

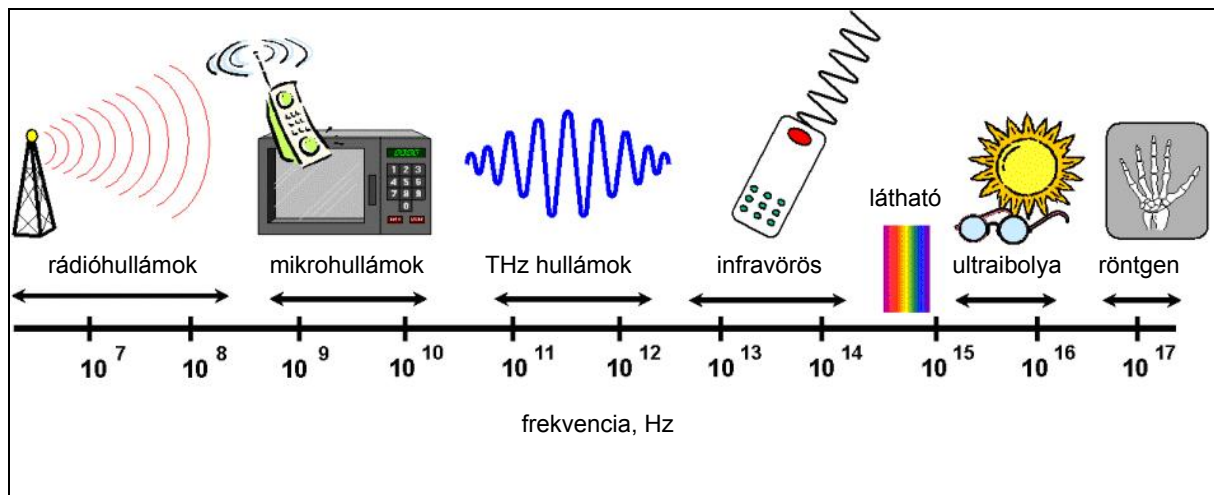
## Érintésmentes elektromágneses mérési technológiák

A műanyagok szerkezetvizsgálatában nagy szerepük van a különböző hullámhosszúságú sugaraknak, amelyek segítségével a kémiai felépítésről és a fizikai szerkezetről egyaránt értékes információkat lehet nyerni. A terahertz tartományt (1011–1013 Hz) eddig kevésbé alkalmazták, pedig széles körben felhasználhatóak az anyagvizsgálatban és a minőségbiztosításban.

*Tárgyszavak: vizsgálat; spektroszkópia; elektromágneses hullámok; minőségbiztosítás; szálorientáció; lézeres méretmeghatározás.*

### Terahertzes hullámok és alkalmazási lehetőségeik

Van egy olyan hullámhossztartomány az elektronikában használt és az optikai elektromágneses hullámok között (*1. ábra*), amelynek kiaknázását csak nemrég, a 90-es években kezdték meg a tudományban és a technológiában. *A legtöbb műanyag a THz ( $=10^{12}$  Hz) tartomány alsó részén gyakorlatilag átlátszó, de az olyan zavaró tényezők, mint a légzárványok, idegen anyagok vagy akár az adalékok a műanyagmátrixtól eltérő spektrális jellemzőket mutatnak – vagyis attól megkülönböztethetők.* A THz hullámoknak olyan nagy a behatolási mélységük, mint a mikrohullámoknak, ugyanakkor oldalirányban finomabb felbontást érnek el, mint az infravörös hullámok. Ez azt jelenti, hogy széles körben felhasználhatóak az anyagvizsgálatban és a minőségbiztosításban. Amikor THz „tartományról” beszélünk, akkor a 0,1 THz (100 GHz =  $10^{11}$  Hz) és a 10 THz ( $=10^{13}$  Hz) közötti frekvenciatartományt értjük alatta, amely alulról a mikrohullámokkal, felülről a nagy hullámhosszú („távoli”) infravörös sugárzással érintkezik. Ezt a frekvenciatartományt mind a fényforrások, mind az érzékelők szempontjából csak a legutóbbi optoelektronikai és elektrooptikai eszközökkel sikerült lefedni. Az első alkalmazások alap kutatás jellegűek voltak, pl. a csillagászat területén, de később számos, a gyakorlat szempontjából is fontos alkalmazás született. Az egyik első ilyen a *THz-es biztonsági kamerák kifejlesztése* volt, amelyekkel pl. robbanószerkezetek, ruha alá rejtett, fémből és kerámiából készült fegyverek is kimutathatók. Szemben az ugyancsak majdnem mindenben áthatoló röntgensugárzással *a THz sugárzás nem veszélyes*, mert nem ionizáló hatású. Az űrsiklónál használták először anyag- és minőségvizsgálatra: ilyen eszközökkel keresték az esetleges anyag- vagy szerelési hibákat. A legutóbbi időben azzal kísérleteznek, hogy miként lehet ezt a sugárzást beltéri kommunikációra hasznosítani.

