

MŰANYAGHULLADÉKBÓL ZÖLD ENERGIA

Napjainkban egyre fontosabb szerep jut a környezetvédelemnek, mind a globális felmelegedés elleni küzdelem, mind a fenntartható fejlődés kapcsán. A kutatók részéről vita övezi az éghajlati változások kérdését, nem bizonyított ugyanis, hogy a jelenség mennyiben természetes és mennyiben az ember által okozott folyamatok eredménye. Bármilyen álláspontot fogadnak is el a jövőben, jelen állás szerint az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC) főként az ipari forradalom hatásaként megélt nehézipar által kibocsátott üvegházhatású gázokat teszi felelőssé a klímaváltozásért.

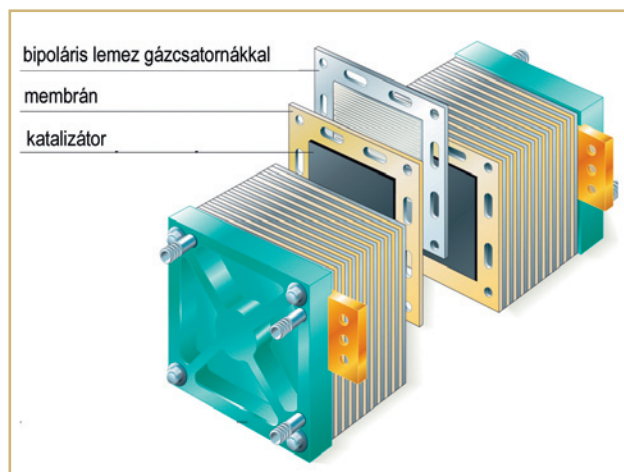
Egy másik, szintén nagyon fontos környezetvédelmi problémát jelent a nagy mennyiségben keletkező műanyagok optimális hasznosítási lehetőségeinek megtalálása. A nagy tömegben hulladékká váló PET palackok újbóli élelmiszeripari felhasználása igen nehézkes, ám az anyagban rejlő kiváló tulajdonságokat műszaki alkatrészekben lehetne kamatoztatni.

A környezetvédelem fontosságát szem előtt tartva megnőtt az igény a „zöld energiára”. Egyre szélesebb körben terjed a bioetanol üzemanyagként történő használata, illetve anyagi szempontokat is figyelembe véve a különböző megújuló energiaforrások felhasználása például áramfejlesztésre, fűtésre és melegvíz készítésre. Új irányzat a „zöld energiafelhasználás” területén az energia- vagy üzemanyagcellák fejlesztése.

Az üzemanyagcellákkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő kémiai reakcióval, a hidrogén „tüzelőanyagként” való felhasználásával. Melléktermékként víz keletkezik, és mivel a folyamat égés nélkül zajlik, a berendezés nem bocsát ki füstgázt. Sokrétű energiaforrás ez, amely az iparban és a háztartásokban ugyanúgy használható lenne, mint a gépjárműiparban, mégis ez utóbbi terület jelent potenciális piacot.

Megfordított elektrolízis

Az üzemanyagcellák története 1839-re nyúlik vissza, amikor a walesi születésű fizikus, Sir



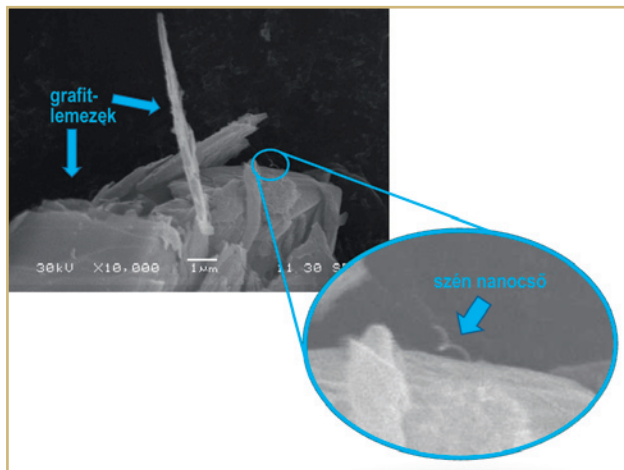
Az üzemanyagcella felépítése /forrás: <https://www.ticona-photos.com/>



