

SZAKDOLGOZAT

JAKABNÉ FÜR JENIFER VIKTÓRIA

Hulladékkezelési és - hasznosítási

szakmérnök

Gödöllő

2024



Magyar Agrár- És Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Hulladékkezelési és -hasznosítási szakmérnök

**Elektromos autók Li-ion akkumulátoraiban lévő fémek mennyiségének
és értékének vizsgálata a körforgásos gazdaság tükrében**

Belső konzulens: Dr. Nagy Sándor Márton
egyetemi docens

Miskolci Egyetem

Készítette: Jakabné Für Jenifer Viktória

I7FYL4

Környezettudományi Intézet

Környezetanalitika és Környezettechnológiai

Tanszék

Közreműködő tanszék: Miskolci Egyetem

Nyersanyagelőkészítés

és Környezettechnológia Intézet

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
1.1. Vizsgált hipotézisek	5
1.2.2. Gépjárművekkel kapcsolatos adatok ismertetése	7
1.3. Élettartamuk végére ért gépjárművek.....	12
1.3.1. Roncsautók begyűjtése	12
1.3.2. Roncsautók feldolgozási lehetőségei	13
1.3.3. Roncsautókból begyűjtött alkatrészek hasznosítása.....	14
1.4. Shredderezés technológiájának bemutatása	15
1.4.1. UD Stahl Recycling Kft. bemutatása	17
1.4.2. ÓAM Kft. bemutatása	18
1.5. Gépjárművek felépítés.....	22
1.6. Körforgásos gazdaság	23
2. Egyéni kutatás – Akkumulátorokban fellelhető értékek vizsgálata	25
2.1. Elektromos autókban található akkumulátorok típusai	25
2.1.1. Nikkel-fémhibrid akkumulátor	25
2.1.2. Lítium-ion	25
2.2. Módszerek	30
2.2.1. Kutatás felépítése	30
2.2. Eredmények	31
2.2.3. Nissan Leaf akkumulátor vizsgálata	34
2.2.4. Mazda MX-30 akkumulátor vizsgálata	34
2.2.5. Peugeot 3008 akkumulátor vizsgálata.....	35
2.2.6. Jövőbeli becslések.....	36
3. Megállapítások.....	40
4. összefoglalás	44
5. Köszönetnyilvánítás	47
Irodalomjegyzék	48

<i>Érintett rendeletek</i>	<i>50</i>
<i>Megtekintett internetes források.....</i>	<i>50</i>
Nyilatkozat	53
Konzultációs nyilatkozat	54

1. BEVEZETÉS

Korunk egyik jelentős problémája a környezet fokozott terhelése, szennyezése. A természeti kincsek kizsigerelése, iparosodás, építőipar miatt csökkenőben lévő zöld területek és az imént felsorolt tevékenységek járulékos „költségeinek”, a veszélyes hulladékoknak a tárolása egyre

inkább sarkalatos pontját képezi a gazdasági, politikai, és társadalmi szereplők jövőképének (http 7). Cél a környezetvédelmet érintő prevenció és utólagos problémakezelés. Felmerül morális és gazdasági kérdés is egy-egy természetvédelmi stratégia kidolgozásakor, melyek eredménye képpen kialakul a cselekvési terv, hogy melyek azok a természeti kincsek megővéására szolgáló technológiák, amelyek kifejlesztésre kerülhetnek a jövőben. Természeti kincseket több módon csoportosíthatjuk, jelen esetben a legkézenfekvőbb -vizsgálati célom szempontjából- két kategória szerinti csoportosítás: anyag és energia.

Hogyan tehetek a környezetemért, ha a természetből kinyert anyagot, mint védendő értéket tartom szem előtt?

Egy hasznos módszer lehet az anyagi javak megőrzésében a körfolyamatba való visszavezetés (újrahasznosítás -recycling). Kezdhetnénk a vizsgálatot például rögtön a hulladéklerakó területek redukálásával.

Európán belül évente körülbelül 9 millió elhasznált gépkocsi kerül kivonásra a forgalomból.

Ma már egyre gyakoribb megoldásként alkalmazzák a gyártók a „felelősségvállalást”, melynek lényege, hogy a gyártók biztosítják a visszavonás lehetőségét a különböző típusú járművek felé, ha azok eléri a hasznos életkoruk végét.

Azonban ez még mindig nem elegendő megoldást biztosít, hiszen egyre nagyobb mértékben aknázzuk ki a természeti erőforrásokat, miközben egyre nagyobb mennyiségű környezetre káros anyagot juttatunk ki a természetbe, ami pedig mára már odáig fajult, hogy mérhető károkat okozott ez a fajta hozzáállás.

Tehát a nagyüzemi károsanyag kibocsátókat (gyártókat) mára már természetvédelmi szervezetek és az Európai Unió által felállított szabályrendszer kötelezi a könnyen szétbontható és minél nagyobb mértékben újrahasznosítható gyártmányok készítésére.

A „Design for Recycling” olyan gyártmányok kifejlesztését segíti elő, amelyeket minél könnyebben darabokra bonthatunk. A hasznos anyagokat, újra használjuk, a károsakat eltávolítjuk, illetve ártalmatlanítjuk.

Ahhoz, hogy mindezeket sikeresen véghez vigyük, szükségünk van életciklus tervezést bevezetni a gyártásba. Tudnivaló, hogy a szétbontás magas árakkal történik és sok esetben nem a gyártmányok alkatrészekre való szétbontását, majd azok újra hasznosítását jelenti, hanem méretbeni elaprózást, céltalan és helytelen tárolást, ami sok esetben káros a környezetünkre.

Dolgozatom az élettartamuk végére ért elektromos autókkal foglalkozik, valamint az azokban rejlő értékes elemek mennyiségével és értékével. Ennek keretében szeretném felhívni a hazai gazdasági és műszaki szakemberek figyelmét a taglalt probléma égető fontosságára, a megoldás szükségességére. Hiszen az ok ismert, és az okozat már érezhető.

1.1. Vizsgált hipotézisek

H1. *Az LFP akkumulátorok alkalmazása körforgásos gazdaság szempontjából kifizetődőbb, mint az NMC típusú akkumulátoroké.*

Az LFP akkumulátorokban megtalálható elemek tömegének összege alacsonyabb, mint az NMC akkumulátorokban található elemeké, így viszont egyértelműen kijelenthető, hogy az LFP

akkumulátorok előállítása alacsonyabb költséget jelent, így az akkumulátor is kevesebbe fog kerülni, ami odáig vezet, hogy az elektromos autó előállítása is kevesebb költséggel fog járni. Mivel az NMC akkumulátorokban magasabb a szereplő fémek értéke, így az akkumulátor előállítási költsége is magasabb, ami viszont azt vetíti előre, hogy az elektromos autó is nagyobb összeget fog érni.

Az LFP akkumulátorok 10-15 éves időintervallumra vizsgálva már kimutathatóan hosszabb élettartamot prezentálnak az NMC akkumulátorokhoz képest. Az LFP akkumulátorok bár alacsonyabb pillanatnyi teljesítményre képesek általánosságban mint egy NMC akkumulátor, de ezért cserébe hosszabb élettartamot és biztonságosabb működést adnak.

Összességében úgy vélem, hogy a jövő az LFP akkumulátorokban van jelenleg, mivel kisebb összegért is hozzájuthatóak, azonban úgy vélem, hogy nem érdemes lemondani egyelőre az NMC akkumulátorokról sem.

H2. *Az NMC akkumulátorokból több fém nyerhető vissza a körforgásba.*

NMC akkumulátorokban található kobalt, nikkel és mangán is. Megtalálható az NMC és az LFP típusú akkumulátorokban is a lítium, réz és alumínium elemek közös hasonló mértékben. Az NMC típusban nincs vas, viszont az LFP-ben igen. A világpiaci árakat tekintve az NMC-ben fellelhető kobalt az egyik legdrágább áron nyilvántartott fém, emellett a nikkel és mangán is értékesebb mint a vas. Összességében elmondható, hogy az NMC akkumulátorok nagyobb mennyiségű hasznos fémtartalommal bírnak, ezeknek az elemeknek az ár-értékaránya is jobb mint az LFP típusú akkumulátorokban kisebb mennyiségben jelen lévő fémeké.

Ha adott időintervallumra (10-15 év) vizsgáljuk a két típust elmondható, hogy az LFP akkumulátorok már kimutatható mértékben hosszabb élettartamot tudhatnak magukénak. Ebből következően adott időszakra vizsgálva az NMC típusú akkumulátorokból nagyobb mennyiség kerül újrahasznosításra, illetve nagyobb mennyiségű fém nyerhető ki azonos ciklusidőre vizsgálva az LFP akkumulátorokhoz képest.

