

Heterogén polimer rendszerek szerkezete és tulajdonságai közötti összefüggések megállapítása egyszerű módszerekkel

Pukánszky Béla*

Bevezetés

A heterogén polimerek alkalmazása az elmúlt években rohamosan nőtt, a fejlődés üteme lényegesen meghaladta a tömegműanyagokét annak ellenére, hogy azoké is jelentős volt. Ezeknek az anyagoknak a sikerét elsősorban a módosítási lehetőségek rendkívül nagy változatosága eredményezte és az, hogy a komponensek típusának és mennyiségének helyes megválasztásával kedvező tulajdonság/ár viszonyok alakíthatók ki. A heterogén polimerek alkalmazása azonban gyakran problémák forrása is lehet, a termelékenység, a termék minősége időről időre szinte megmagyarázhatatlanul változhat. Ezeknek a problémáknak az eredete általában az ilyen anyagok bonyolult, többfázisú szerkezetében keresendő. A szerkezet-tulajdonság viszonyok gyors és egyszerű megállapítása, a tulajdonságokat meghatározó legfontosabb tényezők megállapítása tehát nagyon fontos a gyakorlati szakemberek számára is.

A keverékek, a töltőanyagot tartalmazó polimerek és a szálerősítésű kompozitok esetében létezik néhány közös tényező, ami mindhárom rendszer tulajdonságainak meghatározásában fontos szerepet játszik. A társított polimerek közös jellemzője, hogy általában többkomponensű és többfázisú rendszerek. Esetenként elegyíthető polimerek keverékeiből is készülő kereskedelmi termék, azonban ezek száma elenyészően kicsi. Kereskedelmi termék például a PC/ABS keverék (Bayblend), ami két-komponensű, háromfázisú anyag. A polikarbonát fázis mellett az ABS maga is kétfázisú, a polibutadién és a SAN külön fázist képez. Az autópárházban többek között lökhárítót készítenek PP, EPDM elasztomer és töltőanyag keverékéből. Ezek háromkomponensű, négyfázisú kompozitok, a polipropilén kristályos és amorf fázisa mellett a PP mátrixban külön fázist képez a töltőanyag és az elasztomer is. Így érthető, hogy a heterogén szerkezetű társított polimereknél a szerkezet hatása döntő, és a fejlesztés egyik kulcskérdése a szerkezet-tulajdonság összefüggések meghatározása.

A szerkezet mellett a többkomponensű, többfázisú rendszerek jellemzőit egy további tényező is jelentősen befolyásolja, mégpedig a komponensek közötti kölcsönhatás. A kölcsönhatás erőssége széles tartományban változhat és az alkalmazás, az igénybevétele körülményei határozzák meg, hogy az erős vagy a gyenge kölcsönhatás e a kedvezőbb. A kölcsönhatás jelentőségét mutatja, hogy a társított polimerek előállításának egyik kulcskérdése a kölcsönhatások módosítása, optimális értékre történő beállítása. Ez a töltőanyagot tartalmazó és a szálerősítésű kompozitokban a töltőanyag felületkezelésével, a keverékeknel összeférhetőség javító anyagok, fázisközvetítők adagolásával történik.

Az irodalomban a három anyagtypust, a keverékeket, a töltőanyagot tartalmazó és az erősített polimereket általában külön kezelik és tárgyalják. Viselkedésükben és a tulajdonságaikat meghatározó tényezőkben azonban számos hasonlóság található. Az anyag tulajdonságait minden esetben négy tényező határozza meg:

- a komponensek jellemzői,
- az összetétel,
- a szerkezet,
- a határfelületi kölcsönhatások.

*Prof. Dr.; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műanyag- és Gumiipari Tanszék, 1521 Budapest, Pf. 92. És MTA Kémiai Kutatóközpont, Kémiai Intézet, 1525 Budapest, Pf. 17.

Természetesen különbségek is vannak a háromféle polimer rendszer között. A keverékek esetében a kölcsönhatást az elegyíthetőség határozza meg, a töltött rendszereknél a másodlagos erők; a keverékeknel végbe-megy fázis inverzió, a töltőanyagot tartalmazó polimereknél nem stb. Ennek ellenére az általános törvényszerűségek felismerése és alkalmazása rendkívül fontos és nagyban segíti új anyagok kifejlesztését.

Amikor az említett anyagok szerkezet-tulajdonság összefüggéseire gondolunk gyakran azt hisszük, hogy azok csak bonyolult módszerekkel, nagy értékű műszerek segítségével állapíthatók meg. Ez gyakran így is van, de sokszor a rendelkezésünkre álló egyszerű módszerekben rejlő lehetőségeket sem használjuk ki kellően. A legtöbb műanyagokkal foglalkozó laboratóriumban található szakítógép és rutinszerűen határozzák meg velük az anyagok modulusát és szakítási jellemzőit. Ugyancsak majdnem mindenütt rendelkezésre áll az ütohájlító szilárdság meghatározására alkalmas berendezés is. Meglepő módon ezek segítségével rengeteg értékes információhoz juthatunk a heterogén polimerek szerkezetét és tulajdonságait meghatározó tényezőkre vonatkozóan. Többnyire elég a kísérletek megfelelő tervezése, egy egyszerű modell alkalmazása, esetleg néhány kiegészítő mérés elvégzése ahhoz, hogy értékes információkhoz jussunk az általunk használt anyagokról. Ezt szeretnénk itt néhány egyszerű példán bemutatni. Tekintettel a területi korlátokra a példák elsősorban a töltőanyagot tartalmazó polimerekre és azoknak a szakítási jellemzőire korlátozódnak. Nem foglalkozunk a polimer keverékekkel és a szálerősítésű kompozitokkal, illetve a törési jellemzőkkel, bár az itt ismertetett elvek azokra is érvényesek.

A modell

Két komponens összekeverésével teljesen új anyagot hozunk létre, melynek minden tulajdonsága különbözik az alkotókéitól. A társított anyagok tulajdonságainak függése az összetételtől rendkívül fontos a gyakorlat szempontjából. A kívánt hatás, pl. a merevség vagy az ütésállóság növekedése nyilvánvalóan arányos a társító anyag mennyiségével. Ugyanakkor a többi jellemző nem okvetlenül változik a kívánt irányba, sőt gyakran egyes jellemzők romlása figyelhető meg. A sikeres fejlesztéshez nyilvánvalóan a különböző tulajdonságok optimalizálása szükséges. Ennek megfelelően számos kísérlet történik a tulajdonságok előrejelzésére, összetétel-függésük modellezésére.