A gépjárművek károsanyag-kibocsátásának csökkentésére az egyik lehetőség a hibrid meghajtás



Üzemanyagcella /forrás: <http://honda-auto.hu/>



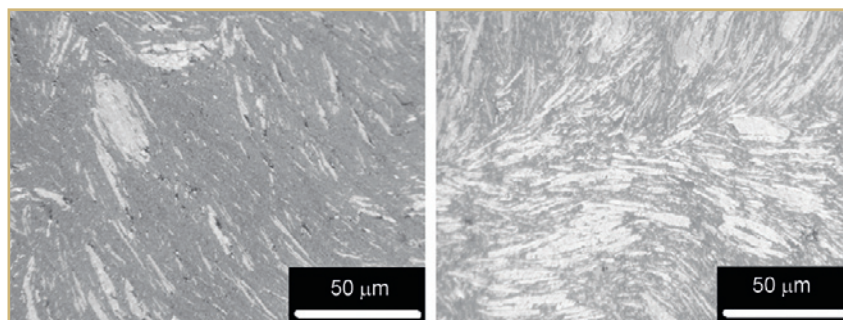
A grafit és a szén-nanocső elektronmikroszkópos képe
10 000-szeres nagyításban

William Grove felismerte, hogy az elektrolízis folyamata visszafordítható, és hidrogén-, illetve oxigéntartalmú oldatokat elektródákra kötve az elektródák között fellépő feszültséget tapasztalt. A levegő és széngáz üzemű cellákkal való kísérletezés után Francis Bacon 1932-ben alkáli elektrolitos nikkel-elektrodás hidrogén-oxigén cellát fejlesztett ki, amit egy 5 kW-os teljesítményű berendezés megalkotása követett, mígnem 1959-ben Herry Karl Ihring egy 20 lóerős üzemanyagcella hajtású traktorral rukolt elő.

A következő nagy lépést az Apollo-program jelentette; az üzemanyagcella azért kapott helyet a programban, mert minden olyan előnyös tulajdonsággal rendelkezik, ami az űrutazás során fontos. Csak a legfontosabbakat tekintve: nem érzékeny a gravitációs és hőingadozásokra, a kozmikus sugárzásra, kis tömegű és kiterjedésű, nincs károsanyag-kibocsátása, ezen kívül üzemanyaga (hidrogén és oxigén) egyébként is az űrhajón van. Az űrkutatás támogatásának csökkenésével a cellák a környezetvédelem és a gazdaságosság kapcsán kerültek újra előtérbe.

A gépjárműforgalom károsanyag-kibocsátásának visszaszorítása égető probléma. Megoldást jelenthetnek a hagyományos értelemben vett elektromos autók, amelyek akkumulátoraival csak bizonyos távokat tehetünk meg, az akkumulátor újratöltése pedig hosszú órákat vehet igénybe. Egy másik lehetőség a hibrid meghajtású autók, amelyek hagyományos motor mellett villamos hajtással is fel van szerelve. A villamos hajtásnak azonban van egy nagy hátránya: a nagy tömegű és rossz hatásfokú akkumulátor. Az üzemanyagcella ennél az elemnél sokkal kisebb kiterjedésű, tömegű, hatásfoka az akkumulátoros hajtás 25%-a helyett 60%, és nem érzékeny a külső hatásokra. Gépjárművek áramforrása mellett az üzemanyagcellák ma már mobiltelefonok, notebookok és városi villamosművek energiaellátói.

