

## Műanyag újrahasznosítás az autópárhban

Az elektromos meghajtású járművek életciklus alapján készített (LCA) klímamérlege a belsőégésű motorokkal üzemelő típusokhoz képest a jövőben fenntarthatóbb lesz, amennyiben az egész értéklánc létrehozása folyamán a teljes gyártási művelet során megvalósul a CO<sub>2</sub> csökkentés.

*Tárgyszavak: klímamérleg, fenntarthatóság, GWP-érték, életciklus-értékelés, fizikai újrahasznosítás, CO<sub>2</sub> csökkentés*

### A technológiafejlesztés és értékelés alapja az LCA (életciklus-analízis)

A klímavédelem és a körkörös gazdaság érdekében folyamatosan és kiemelten napirenden lévő sarkalatos kérdés, hogy a csúcstechnikájú elektromos hajtású autók, vagy inkább mégis a modern belső égésű motoros üzemeltetéssel működő járművek tekinthetők inkább környezetbarátnak? Ez a témakör az Európai Parlament Gépjárműágazatának domináns aggodalma, miután az EP javaslatára elfogadták azt az autópárh károsanyag kibocsátásának nullára való redukálása céljából létrehozott hivatalos tervezetet, miszerint 2035-től nem lehet majd belső égésű motorral szerelt új autópárh értékesíteni az EU-ban.

A belső égésű motoros autók elektromos hajtásúakra váltásához vitathatatlanul szükség van a kétféle üzemmódú autópárh klímamérlegének beható vizsgálatára. Ennek elkészítéséhez nélkülözhetetlen a „bölcsőtől a kapuig / cradle to gate” valamennyi technológiai fázisra, alkatrész funkcióra kiterjedő teljes élettartam vizsgálata, továbbá komplex CO<sub>2</sub> kibocsátás széleskörű és mélyreható, az alkatrészek előállítási ciklusától az üzemeltetés befejezéséig, valamint az alkatrészek újrahasznosíthatóságát magába foglaló értékelése. Az **Online-Plattform Statista** globális autópárh ágazati statisztikai adatszolgáltató közlése szerint Németországban 2022 januárjában összesen 48,5 millió személygépkocsit tartottak nyilván, amelyből mindössze 0,6 milliót jegyeztek tisztán elektromos meghajtásúként. Az év folyamán ez a szám egyértelműen nagyobbra módosult. A fosszilis üzemmódról elektromos meghajtású motoros járművekre való csere nem csak kihívásokat, hanem lehetőségeket is magában hordoz. Az elektromos meghajtású járművek térhódítása a műanyagból készült és a műanyaggal társított alkatrészek szélesebb körű alkalmazására nagyobb teret kínál.

A műanyag felhasználásával nem csak a jármű tömegének jelentős mértékű csökkentésére van lehetőség, hanem az elektromos autópárh ismételt feltöltés (tankolás) nélkül hosszabb távolság megtételére is képes. Az elektromos autópárhban utazóknak a jó villamos szigetelés megbízható tűzvédelmet biztosít, azonban az akkumulátorok feltöltése és lemerülése által keletkező hőmennyiség csökkentéséről, az elektromos járművek hőszabályozásáról körültekintően kell gondoskodni. Ennek érdekében az autópárhba szerelt jó hővezető képességű anyagok kedvezően befolyásolják az akkumulátorok működését kísérő hőmennyiség mérséklését. A jelenlegi perspektíva alapján az autópárhban az akkumulátorgyártás lesz a jövő megkerülhetetlen stratégiai jelentőségű iparága.