A rugalmassági modulus leírására nagyon sok modell ismert. Ennek oka az, hogy az esetek többségében a Hooke-törvény alkalmazható, azaz a modell viszonylag egyszerűen kezelhető matematikailag. Ebben a munkában nem foglalkozunk a modulus leírására szolgáló modellekkel, ezek a szakirodalomban megtalálhatók [1, 2]. A merevség ugyanis csak kismértékben függ a bevezetőben felsorolt két tényezőtől: a szerkezettől és a határfelületi kölcsönhatásoktól, bár ezek a társított rendszer néhány, a gyakorlatban fontos tulajdonságát, így a szakítási jellemzőket és a törési ellenállást jelentősen befolyásolják. Meg kell jegyeznünk, hogy még a legjobb és a modulus összetétel-függésének leírására a gyakorlatban leginkább alkalmazott modellek is számos bizonytalanságot tartalmaznak, alkalmazásuknál nagy óvatossággal kell eljárni [3]. Ebben a közleményben elsősorban a nagy deformációknál mért jellemző, a folyási (nyakképződési) feszültség (a szakítógörbe első maximuma), a szakítószilárdság, illetve a törési ellenállás leírására alkalmas modellekre koncentrálnak.

A folyási feszültség modellezésére leggyakrabban használt összefüggés Nicolais és Narkis [4] nevéhez fűződik, bár Ishai és Cohen [5] egyenlete ezzel gyakorlatilag megegyezik. Nicolais és Narkis felté-

telezte, hogy a töltőanyag jelenléte csökkenti a mátrix hatásos keresztmetszetét, ami a terhelést viseli külső igénybevétel esetén. Feltételezve a részecskék bizonyos elrendeződését a mátrixban kiszámították ezt a keresztmetszetet, ebből pedig a folyási feszültség összetételfüggését

$$\sigma_y = \sigma_{y0} (1 - 1.21 \varphi_f^{2/3}) \quad (1)$$

ahol σ_y és σ_{y0} a kompozit és a mátrix folyási feszültsége, φ_f pedig a társító anyag térfogattörtje. Az összefüggés azonban nulla mátrix keresztmetszetet eredményez $\varphi_f < 1$ értéknél, ami természetesen nem lehet igaz. Még az az érv sem elfogadható, hogy a mátrix folytonosságának megszűnése 0 folyási feszültséget eredményez, hiszen a minták folyás nélkül törnek el már a maximálisan adagolható töltőanyag mennyiségénél, azaz φ_f^{max} -nál, sokkal kisebb töltőanyag tartalomnál is. Ebben a tartományban az összefüggés egyáltalán nem alkalmazható. A modell nem veszi figyelembe a feszültségkoncentráció hatását, a kölcsönhatás vagy bármilyen más a folyási feszültséget befolyásoló tényezőket sem.

Az említett egyszerűsítések következtében gyakran jelentős eltérés mutatkozik a számított és a mért értékek között. Ezért a modellt gyakran módosítják; a részecskék különböző elrendezését [1], a feszültségkoncentrációt stb. általában az egyenlet paramétereinek megváltoztatásával, vagy egyéb tényezők bevezetésével veszik figyelembe. Egyes szerzők azt állítják [6,7], hogy a feszültségkoncentráció hatása figyelembe vehető azzal, hogy egy új, illeszthető paramétert helyettesítenek az egyenlet állandója (1.21) helyébe. Az egyenlettől való eltérés azonban minden esetben pozitív, ami nem magyarázható a feszültségkoncentrációval, mi több ez utóbbi nem függ a részecskék méretétől, míg a folyási feszültség igen. Esetenként ugyanezt a paramétert a töltőanyag/mátrix kölcsönhatással hozzák kapcsolatba [8]; látható tehát, hogy az összefüggés komoly korlátokkal rendelkezik.

Az általunk kidolgozott modell hasonló módon közelíti meg a hatásos mátrix keresztmetszet kérdését, de egy eltérő összefüggést használ annak leírására és figyelembe veszi a határfelületi kölcsönhatásokat is [9]

$$\sigma_y = \sigma_{y0} \frac{1 - \varphi_f}{1 + 2.5\varphi_f} \exp(B_y \varphi_f) \quad (2)$$

ahol B_y a komponensek relatív teherhordó képességét, azaz kölcsönhatását kifejező paraméter. Egy részletes analízis megmutatta, hogy B_y egyaránt függ az érintkező felületek nagyságától és a kölcsönhatás erősségétől. A fenti mennyiségek közötti összefüggés az alábbi módon adható meg:

$$B_y = (1 + A_f \rho_f \ell) \ln \frac{\sigma_{yi}}{\sigma_{y0}} \quad (3)$$

ahol A_f és ρ_f a töltőanyag fajlagos felülete és sűrűsége, míg ℓ és σ_{yi} a határréteg vastagsága és folyási feszültsége.

A modell érvényessége könnyen ellenőrizhető. Amennyiben az összefüggést átrendezzük és az effektív teherhordó keresztmetszet hatását kiküszöböljük, az alábbi módon kifejezhetjük a redukált illetve relatív folyási feszültséget:

$$\sigma_{yred} = \sigma_y \frac{1 + 2.5\varphi_f}{1 - \varphi_f} = \sigma_{y0} \exp(B_y \varphi_f) \quad (4)$$

$$\sigma_{yrel} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{y0}} \cdot \frac{1 + 2.5\varphi_f}{1 - \varphi_f} = \exp(B_y \varphi_f) \quad (5)$$

Amennyiben bármelyik mennyiség természetes alapú logaritmusát a társítóanyag térfogattörtje függvényében ábrázoljuk egyenest kell kapnunk, melynek meredeksége a B_y paraméter, azaz