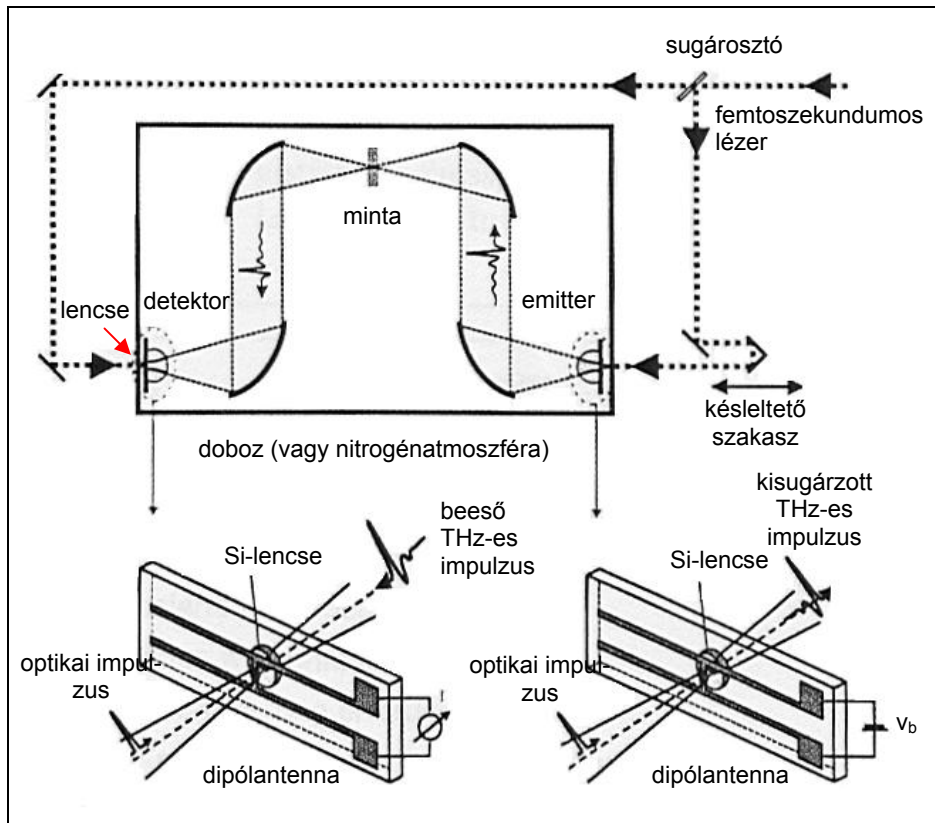


1. ábra A terahertzes (THz) hullámok elhelyezkedése az elektromágneses spektrumban

### Folyamatos és pulzált üzemmód

Két alapvető üzemmód létezik: a szélessávú impulzus és a folyamatos, monokromatikus (egyfrekvenciájú) sugárzás. A monokromatikus sugárzás olcsóbb, de kevesebb információt szolgáltat, mint az impulzusokat előállító spektrométer. Az impulzusos sugárzás az ultrahanghoz hasonlóan az anyagvastagságról és a homogenitásról nyújt információt. Az áttörést ebben a technológiában az hozta a 90-es években, amikor megfigyelték, hogy *ha fotovezető dipólantennákat lézerimpulzus ér, akkor azok THz impulzusokat adnak le.* Ez idő óta lehetséges ilyen sugárzókat és vevőket, valamint időben felbontott méréseket alkalmazni.

