

## NAPELEMEK LESZERELÉSE ÉS ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

Dr. Bodor Sarolta, Győrfi László Krisztián, Dr. Hugyecz Attila – 2020. október 22.

Jelen anyagunkban a napelemek leszerelése során keletkező hulladékok kezelését vesszük górcső alá. A napelemes hulladék kezelése újszerű, még nem elterjedt gyakorlat. Szabályozási szempontból a PV panelek hulladéka a legtöbb országban továbbra is az általános hulladékosztályozás alá tartozik<sup>1</sup>.

**A gyorsan bővülő PV piacokkal rendelkező országok közül Kínában, Japánban, Indiában, Ausztráliában és az Egyesült Államokban még mindig nincs külön szabályozás a leszerelt PV modulokra vonatkozóan.** Ezek az országok a PV-hulladékot a veszélyes és nem veszélyes szilárd hulladékra vonatkozó általános szabályozási keret alapján kezelik, vagy a napelempaneleket az általános elektronikai hulladékokra vonatkozó szabályozás alá sorolják.

**E tekintetben kissé előrébb tart az Európai Unió, ahol** az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól szóló irányelvben (ún. WEEE irányelv, 2012/19/EU irányelv) a PV-panelek gyártóinak kiterjesztett felelősségére vonatkozó keretszabályt alkottak. Az Unió országaiban **az életciklusuk végét elérő panelek begyűjtésére, szállítására és újrafeldolgozására már van vonatkozó irányelv.**

A világon 2019 végén körülbelül 630 GW napelemes erőmű-kapacitás volt üzemben. Ebből kiindulva az üzemben lévő napelemek darabszáma megközelítőleg 2,5 milliárd, az általuk képviselt napelemfelület mintegy 4000 km<sup>2</sup> (ez tehát nem a napelemparkok összterületét jelenti, hanem csak a panelek összesített felületét).

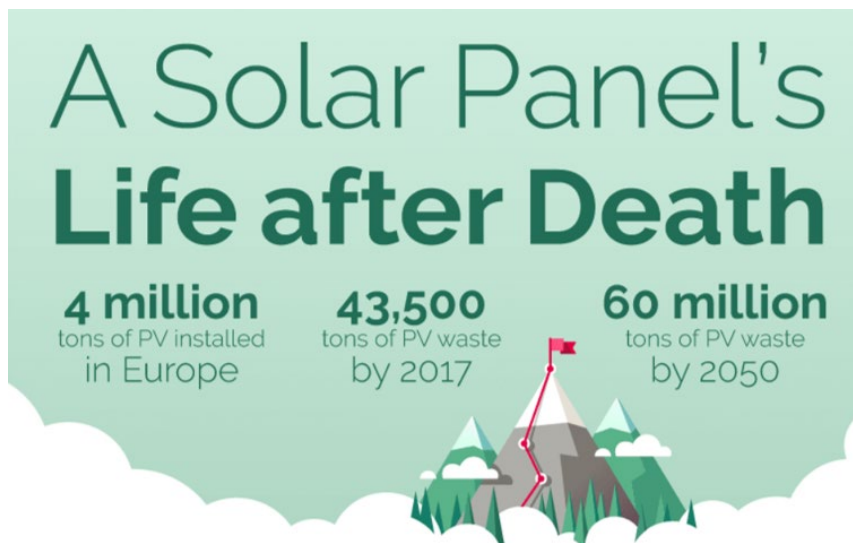
Forrás: [www.statista.com](http://www.statista.com), saját számítások

**Elsősorban az egyes országok (hiányzó) szabályozási gyakorlatának köszönhető, hogy világszerte a PV-modulok csak mintegy 10%-a kerül újrahasznosításra.** A probléma mértékének megvilágítására jelezzük, hogy ha a PV-panelek egyáltalán nem kerülnének újrahasznosításra, 2050-re az életciklusuk végére ért panelekből származó összes hulladék mennyisége elérné a 60 millió tonnát (1. ábra). Erős érv az újrahasznosítás mellett, hogy a napelempanelek gyakran tartalmaznak toxikus nehézfémeket (pl. ólom-, kadmium és tellúrvegyületeket).