H3. *A körforgásos gazdaság jó megoldásként szolgálhat a roncsautók feldolgozásához, és visszaforgatásához a környezetbe.*

A körforgásos gazdaság -mint joggyakorlat- köztudatba épülésével, valamint a gazdasági érdekeltség megteremtésével a roncsautók feldolgozása, és visszaforgatása a környezetbe általánosan elfogadott és szívesen alkalmazott megoldássá válhat. Cél, a lehető leghosszabb ideig megőrizni a terméket, anyagot, értéket a gazdaságban, ezáltal minimalizálva a hulladékkezelést, illetve visszaszorítva az adott időintervallumra kimutatható nyersanyagszükségletet. A körforgásos gazdaság tükrében feldolgozott roncsautók egyes alkatrészei akár átalakítás, felújítás, vagy karbantartás nélkül is újra felhasználhatóak már környezetben. Ilyen alkatrész lehet az autó akkumulátor, amely például házi energiaerőművek alapja lehet.

H4. Az akkumulátorokból kinyert fémek elegendő alapot biztosítanak ahhoz, hogy a kis mennyiségben jelenlévő nyersanyag készlet kiaknázása lassuljon.

Mind az LFP mind az NMC típusú akkumulátorok esetén elmondható, hogy a kinyerhető fémek aránya szinte teljes mértékben lefedi az eredetileg -az akkumulátor gyártásakor- felhasznált fémmennyiséget. Álláspontom szerint a technológiai fejlődéssel a fémek kinyerési költsége csökkenthető, ezáltal a hasznos fémek kinyerése egyre gazdaságosabbá tehető, így a természetben kis mennyiségben fellelhető fémek kitermelésének prioritása háttérbe szorítható, a bányászott mennyiség csökkenthetővé válik.

1.2. A gépjárművek

1.2.1. Gépjárművek kategorizálása

A szakdolgozatom alátámasztásához szükséges, hogy sorra vegyem a gépjárművek különböző típusú besorolásait. Az első kategória, melyet az 5/1990.(IV.12.) KöHÉM Rendelet szabályoz a következőképpen osztályozza a járműveket:

- M1 járműkategória, melybe a személygépkocsik sorolhatóak

- M2 járműkategória, melybe azon autóbuszok sorolhatóak, melyek össztömege nem haladja meg az 5 tonnát
- M3 járműkategória: ide tartoznak azok az autóbuszok és trolibuszok, amelyek össztömege meghaladja az 5 tonnát
- N1 járműkategória: ebbe a csoportba soroljuk azokat a tehergépkocsikat és vontatókat, amelyek össztömege legfeljebb 3,5 tonna.
- N2 járműkategória: azokat a tehergépkocsikat és vontatókat foglalja magában, amelyek össztömege meghaladja a 3,5 tonnát, de nem éri el a 12 tonnát.
- N3 járműkategória: ez a kategória azokra a tehergépkocsikra és vontatókra vonatkozik, amelyeknek össztömege több, mint 12 tonna.
- O1 járműkategória: ebbe a kategóriába azok a pótkocsik tartoznak, amelyek maximális megengedett tömege nem haladja meg a 0,75 tonnát
- O2 járműkategória, melybe azon pótkocsik sorolhatóak (ideértve a félpótkocsikat is),
- O3 járműkategória, melybe azon pótkocsik sorolandók (ideértve a félpótkocsikat is), melyek össztömege 3,5 tonna és 10 tonna közé sorolható
- O4 járműkategóriába sorolandók azok a pótkocsik, melyek össztömege meghaladja a 10 tonnát

Szakdolgozatomban az M1 besorolású gépjárműveket vizsgáltam, mivel a hazánkban fellelhető felhasználók zöme ebbe a kategóriába sorolható, így ezen járműkategória tagjait alkalmazzák a legszélesebb körben, tehát a legtöbb leselejtezett eszköz is innen kerül ki.

1.2.2. Gépjárművekkel kapcsolatos adatok ismertetése

A hazai gépjárművek esetében számos grafikon áll rendelkezésre, mellyel érzékeltethető, hogy milyen mértékben növekedik a gépjárművek kihasználása, azok darabszáma, az ezer főre jutó személygépkocsik száma, valamint a személygépkocsi-állomány átlagos életkorában milyen változások figyelhetők meg az elmúlt években. Minden általam vizsgált tényrt 2018-ig vezettem vissza és 2023 decemberéig gyűjtöttem az adatokat.

Az első általam vizsgált tényező a magyarországi közúti személygépkocsi állománnyal foglalkozik, melynél az összegyűjtött adatokat az 1.ábra szemlélteti.

1. ábra: A magyarországi közúti személygépkocsi állományának alakulása

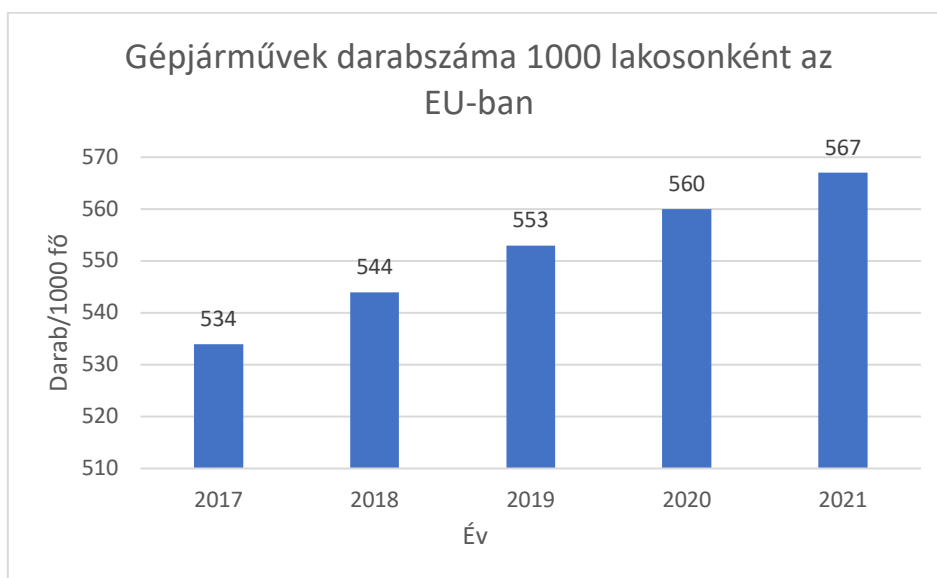
(Forrás: Saját szerkesztés a ksh.hu adatok alapján)



A következő általam vizsgált terület az ezer főre jutó személygépkocsik számát vizsgáltam az Európai Unióban 2017 és 2021 között. A ksh.hu-ról gyűjtött adatokat a 2. ábrán foglaltam össze.

2. ábra: Ezer fő lakosra jutó személygépkocsik számának alakulása az Európai Unióban 2017-2021 között

(Forrás: Saját szerkesztés a ksh.hu-ról gyűjtött adatok alapján)



A következő témaköröm a személygépkocsi-állomány átlagos életkorának alakulása volt, melyet 2018-2023 időszakban vizsgáltam. A ksh.hu-ról begyűjtött adatokat a 3. ábrán mutattam be.

Az Európai Unióban 2017-től folyamatos növekedés figyelhető meg a személygépkocsik számában, de a növekedés üteme országoként eltérő. A motorizációs arány (azaz az ezer főre jutó személygépkocsik száma) szintén jelentős különbségeket mutat az EU-ban. 2023-ban Olaszország vezetett 694 autóval ezer főre vetítve, míg más országok, mint például Luxemburg, Finnország és Ciprus is magas arányt mutatnak. A következő táblázatban az Európai Unió országokban újonnan vásárolt autók típus szerint megoszlása látható.

