

Aktív csomagolórendszerek – a deszikkáns típusának hatása a kompozit vízfelvétele

Kenyó Csaba okl. vegyészmérnök, POLINVENT Kft.

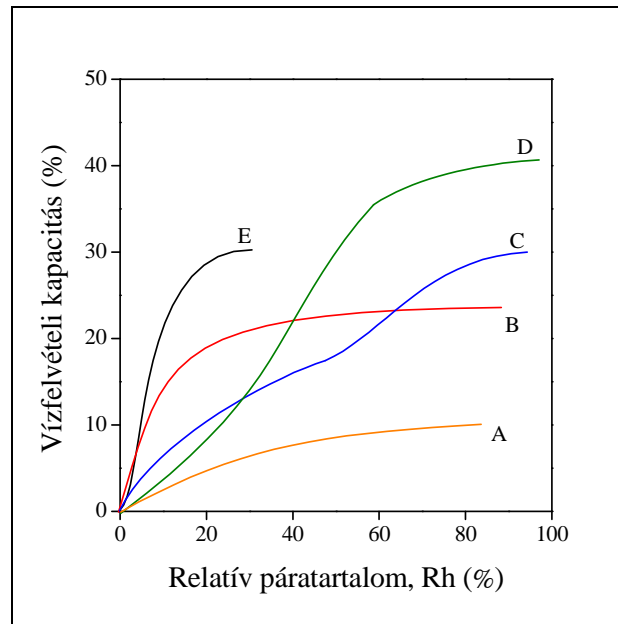
Tárgyszavak: csomagolóanyag; funkcionális csomagolás; vízfelvétel; adszorbens; polisztirol; zeolit.

1. Bevezetés

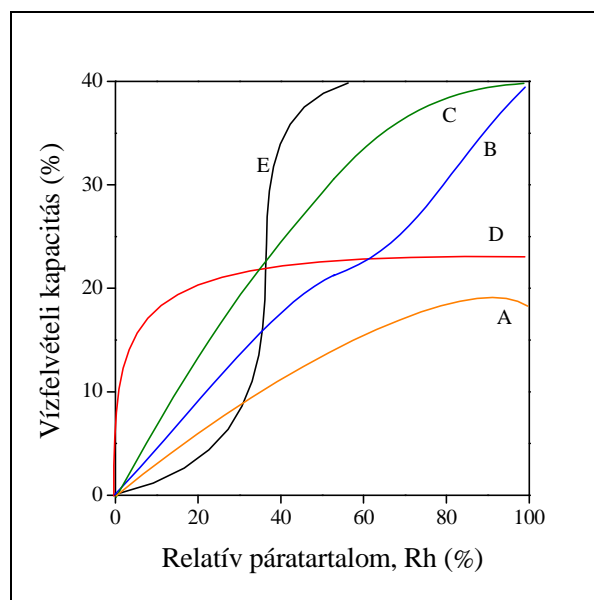
A csomagolóanyagok mindennapi életünk, valamint a gazdaság fontos részét képezik. Ezen anyagok számos funkciót ellátnak, mint például a csomagolt termék biztonságos szállíthatósága, a környezettől való védelme, a vásárló tájékoztatása stb. [1, 2]. Más iparágakhoz hasonlóan a csomagolóipar is állandó fejlődés és változás alatt áll. Ezeket a tendenciákat talán a Plastics Engineering amerikai szakfolyóirat egyik vezető cikke mutatja meg számunkra a legszemléletesebben: „a műanyag csomagolások erősebbé, okosabbá és zöldebbé válnak” [3]. Ezzel a címmel összhangban, valamint a társadalmi igények kielégítése érdekében a csomagolóanyagok fejlesztése új megoldásokat szült, az aktív vagy funkcionális és intelligens csomagolásokat. Utóbbiak a csomagoláson belüli környezet változásáról adnak információt, míg előbbiek a csomagolóanyag jellemzőit javítják a jobb teljesítmény érdekében. Ilyen csomagolóanyagok már mindennapi használatban vannak, és számuk folyamatosan nő. A funkcionális csomagolások főbb területét képezik az oxigénmegkötő [4], a csomagoláson belüli víztartalom szabályozására alkalmas [5, 6], az etiléntartalmat szabályozó [7], az antimikrobiális hatású [8], valamint az illatanyagok megkötésére, illetve kibocsátására alkalmas anyagok [9]. Az egész világra kiterjedő, az ipar által támogatott intenzív kutató- és fejlesztőmunka jellemzi ezt a tudományterületet.

