

A műanyagok történetének áttekintése

2. rész. Nagyipari műanyaggyártás

A műanyagok szerves részei életünknek. Honnan indult a történetük? Miért és hogyan váltak nélkülözhetetlenné? Milyen új előnyök és hátrányok származtak az egyre nagyobb mértékű elterjedésükből? Sokféle műanyag ismert, teljes áttekintésük nagyon hosszadalmas lenne, ezért csak a főbb tendenciák bemutatásánál maradunk. A történetiség fonalán elindulunk a kezdetektől, hogy a műanyagok öt nemzedékén át, érdekes eseményeken keresztül, egy kis ismertetőt adjunk a műanyagokról, felvillantva csoportjaik néhány érdekességét. A cikk egyben főhajtás Macskásy Hugó és Balázs Lóránt előtt. A második rész a két világháború közötti, de főként a második világháború utáni eseményekkel, a nagyipari műanyaggyártás kialakulásával foglalkozik.

1. A műanyagok harmadik nemzedéke

A tudományos felismerések megalapozták a napjainkban is igen fontos polimerizációs műanyagok gyártásának a megkezdését az 1930-as években. Ipari termék lett a PVC, a polisztirol és több hőre lágyuló műanyag. Kialakultak az alapvető feldolgozási eljárásaik. Megszülettek a természetes kaucsuk első igazi vetélytársai. Megerősödött az a szemlélet, hogy a műanyagok merőben új szerkezeti anyagok, nem a régóta ismertek pótlanyagai.

Az első polimerizációs műanyagok. A PVAC, a PVAL, a PVFM, a PVB és a PMMA

1927-ben Németországban az IG-KONSZERN csoportot szervez az óriásmolekulájú anyagok kémiai és technológiájának kutatására. Húsznál is több tudományos munkatárs dolgozik a csoportban. 1929 és 1932 között átlagosan minden napra jut egy-egy újonnan előállított polimer. Jó néhányuk az ipari gyártását is megkezdik, olyanokét, amelyek továbbfejlesztett változatokban napjainkban is mind rendkívül fontosak: PVAC (poli(vinil-acetát)) (1928, HOECHST), polisztirol (1930, Ludwigshafen, PVC (poli(vinil-klorid)) (1931, Bitterfeld), PMMA (poli(metil-metakrilát)) (1933, Darmstadt). A PMMA gyártását Angliában is megkezdte az ICI cég 1933-ban.

1928-ban az amerikai DU PONT cég WALLACE HUME CAROTHERS (1896–1937) vezetésével szervez kutatócsoportot. 1929-ben a Szovjetunióban a leningrádi TECHNOLÓGIAI INTÉZETben SZ. N. USAKOV akadémikus vezetésével megalakul a világ első műanyag technológiai tanszéke. 1932-ben a moszkvai MENGYELEJEV INTÉZETben műanyag-technológiai tanszék létesül G. SZ. PETROV vezetésével. 1938-ban a mai BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM elődjén megalakul a TEXTILKÉMIAI TANSZÉK. Első professzora DR. CSÜRÖS ZOLTÁN, a későbbi akadémikus (1901–1979). Az új tanszék előadási programja a természetes és a mesterséges szálanyagok kémiai technológiájára, a műanyagokra és a műgyantákra, a lakkiparra, a lakkgyártásban használt természetes és mesterséges anyagokra terjed ki. Ezzel sok más egyetemet megelőzve, egyetemi rangra emelik és STAUDINGER elmélete alapján oktatják az óriásmolekulájú anyagok kémiai és technológiáját. Az 1930-as években Németországban, az Amerikai Egyesült Államokban és a Szovjetunióban létesültek üzemek polimerizációs műanyagok gyártására.

Sok új műanyag jelent meg az iparban a két világháború közötti években. Ennek az volt az oka, hogy a polimerizációs reakciók alapvető törvényszerűségeinek az ismeretében minden számításba jövő vegyület polimerizálásával megpróbálkoztak, amely a kémiai szerkezete alapján gyanús volt, hogy polimerizálódásra hajlamos. Ennek egyik bizonyítéka az akkori idők szabaddalmi bejelentéseinek a nagy száma. Összefoglaló könyv is jelent meg 1940–41-ben „A polimerizálás rövid kézikönyve” címmel két kötetben. A „rövid” kézikönyv első kötete 814 oldalas, második kötete 745 oldalas.

A megvizsgált számos monomer közül abból lett műanyaggyártási nyersanyag, amely elfogadható áron előállítható és ipari méretekben polimerizálható volt az akkor ismert módszerekkel, és amely polimerje műszakilag előnyös tulajdonságú, mind a feldolgozás, mind az alkalmazás szempontjából.

