

A teflon

A *teflon*, vagyis a politetrafluor-etilén (*PTFE*) alapú műanyag egy olyan polimer, amely kiváló fizikai tulajdonságokkal rendelkezik: rendkívül alacsony sűrűségű, folyadékaszító, vegyszerálló és kiváló szigetelő. Anyagtudományi szempontból kiemelkedő kémiai stabilitása miatt normál körülmények között nem reagál semmilyen anyaggal.

Felfedezése

A tudományos kutatások során gyakran fordult elő, hogy *szerencsés balsikerek* vezettek fontos felfedezésekhez. Ilyen ismert felfedezések:

- A penicillin felfedezése, mely Alexander Fleming nevéhez fűződik, aki 1928-ban véletlenül fedezte fel a *Penicillium notatum* penészgomba baktériumölő hatását. Fleming 1928-ban egy nyári vakációról hazatérve a laboratóriumban hagyott *Staphylococcus aureus* nevű baktérium kolóniáját vizsgálva vette észre, hogy egy *Penicillium notatum* nevű penészgomba fertőzte meg a Petri-csészéket. Miután mikroszkóp alatt is megvizsgálta a mikroorganizmusokat, meglepődve tapasztalta, hogy a penész megakadályozta a *staphylococcusok* normális növekedését.
- Bár a pacemaker megvalósításához többen hozzájárultak, a felfedezés Wilson Greatbatch nevéhez kapcsolódik, aki szívritmus-adatokat rögzítő készülék fejlesztésén dolgozva, véletlenül fedezte fel a pacemakert.
- Percy Spencer radarkészüléket fejlesztett, és ennek során észrevette, hogy a zsebében lévő csokoládé szokatlan mértékben megolvadt – ez adta a mikrohullámú sütőhöz vezető ötletet.

A felsorolt felfedezésekhez hasonlóan a politetrafluoretilén (*PTFE*) felfedezése is a véletlennek köszönhető.

Dr. Roy Plunkett, az amerikai DuPont cég vegyésze 1938 áprilisában egy új hűtőközeg előállításával kísérletezett. A tetrafluor-etilén (*TFE*) nevű anyag szintézisében dolgozott, amelyet hűtőgépekben kívántak alkalmazni. 1938. április 6. reggelén Roy Plunkett azt tapasztalta, hogy a berendezésben lévő gáz, a tetrafluor-etilén fehér, viaszos porrá alakult. A szilárd anyagot megvizsgálva kiderült, hogy politetrafluoretilén (*PTFE*) képződött.

Az anyagról megállapították, hogy az semmilyen oldószerben, savban, lúgban nem oldható, felmelegítve nem folyó, tiszta géllé alakul.

Ez az anyag a teflon alapja, amelynek véletlenszerű felfedezése a II. világháború során forradalmasította a műanyagipart, és az új anyagot számos, addig nem ismert területen használták fel.



Plunkett nem gondolta, hogy a tetrafluor-etilén tárolása közben polimerizálódhat, hiszen egy hasonló monomer, a vinil-klorid polimerizálásához katalizátorra, gyökképző iniciátorra volt szükség. A spontán polimerizáció azért is volt meglepő, mert a kutatók éppen nagy stabilitásuk miatt foglalkoztak a fluor-klor-szénhidrogénekkal (a freonokkal).

A teflon márkanév

A Teflon® a DuPont cég által használt védett márkaneve a politetrafluor-etilén (*PTFE*) nevű alapanyagnak, amely egy csúszós, semmihez nem tapadó bevonat. Bár a köznyelvben gyakran minden tapadásmentes bevonattal ellátott edényt teflonbevonatú edénynek neveznek, ez téves, mivel a Teflon® csak a DuPont cég termékeire vonatkozó oltalmazott márkajelzés. Az idők során a márkanév köznevesült, és ma már sokan „teflonos” edényként emlegetik a tapadásmentes bevonatú konyhaeszközöket, függetlenül attól, hogy melyik gyártó terméke.

Más gyártók is használnak hasonló *PTFE* alapú bevonatokat a termékeikben, ezek nem viselhetik a Teflon® nevet. A Quattroplast például DO-C AFLON néven kínál *PTFE* alapú termékeket.