A csomagoláson belüli víztartalom szabályozása az aktív csomagolások egyik legfontosabb területe. A csomagolásba jutó nedvesség negatívan befolyásolhatja a csomagolt termék jellemzőit, különösen a félkész ételekét vagy a gyógyszereket. Száraz légtér biztosítására a csomagolóiparban deszikkánsokat alkalmaznak, amely anyagoknak alapvetően két típusuk van: az adszorbensek, illetve az abszorbensek [10]. Előbbiek a vizet fizikailag kötik meg a felületükön, míg utóbbiak elsősorban kémiaiilag (vagy reagálnak vele, vagy magukhoz kötik). Gyakran használt abszorbens a kalcium-szulfát (CaSO_4), a kalcium-klorid (CaCl_2) és a kalcium-oxid (CaO). Az adszorbensek kiterjedt, nagy energiájú felületükön kötik meg a vizet. Leggyakoribb képviselőik az aktív szén, a szilikagél, a különböző agyagok és a zeolitok, de mindezek közül a

szilikagélek, valamint a zeolitok az iparilag legsűrűbben alkalmazott deszikkánsok. A különböző abszorbensek, illetve adszorbensek vízfelvételének összehasonlítása látható az 1. és 2. ábrán. Intenzív kutatások folynak új deszikkánsok kifejlesztésére. Erre néhány példa a hibrid anyagok (adszorbens+abszorbens), vagy természetes polimerek (keményítő, cellulózszármazékok), vagy szuperabszorbens gélek (pl. akrilátok) alkalmazása.



1. ábra Iparilag gyakran alkalmazott deszikkánsok vízfelvételi kapacitása 25 °C-on [10]. A) CaSO_4 , B) zeolit, C) agyag, D) szilikagél, E) CaO



2. ábra Adsorbensek vízfelvételi kapacitása 25 °C-on [10]
 A) aktivált alumínium (granulátum), B) aktivált alumínium (gyöngy), C) szilikagél,
 D) zeolit 5A, E) aktív szén

Nedvességtartalom szabályozására alkalmas csomagolások legegyszerűbben a deszikkáns közvetlen polimermátrixba történő keverésével állíthatók elő. A nedveségmegkötő szer polimerben való diszpergálásával töltött polimerrendszerekhez jutunk, amelyek tulajdonságait alapvetően négy tényező határozza meg: az összetétel, a szerkezet, a komponensek jellemzői, valamint a határfelületi kölcsönhatások. Mind a négy tényező egyformán fontos, mind jelentősen befolyásolják a kompozitok tulajdonságait, megválasztásuk alapos körültekintést igényel.

A polimer/deszikkáns kompozitokkal foglalkozó publikációk száma igen csekély, azonban ezen tudományos munkákban a leggyakrabban alkalmazott vízmegkötő szerek a zeolitok. A cikkek nagy része a kompozitok mechanikai tulajdonságaira fókuszál [11-14], és csak néhány foglalkozik a víztartalom szabályozásával, mint lehetséges felhasználással [15-16]. Leggyakrabban tömegműanyagot, azaz polipropilént [16-19], polietilént [10, 11] vagy polisztirolt [17] alkalmaznak mátrixanyagként, egyéb polimerek alkalmazására csak néhány példát találhatunk [18, 19]. Ezekben a publikációkban általában egyféle zeolitot használtak töltőanyagként és csak a mátrix típusának a kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgálták, a zeolit hatását pedig elhanyagolták. A zeolitok fellelhetők a természetben, vagy előállíthatók szintetikus úton is. Számos jellemzőjük, mint például a pórusméretük és pórustérfogatuk, a szemcseméretük, az őket alkotó szilikon- és alumíniumatomok aránya stb., széles tartományban változhat, és így jelentős mértékben befolyásolhatják a belőlük készített polimer/zeolit kompozitok tulajdonságait.

Az aktív csomagolóanyagok egyre inkább mindennapjaink részévé válnak. Mindazok ellenére, hogy igen nagy igény lenne víztartalom szabályozásra alkalmas anyagok fejlesztésére, nagyon kevés szisztematikus munkát találhatunk az eddig megjelent irodalmi források között. Nem vizsgálták kellő alaposítással sem a polimerek, sem a deszikkánsok jellemzőinek a kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatását. Ennek megfelelően munkánk célja az volt, hogy részletesebb képet nyerhessünk a polimer/zeolit kompozitok vízfelvételét befolyásoló tényezőkről, mind a mátrix, mind a töltőanyag oldaláról. Korábbi munkánk [20] eredményei alapján megállapítottuk, hogy a polimermátrix minősége alapvetően a kompozitok vízfelvételi sebességét befolyásolja, míg a kapacitás csak a zeolittartalomtól függ. Ugyanakkor nem kaptunk képet arról, hogy a zeolitok tulajdonságai milyen hatást gyakorolnak a kompozitok vízfelvételére. Cikkünkben két iparilag is fontos, nagy vízgőzáteresztő képességű polimermátrixú, különböző zeolitokat tartalmazó kompozitok vízfelvételi jellemzőit meghatározó tényezőket mutatjuk be röviden.