Az üzemanyagcellák egyik legfontosabb alkatrésze a bipoláris lemez, ez szabja meg a cella élettartamát. A bipoláris lemezek tradicionálisan fémből készültek, így biztosították a vezetőképességet és a megfelelő mechanikai tulajdonságokat, de a korróziós jellemzőik és az elektrokémiai stabilitásuk nem volt kielégítő. A korrózióállóság javítása érdekében a fémlamezeket bevonatokkal látták el, azonban a bevonatok elektromosan szigeteltek, a vezető tulajdonságú anyagok pedig hibásan fedték a lemezeket, ami a szerkezet meghibásodásához vezetett. A költséges és kevés sikerrel

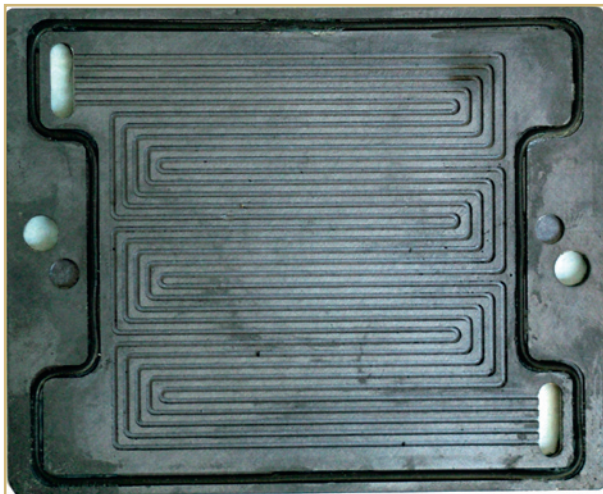


Balra: 20% grafit, 8% szén nanocső és 2% korom adalékot tartalmazó minta optikai mikroszkópos képe, jobbra: 40% grafit, 8% szén nanocső és 2% korom adalékot tartalmazó minta optikai mikroszkópos képe (500-szoros nagyítás)

kecsegtető bevonatkészítés helyett áttértek a lemezek grafitból való gyártására, ám az így készült alkatrészek törékenynek bizonyultak, ráadásul a gázvezető csatornák megmunkálása is bonyolult és költséges volt.

A cellák lelke

A bipoláris lemezek jelenleg a cella összsúlyának 80%-át teszik ki, és a költségek 60%-át felelősek. A költségmodellek becslése szerint, ha ezek műanyagból készülnének, akkor mindössze 15-30%-át tennék ki az üzemanyagcella összköltségének jelentős súlycsökkenés mellett. A súly- és költségcsökkenést anyagtechnológia fejlesztéssel lehet elérni, kutatásunk során ezt tűztük ki célul. Ez a módszer eszköz lehet a keletkező műanyag hulladék egy részének magas szintű hasznosításának megoldására is.



A fejlesztések eredményeképpen elkészült bipoláris lemez

A fejlesztés a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszékének laboratóriumában történt. A felújított, korszerű technológiai gépekkel és mérőműszerekkel felszerelt vizsgáló laboratórium nemcsak NAT akkreditációval rendelkezik, hanem az első tanszék volt az országban, amely bevezette az ISO:9001 minőségbiztosítási rendszert.

Két legyet egy csapásra

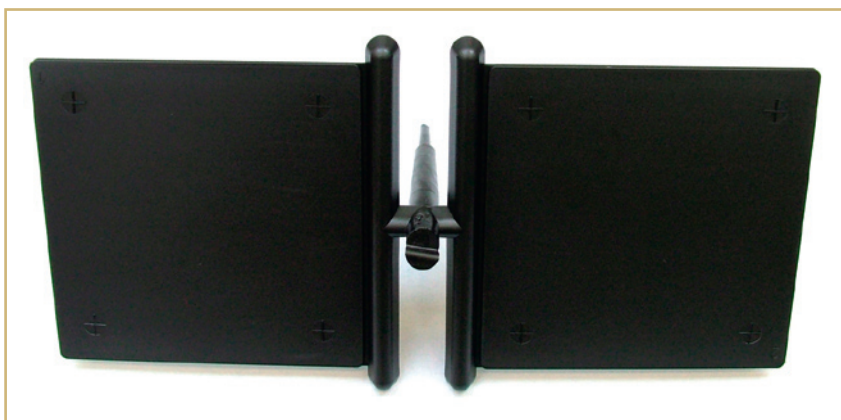
A fejlesztés során többféle műanyagot is kipróbáltunk. Ennek során tehát nem csak eredeti műanyagokat (például polipropilént), hanem műanyag-hulladékokat is felhasználtunk, első sorban a mindenki által üdítő palackként ismert PET hulladékát tisztítottuk meg és daráltuk le, majd ebbe kevertünk különböző töltőanyagokat (grafitot, kormot és szén-nanocsövet), amelyek az anyagok vezetőképességét emelték. A felhasznált töltőanyagok közül a grafit és a kormot könnyen hozzáférhető, de ma már a szén-nanocső is viszonylag egyszerűen és a pár évvel ezelőtti igen magas ár töredékéért beszerezhető.