Márkajelzés: A Teflon® nem az anyag neve, hanem egy márkajelzés, amely azonosítja a DuPont termékeit. Ipari márkanév az alapanyag, a polimerizált **TEtraFLu-Or-etilén** kémiai nevének kiemelt betűiből származik.

A név helyesírására vonatkozó, napjainkban elfogadott írásmód, hogy a márkanevet nagy kezdőbetűvel, amennyiben, mint köznevesült márkanevet használjuk, kis kezdőbetűvel írjuk.



Az új polimér, a *PTFE* tulajdonságai

A teflon sajátos tulajdonságait szakmailag igen igényes területeken is hasznosítják, melyek: az élelmiszergyártás, elektronika, űrtechnika, orvostech-nika, és sok más. A következőkben felsoroljuk azon tulajdonságokat, amelyek a *PTFE*-t ilyen népszerű és hasznos anyaggá teszik:

- minden ismert vegyi anyaggal szemben ellenálló, beleértve a savakat, lúgokat és oxidálószerket. Kivételt képeznek az olvadt alkálifémek és néhány fluorozott vegyület (rendkívül magas hőmérsékleten). Ez a tulajdonság teszi ideálissá a vegyiparban való alkalmazására;
- valamennyi műanyag közül ennek a legnagyobb a vegyszerállósága, nincs oldószere;



- hidrofób és oleofób tulajdonsággal rendelkeznek. Semmiféle anyag nem tapad rá, még magasabb hőmérsékleten sem. Ezért süthetünk a Teflon[®] réteggel bevont fémedényekben zsiradék nélkül is;
- jól ellenáll a hidegnek és a melegnek is: mínusz 269 Celsius-foktól plusz 260 Celsius-fokig tartósan igénybe vehető;
- a legkevésbé éghető műanyag;
- kiváló dielektromos tulajdonságokkal rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy rendkívül hatékony elektromos szigetelő. Alacsony dielektromos állandója és kis dielektromos vesztesége miatt ideális választás nagyfrekvenciás alkalmazásokhoz, kábelek és vezetékek szigeteléséhez, nyomtatott áramköri lapokhoz és kondenzátorokhoz. A *PTFE* elektromos tulajdonságait nem befolyásolja jelentősen a hőmérséklet vagy a páratartalom, ami stabil és megbízható teljesítményt biztosít változó környezeti feltételek mellett is;
- kielégíti a legszigorúbb élelmiszeripari és gyógyászati követelményeket, ezért élő szervezetekbe is beépíthető;
- ellenáll az UV sugárzásnak és az időjárás viszontagságainak. Nem degradálódik napfény hatására, nem repedezik meg, és nem veszti el tulajdonságait hosszú távú kültéri kitettségek során sem;
- a *PTFE* a legalacsonyabb sűrűlési együtthatóval rendelkezik az ismert szilárd anyagok közül. Ez a „csúszos” tulajdonság teszi annyira népszerűvé a tapadásmentes bevonatok gyártásában. A felülete annyira sima és inert, hogy a legtöbb anyag nem tapad hozzá;
- a *PTFE* kémiai és biológiai semlegessége miatt kiválóan alkalmas élelmiszeripari és orvosi alkalmazásra. Nem reagál az élelmiszerekkel, nem oldódnak ki belőle káros anyagok, és nem befolyásolja az ízt vagy az illatot, ezért széles körben használják élelmiszeripari gépek alkatrészeinél, szállítószalagoknál és tapadásmentes sütőformáknál;
- az orvosi iparban a *PTFE* biokompatibilis, ami azt jelenti, hogy a szervezet nem utasítja el, és nem okoz allergiás reakciókat. Emiatt a tulajdonsága miatt használják sebészeti implantátumok, katéterek, protézisek és laboratóriumi eszközök gyártásához. A *PTFE* sterilizálható anélkül, hogy elveszítené tulajdonságait, ami elengedhetetlen az orvosi eszközök esetében. A gyógyszeriparban is fontos szerepet játszik, mint például gyógyszerek gyártása és tárolása.

