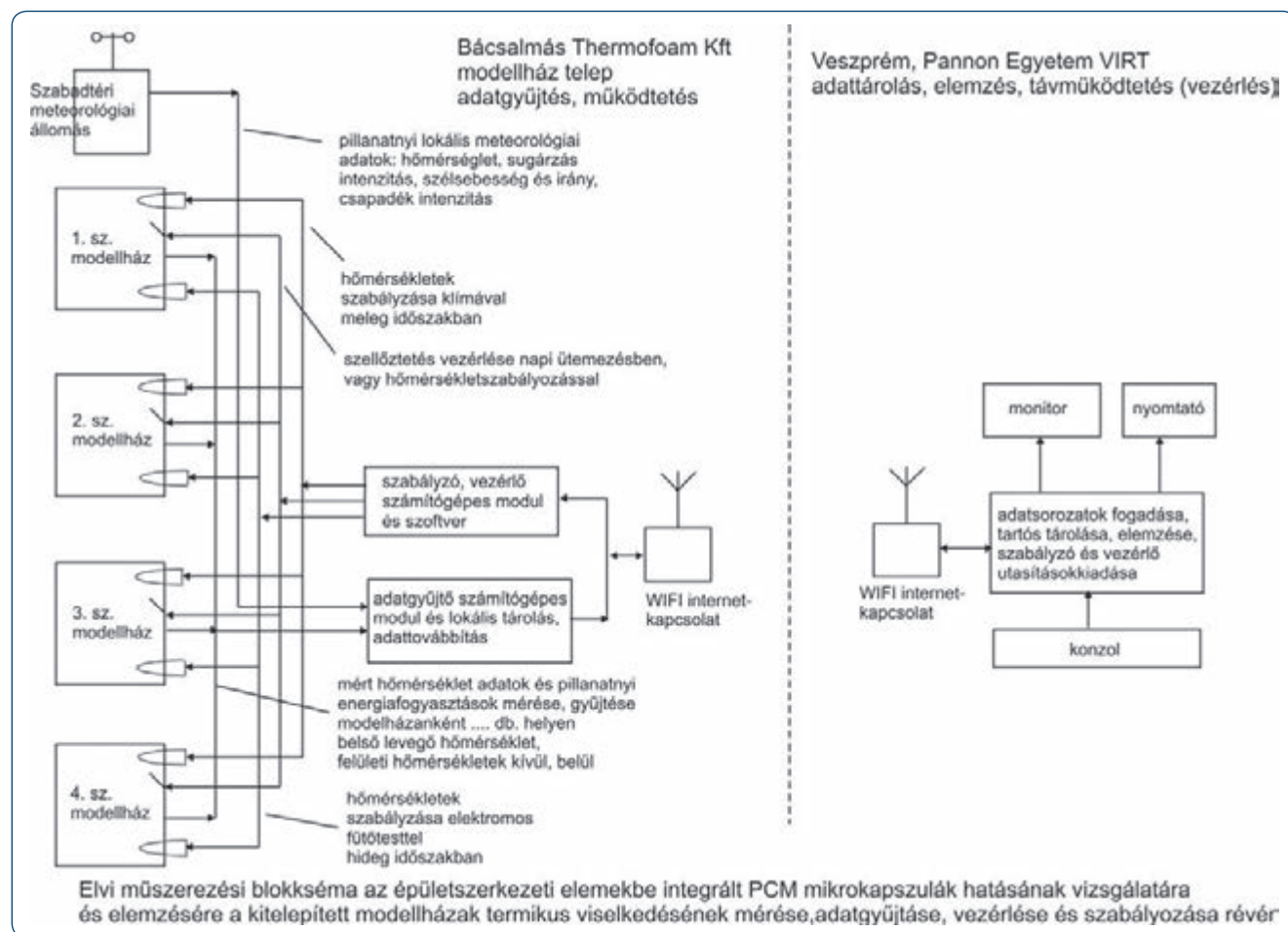


18. ábra: Kísérleti mobilházak a mérések idejére a Thermofoam Kft. telephelyén, Bácsalmáson



elhúzódása és az ezzel kapcsolatban felmerült számos adminisztratív és jogi akadály. A mérő- szabályzó- és számítógépes mérésadatgyűjtő rendszerhez szükséges alkatrészek beérkezése emiatt nagy késéssel, több részletben történt meg. Így a műszerezési prototípus kialakítása és beüzemelése csak a második munkaszakasz végére, és részben a harmadik munkaszakasz első felében valósult meg, mivel a rendszer egyes komponensei egymás nélkül nem voltak használhatók. Teljes kialakításuk és a próbaüzem ugyanis csak az összes szükséges alkatrész rendelkezésre állása esetén kezdődhetett meg. Ez végül sikerrel zárult, és ezután megtörtént a negyedik modellház és meteorológiai állomás áttelepítése Bácsalmásra, majd az ott lévő másik három modellház műszerezése is.

A négy darab MB10 típusú irodakonténer beszerzése a projekt pénzügyi támogatásával összesen nettó 6 229 865 Ft értékben történt (szállító: Mobilbox Kft). A mérésekhez szükséges a műszerrendszer komponenseinek beszerzése összesen nettó 9 206 012 Ft értékben valósult meg (szállító: H-Didakt Kft). A modellházakban végzett évszakokon átívelő folyamatos mérések célja a beszerelt épületszerkezeti elemekbe integrált fázisváltó hőtároló mikrokapszulák hatásának vizsgálata a modellházak termikus viselkedésére. A modellházak elvi műszerezési vázlatát mutatja be a következő ábra:



19. ábra: A kísérleti modellházak elvi műszerezési vázlata



A kísérleti modellházak üzemeltetése az egymást követő évszakok során kétféle üzemmódban történik: egyrészt szabadon változó belső hőmérsékletek mellett, másrészt szabályozott belső levegő hőmérséklet esetén. A termikus viselkedés vizsgálata érdekében folyamatosan mérjük, és 5 perces átlagokban mentjük el a külső meteorológiai adatokat (külső környezeti levegő hőmérséklete, beeső napsugárzás fajlagos hőteljesítménye, szélesebbesség és szélirány, csapadék mennyisége), valamint a modellházak különböző tájolású határoló falainak külső és belső felületi hőmérsékleteit (házanként 26-26 ponton), a belső levegő hőmérsékletét (házanként 2-2 ponton), és mindegyik modellházban a beépített fűtőtest, illetve klímaberendezés által felvett aktuális elektromos teljesítmények értékeit.

A mérések jelenleg is folynak, melyek során a számítógépes adatgyűjtéssel eltárolt adatok elemzésével meghatározzuk az egyes pontokon mért hőmérsékletek, valamint a fűtésre vagy hűtésre felhasznált elektromos teljesítmény változásainak dinamikáját. Emellett igen nagyszámú termikus jellemzőt vizsgálunk, mint például a modellházak belső tereinek és falfelületeinek lehűlési és felmelegedési sebességeit és azok változásait, a változások időtartamait, a különböző tájolású falakon kialakuló hőmérsékletek és a falak vastagsága mentén fellépő hőmérsékletesés közötti összefüggéseket. Meghatározzuk az egyes modellházak globális hőveszteségi tényezőit, hűtési és fűtési energiafelhasználását, és a modellházakban alkalmazott PCM mikrokapszulák hatását mindezekre a jellemzőkre.

