

### 3.1 | **Az alumínium-újrafeldolgozás műszaki követelményei és gyakorlata**

*Tárgyszavak: alumínium-újrafelhasználás gazdasági előnyei; technológiai korlátok; másodnyersanyag elérhetősége; begyűjtési kvóta; újrafeldolgozási kvóta; az ötvözetek tulajdonságai; energetikai értékelés.*

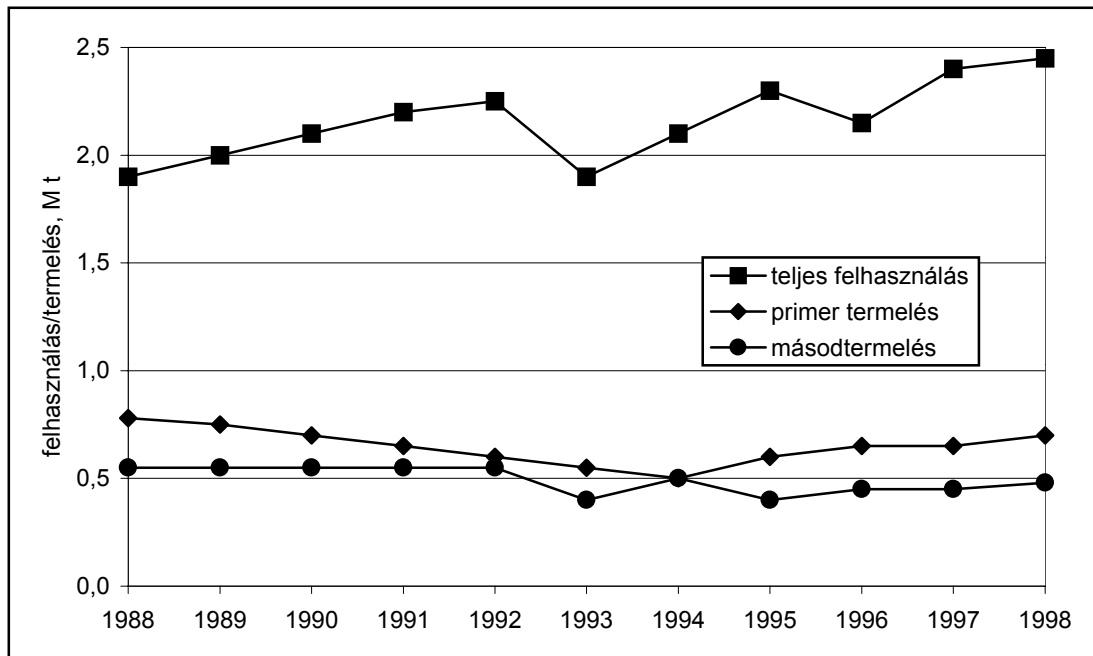
A fémek újrafeldolgozása használatbavételük óta a legfontosabb nyersanyagforrás az egyre növekvő igények kielégítésére. Az évek során a fémtartalmú hulladékok gazdaságos feldolgozásával megvalósult a zárt láncú gazdaság. Az 1970-es évektől kezdődően a gazdaságosság mellé egyéb, elsősorban környezeti szempontok is felsorakoztak. Alumínium esetében megújuló nyersanyagról és az előállításához felhasznált energia visszanyeréséről van szó. Az újrafeldolgozott alumínium felhasználás vitathatatlan gazdasági és környezeti előnyei mellett az újrafeldolgozás során bizonyos korlátozó tényezőkkel kell számolni. A legfontosabbak ezek közül a másodnyersanyag minimális fémtartalma, a nagyszámú ötvözőfém és szennyezőanyag-tartalom, az egyre nagyobb számú anyaggal kombinált alumínium szerkezeti anyag stb. Az elmondottakból következik, hogy az újrafeldolgozó rendszerek megítélése üzemi paraméterek alapján nem nyújt elegendő információt a megfelelő feldolgozási eljárás kiválasztásához.

#### **A másodnyersanyag elérhetősége**

A másodnyersanyagokkal kapcsolatban első helyen az idővel és minőséggel összefüggő problémák állnak, de hasonló nehézségek merülnek fel az újrafeldolgozási kvóták és arányok meghatározásánál és az ezzel összefüggő újrafeldolgozási aktivitás jellemzésénél.

Németországban a statisztikai adatok elemzése jelentős eltérést mutat a felhasznált és az előállított alumínium mennyisége között, aminek kapcsán felmerül a kérdés, hogy a feldolgozóipar nagy fémigényét honnan fedezi, és

ebben milyen szerepet játszik az újrafeldolgozás. Az 1. ábra szerint a termelés 18%-a származik újrafeldolgozásból, ugyanakkor a teljes féltermék és öntött áru termeléshez felhasznált fém mennyiségét csak az öntvényötvözetekből előállított másodnyersanyag mennyiségével hasonlítják össze. Az eredményt ez a módszer meghamisítja.



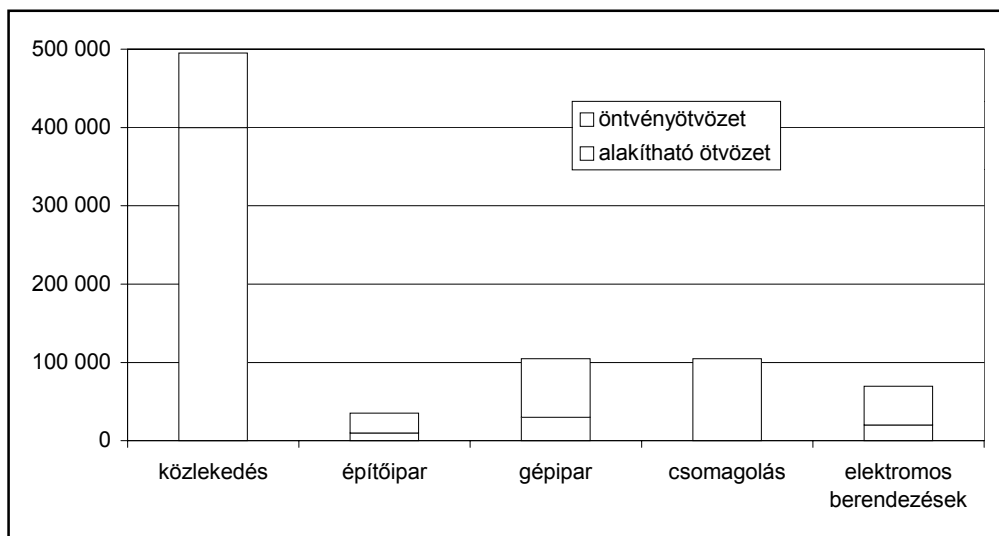
1. ábra Az alumíniumfelhasználás, a primer és másodlagos alumíniumtermelés alakulása Németországban

Az újrafeldolgozás pontos definiálásához a felhasználóktól kiinduló fémhulladék anyagáramának mennyiségi és minőségi jellemzése szükséges, továbbá kapcsolata a már meglévő újrafeldolgozó rendszerrel. Ugyancsak különbséget kell tenni a kétféle alumíniumötvözet között. Az öntvényötvözetben az ötvözőelemek, elsősorban szilícium és réz mennyisége nagy, az alakítható ötvözetben, amely főleg magnéziumot és mangánt tartalmaz, alacsony. A kétféle ötvözetet elkülönítetten, lehetőleg fajtatisztán kell gyűjteni és továbbítani továbbfeldolgozásra. A 2. ábra a kétféle ötvözetet ismerteti.