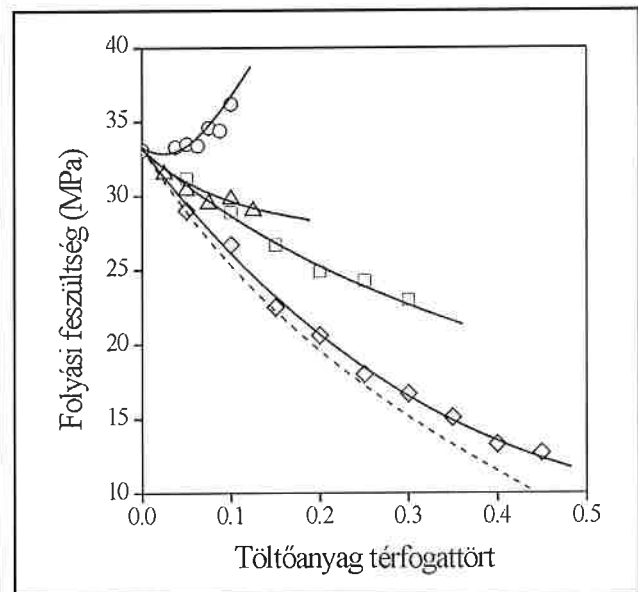
$$\ln \sigma_{yred} = \ln \sigma_{y0} + B_y \varphi_f \quad (6)$$

Az összefüggés megfelelő módosításokkal alkalmazható a szakítószilárdság [10] és a törési jellemzők [11], a szabványos ütohájlító szilárdság (a_n), a kritikus repedésterjesztési tényező (G_{Ic}) és a kritikus feszültségintenzitási tényező (K_{Ic}) összetételfüggésének leírására is. Érvényesnek bizonyult számos töltőanyagot tartalmazó kompozit és polimer keverék esetén, és számos esetben alkalmazták a legkülönbözőbb tár-

sított polimerek tulajdonságainak vizsgálatára [12-28]. Ellentétben a korábbi megoldásokkal, a modell figyelembe veszi a heterogén polimerek tulajdonságait befolyásoló összes tényezőt, az összetételt (φ_f), a komponensek jellemzőit (σ_{y0} , A_f) és a kölcsönhatást (B_y) is. A szerkezetre vonatkozóan a társítóanyag homogén eloszlását tételezi fel egy folytonos mátrixban. Amennyiben a szerkezet ettől eltér (aggregáció, orientáció, egymásba hatoló hálószerkezet) a tulajdonságok 6. egyenlet szerinti ábrázolása nem egyenes, azaz közvetve a szerkezetre vonatkozó információkhoz is juthatunk. A következő szakaszban bemutatjuk a modell alkalmazását és azt, hogy az mennyiben tükrözi néhány fontos tényezőnek a töltőanyagot tartalmazó kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatását.

A modell alkalmazása

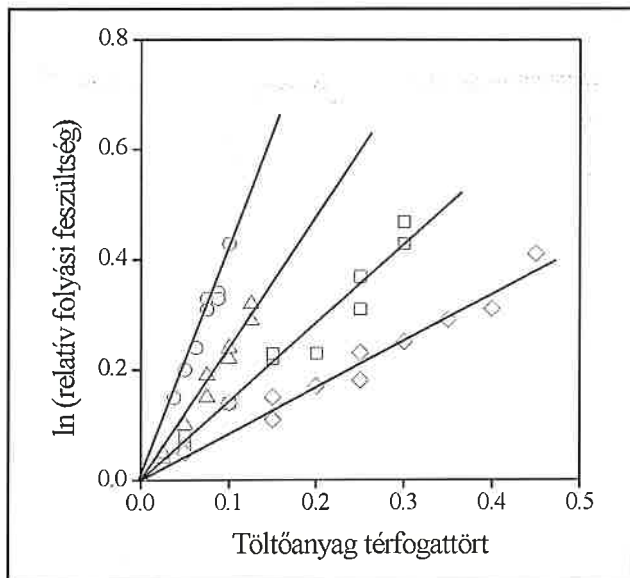
Az 1. ábrán különböző szemcseméretű, így fajlagos felületű töltőanyagokat tartalmazó PP kompozitok folyási feszültségét ábrázoltuk az összetétel függvényében. A kompozitok tulajdonságait meghatározó egyik fontos tényező a határfelületi kölcsönhatás. Ez függ a kölcsönhatás erősségétől és az érintkező felületek nagyságától, amit viszont a fajlagos felület határoz meg. Ez a mennyiség explicit is szerepel az összefüggésekben (ld. 3. egyenlet). A fajlagos felület növekedésével a határfázisban kötött polimer mennyisége nő [29]. A megkötött, demobi-



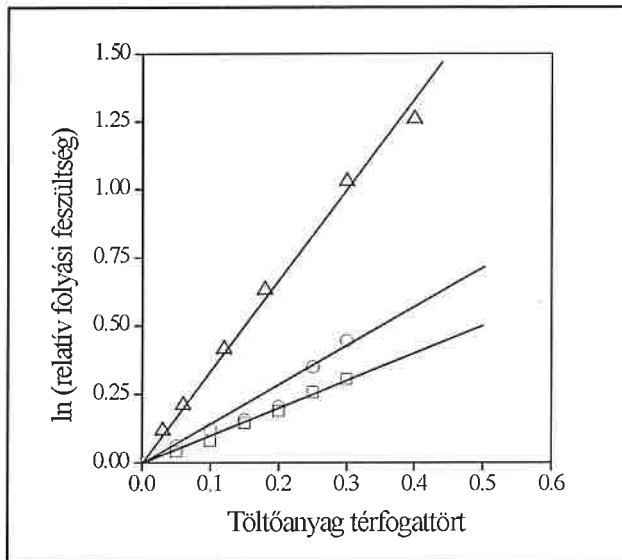
1. ábra. Különböző fajlagos felületű töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok folyási feszültségének függése az összetételtől. Fajlagos felület: (O) 200 m²/g, (Δ) 16,5 m²/g, (□) 3,3 m²/g, (◇) 0,5 m²/g.

lizált polimer merevsége és folyási feszültsége is nagyobb, mint a mátrixé, így a kompozit folyási feszültsége is nő. A modell érvényességét bizonyítja a 2. ábra, melyen az 1. ábra adatait ábrázoltuk linearizált formában. A relatív folyási feszültség logaritmusai minden esetben egyenest ad az összetétel függvényében és az egyenesek növekvő meredeksége a töltőanyagok fajlagos felületének különbségeit tükrözi, azaz az érintkező felületek nagyságát.