## A harmadik munkaszakasz végrehajtása

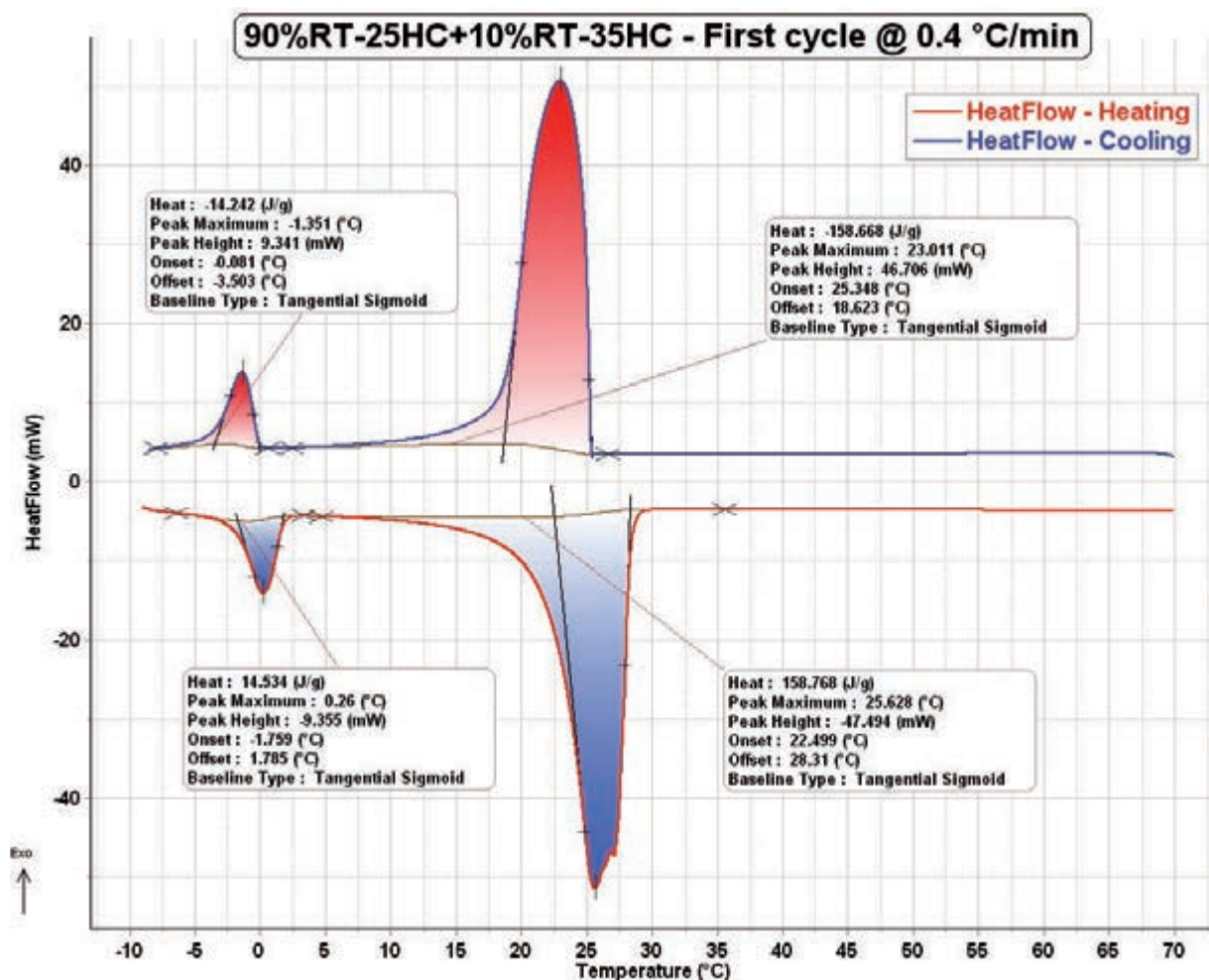
### A termikus tulajdonságok vizsgálata

A modellház belső burkolatához felhasznált vakolatpanelek, és azok ágyazott PCM mikrokapszulák és fázisváltó anyagok termikus tulajdonságait folyamatosan vizsgáltuk: a projekt első szakaszában végzett előkészítő munkálatok során, a kísérleti gyártási folyamatokat megelőzően, gyártás közben, valamint a modellházba történt beépítés előtt. Az anyagszerkezeti vizsgálatok mellett ezeket a tulajdonságokat elsősorban pásztázó mikrokalorimetriás (DSC) mérésekkel ellenőriztük. Ennek során nagyszámú mérési adathoz jutottunk, melyeket külön összefoglaló tanulmányban ismertettünk és értékeltünk. Itt csak néhány példát mutatunk be, melyek alapvetően meghatározzák az előállított vakolatpanelek termikus jellemzőit.

### A felhasznált paraffin keverék termikus jellemzői

Az alkalmazott fázisváltó hőtároló anyaggal szemben fontos követelmény volt, hogy jó fajlagos látens hőtároló kapacitása mellett annak olvadási és dermedési hőmérséklettartománya a házak temperálási követelményeinek megfelelően, és minél közelebb legyenek egymáshoz: dermedéskor ne jelentkezzen túlságosan nagy eltolódás az alacsonyabb hőmérsékletek irányába, vagyis ne legyen nagy túlhűlés az olvadási hőmérsékletekhez képest.

Ezeknek a követelményeknek a kielégítésére a kísérletekhez modellanyagként könnyen beszerezhető szabványos kereskedelmi paraffinokat, hazai ipari és egyéb paraffin mintákat, valamint azok mintegy húsz féle különböző keverékeit vizsgáltuk be. Célunk az volt, hogy az alkalmazott fázisváltó hőtároló anyag olvadási és dermedési hőmérséklettartománya minél inkább az épületek belső tereinek megkívánt komfortos hőmérsékleti zónájába essen. Ehhez elfogadhatónak tartottuk, hogy a fázisváltó anyag tömegének legalább 80-90 %-a 18 és 29 °C között olvadjon meg, és 26 és 18 °C között dermedjen vissza. A végső cél azonban az volt, hogy az ipari gyártás során a kikísérletezett paraffin keverék mint modellanyag fázisváltó tulajdonságainak megfelelő bioparaffinokat tudjon a Thermofoam Kft. a nemzetközi vagy hazai piacon beszerezni. A feladatot nehezítette az, hogy a felhasznált tömbfázisú fázisváltó hőtároló anyagok olvadási és dermedési hőmérséklettartománya a mikrokapszulázási folyamat következtében, de vakolatokba, vagy más épületszerkezeti elemekbe történő beágyazás során is megváltozott. Ez részben azért történhetett, mert ezeket a tulajdonságokat a mikrokapszulák mérete (görbületi sugara) és a beágyazás során kialakult mikrokörnyezet (fizikai és kémiai kölcsönhatások) is befolyásolják.



20. ábra: A vakolatkeverékhez gyártott mikrokapszulákban felhasznált legjobb paraffin keverék DSC görbéi

A mikrokapszulák gyártásához leginkább a 90 % RT-25HC és 10 % RT-35HC Rubitherm paraffinokból álló keverék látszott megfelelőnek. Ennek a keveréknek a DSC felvétele látható a 20. ábrán. A vizsgálati mintát a DSC készülékben több felmelegítési és visszadermesztési ciklus során vizsgáltuk, melyek nem mutattak egymástól lényeges eltérést. Az itt bemutatott ábrán az első ciklus hőmérséklet – hőáram összefüggését mutatjuk be, felmelegítéskor és lehűtéskor.

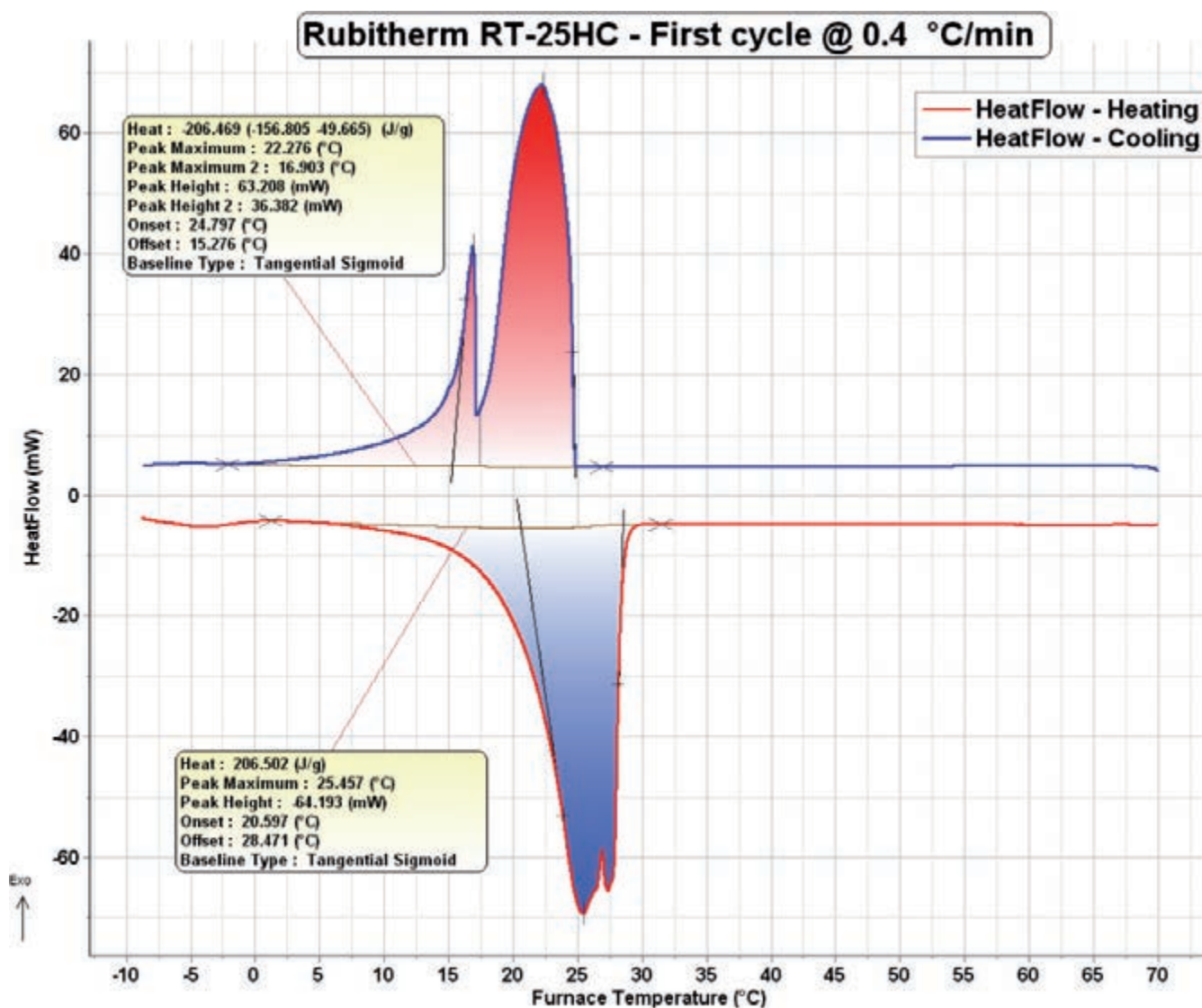
A diagramon az alsó, piros vonallal ábrázolt felfűtési (endoterm) görbe a minta által felvett hőáramokat mutatja a mintahőmérséklet növelése közben. Eszerint az olvadás lényegében 18 °C körül kezdődik és 29 °C körül fejeződik be. Az inflexiós pontok érintői ennél szűkebb olvadási hőmérséklet tartományt jelölnek ki, 22,5 és 28,3 °C között. (Ezek az értékek az ábrára beillesztett kis táblázatból is leolvashatók az „Onset” és „Offset” adatokból). Feltételeztük, hogy az ezzel a keverékkel előállítható vakolatpanelek temperáló (hőelvonó) hatása is lényegében ebben a hőmérséklettartományban várható.

Ahogy a piros vonallal ábrázolt görbéből látható, megolvadás közben a pillanatnyi hőáram (vagyis a várható hőelvonás) maximuma 25,6 °C-on jelentkezik. A nulla °C hőmérséklet közelében látható kis csúcstól eltekintve a vizsgált minta fajlagos látens hőkapacitása (vagyis olvadáshője) a görbe „alatti” területből a mérőműszer által meghatározva 158,8 J/g volt, ami közvetlen információt ad az olvadás révén elvonható hőmennyiségre, a megadott hőmérséklettartományban. Ha a temperáló hatást ennél szűkebb hőmérséklettartományban használjuk ki, akkor az elvonható hőmennyiség ennél kisebb. Ez utóbbit a kívánt hőmérséklettartományban pontról-pontra történő integrálással lehet meghatározni a hőáram mérési adatokból.