2. Kísérleti rész

2.1 Felhasznált anyagok, mintakészítés

A kompozitok mátrixanyagául egy polisztirolt (PS, *Styron 686 E*, Dow), valamint egy ütésálló polisztirolt (HIPS, *Styron 485*, Dow) választottunk. Mindkét polimer hasonlóan nagy vízgőzáteresztő képességgel rendelkezik, egyéb jellemzőik azonban lé-

nyegesen eltérnek egymástól, ahogy azt az 1. táblázat is mutatja. Töltőanyagként a Luoyang Jianlong Chem. Ind. Co. által gyártott 3A, 4A, 5A, 10X és 13X típusú zeolitokat alkalmaztuk.

1. táblázat

A munka során használt polimermátrix főbb jellemzői

| Polimer típusa | MFI* (g/10 min) | M _n (g/mol) | M _w /M _n | Vízgőzáteresztő képesség (g 20µm/m ² /24 h) | Young's modulus (GPa) | Szakítószilárdság (MPa) | Szakadási nyúlás (%) |
|----------------|-----------------|------------------------|--------------------------------|--|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| PS | 2,5 | 127 970 | 2,44 | 130 ± 8 | 3,1 | 48,0 | 3,0 |
| HIPS | 12,0 | 77 525 | 2,68 | 139 ± 2 | 2,0 | 16,0 | 50,0 |

200 °C, 5 kg.

A zeolitot a felhasználás előtt aktiválni kell, ezért a mintákat vákuum alatt, 300 °C-on, 16 órán keresztül szárítottuk. A komponenseket Haake Rheocord EU 10V meghajtó egységhez kapcsolt Brabender W 50 EH típusú gyúrókamrában homogenizáltuk (190 °C, 50 1/perc, 10 perc keverési idő). A kompozitok töltőanyag-tartalmát 0–50 térfogatszázalék között változtattuk 10%-os lépésként. Az elkészült mintákból Fontijne SRA 100 laboratóriumi présen 1 mm-es lapokat préseltünk (190 °C, 170 kN).

2.2 Vizsgálati módszerek

A munkánk alapvető célja volt, hogy a megállapítsuk, miként befolyásolják a töltőanyag tulajdonságai a belőlük készített kompozitok vízfelvételi jellemzőit, így az elvégzett vizsgálatok elsősorban a zeolitokra koncentráltak. Mindemellett természetesen a kompozitok vízfelvételi paramétereit is meghatároztuk.

A töltőanyagok szemcseméret-eloszlásának meghatározását Sirocco 2000 poradagoló rendszerrel ellátott Malvern Masterseiser 2000 lézerdiffrakciós berendezésen végeztük. A zeolit pórusméretének és pórustérfogatának meghatározásához Hydrosorb (Qantachrome, USA) típusú készüléket alkalmaztunk. A mintákat 24 órán át, 300 °C-on vákuumban tartottuk (10–5 Hgmm), hogy a töltőanyagok felületén megkötődött gázokat, gőzöket teljes mértékben eltávolítsuk, majd a vizsgálatot vízgőz és nitrogén-gőz segítségével 20 és –195 °C-os hőmérsékleten végeztük. A zeolitok kémiai összetételét induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) segítségével, míg sűrűségüket hélium piknometriával határoztuk meg.

A töltőanyag felületi feszültségének diszperziós komponensét (γ_s^d) normál parafinok retenciós idejének mérésével határoztuk meg. Az inverz gázkromatográfiás (IGC) méréshez szükség volt a töltőanyagok előzetes aggregáltatására, „gömbösítésére”. Az adott töltőanyagok 100 g-jához kb. 100 ml vizet adagoltunk, majd alapos homogenizálás után az így elkészült szuszpenziókat szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk (120 °C, két nap). A kiszárított mintákat összetörtük, és

szitáltak. Az inverz gázkromatográfiás kolonna töltésére a 800–1000 μm -es frakciót használtuk. A méréseket kifűtés előzte meg (300 °C, 16 óra). Az IGC mérések során a vizsgált töltőanyaggal megtöltöttük a kromatográfiás oszlopot, majd a méréshez használt szénhidrogén oldószerek gőzteréből 1–40 μl gőzt injektáltunk a vivőgáz áramába. Az egyes alkánok retenciós idejének és a vivőgáz áramlási sebességének ismeretében a zeolitok felületi feszültsége kiszámítható.

