

## Fémekkel vetekedő műszaki műanyagok

A nagy teljesítményű műanyagokat egyre nagyobb arányban alkalmazzák az autógyártásban, a repülőgépgyártásban, az olajiparban és az orvostechikában is, ahol korábban fémből készített eszközöket készítenek belőlük. Ezek az anyagok ugyanis tartósak, hőállóak, kopásállóak, nem korrodálnak, emellett sokkal könnyebbek a fémeknél.

*Tárgyszavak: műszaki műanyagok; PPA, PPS, PAI; PAEK; PEEK; gépkocsigyártás; repülőgépgyártás; olajkitermelés; orvostechika.*

Az ún. műszaki műanyagok nagy teljesítményük – magas hőállóságuk, széles hőmérséklet-tartományban megőrzött nagy szilárdságuk, méretállóságuk, kopásállóságuk, hosszú élettartamuk vagy más kiemelkedő tulajdonságaik – mellett nagy előnye a fémekkel szemben, hogy hőre lágyuló anyagok lévén sokkal termelékenyebben formázhatók, és sokkal kisebb sűrűségükből következően a belőlük készített formadarabok sokkal könnyebbek és legtöbbször olcsóbbak is. Ilyen műanyagokból egyre többet alkalmaznak a gépkocsi- és a repülőgépgyártásban, ahol a tömegcsökkentés és a CO<sub>2</sub>-emisszió mérséklése a fejlesztések egyik fő célkitűzése, de kedveli ezeket az anyagokat az energiaipar és az orvostechika is.

## Gépkocsigyártás – műanyagok már a motorban is

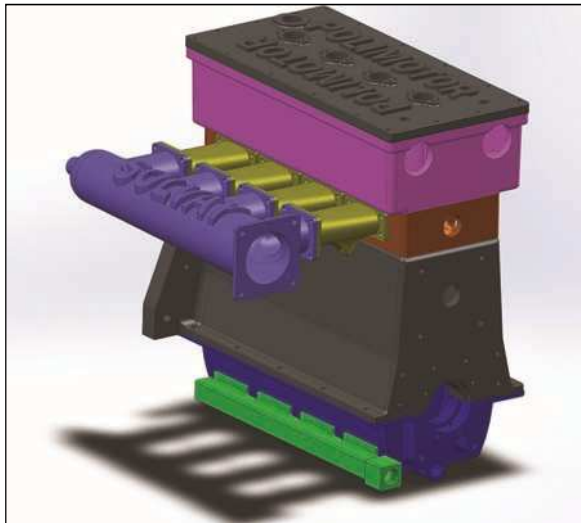
A gépkocsigyártók nagy erőfeszítéseket tesznek azért, hogy termékeik a teljesítmény csökkentése nélkül egyre könnyebbek és ezáltal energiahatékonyabbak legyenek, és meg tudjanak felelni az újabb emissziós követelményeknek is. Ennek szellemében dolgozták ki a turbófeltöltést, a közvetlen befecskendezést, a motor fordulatszámának csökkentését (downspeeding) és az elektromos hajtású gépkocsikat. A tömegcsökkentés érdekében a gépkocsikban már régen alkalmaznak műanyagokat, nemcsak az utastérben, hanem a motortérben is. Maga a motor azonban sokáig bevezethetetlen várnak tűnt.

A műanyaggyártók számára az autógyártás óriási piacot képvisel, ezért ez az iparág is sokat tesz azért, hogy kielégítse az igényeket, emiatt a műszaki műanyagok tulajdonságai is egyre jobban közeledtek a fémek bizonyos tulajdonságaihoz.

## A Polimotor 1 és 2

Az 1980-as évek első felében mertek először műanyagokat motoralkatrészekhez használni. A Polimotor projekt keretében építettek egy 2,3 literes, négyhengeres motort, amelyben néhány hagyományosan fémből gyártott alkatrészt [dugattyúszárat, a bütyköstengely ütközőelemét (csúszka), együttfutó fogaskerekeket, összekötőrudakat, a hengerfej egy részét] szénszálalás hőre lágyuló műanyagból fröccsöntött alkatrészekkel helyettesítették. A motort egy versenyautóba építették, amely több autóversenyen is jól szerepelt.