A felső, kék vonallal rajzolt görbe mutatja a leadott (exoterm) hőáramokat a lehűtés (visszadermesztés, regenerálás) során. Eszerint a dermedés valamivel 25,3 °C felett kezdődik meg, és nagyrészt 10 és 15 °C között fejeződik be, vagyis ekkorra történik meg a teljes mintamennyiség megdermedése. Az inflexiós pontokból húzott érintők itt is kisebb hőmérséklettartományt jelölnek ki a dermedési folyamat határait: eszerint a dermedés kezdete 25,3, vége pedig 18,6 °C. A maximális felszabaduló (vagyis a hőtároló mikrokapszulák regenerálásakor elvonandó) hőáram 23,0 °C-on jelentkezik. Ez a hőmérséklettartomány az olvadási görbéhez képest alig tolódik el a kisebb hőmérsékletek felé, tehát ez a keverék ideálisnak látszott a projekt céljaira történő felhasználásra.

Fontos megjegyezni, hogy a korábbi kísérleteinkben önmagában használt „tisza” RT-25HC paraffinnál a dermedési tartomány lényegesen nagyobb eltolódást mutatott az olvadási görbéhez képest, vagyis jelentős dermedéspont csökkenés volt tapasztalható a kristályosodási folyamat időbeli és hőmérsékleti késése miatt (túlhűlés).

Ilyen vizsgálati eredményt mutat a következő ábrán látható DSC felvétel, ami a „tisza” RT-25HC paraffin felmelegítésekor és visszadermesztésekor kapott hőáramokat mutatja a felmelegítési, illetve visszahűtési hőmérsékletek változása közben.



21. ábra: A módosítás nélküli RT-25HC paraffin minta DSC felvétele nagyobb túlhűlést mutat

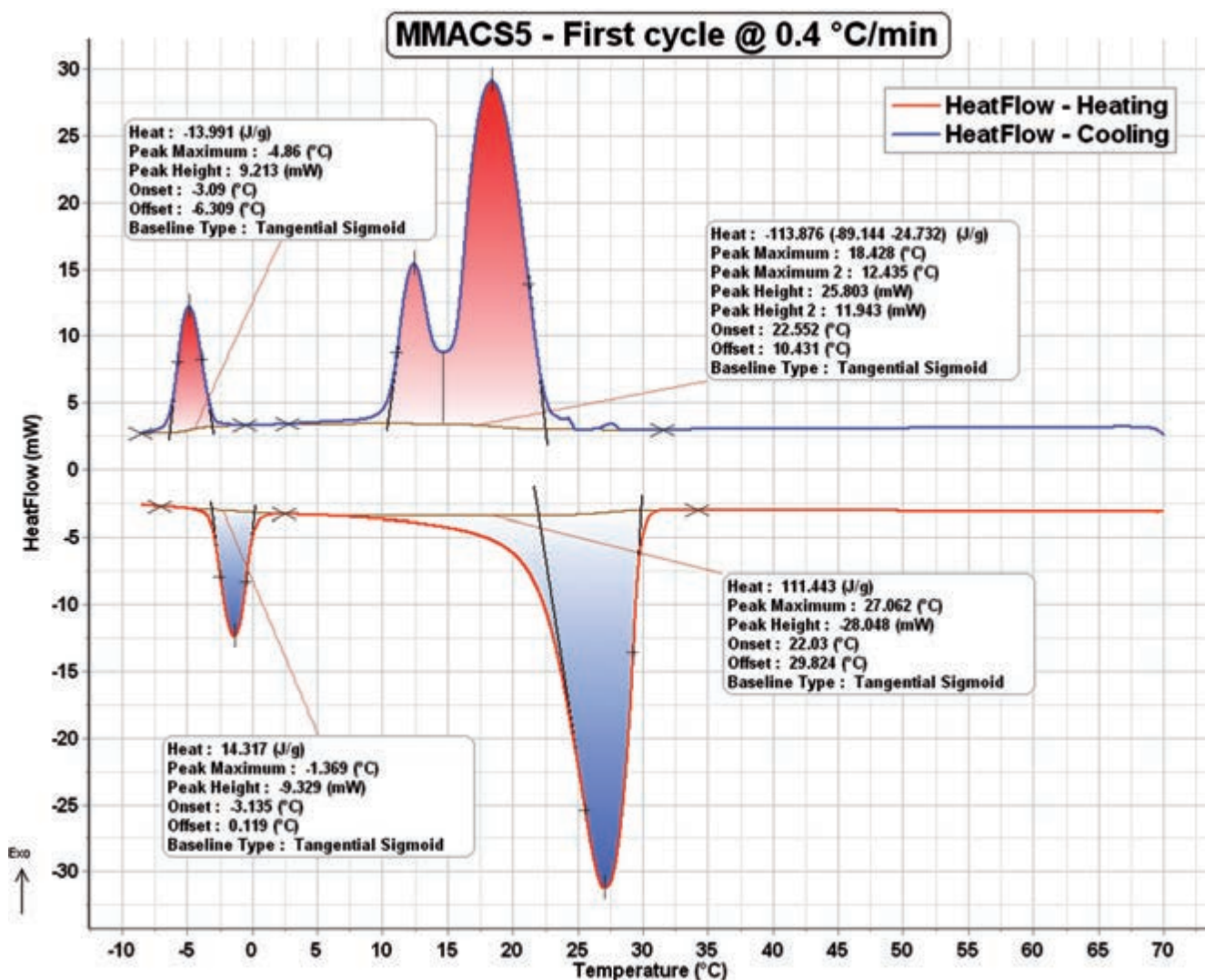
Látható, hogy az önmagában vizsgált RT-25HC mintában az alsó olvadási görbén a maximális hőáram ugyan a számunkra kívánatos hőmérsékleten, vagyis 25,5 °C-on jelentkezett, de visszahűtéskor számottevő túlhűlést, vagyis eltolódást mutatott az alacsonyabb hőmérsékletek irányába (felső, kék vonallal rajzolt görbe). Bár a maximális hőáram itt 22,3 °C-on volt mérhető, a közel teljes dermedéshez +5 °C közelébe kellett lehűteni a mintát (szemben az 90:10 arányú RT-25HC – RT-35HC keverékkel, ahol már 15 °C körül elértünk egy megfelelő mértékű megdermedést). A felső görbe alsó inflexiós pontjába húzott érintő is alacsonyabb hőmérsékletet jelölt ki (15,3 °C) alsó dermedéspontként az előzőleg bemutatott RT-25HC/RT-35HC keverékhez képest, ahol ez a hőmérséklet 18,6 °C volt.



Ez önmagában még elfogadható lett volna, de a tiszta RT-25HC paraffin mikrokapszulázása során lényegesen nagyobb túlhűlést mértünk, ezért a 90:10 arányú paraffin keverék mikrokapszulázása mellett döntöttünk.

### A mikrokapszulázott paraffin keverék termikus tulajdonságai

A továbbiakban tehát a 90 % RT-25HC és 10 % RT-35HC Rubitherm paraffinokból álló keveréket használtuk a pilot léptékű mikrokapszulázási kísérletekhez, és a hőtároló vakolatpanelek gyártásához is. A következő DSC felvétel ezt a paraffin keveréket tartalmazó mikrokapszulák termikus jellemzőit mutatja.



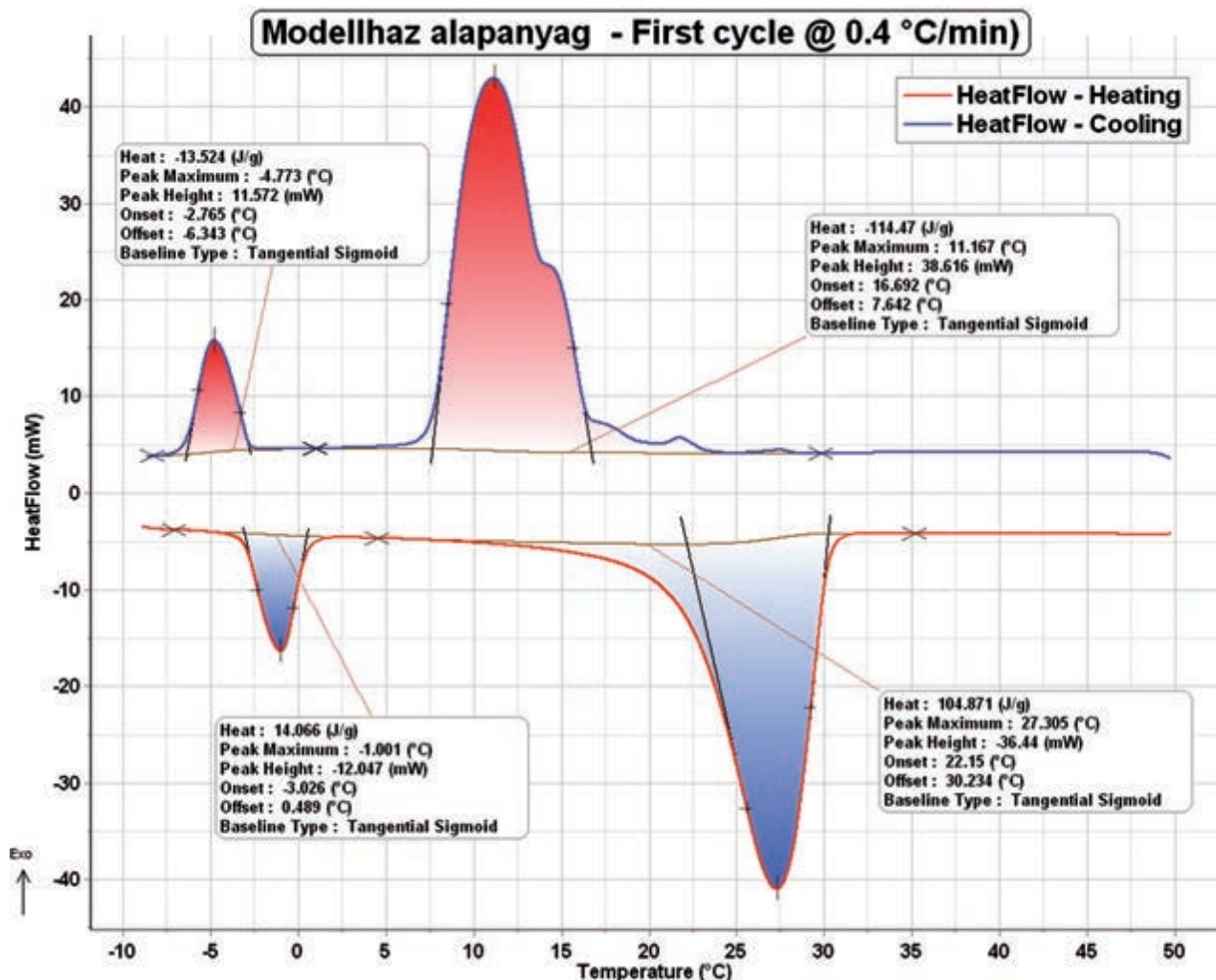
22. ábra: Mikrokapszulázott 90 % RT-25HC és 10 % RT-35HC paraffin keverék DSC felvétele

