

A szárítás fontossága a műanyag-feldolgozásban

Tárgyszavak: felületi nedvesség; belső nedvesség; mérési módszerek; nedvességforrások; szállítás; tárolás; farosttal erősített műanyagok.

Miért kell kiszárítani feldolgozás előtt a műanyagokat?

A műszaki műanyagokat feldolgozás előtt szárítani kell, mert *a granulátumokban visszamaradó nedvesség különféle negatív hatásokkal járhat, pl.:*

- a nedvességtartalom csökkenti a nyíróviszkozitást, aminek az eredménye fröccsöntéskor túltöltés vagy habosodás lehet,
- romlanak a termék mechanikai jellemzői és villamos átütési szilárdsága,
- felületi hibák, fóliafúvásnál nagyobb hibák is előfordulhatnak.

Különbséget kell tenni a felületi és a tömegében (térfogatában) megkötött nedvességtartalom között. *A felületi nedvességet viszonylag könnyű eltávolítani, és ez csak felületi csíkozódást okoz. Belső nedvességről beszélünk, ha a víz behatol a granulátum belsejébe, és ott egyenletesen eloszlik. Mivel a diffúzió lassú folyamat, a belső nedvesség csak lassan távolítható el. A belső nedvesség jobban befolyásolja az anyag mechanikai és villamos jellemzőit, mint a felületen lecsapódó pára.*

Nedvesség több helyen is kerülhet a műanyagba. Ezért először a nedvességmérés lehetőségeit tekintjük végig, majd kiemeljük a műanyaggyártás, a szállítás, a raktározás és a feldolgozás azon pontjait, ahol az anyag nedvességet vehet fel. Bemutatunk egy megbízható mérési módszert, amely a tárolás során felvett nedvességtartalom meghatározására alkalmas. Szó lesz azokról a tényezőkről is, amelyek a nedvességfelvételt befolyásolják.

Különös jelentősége van a víztartalom meghatározásának a hidraulikus szállítóberendezések alkalmazásakor. Ez a rendszer közepes távolságra energiatakarékos és kíméletes szállítási módnak bizonyult. A kívülállókat az szokta elriasztani alkalmazásától, hogy úgy gondolják, a műanyag granulátum túl sok vizet vesz fel a szállítás során. A világszerte üzembe helyezett hidraulikus szállítóegységeken végzett mérések azonban egyértelműen azt mutatják,

hogy az ilyenfajta félelmek megalapozatlanok, akár olyan műszaki műanyagokról van szó, mint a poliamidok, akár olyan apoláris műanyagokról, mint a különböző polietilének vagy polipropilének. A szállítás során felvett víz mennyisége a megengedhető értékek alatt marad.

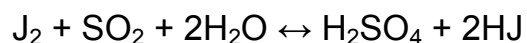
A felületi nedvesség és a műanyag tömegében eloszlott víz közötti különbség

Általánosságban különbséget tesznek higroszkópos és nem higroszkópos műanyagok között, amelyek között természetesen folyamatos átmenet van. *Gyakorlati szempontból a következő műanyagcsoportokat célszerű megkülönböztetni:*

- *műszaki műanyagok* (pl. poliamid, poliészter, polikarbonát), amelyek *higroszkóposak*, mivel poláris hidroxil-, karbonil-, amincsoportokat stb. tartalmaznak. Ezeket feldolgozás előtt alaposan ki kell szárítani. Az eredeti víztartalom alig befolyásolja a teljes száradási időt;
- ún. *apoláris tömegműanyagok*, mint a polietilén vagy a polipropilén, amelyeket feldolgozás előtt *általában nem szárítanak* (legfeljebb ha nagyon különleges célra alkalmazzák őket). Az alkalmazástól és a feldolgozás módjától függően a gyártók maximálisan 200–1500 ppm víztartalmat engednek meg;
- ún. *poláris tömegműanyagok*, amelyek *higroszkópos komonomereket tartalmaznak* [pl. poli(vinil-acetát), etilén/vinil-acetát kopolimer], és sokkal több vizet vesznek fel, mint apoláris társaik.