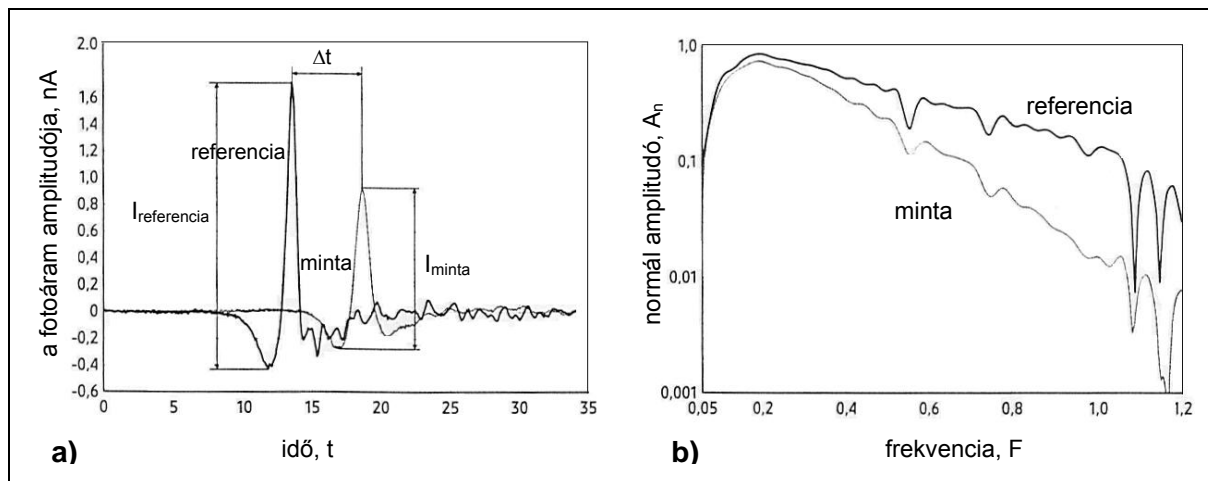
A THz impulzusok előállításának elvét a 2. ábra mutatja be. Az impulzust az emitter (kibocsátó) antenna tranzienis fotovezetésével hozzák létre. A félvezető (GaAs) szubsztrátumra fotolitográfiával két vezető fémsíkot visznek fel, amelyek között feszültség ( $V_b$ ) van. A két fémsík közti területre egy femtoszekundumos ( $10^{-15}$  s-os) lézerimpulzust fókuszálnak, ami szabad töltéshordozókat kelt a félvezetőben, ezek felgyorsulnak az elektromágneses mezőben és Hertz-dipólként elektromágneses sugárzást bocsátanak ki. Ennek során THz-es sugárzás jön létre, amelyet egy megfelelő optika segítségével át bocsátanak a mérendő mintán. A THz impulzus elektromos térerejét optoelektronikai módszerrel egy második antenna alkalmazásával vektoriális mennyiségként lehet meghatározni. A sugárzástételhez hasonlóan lézerimpulzus éri a detektort. A villamos tér helyett azonban a két vezető között a létrejövő töltéshordozók a bejövő THz-es impulzus terében mozognak, aminek eredményeként egy kis fotoáram regisztrálható. Egy kis késleltető szakasz segítségével az impulzus időbeli lefutása is detektálható.