Az összekevert anyagokból lapokat préseltünk, hogy el tudjuk végezni a minősítő vizsgálatokat. A lapokból kivágott próbatesteken vezetőképesség-mérést, hajlító- és ütő vizsgálatokat végeztünk. Egyrészt az anyagok azon tulajdonságait vizsgáltuk, amelyekre az amerikai Energiaügyi Minisztérium minimálisan teljesítendő értékeket határozott meg. Ezek közül az egyik legfontosabb a jó vezetőképesség, amelynek a legkisebb értékét 100 S/cm-ben határozták meg. Ezt az értéket az általunk fejlesztett anyagok jócskán meghaladták, hiszen a legjobban teljesítő keverék-nél 122 S/cm-es értéket mértünk.

A másik általunk vizsgált jelenség pedig a három töltőanyag egymáshoz való viszonya volt. Az optikai mikroszkópos és hajlító vizsgálatok, valamint a vezetőképesség-mérések eredményein azt láttuk, hogy a legdominánsabb hatással a tulajdonságokra a grafit és annak

eloszlása van. Amikor a műanyagokba kevert grafit nagyobb „részecskéket” képezve keveredett el, akkor az anyag vezetőképessége és merevsége is nagyobb lett. Ezenkívül a grafit és a kormot között egymást erősítő hatást fedeztünk fel; azok az anyagok, amelyek grafitot és kormot is tartalmaztak, nagyobb vezetőképességgel bírtak, mint a vagy csak kormot, vagy csak grafitot tartalmazók. Ezt azzal lehet magyarázni, hogy a szemcsék, amelyből a kormot áll, sokkal kisebbek azoknál, amelyek a grafitot alkotják, így a kisebb szemcsék képesek a nagyobbak közötti anyagot kitölteni. Ennek során a szemcsék, mint egy villamos kábel, összeérnek, ezáltal zavaraltalanabb, nagyobb hatásfokú vezetésre képesek.

Ezt a jelenséget az optikai mikroszkópos képeken is jól megfigyelhetjük. A képeken látható fehér foltok a grafit-aggregátumok, a sötét terület a befogadó polimer, a néhány helyen felfedezhető kis fekete folt pedig a kormot, illetve nanocső-aggregátumokat jelöli. Látható, hogy a



PET palack darálékából fröccsöntéssel előállított vezetőképességes műanyag lemez

bal oldali képen, amely kisebb töltőanyag tartalmú keverékről készült, a töltőanyagból kialakult aggregátumok nem kerülnek olyan közel egymáshoz, mint a jobb oldali képen látható, nagyobb mennyiségű töltőanyagot tartalmazó keverékben. A jobb oldali anyag vezetőképessége a bal oldaliénak körülbelül a háromszorosa.

Több olyan anyagösszetételt sikerült létrehozni, amely bipoláris lemezek alapanyagául szolgálhat, így több bipoláris lemezt is készítettünk. A lemezek az egyedi gyártástechnológiával készült lapokból lettek kialakítva marással. Az elkészült lemezek beépítésre kerültek, és noha nem a legjobb anyagösszetételeket használtuk, a legyártott lemezek teljesítménye így is vetekedett a gyári bipoláris lemezek teljesítményével.

A jelenlegi gyártástechnológia mellett, ami jelenleg csak labor körülmények közötti előállításra alkalmas, kísérleteket tettünk az ipari termelés előkészítésére is, amit az egyik leghatékonyabb nagysorozatú termékgyártási móddal, fröccsöntéssel oldottunk meg. Az első kísérletek e tekintetben biztatóak, a cél, hogy Magyarországon az első között valósulhasson meg az üzemanyagcellák gazdaságos tömeggyártása.

**RONKAY FERENC
KIRÁLY ANETT**