Az anyag szerinti szétválogatásnak a felhasználási terület és begyűjtés, beleértve a kereskedelmet szab határt. A 3. ábrából leolvasható az egyes iparágak alumíniumfelhasználása, ill. hogy iparágon belül milyen az ötvözetfajták megoszlása. Legnagyobb felhasználó a közlekedés, és valamennyi felhasználónál, kivéve a csomagolást, használat után vegyesen keletkezik a kétféle ötvözet.

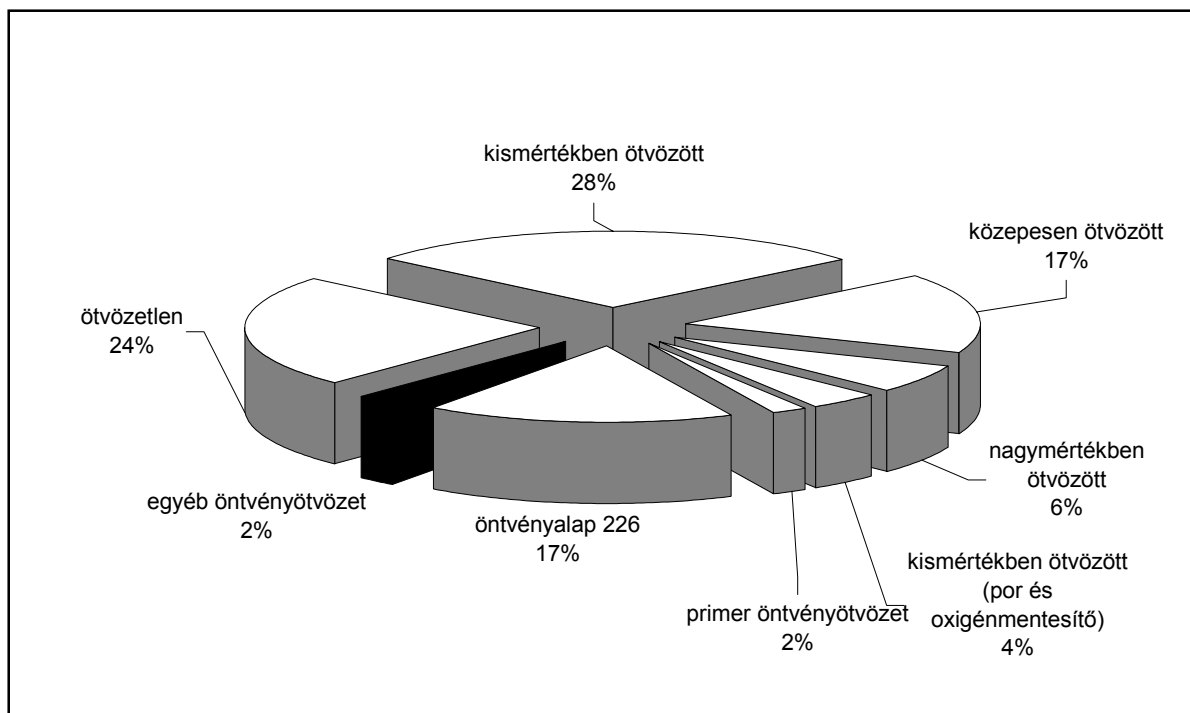
<p><b>öntvényötvözet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ viszonylag magas ötvözőelem-tartalmú (Si, Cu, Mg, Zn)</li> <li>❖ AlSi7Mg, AlSi12, AlSi6Cu, AlZn5Mg</li> <li>❖ motoröntvény, ajtókilincs, edények</li> <li>❖ csak öntvényötvözetként dolgozható fel ismételten, mivel a Si/Cu tartalom nem távolítható el</li> </ul>
<p><b>alakítható ötvözet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ viszonylag alacsony ötvözőelem-tartalmú (Mn, Mg, Cu, Ni, Zn, Si, Fe)</li> <li>❖ AlMn1Mg1, AlSi1Mg, AlCuMg, AlZnMgCu</li> <li>❖ dobozok, fóliák, vezetők</li> <li>❖ hengerelhető és préselhető bugává, de öntvényötvözetként is feldolgozható</li> </ul>

2. ábra Az öntvényötvözet és alakítható ötvözet jellemzése



3. ábra Alumínium öntvényötvözet és alakítható ötvözet felhasználás 1997-ben

Lehetséges az alumíniumötvözéshez használt fémek mennyisége és módja szerinti csoportosítás is, amint ez a 4. ábrán látható. Ez a felosztás már lehetővé teszi a fajtatizta gyűjtést.



4. ábra Az ötvözött alumínium felhasználása Németországban

Az egyes alkalmazási területek alapján további csoportosítás szükséges. A körforgás lehet ún. zárt körű (closed-loop-recycling), amikor az ötvözött fémet ismételten ugyanazon a területen hasznosítják, pl. italosdobozok, ablakkeretek. A nyitott körű (open-loop-recycling) újrafeldolgozásnál megolvasztás után általában másfajta ötvözetként hasznosítják a másodnyersanyagot. Ez történik a különböző használt és gyári hulladék öntvényötvözetek megolvasztásakor, amit azután az autóipar használ fel.

Az előbbi felosztás bizonyos fokig „idealizált” állapotot tételez fel, aminél a valóság kissé bonyolultabb. Van ugyanis egy bizonyos átmeneti terület is, ha az anyagi és térbeli adottságokat is figyelembe vesszük. Anyagi vonatkozásban ez történik, amikor az alakítható ötvözetet öntvényötvözetté dolgozzák fel, ami az anyagi jellemzők megváltozását jelenti. Fémhulladékot nemcsak az üzemben belül dolgoznak fel, hanem más üzemekben is, vagyis a fémhulladék kikerül a zárt körből. A nagyjából fajtatisztán begyűjtött alakítható ötvözetet célzottan úgy dolgozzák fel újraolvasztáskor, hogy abból hengerelhető és préselhető bugát lehessen előállítani, amelynek újrafeldolgozása nyitott és zárt körben egyaránt lehetséges. A kevert és szennyezett fémhulladékot rendszerint olvasztókohóban dolgozzák fel, ebből kizárólag öntvényötvözetet állítanak elő, vagyis újrafeldolgozása nyitott körű.

Világviszonylatban az alumíniumkészletet 600–700 M t-ra becsülik. A fém eloszlása és visszaáramlása a feldolgozási körbe térben, időben és anyagi szempontból igen eltérő. Az alumíniumkészlet tulajdonságait adott termékcsoporthoz, termék szerint, vagy használati módtól függően lehet jellemezni (1. táblázat). Alumíniumból készült csomagolásokra például a nagy térbeli eloszlás és a kis terméknagyság jellemző. Az anyagi tisztaság lehet igen nagy (menütálcák, italos dobozok), közepes (záróelemek, lakkozott fóliák), vagy csekély (fémgőzölt tasakok, Tetrapack csomagolás). Tekintettel az átlagosan féléves élettartamra, az átfutási idő csekély.