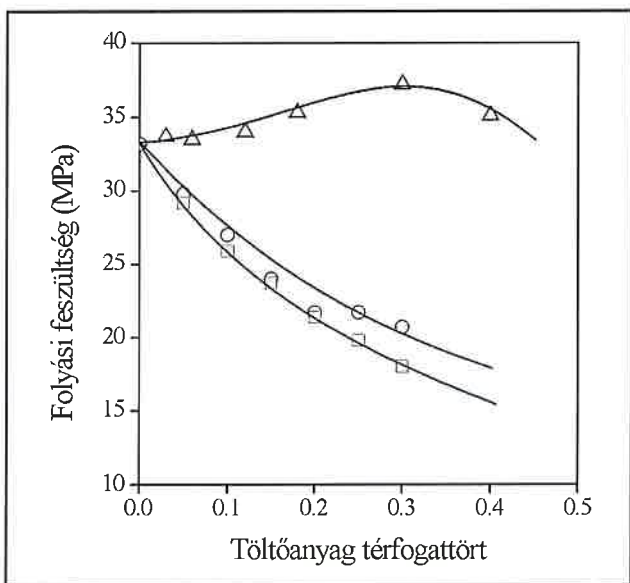
A kölcsönhatás erőssége felületkezeléssel módosítható. Ha PP/CaCO₃ kompozitokhoz maleinsav anhidriddel módosított polipropilént (MAPP) adunk, a fázisok közötti adhézió erősebb lesz. Az anhidrid csoportok ionos kötést alakítanak ki a felülettel, míg a PP láncok interdiffúziója a mátrix polimerrel fizikai térháló kialakulását eredményezi. Ez utóbbi lehetővé teszi a feszültségátvitelt, a határfelületek elválása később következik be, a folyási feszültség nő. A gyakorlatban a krétát általában sztearinsavval felületkezelik. A kezelés célja a töltőanyag aggregációs hajlamának csökkentése. Hatására a töltőanyag felületi feszültsége csökken, ami a szemcsék közötti kölcsönhatás gyengülését ered-



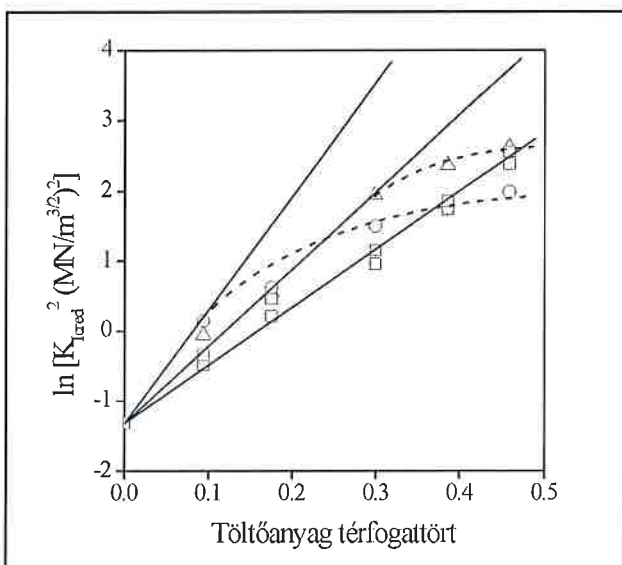
2. ábra. Az 1. ábra adatai az 1-6 egyenletek szerinti lineáris ábrázolásban. A határfelületi kölcsönhatás mennyiségi értékelése. B értékek: (O) 4,18, (Δ) 2,60, (□) 1,45, (◇) 0,80.



4. ábra. A 3. ábra adatai lineáris ábrázolásban. B értékek: (O) 3,40, (Δ) 1,47, (□) 1,03.



3. ábra. A határfelületi kölcsönhatás módosítása PP/CaCO₃ kompozitokban, a folyási feszültség változása a kölcsönhatással. Kezelés: (O) kezeletlen, (Δ) MAPP, (□) sztearinsav.



5. ábra. Az aggregáció hatása üvegyönggyel módosított epoxi gyanta kompozitok törési ellenállására. Szemcseméret: (□) 62 és 47 mm, (Δ) 32 mm, (O) 4,5 mm.

ményezi. A szemce/szemce kölcsönhatás gyengülése mellett azonban a polimer és a töltőanyag közötti kölcsönhatás erőssége is csökken, a határfelületek elválása könnyebb lesz, a folyási feszültség csökken. Ezeket az állításokat messzemenően alátámasztja a 3. ábra, ahol különböző módon kezelt töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok folyási feszültségét mutatjuk be az összetétel függvényében. MAPP adagolása valóban növeli, míg a sztearinsavval végzett felületkezelés csökkenti a kölcsönhatást, a folyási feszültséget. A kölcsönhatás változása mennyiségileg is kifejezhető a modell segítségével, mint ahogy azt a 4. ábra mutatja. Ismét mindhárom esetben egyenest kapunk, melyek meredeksége tükrözi a határfelületi adhézióban mutatkozó különbségeket.

A továbbiakban a modell alkalmazását és alkalmazhatóságát egy egész más jellemzőn és anyagon mutatjuk be. A térhálós gyantákat gyakran társítják töltőanyagokkal és az így kapott kompozit törési ellenállása nagyon fontos a gyakorlat szempontjából. Szakirodalomban [30,31] közölt adatokat ábrázoltunk az 5. ábrán a modell szerinti linearizált formában. Az üveggömbökkel társított epoxi gyanta redukált törési ellenállása, a kritikus feszültségintenzitási tényező természetes logarit-