A **poli(vinil-acetát)** vagy **PVAC** már kb. 45 °C-on oly kevéssé alaktartó, hogy műanyag tárgyak készítésére nem használatos. Szerves oldószerekben viszont jól oldódik. Egyrészt a lakkiparban használják kötőanyagként, másrészt mint ragasztót. PVAC oldata szerves oldószerben pl. a magyar gyártmányú *Technocol Rapid*. Olyan sokféle anyag ragasztására alkalmas, hogy univerzális ragasztónak nevezik a PVAC oldatát.

A **poli(vinil-alkohol)**-t, a **PVAL**-t PVAC-ből gyártják nátrium-hidroxidos hidrolízissel. Vízben oldódik. Védőkolloidként használják a vegyiparban, a textiliparban textilkikészítésre. Fóliát is gyártanak PVAL-ból, pl. növényvédőszer kimért adagját csomagolják bele, és az a PVAL fóliával együtt a vízben feloldódik anélkül, hogy hozzá kellene érni, hiszen a növényvédőszer többnyire mérgező anyagok.

A **poli(vinil-formál)**, a **PVFM**, a PVAL és a formaldehid reakciójában keletkezik. Benzinnel ellenálló bevonatot adó lakkokban és zománchuzallakkokban használják kötőanyagként.

A **poli(vinil-butirát)**, a **PVB** szintén PVAL-ból keletkezik butiraldehiddel. Egyrészt a lakkiparban használják egyes festékek kötőanyagaként, másrészt a biztonsági üvegek gyártásában. Az üveglemezek között a PVB a legelterjedtebb kötőanyag. A biztonsági üveg nem törik szilánkokra.

A **poli(metil-metakrilát)**, a **PMMA** legrégebbi és ma is gyártott változata az „öntött” lemez. Magyarországon az 1930-as években a Németországban gyártott, *Plexiglas* márkanévű termékei váltak ismertekké. A márkanév megcsonkításából származik a gyakran használt, nem éppen szabatos „plexi” szó, a márkanév felének lefordításából pedig a „plexiüveg” elnevezés. Az üvegnél átlátszóbb, mert átengedi az ibolyántúli sugarak nagy részét is. Sűrűsége kisebb az üvegénél (1,18 g/cm³), és jóval kevésbé törékeny. Előnyös tulajdonságai ellenére nem szorította ki a közönséges üveget, mert felülete könnyebben karcosodik, és ezáltal csökken az átláthatósága, éghető anyag és drágább, mint az üveg.

A **poli(vinil-klorid)**, a **PVC** ma is a legnagyobb mennyiségben felhasznált műanyagok egyike. 1928-ban HERBERT REIN (1899–1955) és HUBBERT kísérletei nyomán került sor a PVC ipari előállítására. A folyamatot már HENRI VICTOR REGNAULT (1810–1878) is megfigyelte 1863-ban, amikor acetilénből előállította a vinil-kloridot és észlelte, hogy fény hatására fehér porrá alakul át, de akkor még szó sem lehetett a gyakorlati felhasználásáról. 1912-ben FRITZ KLATTE, a GREISHEIM ELECTRON gyár kémikusa állította elő és tanulmányozta először a PVC-t. Alkalmazásához azonban szükség volt lágyítókra, valamint a fröccsöntés feltalálására, de erre csak 1935-től került sor, amikor G. WICK megoldotta a PVC tömeggyártását is.

A **fröccsöntés** története is érdekes. Egy elfelejtett találmány újjáéledt. J. W. HYATT nemcsak a celluloidnak az előállítás módját találta fel, hanem a fröccsöntést is. 1872-ből származó szabadalmi bejelentése szerint fűtött, függőleges hengerben felmelegítették a celluloidot, és azt dugattyúval nyomták a szerszámüregbe. Borotvaecsetek fanyelét vonták be ezzel az eljárással. A celluloid gyúlékonysága miatt ez a módszer nem terjedt el.