1. táblázat

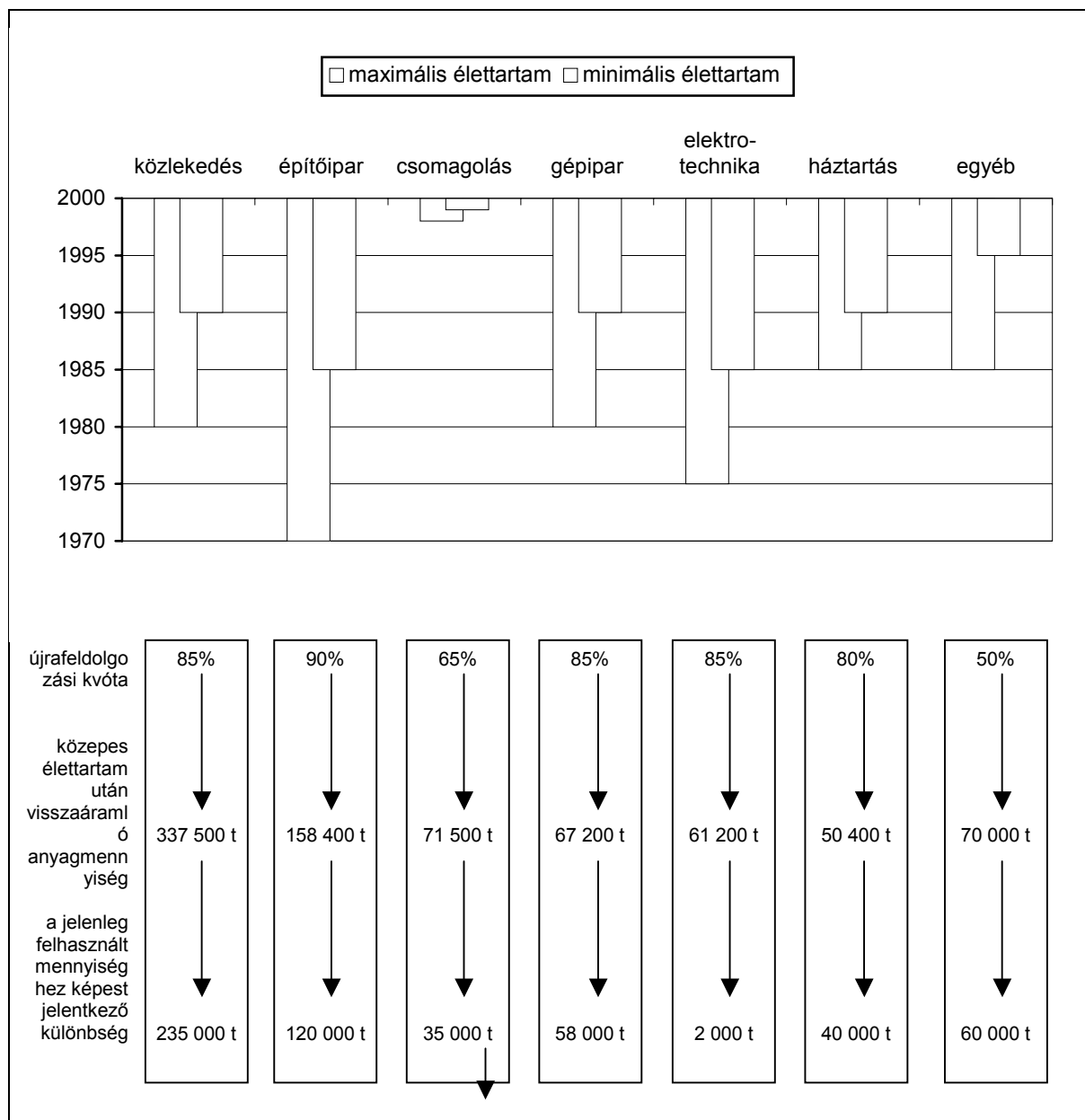
Az alumíniumelőfordulás jellemző az egyes felhasználási területeken

Készletjellemzők		Csomagolás	Közlekedés		Épület	Gépipar	Elektrotechnika
			vonat/ repülőgép	gépkocsi			
Térben	terjedelem	csekély	nagy	közepes	nagy	közepes	közepes
	eloszlás	nagy	csekély	nagy	közepes	közepes	nagy
Anyagban	tisztaság	változó	nagy	csekély	nagy	közepes	változó
Időben	tartózkodási idő	csekély	nagy	közepes	nagy	nagy	változó

Az időbeli eloszlás a gyártási idő, élettartam, az újrafeldolgozási kvóta és az alumíniumhulladék mennyiségének visszaáramlásából számítható. A feldolgozás jelenlegi nyersanyagigénye és az újrafeldolgozásra kerülő mennyiség különbségéből adódik az egyes alkalmazási területek tényleges nyersanyagigénye (5. ábra).

Ma például a gépgyártásban keletkező fémhulladék az 1978 és 1995 között előállított berendezésekből származik, ami 10–20 éves élettartamot jelent. Az egyes termékcsoporthoz csak a csomagolásban keletkező hulladék jelent kivételt, amely fél éven belül visszakerül az anyagi körforgásba. A hulladékképződés és a termelés között fennálló időbeli eltolódás tovább növeli a hulladékképződés és a feldolgozó ipar által igényelt mennyiség közötti különbséget. Végül ez az alumínium iránt amúgy is egyre növekvő igényt tovább növeli.

A fémhulladék-képződést az egyes felhasználási területeken raktározott mennyiségekből és az ezekre a területekre jellemző újrafeldolgozási kvótákból lehet számítani. Ezekből a becslésekből 60%-os újrafeldolgozási arány adódik, amennyiben minden hulladékot visszagyűjtene. A 60% és a statisztikai adatokból levezetett 18% közötti különbség az újrafeldolgozási kvóta meghatározásából származik, ezért szükséges néhány definíció pontosítása.



**5. ábra** A különböző felhasználási területek újrafeldolgozási kvótája és visszaáramló anyagmennyisége teljes körű begyűjtés esetén

A fém-újrafeldolgozás két kvótából, a begyűjtési kvótából és a műszaki újrafeldolgozási kvótából áll. Ez a megkülönböztetés rámutat a különböző újrafeldolgozási területekre, amelyek pontos ismerete nélkülözhetetlen az erőforrás-orientált megközelítéshez (6. ábra).