Három évtizeddel később született meg a Polimotor 2 építési elve, amelynek megvalósításába a Solvay cég is bekapcsolódott továbbfejlesztett nagy hőállóságú hőre lágyuló műanyagaival. Ez esetben is négyhengeres motort építettek, felső részén dupla



1. ábra A Polimotor 2 elv szerint épített négyhengeres motor, felül elhelyezett dupla bütyköstengellyel

bütyköstengellyel (1. ábra). A motor tömege 63–67 kg, 41 kg-mal kevesebb, mint egy mai hasonló gépkocsimotoré. Ebben elődjénél jóval több fém alkatrészt helyettesítettek műanyaggal, pl. a víz- és olajszivattyút, a víz be/kivezetését, a fojtószelepeket, az üzemanyag-elosztót (fuel rail), a bütyköstengely-kerekeket. Ezt a motort is versenyautóban próbálják ki a 2016-os autóversenyeken.

A műanyag alkatrészek nemcsak könnyebbé, hanem halkabbá és rázkódásmentesebbé is teszik a gépkocsikat, emellett nem rozsdásodnak, a gyártási költségeket pedig mérséklük.

A műszaki műanyagok sorozatgyártásba emelése előtt azonban be kell bizonyítani, hogy ezek a műanyagok hosz-

szú ideig megbízhatóan képesek teljesíteni a rájuk vonatkozó követelményeket, amelyek – az alkalmazási körülményektől függően – nagyon különbözőek lehetnek. Fontos pl. a méretállandóság. A sorozatban gyártott mai motoroknak hosszabb ideig el kell viselniük a  $-40\text{ °C}$ -t, de üzemképesnek kell maradniuk  $230\text{ °C}$  csúcshőmérsékleten is. Az utóbbi hőmérséklet a jövőben még emelkedhet is, ha a downsreening vagy fokozott turbófeltöltés miatt tovább szűkül a motortér. Az autótervezők egyébként kedvelik a jobban melegedő motorokat, mert ezeknek kisebb a termodinamikai vesztesége, amitől növekszik az összteljesítmény. Az olyan kritikus területektől (robbanótér, hengerfurat, kipufogókönyök) eltekintve a turbófeltöltéses Polimotor 2-ben még újabb fém alkatrészek műanyagra cserélése is szóba jöhet.

## *A polimotor 2-ben alkalmazott műszaki műanyagok*

A Polimotor 2 egyes részeiben a hőmérséklet alacsonyabb is lehet, mint a könnyűfémből készített motorokban; ezért a hűtőközegnek kevesebb hőt kell elszállítani. A turbómotorokban a bemenő levegő hőmérséklete 70–80 °C, a kimenő levegőé 90 °C. Más területeken, pl. töltőlevegő-hűtőnél (intercooler) 230 °C is felléphet; ez a hőmérséklet magasabb, mint a hagyományos poliamidok (PA-k) tartós használatára megengedett üzemi hőmérséklete. A töltőlevegő-hűtő háza és a levegővezeték gyártásához ezért a Solvay cég 45% üvegszállal erősített *poliftálamidját* (PPA) ajánlja.

A PPA és a *poli(fenilén-szulfid)* (PPS) standard poliamidoknál jobb tulajdonságai ezt a két polimert alkalmassá teszik a motorok hőmérsékletét és levegőellátását biztosító alkatrészek gyártására. A sorozatban gyártott mai gépkocsikban a hűtőrendszer hőmérséklete egyre gyakrabban haladja meg a 140 °C-t, amelyen a szokásos poliamidok már degradálódni kezdenek. A PPA molekulájában lévő gyűrű, a PPS molekulájában pedig az aromás gyűrű mellett még a kénatom is megnöveli ezeknek a műanyagoknak hőállóságát. A PPS tartós hőállósága 200 °C-ig terjed, és rövid ideig elviseli a 260 °C-t is.