A diagramon látható hőáram görbék összehasonlítása ugyanazon paraffin keverék tömbfázisú mintáinak hőáram görbéivel azt mutatja, hogy a mikrokapszulázási folyamat is nem kívánt változást okoz a dermedési görbe kisebb hőmérsékletek felé történő eltolódása miatt. Ebben az esetben a dermedés során felszabaduló hőáram két maximummal rendelkezik (felső, kék vonallal rajzolt görbe), ami valószínűleg a keverék szételegyedésének a jele lehet dermedéskor. Az első maximum  $18,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten jelentkezik a dermedési görbén, szemben a nem mikrokapszulázott paraffin keverék  $23,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on jelentkező maximumával, ami így  $23,0 - 18,4 = 4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  dermedéspont eltolódást jelent. A második maximum  $12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on jelenik meg, ami már kívül esik a modellházban megvalósítható - például nyár éjszakai lehűlés révén történő - regenerálódás alsó hőmérsékletén. A teljes görbét tekintve az inflexiós pontok érintői által kijelölt dermedési határok szerint a megdermedés  $22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on kezdődik, és  $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on fejeződik be, vagyis a teljes dermedési hő várhatóan nem vonható el nyáron, az éjszakai lehűlés során. Kompromisszum lehet, hogy ha a visszahűtést kb.  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig meg lehet valósítani, akkor a teljes dermedéshő jelentős hányada (akár 70-80 %-a) várhatóan regenerálható.

Ezért úgy döntöttünk, hogy ezekkel a jellemzőkkel rendelkező mikrokapszulákat már felhasználhatjuk a vakolatpanelekbe, és utóbbiakat beépíthetjük az egyik kísérleti modellházba.

Ennek alapján vakolatba integrálás céljára a 200 literes pilot reaktorban az említett 90:10 tömegarányú paraffin keverékkel – a korábban leírt receptúrával és körülmények mellett – végeztük el a mikrokapszulák előállítását, két egymás után előállított gyártási adagban (MMACS6 és 7).

A két gyártás során előállított sűrű zagyok egyesítésével kapott keverékből vett mikrokapszulák termikus jellemzői láthatók a következő DSC felvételen.



23. ábra: A MMACS6 és MMACS7 gyártás során előállított mikrokapszulák termikus jellemzői

A vakolatpanelek gyártásához felhasznált mikrokapszulák 23. ábrán látható DSC görbéi azt mutatják, hogy a mikrokapszulázás önmagában is eltolódást okoz az alacsonyabb dermedési hőmérsékletek irányába. A mikrokapszulák termikus jellemzői adatok formájában is leolvashatók a diagram szövegtábláiról. A legfontosabbak: olvadáshő 104,9 kJ/kg, dermedéshő 114,5 kJ/kg. Mivel az olvadáshő és dermedéshő értékeinek nyilvánvalóan meg kell egyezniük, ezek átlaga fogadható el valószínű értéként, ami 109,2 kJ/kg. Eltekintve a kb. nulla és -5 °C körüli hőmérséklet tartományban jelentkező kisebb csúcsoktól, az ábráról a következő adatok olvashatók le:

A maximális hőáram megolvadáskor 27,3 °C hőmérsékleten jelentkezett, és az olvadási tartomány kb. 18 °C és 31 °C közé tehető. A görbe alatti terület, vagyis például nyáron nappal a modellházból a mikrokapszulák révén elvonható hőmennyiség döntő hányada a komfortos hőmérsékleti tartományba esik. Visszahűtéskor a megdermedés kezdete kb. 16,7 °C, vége pedig 7,6 °C. Ebből úgy látszott,

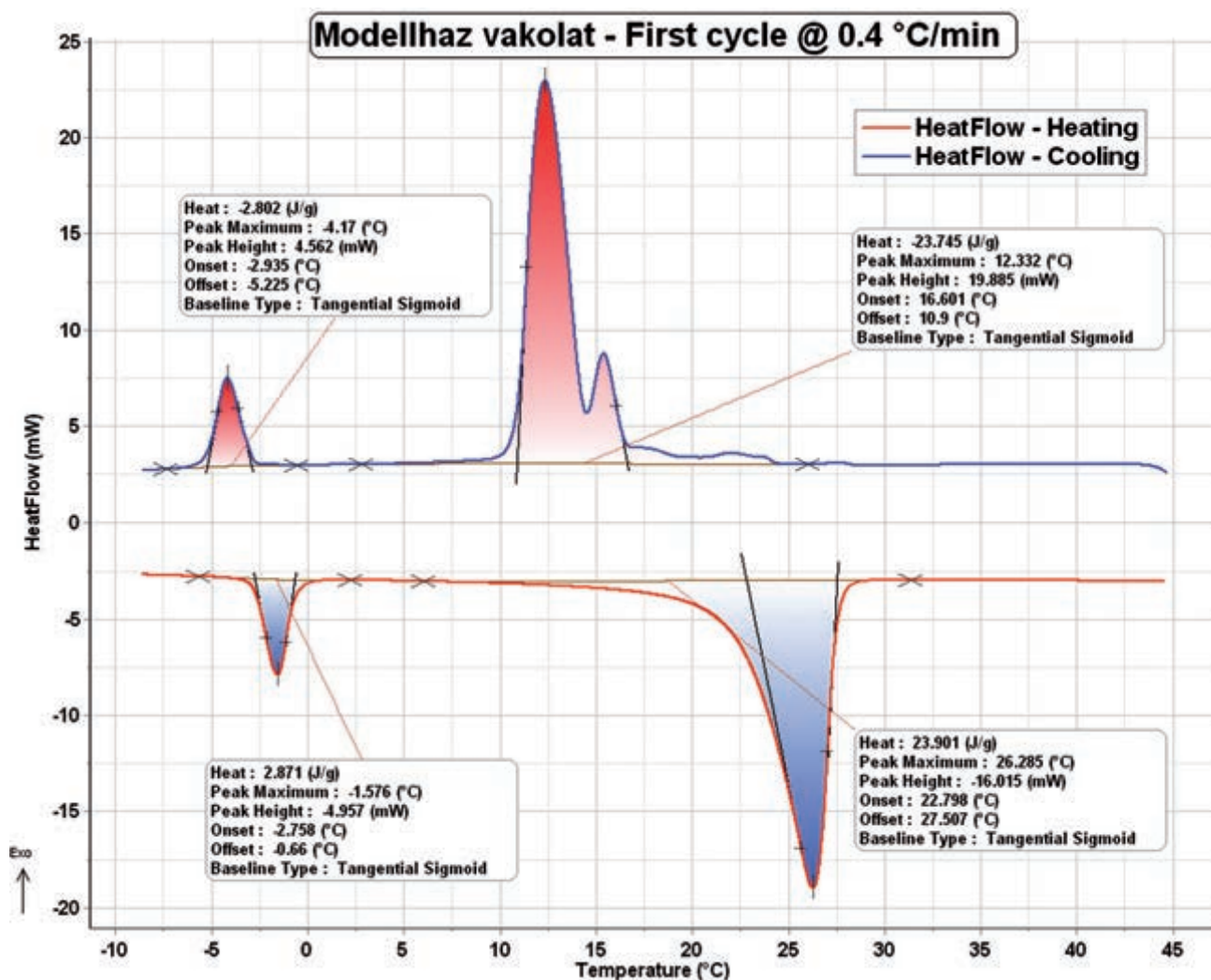
hogy papírforma szerint ez igen nagy problémát jelenthet a regenerálhatóságot illetően, mivel normál körülmények között a modellház belső terében nem lehet ilyen hőmérsékletet biztosítani a visszadermedéshez.

Elméleti meggondolásból azonban valószínűnek látszott, hogy a kristályosodáskor mért nagy túlhűlés összefügghet a paraffin molekulák rendeződésének sebességével. A DSC méréseket észszerűen rövid mérési időtartam kedvéért 0,4 °C/perc (vagy 0,2 °C/perc) felfűtési vagy lehűtési sebességgel végeztük. A modellházakban lejátszódó folyamatot tekintve azonban az a meghatározó, hogy a külső levegő meleg nyári időszakban pl. 34 °C maximális nappali hőmérsékletről általában 12 óra alatt hűl le pl. 18 °C-ra. Vagyis a lehűlés sebessége sokkal kisebb, akár egyhuszad része a DSC mérések során alkalmazott hőmérsékletváltozási sebességnek, és ez jóval hosszabb időt enged meg a paraffin kristályok kialakulásához. Ezért úgy döntöttünk, hogy ezzel a 90:10 tömegarányú RT-25HC - RT-35HC paraffinkeverék mikrokapszulázásával kapott PCM-III/C zagy felhasználásával kísérjük meg az egyik modellházba beépítendő kísérleti vakolatpanelek előállítását.



### A PCM tartalmú vakolat termikus jellemzői

A mikrokapszulák gipszes vakolatba történt beágyazása után vizsgáltuk a kapott vakolat termikus viselkedését is. A következő DSC felvétel erre ad tájékoztatást.