A troisdorfi DYNAMIT NOBEL cég 1921-ben felélesztette az eljárást. Cellulóz-nitrát, lágyítók és az éghetőség csökkentése végett adagolt szerves töltőanyagok keveréke volt a fröccsönthető *Trolit F*. Rádiókészülékek számára fröccsöntöttek banándugókat, forgatógombokat, kapcsolókat. A Trolit F-et hamarosan felváltotta a sokkal kevésbé éghető *Trolit W*, a fröccsönthető cellulóz-acetát. Ennek előzményeihez tartozik, hogy A. EICHENGRÜN, a német BAYER cég vegyésze az „éghetetlen celluloid” megalkotására irányuló munkái során 1917 és 1919 között lágyítótartalmú cellulóz-acetátból fröccsöntésre alkalmas anyagot is készített, és fröccsöntő berendezést is szerkesztett. A másik előzmény, hogy az ECKERT UND ZIEGLER kölni gépgyártó cégnek már voltak tapasztalatai fémek fröccsöntésére alkalmas gépekkel. Eichengrünnel együttműködve, a DYNAMIT NOBEL cég rátért a fröccsönthető, cellulóz-acetát-alapú Trolit W gyártására, az ECKERT UND ZIEGLER cég pedig elkészítette az első műanyagfröccsöntő gépeket. A cellulóz-acetátot hamarosan követte a polisztirol fröccsönthető anyagként.

A **poli(sztiro)**, a **PS**, a fröccsöntés révén vált sok célra használt műanyaggá. 1930-ban Németországban Ludwigshafenben (a mai BASF gyártelepén) a sztiro homopolimerjének a gyártását kezdték meg anyagában polimerizálással. Az anyagában polimerizált PS előnyei, hogy nagyon jól fröccsönthető 180 °C fölötti hőmérsékleten, kb. 100 MPa nyomással. A PS tárgyak alaktartók, kedvezőek a villamosszigetelő tulajdonságaik, víztisztán átlátszóak, akár átlátszóan, akár fedetten színezettek. Szuszpenziós vagy emulziós eljárással is gyártanak PS-t. A habosítható PS gyártásakor a sztiro szuszpenziós eljárással polimerizálják. A polimerizáló reaktorba alacsony forráspontú szénhidrogént, pl. pentánt is adagolnak. 0,5...2 mm átmérőjű PS-gyöngyök keletkeznek, amelyek a szénhidrogént abszorbeált állapotban tartalmazzák. A PS-haboknak rendkívül kicsi a fajlagos tömegük. A PS-hab, szilárd PS-ből álló cellafalak gázzal töltött szövetekének a rendszere. A cellafalak által határolt üregeket, cellákat kezdetben a habképző anyagként használt szénhidrogén gőzei töltik ki, majd diffúzió révén levegővel telnek meg az üregek. Egy 20 kg/m³ fajlagos tömegű PS-habnak 98%-a levegő és csak 2%-a PS. A cellafalak a fényt megtörik és szórják, ezért fehérnek látjuk a PS-habot. A PS-haboknak nagyon jó a hőszigetelő képességük, aminek oka a rendkívül kicsi hővezető képességük. Ezért használják nagyon elterjedten az építőiparban hőszigetelésre. Rezgéscsillapító képességük is előnyös. Ezt a tulajdonságukat a csomagolásban használják fel.

Magyarországon a NITROKÉMIA IPARTELEPEK *Nikecell* néven, A HUNGÁRIA MŰANYAGFELDOLGOZÓ VÁLLALAT pedig *Hungarocell* néven gyártott PS-habokat.

A **poli(etilén)**, a **PE**. Azokkal az eljárásokkal, amelyekkel az 1930-as évek első felében már nagyüzemi méretekben polimerizálták a vinil-kloridot, a sztirolt, a metil-metakrilátot, nem sikerült az etilént polimerizálni. R. O. GIBSON az IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES (ICI) angol vegyipari vállalat vegyésze és munkatársai jöttek rá, hogy milyen körülmények szükségesek az etilén polimerizálásához. 1933 márciusában benzaldehid és etilén reakcióját vizsgálták 1300 bar nyomáson, 170 °C-on. Amikor szétszerelték a reaktort, azt találták, hogy a falát valamilyen fehér, viaszszerű, szilárd anyag lepte be. Az ismeretlen anyag nem tartalmazott oxigént, tehát a benzaldehidnek nincs része a kialakulásában. STAUDINGER elmélete alapján feltételezték, hogy ez az anyag az etilén polimerje. A kísérletek 1935-ben sikerrel zárultak. Az ICI 1936-ban jelentette

be szabadalmát az etilén polimerizálására 1000 bar-nál nagyobb nyomáson. 1938 végén üzembe helyezték az első kísérleti üzemet polietilén előállítására. 1938 végén elkészítették a polietilénnel szigetelt kábelek első mintadarabjait. 1939 júliusában süllyesztették a tengerbe az első egy mérföldnyi szakaszt^[4].”