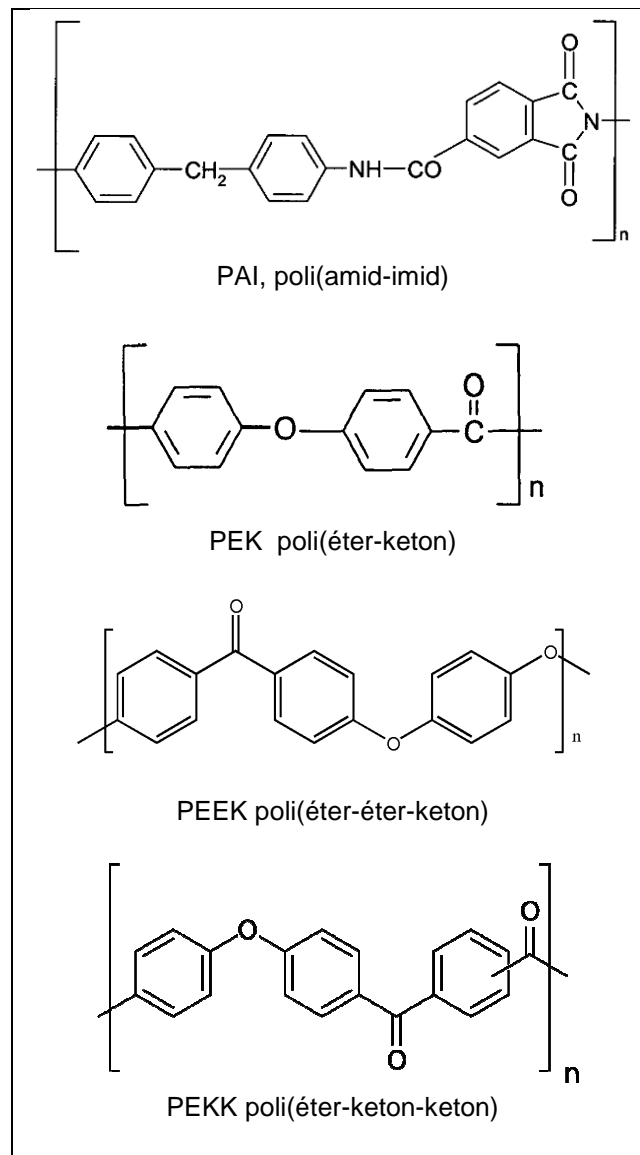
A PPA és a PPS is jobban ellenáll az üzemanyagoknak, az etilénlikolnak, az automatikában használt olajoknak és a motortérben előforduló más vegyi anyagoknak, mint a PA, és nem károsítja ezeket a műszaki műanyagokat a nitrogén-oxid-emisszió csökkentése érdekében visszavezetett savas kémhatású kipufogógáz sem.

A Polimotor 2 üzemanyag-elosztóját XK2340 márkajelű PPS-ből készítették. Ez az anyag 60 °C hőmérsékletű E85-ös üzemanyagban tárolva 5000 óra után eredeti tömegének 2,81%-át, 90 °C-os B20-as szójadízben tárolva pedig mindössze 0,19%-át veszítette el. Szilárdsága 1000 óra alatt eredeti értékének 25%-ával csökkent, ez után alig változott.

*Poli(amid-imid)-ből* (PAI) készített elemek már a Polimotor 1-ben is voltak. (Néhány nagy teljesítményű, kevésbé ismert aromás műszaki műanyag sematikus kémiai képlete a 2. ábrán látható.) Ez a hőre lágyuló műanyagok között a legszilárdabb és legmerevebb amorf polimer 275 °C-ig megőrzi tulajdonságait, a gépkocsi motortérben előforduló közegeknek ellenáll, szárazon és kenőanyag jelenlétekor is kiemelkedően kopásálló; tömítéseket, szorítótárcsát, nyomócsapágyat, tügörgős csapágyat lehet belőle készíteni. Az utóbbiak beépítéséhez 2,5 mm-rel kisebb tér szükséges, mint a fémből gyártottakéhoz, ezáltal csökkenthető a motorblokk mérete. A tömegcsökkenés mellett a kompakt motorblokk a beépítést is megkönnyíti, különösen keresztirányú hajtórendszer alkalmazásakor.