2. ábra Egy THz spektrométer fotovezető dipólantenna emitterrel és detektorral

### *Az anyagjellemzők meghatározása*

A THz-es impulzusból amplitúdó- és fázisinformáció határozható meg, ezekből pedig ki lehet számolni az adott anyag törésmutatóját és elnyelési együtthatóját a frekvencia függvényében. Az időben felbontott referencia és mért impulzus időbeli lefutásából Fourier transzformációval meghatározható az elnyelési együttható (3. ábra). Az ábrán látható elnyelési vonalak a levegőben levő vízgőzből származnak – ezek az elnyelési vonalak elkerülhetők, ha száraz nitrogénatmoszférát alkalmaznak. A próba és a mért spektrum különbsége szolgáltatja a vizsgált anyag abszorpciós együtthatóját  $[\alpha(f)]$ , a fázisinformáció pedig a törésmutatót  $[n(f)]$ . A THz-es vizsgálat képfelbontásban is elvégezhető, ahol a THz-es sugár fókuszának változtatásával 2D felvételt lehet készíteni az anyagtulajdonságokról. Ezt elsősorban az anyagtulajdonságok változásának, inhomogenitásának meghatározására lehet használni. Ehhez elegendő a sugárzás intenzitását hozzárendelni a képpixelkhez. Az időbeli felbontást használva az anyagvastagságról vagy a szerkezetről kapnak információt. *A technológia fejlettsége ma már lehetővé teszi az ipari minőségbiztosítási alkalmazásokat is.*



3. ábra A THz-es impulzus a) és a Fourier-transzformációval előállított spektrum b)

### Adalékok meghatározása műanyagokban

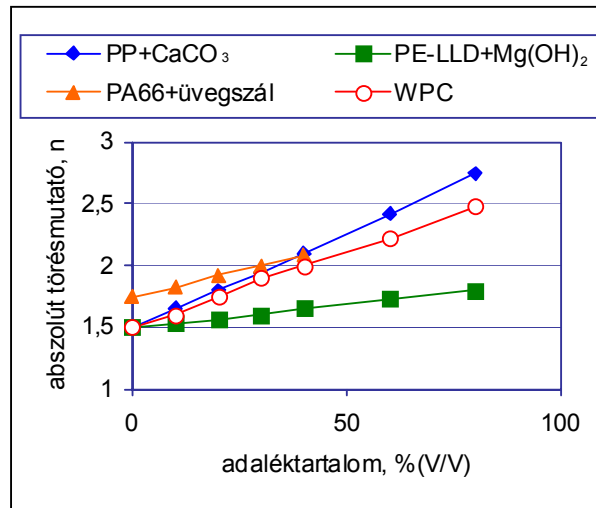
Igen sok műanyagkeverékben a mátrixpolimerek jellemzőit különböző ásványi anyagokkal (töltő- vagy erősítőanyagokkal) javítják. Mivel a töltőanyagok dielektromos jellemzői eltérnek a mátrixpolimerétől, a módszer felhasználható a töltőanyag-tartalom mérésére, ill. a homogenitás ellenőrzésére. A méréshez célszerű (más spektroszkópiai mérésekhez hasonlóan) kalibrációs görbéket készíteni, azaz hígítási sorokat megmérni. A 4. ábra néhány, a gyakorlatban általánosan alkalmazott keverék jellemzőit mutatja be az adalék mennyiségének függvényében.

A mérési pontosság határain belül mindegyik rendszernél az adódott, hogy a törésmutató lineárisan változik az adalékanyag térfogattörtjével. A falisztalapú kompozitok kivételével a komponensek inkompresszibilitása (így a térfogattört tömegtörtből történő számíthatósága) joggal feltételezhető, a faliszttartalmú keveréknél azonban külön mérés szükséges a töltőanyag térfogattörtjének megállapítására. A korrelációs együttható értéke minden esetben meggyőzően magas (0,99 fölötti). Jelenleg folyik egy kompaundálásnál használható in-line spektrométer kifejlesztése minőségellenőrzés céljára.