A jelenlegi újrafeldolgozási technológiákat figyelembe véve **a globálisan leginkább elterjedt szilíciumalapú modulok nem rendelkeznek elegendő értékes visszanyerhető anyaggal az újrahasznosításhoz,** így az újrafeldolgozás nem jó üzlet, nettó költsége mindig magasabb, mint a hulladék egyszerű lerakása (az ennek során felmerülő externáliák felszámítása nélkül). A napelemek újrahasznosítása elsősorban abba az akadályba ütközik, hogy **a benne található értékesebb anyagok szennyezések nélküli kinyerése túlságosan bonyolult, az egyszerű igényelné termikus, vegyi és metallurgiai eljárások alkalmazását is.**

A hulladékgazdálkodásban ismert ún. 3R elvnek megfelelően (reduce, reuse, recycle) folyamatos kutatások folynak a PV-panel alkatóelemeinek helyettesítésre és/vagy használatuk csökkentésére (reduce). Az újrafelhasználás jegyében a hibás paneleket általában először visszaküldik a gyártónak ellenőrzésre és javításra. Ennek során az értékes anyagokat megpróbálják kinyerni a panelekből (reuse). Azokat a paneleket, amelyeket nem lehet megjavítani vagy újrafelhasználni, szétszerelik, és további feldolgozás céljából hulladékkezelő létesítményekbe küldik (recycling).

<sup>1</sup> Anyagunk megírásakor elsősorban a következő forrásokra támaszkodtunk: Marina Monteiro Lunardi, Juan Pablo Alvarez-Gaitan, José I. Bilbao & Richard Corkish (2018): *A Review of Recycling Processes for Photovoltaic Modules*. DOI: 10.5772/intechopen.74390; Nitish Arora, Souvik Bhattacharjya, Shilpi Kapur Bakshi, Manish Anand, Diya Dasgupta, Astha Gupta, N S Prasad, Nitya Nanda (2018): *Greening the Solar PV value chain*, valamint a [greenmatch.co.uk](http://greenmatch.co.uk) weblap anyagait használtuk fel.

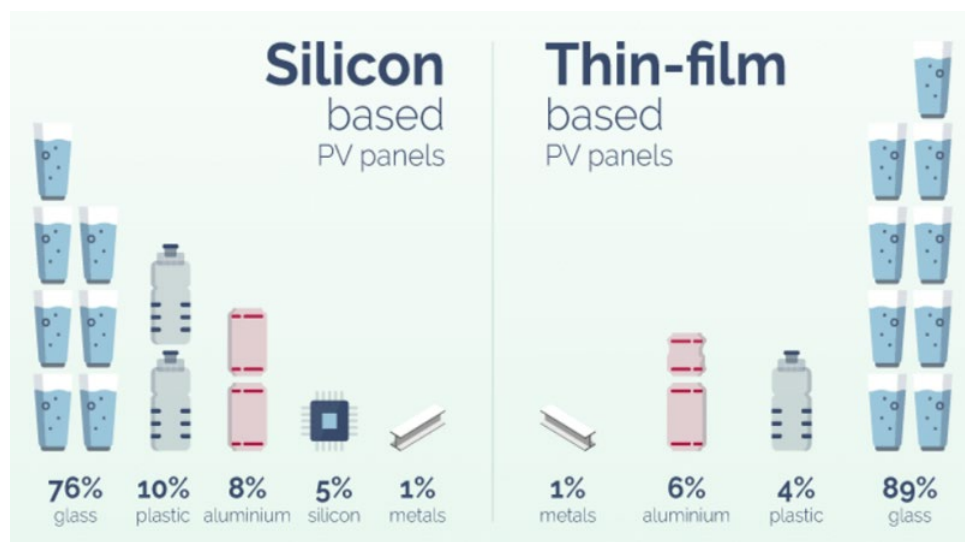


1. ábra: A telepített napelemek tömege Európában és a keletkezett PV hulladék mennyisége 2017-ig illetve 2050-ig (Forrás: greenmatch.co.uk)

Az élettartamuk végére ért napelemek újrafeldolgozási folyamatainak kihívásai jelentősek: elsődleges célja az lenne, hogy a napelemcellák sérülését elkerüljük, a folyamat gazdaságilag is életképes legyen, az értékes, ritka, vagy veszélyes anyagok visszanyerési rátája pedig kellőképpen nagy legyen. Ennek elérésére és az iparág viszonylag fiatal kora miatt az **újrafeldolgozásra vonatkozó technológiák sokasága van a kutatás-fejlesztés stádiumában.**

## Az újrahasznosítás gyakorlata

Mint korábbi Elemző percek anyagunkban már leírtuk, a napelemeknek két fő típusa ismert, a szilíciumalapú és vékonyréteg-technológia alapú napelemek (2. ábra), és ezek eltérő újrafeldolgozási eljárást igényelnek. Fontos tudni, hogy minden PV-cella tartalmaz bizonyos mennyiségű toxikus anyagot.