A Solvay cég 30% szénszállal erősített PAI-jából készítették a Polimotor 2-be a bütökstengely-kerekeket (3. ábra), amelyeket a tengely két végére szerelnek fel, és amelyek fogasszíjjal szinkronizálják a bütökstengely és a forgattyús tengely mozgását. Ilyen fogaskerekeket hagyományosan szinterezett acélból, alumíniumból készítenek, esetleg fenoplasztból sajtolnak. A szénszálas PAI fajlagos szilárdsága  $1,4 \cdot 10^5$  J/kg, fajlagos merevsége  $15 \cdot 10^6$  J/kg. A rozsdamentes acél jellemzői ugyanebben a sorrendben  $0,8 \cdot 10^6$  J/kg, ill.  $21 \cdot 10^6$  J/kg. A rozsdamentes acélból gyártott fogaskerék tömege 1,1 kg, a PAI keréké mindössze 275 g, ami 75%-os tömegcsökkenést jelent. A

PAI fogaskerekék mégis precízen vezérlik az ütemet nagy forgatónyomaték, extrém hőmérséklet, vibráció, szennyeződés, üzemanyag, olaj és más vegyi anyagok jelenléte, pl. útsózás mellett is.



2. ábra Néhány nagy teljesítményű aromás műszaki műanyag sematikus kémiai képlete

A Polimotor 2-ben jelentős szerepet kaptak a poli(aril-éter-ke-ton)-ok (PAEK), közülük is elsősorban a korábban is ismert *poli(éter-éter-ke-ton)* (PEEK). A PAEK polimerek ma már családot alkotnak, és a polimer molekuláját alkotó éter- és ke-toncsoportok sorrendje és száma szerint kapható már *PEK poli(éter-ke-ton)*, *PEKK poli(éter-ke-ton-ke-ton)* és *PEKEKK, poli(éter-ke-ton-éter-ke-ton-ke-ton)* is (lásd a 2. ábrát és a keretes szöveget).



3. ábra A Solvay cégnél PAI-ból készített bütyköstengely-kerekek szerállósága, inkább méretállandósága miatt választották ki.

A PAI és a PAEK polimerek kitűnő szívóssága, kopás- és vegyszerállósága miatt választották ezeket az anyagokat a Polimotor 2 moduláris szárazonkenő és olajszivattyú-rendszeréhez. PAEK-ből készült a szivattyúház, és a belső fogazásban is ezzel helyettesítették a fémet. PEEK-ből gyártották az olajelszívó vezetéket. A szokásosan a bütykös tengely mellett, az olajteknőben elhelyezett szivattyút itt látható módon a motorra erősítették, hogy jobban megfigyelhessék a magas hőmérséklet és nyomás PEI-re gyakorolt hatását. Az ilyen szivattyúkban nem ritka a 140 °C és a 2,8–5,5 bar közötti nyomás. A PEEK-et az olajelszívó csőhöz nem elsősorban annak jó vegyszerállósága miatt választották ki.

### *3D nyomtatással gyártott motoralkatrészek*

A polimotor 1-hez képest a polimotor 2-ben nemcsak az 1980-ban még nem létező műszaki műanyagok alkalmazása jelentette az újdonságot, hanem egy új technológiával, a 3D nyomtatással előállított alkatrészek is. A Solvay cég ugyanis erre a célra fejlesztett ki egy lézerszinterezéssel feldolgozható PA6 port, amelynek a *Sinerline Technyl* márkanevet adta.

Lézerszinterezéssel nagyon felgyorsítható a termékfejlesztés, mert nem kell kísérleti szerszámot gyártani és prototípust készíteni. A digitális terv alapján egy lézerszkennel – más 3D nyomtatási eljárásokhoz hasonlóan – rétegekben rakja fel a PA port, majd szinterezi, egészen addig, amíg kialakul a 3D-s formadarab.