3. ábra: Az új autók megoszlása 2023-ban az Európai Unió országokban motortípusonként

New passenger cars by type of engine fuel, 2023
(number)

	Total	Petrol	Diesel	Alternative energy	of which: Battery - only electric	Hydrogen and fuel cells
Belgium	484 639	336 741	50 855	97 043	93 482	1
Bulgaria	37 476	:	:	:	1 754	1
Czechia	212 662	147 244	54 687	10 661	6 567	16
Denmark	173 388	95 541	15 260	62 587	62 586	1
Germany	2 844 609	1 601 700	703 839	539 070	524 219	267
Estonia	22 986	17 358	4 114	1 515	1 448	1
Ireland	117 424	66 013	28 913	22 498	22 493	0
Greece	134 465	19 785	104 526	10 154	6 377	0
Spain	983 721	714 633	186 368	82 720	55 388	8
France	1 817 346	1 247 756	202 813	366 777	303 612	283
Croatia	43 866	21 040	9 219	13 607	1 125	0
Italy	1 581 156	1 014 551	357 239	209 366	65 800	2
Cyprus	14 637	13 406	443	788	788	0
Latvia	18 451	12 702	3 729	2 020	1 629	0
Lithuania	26 866	20 520	3 684	2 215	2 210	0
Luxembourg	49 155	27 804	10 713	11 082	11 048	0
Hungary	103 256	79 969	16 703	6 584	6 049	0
Malta	7 464	5 218	724	1 522	1 516	0
Netherlands	369 791	249 608	4 068	116 115	113 896	40
Austria	239 150	130 321	61 187	47 642	47 621	10
Poland	477 258	300 895	144 505	29 683	17 100	83
Portugal	200 237	123 422	29 010	47 807	36 456	2
Romania	144 609	91 118	20 455	33 036	15 367	0
Slovenia	48 455	36 290	7 355	4 810	4 306	0
Slovakia	86 812	:	:	:	2 517	1
Finland	87 509	52 225	5 277	30 007	29 537	0
Sweden	290 768	146 412	25 820	118 536	112 321	2
Iceland	17 543	:	:	:	9 260	:
Liechtenstein	1 590	958	294	338	338	0
Norway	130 973	20 999	3 642	106 332	106 309	18
Switzerland	263 514	165 982	44 501	53 031	52 947	28
Bosnia and Herzegovina	9 027	5 558	3 136	333	135	0
Montenegro (*)	4 066	2 456	699	:	:	:
Moldova	46 033	10 793	26 266	8 974	1 012	:
North Macedonia (*)	28 018	:	:	:	:	:
Georgia	6 422	4 683	1 514	245	245	0
Albania	66 004	12 476	47 440	6 088	1 671	:
Serbia	45 960	:	:	:	:	:
Türkiye	945 768	704 254	162 855	78 659	65 558	0
Ukraine	62 951	36 953	18 351	7 647	7 261	:
Kosovo (*) (*)	27 171	2 840	24 300	20	20	0

Note: (:) not available.

(*) 2022 data instead of 2023.

(*) 2021 data instead of 2023.

(*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/99 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.

Source: Eurostat (online data codes: road_eqr_carmot, road_eqr_carpda and road_eqr_zev)

eurostat

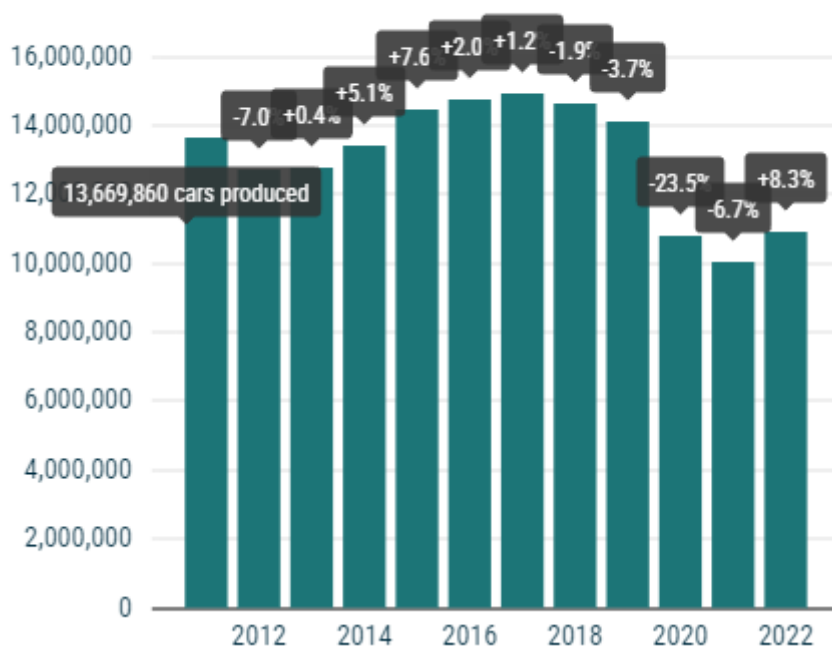
Az itt látható adatok alapján megállapítható, hogy legnagyobb számmal Németország vezet (2 844 609 db), melyet Franciaország követ 1 817 346 db-al, majd szorosan emögött helyezkedik el Olaszország 1 581 156 db-bal.

Következő diagrammon az Európai Unióban található személygépkocsik megoszlása látható.

4. ábra: Az Európai Unió személygépkocsi számainak alakulása

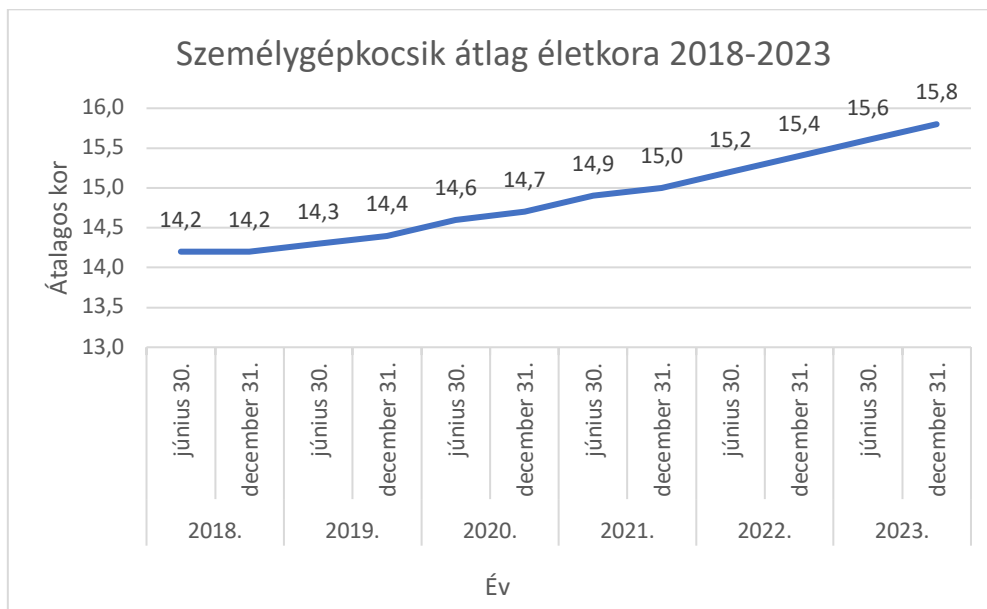
(Forrás: <https://www.acea.auto/figure/eu-passenger-car-production/>)

In units, % change / 2011 – 2022



5. ábra: A személygépkocsi-állomány átlagos életkorának alakulása 2018-2023

(Forrás: Saját szerkesztés ksh.hu adatai alapján)



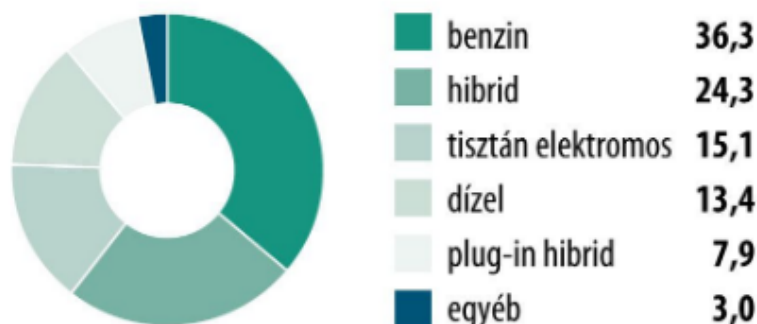
A következő ábrán az újonnan regisztrált járművek megoszlását szemléltettem a felhasznált üzemanyagtípus alapján (EU). Az eredmények a 4. ábrán tekinthetők meg.

6. ábra: Az újonnan regisztrált autók csoportosítása üzemanyagtípus szerint

(Forrás: ACEA, VG-grafika, 2021)

AZ ÚJONNAN REGISZTRÁLT AUTÓK ÜZEMANYAG SZERINTI MEGOSZTLÁSA

június, Európai Unió (százalék)



Forrás: ACEA, VG-grafika

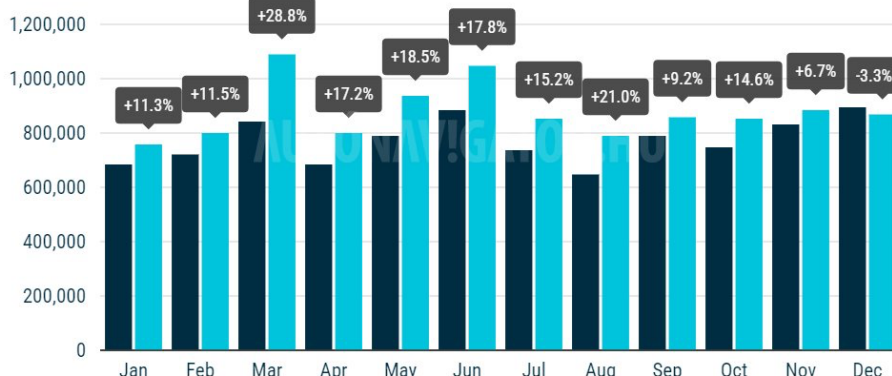
Az újonnan regisztrált járművek körében rekordot jelentő 15,1 százalékra nőtt az elektromos járművek aránya. A legnépszerűbbek továbbra is a benzines járművek (36,3 százalék), amelyeket a hibridek (24,3) követnek.