24. ábra: A modellházba beépített vakolatpanelek termikus jellemzői

A rendelkezésünkre álló korszerű pásztázó mikrokaloriméter alkalmazásával ebben az esetben is több egymást követő lehűtési és felmelegítési ciklusban vizsgáltuk az olvadás és visszadermedés során jelentkező hőáramokat a hőmérséklet függvényében. Eltekintve a kb. nulla és -5 °C közötti kis csúcsoktól, ami feltehetően a vakolat nedvességtartalmának lehetett a következménye, a következő megállapításokat tettük:

Első és legfontosabb tulajdonság a vakolat látens hő kapacitása, ami meghatározza annak potenciális temperáló hatását. A görbék alatti területekből meghatározott látens hő kapacitás felfűtéskor (olvadáskor) 23,9 kJ/kg, lehűléskor (a PCM megdermedésekor) pedig 23,7 kJ/kg volt. Ebből kiszámítható, hogy a vakolat paraffin tartalma 15,1 m/m %, mikrokapszula tartalma pedig 21,9 m/m %, ami megfelelőnek látszó érték. Ebből előzetes becslésünk szerint az következett, hogy nyári meleg időszakban a modellházba bejutó hőmennyiség elvonása regenerálás nélkül is több mint egy napon keresztül garantált.

A görbe adatai alapján a hőáram maximuma felmelegítéskor 26,3 °C, lehűtéskor 12,3 °C. Ezek közel esnek a felhasznált mikrokapszula alapanyagának a vakolatba történő bekeverés előtti maximum értékeivel (27,3 °C, illetve 11,2 °C), vagyis a túlhűlési hajlam nem fokozódott, hanem kb. 1 °C-kal javult is.

Felmelegítéskor az olvadás lényegében 18 °C közelében kezdődik és a teljes megolvadás kb. 28 °C-on következik be, tehát a temperáló hatás megfelelő hőmérsékleti tartományba esik. Ez a tartomány nagyjából megegyezik a mikrokapszulák vakolatba ágyazása előtti olvadási tartományával, amire 18 °C és 31 °C alsó és felső határokat mértünk.

Lehűtéskor a vakolatba ágyazott látens hőtároló anyag dermedése 16,6 °C-on kezdődött és kb. 10 °C-on fejeződött be, vagyis jelentős túlhűlést mutatott. Korábban láttuk, hogy a beágyazás előtti mikrokapszulákban lévő paraffin keverék dermedése 16,7 °C-on indult és 10 °C körül ért véget, vagyis eszerint a vakolatba történő integrálás nem rontott, sőt valamit javított a mikrokapszulák regenerálási hőmérséklettartományán, bár nem jelentősen. A nem ideális dermedési tulajdonságok ellenére úgy döntöttünk, hogy az ezzel a paraffinkeveréssel készült mikrokapszulákat használjuk fel az egyik kísérleti modellház vakolatpaneljeinek gyártására, és a modellház termikus jellemzői alapján határozzuk a mikrokapszulák előállításának végleges receptúrájáról.

## A vakolatpanelek beépítése a modellházba

A paraffinkeveréket tartalmazó mikrokapszulákat tartalmazó vakolatpaneleket építettük be a bácsalmási kísérleti terepen elhelyezett egyik modellházba belső burkolatként, a padlózat, mennyezet, ajtó, ablak, és a klímaberendezés és fűtőtest elhelyezésre szolgáló felületek kihagyásával. Az előállítás és beépítés néhány lépését illusztrálják a következő ábrán látható fényképek.

Az előállítás a porformátumú alapanyagok és a sűrű zagy formátumú mikrokapszulák összekeverésével történt, kézi csigás keverő alkalmazásával. Így víz külön hozzáadása nélkül is jól önthető vakolat pépet kaptunk, amit előre elkészített sablonokba öntöttünk. A többféle receptúra kipróbálása után bevált végleges vakolatkeverék összetételét a kísérleti jegyzőkönyvek tartalmazzák. A sablonokat méretre vágott szabványos gipszkarton alapra erősített fa léckerettel készítettük el. A vakolat pép ráöntése után simítás következett, majd megfelelő kötési idő biztosítása után szereltük fel azokat a modellház oldalfalainak belső felületére. Ahogy a képeken látható, a panelek nem borították be teljesen a modellház belső felületét, ami nem is volt követelmény, mivel azok nem hőszigetelésként szolgáltak, hanem temperáló

hatást kellett kifejteniük a belső légtér hőmérsékletére. Ehhez megfelelő hőkapacitású látens hőtároló vakolat bélést kellett érintkezésben tartanunk a belső légtérrel. A vakolatpanelek összesen 51,2 kg paraffint tartalmaztak, aminek látens hőkapacitása 8 120 kJ. Ahogy említettük, ez a hőkapacitás meleg nyári időszakban a modellházba bejutó hő több mint egy napi mennyiségét képes tárolni. Amennyiben a PCM tartalom éjszakai regenerálódása (visszadermedése) megtörténik, a bélésben lévő PCM tartalom biztosíthatja a temperáló funkció folyamatos fenntartását.



25. ábra: A hőtároló vakolatpanelek előállítás és beépítése a modellházba



Követelmény volt, hogy a vakolatpanelek és a belső levegő között megfelelő hőátadó felület álljon rendelkezésre. A keretekkel együtt összesen mintegy 15 m<sup>2</sup> felületű panelek vakolattal kitöltött aktív felülete 11 m<sup>2</sup>, ami a méréseink szerint elegendőnek látszott a szükséges hőmennyiség elvonására. Ennek bizonyítására a Thermofoam Kft. bácsalmási telepén kialakított kísérleti terepen évszakokon átívelő méréseket végeztünk, melyek fontosabb tapasztalatairól a későbbiekben számolunk be.

A méréseket a szakirodalom szerint alapvetően kétféle üzemmódban szokták elvégezni: szabályozott vagy szabadon változó belső hőmérséklet mellett. A kialakított műszerezés és mérésadatgyűjtő rendszer lehetőséget ad arra, hogy a méréseket mind a kétféle üzemmódban elvégezzük. A mérési eredményeket havi rendszerességgel áttekintjük, elemezzük és kiértékeljük. Az eddig elvégzett méréseket az átmeneti évszakokban (tavasz és ősz) szabadon változó belső hőmérséklet megengedésével folytattuk le, télen és nyáron viszont eltértünk a szakirodalomban olvasható, szokásos szabályozott üzemmódtól, és helyette olyan vegyes üzemmódot alkalmaztunk, ami a nappali órákban szabályozott üzemmódnak, az éjszakai órákban pedig szabadon változó üzemmódnak felel meg. Ez utóbbi megvalósítás lényegesen több információt adott a hőtároló mikrokapszuláknak a modellházak termikus viselkedését javító hatására. A méréseket az elmúlt időszakban a hőtároló bélés nélküli referencia modellházban, és a PCM tartalmú vakolatbéléssel felszerelt modellházban végeztük, azok termikus viselkedésének összehasonlítása érdekében. A harmadik és negyedik modellház felszerelése hőszigetelő habba integrált PCM kapszulákkal, illetve továbbfejlesztett olvadási és dermedési tulajdonságokkal rendelkező mikrokapszulákkal a már megépített és beüzemelt kísérleti üzem végleges termelésbe állítása után valósítható meg, a mikrokapszulák nagyobb mennyiségben történő előállítását kihasználva.

A mérések végső célja olyan fázisváltó hőtároló anyagokat tartalmazó épületszerkezeti elemek és hőszigetelő rendszerek kifejlesztése, és előnyös hatásuk kvantitatív bizonyítása, melyek belföldön és nemzetközileg is versenyképesek, piacra vihetők.

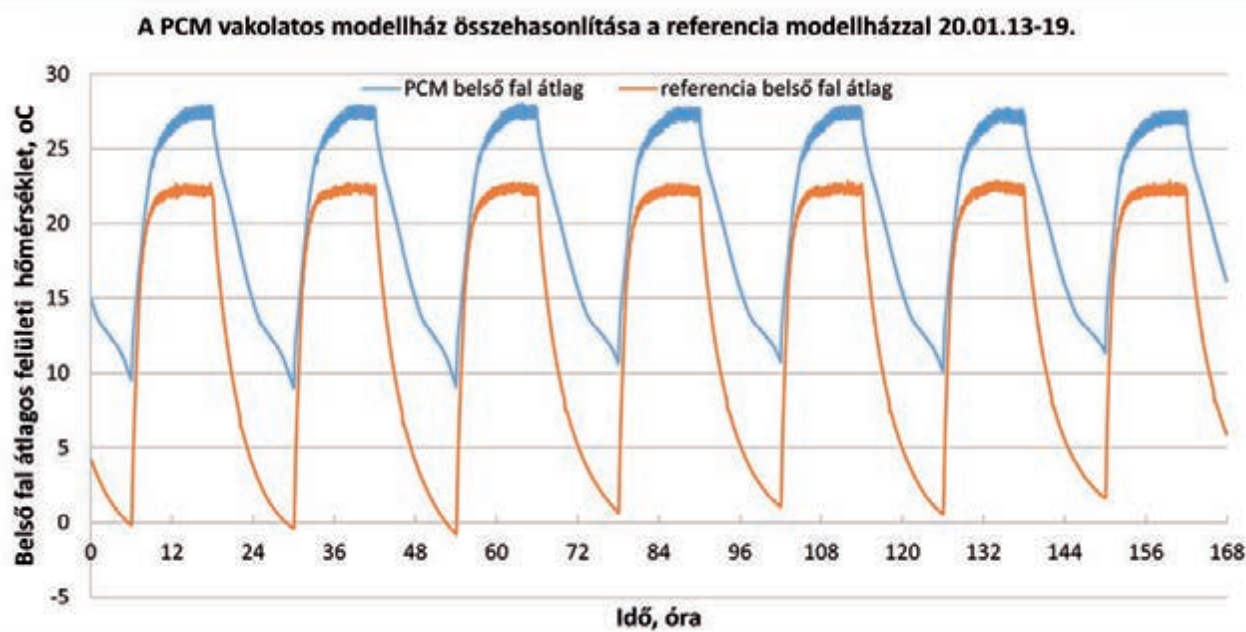
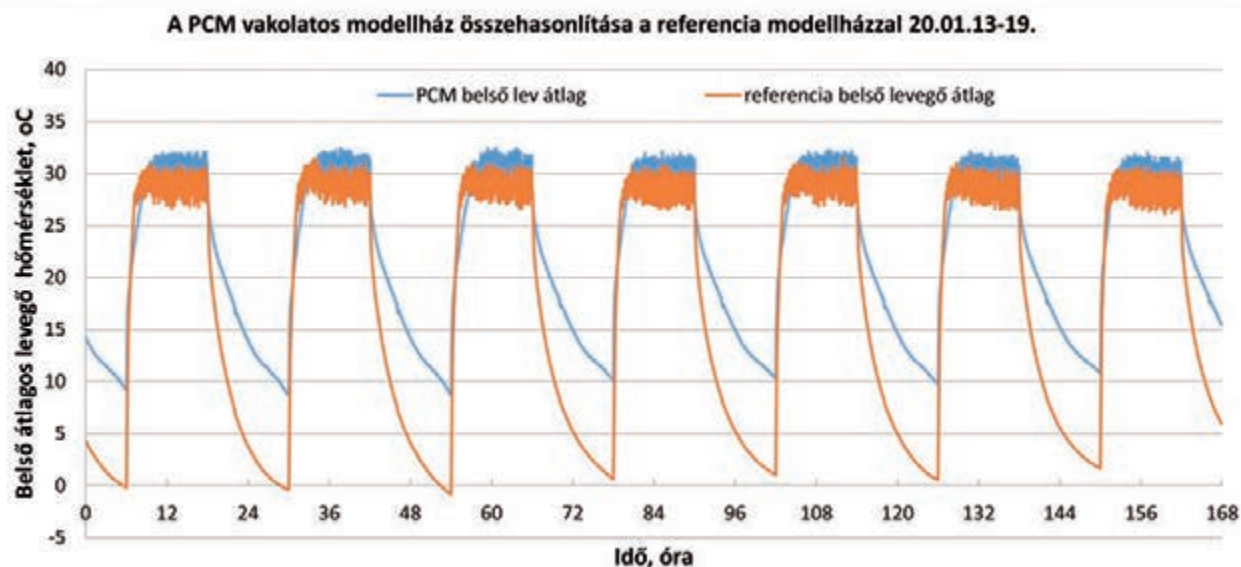
### A PCM vakolatpanellel felszerelt modellház termikus viselkedése