**A környezetvédelem és a fenntarthatóság szempontjainak figyelembevételével a körkörös gazdaság számára kiemelt fontosságúnak tekintik az elektromos meghajtású autópárhhoz felhasznált műanyagok GWP (Global Warming Potential)-értékeit.**

Az E-mobilitás (a fosszilis energiahordozóval működő gépjárművek elektromos meghajtással való kiváltása) megjelenésével a járműiparban korábban sikeresen alkalmazott műanyag-megoldások új követelményrendszer igénypontjai szerinti átértékelésére van szükség. Ilyen súlyponti kérdés például a gépjárművekbe beépített műanyagok globális felmelegedési potenciál Global Warming Potential =

GWP-értéke, amelyet egyébként a gázok üvegházhatásának számszerűsítésére használnak. Egységének 1 kg széndioxid 100 év alatt bekövetkező légkör-felmelegítő hatását tekintik, vagyis  $GWP_{CO_2} = 1$ . Egyes halogénezett hűtőközegek GWP-je esetenként több ezerszerese is lehet a széndioxidénak. Például az R404a hűtőközeg GWP-értéke 3922, amelyből a légkörbe kerülő 1 kg ugyanolyan mértékű üvegházhatást idéz elő 100 év alatt, mint 3922 kg  $CO_2$ .

A **Mocom GmbH** (Hamburg, Németország) cég *Altex NXT PP* márkanévű 35% üvegszállal erősített polipropilén (PP-GF35) anyaga például mintegy 70% GWP-érték csökkenést tanúsított a 30% üvegszállal erősített poliamid 66 (PA66-GF30)-tal szemben. A fenntarthatóság irányelveit tekintve a PP-GF35 további előnye a PA66-hoz képest a jelentősen alacsonyabb hőmérsékleten való feldolgozhatóság.

**A termékek és szolgáltatások környezeti lábnyomának mérésére az életciklus-értékelés (LCA) tudományos módszert alkalmazzák.**

A fenntarthatóság, a klímaváltozás, a körkörös gazdaság a mindennapi üzleti élet részévé váltak. A jelenlegi kihangsúlyozott klímavédelmi szempontokat előtérbe helyező és minősítő tényezők vindikálják az anyagok Life-Cycle-Assisment életciklus értékelését. Az LCA egy tudományos módszer a termékek és szolgáltatások környezeti lábnyomának felmérésére. A vállalatoknak egyre nagyobb szükségük van LCA szoftverekre, amelyek által szolgáltatott adatokat adatbankban gyűjtik az elektromos autókhoz felhasználásra tervezett anyagfélések és eszközök összehasonlíthatóságának rendelkezésre bocsátása céljából.

Az életciklus-értékelés hagyományosan valamely termék összetevőinek vizsgálatán kívül a gyártás egyes szakaszaihoz kapcsolódó környezeti hatásokon alapul. A független, kritikusan megvizsgált életciklus értékelés a DIN EN ISO 14040 nemzetközi szabvány szerint történik. A termékek, folyamatok vagy szolgáltatások környezeti hatásainak rendszeres elemzése a teljes életciklus során „Cradle to Gate” bölcsőtől a sírig folyamatosan tart. Ez magában foglalja az összes környezeti hatást, amely a gyártás, a felhasználási szakasz és az ártalmatlanítás során jelentkezik, valamint a kapcsolódó upstream (a forgalmazást és a gyártást megelőző fázisában levő) és downstream (a gyártást és forgalmazást követő) fázisban levő folyamatokat, mint például a nyersanyagok, segédanyagok és kellékek előállítása.

**Az életciklus-értékelési módszer a környezetközpontú döntések eszközeként használható.** Termékek fejlesztésére és javítására használják. A módszert a stratégiai tervezésben, a politikai döntéshozatali folyamatokban és a marketingben is alkalmazzák. Az életciklus-értékelés kivitelezése egyrészt a teljes termékrendszer anyag- és energiaáramlásának elemzéséből áll, beleértve a termék életciklusa során érintett összes folyamatot, másrészt a levegőbe, vízbe és talajba történő kibocsátások, valamint a természetből vett erőforrások folyamatos rögzítését, amelyeket az úgynevezett életciklus-leltárban tárolnak. Ezt követően a „hatásvizsgálat” keretében értékelik a lehetséges környezeti hatásokat, mint például az üvegházhatás, savasodás.