Az ACEA által készített tanulmány szerint 2022-2023-as időszak alatt növekedés volt tapasztalható az új autók regisztrációjában, melyet az 5. ábra is szemléltet.

NEW EU CAR REGISTRATIONS

12-month trend

■ 2022 ■ 2023



Created with LocalFocus

Source: ACEA

7. ábra: Új autók regisztrációjának alakulása a 2022-2023-as időszakban

(Forrás: ACEA)

Az eladások alakulásának havi bontása. A december 3,3 százalékos visszaesést hozott. Ez szinte semmit sem változtat azonban az éves végeredményen, hiszen a decemberen kívül

minden egyes hónap pozitív mérleggel zárult, a rekord a március volt, ahol a 2022-es évhez képest 28,8 százalékpontos javulás volt tapasztalható. Így a teljes év eredménye az azt megelőzőhöz képest 13,9 százalékos növekedés lett. Mindez 10,5 millió forgalomba helyezett autót jelent. Az EU-ban egyedül Magyarországon nem volt növekedés az új autók piacán 2023-ban 3,4 százalékos csökkenéssel zártunk (http 2, 2023).

Ezzel szemben a tisztán elektromos autók regisztrációinak száma 2022. júniushoz képest 66,2 százalékkal 158 252-re nőtt, a legnagyobb növekedés a holland (90,1 százalék), a német (64,4) és a francia (52) piacokon ment végbe. A hibridek terén 32,4 százalékos növekedést figyelhattunk meg, míg a plug-in hibridek regisztrációinak száma 13,4 százalékkal bővült (http 6, http 1, 2023).

1.3. Élettartamuk végére ért gépjárművek

A gépjárművek elhasználódási határa manapság az egyes üzemeltetők/ tulajdonosok szubjektív véleményén alapuló folyamat eredménye. Mai gyakorlatot tekintve, egy Németországban leselejtezett (8-9 éves) és roncsnak titulált gépjárművet más európai országban még évekig használnak tovább napi közlekedési eszközként, köztük hazánkban is akár (Directive 2000/53/EC).

Hazánk gazdasági helyzete miatt egy gépkocsi átlag élettartama több mint 15 év, (Európában 8.5 év). Ezek visszavonása, valamint kivonása a forgalomból és környezetbarát újrahasznosítása komoly műszaki és főleg gazdasági problémát jelent Magyarországon.

1.3.1. Roncsautók begyűjtése

Azon járművek, melyek elhasználódtak és leselejtezéssel estek át, hivatalosan autóbontókba kerülnek, ahol szétszedik azokat alkatrészekre.

Ezek mellett szükségesek a megfelelően kialakított begyűjtő rendszerek, valamint az, hogy minden roncsautó és így kinyert alkatrész rendelkezzen bontási igazolással, mely megtalálható a közös rendszerben, valamint a járműgyártóknak minden esetben szükséges tudniuk a megfelelő bontási információkat (különösen a veszélyes anyagokét) (Varga, 2003).

Az újrahasznosítás folyamata a roncsautók begyűjtésével kezdődik. A begyűjtés minden esetben hivatalos ügyintézővel (forgalomból kivonás) majd telephelyre (hulladékfeldolgozó és újrahasznosító) történő szállítással kezdődik (Varga, 2003).

1.3.2. Roncsautók feldolgozási lehetőségei

A majdnem hulladékká váló termékek újrahasznosításának programját előzetesen meg kell határozni és dokumentálni, mégpedig nemcsak a teljes termékre, hanem annak minden alkotóelemeire is kiterjesztve azt (Directive 200/53/EC).

Amennyiben egy jármű számára elérkezik az időpont, amikor ronccsá válik, akkor a tulajdonos kötelessége, hogy beszállítsa a gépkocsit a szétbontó vagy recycling központba.

Szétszerelés

A műszaki hulladékbegyűjtését követően kerül sor rá. Célja, hogy elkülöníthessék a környezetre ártalmas anyagokat, valamint, hogy kinyerjék az ismeretlen felhasználható alkatrészeket egyaránt. Amennyiben a szétszerelés során lehetőség van arra, hogy fajtánként elkülönítsék a szerkezeti anyagokat, akkor a megfelelő újrahasznosítási eljárásokat követően nagy értékű anyagok állíthatók elő. Azonban a műszaki termékek esetében kevés alkalommal valósítható meg, mivel nem minősül gazdaságosnak. További nagy problémája az újrahasznosítási szemléletű tervezésnek, hogy a termékek előállítás és kiselejtezése között akár több év is eltelhet (Varga és Gyenge, 2001a).

A hagyományos gépkocsik esetében a szétszerelés főbb folyamatai a következők:

- Káros folyadékok/anyagok eltávolítása, további feldolgozása és tárolása (olaj, hűtőfolyadék, akkumulátor): mindezek tárolása, amennyiben környezetbarát módon tervezzük, igencsak költséges
- Újra felhasználható alkatrészek kiválasztása és leszerelése: ez a folyamat gazdaságos lehet az országunkban a fejlett second-hand kereskedelemnek köszönhetően. Ez környezetbarát szempontból jó, mert minél több alkatrészt újra felhasználunk annál több nyersanyagot, energiát és pénzt takarítunk meg
- Roncs eladás aprító (shredder) üzemeknek (Varga, 2003)

A hagyományos autókat bontó üzemek többé-kevésbé a két technológia eltérő arányú kombinációját alkalmazzák, a járműmotorok és főegységek esetében inkább a szigetszerű-, míg a karosszéria esetén inkább a futószalagszerű megoldást előtérbe helyezve. Mindkét bontástípusra jellemző, hogy az alábbi anyagokat, alkatrészeket károsanyag-tartalmuk vagy veszélyt okozó hatásuk miatt a járműből eltávolítják és azokat elkülönítetten tárolják: - lengéscsillapító, amennyiben üzemanyagát nem távolították el; - azbeszttartalmú anyagok; - járműüdegen anyagok, valamint az olyan anyagok és alkatrészek, melyek jelentős mértékben káros anyagokkal szennyezettek. Ezeken felül a nyersanyag- és ásványi kincs készletek védelme érdekében az alábbi anyagok, és alkatrészek kiépítése és elkülönített tárolása célszerű: - nagyobb műanyagalkatrészek (pl. lökhárítók, kerék-díszláncok, műszerfalak, tüzelőanyag-

tartályok) - kerekek - szélvédő- oldalsó és hátsó üvegezések - minden réztartalmú alkatrész, úgymint az elektronika darabjai, kábelkötegek, elektromotorok (Varga és Gyenge, 2001b).

1.3.3. Roncsautókból begyűjtött alkatrészek hasznosítása

Az alkatrészek hasznosításához először is érdemes tisztázni, hogy mit jelent a szétszerelési mélység. Ezen fogalom azt jelenti, hogy mely egységek kezelhetők együtt, azonos újrahasznosítási folyamatok során. A döntéshez elengedhetetlen lépés az ártalmas anyagok elkülönítése, de szem előtt kell tartani az újrahasznosítási eredményeket.

A termékszempontú értékelés legfontosabb paramétere az újrahasznosítási arány, mely függ a termék sajátosságaitól, valamint a másodlagos anyagok piacától egyaránt. Azonban ez még nem előrelátható a termékek tervezésekor, ezért a környezetvédelem alapvető követelményként értelmezhető. Ennek nyomán a környezetbarát újrahasznosítás szétbontást igényel, ami azt jelenti, hogy az anyagok mentén kerülnek szétválasztásra az alkatrészek, míg a káros anyagokat pedig kivonják és feldolgozzák. A már elhasznált gépkocsinak újrahasznosításával utólag a szétbontó rendelkezik. A szétbontó határozata az elavult gépkocsin, a szétszerelés gazdaságosságától függ (Varga, 2003).