6. ábra Az újrafeldolgozás különböző területei

A fentiek alapján megkülönböztetnek:

– Begyűjtési kvótát

EQ: Ez a begyűjtőrendszeren keresztül begyűjtött másodnyersanyag mennyiség és a termékben levő fémmennyiség viszonyát jelenti

$$EQ = (\text{begyűjtött mennyiség} / \text{felhasznált mennyiség}) \times 100 (\%)$$

– Műszaki újrafeldolgozási kvótát

RQ<sub>t</sub>: Ez a begyűjtött másodnyersanyag és a belőle begyűjtés és feldolgozás után előállított ténylegesen felhasználható másodnyersanyag mennyiség viszonyát, vagyis a kihozatalt jelenti  $RQ_t = (\text{előállított másodnyersanyag mennyisége} / \text{újrafeldolgozásra kerülő hulladék mennyisége}) \times 100 (\%)$ .

Maga a műszaki újrafeldolgozási kvóta is két részből áll, az előkészítési (AQ) és az olvadékihozatali kvótából (SA). Az előkészítési kvóta azt jelenti, hogy begyűjtés után mennyi fémalumínium kerül olvasztásra. Az olvadékihozatali kvóta pedig az olvasztással előállított alumíniumolvadék mennyiségét jelenti, vagyis ebben az esetben a visszamaradt sótartalmú salak és salak (SSR, KR) feldolgozását is beleszámítják.

$$RQ_t = AQ \cdot SA + SSR + KR = \text{műszaki újrafeldolgozási kvóta}$$

$$RQ_r = EQ \cdot RQ_t = \text{erőforrás-orientált újrafeldolgozási kvóta.}$$

A német csomagolási hulladék újrafeldolgozás példáján jól követhetők az egyes területek.

1997-ben a használt könnyűcsomagolások (Leichtverpackungen = LVP) tömege 1 778 198 t volt. Ez műanyagot, fehér bádogot, kombinált csomagolóanyagokat és alumíniumot tartalmazott. A használt csomagolásból 1 582 596 t-t gyűjtöttek vissza, ami 89%-os begyűjtésnek felel meg. A visszagyűjtött LVP frakció 389 525 t hibás dobásból származó (nem LVP) anyagot tartalmazott. A válogatóberendezés a műanyagot, fehér bádogot és a kombinált csomagolóanyagokat kiválogatta a hulladékból, és egy alumíniumfrakciót (LVP Al40) képezett további mechanikai feldolgozásra, kombinált csomagolóanyag feldolgozásra és pirolízisre. Ez összességében 55 E t-t tett ki 1997-ben.

A műszaki újrafeldolgozási kvóta 68,4%, az erőforrás-orientált újrafeldolgozási kvóta 61,7% volt. Az alumínium egyes felhasználási területeire jellemző újrafelhasználási kvóták között igen nagy a szórás. A települési szilárd hulladék 25%-os értékétől az építőipar majdnem 100%-os értékéig terjed a tartomány, ami jelentősen befolyásolja az újrahasznosítási koncepció sikerét, már ami a másodnyersanyag gazdaságos felhasználását illeti.

Összefoglalóan az újrafeldolgozási kvóta úgy definiálható, mint olyan mutató, amely a felhasznált és a belőle visszanyerhető másodnyersanyag mennyiségi viszonyára jellemző.

Ezzel szemben az újrafeldolgozási arány az a szám, amely megmutatja, hogy a másodnyersanyagból mennyi kerül ismét felhasználásra. Esetünkben a 60%-os újrafeldolgozási arány az elméletileg számított értéknek felel meg, amely a valóságban 40%-ra csökken (5. ábra). Az újrafeldolgozási arány rendszerint az újrafeldolgozási kvóta alatt marad, mivel a növekvő igény miatt sokkal több primer fémeket kell előállítani, mint amennyi a felhasználás során jelentkező veszteség pótlására szolgál.

A fenti gondolatmenetből következik, hogy az újrafeldolgozási arány az újrafeldolgozás sikerességének megítélése szempontjából nem mérvadó, mivel csupán helyi érvényességgel bír, és nagymértékben függ az adott hulladékpiactól, de a felhasználók részéről jelentkező egyre növekvő igény következtében is erősen torzított.

## **A másodnyersanyag hatása az újrafeldolgozott alumínium minőségére**

A hulladékok tulajdonságai, és itt elsősorban az ötvözetekről van szó, meghatározó jelentőségűek az újrafeldolgozás szempontjából.

Az erősen szennyezett alumínium csak korlátozott mértékben tisztítható (2. táblázat). A kísérő fémek, pl. vas, mangán, szilícium, magnézium, réz és cink oldott állapotban vannak jelen. Ez az oka annak, hogy primer alumínium előállításakor a tisztítás redukcióval történik. Újrafeldolgozás során ez a hulladék ötvözési fajta és tisztaság szerinti szétválogatásával történik meg még megolvasztás előtt. Amennyiben ez az út nem járható, akkor vagy különböző



kohófémekkel, vagy olvadékokkal történő hígítás útján lehet a különböző összetételű ötvözeteket előállítani.

2. táblázat

Az újraolvasztott alumínium finomítási  
lehetősége

Finomítási eljárás	Finomítás célja
Ömlesztés sóval	oxideltávolítás
Klórozás	alkáli- és alkáliföldfémek eltávolítása
Mosógázzal történő kezelés	H, Li, Na, Mg, Ca, Sr, oxid, karbid és nitrid eltávolítás
Sóval történő finomítás	Li, Na, Ca, Sr, oxid eltávolítás
Fémes kicsapás	Fe, Mn eltávolítás
Vákuumdesztillálás	Li, Zn, Mg, Na eltávolítás
Primeralumínium-adagolás	valamennyi kísérőkomponens hígítása
Ötvözőelem-adagolás	hígítás, egyes kísérőelemek hígítása