Az életciklus-értékelés négy lépésből áll:

1. *A vizsgálat célja és a hatókör meghatározása:* rendszerhatárok meghatározása, a rendszer funkciója és az adatminőséggel kapcsolatos követelmények.
2. *Leltár (LCI – Life Cycle Inventory):* tartalmazza az összes szükséges bejövő (erőforrás, anyag) és kimenő (emisszió, hulladék) anyag- és energiaáramlás adatgyűjtését, melyeket mérlegben rögzítenek.
3. *Életciklus-hatásvizsgálat (LCIA):* megfelelő jellemzési modellek segítségével szoftveres támogatással a leltárelemzés eredményei alapján számítják ki a lehetséges környezeti, az emberi egészségre és az erőforrások elérhetőségére gyakorolt befolyásokat.
4. *Értékelés és értelmezés:* az életciklus- és hatásvizsgálat eredményeit az életciklus-értékelési tanulmány célkitűzéséhez viszonyítva értelmezik

A kompaundálók számára automatikusan felvetődik a kérdés, hogy a polimerizációhoz a reciklátumok alkalmazásakor hogyan számoljanak az életciklus értékelésekor, amelyben valójában a polimer előállításáról kell számot adniuk. A reciklált anyagok középpontjában a hulladék kompaundáláshoz visszavezethető regranulátummá történő előkészítés áll. A reciklátum előállításának minden egyes technológiai

szakaszát vizsgálni kell, hogy a gyártandó végtermék pontos energia modellezéséhez a pontos energiaigényt és a tényleges felhasználást ki lehessen számolni. Mindkét értékeléshez az LCA Software GaBi alkalmazása nyújt hathatós segítséget.

**A feldolgozandó kompaundhoz adagolt reciklátummal nem csak anyagtakarékosság, a fentartóhatóság növelése, hanem jelentős mértékű CO<sub>2</sub> csökkentés is elérhető. A járműipari szektor az elektromos meghajtású típusoknál kiválóan hasznosíthatja az akkumulátorok és a vezérlőmodul hűtésénél a kedvező GWP-értékű műanyagokkal, kompaundokkal készült alkatrészek jó hővezető képességéből adódó hűtőhatását.** Jelenleg az elektromos járművekben túlnyomórészt üvegszállal erősített poliamid 66 (PA66-GF 30) típust alkalmaznak, azonban jelentős mértékű zsugorodása, valamint az *Altech NXT* PP típushoz képest gyengébb vízzel és glikollal szembeni ellenállóképessége miatt időszzerűvé vált alternatívval való helyettesítése.

Az elektromos meghajtású járművek életciklus alapján készített (LCA) klímamérlége a belsőegésű motorokkal üzemelőkhöz képest a jövőben fenntarthatóbb lesz, amennyiben az egész értéklánc létrehozása folyamán a teljes gyártási művelet során megvalósul a CO<sub>2</sub> csökkentés. Ennek a nemes célnak az eléréséhez ágazatokon és országokon átívelő, a széndioxid kibocsátás mérséklésének számszerűsített adatként való kezelhetőségét lehetővé tevő egységes mérhetőségre vitathatatlanul szükség van.

**Nagy kihívást jelent az elhasználdott műanyag hulladék visszanyerése a kiöregedett autókból,** ezért a műanyag hulladék nagy része újrahasznosítás nélkül marad. Az **Audi** autógyártó konszern fizikai újrahasznosítással kívánja az elhasználdott járművekből származó műanyag hulladékot visszanyerni. Ennek érdekében kielégítőnek tartja az egyszerű, hiányosnak tekinthető mechanikai műanyag válogatását és szétválasztását.