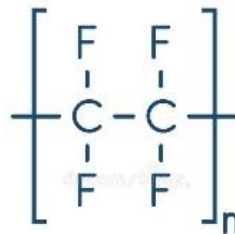
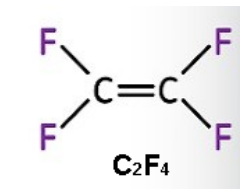


Kémiai szerkeze

A *politetrafluor-etilén* egy fluorozott szénláncú polimer, melynek monomerje a tetrafluor-etilén (C_2F_4).

A monomer polimerizációja útján kapjuk a *tetrafluoropolimert*.

A polimerizációs folyamat során ezek a monomerek hosszú, lineáris láncokká kapcsolódnak össze, ahol minden szénatomhoz két fluoratom kötődik. Ez a specifikus kémiai felépítés adja a *PTFE* kivételes tulajdonságait. A szén-fluor kötések rendkívül erősek és stabilak, ami hozzájárul az anyag kémiai semlegességéhez és hőállóságához. A fluoratomok nagy elektronegativitása és mérete emellett egy sűrű védőréteget képez a szénnel. A *PTFE* molekulaszervezete rendkívül szabályos és kristályos, ami tovább erősíti mechanikai stabilitását. A fluoratomok spirális elrendeződése a szénlánc körül egy sima, inert felületet biztosít, ami magyarázatot ad a rendkívül alacsony súrlódási együtthatójára. Ez az alacsony felületi energia azt jelenti, hogy kevés más anyag tud hozzátapadni, ezért nevezzük tapadásmentes anyagnak. Ezenkívül a *PTFE* egy apoláris anyag, ami kiváló dielektromos tulajdonságokat kölcsönöz neki, és hozzájárul ahhoz, hogy ellenálljon a víznek és az olajoknak.



Bár kitűnő tulajdonságokkal rendelkezik, vannak hátrányos tulajdonságai is:

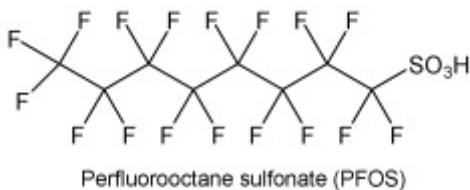
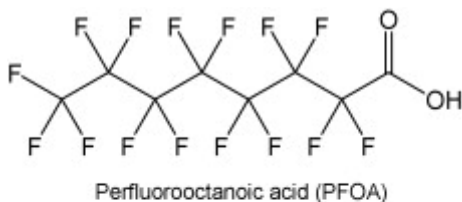
- hagyományos műanyagfeldolgozási eljárásokkal nem formázható, a sűrűsége nagyobb ($2,3 \text{ g/cm}^3$), mint a tömegműanyagoké
- ára jóval magasabb a klasszikus műanyagokénál. A *PTFE* az egyik legdrágább műanyag. Ennek oka a komplex gyártási folyamat, a speciális nyersanyagok (tetrafluor-etilén) magas költsége, valamint a nehézkes feldolgozás. A polimerizáció és a szinterezési eljárások energiaigényesek és speciális berendezéseket igényelnek. A magas ár korlátozhatja a *PTFE* alkalmazását olyan területeken, ahol a költséghatékonyság a legfontosabb szempont, és ahol más, olcsóbb anyagok is megfelelő teljesítményt nyújtanak. Azonban azokon a területeken, ahol a *PTFE* egyedülálló tulajdonságai elengedhetetlenek a biztonság, a megbízhatóság vagy a hosszú élettartam szempontjából, a magasabb ár indokolt lehet.



Környezetvédelmi és egészségügyi szempontok

A *PTFE* környezetvédelmi és egészségügyi hatásaival kapcsolatban az utóbbi években számos vita és kutatás folyt, különösen a per- és polifluoralkil anyagok (*PFAS*) kapcsán. Fontos elkülöníteni a *PTFE*-t magát, mint végterméket, és azokat a vegyületeket, amelyeket a gyártása során esetlegesen használtak.