Módszerek a víztartalom meghatározására

A műanyag granulátumok víztartalmának meghatározására igen pontos eljárás a *coulometriás Karl-Fischer titrálás*. Előnye, hogy más folyadék jellegű adalékokra nem reagál, csak a vízre. Egy villamosan vezető folyadékkal megtöltött cellába két mérőelektrodot vezetnek, amelyek között állandó áram folyik. Ha a vizsgálandó mintából, amelyet egy kis kemencében melegítenek, víz kerül a mérőcellába, megnő a folyadék villamos ellenállása. Az állandó áram fenntartásához szükséges feszültség megnő, amely megfelelő kalibrálás esetén pontosan arányos a víz mennyiségével. Egy másik elektród párral segítségével ezzel a feszültséggel arányos mennyiségű jódot fejlesztenek, amely a villamosan vezető titrációoldattal és a vízzel az alábbi egyenlet szerint reagál:



A Karl-Fischer módszer a készülék előkészítése és kezelése miatt elég körülményes, ezért sokszor az egyszerűbb *termogravimetriás módszert* használják. A minta tömegmérés előtti szárításához többféle eszközt is használnak,

pl. szárítószekrényt, infravörös sugárzót, mikrohullámú sugárzót, halogénlámpát. A mintákat tömegállandóságig szárítják, majd a tömegváltozást víztartalomként interpretálják. Ennek az a hátránya, hogy ilyenkor a víz mellett valamennyi illékony anyag eltávozik (párolgási veszteség). Az 1. táblázatban található néhány polietilénmintán Karl-Fischer módszerrel és gravimetriásan mért víztartalomérték. Ilyen mintákban a gravimetriás tömegveszteség általában legalább egy nagyságrenddel nagyobb a kémiai módszerrel mért víztartalomnál. Az apoláris műanyagok illékony adalékainak hevítés során fellépő vesztesége jóval nagyobb, mint a víztartalom, ezért a tömegváltozást semmiképpen nem szabad víztartalomként értelmezni. A néhány száz ppm víztartalom feltételezésekor mindenképpen célszerű a Karl-Fischer módszert használni. A gravimetriás módszer alsó határa a műszergyártók általában 0,1%-ot (1000 ppm) adnak meg. Ez alatt nem alkalmazhatók kellő pontossággal.

1. táblázat

Néhány apoláris műanyag granulátumon Karl-Fischer titrálással mért víztartalom, ill. gravimetriásan meghatározott párolgási veszteség

Vizsgált műanyag granulátum	Karl-Fischer módszerrel mért víztartalom, (120 °C-os kemence, három mérés átlaga)	Párolgási veszteség (gravimetriás módszerrel mérve 80 °C-os szárítószekrényben végzett 12 h szárítás után)
	ppm	ppm
Lupolen ^{1/} 1.	8	329
Lupolen 2.	11	192
Lupolen 3.	9	459
Lupolen 4.	14	396
Lupolen 5.	11	374
Hostalen ^{2/} 1.	24	371
Hostalen 2.	76	546
Hostalen 3.	41	439
Hostalen 4.	30	597
Hostalen 5.	80	298

^{1/, 2/} A Basell különböző típusú polietilénjei

Hol kerülhet víz a polimerekbe?

Granulálás

A granulálástól a feldolgozásig számos helyen kerülhet nedvesség a polimerbe. Tételezzük fel, hogy a granuláló extruderben a kigázosítás után már

nincs mérhető víztartalom a polimerben. Granuláláskor, különösen víz alatti granuláláskor az extrudált műanyag zsinór elég hosszú – néhány másodperctől több percig terjedő – időt tölt a víz alatt. Ezalatt a műanyag diffúzióval vizet vehet fel. A szárításhoz centrifugális, ütköző vagy áramló ágyas szárítókat alkalmaznak. A centrifugális szárítóban a tartózkodási idő nagyon rövid, de a száradás a nagy centrifugális erő és az átáramoltatott levegő miatt elég hatékony. Ha azonban mégsem teljes a száradás, fennáll annak a veszélye, hogy a felületi víz bediffundál a granulátum belsejébe. *Nem lesz tökéletes a száradás, ha:*

- *a granulátum felszíne nem sima (pl. üvegszállal erősített granulátumok),*
- *a felületi víz kapilláriserők révén gyűlik össze (pl. rossz vágás, konvex felületek stb.),*
- *a centrifugális szárításnál kímélőbb szárítási eljárást használnak, amelyekkel azonban nem lehet 500 ppm alá szorítani a nedvességtartalmat. Az ütközéses szárításnál pl. 1000–3000 ppm körüli maradék nedvességre kell számítani (közvetlenül a szárító után mért értékek),*
- *a szárításhoz a környezetből származó, nem kellően száraz levegőt használnak (pl. a levegőt eső után a környezetből szívják be, amikor az gyakorlatilag vízzel telített),*
- *a granuláláshoz hideg vizet használnak, ezért a granulátum teljesen kihűl, és a granulátum saját melege nem járul hozzá a maradék víz elpárolgásához.*

Az áramló ágyas szárítás túl kímélő eljárás a megfelelő szárításhoz, a maradék víz bejuthat a granulátum belsejébe.

