6.7 Szakaszos eljárás elektronikai termékek ökológiai szempontú minősítésére

Tárgyszavak: elektronikai ágazat környezetvédelmi értékelése; terméktoxicitás; újrahasznosítás; ökológiai hatás; energiaszükséglet; termékszűrés.

Az elektronikai ágazat termelésének és ahhoz csatlakozó folyamatainak környezeti optimálása mindenekelőtt feltételezi a környezetvédelmi követelmények következetes beépítését a technológiákba. Ez csak modulos megközelítéssel, egyes környezetileg releváns mutatók, elemzések, folyamatos megfigyelések mint elemek („modulok") eljárás- és gyártástervezésbe való integrálása útján (environmental engineering, EE) valósítható meg.

Az EE alábbi eszköztárából kell összegyűjteni, extrapolálni és feldolgozni a vállalati termékek életciklusának adatait, az egyszerűektől az időigényesebbek felé haladva:

1/a fokozat – A termékekben levő anyagok

TPI (Toxic Potential Indicator) = a lehetséges toxicitás mutatója

RPI (Recycling Potential Indicator) = a lehetséges újrahasznosítás mutatója

ER (Energy for Raw Materials) = a nyersanyagok energiaszükséglete

1/b fokozat – Termékinformációk

EPU (Energy for Product Usage) = a termékhasználati energia

2. fokozat – Speciális termelési adatok

ProTox (Process Toxicity screening) = Folyamattoxicitási szűrés

EP (Energy for Production steps) = termelési lépésekhez szükséges energia

3. fokozat – További életciklus-adatok

LCI/LCA (Life Cycle…/Life Cycle Analysis) = életciklus és -elemzés

LCEE (Life Cycle Energy Efficiency) = energiahatékonyság az életciklus alatt

LCC (Life Cycle Costing) = életciklus-kötségmegoszlás

A terméktoxicitás szerinti szűrés (TPI-screening)

A potenciális toxicitás mutatója a kész termékben levő anyagok ökológiai tulajdonságain alapszik, vagyis egyetlen szám fejezi ki az embert és a környezetet fenyegető lehetséges ártalmak összességét. Ezen belül a legrosszabbnak minősülnek a nem ellenőrizhető, finom eloszlású kibocsátások, pl. a talajvízbe vagy por formájában a levegőbe, még akkor is, ha ezek nem következnek be a termék valóságos életciklusa folyamán.

Az anyagokhoz rendelt TPI-szám azok lehetséges legrosszabb („worst case”) ökológiai hatását jellemzi egy 0-tól 100-ig terjedő skálán *(1. táblázat).* A termék egészének értékelésekor ezt a számot meg kell szorozni az adott anyag mint komponens tömegével, figyelembe véve a megengedett maximális munkahelyi koncentrációt és a vízszennyezési osztályokat.

1. táblázat

Néhány veszélyes besorolású anyag potenciális toxicitási mutatói

Anyag	**TPI 1/mg**
Berillium, Be	69,1
Nikkel, Ni	42,5
Antimon-oxid, Sb_2O_3	42,3
Higany, Hg	39,5
Trikobalt-tetraoxid, Co_3O_4	38,0
Ezüst, Ag	37,8
Ólom, Pb	20,8
Eutektikus ón/ólom-forrasz	8,4
Tetrabróm-biszfenol A, TBBA	3,0
Réz, Cu	1,6
Ón, Sn	1,2
Alumínium, Al	0,7
Cink, Zn	0,6

Újrahasznosítási lehetőségek, RPI

A termékvisszavételi rendelkezések arra kényszerítik az elektronikai cégeket, hogy már a tervezés szakaszában ügyeljenek a termékszétszerelés és -újrahasznosítás költségeinek minél erősebb leszorítására. Ez a gond különösen az igen változatos összetételű és minden elektronikai készülék lényeges

elemeit képező nyomtatott áramkörökből ered, sőt, ezek határozzák meg a választható újrahasznosítási stratégiákat.