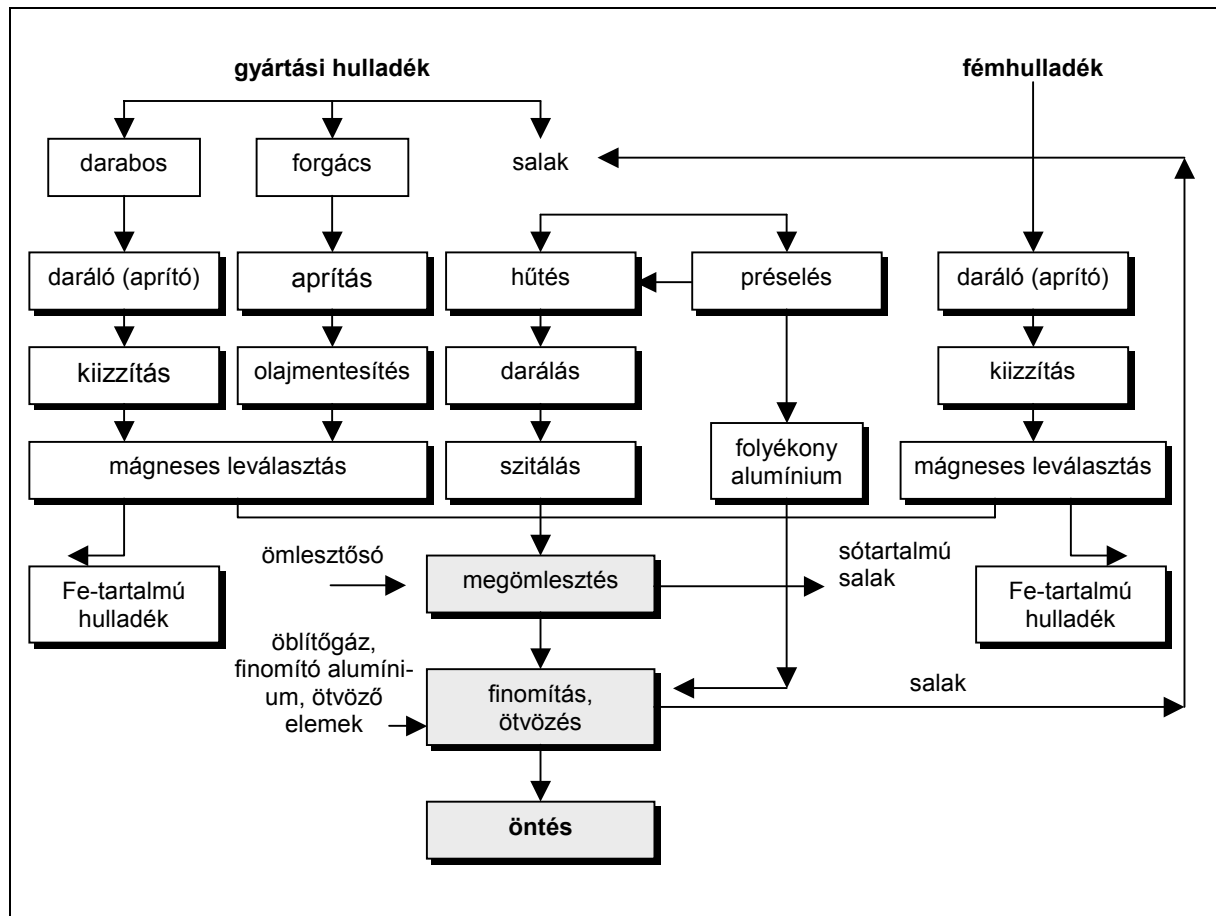
Az ötvözetek elválasztásához két kemencetípust használnak a gyakorlatban. A fajtatiszta hulladékot és a gyártási hulladékot általában nagyméretű olvasztókemencében olvasztják meg, a kevert gyártási és régi hulladékot, a salakot és forgácsot kisebb, flexibilis sókemencében ömlesztik meg. Ezeket az elválasztási módszereket az újrafeldolgozás 2. és 3. területén is alkalmazzák (7. ábra).

A gyártásból és használatból származó egyre nagyobb mennyiségben visszaáramló anyagmennyiség ellenére növekvő hiány mutatkozik a mind nagyobb mennyiségű fajtatiszta alakítható ötvözet hulladékból, amire újrafeldolgozásnál, újraolvasztási hígítóanyagként van szükség. A primer alumínium fokozott felhasználása tovább mélyíti a kiélezett ár helyzetet.

A német alumíniumkohókban 1975–1999 között feldolgozott hulladékban az új (gyártási) hulladék mennyiségének folyamatos csökkenése következtében arányuk ma már csak 30%-ot tesz ki. Ugyanakkor a használt hulladék mennyisége folyamatosan emelkedik. Az 1997-ben készült alumíniumhulladék mérleg jól szemlélteti a rendelkezésre álló hulladék mennyiségét és minőségét. Eközben csekély exportfelesleg is mutatkozott, amely használt alumínium hulladékból, gyártási hulladékból és forgácsból származott.

Másodalumínium előállításához alumíniumban kifejezve 400 E t hulladékot használtak fel, ezen belül kb. 70 E t fajtatiszta alakítható ötvözetet olvasztottak újra. További 174 900 t alakítható ötvözetet használtak fel a primer olvasztóban öntvény és 190 E t-t félkésztermékek előállításához. 920 E t gyártási hul-

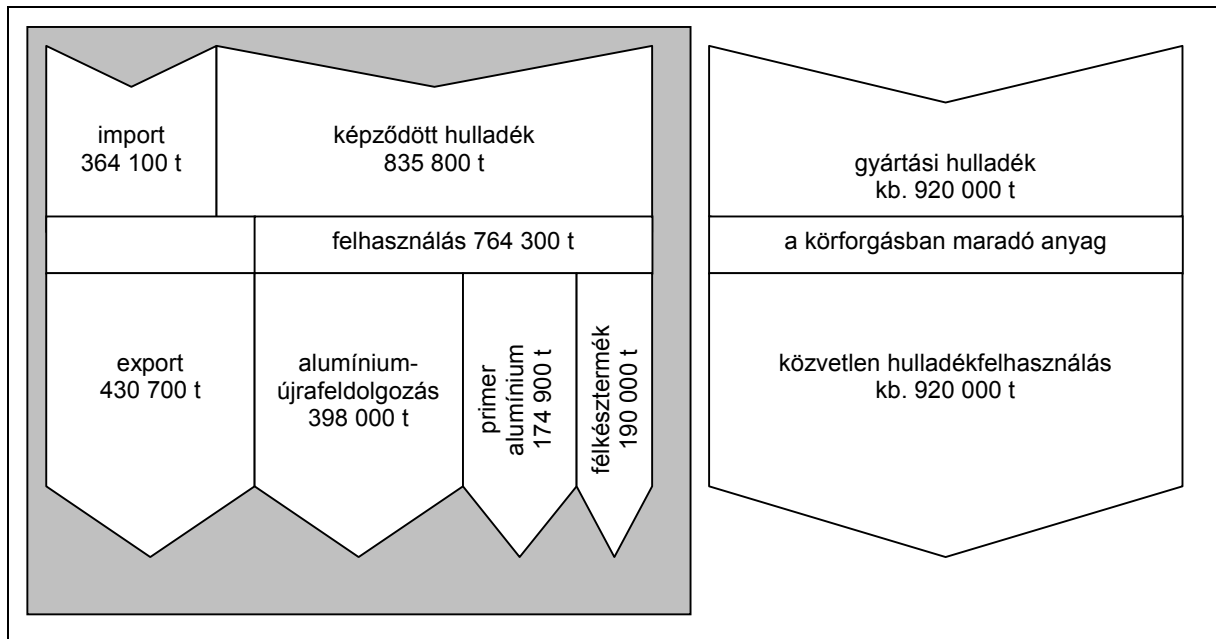
ladékat közvetlenül (üzemen belül) használtak fel félkésztermék előállítására, ezért ez a mennyiség nem szerepel a statisztikákban.