A töltőanyagok és a kompozitok vízfelvételét 100%-os páratérben vizsgáltuk. Minden egyes zeolittípusból ~10 g 300 °C-on, vákuumban szárított mintákat helyeztünk a páratérbe, és mértük a tömegük változását az idő függvényében. A kompozit lapok esetén 20x20x1 mm-es mintákon végeztük el a vizsgálatokat. A méréseket tömegállandóság eléréséig végeztük. A nedvességfelvétel jellemző paramétereinek meghatározására a mért vízfelvételi görbékre illesztett, Fick II. törvényéből levezetett egyenletet használtuk [21]:

$$M_t = M_\infty \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \exp\left(-\frac{D(2m+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \right) \quad (1)$$

az egyenletet $m = 2$ esetre megoldva a következő összefüggéshez jutunk

$$M_t = M_\infty * \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \left[\exp(-a * t) + \frac{1}{9} \exp(-9 * a * t) + \frac{1}{25} \exp(-25 * a * t) \right] \right] \quad (2)$$

ahol M_t a t időpontban mért vízfelvételi érték %-ban, M_∞ a egyensúlyi vízfelvétel értéke %-ban, L a minta vastagsága, a pedig a vízfelvétel sebességére jellemző érték $1/\text{s}$ -ban. Ez az összefüggés közepes vagy hosszú idejű szorpciók leírására alkalmas, míg a (3)-as egyenlet rövid idők esetén alkalmazható:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 4 \left(\frac{Dt}{L^2} \right)^{1/2} \left(\pi^{-1/2} + 2 \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \operatorname{ierfc} \frac{mL}{2(Dt)^{1/2}} \right) \quad (3)$$

A vízfelvételt az idő gyökének függvényében ábrázolva a görbe kezdeti szakasza jól közelíthető egy egyenessel. Az egyenes meredeksége (b) összefüggésbe hozható a diffúzió sebességével. b így a vízfelvétel kezdeti sebességére jellemző érték lesz $1/\text{s}^2$ -ban.

3. Eredmények

3.1. Deszikkáns jellemzők hatása

Az irodalmi részben említetteknek megfelelően a funkcionális csomagolások főbb jellemzői közé tartoznak a vízfelvételi kapacitás és sebesség. A zeolitok tulajdonságai igen széles spektrumban változhatnak és nyugodtan feltételezhetjük, hogy ezáltal

a belőlük készített kompozitok tulajdonságai is változni fognak. A munkánk során használt A és X típusú zeolitok az ipari gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott deszikkánstípusok közé tartoznak. Az általunk meghatározott jellemzőik, mint az őket alkotó váz negatív töltését kompenzáló kation típusa, az Si/Al arány, a pórusméret és pórustérfogat és a vízfelvétellel kapcsolatba hozható paraméterek (vízfelvételi kapacitás M_{∞} ; adszorpciós együttható, K) összegyűjtve a 2. táblázatban található.

2. táblázat

A felhasznált zeolitok tulajdonságai

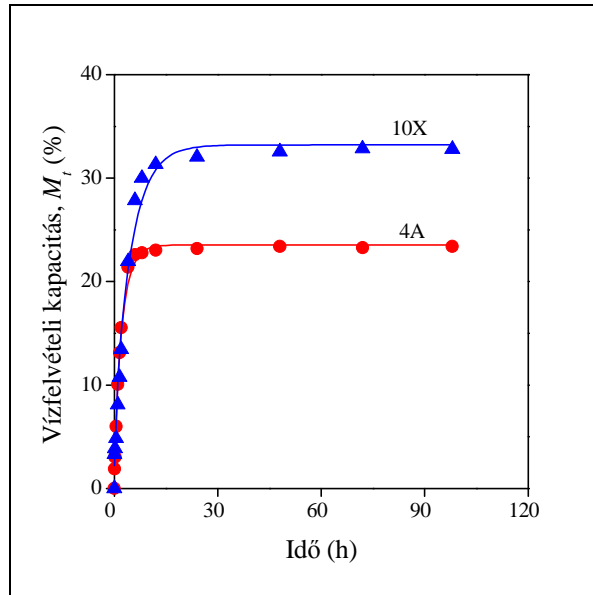
| Típus | Kation | Ion átmérője (Å) | Si/Al arány | Szemcseméret (µm) | Pórus-átmérő (Å) | Pórustérfogat (cm ³ /g) | M_{∞} (%) | K | γ_{sd}^* (mJ/m ²) |
|-------|------------------------------------|------------------|-------------|-------------------|------------------|------------------------------------|------------------|------|--------------------------------------|
| 3A | K ⁺ , Na ⁺ | 0,117 | 1,00 | 4,5 | 3,0 | 0,27 | 26,2 | 42,2 | 219 |
| 4A | Na ⁺ | 0,097 | 1,23 | 4,0 | 3,8 | 0,28 | 27,5 | 47,6 | 216 |
| 5A | Ca ²⁺ , Na ⁺ | 0,099 | 1,25 | 4,5 | 4,3 | 0,29 | 27,8 | 29,4 | 217 |
| 10X | Ca ²⁺ , Na ⁺ | 0,098 | 1,39 | 4,7 | 7,4 | 0,36 | 34,3 | 57,2 | 235 |
| 13X | Na ⁺ | 0,097 | 1,43 | 4,3 | 8,1 | 0,33 | 33,3 | 33,5 | 240 |

* A felületi feszültség diszperziós komponense, értékét IGC segítségével határoztuk meg.