A napjainkban irányadó környezetvédelmi előírások okán fontos lenne a selejtezést követő megfelelő gépjármű hulladékkezelés. Az Európai Unió alapelveiben is meghatározott fenntartható fejlődéssel egybekötött gazdasági növekedés, valamint a zöldebb Európa elvét szem előtt tartó környezetvédelmi törekvések irányozzák elő azt a morális és technikai fejlődést melynek eredménye képpen egy minimalizált újrahasznosítás utáni melléktermék keletkezik, valamint maga az eljárás környezetkímélő, annak ökológiai lábnyoma a lehető legkisebb mértékűre zsugorított. Az selejtezés újrahasznosítás műveletének egy olyan állandó körforgást kell eredményeznie, amely hosszútávon fenntartható és amelynek fő célja a meglévő anyagok újrafeldolgozása nem pedig az eddig ki nem termelt ércek és egyéb természeti kincsek átgondolatlan pazarlása (Varga és Gyenge, 2001a).

Fontos, hogy az anyag-és alkatrészgyártó cégek korlátozzák a beépített veszélyeshulladék mennyiségét már a tervezési szakasztól kezdve a kivitelezésig. Az új járművek tervezése és gyártása teljes mértékben figyelembe veszi az autóroncok, alkatrészeik és anyagaik bontását, újrafelhasználását és hasznosítását. 2003. július 1. után piacra kerülő járművek anyagai és alkatrészei nem tartalmazhatnak ólmot, higanyt, kadmiumot és hatvegyértékű krómot. 2006. január 1-ig a járművek átlagos súlya tekintetében a roncsautó újrahasznosítását 85%-ra kellett emelni, ezen belül az anyagkénti hasznosítás mértéke 80% kell, hogy legyen (Varga, 2003).

1.4. Shredderezés technológiájának bemutatása

Általánosságban a shreddertechnológia értékeléséhez hozzátartozik, hogy ezeket a gépeket immáron több mint 60 éve járművekben lévő fémtartalom visszanyerésére találták ki. A fémtartalmon kívül egyéb anyag, elsődlegesen a könnyű frakcióban lévő szerves anyagok vegyes műanyag és gumitermékek szelektív elválasztását és hasznosítását szükséges biztosítani (Liyanage et. al., 2020).

A magyar helyzetet tekintve, és értékelve biztatónak tűnik, hogy a Magyarországon működtetett shredderüzemek tulajdonosainál, így a magyar tulajdonú Alcufer csoport fehérvárcsurgói shredderében, vagy az osztrák érdekeltségű MÜ-GU Kft. amstetteni anyavállalatánál is évek óta tudatos fejlesztések folynak a jövőbeli elvárások teljesítése érdekében (Hornyák, 2011).



8. ábra: Magyarországon található Shredderek elhelyezkedése

(Forrás: saját szerkesztés)

Magyarországon a shredderek elhelyezkedése a következőképpen alakul:

Négy folyamatosan működő shredderüzem található Magyarországon, az ERECO francia-angol érdekeltségű shredder üzem, a Müller-Guttenbrunn osztrák érdekeltség alatt működő, valamint az ALCUFER 100% magyar tulajdonban lévő Fehérvárcsurgói telephelyen végzi roncsautó feldolgozó tevékenységét.

Negyedik üzemként pedig említeném a hajdúhadházi Ud Stahl Recycling Kft. miskolci telephelyén lévő Lindemann Shredder II./PS 2000 típusú berendezéssel működő céget, amely a német Max Aicher vállalatcsoport tagja. A gépezetet a 7. ábrán tekinthető meg.

9. ábra: UD Stahl Recycling Kft Lindemann Shredder II./PS 2000 típusú berendezés
(Forrás: Saját fotó)



1.4.1. UD Stahl Recycling Kft. bemutatása

Hazai példaként szeretném ismertetni az az Ud Stahl Recycling Kft-t, mely a német Max Aicher csoport tagja. A tevékenységi köreik közé tartozik a hulladék-nagykereskedelem, melybe beletartozik a termelő, feldolgozó és kereskedelmi cégeknél, illetve a lakosságnál keletkező acél- és ötvözt acél hulladék begyűjtése, feldolgozása és kereskedelme.

Mind a miskolci, mind pedig a hajdúhadházi telephely rendelkezik egyaránt iparvágánnyal, valamint mindkét helyszín rendelkezik hidraulikus daraboló ollókkal is. Ezek mellett található itt egy 500 tonnás nyomóerejű mobil olló is, ami alkalmas a fémhulladék keletkezés helyén történő feldolgozásra ([http 10](http://10)).

A hulladékok, melyek még feldolgozásra várnak, környezetbarát módon és a biztonsági előírásoknak megfelelően, hulladék konténerekben érkeznek meg a telephelyekre, ahol ezt követően megtörténik az előkészítés a kohászat által támasztott igényeknek megfelelően (gépi- és kézi darabolás, bálázás, válogatás, darálás) ([http 10](http://10)).

Évente közel 120 000 tonna acélhulladék kerül előkészítésre a kohászatra, melyet nagy teljesítményű hidraulikus feldolgozógépek segítségével visznek véghez. Ezen felül még 30 000 tonna hulladék kereskedelmi célú felhasználásával is kiegészül a cég profilja. A céghez kerülő hulladékok begyűjtése 6 megyéből történik, mintegy 100 partnert érintve ([http 10](http://10)).

Számos acélműbe kerül elszállításra az acélhulladék, azonban a cég egyik legfontosabb partnere az Ózdi Acélművek ([http 10](http://10)).

Az általam vizsgált cég egyaránt rendelkezik ISO 9001 és ISO 14001 minőség- és környezetirányítási tanúsítvánnyal, valamint az így működtetett rendszerhez szükséges valamennyi engedéllyel, de tagként veszik ki a részüket a Hulladékhasznosítók Országos Szövetség munkálataiból is (HOSZ).

Azonban az általam érintett legfontosabb profilja a cégnek a hulladékká vált gépjárművek bontása. A hulladékká vált gépkocsik veszélyeztetik a környezetet, az UD Stahl Kft. egy speciális eljárás segítségével a gépjárművek veszélyes anyagoktól való mentesítése környezetbarát körülmények között történik és az így kapott hulladékokat megsemmisítik, és újrahasznosítják. A hajdúhadházi telephelyen átvett, fődarabokkal rendelkező - forgalomból kivonásra szánt - gépkocsikat napi áron veszik át. Az átvett gépkocsikra a Bontási átvételi igazolás kiadása díjmentes ([http 10](http://10)).

1.4.2. ÓAM Kft. bemutatása

Az **ÓAM Ózdi Acélművek Kft.** Magyarország egyik vezető üze­me, amely modern technológiával felszerelve foglalkozik melegen hengerelt betonacél, köracél, hengerhuzal és hegesztett betonacél-síkháló gyártásával és forgalmazásával. Az acélművet egy zöldmezős beruházás keretében hozták létre, és 2000 augusztusában kezdte meg működését ([http 4](#)).

A német **Max Aicher GmbH & Co.** szerezte meg az ÓAM Kft. vagyonát egy privatizáció során. A Max Aicher vállalatcsoport sokéves sikereket ért el különféle területeken, például az építőiparban, ingatlanforgalmazásban, acéliparban és környezetvédelemben, elismerést szerezve Európán kívül is. Az ÓAM Kft., mint az Aicher csoport része, jól illeszkedik a vállalatcsoport sokoldalú tevékenységébe. Legfőbb termékei közé tartoznak a kiváló minőségű rúdacélok, amelyeket az autóipar és a gépgyártás hasznosít, valamint a menetesen toldható betonacélok, amelyek elsősorban toronyházak, alagutak és bányászati munkálatok során kerülnek felhasználásra ([http 3](#)).

Az alapanyag-ellátást az acélmű egy modern csapolórendszerű elektromos kemencéje biztosítja, amelynek kapacitása 60 tonna folyékony acél adagonként. Emellett az üzemhez tartozik egy üstkemence és egy négyszálas folyamatos öntőmű, valamint a szükséges korszerű környezetvédelmi berendezések. Az acélmű elsődleges nyersanyaga acélhulladék, amelyet különféle adalékanyagok egészítenek ki ([http 3](#)).

Az acélgyár az MSZ és a DIN szabványoknak megfelelő rúd- és drótkészítményeit meleghengereléses technológiával állítja elő. A hengermű egy folyamatos elrendezésű hengerversorral rendelkezik, amelynek névleges kapacitása 360 000 tonna és alkalmas 8-40 mm-es átmérőjű betonacél és köracél, valamint 7-14 mm-es átmérőjű hengerhuzal előállítására ([http 4](#)).

Az ÓAM Kft. termékei, illetve minőségbiztosítási rendszere megfelelnek az ISO 9001-es szabvány követelményeinek. Fontos törekvésük a környezetvédelmi előírások maradéktalan betartása és a környezet megóvása ([http 4](#)).