2. A műanyagok negyedik és ötödik nemzedéke

A műanyagiparnak a második világháború utáni páratlanul gyors fejlődését a háború előtti tudományos felismerések és ipari eredmények alapozták meg. A háborút megelőző és a háborús évek tudományos felismerései és kezdeti ipari eredményei alapozták meg a műanyagok negyedik nemzedékének az elterjedését az 1950-es évek óta. Világhódító útra indultak a szintetikus szálak, fontos műanyagokká váltak a poliamidok, a poliészterek, az epoxigyanták, a poliuretánok, fluor-tartalmú műanyagok, a szilikonok.

Az 1960-as évek derekától azután a műanyagok ötödik nemzedéke jelent meg az iparban: a nagy hőállóságú műanyagok egyre népesebb nemzedéke. Létrejöttük jól szervezett és kiváló felszereltségű kutatócsoportok célratörő munkájának az eredménye.

A Nylon és a Perlon



Wallace Hume Carothers

1928-ban WALLACE HUME CAROTHERS (1896-1937) amerikai vegyész került a DU PONT cég kutatócsoportjának az élére. A kiváló képességű vegyészekből álló kutatócsoport maga határozhatta meg munkaterületét. CAROTHERS az óriásmolekulájú anyagokat választotta. Alighogy elfoglalta új állását, egyik egyetemi munkatársának írt levelében kifejti programjának alap gondolatát: kétfunkciós monomerek polikondenzálásával kíván láncmolekulájú polimereket szintetizálni. Első sikerük a *Neoprene* megalkotása és gyártása volt, amely azonban poli(kloroprén), tehát nem polikondenzációs műanyag, hanem polimerizációs műkaucsuk. CAROTHERS egyik munkatársa, JULIAN HILL 1978-ban így emlékszik vissza az akkori idők egyik fontos eseményére:

„1930 áprilisában felhevített üvegbotot dugtam egy laboratóriumi edénybe, amelyben valami karamellszerű anyag volt, majd kihúztam onnan. Az anyagból képződött szálak csüngtek az üvegboton. Simulékonyak voltak, nem törékenyek, mint ahogy vártam. Amikor az egyik szálát meghúztam, eredeti hosszúságának többszörösére nyúlt meg, és mintha erősebbé vált volna. Tulajdonképpen nem is akartunk szálát előállítani. A polimerekkel kapcsolatos alap kutatásokkal foglalkoztunk, és nem volt valamilyen végső alkalmazási célunk.”

Az üvegboton keletkezett szál megint hivatlan vendégként jelentkezett a laboratóriumban. Csakhogy ez az esemény olyan vegyészek laboratóriumában történt, akik rögtön felismerték, hogy a vendég hivatlan, de nagyon is figyelemre méltó: főleg azért, mert ez az anyag mikrokristályos volt, nyújtásra a krisztallitok orientálódtak.

Az üvegbotra tapadt szál persze még nagyon távol volt a későbbi Nylontól. Kétszáz tudományos és műszaki szakember, több kutató- és fejlesztőcsoport kapcsolódott be a munkába.

1935-ben döntött el, hogy a sokféle lehetőség közül a hexametilén-diamin és az adipinsav polikondenzációs terméke ígérkezik a legmegfelelőbbnek egy új szál anyagául. Igen ám, de addig az összes mesterséges szálát oldatból állították elő. A poli(hexametilén-diamin-adipát) számára nem találtak megfelelő oldószert. Ma is ömledékből, oldószer nélkül gyártják belőle és a többi poliamidból a szálát, de ehhez ki kellett dolgozni az akkoriban teljesen új szálképzési eljárás részleteit, gépeket és berendezéseket kellett hozzá készíteni. A DU PONT cég nem kevesebb, mint 27 millió dollár befektetésével fejlesztette ipari gyártássá és csak CAROTHERS halála után, 1938-ban kezdődött a Nylon gyártása. Megjelent az első nejlonharisnya.

Hogyan lett Nylon az új anyag neve? A „Nylon” márkanev története különféle változatokban maradt fenn. Könnyen megjegyezhető, könnyen kiejthető névre volt szükség. Norun volt az első javaslat, hiszen olyan harisnyát lehet az anyagból gyártani, amelyeknek nem fut le a szeme. De egészen biztos, hogy nem fut le a szem? Ha mégis lefut, megrendül a bizalom, reklamációk lehetségesek. Felcserélték a két magánhangzót: Nuron. Ez viszont egy idegcsillapító márkanevéhez hasonlított. Legyen hát az u helyett i, és az egyes nyelvekben nehezen kiejthető r helyett l. Így született meg a harmadik változat: Nilon. Ezt meg sokan így ejtették: Nillon. Még egy módosítás, az i helyett y, és így lett az új név: Nylon. Egy másik változat szerint az elnevezés a „New York Pylon”, a kiállítás védjegyét is szolgáló híres szabadságszobor nevéből származott. Megint más változat szerint a „Now You Lousy Old Nipponeses” („nos, ti tetves, vén japánok”) felkiáltással céloztak arra, hogy a kitűnő műszál a japán selyemmel is versenyképes, bár sokak szerint ez a 2. világháború során kialakított szójáték volt^[3].