Ezzel az eljárással a Polimotor 2 pléniumkamráját készítették el. A plénium egy nyomás alatti légkamra, amelyből a levegő közvetlenül a hengerbe jut. A kamrát 40% üvegyöngyöt tartalmazó PA porból gyártották a jobb mérettartás érdekében. A kamra jellemzői hasonlóak voltak a PA-ból fröccsöntött hasonló pléniumkamrákéhoz, amelyek falvastagsága 2–3 mm, és 2-4 bar nyomást kell elviselniük. A porból nyomtatott kamrák a szokásos fém turbomotorokban, ahol 120 °C-ra is felmelegedtek, jól megállták a helyüket.

3D nyomtatással állították elő a Polimotor 2-höz az üzemanyagot beszívó csövet is, ezt a Solvay cég 10% szénszállal erősített PEEK-jéből az Aerbo Labs (Santa Clara, Kalifornia, USA) készítette el saját erősítőszál-fúziós (reinforced filament fusion) eljárásával. Ezzel az eljárással egymás mellé vagy egymás fölé lehet különböző erősítőszálakat beépíteni, és ezáltal nagyon bonyolult felépítésű formadarabokat lehet viszonylag egyszerű eszközökkel rövid idő alatt előállítani. A szívócső a dugattyúnál kialakuló görbületben 150 °C-ra is felmelegedhet. Ez a cső arra szolgál, hogy az üzemanyagot a plénumból érkező levegőáramba fecskendezze, amikor az a motorba belép. A Polimotor projektben a szívócsövet még alumíniumból tervezték, de a kiválasztott PEEK rendkívül nagy ellenállása az üzemanyaggal szemben, 240 °C-on tartóan kiemelkedő mechanikai

tulajdonságai változtatásra ösztönözték a kutatókat, amiben szerepet játszott az is, hogy a PEEK szívócső tömege éppen fele az alumíniumcsőének.

## Repülőgépgyártás



4. ábra Az Airbus A350 XWB repülőgép ajtajának PEEK-ből készített tartóeleme

A repülőgépgyártásban korábban kezdtek műanyag szerkezeteket alkalmazni, mint az autógyártásban. Ebben az iparágban is nagy a verseny. Az elmúlt 20 évben világszerte mintegy 35 ezer repülőgépet építettek. Ez idő alatt csökkentek a gyártási költségek, rövidebb lett az egy-egy gép felépítéséhez szükséges idő és fajlagosan könnyebbek lettek a gépek.

Az Airbus S.A.S (Toulouse, Franciaország) 2015-ben elsőként készített PEEK-ből primer szerkezeti elemet az Airbus A 350 XWB gép ajtajához (4. ábra). Ezt a funkciós tartóelemet sorozatban fogják gyártani a Victrex PEEK 90 HMF40 jelzésű anyagából. Egy kínai repülőgépgyártó ugyancsak a Victrex anyagából készíti a nagyfeszültségű kábelek védelmére szolgáló csöveket a korábbi fémcövek helyett. A Denoy

Plastics Ltd. (Bangor, Egyesült Királyság) a hidraulika- és üzemanyagrendszer rögzítésére a tartófelületeken, a szárny középső kamrájában és az üzemanyagtartályban Victrex ESD PEEK-ből készített tartóelemeket alkalmaz.

A Victrex a repülőgépgyártó ipar igényeinek kielégítésére 2015 októberében alacsony hőmérsékleten feldolgozható PAEK kompozitanyagokat mutatott be. Ezek prepreg formában kaphatók, fémekhez hasonlóan sajtolással formázhatóak, és rövid üvegszálalás Victrex PEEK polimerrel, hibrid fröccsöntéssel körülönthetők. Ezzel az eljárással különféle tartók, sarkok, kapcsok, primer és szekunder szerkezetek burkolatai percek alatt elkészíthetők. Fémből vagy hőre keményedő műanyagból ugyanezek órákat igényelnek, és az utóbbiak szerelése is költségigényesebb.