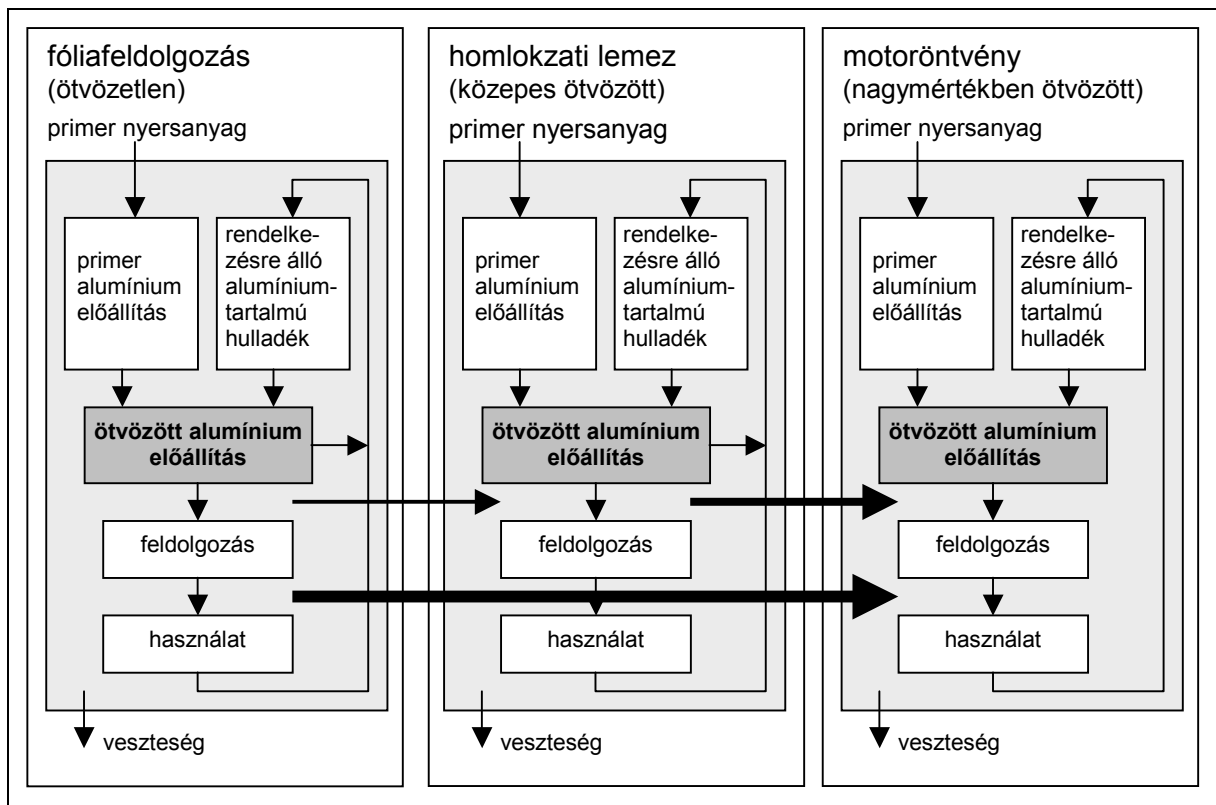
7. ábra Az alumínium-újrafeldolgozás folyamatábrája (2. és 3. terület)

A teljes feldolgozott hulladékmennyiségből 37%-os újrafeldolgozási arány adódik, beleszámítva a 168 E t másodnyersanyagot és a külföldi primer alumíniumból származó hulladékot, ami a teljes német termelésre vonatkoztatva reálisnak tűnik. Ez az egyes alkalmazási területekre kapott értékekkel arányos középértéknek vehető.

Az egyes alkalmazási területek közötti mennyiségi kapcsolatot a hulladékáram alapján lehet jellemezni (8. ábra). Ebből egy ötvözési kaszkád adódik, miközben az ötvözőanyagok újrafeldolgozási aktivitása valamennyi készleten belül nő. Az anyagáram kiindulópontja az ötvözetlen alumínium, ennek a legkisebb az újrafeldolgozási aránya. Az ötvözött állapot csökkenése, azaz a szokásos hasznosítással ellentétes irányú folyamat, amely a 9. ábrán látható, csak emelkedő primeralumínium-előállítás esetén lehetséges.



8. ábra Hulladékmérleg 1997-ben

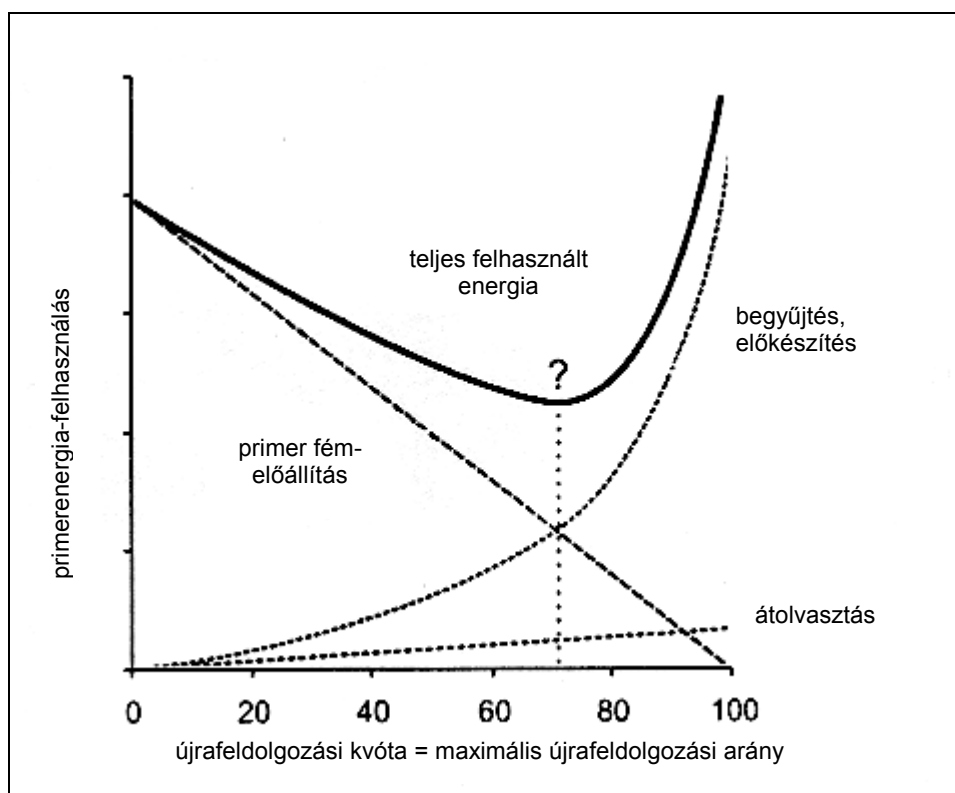


9. ábra Az egyes újrafeldolgozó vonalak közötti kapcsolat

Összefoglalóan tehát megállapítható, hogy az újrafeldolgozási aktivitás sikere csak a visszanyert fém mennyiségével és az ezzel szorosan összefüggő primeralumínium-felhasználás csökkenésével mérhető a teljes alumínium-körforgás összefüggésében. Ezzel ellentétes hatást fejt ki az ötvözőelemek feldúsulása az anyagáramban a fajtatiszta gyűjtés és feldolgozás következtében, és ezzel még inkább lehetővé teszik a szűkös kínálat miatt már egyébként is drága másodnyersanyagok felhasználását.