Az 1930-as években Németországban egy másik poliamid szál gyártási eljárását dolgozták ki. A szabadalmat P. SCHLACK munkái nyomán 1938-ban jelentették be, és 1939-ben Ludwigs-hafenben megkezdték a *Perlon* márkanevű szál gyártását kaprolaktám polimerizálásával.

A poliamidokból nemcsak szálakat gyártanak, hanem fóliákat, extrudált és fröccsöntött termékeket is. Fémtárgyak korrózió ellen védő és díszítő hatású bevonására is használnak poliamidokat^[4, 6].

A poliészterek. Alighogy megszületett a poliamid szál, napvilágot látott az első versenytársa, a poliészter szál. *Terylene* (kiejtése terilén) volt az első márkaneve. Létrejöttét céltudatos kutatásnak köszönhetette. Története az Óceánon túl kezdődött. CAROTHERS sokféle glikolból és alifás (nyílt szénláncú, telített) dikarbonsavból állított elő laboratóriumában poliésztereket. Kristályos szerkezetű anyagok voltak, szálát is lehetett belőlük képezni. Nyújtáskor a szilárdságuk is megnövekedett. Mégsem voltak felhasználhatók, mint textilipari szálanyagok. Alacsony a lágyulási hőmérsékletük, vízben pedig könnyen bomlanak. Kicsi a polimerizációfokuk.

CAROTHERS alifás dikarbonsavakkal is próbálkozott. A ftálsav és az etilén-glikol polikondenzálásával előállított anyag amorf volt, nem kristályos. CAROTHERS rámutatott ennek valószínű okára is: „Úgy látszik, hogy a kristályosodási képesség feltétele a nagyobb fokú lineáris szimmetria a polimer lánc ismétlődő egységeiben.” Feltételezése helyes volt. De ez csak halála után néhány évvel bizonyosodott be.

1939 és 1941 között Angliában a CALICO PRINTERS ASSOCIATION LTD. cég laboratóriumában dolgozott két vegyész, J. R. WHINFIELD és J. T. DICKSON. Arra alapozták kutatásukat, hogy a kristályosodási hajlam feltétele a polimer lánc ismétlődő egységeinek a szimmetriája a lánc mentén. A ftálsav nem szimmetrikus szerkezetű, az izoftálsav sem, a tereftálsav viszont igen.

Ezúttal nem hívatlan vendégként, hanem várt jövevényként jelent meg az első technikailag értékes poliészter a lombikban. Évek kellettek még ahhoz, hogy ipari termék legyen belőle. 1943-ban mintát kapott az új szintetikus szálból az angol ICI vállalat. Hamarosan nyilvánvalóvá lett, hogy tulajdonságai roppant értékesek. 1949-ben kezdte meg az ICI a *Terylene* gyártását kísérleti üzemenben, majd 1955 januárjában nagyüzemi méretekben.

Sokféle műanyag és műanyag termék tartozik a poliészterekhez.

A **poli(etilén-terftalát)**, vagy **PET** szálak, fóliák fröccsöntött tárgyak anyaga. PETP fólia magnószalagok hordozója.

A **poli(butilén-tereftalát)** vagy **PBT** fröccsöntött tárgyak gyártására alkalmasabb a PETP-nél.

A telítetlen poliésztergyanták feldolgozás előtti állapotukban oligomerek, folyékonyak. Láncmolekuláikban telítetlen kettős kötések vannak, és ennek révén kémiai reakciókra hajlamosak. Az ipari telítetlen poliésztergyanta a tulajdonképpeni poliésztergyantának és sztirolnak, esetleg metil-metakrilátnak az elegye, amelyet utóbb (a térhálósítás során) kopolimerizálnak. A telítetlen poliésztergyantát elsősorban üvegszál vázanyagú termékek gyártására használják: áttetsző hullámlemezek, hajótestek készülnek belőle. Magyarországon 1957-ben kezdték meg a telítetlen poliésztergyanták gyártását a MŰANYAGIPARI KUTATÓ INTÉZETben kidolgozott eljárás szerint. A *Polikon* márkanévű poliésztergyanták a NITROKÉMIA IPARTELEPEK termékei voltak.