A bemutatott cég esetében nem meglepő, hogy a fő technológiai vonal az acélgyártásra fókuszál, mely ívfényes kemence igénybevétele mellett történik. Az acélgyártás alapvetően három különböző részre bontható: a beolvasztásra, a kikészítésre és a csapolásra ([http 4](#)).

A közúton érkező hulladékok átvételére két darab, betonozott hulladékfogadó területet tartanak fenn, melyek egyikénél leöntésre kerül a beszállított hulladék a szállítást végző járműről, ahol a szállítmány minőségének ellenőrzése is zajlik. Ezt követően pedig a nem mágnesezhető elemeket eltávolítják – függően annak minőségétől -, és a megfelelő fedett hulladéktároló csarnok boxába kerül ([http 4](#)).

Ezzel szemben azon hulladékok, melyek a vasúton keresztül kerülnek szállításra, elektromágnes segítségével emelik ki a vagonokból, és közvetlenül a minőségüknek megfelelő tárolóboxba helyezik. Ezt követi az úgynevezett betétösszeállítás (http 4).

Hulladékok előkezelésének menete az ÓAM-nél

A hulladékvas feldolgozáshoz többféle technológiát alkalmaznak. Kezdetben a lángvágás, ollózás és bálázás kerül alkalmazásra. A későbbiekben Lindemann Shredder II./PS 2000 típusú berendezéssel végzik. A berendezés az acélgyártás számára adagolható méretre dolgozza fel a veszélyes hulladékot nem tartalmazó hulladék vasat, max. 4 mm vastagságú háztartási lemez hulladékot (pl. háztartási gép, tűzhely, hűtőszekrény stb.), valamint nem háztartási ipari lemez hulladékot, fémhordót, fémgöngyölegeket, forgalomból kivont, veszélyes anyagot nem tartalmazó autókarosszériát. A berendezés a következő fémeket képes befogadni:

- Teljes szárazra fektetett gépjárművek (motorral vagy motor nélkül, préselt vagy préseletlen karosszéria fogadására is képes).
- Bontott gépjárműelemek: motor, hajtómű, tengelyek, felfüggesztés, könnyű vegyes fémhulladék.
- Fehéráru/háztartási gépek: mosógépek, sütő, előkészített hűtőberendezés stb.
- Válogatott vashulladék: laza, aprított vagy táblás alakban. Max lemezzvastagság: 4 mm (Nagy, n.a.)

A nem aprítható fémek a következőképpen csoportosíthatóak:

- 1. csoport: a berendezésbe semmilyen esetben sem adagolható, mivel a szerkezeti elemek károsodását okozza. Elsősorban olyan alakú és méretű fémek, melyek a kalapácsos törő rotorját blokkolják.
- 2. csoport: olyan darabok, melyek nem okozzák a berendezés közvetlen károsodását, azonban jelentősen nő a kopási intenzitás (Nagy, n.a.). Ezeket a darabokat szintén külön kell válogatni. Kiválogatott darabok lehetnek:
 - Kábel: 25 mm átmérő és 6 m hossz felett
 - Körprofilú vashulladék: 35 mm átmérő és 1 m hossz felett
 - Lemez: 20 mm lemezzvastagság és 300 x 300 mm méret felett
 - Lemez: 35 mm lemezzvastagság és 150 x 150 mm méret felett
 - Cső, idomacél, szelvényvas: 160 mm magasság/átmérő, vagy 10 mm

falvastagság, vagy 6 m hossz felett

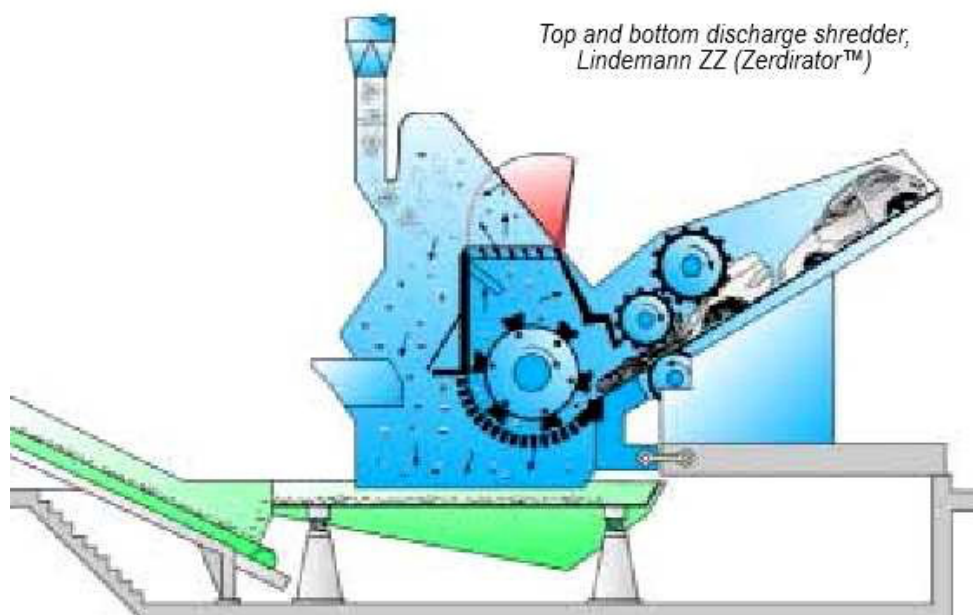
- Nem vasanyagú fémes részek (színesfémek stb.), nagyméretű fémtömbök (Lukács, 2010)

A hulladékok adagolásának menete

Az előválogatott hulladékot homlokrakodógéppel, vagy markolóval rakják a tárolóhelyről a berendezés lejtős feladó szalagjára. A feladószalagról a hulladék gravitációs úton jut el a behúzó hengerpárhoz, amely a feldolgozandó anyagot laposra nyomja és a kalapácsos törőbe adagolja. Az adagolás ellenőrzött felügyelettel történik. A teljes feldolgozási művelet irányítását és felügyeletét vezérlőkabinból látják el. Az adagolás menete megtekinthető a következő ábrán (Rácz, Nagy-Csőke, n.a.).

10. ábra: Hulladékvas adagolásának menete a forgókalapácsos aprítóműbe (shredder)

(Forrás: Rácz, Nagy-Csőke előadás)



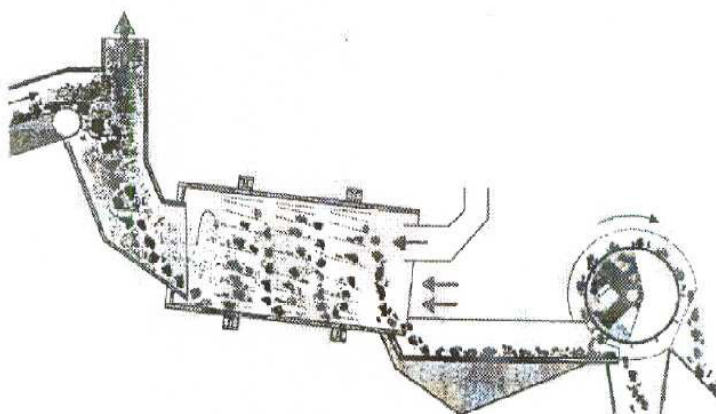
A kalapácsos törőben (shredderben) a forgókalapácsok a hulladékot 10-80 mm-es darabokra törik. A megfelelő aprítási méretet elérő darabok egy rácson átesve az osztályozóba kerülnek. A nagyobb darabok a kalapácsos törőben a 80 mm-es méret eléréséig további aprításra kerülnek. A fel nem darabolható hulladékokat (adagolási veszteség) a berendezés leállítása nélkül egy hidraulikával mozgatott kidobóval, szállítószalagon keresztül távolítják el. A hidraulikus kalapácsból kikerülő aprított fémhulladékot rezgő szállító (1300 x 1300 mm) hordja ki. A vibrációs szalagról szállítószalag (17,5 m/1m) keresztül jut az aprított fémhulladék az osztályozó/válogató/rostszita berendezésbe. A kalapácsos törőben nagy intenzitású porelszívás működik. Zárt rendszeren vezetik a poros levegőt a ciklon porleválasztó berendezésbe (Rácz, Nagy-Csőke, n.a.).

Osztályozás, szétválogatás menete

Az osztályozóba kerülő vegyes aprított fémhulladékból első lépésben erős légáram segítségével leválasztásra kerül a nemfémes hulladék és por. A portalanított fémaprítékot rezgőszítára vezetik és mágneses dob segítségével az átmágnesezhető fém szeparálása történik. A következő ábrán az osztályozást végző mágneses dobszeparátor felépítése látható (Rác, Nagy-Csőke, n.a.).

11. ábra: Osztályozó és mágneses dobszeparátor felépítése

(Forrás: Rác, Nagy-Csőke)



A vasanyagú fémek, átmágnesezhető fémek, valamint a nem átmágnesezhető fémek és egyéb fémes hulladékok útja az osztályozóban kettéválik.