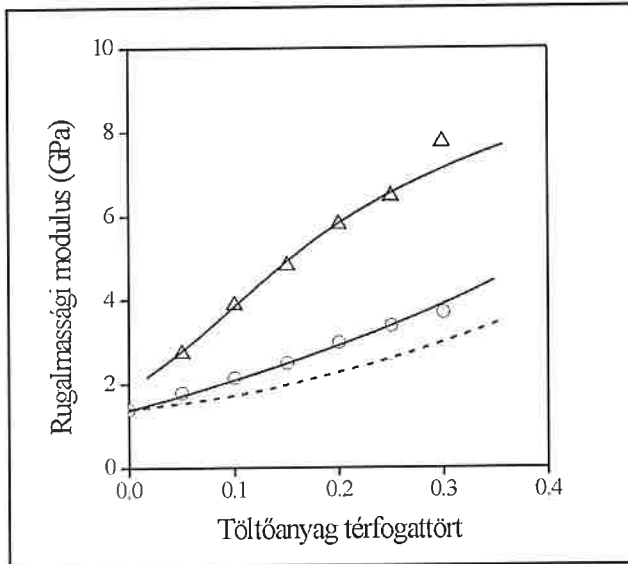
musa nagy szemcseméretnél itt is egyenest ad az összetétel függvényében. A szemcseméret csökkenésével azonban az eltérés a lineáristól egyre nagyobb, ami aggregáció megjelenésével és hatásának növekedésével magyarázható. Az epoxi gyanta készítése, a komponensek összekeverése során a nyíróerők kicsik, nem képesek megszüntetni az aggregációt. Természetesen a jelenség a töltőanyag mennyiségének növekedésével egyre jelentősebb lesz. Az aggregáció megjelenik már 32 mm szemcseméretnél és 4,5 mm-nél dominálóná válik. Az aggregáció hatását más esetekben is egyértelműen bizonyítani tudtuk [32]. Ezek az eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy egyszerű modellünk a szerkezet felderítésére is alkalmas.

A B paraméter mutatja a kölcsönhatás mértékét, de függ az összes olyan tényezőtől is, ami befolyásolja a folyási feszültség és a többi modellezett mennyiség értékét, mint pl. göcképzés következtében változó mátrix tulajdonságok, a feszültségkoncentráció hatása, a töltőanyag anizotrópiája és orientációja stb. Ha ezek egyidejűleg jelentkeznek, hatásuk nem választható szét. Mint ahogy azt ebben a szakaszban bemutattuk, a modell segítségével sok tényező hatása vizsgálható, a töltőanyag szemcsemérete [9], a mátrix tulajdonságai [9], a felületkezelés hatása [33], és megbecsülhető vele a határréteg vastagsága is [33]. A további-

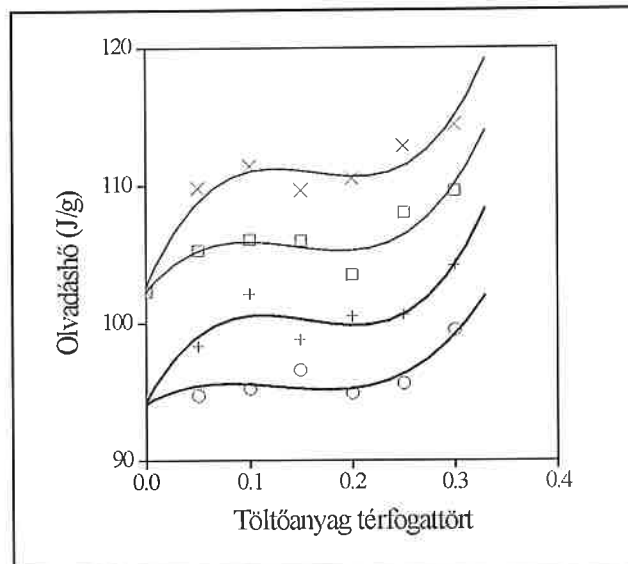
akban két példát mutatunk be, melyek bizonyítják, hogy egyszerű mechanikai mérésekkel, szakítóvizsgálattal értékes információkhoz juthatunk a társított anyagunk szerkezetére és az azt meghatározó tényezőkre vonatkozóan.

Gócképzés és anizotrópia

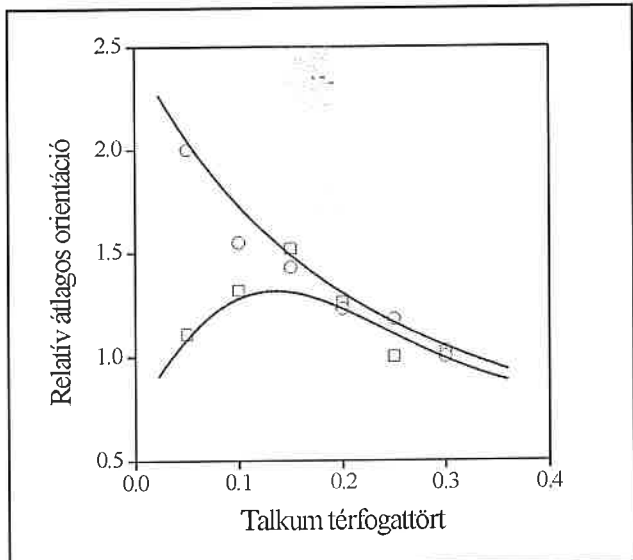
A gyakorlatban a társítás sohasem az alap polimer egyetlen tulajdonságát változtatja meg, egyidejűleg több szerkezeti tényező is hat. Ezek hatásának elkülönítése, a legfontosabb tényező kiválasztása nagyon nehéz, holott ez mind gyakorlati, mind pedig elméleti szempontból fontos. Ebben a szakaszban a töltőanyag szemcseszerkezetének és gócképző hatásának szerepét vizsgáljuk meg, ezen keresztül szeretnénk bemutatni az említett összefüggéseket. A 6. ábrán CaCO_3 töltőanyagot és talkumot tartalmazó kompozitokból készült fröccsöntött próbatestek modulusának összetételüggését mutatjuk be. Összehasonlításképpen megadjuk a Lewis-Nielsen-egyenlettel [1] számolt elméleti összefüggést is. Ez viszonylag jól egyezik a CaCO_3 tartalmú kompozit adataival, de a talkumot tartalmazónál az eltérés jelentős. Figyelemreméltó az is, hogy az



6. ábra. A töltőanyag típusának és mennyiségének hatása fröccsöntött PP kompozitok merevségére. Jelölések: (Δ) talkum, (O) CaCO_3 , - - - Lewis-Nielsen-modell [1].



7. ábra. Különböző töltőanyagot tartalmazó fröccsöntött PP kompozitok olvadáshőjének összetételüggése. Jelölések: (x, +) talkum, (\square , O) CaCO_3 , (+, O) első fűtés, (x, \square) második fűtés.