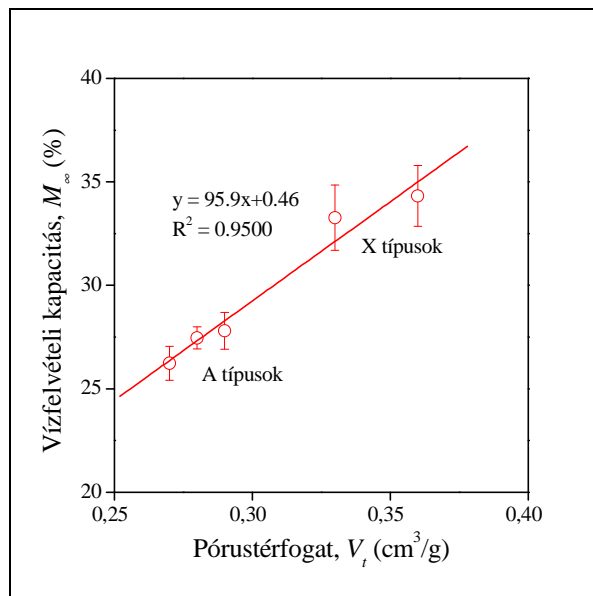
Az irodalomban korábban egyértelműen bemutatták, hogy a kompenzáló ion típusa, illetve a zeolitokban található Si és Al atomok aránya jelentősen befolyásolja a deszikkáns adszorpciós jellemzőit [22-24]. A mi esetünkben azonban e paraméterekben jelentős eltérés nincs, a kationok átmérője alig különbözik és az Si/Al arány is csak 1.0 és 1.4 között változik, ami elhanyagolható különbség ahhoz képest, hogy némely zeolittípusnál ez az érték akár milliós nagyságú is lehet. Hasonlóan kis különbségek mutathatók ki a különböző zeolitok átlagos szemcseméretében is. Ennek megfelelően nem várható, hogy e paraméterek jelentősen befolyásolják az adszorbensek vízfelvételét. Számottevő eltérések mutathatók ki azonban az A és X típusok vízfelvételi kapacitása (M_{∞}) között. Ez a különbség feltételezhetően a zeolitok pórusméretében, pórustérfogatában, valamint a felületi energiáik értékében (γ_{sd}) meglévő eltérések eredménye.

A két eltérő típusú zeolit vízfelvételi izotermáját mutatja be a 3. ábra. Az ábrán jól látható, hogy a vízfelvétel kezdetben nagyon gyors és az X típus esetén még a 30%-ot is meghaladja. Egyértelműen kimutatható, hogy a két típus kapacitása jelentősen eltér, ami a fentebb leírtaknak megfelelően a három említett tényezőben meglévő különbségek eredménye. Részletes elemzések eredményeképpen arra a következtetésre jutottunk, hogy a három paraméter közül a pórustérfogat (V_t) nagysága az, amely a leginkább meghatározza a zeolitok vízfelvételi kapacitását. Az általunk vizsgált más jellemzők (kationok mérete, Si/Al arány, szemcseméret, pórusméret, felületi feszültség) egyike sem hozható egyértelmű kapcsolatba az adszorbens vízfelvételi kapacitá-

sával, csak a pórustérfogat. A két mennyiség közötti összefüggés (4. ábra) igen jónak mondható, a pontok igen közel esnek az illesztett egyeneshez. Az ábra alapján a deszikkánsok a típusuknak megfelelően két csoportra oszthatók, az A és X típusok között közel 10%-os eltérés mutatható ki az adszorpciós kapacitásokban.



3. ábra Két eltérő típusú zeolit vízfelvételi izotermájának összehasonlítása.
Szimbólumok: (○) 4A, (△) 10 X