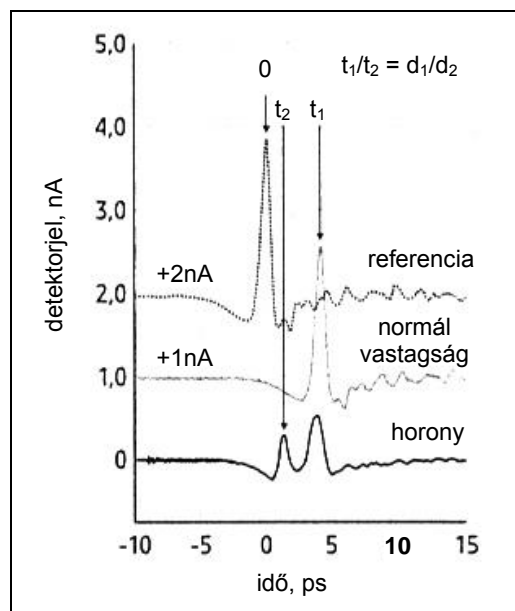
### Sűrűségingadozás és szálorientáció meghatározása

A THz-es impulzus időbeli eltolódása függ az optikai úthosszától, amelyet az anyag vastagsága és törésmutatója együttesen határoz meg. Ez lehetővé teszi, hogy az anyagminőség mellett az anyagvastagságot is roncsolás- és érintésmentesen meghatározzák. Ez lényegesen gyorsabb és egyszerűbb, mint a mechanikus letapogatás. Az 5. ábrán látható egy gyakorlati alkalmazás: a légszák fedelénél nagyon kritikus a horony mélysége: ha túl vékony, akkor a légszák indokolatlanul kinyílna, ha viszont túl vas-

tag, akkor szükség esetén sem nyílik ki. A vastagságeloszlás (az ultrahangos méréshez hasonlóan) 2D-ben, színekódokkal is ábrázolható. A horonyszakaszban azért kapnak kettős jelet, mert a detektor szélessége meghaladja a detektált horony szélességét. A két jel terjedésének időaránya megegyezik a két falvastagság arányával. Ugyanezt az elvet fel lehet használni pl. fűvott tárgyak falvastagság-eloszlásának meghatározására is.



4. ábra Különböző kompaundok (adott THz-es hullámsávra átlagolt) törésmutatója az adalékanyag-tartalom függvényében, a következő korrelációs együtthatókkal:  
 PP + CaCO<sub>3</sub>: R=0,9988; LLDPE + Mg(OH)<sub>2</sub>: R=0,9999; PA66 + üvegszál: R=0,9979;  
 WPC (PP + faliszt): R=0,9994



5. ábra A THz-es impulzus terjedési ideje a légsákfedél anyagvastagságának függvényében

Az impulzusüzemmódban működő spektrométerek arra is alkalmasak, hogy láthatóvá tegyék az erősítőszálak orientációját. Nagyon fontos az orientáció olyan esetekben is, ahol pl. folyadékkristályos polimerekből szerkezeti alkatrészeket fröccsöntenek, amelyeknek anizotróp molekulái erősen orientálódnak és szálak szerkezeteket hoznak létre. A szilárdság erősen anizotróp: szálirányban lényegesen nagyobb, mint arra merőlegesen. *A THz-es spektroszkópia az átlagos orientáció változását roncsolásmentesen is láthatóvá teszi.* A folyás hatására orientálódó molekulák vagy szálak a fröccsöntött próbatestet kettős törővé teszik, az ún. normál (ordinárius) és az ún. rendkívüli (extraordinárius) sugár eltérő mértékben fékeződik le a közegben – attól függően, hogy a sugárzás polarizációs iránya és a molekulák vagy szálak iránya hogyan viszonyul egymáshoz. Ez az alapelv jól alkalmazható más rendszerekben (pl. üvegszálak PP-ben vagy epoxikompozitokban) is a szálorientáció eloszlásának mérésére.