A vasanyagú fémeket több lépcsőben mágneses szalag választja le. A mágnesszalagok technológiai termék, ún. shreddervas alapanyagot választanak le. Egyéb hulladékot tartalmazó, kevert fémvas apríték a mágneses leválasztást követően külön frakcióként kerül tárolásra (Bandivadekar, 2001).

A mágnesdobból kikerülő nem átmágnesezhető fém és egyéb hulladékot tartalmazó frakció fémszortírozó szalagon manuális, kézi válogatásra kerül. Manuálisan szortírozzák az ipari hulladéknak minősülő (gumi, műanyag, fém) aprítékot. A kézi válogatáson áthaladt nem mágnesezhető fémhulladék vagy dobszítára kerül, vagy a shreddervas minőségi megfelelése esetén közvetlenül terméktároló helyre vezetik. A dobszítában három shreddervas alapanyag méretfrakciót különítenek el (Lukács, 2010).

A dobszítában szétválogatott méretfrakciók a következők lehetnek:

- 0-15 mm
- 15-70 mm
- > 70 mm

A shredderezés során számos melléktermék keletkezik, melyet „könnyű frakciónak” neveznek. Ezen anyagok a következők lehetnek

- Klórmentes műanyagok Főképpen PP, PS, ABS, PE, PA 13 PVC (fóliák, műbőrök, kábelborítások stb.)
- PUR (habanyagok)
- Más termo- és duroplasztok
- Elasztomerek (gumiabroncsok, tömítések, belső sárvédő gumik stb.)
- Fa/cellulózanyagok (fa, papír, kartonpapír stb.)
- Egyéb szálas- és töltőanyagok (textilszál, üvegszál, bőr)
- Festékek, lakkok
- Üveg és kerámia
- Vas
- Réz
- Alumínium
- Egyéb alkatrészdarabok és idegen anyagok (homok, por, ólom, cink stb.) (Rácz, Nagy-Csőke, n.a.)

1.5. Gépjárművek felépítés

A napjainkban használatban forgó gépjárművek, szerkezetüket tekintve, körülbelül 600-féle anyagra bonthatóak le, melyek közül – nem meglepően – az acél a meghatározó anyag, mivel az összes közül ez az egyik, ami eredményesen felhasználható újra. Ha százalékosan akarjuk megfogalmazni, akkor kijelenthető, hogy az elavult gépjárműroncsokban található acélanyagok közel 99%-osan újrahasznosíthatóak ([http 5](#)).

1.5.1. Gépjárművek karosszériájának felépítése

Az elmúlt tíz évben az acélgyártók különféle nagy szilárdságú acélfajtákat fejlesztettek ki, kifejezetten karosszériagyártás céljára és jelenleg erre a célra több mint húszfajta acélt használnak. Az ötvözött acélok felhasználásával viszont jelentősen megnőtt az acélok alkalmazása az ún. könnyűszerkezetes vagy héj szerkezetű gépkocsikarosszéria-gyártásban.

Azonban az acélszerkezetek mellett felhasználhatóak még az alumíniumok is, melyek tovább csökkenthetik a gépjármű tömegét. A térszerkezetes gyártási módnál az alumíniumnak az acélhoz képest korlátozott alakíthatósága kevésbé hátrányos. Nagyon jó példa az alumíniumkarosszéria felhasználásra az Audi A8-as típusú gépjármű, ahol 40%-os tömegcsökkenés volt tapasztalható az acélszerkezet felváltásával ([http 5](#)).

1.6. Körforgásos gazdaság

2014 nyarán az Európai Bizottság közzétett egy közleményt, mely az „Úton a körkörös gazdaság felé: zéró hulladék program Európa számára” címmel. Ebben bemutatták azokat a célkitűzéseket, amelyek a legfontosabb uniós hulladékgazdálkodási jogszabályok módosítását célozták meg. Azonban az új összetételű Európai Bizottság, amely a 2014-es európai parlamenti választások után állt fel, még ugyanabban az évben visszavonta a javaslatot, hogy 2015-ben egy átfogóbb, a termékek teljes életciklusát figyelembe vevő javaslattal álljon elő. Az első javaslatcsomag bemutatása óta a HOSZ folyamatosan figyelemmel kíséri a körforgásos gazdasághoz kapcsolódó uniós jogszabályok kidolgozását, és aktívan részt vesz az előkészítési folyamatokban is. Ez utóbbit a hulladékhasznosító ipar európai szervezeteinek tagjaként, valamint a hazai minisztériumokkal fennálló szakmai együttműködés keretében végzi (Európai Parlament, 2021).

2015 végén az Európai Bizottság teljesítette ígéretét, és kiadta a körforgásos gazdaságra vonatkozó új javaslatcsomagot. Ez a csomag két fő elemből állt: egy közleményből, amely az „Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv” címet viselte, valamint a vonatkozó jogszabályok módosítására tett javaslatokból (Európai Parlament, 2021).

A körforgásos gazdaság első lépéseként 2015 decemberében az Európai Bizottság egy cselekvési tervet nyújtott be, mely 2018-ban csomag formájában valósult meg. Ennek nyomán a körforgásos gazdaság nem csak a cselekvési tervet tartalmazta, hanem négy jogalkotási javaslatot is magában foglalt, melyek a következők:

2. a hulladékokról szóló keretirányelv,
3. a hulladéklerakókról szóló keretirányelv,
4. a csomagolásról és a csomagolási hulladékról szóló irányelv, és
5. azon irányelvek, melyek összefüggésben állnak az elhasználódott járművekkel, elemekkel, akkumulátorokkal, valamint a már hulladékként kezelt elemekkel- és akkumulátorokkal, és az elektromos és elektronikus berendezések hulladékaival (Európai Parlament, 2021)

A következő ábrán látható a körkörös gazdaság felépítésének alapja.

12. ábra: A körkörös gazdaság felépítése

(Forrás: European Comission, 2016)



A körforgásos gazdaság lépései a termelés során előállításra került produktumok, amiket a fogyasztók ezt követően felhasználnak, majd pedig ezt követően feladat elé állítják a hulladékgazdálkodással foglalkozó személyeket, akiknek a legfontosabb feladata, hogy olyan terveket fejlesszenek ki, melyek minél inkább hasznosítani képesek a hulladéktól az újrahasznosításig elvet (European Commission, 2016).

Az általam elemzett gazdaság számos előnyt tudhat magáénak, melyek közül kiemelném az Európai Unió vállalkozásai által megtakarított 600 milliárd eurót, ami – a számokat tekintve – az összes unióban található vállalkozások éves forgalmának kb. 8%-át teszi ki. Ezek mellett számos munkahelyet (580 000) hoztak létre ennek köszönhetően, és az Európai Unió CO₂-kibocsátásában is csökkenést akarnak elérni 2030-ra, melynek mértéke elérheti a 450 millió tonnát (European Commission, 2016).

2. EGYÉNI KUTATÁS – AKKUMULÁTOROKBAN FELLEMLHETŐ ÉRTÉKEK VIZSGÁLATA

2.1. Elektromos autókban található akkumulátorok típusai

2.1.1. Nikkel-fémhibrid akkumulátor

Az elektromos autók akkumulátorai között a nikkel-fémhibrid típus közvetlen elődjének tekinthető a nikkel-kadmium. A nikkel-fémhibrid akkumulátor előnye, hogy akár 40%-kal nagyobb kapacitást képes biztosítani, miközben kevésbé károsítja a környezetet. Emellett könnyebb az újrahasznosítása is a korábbi típusokhoz képest. Ugyanakkor hátrányai közé tartozik a viszonylag rövid élettartam, és érzékenyen reagál a töltési módokra. Szélesebb körben nem terjedt el, főként hosszú töltési ideje miatt, és mivel a részleges töltések során gyakran rátöltenek, emiatt pedig gyorsan károsodhat az akkumulátor (Pistoia, 2014).

2.1.2. Lítium-ion

A lítium népszerűvé válásában nagy szerepet játszik az a tény, hogy ez a legkönnyebb fém, ugyanakkor kiváló elektrokémiai vezető. Az elektromos autók akkumulátorainak ára a gyártási technológiák fejlődésének köszönhetően folyamatosan csökken, miközben az energiatároló kapacitásuk egyre növekszik. Az ilyen mértékű elterjedésüket az is elősegíti, hogy számos előnyös tulajdonsággal bírnak, mint például a hosszú élettartam, sokféle felhasználási lehetőség, magas teljesítmény és kiemelkedő energiasűrűség. Az alacsony önkisülésének köszönhetően ezek az akkumulátorok használaton kívül is jól megőrzik a töltöttségüket, ami pozitívan hat az élettartamukra (Romare és Dahllöf, 2017).