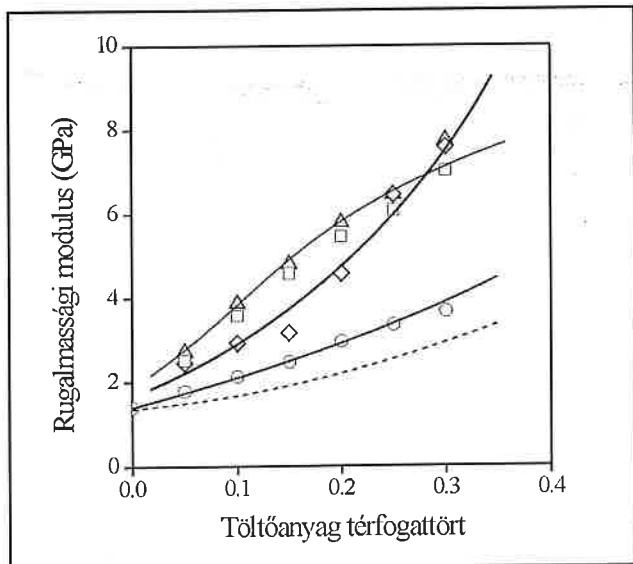


8. ábra. Préselt és fröccsöntött PP/talkum kompozitok ESR spektroszkópiával meghatározott relatív orientációjának függése az összetételtől. (O) préselt, (\square) fröccsöntött.

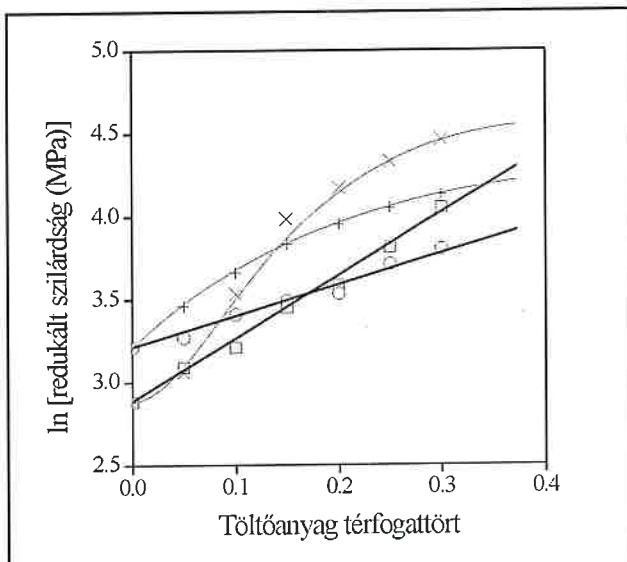
utóbbi esetben az összetételüggés alakja sem felel meg az elmélet által jelzettnek. Kézenfekvő az eltérések magyarázatát a különböző szerkezeti hatásokban keresni. A fröccsöntés jelentősen befolyásolja a mátrix polimer szerkezetét, a lemezes szerkezetű, anizotróp talkum orientálódik és gócképző hatása is van. Kérdés, hogy ezek közül melyik milyen mértékben befolyásolja a kompozit tulajdonságait.

A kristályos polimerek kristályosságja foka termikus analízissel meghatározható, arányos a polimer olvadási, illetve kristályosodási hőjével. A 7. ábrán a kompozitok olvadáshőjét ábrázoltuk az összetétel függvényében. A mintákat két fűtési és hűtési ciklusban vizsgáltuk. Az első fűtés felvilágosítást ad a fröccsöntéssel előállított próbatest kristályosságára, míg a második a töltőanyag hatására vonatkozóan. Az ábrázolt mennyiségeknél figyelembe vettük a töltőanyag jelenlétét, azaz a kristályosság csak a mátrixra és nem a teljes kompozitra vonatkozik. A fröccsöntött próbatest kristályossága lényegesen kisebb, mint a $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{perc}$ sebességgel hűtött mintáé, ami az eltérő kristályosodási feltételek következménye. A talkum erős gócképző hatása a kristályosság növekedését eredményezi és a kristályos fázis mennyisége függ az összetételtől is. Anizotróp töltőanyagok orientációja jelentős mértékben befolyásolja a velük készített kompozitok mechanikai jellemzőit. Az orientációval párhuzamosan a merevség és a szilárdság nő, míg arra merőlegesen általában csökken. Ezt az erősítő hatást használják ki a talkum, de különösen a rövid és hosszú szálak alkalmazása során. Az anizotróp töltőanyag orientációja többféle módszerrel határozható meg, többek között ESR spektroszkópiával is [34]. A fröccsöntéssel, illetve préseléssel készült próbatestek átlagos orientációját a 8. ábrán láthatjuk. Világos, hogy nemcsak a kristályosság, hanem az orientáció is változik az összetétel függvényében. Természetesen sem a gócképző hatás, sem pedig az orientáció nem jelentős tényező a CaCO_3 esetében.

A két hatás elkülönítése érdekében a mért adatokat korrigáltuk a változó kristályosság és orientáció mértékével. Mindkét esetben a legkisebb értéket tekintettük referenciának és ehhez viszonyítottuk a változásokat. A mért modulus elosztottuk ezzel a relatív kristályossággal, illetve orientációval; a korrigált adatokat a 9. ábrán tüntettük fel. Az eredmények azt mutatják, hogy a mátrix kristályosságában bekövetkező változások hatása másodlagos, viszont a töltőanyag orientációja jelentősen befolyásolja a modulus értékét; a korrekció eredményeképpen az elméletihez hasonló összetételüggést kaptunk. A nagy modulus értékeket és az eltérést az elméleti összefüggéstől a töltőanyag orientációja okozza, hiszen a relatív értékek alkalmazásával csak az orientációváltozást vettük figyelembe és nem az orientáció abszolút értékét, annak erősítő hatását.