Szállítás, tárolás

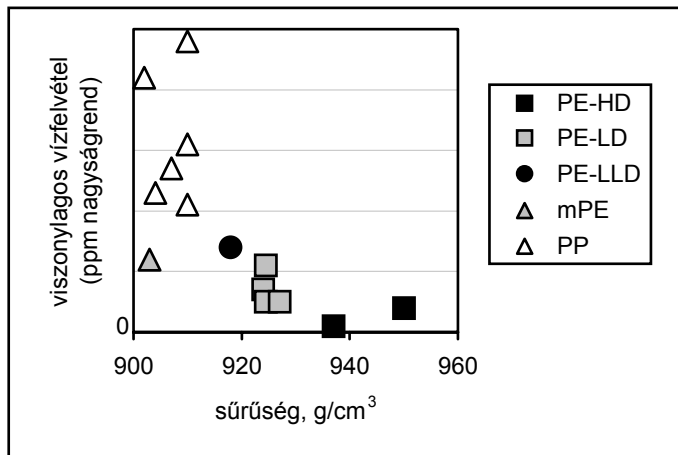
A granulátumok *hidraulikus szállítása* során víz diffundálhat az anyag belsejébe, de ennek mértéke számos tényezőtől függ:

- a szállított műanyag kémiai szerkezetétől (higroszkóposságától),
- a granulátumok átmérőjétől,
- a granulátum hőmérsékletétől,
- a vízben tartózkodás idejétől,
- a szilárd anyag sűrűségétől,
- az adalékanyagoktól (pl. színezékek).

Az *1. ábra* néhány apoláris műanyag vízfelvételét mutatja 60 °C-os vízben végzett 2 órás áztatás után, az anyagsűrűség függvényében. Hozzá kell tenni, hogy ezek a körülmények sokkal intenzívebb vízfelvételeket idéznek elő, mint a hidraulikus szállítás. Az eddig üzembe helyezett hidraulikus szállítóegységeken szerzett *tapasztalatok azt mutatják, hogy a hidraulikusan továbbított apoláris műanyag granulátumok nem tartalmaznak mérhetően több vizet, mint*

nedves granulálás után, és a víztartalom nem haladja meg a gyártói határértékeket.

A pneumatikus szállításnál is találkozhat az anyag nedvességgel a keletkező kondenzvíz miatt, amely a pneumatikus rendszer alsóbb részein gyűlik össze, majd a csőfelületeken az áramló levegővel együtt terjed, és benedvesítheti a granulátumokat. Ez ellen csak a szállító levegő szárításával lehet védekezni.



1. ábra

Összefüggés a különböző poliolefinek sűrűsége és 60 °C-os vízben 2 h tárolás után Karl-Fischer módszerrel mért vízfelvétele között. (mPE = metallocénes PE)

A nyitott silókban végzett tárolás során számolni kell a nap folyamán mérhető hőmérséklet és nedvességtartalom ciklikus változásaival. Nappal a siló felmelegszik és levegő áramlik ki belőle, éjjel azonban lehül és levegőt szív be. Ilyenkor a granulátum elkerülhetetlenül érintkezésbe kerül a környezet magasabb nedvességtartalmú levegőjével (ez különösen eső után veszélyes). Ezt el lehet kerülni, ha a silókat folyamatosan szárított (–20 és –40 °C közötti harmatpontú) levegővel öblítik át. A siló falán kondenzáció ritkán lép fel, mert a granulátumok maradék hője általában elég ahhoz, hogy a siló belsejében a hőmérséklet a harmatpont felett maradjon. Ezzel csak akkor kell számolni, ha a silóban kevés a granulátum és kedvezőtlenek az időjárási viszonyok. A silókat két feltöltés között néha kimossák, ilyenkor ügyelni kell arra, hogy elég idő és megfelelő levegőmennyiség álljon rendelkezésre a siló teljes kiszáradásához. Ha a nedves terméket pneumatikusan szállítják, annak szárító hatása van. Ha a szállítás végén magas a szállító levegő nedvességtartalma, fennáll annak a veszélye, hogy a silóban kicsapódik a nedvesség, és alul összegyűlve nedvesíti a granulátumot is.

Ha meleg, nedvességgel telített levegővel együtt zsákolják be a granulátumot, a nedvesség lehűlés során kicsapódhat a zsákfólia vagy a granulátumok felületén. Ilyenkor nagy eltérések adódhatnak a párhuzamos minták nedvességtartalmában. Műszaki műanyagok esetében a Karl-Fischer titrálással mért nedvességtartalmak között akár 100% eltérés is lehet.