A polifluoralkil (*PFAS*) egy nagy vegyületcsalád, amelyeket széles körben használnak ipari termékekben és fogyasztási cikkekben a víz-, zsír- és szennyeződésállóság biztosítására. Két legismertebb tagja a *perfluoroktánsav* (*PFOA*) és a *perfluoroktánszulfonsav* (*PFOS*). Ezeket a vegyületeket korábban a *PTFE* gyártása során is felhasználták, fém emulgeálószerként. A *PFOA* és *PFOS* környezetben való ellenállóképességük miatt bioakkumulációhoz vezethet, ami miatt a potenciális egészségügyi kockázattal rendelkező anyagok listájára kerültek, egyes országokban betiltották használatukat.



A *PTFE* végtermékként, kémiaiilag inert polimer, amely nem tartalmaz *PFOA*-t vagy *PFOS*-t. A modern *PTFE* gyártási eljárások már nem használnak *PFOA*-t vagy *PFOS*-t, a mai *PTFE* alapú termékek teljesen biztonságosak.

A *PTFE* gyártása és feldolgozása

A *PTFE* gyártása összetett folyamat, amely a tetrafluor-etilén (*TFE*) monomer polimerizációjával kezdődik. A *TFE* gáz egy rendkívül reakcióképes vegyület, amelyet fluorozott szénhidrogének pirolízisével állítanak elő. A polimerizáció során a *TFE* molekulák szabadgyökös mechanizmuson keresztül kapcsolódnak össze, hosszú polimer láncokat hozva létre. Ez a reakció általában vizes diszperzióban, iniciátorok (például peroxidok) és stabilizátorok (például felületaktív anyagok) jelenlétében történik, magas nyomáson és hőmérsékleten. A polimerizáció eredményeként egy finom, fehér por keletkezik, amely a *PTFE* alapanyaga.

A por formájú *PTFE*-t két fő típusra oszthatjuk: a *granulált* (szemcsés) és a *finomporos* (finom diszperziós) típusra. A granulált *PTFE* általában préselési és szinterezési eljárásokhoz, míg a finomporos *PTFE* extrudáláshoz és diszperziós bevonatokhoz használatos. E két típus eltérő feldolgozási módszereket igényel.



A *PTFE* feldolgozásának különlegessége abban rejlik, hogy rendkívül magas olvadáspontja (körülbelül 327 °C) és rendkívül magas olvadékviszkózitása miatt nem lehet hagyományos fröccsöntési vagy extrudálási eljárással feldolgozni. Ehelyett a szinterezés (sintering) nevű technikát alkalmazzák, amely a porfémek és kerámiák feldolgozásához hasonló.

A *PTFE* feldolgozási módszerei a következők:

- *Préselés és szinterezés*: ez a leggyakoribb módszer rudak, lemezek, tömbök és komplexebb formák előállítására. A *PTFE* port formába préselik, majd kemencében szinterezik.
- *Rúd- és csőextrudálás*: a finomporos *PTFE*-t kenőanyaggal (pl. kőolajszármazék) keverik, majd pasztává extrudálják. Ezt követően a kenőanyagot elpárologtatják, és az anyagot szinterezik. Ez a módszer alkalmas vékony falú csövek, kábel szigetelések és vékony profilok előállítására.
- *Fólia és filmgyártás*: a vékony *PTFE* fóliákat gyakran skiving (hámozás) eljárással állítják elő, ahol egy vastagabb *PTFE* hengerből vékony rétegeket vágnak le. Más technológiák közé tartozik a diszperziós bevonat, ahol a *PTFE* diszperziót hordozófelületre viszik fel, majd hevítéssel szinterezik.
- *Bevonatolás*: a bevonatot rétegenként viszik fel, majd minden réteget szárítanak és szintereznek. Ez a folyamat biztosítja a tartós és egyenletes tapadásmentes felületet.

Különleges alkalmazási lehetőségeinek köszönhetően napjainkban a világon évente több mint 50 ezer tonna Teflont® állítanak elő.



Irodalom

<https://hu.honyplastic.com/news/detail-232831>

<https://elo.hu/politetrafluor-etilen-keplete-tulajdonsagai-es-felhasznalasa/tml>

<https://www.britannica.com/science/polytetrafluoroethylene>

Dr. Máthé Árpád, *Élet és Tudomány* 78. évfolyam, 23. sz., 2023

<https://www.aps.org/archives/publications/apsnews/202104/history.cfm>

Összeállította **Majdik Kornélia**