2. ábra: A szilíciumalapú és a vékonyréteg-technológiás napelemek alkotórészei (Forrás: greenmatch.co.uk)

A napelemek újrafeldolgozási folyamata még nem túl fejlett, de a mono- vagy polikristályos szilíciumpanelek esetében az újrafeldolgozási folyamatok előrehaladottabbak. A jelenlegi, szabványos, **kristályos szilíciumalapú modul** két EVA réteg segítségével van összekötve (az EVA-réteg egy laminálásra használt, polimeralapú ragasztófólia, a napelem anyagának kb. 5 m/m%-át adja, anyaga etilén-vinil-acetát). Emiatt a napelemek újrahasznosítása viszonylag összetett feladat, mivel ezeket az anyagokat egymástól szét kell választani.

Az ilyen paneleket először alkotórészekre bontják: alumíniumváz, vezetők, cellák és üvegszerkezetek. Az alumíniumvázat és a vezetőket törőmalommal aprítják, majd a töretet osztályozzák. Az üveg szinte teljes egészében (95%) újrafelhasználható, és amennyiben szennyező nélkül állnak rendelkezésre, a fém alkatrészek is újrahasznosíthatók. A maradék anyagokat 500 °C-on pirolizálják, amely során a műanyag elbomlik, így a szilíciumcellák készen állnak a további feldolgozásra. A szilíciumrészecskéket (az ostyákat) sav segítségével marják le. A törött ostyákat megolvasztják, hogy újból felhasználhassák új szilícium modulok gyártásához, ami akár a szilícium 85%-os újrafeldolgozási arányát eredményezi.

Egyes újrafeldolgozási technológiáknak köszönhetően a napelemes rendszerekben felhasznált alumínium 42-70%-a, a kobalt 68%-a, a réz 43-53%-a, a lítium kevesebb mint 1%-a, és a nikkel 57-63%-a a rendszer élettartamának végén újrahasznosításra kerülhet. Ennek köszönhetően az új rendszerekben a másodlagos nyersanyagok aránya kobalt és alumínium esetében 32-36%, a réz esetében 20-37%, a nikkel esetében pedig 29-41% is lehet (emlékeztetőül: a technológia adott, annak gazdaságossága kevésbé).

A kadmium-tellúr alapú **vékonyréteg-technológiás napelemek** újrahasznosítási eljárását egyes gyártók már kifejlesztették, de más vékonyréteg-technológiájú PV-panelek esetében az újrafeldolgozási technológiák még nincsenek megfelelően kidolgozva. Ennek során az első lépés az aprítóba helyezés, mely a napelemet 4-5 mm-re őrli annak érdekében, hogy a belső anyagokat összetartó laminálás megszakadjon, és így eltávolítható legyen. A szilícium alapú PV panelekkel ellentétben a maradék egyaránt tartalmaz szilárd és folyékony halmazállapotú anyagot. Ezek elválasztásra kerülnek egymástól, majd a folyadékokat vízmentesítik. A kapott anyagot a különböző félvezetők elkülönítése céljából feldolgozzák, melyek 95%-át újrafelhasználják. A tiszta üveg megmarad, melynek 90%-a szintén újrafelhasználható.

Az anyagok akár 90%-os visszanyerése sem elégséges azonban a folyamat gazdaságosságához. Bár a vékonyréteg-technológiájú napelemekben jóval kevesebb anyagot használnak fel, mint a kristályos szilícium alapúakban, az olyan anyagok, mint a tellúr (Te), az indium (In) és a kadmium (Cd) toxicitása továbbra is aggodalomra ad okot.

Mint említettük, a napelemek mindössze 10%-a kerül újrafeldolgozásra. **A széleskörű újrahasznosítás hiányának egyik oka, hogy az életciklusa végére ért napelemek kis mennyisége miatt a problémakör még nem érte el a társadalom ingerküszöbét, így a hulladékkezelésre vonatkozó kötelezettségek általában véve még nem épültek be az egyes országok jogrendjeibe.** A másik ok szintén az eddig keletkezett napelemhulladék kis mennyiségéből adódik: **nincs még igény nagyipari igény az újrafeldolgozó technológiák alkalmazására, ezért a folyamatok méretgazdaságossága, így gazdasági életképessége sem biztosított.**

Összefoglalva elmondható a napelemek teljes körű újrafeldolgozása technológiailag egyelőre még megoldatlan folyamat, a nem teljes körű újrahasznosításra azonban már van gyakorlat. A jövő feladata az újrafeldolgozási technikák továbbfejlesztése, költséghatékonyságuk növelése, valamint a vonatkozó szabályozási környezet minél szélesebb körű elterjesztése.