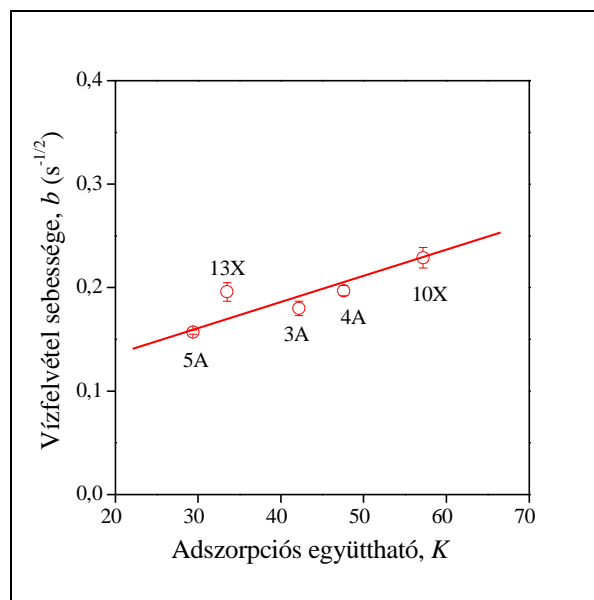


4. ábra A zeolit pórustérfogatának hatása a deszikkáns vízfelvételi kapacitására

A kapacitás mellett a vízfelvétel sebessége is fontos paramétere a funkcionális csomagolóanyagoknak. Hasonlóan a kapacitáshoz ennek értékét is befolyásolhatják a zeolitok jellemzői. A vízfelvétel sebességét két különböző értékkel jellemeztük: a a vízfelvétel teljes sebességére jellemző paraméter, amelyet a (2) egyenlet illesztésével kaphatunk meg, míg b a vízfelvétel kezdeti sebességével van szoros kapcsolatban, értékét a mért vízfelvételi értékek (3) egyenletnek megfelelő ábrázolása esetén határozhatjuk meg. Az összes általunk vizsgált zeolit tulajdonsági közül csak az adszorpciós együttható (K) az, amely kapcsolatba hozható a kezdeti vízfelvétel sebességével (b). Az összefüggést az 5. ábra mutatja be. Az együtthatót a következőképpen adhatjuk meg:

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (4)$$

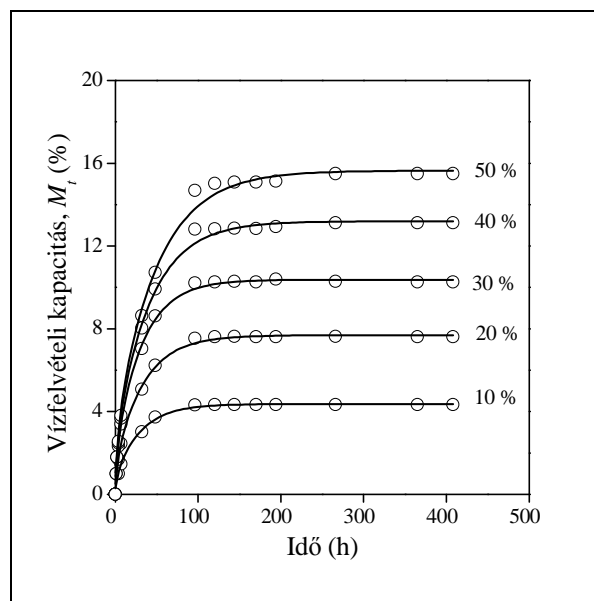
ahol ΔG az adszorpció szabadentalpiája, R univerzális gázállandó és T az abszolút hőmérséklet. Érdekes megjegyezni, hogy a vízfelvétel kezdeti sebessége esetén nem látunk olyan egyértelmű csoportokra válást, mint az A és X típusok vízfelvételi kapacitásánál, a pontok véletlenszerűen helyezkednek el az összefüggés mentén. A vízfelvételi sebességekben látható különbségek csekélyebb mértékűek, mint a kapacitásoknál látottak. A különböző tényezők vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a zeolit típusa jelentősen befolyásolja a deszikkáns vízfelvételi kapacitását, azonban hatása szinte elhanyagolható a vízfelvétel sebességénél. Ennek megfelelően a zeolitartalmú kompozitoknál azt várhatjuk, hogy azok kapacitása is jelentős különbségeket fog mutatni a különböző töltőanyagok esetén, az X típusú zeolitok várhatóan jobban teljesítenek, mint a leggyakrabban használt A típusok, a belőlük készült kompozitok kapacitása lesz a nagyobb.



5. ábra Összefüggés az adszorpciós együttható (K) és a vízfelvétel kezdeti sebessége között (b)

3.2. Kompozitok vízfelvétele

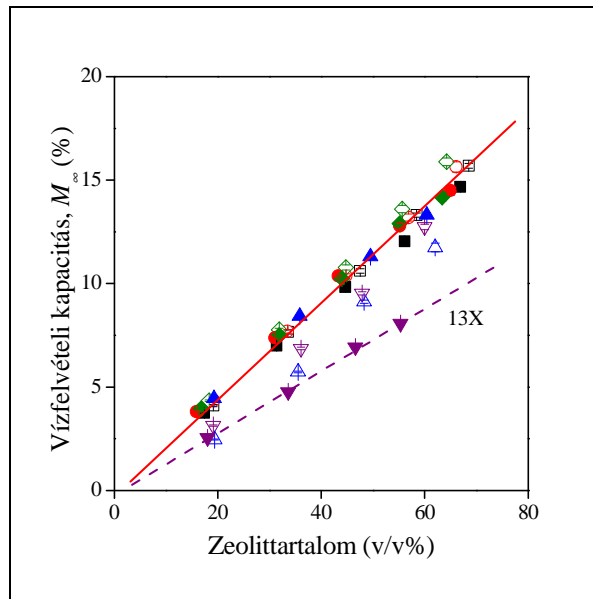
A 4A típusú készített HIPS mátrixú kompozitok vízfelvételi izotermáit mutatja be a 6. ábra. A 3. és 6. ábra eredményeit összehasonlítva néhány következtetést könnyen levonhatunk. Mind a zeolitok, mind a kompozitok vízfelvétele igen jól leírható a Fick II. törvényéből levezetett egyenlet segítségével. A kompozitok vízfelvételi sebessége jóval lassabb, mint a tiszta zeolit, hasonló nagyságrendbe esik, mint a tiszta polimer vízfelvételi sebessége ($a = 0,03\text{--}0,04 \text{ s}^{-1}$), azaz ezt a jellemzőt a polimer típusa határozza meg, ahogyan azt már korábbi publikációinkban bemutattuk [20]. Szintén jól látható, hogy a korábban tett megállapításaink itt is igazak, a kompozitok vízfelvételi kapacitása arányos a zeolittartalommal. Természetesen egyedül a 6. ábráról nem lehet elkülöníteni pontosan a mátrix, illetve a töltőanyag hatását, azonban igen jól szemlélteti a deszikkánstartalom hatását.