A nyomtatott áramkör összetételét anyagvektor és anyagprofil formájában kell ábrázolni. Ehhez először meg kell határozni az értékes anyagokból az ismert újrahasznosítási eljárásokhoz szükséges minimális, valamint zavaró vagy ártalmas hatásuk tekintetében maximálisan elfogadható mennyiséget. Az anyagoknak ilyen módon minden lehetséges eljárásra összeállított listája kiadja az ún. folyamatvektorokat.

A termék anyagvektoraiból és az újrahasznosítás folyamatvektoraiból számított RPI-vektorból megállapíthatók a termékek összetevői szempontjából alkalmazható újrahasznosítási eljárások. Az RPI-vektor a termékben levő anyagok és egy-egy eljárás korrelációjának számszerű mértéke, amelyet minden eljárásra ki kell számítani. A legnagyobb vektorelemmel rendelkező eljárás az adott termékre a legkedvezőbb. Pl. rézolvadékra feltüntetve a még haszonnal járó minimális réztartalom és a tolerálható ártalmas mennyiség műszaki maximumát, a folyamatprofil képezhető.

A folyamat- és az anyagprofilok összefüggése adja az RPI-vektor egy-egy elemét. A számítást elvégezve az újrahasznosítás valamennyi pályájára:

- a nemesfém-finomításra,
- az acélolvasztásra,
- a mechanikai előkészítésre shredderben,
- az elégetésre a háztartási hulladékkal együtt és
- a pirolízisre

levezethető a teljes RPI-vektor és feltüntethető „nettó” diagramként. Ebből pedig az eljárások költségének és a kinyert anyagok egységárának ismeretében a szükséges gazdasági következtetéseket is le lehet vonni.

A nyersanyagokhoz és a termékhasználathoz kötődő energia, ERM, EPU

Az elektronikai termékek ökológiai hatásait az energiaigény és egyes komponensek mérgező tulajdonságai határozzák meg, az erőforrás-használatnak, s ezáltal magának az újrahasznosításnak kisebb a jelentősége. Az energiatételek közül a termékhasználathoz kötött résznél egyszerűbben meg lehet határozni a nyersanyagok előállításához szükséges energiát, vagyis az ERM-mutatót.

Az anyagokat tehát a TPI-n kívül még egy számmal jellemzik, amely megadja az egy-egy anyag tömegegységének kitermeléséhez szükséges energiamennyiséget J/mg vagy MJ/kg egységekben. Az ERM-mutató tehát a termék gyártásához felhasznált energiának csak egy – általában kisebb – hányadát tartalmazza *(2. táblázat)*. Megjegyzendő, hogy az elektronikai termékek nyersanyagaira közölt adatok közt olykor nagy az eltérés, ami további vizsgálatokat tesz szükségessé, egymással egyeztethető eredményekkel.

2. táblázat

Egyes alapanyagok termeléséhez szükséges fajlagos energiamennyiség, EQM

Anyag	**ERM, MJ/kg**	**Megjegyzés**
Ezüst, Ag	3024	becslés
Alumínium, Al	168	
Arany, Au	139 944	becslés
Réz, Cu	168	40%-ban újrahasznosítás
Epoxigyanta	196	
Nikkel, Ni	300	
Ólom, Pb	74	
Polietilén, PE	75–82	
Poli(vinil-klorid), PVC	63	
Szilícium, Si	8990	
Ón, Sn	240	

Az ERM- és EPU-mutatók meghatározása a termékek energiaigényének esetleges csökkentését szolgálja, vagy kevesebb energiával termelhető nyersanyag-helyettesítéssel, vagy – gyakrabban – az újrahasznosíthatóság javítása útján.

Példa termékszűrésre (screening)

Példaként két energiaellátó kisegység:

- transzformátorból és egyszerű diódás egyenirányító körből álló hagyományos termék, „C”-típus és
- egy műszakilag fejlettebb berendezés kisebb méretű transzformátorral, de több elektronikai komponenssel, „S”-típus.

A C-típus anyagait a transzformátor, az S-típuséit a nyomtatott áramkörök és az elektrolitok határozzák meg, toxicitás szempontjából a hagyományos típusban a nikkel és a réz, a modernebb egységben az ónforrasz dominál *(3. táblázat)*.

