

Válasz Dr. Szabó Márta bírálatára

Németh Bence László

„Természetes eredetű szerves látens hőtároló kalcium-alginát mikrokapszulák fejlesztése”

című, nyilvános védésre bocsátott
doktori (PhD) értekezése tárgyában

Témavezető:

Dr. Feczko Tivadar
tudományos főmunkatárs

Köszönöm szépen Dr. Szabó Márta alapos és segítő szándékú bírálatát, illetve a dolgozatom értékelésére szánt idejét. A felvetett kritikai megjegyzésekkel egyetértek, és igyekszem tanulni belőlük. A megfogalmazott kérdésekre a következőkben válaszolok:

1. Kérdés

A vizsgálatok során a 4.2.5. Kalcium-alginát-paraffin hőtároló kapszulák termikus viselkedésére vonatkozó öregítési vizsgálatban 1000 ciklus után vizsgálja a paraffinszivárgást, míg a 4.6.3. fejezetben leírt, az ezüst nanorészecskéket tartalmazó kalcium-alginát-kókuszolaj mikrokapszulák hőstabilitására vonatkozó vizsgálatoknál a ciklusok száma 200-ra korlátozódik. Mi ennek az oka?

Válasz: Gondolatban visszarepülve az időben, az ezüst nanorészecskékkel funkcionalizált hőtároló mikrokapszulákról írt tudományos cikk eredeti beküldött változatában a részecskék ciklikus öregítési tesztje nem került közlésre. A célként kitűzött antimikrobiális hatás eléréséhez nem építettem be a kapszulákba olyan mennyiségű idegen anyagot ami számottevően megváltoztatta volna annak eredeti zárási tulajdonságait. Erre azokból a kísérletekből következtettem, hogy a gyártási folyamat során nem tapasztaltam eltérő viselkedést a nanorészecskéket nem tartalmazó társaikhoz képest. A kalcium-alginát héjanyagot tartalmazó kapszulákkal végzett kísérleteim azt mutatták, hogy ha az elengedhetetlen hőkezelési lépés során nem jelentkezik töltőanyagszivárgás, akkor az a gyorsított ciklikus hőterhelésteszten sem mutat a záróképességben változást. Az előzetes bírálatra beküldött publikáció fókusza az egyébként természetes úton lebontható kalcium-alginát-kókuszolaj tartalmú mikrokapszulák késleltett degradációjának elérésére vonatkozott. A tudományos közleménytervezet bírálói azon kérésüket fogalmazták meg emelve ezzel az elvégzett munka értékét, hogy 50 illetve 200 termikus öregítési ciklus elvégzésével igazoljam a kapszulák megfelelőségét. Ezzel egyidőben fejlődött pandémiává a SARS CoV-2 koronavírus által okozott megbetegedéssorozat, ami a laboratóriumi munkát nagymértékben akadályozta. A közlemény elfogadásához támasztott feltétel teljesítéséhez megadott szűk határidő és az említett körülmények miatt, a kért minimumkövetelményt teljesítve történtek az ezüst nanorészecskékkel funkcionalizált

mikrokapszulákkal a vizsgálatok, azaz 200 ciklusra korlátozódott a mérések száma. A kérdést köszönöm és jogos, hogy 200 ciklus nem egyenértékű 1000-rel.

2. Kérdés Az öregedés hatásában a hőmérsékletváltozás ciklusain kívül felléphet-e egyéb befolyásoló tényező, és ha igen ezeknek milyen hatása lehet?

Válasz: A mikro hőakkumulátorok belsejében található fázisváltó anyag kémiai szerkezete, elsősorban a héjanyagon átdiffundálódó oxigén hatására idővel megváltozhat. Az általam alkalmazott kalcium-alginát gázzárókéességére nincsenek hosszútávú kísérletekkel alátámasztott bizonyítékaim, de a termikus vizsgálatokról szóló részben értekeztem arról, hogy a termogravimetriás vizsgálatokhoz a kapszulafal meglékelése vált szükségessé. A beavatkozás nélkül a kapszulákban felgyülemlett nyomás felrobbantja azokat magasabb hőmérsékleten, és kiugranak ez által a mintatartóból. Ebből a megfigyelésből, valamint a pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket elemezve, arra a következtetésre jutottam, hogy a kapszulafal még gázok számára is nehezen átjárható. Az általam alkalmazott paraffin típusú látens hőtároló anyag nem érzékeny az oxidációra, ahogy az a nevében is megjelenik: parum affinis (kevésbé reakcióképes). A kókuszolaj modellanyag egyértelműen hajlamos az oxidációra, de eddigi tapasztalataink szerint a kókuszolaj erőteljes avasodása sem befolyásolta a látens hőtároló képességét, igaz, hogy ezirányú vizsgálataink hozzávetőleg 2-3 éves kókuszolajjal történtek, ennél hosszabb távon ezt nem vizsgáltuk. Hosszabb távú alkalmazás esetén célszerű lehet antioxidáns alkalmazása.