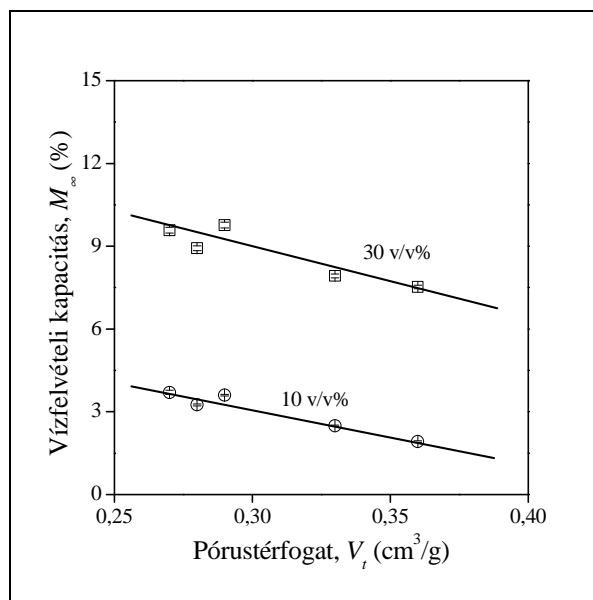
6. ábra A HIPS/4A zeolit tartalmú kompozitok vízfelvételi izotermái

A kompozitok a (2) egyenlet illesztésével meghatározott vízfelvételi kapacitást (M_∞) a 7. ábrán mutatjuk be, annak érdekében, hogy a két tényező, azaz a mátrix és zeolit típusának hatását elkülöníthessük. A zeolittartalom domináns hatása egyértelmű az ábra alapján, hiszen minden esetben lineáris összefüggés látható a töltőanyag mennyisége és a kompozit vízfelvételi kapacitása között. Azonban a vártakkal szemben az X típust tartalmazó minták nem hogy nagyobb, mint inkább kisebb kapacitással rendelkeznek A típusú társaiknál, és még az is megállapítható, hogy a polimer típusa is befolyással lehet a kapacitásra. A 13X típust tartalmazó kompozitok (∇ , \blacktriangledown) kapacitása jóval elmarad a többi típusú zeolittal készült kompozitokétól, a különbség a PS mátrixnál a legszembetűnőbb. Csekély eltérés a többi típus esetén is van, de a polimer és a

zeolit típusának hatása sokkal kevésbé érvényesül, mint a 13X típusnál, sőt a 10X tartalmú HIPS kompozitok teljesen együtt futnak az A típusú adszorbenseket tartalmazó kompozitok értékeivel.



7. ábra A zeolittartalom hatása a kompozitok vízfelvételi kapacitására (M_{∞}). Teli szimbólumok PS, üres szimbólumok HIPS; (\square) 3A, (\circ) 4A, (\diamond) 5A, (\triangle) 10X, (∇) 13X



8. ábra Összefüggés a zeolitok pórustérfogata és a kompozitok vízfelvételi kapacitása között. Zeolittartalom: (\circ) 10, (\square) 30 % (V/V)

A 4. ábrán egyértelműen láthattuk, hogy a zeolit vízfelvételi kapacitása pórustérfogatuk nagyságától függ. Amennyiben ezen tényező függvényében ábrázoljuk a kompozitok vízfelvételi kapacitását adott töltőanyag-tartalmak esetén, úgy a 8. ábrához jutunk. A tiszta zeolitoknál látottakkal szemben a kompozitok kapacitása nem növekszik, hanem kis mértékben csökken a zeolit pórusméretének növekedésével. Bár a különbségek csak kismértékűek, az összefüggés egyértelműnek tűnik. Magyarázata azonban meglehetősen nehézkes, még a találgatás szintjén is. Egyértelmű magyarázatot csak további vizsgálatok elvégzésével adhatunk erre a meglepő eredményre.