### **Lézeres méretmeghatározás fröccsöntött termékeknél**

Természetesen a THz-es sugárzás mellett más, hagyományosnak tekinthető optikai mérőrendszereket is használnak a műanyag-feldolgozás segédeszközeként. A *lézeres méretmeghatározás* nagyon népszerű, mert másodpercenként mérések ezreit lehet elvégezni anélkül, hogy a vizsgált tárgyhoz hozzá kellene érni. Az így generált CAD-fájlok gyors, pontos és gazdaságos megoldást jelentenek a minőségellenőrzés és a szerszámgyártás számára. Az ilyen beruházások viszonylag gyorsan megtérülnek, ezért az optikai mérőeszközök egyre népszerűbbé válnak. *A hardver, a szoftver és az automatizálás fejlődésével ezek a berendezések egyre olcsóbbá válnak.* Az olcsóság természetesen viszonylagos, hiszen a lézeres koordinátamérők 50 000 USD-nál kezdődnek, és egy teljesen automatizált, nagy pontosságú rendszer ára 100 000 USD körül van. Ez az összeg azonban közel 40%-kal kisebb, mint 3 évvel ezelőtt. A legtöbb szkennert beépített, de vannak olcsóbb, hordozható változatok is.

*A legtöbb eszköz interferometriát vagy háromszögelést alkalmaz a termék méreteinek meghatározására.* A mintavétel sűrűségét a felhasználó állíthatja be a program segítségével. A fejlettebb rendszerek olyan sűrűséggel tudnak fénypontokkal lefedni felületeket (több százezer pont/cm<sup>2</sup>), amely elegendő az alak számítógépes analíziséhez. Az így leolvasott adatokat egy program automatikusan összeveti a CAD-fájllal, és az eltéréseket színkóddal jelöli vagy felnagyítja, hogy meg lehessen találni a problémás területeket. A hagyományos mérőberendezésekkel hónapok alatt végezhető el az a feladat, amit ezek a berendezések órák alatt megoldanak. A villamosiparnak dolgozó **Schneider** cég árammegszakítói olyan bonyolult alakúak, hogy több 10 000 USD költséggel, hónapokba tellett az első öntvények és prototípusok méretellenőrzése. Lézerszkennerral ez a munka egy napnál rövidebb idő alatt elvégezhető 500 USD áron.

### **Gyors és pontos munka – érintés nélkül**

A gyors ellenőrzés jelentősen felgyorsíthatja az új termékek piacra jutását vagy a távoli országokban végzett munka ellenőrzését – pl. ennek segítségével elkerülhetők az utólagos szerszámkorrekciók. A berendezések sebessége és pontossága függ az



adott rendszertől. A kivetített sugarat alkalmazó berendezések másodpercenként több ezer koordinátát képesek meghatározni 25 µm pontossággal – bár vannak még ennél is pontosabb megoldások. A háromszögeléssel dolgozó (nem interferometrikus) eszközök lassabban dolgoznak, de nagyobb pontossággal, mert nagyobb a felbontásuk. (Összehasonlításképpen: egy ilyen berendezés pl. 50 jelet mér másodpercenként, de 2 µm pontossággal). A *lézeres mérőrendszereket* először a szerszámkészítők kezdték alkalmazni a komplex alakú szerszámok pontosságának ellenőrzésére, de ahogy a műanyag tárgyak mérete egyre csökkent és alakjuk komplexitása nőtt, a feldolgozók is egyre inkább kezdték összevetni a hagyományos méretellenőrző eszközök sebességét és pontosságát a lézeres berendezésekével. Ilyen komplex tárgyak pl. a mobiltelefonalkatrészek, digitális magnók, miniatűr fogaskerekek stb. *A nagyon apró tárgyaknál az érintkezésen alapuló méretmeghatározás önmagában problematikussá válik.* A fogaskerekeknél sokszor még a lézeres berendezések is csődöt mondanak, ha pl. a fogprofilok meghatározásáról van szó. Sokan azért veszik meg az érzékeny mérőeszközöket, hogy versenytársaik termékeit vizsgálják, és abból próbálják meg rekonstruálni, hogy azt hogyan állíthatták elő.