Nedvességet vehet fel a granulátum a *silóvagonokba végzett berakodás* alatt is. Ha rakodáskor nedves az idő, a szállítás során a nedvesség kicsapódhat a vagon falán.

Sok felhasználó szabad ég alatt tárolja a beszállított granulátumot. Mivel egyes zsákok megsérülhetnek, fokozott a vízfelvétel veszélye. A folyamat sebességét *polikarbonáton vizsgálva* kimutatták, hogy ha egy 60 ppm nedvességtartalomra kiszárított granulátumot 20 °C-on 60–70% relatív nedvességtartalmú levegőben tárolnak, már 15 perc után kb. 300 ppm-re nő a víztartalma.

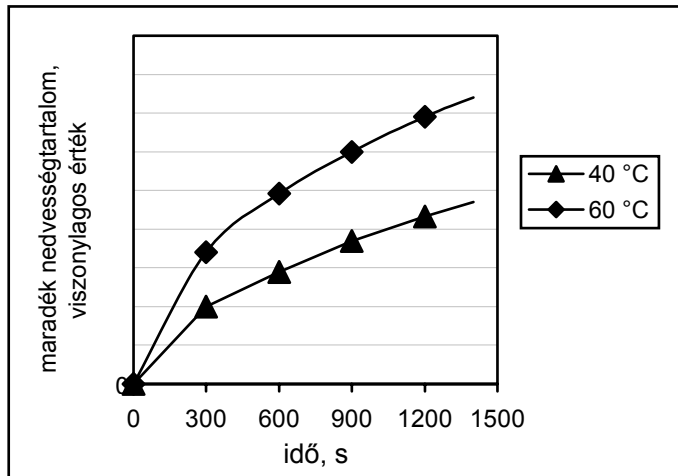
A vízzel közvetlen érintkezés (pl. víz alatti tárolás) hatására bekövetkező vízfelvétel tanulmányozására granulátummintákat 12 óra időtartamra szárítószekrénybe helyeztek, hogy kiindulási nedvességtartalmuk 50 ppm alá csökkenjen (ezt Karl-Fischer titrálással ellenőrizték). A szárított mintákat keverős tárolóba tették, és adott hőmérsékletű vízben különböző ideig tárolták. A tartózkodási idő lejártá előtt egy perccel egy hidraulikus szivattyút bekapcsolva a mintát centrifugálszáritóba juttatták, és ott olyan viszonyokat állítottak be, hogy a felületi víz gyakorlatilag eltávozzon, majd a granulátumok belsejében levő vízmennyiséget három párhuzamos Karl-Fischer titrálással mérték. Amennyiben a három mérés során a nedvességtartalom szisztematikusan csökkent (pl. a nem teljesen eltávolított felületi víz párolgása miatt) az adott mérést nem vették figyelembe. Ha felületi víz van jelen, az a Karl-Fischer titrálás során is jelentkezik: ilyenkor a mérés elején igen gyors a víz koncentrációnövekedése. Ha viszont a granulátum belsejében megkötött víz van jelen, a víz felszabadulása és a titrálás lassú, mert időre van szükség a felmelegedéshez és a diffúzióhoz. Az így meghatározott vízfelvétel időfüggése a 2. ábrán látható.

Ezzel a módszerrel pontosan beállított, reprodukálható víztartalmú granulátumokat lehet előállítani, amelyekkel feldolgozási próbák végezhetők annak eldöntésére, hogy milyen hatással van a granulátum víztartalma a termék jellemzőire. *Ami az összes nedvességtartalmat (a felületi és térfogati nedvességtartalom összegét) illeti, mind a nedves granulálásnál, mind a hidraulikus szállításnál beállíthatók az optimális körülmények.* A víz hőmérsékletét lehetőleg alacsonyan kell tartani, hogy csökkentsék a vízfelvételt, másrészt a szárításnál lehetőleg minél magasabb granulátum-hőmérsékletet kell fenntartani, hogy a felületi víz minél jobb hatásfokkal távozzék el.

Szárítási feladatok farosttal töltött műanyagok gyártásakor és feldolgozásakor

Egyre népszerűbbek a természetes növényi rosttal töltött/erősített műanyagok, mindenekelett az ilyen poliolefinok. Gyártásukkor és feldolgozásukkor különös gondot kell fordítani arra, hogy ne legyen bennük a megengedettnél több víz. *Az első szárítást már az erősen nedvszívó töltőanyag bekeverése előtt el kell végezni. Ha pedig nem összefüggő gépsoron végzik a bekeverést*

és a feldolgozást, hanem a keverés után granulálnak, majd később külön lépésben dolgozzák fel a granulátumot, még kétszer kell használni a szárítót.



