

# MŰANYAGOK ÉS A KÖRNYEZET

## A PFAS kivezetés problémái az EU-ban 1. Elektromobilitás, poli(vinilidén-fluorid)

**Hivatkozás:** grok3 xAI keresés; 2025. május.

**Tárgyszavak:** 1. Környezet/reciklálás 2. 3. 4. PFAS 5. Poli(vinilidén-fluorid) 6. Alternatívák

Az EU történetében nem először és nem utoljára olyan környezetvédelmi szabályozások lépnek életbe, amelyek látszólag, vagy valóságosan ellentmondanak egymásnak. Az európai Green Deal és a Fit for 55 csomagok esetében a cél az elektromos autókra való átállás és a karbonsemlegesség elérése 2050-re. Ez azonban nehezen egyeztethető össze a PFAS direktívával, amely száműzni kívánja a per- és polifluor-alkil vegyületeket (beleértve a fluorpolimereket) az ipari tevékenységből, köztük a poli(vinilidén-fluoridot), amelyek kritikus szerepet játszanak a Li-akkumulátorokban kötőanyagként és elválasztó fóliaként. Az EU céljai között szerepel, hogy 2030-ra legalább 30 millió elektromos autó áll forgalomba, ezért 2035-től a közösségen belül meg akarják szüntetni a belső égésű motorok forgalmazását. A terv szerint 2030-ra 4 millió nyilvános töltőállomás épül. Ugyanakkor 2023-ban Dánia, Németország, Norvégia, Svédország és az EChA (az Európai Vegyszer Hatóság) közös javaslatára mintegy 10 000 fluortartalmú vegyületet (PFAS), köztük polimereket is készülnek kivonni a forgalomból, aminek fő oka az, hogy a PFA vegyületek erős C-F kötése nehezen bomlik („örök” vegyületeknek is nevezik őket), így felhalmozódhatnak a környezetben és a szervezetekben különféle károkat okozva. A REACH szabályozás különben eltérően kezeli a polimereket és a kismolekulás anyagokat, de a PFAS esetében azért terjesztik ki a tiltást a polimerekre is, mert azok gyártása során is jelentős mennyiségben kerülnek ki kismolekulás PFAS anyagok a környezetbe. A Li-akkumulátorok újrahasznosításakor is fennáll az ilyen szennyezés veszélye. Mivel a PFAS vegyületek forgalomból való kivonása fokozatos, lehetnek ideiglenes kivételek olyan területeken, ahol egyelőre nem áll rendelkezésre PFAS mentes alternatíva. Márpedig a Li-akkumulátorok egyelőre ilyen kivételnek tűnnek.

Tekintsük át röviden a fluortartalmú polimerek főbb alkalmazásait a Li-akkumulátorokban. A polivinilidén-fluorid (PVDF) fontos kötőanyag az elektródokban, amely biztosítja a tapadást az aktív elektród-komponensek, a vezetők és az áramgyűjtők között a töltési és kisütési ciklusok során. Ebben szerepet játszik a PVDF egyedülálló elektrokémiai stabilitása a 0–5 V feszültségtartományban, nagy hőstabilitása (majdnem 400 °C-ig), amely biztosítja az akkumulátor hosszútávú stabilitását. 2023-ban az akkumulátorokhoz használható PVDF iránti igény 57 000 tonna volt, ami 2025-re kb. megduplázódik, ezen belül Kínában az adott időszakban a felhasználás közel megnégyszereződik, elérve a közel 100 000 tonnát. A PVDF betiltása a jelenlegi helyzetben komolyan késleltetné az elektromobilitás terjedését, mert jelenleg nem ismert olyan alternatív anyag, amely műszakilag kiállná a versenyt a PVDF-fel és környezeti szempontból kevésbé lenne káros.

Az EU ezt a problémát három módszer kombinációjával próbálja feloldani: 1. a szabályozás rugalmas bevezetése, 2. az innováció támogatása, 3. ipari együttműködés. Ami a PFAS kivezetést illeti, eleve be van építve egy 18 hónapos késleltetés a rendelet elfogadása után, amit további egyedi szabályozás követhet olyan területeken, ahol nincs értelmes alternatíva. Az érdekelt ipari csoportok azzal védekeznek, hogy a potenciális emisszió csökkenthető a technológia fejlesztésével. Gőzerővel folyik a PFAS mentes alternatívák fejlesztése is. A **Koreai Elektrotechnológiai Kutatóintézet** (KERI) például olyan sziloxán alapú kötőanyagot fejlesztett ki, amely PFAS mentes és 1,4-szer hosszabb élettartamot bír ki, mint a PVDF. Próbálkoztak kabroximetil-cellulóz (CMC) és sztírol-butadién kaucsuk (SBR) keverékével is anódok esetében, amely ugyan PFAS mentes, de elektrokémiai szempontból kevésbé stabil, mint a PVDF. Az olyan polielektrolitok, mint a poliakrilsav (PAA) vagy a természetes polimer alginátok ugyancsak ígéretesek, de katód-alkalmazásokhoz még tovább kell fejleszteni őket. A teljesen szilárd akkumulátorok esetében számításba jönnek a vezető polimerek is. Környezetvédelmi szempontból nem kívánatos a PVDF oldószerként használt N-metil-2 pirrolidon (NMP) sem,

ezért az **Arkema** és a **Syensqo** cégek megpróbálnak más, kevésbé ártalmas oldószert keresni. Az **Arkema** azzal is próbálkozik, hogy a PVDF gyártásban ne kelljen kismolekulás PFAS vegyületeket használni, és megújuló forrásból származó nyersanyagokat, vagy más iparokból származó melléktermékeket is felhasználnak (*Kynar CTO PVDF*) a környezeti lábnyom csökkentése érdekében. A különleges elbánás kiharcolásához különösen az akkumulátor újrafeldolgozás technológiáit kell lényegesen javítani, hogy csökkenjen a PFAS kibocsátás.

Egy másik, teljesen eltérő megközelítés a Li-alapú akkumulátor technológia kiváltása pl. Na-alpú technológiára, amely nem igényel PVDF kötőanyagot. Na-akkumulátorokhoz most is vannak PFAS mentes kötőanyagok, de ezeknek az akkumulátoroknak az energetikai paraméterei nem versenyezhetnek a Li-akkumulátorokéval. Kísérletek folynak PEO (polietilén-oxid) alapú szilárd polielektrolit alapú akkumulátorokkal is, de ezek még messze vannak az ipari bevezetéstől.

Az EU ipara is rosszul járhat, ha a PVDF gyártók kivonulnak Európából a szigorú szabályozás miatt, ezért inkább a belső fejlesztéseket támogatják alternatív vagy megújuló nyersanyagokra támaszkodva. Jelenleg a Li-akkumulátorok kb. 74%-a Kínából származik, ezért, ha az EU nem akar ellátási szempontból kiszolgáltatottá válni, igyekezni kell helyi, PFAS mentes alternatívákat kifejleszteni.

Összegzésképpen ki lehet jelenteni, hogy a PFAS és az EV direktívák nem szükségképpen összeegyeztethetlenné válnak, nagyon óvatos és körültekintő szabályozásra lesz szükség az átmenet során.

**Cikk nyelve:** angol

**Készítette:** dr. Bánhegyi György