## Energetikai értékelés

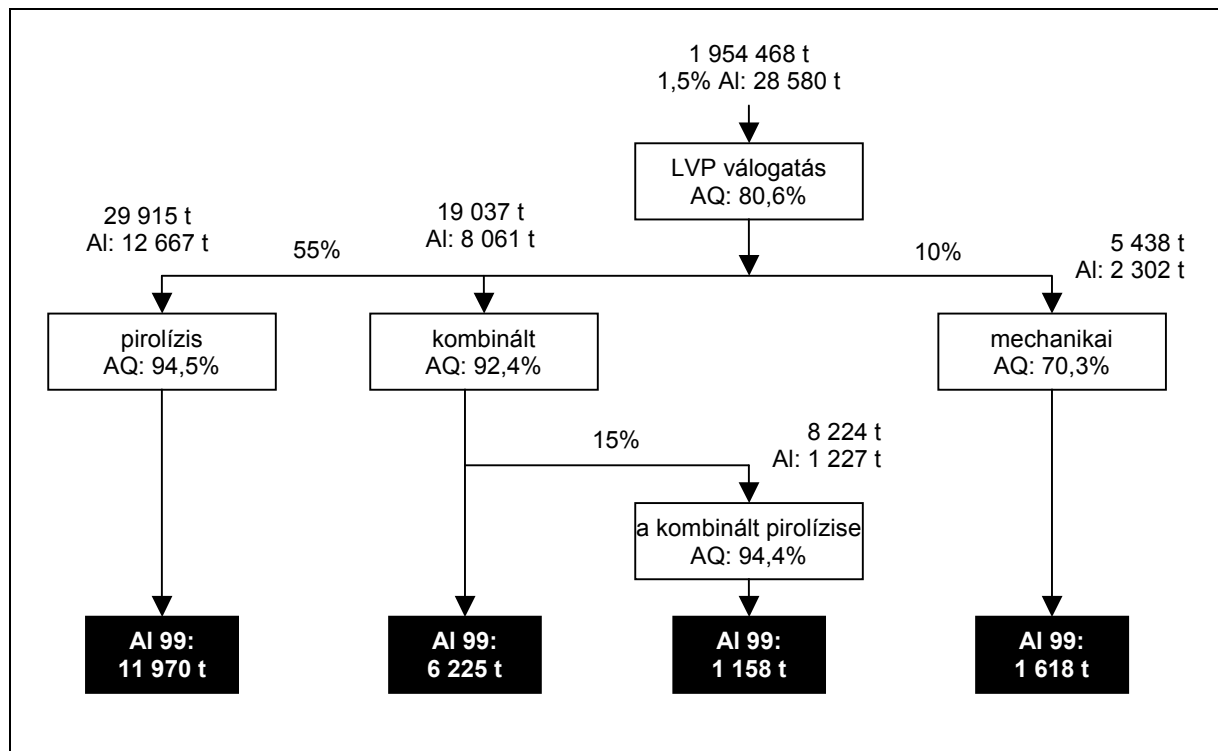
Az újrafeldolgozás energetikai értékeléséhez először az optimális technológia fogalmát kell tisztázni. Zárt láncú anyagáramlás esetén az újrafeldolgozási arány ill. kvóta emelkedésével csökken az energiafelhasználás (10. ábra), de az ábrából az is leolvasható, hogy egy bizonyos újrafeldolgozási kvóta felett ismét növekszik az energiaigény, vagyis az energiafelhasználás a hulladékbegyűjtés és -előkészítés megnövekedett energiaigényével arányosan emelkedik.



10. ábra Optimális újrafeldolgozási kvóta minőségi jellemzése primerenergia-felhasználás alapján

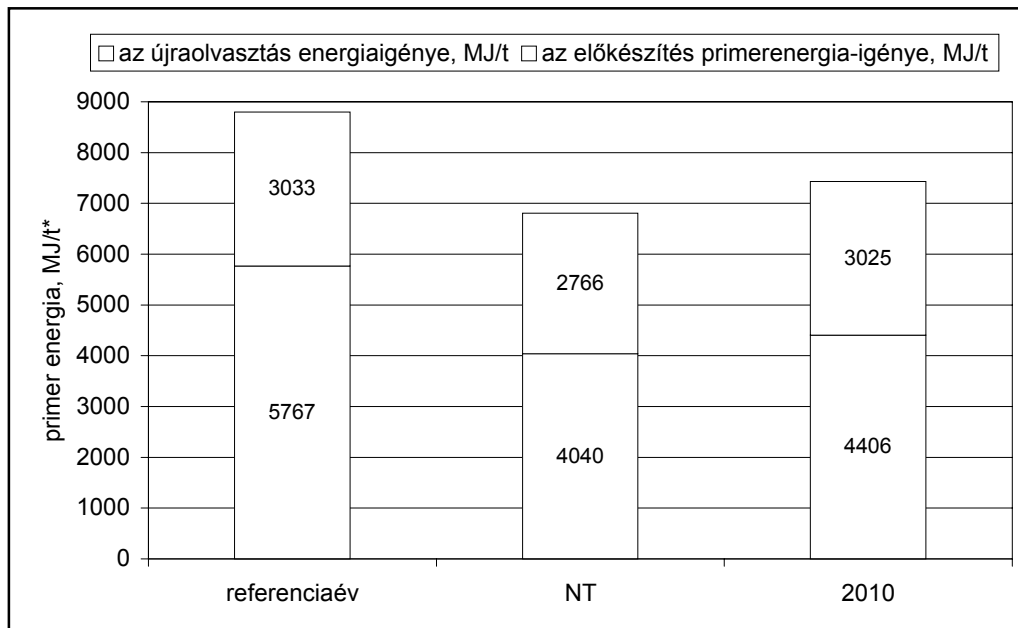
Az újraolvasztás energiaigénye az újrafeldolgozásra kerülő hulladék alumíniumtartalmától függ, így 80% alumíniumtartalom alatt már jelentős energiafelhasználás-emelkedéssel kell számolni. Ezen érték alatt az alumínium kísérrőanyagai, valamint az olvasztás és előkészítés energiaigénye közötti viszony határozza meg az összes energiaigényt. Kohászati gyakorlatból közismert tény, hogy maximális olvadátkihozatal csak meghatározott összetételű hulladékkeverékkel érhető el.

Az alacsony alumíniumtartalmú hulladékfrakció feldolgozására jó példa az LVP. A 11. ábrából leolvasható, hogy a technológiai fejlesztés mennyire segíti a technológiában rejlő lehetőségek kiaknázását. Az LVP jelenleg alkalmazott feldolgozási technológiájával a válogatás után kapott frakció alumíniumtartalma 40%, ami még szerves anyagokkal is szennyezett. Ez az anyag közvetlenül nem alkalmas újraolvasztásra, de mechanikus és termikus kezelés után a frakció alumíniumtartalma eléri a 99%-ot, ami feldolgozás szempontjából jónak mondható. Ebből a frakcióból 90%-os kihozatal érhető el megolvasztással, de a teljes folyamatra vetített 73,4%-os kihozatal viszonylag alacsonynak mondható.