Az **Audi** az elektromos autóknál az életciklusokat az autóiipari értéklánc szerves részeként kívánja kezelni. A cég kísérleti projekteket indított több anyag és alkatrész újrafeldolgozására abból a célból, hogy a lehető legtöbb módszerben gyűjtsön tapasztalatot a jövőben felhasználásra kerülő nyersanyagok kezelésében. Álláspontja szerint az életciklusok számos előnyén túl külön említést érdemlő eredmény, hogy a visszanyert anyagok révén csökken a megújuló és a fosszilis nyersanyagok iránti igény. További pozitív következményként könyvelhető el, hogy az életciklusokon alapuló anyagok kedvezőbb energiámérléggel rendelkeznek. Az újrahasznosítás energiaigényét is figyelemmel kísérve a vállalat egészének fenntarthatósági teljesítménye is növekedni fog az egyre hatékonyabb újrahasznosítási módszereknek köszönhetően.

Az **Audi** víziója, hogy egyre több anyagot minősítsen az autókban való sokrétű és igényes felhasználáshoz, valamint a ciklusok lezárása érdekében meghatározza az optimális feldolgozási és újrahasznosítási technológiákat. A járművek több mint 200 kg különféle műanyagot és műanyag kompozitot tartalmaznak (lőkhárítók, hűtőrácsok, különféle belső alkatrészek, de a hajtásban és a klímában lévő elemek is idetartoznak).

A műanyag hulladék keveréket először mechanikusan aprítják és oldószerrel elválasztják a többi komponenstől. A fizikai újrahasznosítás a kémiai újrahasznosítással ellentétben nem teszi tönkre az anyagot. Nem agresszív, ártalmatlan oldószerekkel választják el egymástól a különféle komponenseket, nincs kémiai bomlási reakció, a polimerláncok sértetlenek maradnak. A visszanyerni kívánt műanyag komponensen kívül tartalmazhat az oldat különféle adalékokat (például égésgátlót), amelyek könnyen eltávolíthatók az oldatból. A fizikai újrahasznosítás nem alkalmazható különböző műanyagfélések kombinálása, ragasztók, festékek, töltőanyagok alkalmazása esetén. Sajnálatos, de a műanyagok minősége minden mechanikai feldolgozási lépéssel romlik. Nem teljes értékű műanyagok azonban nem használhatók a járműgyártáshoz, különösen a biztonság szempontjából fontos alkatrészekhez.

Az **Audi** az ipari partnerekkel és a **Karlsruhei Technológiai Intézettel** együttműködve kémiai újrahasznosítási módszert fejlesztett ki: A műanyag hulladék keveréket pirolízissel pirolízisolajjává dolgozzák fel, amely a kőolaj helyettesítőjeként nyersanyagként használható műanyagok előállításához. Ezzel a módszerrel előállított alkatrészek kiváló minőségűek, ugyanolyan értékesek és biztonságosak, mint az új termékből készültek.

A mechanikai és kémiai újrahasznosítással kapcsolatos kutatási projektek mellett az **Audi** a **Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV**-vel megvalósíthatósági tanulmány keretében együttműködik az autóiipari műanyag hulladék fizikai újrahasznosításának és a járműben történő újrafelhasználási lehetőségek vizsgálatára. Korábban a **Fraunhofer Institut** minden újrafelhasználható hőre lágyuló polimert, mint újrafelhasználható hulladékot értékelt és ipari méretekben számontartotta. Az Intézet a **Crea Cycle GmbH** (Grevenbroich, Németország) céggel közösen kifejlesztett és szabadalmaztatott *Crea Solv* eljárással az autóból származó ipari felhasználás utáni hulladék reciklálása során a polimer láncok molekuláris szinten történő „kimosásával” az eredeti állapot, alkalmazás reprodukálhatóságát oldotta meg. Az új oldószeres elválasztásra épülő autóiipari felhasználás utáni hulladék újrahasznosítási eljárását az európai *Multicycle-Projektben* csak röviden tüntették fel, mint hatékony gazdasági mérleget. Az új hulladékkezelési módszer a termikus értékesítésnél jóval kedvezőbb, a hulladékkezelési perspektívából kiindulva tetszetős új termék előállításra jött létre. **A kielégítő mennyiségű hulladék-mennyiség rendelkezésre állás döntően meghatározó tényező mind a folyamat, mind az ipari hasznosítás beindításához, mind a megfelelő gazdaságosság eléréséhez.** A járműiparban a műanyag körforgás szempontjából ígéretesnek tekinthető anyagok a poliamid (PA, PA6 és a PA66), és a sztirol kopolimerek (ABS és a PC+ABS blendek).