A modellházakban végzett mérések több százezer adatából itt csak néhány diagramot kívánunk bemutatni, melyek jól mutatják a projekt révén kifejlesztett hőtároló mikrokapszulák alkalmazásának előnyeit épületszerkezeti elemekben, nevezetesen PCM tartalmú hőtároló vakolatpanelekben.

A következőkben bemutatott diagramok jellemző időjárési körülmények mellett – téli, nyári, és átmeneti időszakban – hasonlítják össze a hőtároló vakolatbéléssel ellátott és anélküli referencia modellház belső légterének, illetve belső falfelületének (falfelületi átlag) hőmérsékletváltozásait az idő függvényében.



## Téli üzemmenet

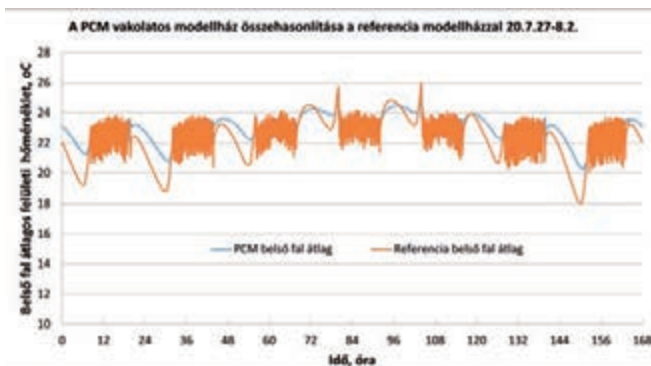
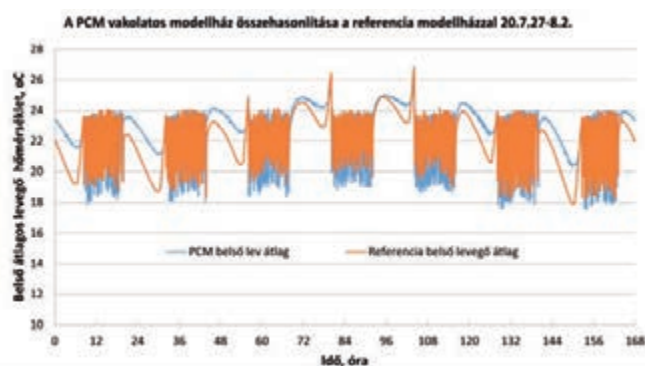


26. ábra: A belső légtér (felső ábra) és belső falfelületek (alsó ábra) hőmérsékleteinek összehasonlítása hőtároló vakolattal bélelt és referencia modellházakban téli üzem mód esetén

Téli üzemmenetben a nappali órák alatt a modellházak belső légtérét szabályozott elektromos fűtéssel 28 °C középhőmérsékleten tartottuk (a diagramokon látható fluktuáció a kétállású szabályzás következménye). Az éjszakai órákban mindkét modellházban kikapcsolt fűtés mellett hagytuk a házakat szabadon lehűlni.

A legjellemzőbb különbség a modellházakban a lehűlés dinamikájában látható: a hőtároló vakolattal ellátott modellház légtére sokkal lassabban hűlt le (kék görbe), és lényegesen magasabb éjszakai minimum hőmérsékleteket mutatott a referenciaházhoz képest. Ugyanez megmutatkozott a belső falfelületi hőmérsékletekben is, azzal a különbséggel, hogy a PCM vakolat bélésű ház belső falfelülete a nappali fűtött órákban is jóval melegebb volt, mint a referenciaház esetében, ami kellemesebb hőérzetet biztosíthat a benntartózkodóknak.

A felsorolt előnyök mellett a hőtároló vakolattal bélelt modellház globális hőveszteségi tényezője mintegy 8 százalékkal kisebb volt a referenciához képest, ezért azonos belső hőmérséklet esetén ennek alkalmazása energiamegtakarításhoz is vezet. További megtakarítást eredményezhet a ház hőtároló szerkezeti elemeinek és külső megújuló energiaforrások termikus csatolása, ami további projekt tárgya lehet.



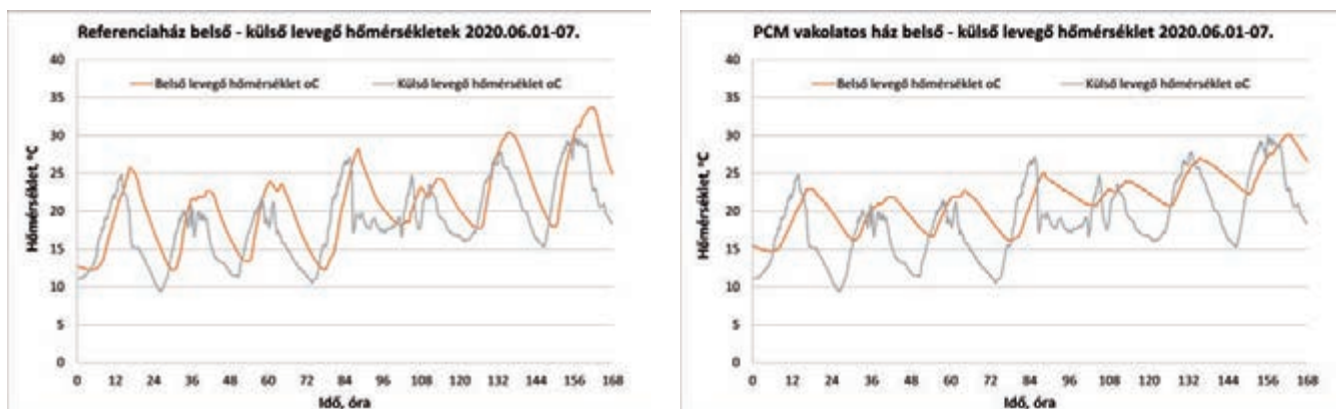
27. ábra: A belső légtér (baloldalt) és belső falfelületek (jobboldalt) hőmérsékleteinek összehasonlítása nyári üzem mód esetén a hőtároló vakolattal bélelt és referencia modellházakban

Nyári időszakban napközben (reggel 6 és este 6 óra között) mindkét modellházat bekapcsolt klímaberendezéssel szabályozott belső légtér hőmérséklet fenntartása mellett működtettük (22 °C névleges hőmérsékletre beállítva), az éjszakai órákban pedig hagytuk szabadon változni. A szabályozás a klíma berendezés hőmérsékletérzékelőjén mért jel alapján, bizonyos fluktuációt megengedve történt, emiatt a belső légtér átlagos hőmérséklete kis mértékben eltért a beállított hőmérséklettől, de ebben az időben a két modellház közel megegyező átlagos belső hőmérsékletet mutatott.

Észrevehető eltérés volt a belső tér hőmérséklete és a falfelületi hőmérsékletek ingadozásának mértékében: ez utóbbi mintegy fele volt a belső levegőhőmérséklet ingadozásának. A PCM vakolatos ház és a referenciaház viselkedése közötti különbség a klímaberendezés kikapcsolása után jelentkezett:

a példaként bemutatott héten a harmadik és negyedik nap kivételével az éjszakai külső hűvös levegő hatására – rövid emelkedés után – a belső hőmérséklet is csökkenni kezdett, aminek mértéke sokkal kisebb volt a PCM vakolatos házban a hőtároló mikrokapszulák csillapító hatása miatt. Ez utóbbi hatása leginkább a harmadik és negyedik nap éjszakáján mutatkozott meg, mivel a külső melegebb éjszakai hőmérséklet hatására a referenciaház belső tere jóval nagyobb felmelegedést mutatott a PCM vakolatos házhoz képest. Meleg nyári napokban ez előnyös lehet energiafelhasználás szempontjából is, mivel a hűtést este hamarabb lehet kikapcsolni a komfortos hőmérséklet megtartása mellett.