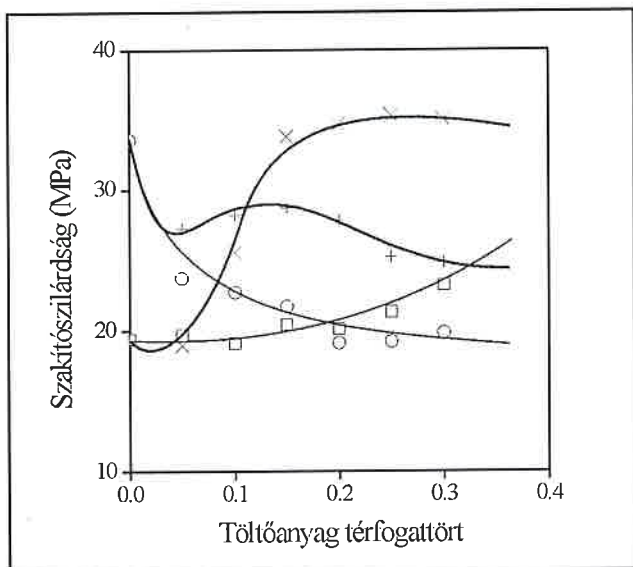
9. ábra. A 6. ábrán bemutatott kompozitok kristályossággal és orientációval korrigált merevsége. Új jelölések: (□) PP/talkum, kristályossággal korrigált modulus, (○) orientációval korrigált merevség.



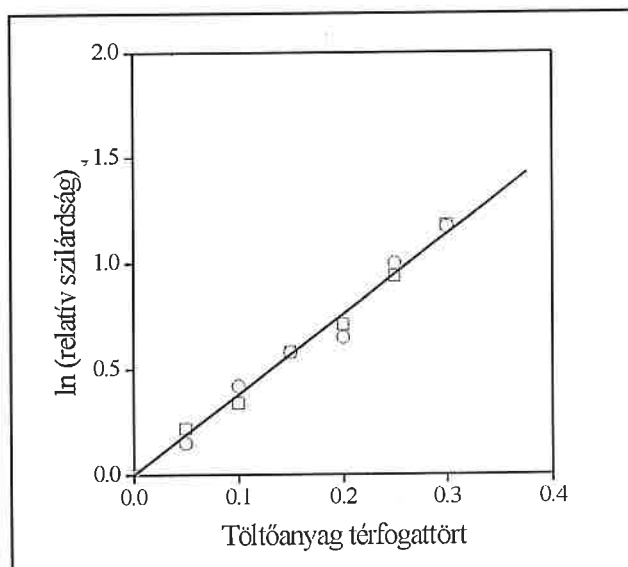
11. ábra. A 10. ábrán bemutatott kompozitok redukált szilárdságának összetétel-függése. A szerkezet hatása. A jelöléseket ld. a 10. ábrán.

Technológia, feldolgozás

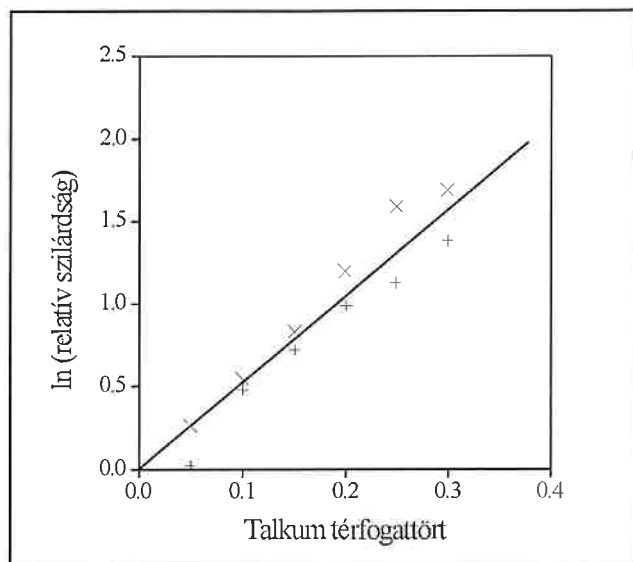
Második példánkban a feldolgozási technológia hatását szeretnénk szemléltetni. A 10. ábrán a talkumot, illetve CaCO₃ töltőanyagot tartalmazó kompozitokból fröccsöntéssel és préseléssel készült próbatetek szilárdságának összetétel-függését hasonlítjuk össze. Látható, hogy a fröccsöntött próbatetek tulajdonságai a legtöbb összetételnél lényegesen jobbakként, mint a préselt lemezeké és különösen vonatkozik ez a talkumot tartalmazó polimerre. Itt az előző szakaszban tárgyalt tényezők, a töltőanyag anizotrópiája és göcképző hatása mellett jelentős szerepe van a két feldolgozási mód eltérő nyírási és hűtési viszonyainak is. A fröccsöntés során a nyírás általában nagyobb, mint préselésnél és a hűtés során tipikus mag-héj szerkezet alakul ki. A jelentős mértékben eltérő tulajdonságokat okozhatja a feldolgozási technológia különbsége, a töltőanyag aggregációja, az anizotróp töltőanyag orientációja vagy a talkum göcképző hatása. Az ábrán bemutatott primer adatok alapján azonban ezt a kérdést nem lehet eldönteni, nem tudjuk kiválasztani a meghatározó tényezőt vagy tényezőket.



10. ábra. Talkumot, illetve krétát tartalmazó, fröccsöntéssel és préseléssel előállított próbatetek szakítószilárdságának összetétel-függése. A feldolgozás hatása. Jelölések: (x, +) talkum, (□, ○) CaCO₃, (x, □) fröccsöntés, (+, ○) préselés.



12. ábra. Fröccsöntött és préselt PP/CaCO₃ kompozitból készült próbatetek relatív szilárdsága az összetétel függvényében.



13. ábra. Fröccsöntött és préselt PP/talkum kompozitokból készült próbatetek orientációval korrigált relatív szórásának összetétel-függése.

lárságnál is figyelembe vehető. A korrigált értékek relatív formában történő ábrázolása (13. ábra) azt mutatja, hogy az orientáció valóban döntő tényező a kompozitok tulajdonságainak meghatározásában. A nagyobb szórást az átlagos orientáció pontatlan meghatározása, valamint az orientáció abszolút értékének figyelmen kívül hagyása okozza. Az is kérdéses ebben az esetben, hogy az átlagos orientáció megfelelően jellemzi-e egyáltalán a töltőanyag orientációjának hatását. Feltehető, hogy a párhuzamosan rendezett és a véletlenszerűen elhelyezkedő szemcsék különböző hatást gyakorolnak a makroszkopikus tulajdonságokra. A bizonytalanságok ellenére az összefüggés meglepően jó és megfelelően mutatja kompozitok tulajdonságait befolyásoló legfontosabb tényezők hatását.