A **polikarbonát** vagy **PC** amorf, átlátszó rendkívül ütésálló, tartósan kb. 120°C-ig használható hőre lágyuló műanyag.

Az **alkidgyanták** is poliészterek. Mind a polikarbonát, mind az alkidgyanták a vegyészek számára poliészterek, a műszaki nyelvben mégsem szoktuk őket annak nevezni.

A poliaddíció és a poliuretánok

ADOLF WURTZ (1817–1881) Párizsban volt a szerves kémia tanára. 1848-ban megállapítja, hogy izocianátból és alkoholból addíciós reakcióban uretán keletkezik. 1937-ben DR. OTTO BAYER (1902-1982) a mai BAYER AG leverkuseni gyártelepén felismeri, hogy kétfunkciós izocianátokból, vagyis diizocianátokból és kétfunkciós alkoholokból, vagyis glikolokból poliaddíciós reakcióban **poliuretánok (PUR)** képződnek.

OTTO BAYER felismerése a műanyagok különlegesen változatos és fontos csoportjának a kialakulását alapozta meg. Talán a poliuretánok csoportjára illik leginkább a „méretre szabott” jelző. Az uretánkémikus valósággal megtervezi az óriásmolekulát. Sokféle izocianátból és sokféle alkoholból válogathat, különféle segédanyagokkal befolyásolhatja azok reakcióit, hogy a végeredmény a célnak legmegfelelőbb anyag legyen. Lágú és kemény habokat, gumyszerűen rugalmas vagy alaktartó, merev tárgyakat, lakkokat, festékeket, bevonó anyagokat gyártanak PUR-ból. A poliuretánokon kívül még egy műanyagcsoportot gyártanak poliaddícióval: az epoxigyantákat.

Az **epoxigyanták**. 1946-ban a bázeli árumintavásáron mutatta be a CIBA svájci cég az *Araldit* márkanévű epoxigyantákat. Magyar fordításban így hangzik az akkor megjelentetett termékismertető egy része:

„Araldit műgyanta kötőanyag fémek, főként könnyűfémek ragasztására”

„Az Araldit a bázeli CIBA cég által kifejlesztett műgyantatípus, amely lehetővé teszi fémeknek egymáshoz vagy más szerkezeti anyagokhoz való ragasztását. Új ipari eljárás ez,

amellyel műszakilag kifogástalan kötést lehet létrehozni, akárcsak szegecseléssel, hegesztéssel, forrasztással.”

Valóban nagy újdonság volt az akkoriban. A fémek korábban nem voltak ragaszthatók. Az Araldit volt az első olyan anyag, amely oldószer nélkül is folyékony, és amely a levegőtől elzárva is térhálósodik, megköt poliaddíciós reakció következtében. Megkötésekor alig zsugorodik (lényegesen kisebb mértékben, mint a telítetlen poliésztergyanta). Jól tapadó bevonatot alkot a fémfelületen. Az epoxigyanták egyik fontos felhasználási területe ma is a fémek és egyéb szerkezeti anyagok ragasztása. A villamosiparban nélkülözhetetlen szigetelőanyagok az epoxigyanták. Használatuk később az építőiparban, a lakk- és festékiparban is elterjedt. Magyarországon a MŰANYAGIPARI KUTATÓ INTÉZET foglalkozott az epoxigyanták előállításával és alkalmazásával a különféle ágazatokban.

A **Teflon**. Fluortartalmú szerves vegyületeket (kismolekulájúakat, tehát nem műanyagokat) az 1930-as években kezdtek hűtőgépekben használni.

Ezekben az években kezdett el ilyen vegyületekkel foglalkozni – a DU PONT cég megbízásából – ROY J. PLUNKETT (1910–1994) vegyész. A munkájában használt vegyületek egyike az etilén rokona, a tetrafluor-etilén (TFE) volt. A **poli(tetrafluor-etilén)**, a **PTFE** is hivatlan vendégként jelent meg először a laboratóriumban. PLUNKETT így emlékszik vissza a nevezetes eseményre:

„A tetrafluor-etilén (TFE) közbenső termék volt, amelyet egy részben klórozott és hűtőközegnek szánt szénhidrogén szintézisére használtunk. 1938. április 6-án, asszisztensem (JACK REBOK) egy TFE-vel töltött hengert, amelyet előző nap használtunk, betett a szintetizálóberendezésbe. Amikor a szelepet kinyitotta, hogy a nyomás alatt levő TFE-t a hengerből kiengedje, semmi sem történt. Asszisztensem megkérdezte, nem használtuk-e már föl az összes TFE-t ebből a hengerből. Mondtam neki, hogy nem hiszem, mert a hengerben eredetileg 1 kg TFE volt. erre föl mindketten elkezdtünk a szelepen dolgozni, hátha eldugult. Kivettük a hengert a berendezésből, és a szelep nyílásán drótot dugtunk át. Még mindig nem jött ki a TFE, annak ellenére, hogy a henger tömegéből arra kellett következtetnünk, hogy a hengerben még van anyag. ... Nekilátunk, hogy a szelepet lecsavarjuk a hengerről. Ekkor már tudtuk, hogy a hengerben semmi gáz nem lehet. A hengert óvatosan megfordítottam, és láttam, hogy fehér por hullik a laboratóriumi asztalra. Dróttal megkapartuk a henger belső falát, hogy több ilyen porhoz jussunk. Az így kapott anyag tömege azonban közel sem volt 1 kg. Elhatároztuk, hogy a hengert kettéfűrészeljük. Miután ezt megtettük, port találtunk a henger falán és fenekén is. Amikor felismertem, hogy a TFE a hengerben minden bizonnyal polimerizálódott, először arra gondoltam, hogy kezdhetjük az egészet előlről. Mindaddig nem volt előttem ismeretes, hogy a megfelelő körülmények között a TFE polimerizálódik. Amikor visszagondolok erre a fölfedezésre, főként az jut eszembe, hogy az 1 kg TFE-t tartalmazó henger tárolása könnyen a vesztünket okozhatta volna. Ugyanis a TFE gyors polimerizálódása robbanást válthat ki.”

Ma sem tudjuk, hogy miért éppen abban az egy hengerben polimerizálódott a TFE. Tény, hogy az addig ismeretlen polimernek egészen különlegesek voltak a tulajdonságai: semmilyen vegyszerrel sem reagált, csak 327 °C-on kezdett megolvadni és még –268 °C-os hidegben is változatlan maradt.

1941-ben megjelenik az első szabadalom a PTFE-ről. 1942-ben a PTFE-nek az első felhasználása: tömítésként. 1943-ban a DU PONT megkezdte a PTFE kísérleti üzemi gyártását. 1946-ban a DU PONT cég megkezdte a *Teflon* márkanévű PTFE nagyüzemi gyártását általános ipari célokra.

A PTFE óriásmolekulában a fluoratomok valósággal beburkolják a szénláncot. Nagy elektronaffinitásukkal megóvják a kémiai hatásoktól a PTFE láncmolekuláit. Ezért ilyen jó a PTFE vegyszerállósága. A PTFE másik nagy előnye a hőállósága. A nagy hőállóságának következményeként nem lehet fröccsönteni vagy extrudálni. Vannak újabb fluortartalmú műanyagok, amelyek hőre lágyuló műanyagként fröccsönthetők és extrudálhatók. Tartós hőállóságuk nagyobb, mint a nagy elterjedtségű műanyagoké, de nem éri el a PTFE-ét. Szintén a molekulaszervezet következménye, hogy más anyagok nem tapadnak hozzá. Ezt a tulajdonságát aknázzuk ki, amikor PTFE bevonatú konyhaedényben készítünk különféle ételeket.

Jó néhány országban gyártanak PTFE-ét különféle márkaneveken: *Algofon* (Olaszország), *Fluon* (Anglia), *Soreflon* (Franciaország), *Hostaflon* (Németország).

Magyarországon külföldről behozott PTFE-ből a PEST MEGYEI MŰANYAGIPARI VÁLLALAT gyárt *Pemüflon* néven féltermékeket.

A **szilikonok**. A francia CHARLES FRIEDEL (1832–1899) és az angol JAMES MASON CRAFTS (1839–1917) cink-etil és szilícium-tetrafluorid reakciójával állította elő a tetraetil-szilánt $[\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_4]$. 1880-ban FRIEDEL és LANDENBURG a cink-etil és diszilícium-hexajodid reakciójával két egymáshoz kapcsolódó szilíciumatomot tartalmazó vegyülethez jutott: $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{-Si-Si-(C}_2\text{H}_5)_3$. A hexaetil-diszilán volt az első olyan vegyület, amely felhívta a figyelmet a szén és a szilíciumvegyületek rokon vonásaira^[3].