### Átmeneti időjárás: tavaszi, kora nyári és őszi üzemmenet

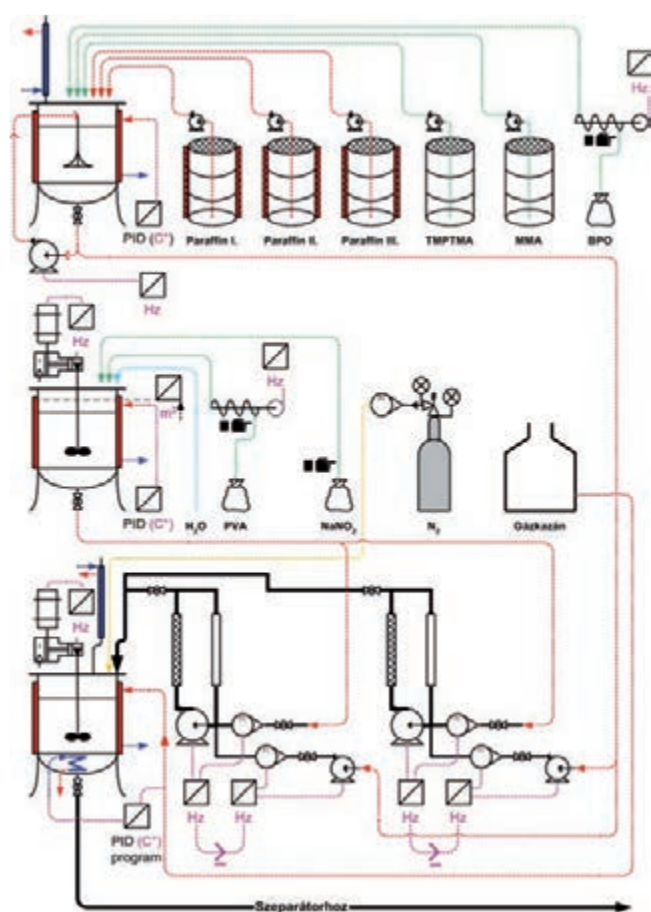


28. ábra: A belső légtér és külső környezeti levegő hőmérsékletváltozásai a referencia házban (baloldali diagram) és PCM vakolatbéléssel ellátott házban (jobboldali diagram)

Egy példaként kiválasztott átmeneti időszakban (2020. június első hete) a szabadon változó belső körülmények között végzett mérések jelentős különbséget mutattak a kétféle modellház között. Ebben az időszakban például a referenciaházban a belső hőmérsékleti maximumok meghaladták a külső levegőhőmérséklet maximum értékeit, ami azzal magyarázható, hogy a bejutó hőáramot a ház külső falfelületi hőmérséklete határozta meg, és ez utóbbi a napsugárzás következtében meghaladta a környezeti levegő hőmérsékletét.

A PCM vakolatos ház belső hőmérsékleti maximumai azonban jóval kisebbek voltak a referenciaházban mért értékeknél, és az is megfigyelhető, hogy az éjszakai minimum hőmérsékletek a PCM vakolatos házban sokkal nagyobbak voltak a referenciaházhoz képest, vagyis a hőtároló mikrokapszulák alkalmazása megnövelte a modellház falazatának csillapító hatását. Mindkét házban megfigyelhető a belső levegő hőmérsékletváltozások időbeli eltolódása a külső környezeti levegőhöz képest, és ez a fáziseltolódás a hőtároló vakolattal ellátott házban jóval nagyobb volt.

A teljes tavaszi mérési időszakban kiszámítottuk ezeknek a jellemzőknek az átlagos értékeit, ami azt mutatta, hogy a PCM vakolatos ház a külső hőmérséklet ingadozását átlagosan annak 43 %-ára (57 %-os csökkenés), míg a referenciaház csak 63 %-ára mérsékelte (csupán 37 %-os csökkenés). A hőmérsékletingadozás időbeli eltolódása a PCM vakolatos házban átlagosan 3,4 óra volt, ami nagy előny a referenciaházban mért 2,2 óra átlagos időeltolódáshoz képest. Mindezek aláhúzzák a projektben kifejlesztett mikrokapszulák alkalmazásának hasznosságát és a közel öt éves munka pozitív eredményeit.

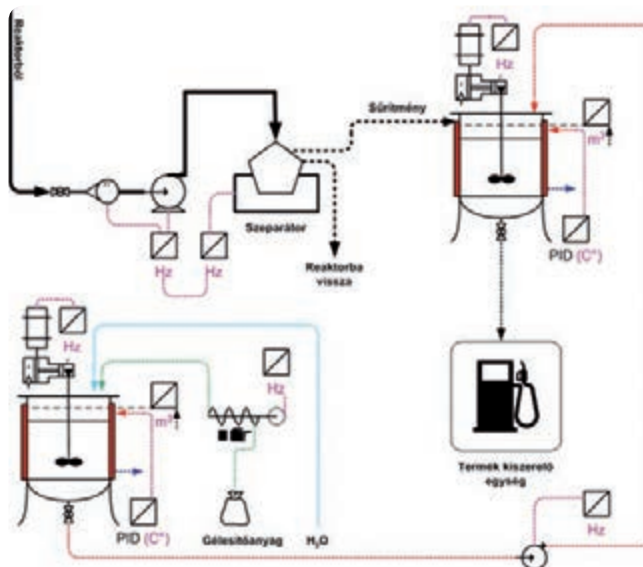


29. ábra: A bácsalmási kísérleti üzem elvi folyamatábrája

### A kísérleti üzem megvalósítása Bácsalmáson

A pilot léptékű kísérletek adatai és tapasztalatai alapján a PE és TTK kutatói készítették el a kiviteli tervezéshez szükséges technológiai terveket és a tervező részére szükséges adatszolgáltatást. A megvalósításhoz szükséges kivitelezési terveket közbeszerzési eljárás keretében a Pannon Egyetem rendelte meg az Offisys Kft.-től (beszerzési ár: nettó 14 200 000 Ft). A jól kidolgozott színvonalú kísérleti üzem elvi technológiai folyamatábrája látható a 29. ábrán.

Az elkészült gépészeti kiviteli tervek felülvizsgálata után azokat a megrendelő PE elfogadta, majd a konzorciumvezető Thermofoam Kft. részéről megkezdődött a szükséges technológiai berendezések megrendelése (Technológiai gyártósor Mipack Kft,





beszerzési ár nettó 143 900 000 Ft, ebből támogatás 86 340 000 Ft, saját forrás 57 560 000 Ft). A szükséges gépek, tartályok, technológiai berendezések beérkezése után megkezdődött a helyszíni kivitelezés, ami 2021. februárjában befejeződött.

Az elkészült kísérleti üzem egyes részegységei a pilot méretben megvalósított kisüzem sikeresen léptéknövelt formája. A pilot léptékben kidolgozott receptúra egyes lépéseit a kívánt méretben és minőségben képes legyártani. Az így előállított termék minden jellemzőjében hasonló a pilot méretű üzem termékéhez. A megvalósult kísérleti üzemi gyártósor energiafelhasználása a kifejlesztett termék előállításához a várakozásoknak megfelelő, de egységnyi tömegre vonatkoztatva jóval kedvezőbb, mint a pilot méret esetében. A bácsalmási gyártósor fejlett műszaki és rugalmas tervezési megoldásainak köszönhetően világszínvonalon képes kiemelkedően magas minőségű termék gyártására, hosszútávon az ott dolgozó embereknek modern, biztonságos környezetben munkalehetőséget biztosítani.

#### A kísérleti üzemi technológia felépítése és főbb adatai:

A technológiai berendezések 30 kg/óra száraz terméknek megfelelő mennyiségű PCM kapszula III/A és III/C formátumú hőtároló mikrokapszula előállítására képesek, ami 300 napos folyamatos üzem esetén (7200 óra) évi 216 tonna szárazanyag tartalmú termék gyártását teszi lehetővé. A por formátumú PCM kapszula III/B termék előállításához szükséges porlasztva szárító berendezés beépítése forrás hiány miatt egyelőre nem történt meg, mivel a piacot elsősorban a zagy formátumú termékkel látszik észszerűnek megcélozni. Amennyiben ilyen formátumú termékre is megnyílik a kereslet, a porlasztva szárító berendezés beszerzése saját forrásból megoldható.

#### A kísérleti üzem főbb részei:

Alapanyagokat fogadó állomás a szükséges hordótárolóval, hordómelegítő állásokkal, szivattyúkkal.



30. ábra: Paraffin tároló, keverő és betápláló tartályok (felső kép), monomer tároló, keverő és betápláló tartályok (alsó kép)

Szerves fázis és vizes fázis előkészítő tartályok a szükséges kiegészítő felszerelésekkel és szivattyúval.



31. ábra: Szerves fázis előkészítő tartály (baloldalon), vizes fázis előkészítő tartály (jobboldalon)

Emulziós polimerizációs reaktor a mikrokapszulák bevonatának kialakítására, a hozzátartozó kiegészítő berendezésekkel, gépekkel, szivattyúkkal és felszerelésekkel, valamint a reaktor cirkulációs hőközlő folyadék fűtését biztosító gázkazán.



32. ábra: Polimerizációs reaktor a kiegészítő berendezéseivel



Szeperator centrifuga a nyers mikrokapszula szuszpenzió szétválasztására sűrű és híg fázisokra.



33. ábra: Sűrű mikrokapszula szuszpenzió előállítására szolgáló szeperator centrifuga

Sűrű szuszpenzió fogadó és kiserelő tartály, a szükséges felszerelésekkel és szivattyúval (alginát mikrokapszulákba történő beágyazás esetén a folyadékfázisú agglomeráció is ebben a tartályban történik a gélesítő oldat hozzákeverésével).

Gélesítő oldat előkészítő tartály a szükséges kiegészítő felszerelésekkel és szivattyúval, valamint a kiserelő berendezések.