A hagyományos transzformátor inkább alkalmas nagyobb mennyiségű vas mechanikai elkülönítésre. A tetemes réztartalom azonban rontja a visszanyert vas minőségét, egyben kizárja a zúzást (shredderben) mint első lépést. Az S-típus alkalmasabb a réz-visszanyerésre, de a műanyagok nagy aránya miatt ez sem feltétlenül előnyös, ezért jobb az elégetés vagy a pirolízis mellett dönteni. A valóságban a nagy ólomtartalom nem engedi meg az elégetést mint

kommunális hulladékot, de az itt közölt számítás nem veszi figyelembe a törvényes korlátozásokat.

3. táblázat

Az energiaellátó egységek anyagainak összehasonlítása toxicitás szempontjából

Anyagok	**%(m/m)**	**Anyagok**	**%(m/m)**
C-típus, 211000 TPI		**S-típus 31000 TPI**	
$FeNi_{xx}$	76	$FeNi_{xx}$	3,8
Cu	22	Etilénglikol	1,5
Sb_2O_3	0,27	TBBA	1,5
Fenolgyanta	0,28	Sb_2O_3	4,1
$BaTiO_3$	0,75	E-üveg	3,5
TBBA	0,13	Al	4,6
CuZn15	1,26	$SnPb_{xx}$	24
$SnPb_{xx}$	0,48	Cu	26
Egyéb	0,09	Ferrit	28
		Egyéb	2,9

A nyersanyagok energiafelhasználása alapján a kis méretű berendezés nem feltétlenül jobb megoldás minden ökológiai szempontból: a becsült energiamennyiségek nagyjából megegyeznek *(4. táblázat)*.

Összegzés

A számítások és azok eredményének grafikai leképezése alapján az elektronikai termékek mennyiségi összetételükből kiindulva értékelhetők környezeti szempontból. A kisebb tömeget a bonyolultabb áramköri felépítéssel egybevetve kiderül, hogy a hatszoros tömegcsökkenés ez esetben nem jár együtt számottevő energiamegtakarítással a szükséges nyersanyagok kitermelésében.

A tömegcsökkenéssel csökken a toxikus potenciál, de az ólom/ón-forrasz és kisebb mennyiségű, egyéb anyagok újabb problémákat okoznak. Ezen a forrasztások számának csökkentésével és ólommentes forraszokkal lehet segíteni.

Újrahasznosítandó komponensként nemesfémek hiányában, a réznek van elsőbbsége. A műanyagok nem hasznosíthatók gazdaságosan. Az első szűrés eredményei alapján át lehet térni a következő összetettebb szakaszok folyamatelemzésére.

4. táblázat

A nyersanyagok energiaigényének összehasonlítása, ERM-mutató

Anyagok	**%(m/m)**	**Anyagok**	**%(m/m)**
C-típus, ERM kb. 2,1 MJ		**S-típus, ERM kb. 2 MJ**	
$CuZn_{15}$	1,3	E-üveg	4
PP	4	Ferrit	5
Cu	23	$SnPb_{xx}$	7
$FeNi_{xx}$	72	PET	3
Egyéb	1,0	PBT	2
$SnPb_{xx}$	0,1	$FeNi_{xx}$	2
Papír	0,1	Fe	3
PVC	0,1	PP	3
Epoxigyanta	0,1	Si	4
Fenolgyanta	0,2	Gumi	4
Si	0,5	Epoxigyanta	15
$BaTiO_3$, SiO_2, Fe, Sb_2O_3, TBBA	0,1	Al	17
		Cu	26
		Egyéb	5
		Akril	0,2
		Sb_2O_3	0,1
		Papír	0,3
		Zn	0,4
		Al_2O_3	0,2
		TBBA	0,5
		PVC	0,8
		Etilénglikol	1,1
		$SuZn_{20}$	1,3

(Dr. Boros Tiborné)

Nissen, N.F., Griese, H.: Environmental asessment. = Comtec, 79. k. 7/8. sz. 2001. p. 26–30.

Poldervaart, P.: Elektroschrott umsonst entsorgen. = Wasser Boden Luft Umweltschutz, 37. k. 10. sz. 2001. p. 20–21.