4. Összefoglalás

Szisztematikus munkánk során vizsgáltuk öt különböző zeolit és a belőlük készített PS és HIPS mátrixú kompozitok vízfelvételi jellemzőit. Megállapítottuk, hogy a zeolit tulajdonságai közül a pórustérfogat az, amely meghatározza vízfelvételi kapacitásukat, míg a deszikkáns vízfelvételi sebessége a deszikkáns adszorpciós együtthatójával van szoros összefüggésben. Másrészt a zeolitok jellemzői csak érintőlegesen befolyásolják a kompozitok vízfelvételi jellemzőit, a vízfelvételi kapacitást a zeolittartalom, míg a vízfelvétel sebességét a mátrix típusa határozza meg. Az X típusú zeolittal készült kompozitok valamelyest kisebb adszorpciós kapacitással rendelkeznek, mint A típusú társaik.

5. Irodalomjegyzék

- [1] Ahvenainen, R.: *Novel Food Packaging Techniques*, Woodhead Publishing, Boca Raton (2003)
- [2] Bauer, E.J.: *Pharmaceutical Packaging Handbook*, Informa Healthcare USA, Inc., New York, London (2009)
- [3] Markarian, J., *Plast Eng* **70**(6), 8-14 (2014)
- [4] Charles, F., Sanchez, J., Gontard, N., *J Food Eng* **72**(1), 1-7 (2006)
- [5] Allinson, J.G., Dansereau, R.J., Sakr, A., *Int J Pharm* **221**(1-2), 49-56 (2001)
- [6] Waterman, K.C., MacDonald, B.C., *J Pharm Sci* **99**(11), 4437-4452 (2010)
- [7] García-García, I., Taboada-Rodríguez, A., López-Gomez, A., Marín-Iniesta, F., *Food Bioprocess Technol* **6**(3), 754-761 (2013)
- [8] Zema, L., Sangalli, M.E., Maroni, A., Foppoli, A., Bettero, A., Gazzaniga, A., *Eur J Pharm Biopharm* **75**(2), 291-296 (2010)
- [9] Mexis, S.F., Badeka, A.V., Riganakos, K.A., Karakostas, K.X., Kontominas, M.G., *Food Control* **20**(8), 743-751 (2009)
- [10] Ruthven, D.M.: *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*, John Wiley & Sons, New York (1984)
- [11] Biswas, J., Kim, H., Choe, S., *Macromol. Res.* **11**, 357-367 (2003)
- [12] Biswas, J., Kim, H., Shim, S. E., Kim, G. J., Lee, D. S., Choe, S., *J. Ind. Eng. Chem.* **10**, 582-591 (2004)
- [13] Özmihci, F., Balköse, D., Ülkü, S., *J. Appl. Polym. Sci.* **82**, 2913-2921, (2003)
- [14] Acosta, J. L., Morales, E., Ojeda, M. C., Linares, A., *J. Mater. Sci.* **21**, 725-728 (1986)

- [15] Mathiowitz, E., Jacob, J.S., Jong, Y.S., Hekal, T.M., Spano, W., Guemonprez, R., Klibanov, A.M., Langer, R.: *J Appl Polym Sci* **80**(3), 317-327 (2001)
- [16] Pehlivan, H., Özmihçi, F., Tihminlioğlu, F., Balköse, D., Ülkü, S., *J Appl Polym Sci* **90**(11), 3069-3075 (2003)
- [17] Maaref, S., Frisch, H. L., Rajan, G. S., Pu, Z., Mark., J. E., Beaucage, G., *J. Macromol, Sci. A* **36**, 1895–1906 (1999)
- [18] Upadhyay, R. D., Kale, D. D., *Polym. Int.* **50**, 1209–1213 (2001)
- [19] Yuzay, I. E., Auras, R., Selke, S., *J. Appl. Polym. Sci.* **115**, 2262–2270 (2010)
- [20] C. Kenyó, D. Kajtár, K. Renner, C. Kröhnke, B. Pukánszky, *J. Polym. Res.* **20**, 1-8 (2013)
- [21] Crank, J., Park, G.S.: *Diffusion in Polymers*, Academic Press, London, New York (1968)
- [22] Rovere, J., Correa, C., Grassi, V., Pizzol, M.: Role of the rubber particle and polybutadiene cis content on the toughness of high impact polystyrene, *J Mater Sci* **43**(3), 952-959 (2008)
- [23] Donald, A., Kramer, E.: Internal structure of rubber particles and craze break-down in high-impact polystyrene (HIPS), *J Mater Sci* **17**(8), 2351-2358 (1982)
- [24] Realini, C.E., Marcos, B.: Active and intelligent packaging systems for a modern society, *Meat Sci* **98**(3), 404-419 (2014)