3. Kérdés Értékelje gazdasági és környezetvédelmi szempontból a kidolgozott eljárást.

Válasz: A kapszula héjaként alkalmazott kalcium-alginát azon tulajdonsága, hogy a környezetbe kerülve képes lebomlani maradéktalanul, továbbá a lebomlásának különböző fázisaiban nem keletkeznek egészségre ártalmas mikroműanyagok és vegyületek, kiemelkedően értékes. Kevés olyan természetes eredetű és megújulásra képes alapanyag áll a rendelkezésünkre, ami alkalmas lenne az adott műszaki feladatra. A látens hőtároló mikrokapszulák elsősorban az energiaipar, építő- és csomagolóanyag-ipar területén kerülnek tömeges mennyiségben alkalmazásra. A különböző célra előállított termékek életciklusuk végén jó esetben újra hasznosíthatók környezetbarát módon, vagy hulladékká válnak, egy sor ezzel kapcsolatos probléma forrásául szolgálva. A mikrokapszulák általában valamilyen anyagba integrálva kerülhetnek felhasználásra, például falazatokban vagy szigetelőanyagokban, ahonnan csak nagyon magas költség árán lehet azokat eltávolítani, így nagyobb valószínűséggel kerülnek a környezetbe válogatás nélkül. Az általam fejlesztett kalcium-alginát héjjal rendelkező kapszulák segítségével lehetőség nyílik olyan modern műszaki megoldás alkalmazására, mint a látens hőtárolás felhasználása az ökológikus építészetben, ahol a teljes épület környezeti lábnyoma szignifikánsan alacsonyabb a modern építészetre döntő többségében jellemző technológiával összehasonlítva. Jelenleg a világpiacon nagy tételben vásárolt nátrium-alginát alapanyag nagyságrendileg 2-3 szoros áron szerezhető be egy általánosan használt polimer, a polietilénhez képest. A gyártás helyszíne is döntő jelentőségű a gazdaságosság szempontjából. A porformatumban elérhető nátrium-alginát porlasztva szárítással készül oldatából, aminek magas az energiaigénye. Ha a mikrokapszulát gyártó üzem egy nátrium-alginátot gyártó üzem közelében működne, akkor a porlasztva szárítás

költsége megspórolható, így olcsóbb alapanyagból lehetne kiindulni. A gyártás melléktermékeként keletkező nátrium-klorid tartalmú szennyvíz olyan helyen, ahol sós tengervíz található szintén kisebb környezetterhelést jelent. Ezekben a tengerparti régiókban találhatóak az algafeldolgozó üzemek is. A kifejlesztett gyártástechnológia gyenge láncszeme a héjképzési művelet hatékonyságának alacsony szintje, ami miatt jelentős mennyiségű részben gélesedett nátrium-alginát melléktermék keletkezik. Ezt a mellékterméket egy nátrium-alginátot gyártó helyen újra lehet hasznosítani, de a valódi megoldást az jelentené, ha a hidrogél héj kialakítását például sablonban végezve egyedileg lehetne gyártásközi hulladék nélkül elvégezni. Ilyen megoldás kidolgozásával a gyártástechnológia gazdaságosan üzemeshető lenne. Gazdasági szempontból vizsgálva csak közelítve lehetne beárazni a terméket, mert az üzemelés, termelékenységi számítás véglegesítéséhez további kutatások szükségesek. Tisztán gazdasági megfontolásokat figyelembe véve a jelenlegi technológiával gyártva a kapszulákat is lehetne versenyképes egy olyan szabályozó környezetben, ahol az energia árban jobban figyelembe vennék annak életciklusa során létrejövő környezetterhelést. Amennyiben az az irányelv bevezetésre kerül, hogy a gyártók felelősek az általuk előállított termék teljes életciklusáért, az olyan termékek, mint az általam fejlesztett mikrogömbök jelentősége felértékelődik.

Az 1. és 2. tézist a megfogalmazott jogos kritika mentén a következőképpen lehetne javítani (vastagon szedtem az új kiegészítést):

1. tézis: Kidolgoztam egy ciklikusan alkalmazott határfelületi koacervációs/térhálósítási módszert paraffin fázisváltó anyagot (PCM) tartalmazó, kétrétegű kalcium-alginát héjjal ellátott látens hőtároló mikrokapszulák előállítására. A kidolgozott módszer jelenleg is szabadalmi védeltséget élvez. Az alkalmazott folyamatparaméterek hatását 3-szintű 3 faktoros Box-Behnken kísérleti tervezéssel és statisztikai értékeléssel vizsgáltam. Bizonyítottam, hogy a mikrokapszulák **paraffintartalma meredeken csökkent a nátrium-alginát koncentrációjának növekedésével 4,0-8,0 m/m % tartományban, valamint az érintkezési idő növekedésével a vizsgált 2,0 és 8,0 perc között. A paraffin tartalom kalcium-klorid koncentrációtól (4,0-12,0 m/m %) való függése lineáris és gyengébb hatást gyakorolt a másik két változóhoz képest.**

Az általam előállított kalcium-alginát-paraffin hőtároló kapszulák egységes méretűek, maghéj szerkezetűek, nem porózus kétrétegű alginát bevonattal bírnak, és optimális paraméterek esetén maximum 48 m/m % paraffin tartalommal rendelkeznek. Termikus elemzéssel és az ismételt hőciklus tesztek alkalmazásával igazoltam az előállított mikrokapszulák szivárgás mentességét, jó termikus stabilitását és megfelelő mechanikai szilárdságát. [S1]

2. tézis: A kalcium-alginát-paraffin mikrokapszulák előállítása során a kis viszkozitású (14 mPas) helyett nagy viszkozitású (950 mPas) nátrium-alginátot felhasználva és a folyamatot Box-Behnken kísérlettervezéssel optimalizálva a hőtároló kapszulák maximális paraffintartalmát 81,5 m/m %-ra növeltem. Bebizonyítottam, hogy a nátrium-alginát viszkozitása az elérhető paraffin tartalom szempontjából döntő fontosságú, mivel a viszkozitás **14 mPas-ról 950 mPas-ra** való növelése esetén **az optimális összetételű és paraméterű**

kísérletekben a nátrium-alginát 35,6 %-a is elegendő volt az oldatában lévő paraffin emulgeálásához és sikeres mikrokapszulázásához. [S2]

Budapest, 2024. 02. 06.

Tisztelettel:

Németh Bence László