FREDERICK STANLEY KIPPING (1863–1949) az angliai nottinghami egyetem tanára 1899-től 1944-ig tanulmányozta a szilícium és a szén viselkedése közötti hasonlóságokat és különbségeket. 1937-ben tartott előadásában a következő hangzott el: „*A kémiának ezen a területén vajmi kevés a remény valami közvetlen és jelentős eredményre.*”

A történelem ellenpontosította ezt a véleményt. Amerikában az 1930-as években az üvegipar felfigyelt az akkoriban új műanyagok, a PS és a PMMA üvegszerű átlátszóságára. A CORNING GLASS WORKS üvegipari vállalat vegyész, J. F. HYDE ismerte mind KIPPING munkáit a szerves szilíciumvegyületek terén, mind pedig a polimerkémia eredményeit. Polimereket állított elő szilíciumvegyületekből és azokat szilikonoknak nevezte. Az új polimerek nem az üveg helyettesítésére bizonyultak alkalmasnak, hanem mint kitűnő villamosszigetelő anyagok keltették fel az érdeklődést, hiszen sokkal hőállóbbak voltak, mint a korábban ismertek. A CORNING vállalat a DOW CHEMICAL COMPANY vegyipari vállalattal közösen 1943-ban megalapította a DOW CORNING CORPORATION céget a szilikonok fejlesztésére. A terméket eleinte háborús célokra használták. 1945-ben kezdték meg a szilikonok nagyüzemi gyártását általános ipari felhasználásra.

KIPPING kutatásait 1938-tól EUGÈNE GEORGE ROCHOW (1909–2002) folytatta, főként a szilíciumorganikus vegyületek polimerizációja foglalkoztatta: és 1941-ben felfedezi a rugalmas és a hideget jól tűrő szilikongumit. Ekkoriban állítják elő a rendkívül ellenálló szilikonzsirt és a nedvességtaszító szilikonbevonatot is.

Olyan esetekben használják a szilikonolajokat, -zsírokat, -kaucsukokat és -gumikat, -gyantákat, amelyekben előnyös és különleges tulajdonságaik érvényesülnek. Egyik nagy előnyük, hogy -60 és $+180$ °C között, tehát igen széles hőmérsékleti tartományban alig változnak a tulajdonságaik^[4].

Ha a szilikonolajjal impregnált papírlapocskával tisztítjuk meg a szemüveget, annak felületére vékony szilikonolaj kerül, és ez a réteg pára- és portaszító tulajdonságú.

A szilikonpolimerek másik különleges tulajdonsága, hogy a testbe beépíthetők anélkül, hogy a szervezet magából idegen testként kilökné^[3, 5].

3. Összefoglalás

Sokféle műanyagot gyártanak ma már az iparban: a műanyagok öt nemzedékén át kezdve a celluloidtól, a bakelittől, folytatva a PVC-n, a polisztirolon át a Nylonig, majd a nagy hőállóságú műanyagokig. A műanyagoknak egyszerre kell(ene) teljesíteni a környezet- és az egészségvédelemre vonatkozó előírásokat, a gazdasági feltételeket, megőrizve a különböző iparágakban a szavatolt feladathoz kapcsolódó tulajdonságokat. Sok-sok ember munkájára volt szükség, hogy idáig eljussunk. És még távolról sincs vége^[6].

Ebben az összeállításban megvizsgáltuk a kérdés összetettségét, elsősorban történeti szempontból. A fejlődés egyik kulcsa, hogy az új nemzedék tanul az idősebbektől: úgy is, hogy a régi hibákat nem követi el. A tudományban mindig is voltak tévedések, de ezek a mellékutak később mégis előbbre vitték a fejlődést. Hiszen a fejlődés és a változás mindig is jellemző volt és lesz, és nemcsak a műanyagok világára.

Összeállította: Kun Pál* és Dr. Kalácska Gábor**

- [1] Hans Breuer: SH atlasz Kémia (1995) Springer Hungarica Kiadó Kft., Budapest, p. 419
- [2] Dr. Kalácska Gábor: Műszaki polimerekről, gépészmérnököknek (2017) Quattroplast Kft., Gödöllő, p. 20–21.
- [3] Dr. Balázs Lóránt: A kémia története (1996) Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest p. 624, 657, 658, 660, 661, 790, 791.
- [4] Dr. Macskásy Hugó: A műanyagok világa (1983) Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [5] Kovács Lajos-Csupor Dezső-Lente Gábor-Gunda Tamás: Száz kémiai mítosz (2011) Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 444–446.
- [6] Jack Challoner: 1001 találmány, amely átformálta a világot (2010) Gabo Könyvkiadó, Budapest, p. 620; 728

*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Matematika és Természettudományi Alapok Intézet Kémia Tanszék

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Intézet