A PEEK egyik fő gyártója a Victrex plc. (Thorton/Cleveleys, Egyesült Királyság), amelynek gyártókapacitása az EK-ban meghaladja az évi 7000 tonnát. Gyártmányai között granulátum, bevonat, kompozit, fólia és cső is van. Leányvállalata, az Invisio Ltd, bioválogatott előállításával is foglalkozik, 2016 végéig pedig 15 millió GBP beruházással megteremti a félkész termékek, közöttük a párhuzamos szálakkal erősített PEEK szalagok gyártását. A Victrex cég korábban megvásárolt egy amerikai fogaskerékgyártó céget; ezzel megteremtette a lehetőséget, hogy az autóiipar számára műanyag fogaskerekek gyártásához komplett csomagban kínálja gyártástechnológiát, amely tartalmazza a tervezést, a prototípust, a darab bevizsgálásának eredményeit, a szerszámépítést, és ha kell, akár a kész fogaskereket is.

A Solvay SA (Brüsszel, Belgium) Indiában gyárt PAEK-eket, de az USA-ban is épít újabb gyártóhelyet. 2016 végéig teljes gyártókapacitása 2500 t/év lesz.

Az Evonik AG (Essen, Németország) csangcsuni (Changchun) PEEK gyártásának kapacitásbővítését tervezi, ugyanebben a kínai városban két regionális cég is foglalkozik PEEK előállításával.

PEK és PEKK a franciaországi Arkema csoport (Colombes) és az indiai Rallis India Limited és a Gharda Chemicals India kínálatában szerepel.

## Olaj- és gázipar

Ha nagyon agresszív környezetben PEEK tömítéseket vagy védőgyűrűket alkalmaznak, az megnövelheti a berendezések élettartamát és megritkíthatja a nagyon sokba kerülő állásidőket. Ezeknek ugyanis feltáráskor/felszínre hozáskor, feldolgozáskor/szállításkor vagy mélytengeri közegben  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjedő hőmérsékletet és akár 2000 bar nyomást kell elviselniük. A PEEK emellett jól tűri a sokféle olajat és gázt, de a hidrogén-szulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) és a savas gázok sem ártanak neki. Ezt a norvégiai olajiparban az ottani Norsok és az ISO szabványok szerint elvégzett mérések eredményei tanúsítják. A közelmúltban vezették be az olajiparban a *Victrix CT 100* jelzésű termék alkalmazását, amelynek  $-196$  és  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  között további jó tulajdonságai vannak. Időközben a Victrix kifejlesztette a *Victrix OGS 125* jelzésű típust, amely sajtolható. Ebből nagy méretű tömítéseket lehet gyártani.

A Victrix PEEK-ből készített legnagyobb és főképpen leghosszabb termék a Magma Global Ltd. (Portsmouth, Egyesült Királyság) által gyártott könnyű, felteker-cselhető *m-pipe*. Ez a hajlékony, PEEK-ből, szénszálból és üvegszálból álló tömlő a tengerben 3000 m mélységben képes 1000 bar nyomást elviselni. Kevésbé hajlamos a kifáradásra, mint a víz alatti olajfeltárásokhoz használt acélcsővek, kisebb ellenállást fejt ki a feláramló folyadékkal szemben és korróziójától sem kell tartani. Az ilyen csövekkel felszerelt teljes rendszerben csökkennek az olaj mozgatásához szükséges idők, gyorsabban üríthetők ki a hajók. A víz alatti olaj- és gázkitermelés költségei akár 30%-kal is csökkenhetnek.

## Orvostechika

Az orvostechikában implantátumként gerincműtétekhez széles körben alkalmazzák fémek helyett az Inivbio Ltd. *PEEK-Optima* márkanévű polimerjét. 2013-ban a cég az erre a célra kifejlesztett anyagok egy újabb generációját kezdte forgalmazni, amely a PEEK és a hidroxil-apatit kombinációja. A hidroxil-apatit csontképző anyag, amely serkenti az implantátum összeépülését a csonttal. Azóta számos vállalkozás szerzte meg az FDA és az EU jóváhagyását ennek az anyagnak az alkalmazására, és jó néhány műtétben alkalmaztak már belőle készített eszközt.