Összefoglalás

A társított polimerek felhasználásának növekedésével a feldolgozás vagy az alkalmazás során számos probléma merülhet fel, melyek egy részét szerkezeti hatások okozhatják. A hagyományos módon elvégzett minőségellenőrzési módszerek általában nem adnak felvilágosítást a problémák okára, illetve a társított rendszer szerkezetére vonatkozóan. Megfelelően tervezett egyszerű kísérletek elvégzésével és kiértékelésével értékes információkhoz juthatunk a heterogén szerkezetű, társított polimer rendszerek szerkezetéről és tulajdonságairól. Egyszerű modellek alkalmazásával a legtöbb tényező hatása mennyiségileg is kifejezhető.

Irodalom

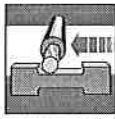
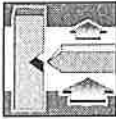

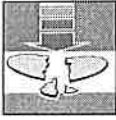
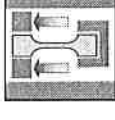



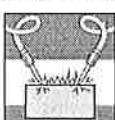

- Nielsen, L.E.: *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, Marcel Dekker, New York, 1974
- McGee, S., McCullough, R.L., *Polym. Compos.* **2**, 149 (1981)
- Pukánszky, B., in *Polypropylene: Structure, Blends and Composites*, ed. Karger-Kocsis, J., Chapman and Hall, London, 1995, vol. 3, p. 1
- Nicolais, L., Narkis, M., *Polym. Eng. Sci.* **11**, 194 (1971)
- Ishai, O., Cohen, L.J., *J. Compos. Mater.* **2**, 302 (1968)
- Maiti, S.N., Mahapatra, P.K., *J. Appl. Polym. Sci.* **42**, 3101 (1991)
- Nicolais, L., Nicodemo, L., *Intern. J. Polym. Mater.* **4**, 229 (1974)
- Mitsuiishi, K., Kodama, S., Kawasaki, H., *Polym. Eng. Sci.* **25**, 1069 (1985)
- Pukánszky, B., Turcsányi, B., Tüdős, F. in *Interfaces in Polymer, Ceramic, and Metal Matrix Composites*, ed. Ishida, H., Elsevier, New York, 1988, p. 467
- Pukánszky, B., *Composites* **21**, 255 (1990)
- Pukánszky, B., Maurer, F.H.J., *Polymer* **36**, 1617 (1995)
- Varga, J., *J. Polym. Eng.* **1**, 231-251 (1991)
- Jancar, J., *J. Mater. Sci.* **26**, 4123-4129 (1991)

- Felix, J.M., Gatenholm, P., *J. Appl. Polym. Sci.* **50**, 699-708 (1993)
- Bazhenov, S., Li, J.X., Hiltner, A., Baer, E., *J. Appl. Polym. Sci.* **52**, 243-254 (1994)
- Svehlova, V., Poloucek, E., *Angew. Makromol. Chem.* **214**, 91-99 (1994)
- Chodak, I., Chorvath, I., Seidler, S., Janigova, I., Radusch, H.J., *J. Macromol. Sci.* **A31**, 1455 (1994)
- Hancock, M. in *Particulate-Filled Polymer Composites*, ed. Rotheron, R., Longman, 1995, Ch. 8, p. 294
- Bicerano, J., Brewbaker, J.L., *J. Chem. Soc. Faraday T* **91**, 2507-2513 (1995)
- Guerrica-Echevarria, G., Eguiazabal, J.I., Nazabal, J., *J. Appl. Polym. Sci.* **73**, 1805-1814 (1999)
- Nabi, Z.U., Hashemi, S., *J. Mater. Sci.* **33**, 2985-3000 (1998)
- Stricker, F., Mulhaupt, R., *Polym. Eng. Sci.* **38**, 1463-1470 (1998)
- Marosi, G., Tohl, A., Bertalan, G., Anna, P., Maatoug, M.A., Ravadits, I., Bertoli, I., Tohl, A., *Compos. Part A-Appl. S.* **29**, 1305-1311 (1998)
- Lucic, S., Kovacevic, V., Hace, D., *Int. J. Adhes. Adhes.* **18**, 115-123 (1998)
- Liang, J.Z., Li, R.K.Y., Tang, C.Y., Wong, T.T., *Met. Mater.-Korea (Seoul)* **4**, 265-268 (1998)
- Sanchez, C.G., Alvarez, L.A.E., *Angew. Makromol. Chem.* **272**, 65-70 (1999)
- Levresse, P., Manas-Zloczower, I., Feke, D.L., Bomal, Y., Bortzmeyer, D., *Powder Technol.* **106**, 62-70 (1999)
- Sahnoune, F., Lopez-Cuesta, J.M., Crespy, A., *J. Mater. Sci.* **34**, 535-544 (1999)
- Vörös, G., Fekete, E., Pukánszky, B., *J. Adhesion* **64**, 229-250 (1997)
- Spanoudakis, J., Young, R.J., *J. Mater. Sci.* **19**, 473 (1984)
- Spanoudakis, J., Young, R.J., *J. Mater. Sci.* **19**, 487 (1984)
- Fekete, E., Kim, G.-M., Michler, G.H., Pukánszky, B., *J. Macromol. Sci. Phys.* **B38**, 885-899 (1999)
- Pukánszky, B., Fekete, E., Tüdős, F., *Makromol. Chem., Macromol. Symp.* **28**, 165 (1989)
- Rockenbauer, A., Jókay, L., Pukánszky, B., Tüdős, F., *Macromolecules* **18**, 918 (1985)



VIZSGÁLÓBERENDEZÉSEK

a műanyagok mechanikai és fizikai jellemzőinek a meghatározásához:

	<p>– minta-előkészítő kisgépek</p>	
	<p>– ingás és ejtősúlyos ütőművek (igény szerint felszerszámozva és műszerezve)</p>	
	<p>– folyásindex-mérők, reométerek</p>	
	<p>– HDT- és Vicat-hőmérsékletmérők</p>	
	<p>– berendezések a villamos, a tűz- és hőállósági jellemzők méréséhez</p>	

a TESTOR Kft.-től