A lézeres pontmeghatározás mellett egy másik optikai módszer is terjed, amely német találmány, és amely fehér fényt alkalmaz. Ennek során valamilyen fénymintázatot, pl. csíkokat vetítenek a tárgy felszínére, amely a felület domborzatának megfelelően deformálódik. Ezt kamerákkal vizsgálva felépíthető a felület 3D képe, amely összevethető a CAD fájl adataival. A módszer alkalmas teljes fröccsdarabok vizsgálatára is, de különösen alkalmas felületi topográfiák (pl. szimulált bőrstruktúra) vizsgálatára. Ugyanilyen rendszert használnak a kozmetikusok a bőr szerkezetének vagy ráncosságának vizsgálatára.

A *lézeres szkennerek* területén sem áll meg a fejlődés, a gyártók újabb és újabb megoldásokkal próbálnak vevőik kedvében járni. Ha pl. a lézeres letapogatót 5 tengely mentén mozgatható, CNC vezérelt berendezésre szerelik fel, igen komplex tárgyak teljes felületét le tudják tapogatni anélkül, hogy a tárgyat meg kellene mozdítani. Más esetekben egy automatika fordítja meg a letapogatót a tárgyat, amikor az egyik oldal szkennelése befejeződött. Olyan kézi berendezések is megjelentek a piacon, amelyek lehetővé teszik mély bevágások vagy rejtett szerkezeti részletek ellenőrzését a gyártócsarnokban. Mások olyan lézeres berendezéseket kínálnak, amelyek egy az egyben átszerelhetők a hagyományos mérőberendezések állványzatára, tehát kiválthatják a mechanikai érintkezőket. Olyan szkennerek is megjelentek, amelyek fényintenzitása önszabályozó. Erre kompozittermékek vizsgálatakor lehet szükség, amelyeknek felületi elnyelése változó és ez befolyásolhatja a leolvasás pontosságát.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
www.polygon-consulting.ini.hu

Wietzke, S.; Rutz, F.; Koch, M.: Der Terahertz-Blick. = Kunststoffe, 97. k. 5. sz. 2007. p. 52–56.

Toensmeier, P. A.: Laser metrology can increase production efficiency and economy. = Plastics Engineering, 63. k. 5. sz. 2007. p. 52–53.

## Röviden...

### A világ legnagyobb on-line szabadalmi adatbankja

A Karlsruhe-i szakmai információs központ (Fachinformationszentrum) keretei között működő **STN International** INPADOCDB (*International Patent Documentation Data Base*) néven a világon a legnagyobb szabadalmi adattárat kínálja az Interneten. 80 szervezettől gyűjtik be a szabadalmakra és mintaoltalmakra vonatkozó adatokat. Az adatok száma ma már meghaladta a 63 milliót. Az adattár keresőprofilja segítségével gyors és pontos eredményekhez juthatnak a felhasználók, akik ingyenes és fizetős használati módok között választhatnak.

O. S.

Gummi, Fasern, Kunststoffe (GAK), 60. k. 11. sz. 2007. p. 745.

### Időjárás-állóságot vizsgáló készülék az Atlastól

A fény- és időjárásállóság-vizsgálatok ismert specialistája, az **Atlas Material Testing Technology XLS+** néven dobta piacra a Suntest családból fejlesztett készülékét. Több beállítási lehetőség és könnyű kezelhetőség jellemzi a kompakt asztali berendezést. A minták esőztetését digitális programozással lehet beállítani, és emellett modernizálták a vízzel való elárasztást és a hűtőegységet, ami a beállításokat ellenőrizhetővé és pontosabbá tette.

O. S.

Plastverarbeiter, 59. k. 10. sz. 2008. p. 183.