Sok helyen próbálkoznak a PEEK-ből készített további eszközök alkalmazásával a sikeres klinikai beavatkozások megkönnyítésére. Példa erre a baleseti sebészetben alkalmazott eszközök fejlesztése, továbbá a felső combcsont térdprotézise, amelyet a *PEEK-Optima Ultra Reinforced* nevű kompozitból készítenek fém helyett. Ez a anyag kevésbé hajlamos a kifáradásra, ezért hosszú élettartamú. A protézist kifejlesztő partnerek, az Inivbio Knee Ltd. (EK) és a MaxxOrthopedics (Plymouth Meeting, Pennsylvania, USA) lezárták a klinikai próbák előtti vizsgálati szakaszt, és 2017 végéig befejezik a klinikai próbákat is.

A PEEK-biopolimereket növekedő mértékben a fogászatban alkalmazzák. 2013-ban mutatták be a *Juvora Denta Disc* nevű eszközt, amely teljes egészében *PEEK-Optimából* készült. Ez szájprotézisek alapját képezi, erre építik rá a szükséges fogpót-

lásokat. Az eszköz a fogprotézist szilárdan rögzíti a szájüregben, amely azonban ki is vehető. Az ilyen protézis könnyű, kopásálló, jók a biomechanikai tulajdonságai és nagyon pontosan illeszkedik a szájüregbem mert CAD/CAM technikával, testre szabottan készítik el. A Juvora fogászat felmérései szerint az ilyen protézisek hordozói 99%-ban elégedettek a protézissel.

## **Az anyagok és technológiák kombinációja növeli a versenyképességet**

A műszaki műanyagok gyártói nemcsak új anyagokat kínálnak vásárlóiknak, hanem technológiákat ajánlanak vagy dolgoznak ki, és egy új termék gyártásához komplett gyártási csomagot is kínálnak. Ezzel nagymértékben segítik a feldolgozókat. A gyártók figyelik az új alkalmazási területeket, a kutatási és fejlesztési irányzatokat, és azonnal reagálnak is rájuk. Kipróbálják az új technológiákat, megpróbálják ezeket optimális anyagokkal támogatni, és gondoskodnak arról is, hogy termékeik megfeleljenek az aktuális előírásoknak. Vásárlóikat igyekeznek a megrendeléstől a gyártás megindításáig, sőt azon túl is segíteni. Szakszerű ajánlataikkal lerövidíthetik a fejlesztés időtartamát és megnövelik partnereik versenyképességét, ezzel a mentalitással pedig a sajátjukat is.

Összeállította: Pál Károlyné

Baleno, B.; Holzberg, M.: Der kunststoffintensive Motor = Kunststoffe, 106. k. 3. sz. 2016. p. 28–32.

Sauer, B.: Polyaryletherketone (PAEK) = Kunststoffe, 106. k. 10. sz. 2016. p. 106–108.

## **Röviden ...**

### **Kína 1,3 millió tonnával bővíti PE gyártó kapacitását 2017-ben**

Az Sci99.com piackutató cég számításai alapján Kína 14 250 000 tonna PE-t állított elő 2016-ban, beleértve azt a 460 000 tonnát is, amelyet már az újonnan épített létesítményekben gyártott.

Az új gyárak, amelyek évközben indultak, 2016-ban az alábbi mennyiségeket gyártották: Shenhua Yulin: 220 000 tonna PE-LD, Shenhua Xinjiang: 40 000 tonna PE-LD, ChinaCoal Mengda: 150 000 tonna PE-LLD, Zhongtian Hechuang 50 000 tonna PE-LLD. Mind a négy új gyár éves kapacitása egyenként 300 000 tonna.

2017-ben további új gyárak indulnak:

Jiutai Energy (250 000 tonna/év), Zhongtian Hechuang (370 000 tonna/év), Kínai National Offshore Oil Corp. Huizhou 2. fázis (700 000 tonna/év), Shenhua Ningxia (430 000 tonna/év).

Kínában a poliolefin gyártás alapanyagait a szén kigázosításából nyerik.

J. P.

www.plasticsnewseurope.com, 2016. december 14.

[www.quattroplast.hu](http://www.quattroplast.hu)