34. ábra: Sűrű szuszpenzió fogadó és kiserelő tartály (felső kép) és a gélesítő oldat előkészítő rendszer (alsó kép)

35. ábra: Gélesítő reaktor a csepegtetővel





## Eredménytermékek és azok hasznosítása

A pilot léptékben kidolgozott folyamat olyan többtermékes technológiára vezetett, melynek különböző fokozatai, illetve elágazásai háromféle termék (PCM-kapszula III/A, III/B, III/C) előállítására adnak lehetőséget, a felhasználási igényekhez rugalmasan alkalmazkodva. Az egyes mikrokapszulázott PCM termékek jellemző tulajdonságait és alkalmazási területeit a táblázatban soroltuk fel.

| Kapszula típusa    | Kapszula jellemző tulajdonságok                                                                                                | Alkalmazási területek                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PCM-kapszula III/A | szárított agglomerátum alginát kötőanyaggal, 0,5-3 mm közötti szemcsék, 120-130 kJ/kg látens hőkapacitás                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- vakolat és beton szárazkeverékek előállítására,</li> <li>- épületszerkezeti anyagok, csomagoló kartonok üregeibe töltve</li> </ul>                                                                           |
| PCM-kapszula III/B | porlasztva szárított por, mikrokapszulák 50-150 mikron méretű aggregátuma, 155-158 kJ/kg látens hőkapacitás                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- vakolat és beton szárazkeverékek előállítására,</li> <li>- épületszerkezeti anyagok üregeibe töltve</li> </ul>                                                                                               |
| PCM-kapszula III/c | mikrokapszulák vízben szuszpendált sűrű zagyá, 30-35 % szárazanyagtartalom, vizes állapotban is 48-52 kJ/kg látens hőkapacitás | <ul style="list-style-type: none"> <li>- vakolatba, betonba, gipszkarton alapanyagba keverve és megszilárdítva,</li> <li>- hőszigetelő habok hornyaiba töltve és szárítva,</li> <li>- nanofluid típusú hőközlő folyadékokban szuszpendálva</li> </ul> |

A kapszulák előállítása a projektben létrehozott kísérleti üzemben valósul meg a Thermofoam Kft. bácsalmási telephelyén. Az ipari léptékű előállítás további K+F fejlesztési munkákat igényel, ezért ezen feladatok megvalósítására a 2020-1.1.2-PIACI KFI kódszámú pályázati felhívás őszi fordulójára 2020. szeptemberében megalakult egy újabb konzorcium, melynek tagjai a Berger Házak Zrt., Nebraska Ház Kft., Thermofoam Kft. és a Természettudományi Kutatóközpont. A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal előminősítését követően a bírálatra benyújtott **„Komplex műszaki rendszer kifejlesztése könnyűszerkezetes házak hőgazdálkodására (THERMOKOMP)”** című, C1142186 azonosító számú kérelem 2021. április 21-én támogató szakvéleményt kapott. A tervezett projekt révén olyan, a könnyűszerkezetes épületek piacra vitelét elősegítő komplex műszaki rendszer kifejlesztését céloztuk meg, amely gyakorlatilag elhanyagolható mértékű fosszilis vagy elektromos energiafelhasználás mellett alkalmas ezen építmények belső terének temperálására (hűtésére vagy fűtésére), a naptári év teljes tartama alatt, csupán a napenergia, mint megújuló energiaforrás felhasználásával és a külső környezet éjszakai természetes lehűlése révén.

A rendszer háromféle „okos” épületpanelből épül fel: az épület belső terében elhelyezett látens hőtároló panelből vagy panelekből, az épület hőszigetelő burkolatán kívül elhelyezett hűtőpanelből, és a napsugárzás hőjét begyűjtő napkollektor panelből, valamint ezek közötti, intelligens módon vezérelt termikus csatolást biztosító, egyszerű gépészeti rendszerből. A látens hőtároló panelek fogják tartalmazni az ebben a projektben kifejlesztett mikrokapszulázott PCM terméket. A fejlesztés révén létrejövő hozzáadott értékű termék, intelligens komplex műszaki rendszer megteremti a PCM mikrokapszulák gazdaságos és energiahatékony felhasználását.

A piacra vitelhez szükséges gazdasági adatok gyűjtése folyamatban van. Ennek keretében beszereztük a DataM Intelligence multinacionális piackutató cég „EUROPE PHASE CHANGE MATERIALS MARKET 2018-2025” c. jelentését, ami tartalmazza a szükséges piaci információkat a jelenlegi és várható trendekkel. A kapott adatok szerint különösen a biológiai eredetű bioparaffin fázisváltó anyag alkalmazásával előre vetíthető a technológia gazdaságossága, és a termék piacra vitele.

## A projekt megvalósításának tapasztalatai

A pályázatban vázolt kutatási feladat kivitelezése során különböző nehézségek adódtak, melyek alapvetően 3 csoportba oszthatók:

1. műszaki nehézségek,
2. globális pandémia miatti begyűrűző gazdasági nehézségek,
3. adminisztrációs hátráltató tényezők.

A műszaki akadályokról már az előző részekben beszámoltunk: az eredtileg tervezett alginát héjba zárt PCM mikrokapszulák nagylabor méretű előállításánál felmerült tömbfázisú alginát gélesedés környezetszennyezés és gazdaságosság szempontjából nem tette lehetővé a technológia tervezett módon történő megvalósítását. Szükséges volt alternatív eljárás kidolgozására, melyet sikerrel megvalósítottunk.

A gazdasági nehézséget a globális pandémiás helyzet miatt begyűrűző beszerzési és személyzeti nehézségek jelentették. Mindezek a hátráltató tényezők szükségessé tették a projekt eredetileg tervezett 3 éves futam idejének meghosszabbítását.

Az adminisztrációs hátráltató tényezők között kell említenünk a K+F tevékenységben résztvevő költségvetési intézetekre (PE és TTK) vonatkozó beszerzési előírásokat (közbeszerzési kötelezettségek széles körben, 50 eFt alatti anyagköltség elszámolhatósági korlátja, közsférában alkalmazható nyugdíjas kollégákkal kapcsolatos szabályok) és az aprólékos dokumentálási kötelezettségeket. A K+F tevékenység feltételezi a körülményekhez való gyors alkalmazkodási készséget, melyet ezek a szigorú előírások nem tesznek lehetővé.

## A projekt megvalósításában résztvevő munkatársak

### Thermofoam Kft.

Perdy Zsuzsanna okleveles vegyészmérnök; Pirityi László János okleveles gépészmérnök; Czirják Ferenc vegyész üzem mérnök; Komlós Béla okleveles üzem mérnök; Nagy Szimonetta okleveles ipari terméktervező mérnök; Szabó Viktor könnyűipari mérnök; Szebedy Odett könnyűipari mérnök; Bartha Tamás környezetvédelmi mérnök; Fazakas Gábor okleveles építészmérnök; dr. Kmetty Ákos PhD, okleveles gépészmérnök; Homoki Attila papíripari mérnök; Nagy Ildikó, Hrivnák László, Pankovits Ferenc, Scheibelhoffer Miklós, Zsitva László, Sárközi István, Zubor Antal, Farkas Attila és Tóth Lajos technikusok.

### Pannon Egyetem

Dr. Gyenis János kutató, vegyészmérnök, professor emeritus, szakmai vezető; Szemesné dr. Németh Ágnes kutató, biológus; dr. Ujhidy Aurél kutató, vegyészmérnök; dr. Korim Tamás kutató, vegyészmérnök; dr. Kovács Kristóf kutató, vegyészmérnök; dr. Kristófné dr. Makó Éva kutató, vegyészmérnök; dr. Göllei Attila kutató, villamosmérnök; dr. Magyar Attila kutató, mérnök informatikus; dr. Gerzson Miklós kutató, vegyészmérnök; dr. Szakácsné dr. Földényi Rita kutató, vegyészmérnök; Sárainé Rauch Renáta kutató, vegyészmérnök; Németh Bence László kutató, vegyészmérnök; Páhi László, technikus; Mikóczy Géza technikus; Bakos Ferencné technikus; Bokrossy Csiba Mária műszaki-gazdasági ügyintéző; Schmidtné Lényi Szilvia kutató, villamosmérnök; Csatári Gábor technikus; Görögné Kővári Krisztina, kutatási asszisztens; Horváth Róbert projektmenedzser, kutatási asszisztens; Morvai Bálint kutatási asszisztens; Rácz Géza kutatási asszisztens.

### Természettudományi Kutatóközpont

Dr. Feczkó Tivadar tudományos csoportvezető, vegyészmérnök, a projekt szakmai vezetője; dr. Tóth Judit kutató, vegyész; Fodorné Kardos Andrea kutató, vegyész; Kántor Izolda, PhD hallgató; Trif László kutató, vegyész; Molnár Vörös Nikolett kutató, vegyész; Berényi Bernadett kutató, vegyész; Lukács Éva kutatási asszisztens; Székács Pál kutatási asszisztens.

## Összefoglalás

A Thermofoam Kft., a Pannon Egyetem és a Természettudományi Kutatóközpont közösen kidolgozták a fázisváltó hőtároló anyagok mikrokapszulázásának technológiai eljárásait, majd a laboratóriumi léptéktől kiindulva a kísérleti üzemi léptékig sikeresen továbbfejlesztették a kidolgozott műszaki módszereket. A mikrokapszula gyártó kísérleti üzemet a Thermofoam Kft. bácsalmási telephelyén építették fel. A mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagokat építő- és szigetelőanyagokba foglalták be, és az így kifejlesztett új termékek termikus tulajdonságainak évszakokon átívelő tesztelését a Pannon Egyetem erre a célra felszerelt kísérleti modellházaiban elvégezték. A projekt eredményes megvalósítására alapozva a konzorciumi partnerek építészeti partnercégeikkel (Berger Házak Zrt., Nebraska-Ház Kft.) a tesztüzem tapasztalatainak birtokában a mikrokapszulák komplex épületenergetikai hasznosítását és ezáltal a piacra jutást tűzték ki célul.

## A projektet megvalósító konzorcium



**Thermofoam Kft.** (konzorciumvezető)

2363 Felsőpakony, Csarnok út 1.

E-mail: [info@thermofoam.hu](mailto:info@thermofoam.hu)

Honlap: [www.thermofoam.hu](http://www.thermofoam.hu)



**Pannon Egyetem** (konzorciumi partner)

8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

E-mail: [palyazatfpi@uni-pannon.hu](mailto:palyazatfpi@uni-pannon.hu)

Honlap: [www.uni-pannon.hu](http://www.uni-pannon.hu)



**Természettudományi Kutatóközpont** (konzorciumi partner)

1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

E-mail: [ttk@ttk.hu](mailto:ttk@ttk.hu)

Honlap: [www.ttk.hu](http://www.ttk.hu)