2. ábra
Polikarbonát granulátum vízfelvétele a tárolási idő függvényében, különböző hőmérsékleteken. (Mérés Karl-Fischer módszerrel)

A nedves farost előkészítése keveréshez

Farostot különböző formában, szálként, forgácsként, falisztként kevernek polietilénbe vagy polipropilénbe. Ezeknek az eltérő szemcseméret-eloszlású anyagoknak a víztartalma épp olyan eltérő, mint a küllemük (2. táblázat). A táblázat természetesen csak tájékoztató jellegű, mert az aktuális víztartalmak fafajtánként, feldolgozási módszertől függően stb. erősen ingadozhatnak, ezért csak az alsó és felső határokat érdemes megadni. A szárítást forgó csőke-mencében végzik, ennek megfelelő beállításával valamennyi típus nedvességtartalma erősen 1% alá csökkenthető. Ha a farostot egyszer jól kiszárították, zárt téri tárolás nélkül sem emelkedik a nedvességtartalma 5% fölé.

2. táblázat

Néhány farosttartalmú töltőanyag nedvességtartalma szárítás előtt és az első szárítás után

Farostfajta	Szárítás előtti átlagos nedvességtartalom, % m/m, (legnagyobb/ legkisebb érték)	Az első szárítás utáni nedvességtartalom, % m/m
Faliszt	16/9	<1
Faforgács	56/16	16-5/<1
Faőrlemény	16/5	<1/0,3

A csökemencében a szárítás időtartama a szemcsemérettől függően 5–9 perc. Még az 56% víztartalom 5% alá csökkentése sem tart tovább 9 percnél. A fa töltőanyagot különböző módszerekkel lehet bevinni a műanyagba. Az egyik lehetőség, hogy a faforgácsot vagy más töltőanyagot a műanyag granulátummal összekeverik, és a fröccsöntő gép csigájára bízzák a keverést. A másik lehetőség, hogy egy extruderben előre elkészítik a fával töltött PE vagy PP kompaundot, és azt fröccsöntik.

A fával töltött műanyag granulátumok szárítása

A fatartalmú granulátumokat előállításuk során kétszer kell szárítani: először a víz alatti granulálás után, másodszer közvetlenül a fröccsöntés előtt. *A granulálás után közvetlenül először mechanikus vízmentesítést, majd infravörös besugárzást alkalmaznak, ezek hatására a nedvességtartalom 16%-ról mintegy 5%-ra csökken. A fröccsöntés előtt ezt 0,3% alá viszik le.* (A számadatok tájékoztató jellegűek, a részletek eltérőek lehetnek). Maga a szárítás meglehetősen egyszerű. A víz alatti granulálás után először mechanikusan elválasztják a terméket a víztől, majd egy volumetrikus (térfogat szerinti) adagolón (pl. rázószítán) jut be a granulátum a szárítóba. A fröccsöntés előtti szárításnál ugyancsak volumetrikus adagolást alkalmaznak. Ilyen granulátumok szárítására jól bevált az infravörös forgókemence. Ez lényegében egy forgó cső, amelynek belsejébe a granulátumot továbbító spirált hegesztenek be, és ezt egészítik ki az infravörös hőszugárzók. A spirálra azért van szükség, hogy minden granulátum meghatározott ideig tartózkodjék a kemencében. Keverőelemekkel érik el azt, hogy minden granulátumszemcse egyenletesen, minden oldalon száradjon. Az IV-forrás hullámhosszát úgy kell megválasztani, hogy a sugárzás a granulátumok belsejébe is behatoljon, és ott megfelelő száradást eredményezzen. Ezt meglehetősen rövid hullámú, 1 µm alatti hullámhosszú sugárzással lehet elérni. A víz eltávozása elég gyors, mert a granulátum belseje az elnyelés miatt melegebb, mint a külseje. A cső forgási sebessége elég kicsi, általában 1–5 fordulat/min. Ezzel elkerülhető, hogy jelentős kopás és porképződés lépjen fel. Kismértékű porképződés egyébként nem okoz zavart, mert a lassú forgás megakadályozza a por felszállását, és az nem befolyásolja jelentősen a szárítást.

Dr. Bánhegyi György

Star, B.; Hustert, O.: Wasseraufnahme von der Herstellung bis zur Verarbeitung. = Kunststoffe, 94. k. 2. sz. 2004. p. 48–53.

Zilmann, S.O.: Wassermangel ist Pflicht. = KunststoffTrends, 3. sz. 2003. szept. p. 28–29.