11. ábra Az alumíniumcsomagolási könnyűfrakció-feldolgozás folyamatábrája

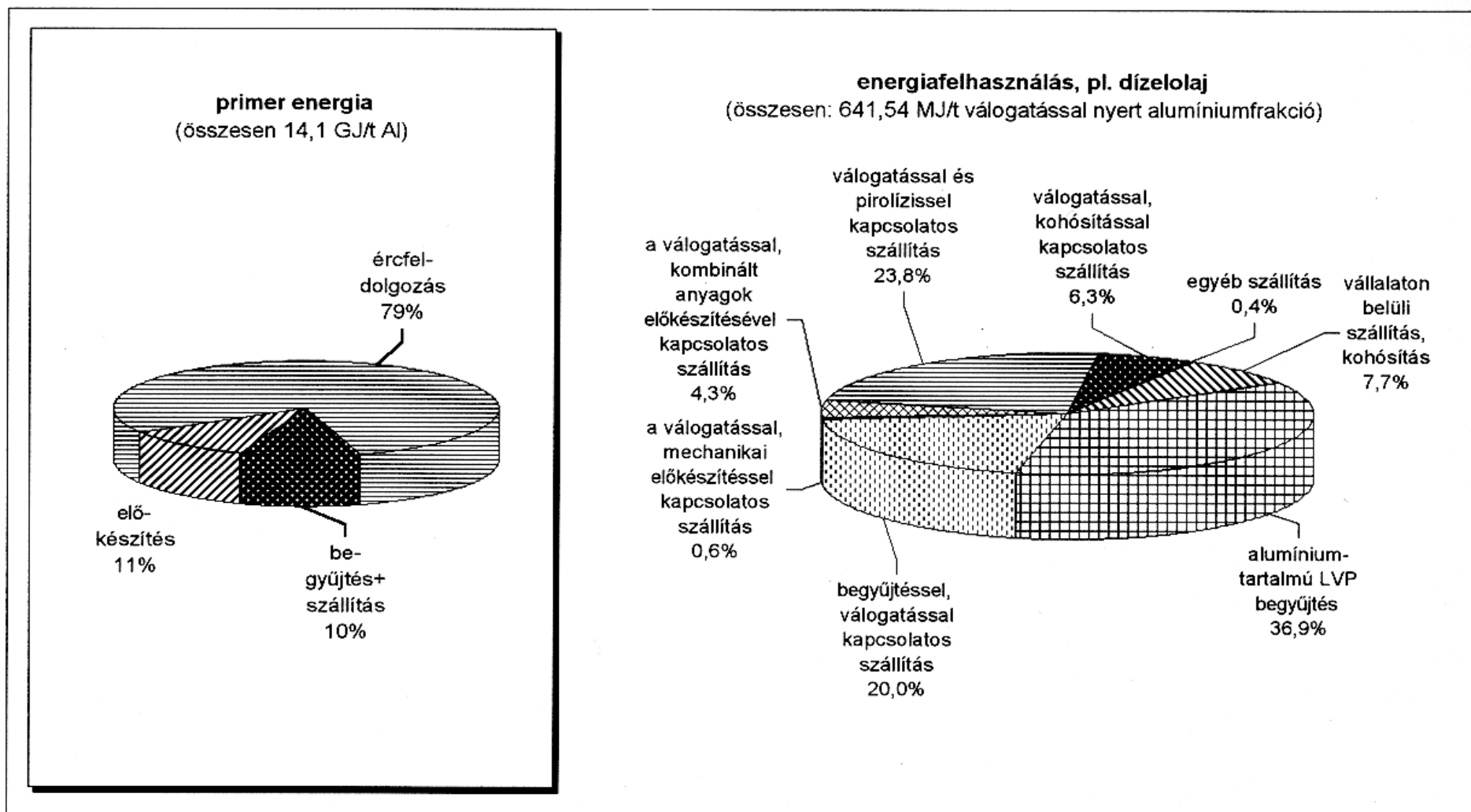
A válogatás teljes automatizálásával a kihozatal 80,6%-ról 94%-ra emelhető. Bár ebben a fázisban a folyamat energiaigénye nő, a nagyobb kihozatal ellensúlyozza a többletráfordítást. A különböző forgatókönyvek összehasonlításával kapcsolatban végzett számítások alapján a jövőbeni újrafeldolozási koncepcióhoz illeszkedő olvasztási technológia (NT = neuste Technologie) és ennek várható bevezetése 2010-ben 2000, ill. 1370 MJ/t ötvözet energiamegtakarítást eredményez, miközben az előállított alumínium mennyisége 20, ill. 4%-kal emelkedik (12. ábra).



\* - salak és forgács előkészítés nélkül

12. ábra A csomagolási hulladék jelenlegi és jövőben lehetséges újrafeldolozási koncepciójának összehasonlítása primerenergia-felhasználás alapján

A teljes újrafeldolozási folyamat egyes részleteinek modellezése és alapos elemzése fontos, gyakran első ránézésre nem látható szempontokra hívja fel a figyelmet. A 13. ábrán a primerenergia-felhasználás egyes folyamatok szerinti megoszlása mellett rámutat az egyes fázisok energiahordozó (dízeltolaj) igényére is. Feltűnő a begyűjtés és válogatás szállítással kapcsolatos nagy energiahordozó igénye. Ugyanilyen jelentős a dél-németországi központi pirolízises alumínium feldolgozásához kapcsolódó szállítási költség.



13. ábra A csomagolási hulladék újrafeldolgozás energiafelhasználásának megoszlása a primer és dízelolaj felhasználás között

## Véggövetkeztetés

Az újrafeldolgozás szempontjából központi helyen áll a feldolgozásra kerülő hulladék folyamatos utánpótlása. Ennek alapján határozható meg az újrafeldolgozási aktivitás, a kezelt hulladék újrafeldolgozási aránya, ami helytől, időtől, terméktől és fémtől függően változó. Az újrafeldolgozási kvóta technológiára utaló jelzőszám, amellyel az újrafeldolgozási tevékenység eredményessége jellemezhető, és amelynél definíciótól függően a begyűjtött hulladék mennyiségét is figyelembe kell venni. Az újrafeldolgozási arány, ill. kvóta alakulásában nagy jelentősége van a hulladék minőségének, azaz tulajdonságának, ötvözési állapotának és fémtartalmának. Maga az újrafeldolgozási technológia jellemezhető fémkihozatallal és energiafelhasználással, de összehasonlításakor a teljes újrafeldolgozási folyamatot kell vizsgálni, amelybe az előkészítés és újraolvasztás is beletartozik. Ma a fejlesztés legfontosabb feladata a másodnyersanyag begyűjtés és értékesítés optimalizálása. Az energiafelhasználás vizsgálatokor elsősorban az emissziók környezeti hatását kell előtérbe helyezni. A fémipar fenntartható fejlődése szempontjából az erőforrások gazdasági és szociális problémáival összefüggő kérdéseket is tanulmányozni kell.

**(Haidekker Borbála)**

Friedrich, B., Rombach, G.: Aluminiumrecycling – Anspruch und technische Realisierbarkeit. = Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 146. k. 5. sz. 2001. p. 177–184.

Kirchner, G.: Der Wettbewerb um Aluminiumschrotte hält unvermindert an. = Aluminium, 76. k. 1–2. sz. 2000. p. 10–17.