Az erőforrások és környezetünk védelme érdekében a társadalomnak olyan újrahasznosítási technológiát kell kidolgoznia, amely a használt műanyagokat a legnagyobb hozzáadott értékkel rendelkező újrahasznosításra fordítja. A kiöregedett járművekből származó elhasználódott műanyagokkal foglalkozó autógyártók munkái tanúsítják, hogy a műanyagok átfogó körkörös gazdaságának megvalósításához az egymásra épülő, összehangolt mechanikus, fizikai oldószeres és kémiai újrahasznosítási eljárások szükségesek. **A különféle eljárások kombinálásával a reciklált műanyagok valóban fenntarthatók és hatékonyak lehetnek a körforgásban tartáshoz.** Az előállítókat törvény kötelezi arra, hogy az anyag körforgásán alapuló gazdálkodás ökológiai elve alapján járjanak el.

### Az Audi és a LyondellBasell együttműködése reciklált műanyagból készülő autóalkatrészek gyártására

Az **Audi** cég Q8 e-tron márkanévű luxus SUV autójában és ennek kupé változatában a biztonsági öv rögzítésének fedelét olyan műanyagból állítja elő, amely autóiipari hulladékot tartalmaz. Ezt a nehezen kezelhető hulladékot hívják „shreddernek” (zúzaléknak). Ennek egyik feldolgozási módja az, hogy pirolízis olajat készítenek belőle, és a **LyondellBasell** ezt friss műanyagok előállítására használja fel. A reciklált anyag tartalmát a tömegmérés alapján számolták ki. A technológiát a *PlasticLoop* projekt keretében dolgozták ki, amelynek célja, hogy legalább az autóiipari hulladék egy részét zárt ciklusban hasonló célra használják fel – elsősorban belső téri alkalmazásokra. A **LyondellBasell** a **SynCycle** nevű kémiai recikláló céggel működik együtt olyan anyagok hasznosítására, amelyeket eddig többnyire csak energetikai hasznosítással lehetett eltüntetni. A kémiai recikálás több energiát igényel, mint a fizikai újrahasznosítás (vagyis ömledékké alakítás és új alakadás), de ez utóbbi csak viszonylag tiszta, szelektált hulladékokon végezhető el, és szinte mindig a tulajdonságok valamilyen mértékű romlásával jár (downcycling). A kémiai recikálás eredményeként létrejövő műanyag jellemzői azonban megegyeznek az eredeti (frissen gyártott) műanyagokéval. Az **Audi** megfogalmazott célja az, hogy minden olyan esetben másodlagos nyersanyagot használjon, ahol ez műszakilag lehetséges, gazdaságos és a környezet számára bizonyíthatóan hasznos.



Forrás: Audi

A projekt megvalósulásához ipari szektorok közti szoros együttműködés szükséges (jelen esetben a vegyipar és az utóipar között), de a sikeres megvalósítás nyomán a „*Design for recycling*” koncepció alapján már a tervezésnél megpróbálják figyelembe venni az újrahasznosítás lehetőségeit.

Összeállította: dr. Pásztor Mária és dr. Bánhegyi György

Meier J.: Doppelt nachhaltiger = Kunststoffe, 11.k., 2022. p. 57–59.

Schoberer J., Merkert L., Schlummer M. = Eine Lösung für Kunststoffabfälle aus Automobilen=Kunststoffe, 11.k., 2022. p. 54–56.

LyondellBasell and Audi Collaborate for Parts Made from Mixed Automotive Plastic Waste,

<https://omnexus.specialchem.com/> 2022. október

Sherman L.M. = First Automotive Plastic Parts from Mixed Automotive Plastic Waste, Plastics Technology, 2022. december