Bár számos előnnyel rendelkezik a lítium-ion akkumulátor, akadnak hátrányai is. Mivel a lítium viszonylag ritka fémnek nevezhető, az ilyen típusú elektromos autók akkumulátorok gyártási költségei magasabbak. Ezenkívül, ha nem megfelelően használják vagy tárolják őket, a bennük lezajló kémiai reakciók sebessége miatt akár fel is robbanhatnak. A jelenleg elérhető elektromos autók jelentős részében ilyen típusú akkumulátor található, melyre remek példa a Nissan Leaf, vagy a Toyota Prius újabb generációs modelljei ([http 8](http://8)).

Lítium-kobalt-dioxid (LiCoO₂)

Ez az összetétel különösen elterjedt a mobiltelefonokban, laptopokban és alacsony fogyasztású eszközökben, mivel a lítiumcellák között az egyik legnagyobb energiasűrűséggel rendelkezik, bár nem képes nagy áramerősséget leadni, így a teljesítménye korlátozott. Az akkumulátor katódja kobalt-oxidból, míg az anódja grafitból áll. A réteges elrendezés hozzájárult a nagyobb kapacitás eléréséhez. A kobalt-oxid cellák hátrányai közé tartozik a

korlátozott teljesítmény mellett a viszonylag rövid élettartam is, így olyan eszközökben ideális az alkalmazásuk, ahol az akkumulátorhoz hasonlóan az eszköz élettartama is rövid.

A következő táblázatban foglaltam össze az akkumulátor legfontosabb jellemzőit.

1. táblázat: Lítium-kobalt-dioxid akkumulátorok legfontosabb paraméterei

LiCoO₂	
Névleges cellafeszültség	3,6 V (3 – 4,2)
Kapacitás	Akár 240 Wh/kg
Töltés	0,7 – 1 C (tipikus töltési idő 3 óra)
Kisütés	1 C
Élettartam	500 – 1000 töltési ciklus
Alkalmazási terület	Mobiltelefonok, laptopok

Forrás: <https://villanyautosok.hu/2018/05/30/akkumulator-technologia-litium-alapu-akkumulatorok/>

Lítium-mangán-oxid (LiMn₂O₄)

Ebben az esetben a névadó vegyület a katód anyagára utal. A belső térhálós (spinel) szerkezet miatt ez az akkumulátor alacsony belső ellenállással rendelkezik, ami lehetővé teszi a nagy áramerősség leadását. Például egy átlagos 18650-es méretű cella tartósan képes 10 ampernél nagyobb, és impulzusszerűen akár 50 ampernél is magasabb áramot leadni. Azonban a nagy teljesítmény kibocsátása során hő keletkezik, és ha az akkumulátor nem tudja gyorsan elvezetni ezt a hőt, akkor a cella károsodhat. A térhálós szerkezetnek köszönhetően emellett nagyobb mechanikai stabilitást is nyújt, ugyanakkor a nagy teljesítmény ára a kisebb kapacitás: ez a típus körülbelül harmadannyi elektront képes tárolni, mint a kobalt-alapú változata (Pistoia, 2014).

A következő táblázatban foglaltam össze az akkumulátor legfontosabb jellemzőit.

2. táblázat: *Lítium-mangán-oxid akkumulátorok legfontosabb paraméterei*

LiMn₂O₄	
Névleges cellafeszültség	3,7 V (3 – 4,2)
Kapacitás	150 Wh/kg
Töltés	0,7 – 1 C, gyors töltéssel akár 3C
Kisütés	10 C
Élettartam	300 – 700 töltési ciklus
Alkalmazási terület	Kézi szerszámgépek, nagy teljesítményű orvosi eszközök.

Forrás: <https://villanyautosok.hu/2018/05/30/akkumulator-technologia-litium-alapu-akkumulatorok/>

Lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid (LiNiMnCoO₂ vagy NMC)

Ez a cella vegyülete rögtön felfedi, hogy az előző két változat kombinációja. Ez az ötvözet az akkumulátor tulajdonságaiban is megmutatkozik, mivel a mérnököknek sikerült egyesíteniük benne a teljesítmény és a kapacitás iránti igényeket. Az anód ennél a cellánál szilíciumot is tartalmaz, ami növeli a kapacitást, de csökkenti a teljesítményt a hozzáadott szilícium mennyiségétől függően. Az akkumulátor jellemzőit a nikkel és a kobalt arányának változtatásával is lehet befolyásolni. A korábbi két változathoz képest legnagyobb előnye a hosszabb élettartam (http 8).

A következő táblázatban foglaltam össze az akkumulátor legfontosabb paramétereit.

3. táblázat: *Lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid akkumulátorok legfontosabb paraméterei*

LiNiMnCoO₂	
Névleges cellafeszültség	3,7 V (3 – 4,2)
Kapacitás	akár 220 Wh/kg

Töltés	0,7 – 1 C (tipikus töltési idő 3 óra)
Kisütés	2 C
Élettartam	1000 – 2000 töltési ciklus
Alkalmazási terület	Nagy teljesítményű számítógépek, kerékpárok, szerszámgépek

Forrás: <https://villanyautosok.hu/2018/05/30/akkumulator-technologia-litium-alapu-akkumulatorok/>

Lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid (LiNiCoAlO₂ vagy NCA)

Ez az összetétel kifejezetten a nagy kapacitást igénylő alkalmazásokhoz lett kifejlesztve.

Minden egyéb jellemzője gyengébb, mint a korábban említett lítium akkumulátoroké.

A következő táblázatban foglaltam össze az akkumulátor legfontosabb paramétereit (http 8).

4. táblázat: Lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid akkumulátor legfontosabb paramétere

LiNiCoAlO₂	
Névleges cellafeszültség	3,6 V (3 – 4,2)
Kapacitás	Akár 300 Wh/kg
Töltés	0,7 C
Kisütés	1 C
Élettartam	500 töltési ciklus
Alkalmazási terület	Kis teljesítményű orvosi eszközök, világítástechnika

Forrás: <https://villanyautosok.hu/2018/05/30/akkumulator-technologia-litium-alapu-akkumulatorok/>

Lítium-titán ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Ebben az összetételben az anód anyaga a grafit helyett titán, míg a katód mangán-oxid, szintén térhálós szerkezetben. Ezzel a cellatípus a korábbiakhoz képest alacsonyabb cellafeszültséggel és kisebb tárolókapacitással rendelkezik. Ennek ellenére képes nagyon nagy teljesítményt leadni, hosszabb élettartamot biztosít, és az előállítási költsége is alacsonyabb (http 8).

A következő táblázatban foglaltam össze az akkumulátor legfontosabb paramétereit.

5. táblázat: A lítium-titán akkumulátor legfontosabb paramétereit

$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	
Névleges cellafeszültség	2,4 V (1,8 – 2,85)
Kapacitás	80 Wh/kg
Töltés	1 C, gyors töltéssel akár 5C
Kisütés	10 C folyamatos és 30 C impulzusüzemben
Élettartam	3000 – 7000 töltési ciklus
Alkalmazási terület	Szünetmentes tápegységek, elektromos autók (pl.: Mitsubishi i-MiEV)

Forrás: <https://villanyautosok.hu/2018/05/30/akkumulator-technologia-litium-alapu-akkumulatorok/>

Lítium-vas-foszfát (LiFePO_4)

A lítium-vas-foszfát akkumulátor egy speciális lítium-ion akkumulátor típus, amelynek katódanyaga lítium-vas-foszfát. Ezen összetétel jobban ellenáll a cellák maximális feszültségre történő töltésének, bár ez az átlagos lítium-ion akkumulátorokénál alacsonyabb feszültséget eredményez, így névleges feszültsége is kisebb. Az alacsonyabb feszültségszint miatt, amikor négy cellát sorba kapcsolnak, az eredmény pontosan 12,8 V, ami ideálissá teszi a savas ólomakkumulátorok kiváltására (http 9).

A következő táblázatban láthatóak a szóban forgó akkumulátor legfontosabb paraméterei.

6. táblázat: A lítium-vas-foszfát akkumulátor legfontosabb paraméterei

Névleges cellafeszültség	3,2 V (2,5 – 3,65)
Kapacitás	120 Wh/kg
Töltés	1 C (tipikus töltési idő 3 óra)
Kisütés	1 C folyamatos és 25 C impulzusüzemben
Élettartam	1000 – 2000 töltési ciklus
Alkalmazási terület	Mobiltelefonok, laptopok

Forrás: <https://hu.torphanbattery.com/info/what-is-a-lithium-iron-phosphate-battery-61473756.html>

2.2. Módszerek

2.2.1. Kutatás felépítése

Szakdolgozatom egyéni kutatásául öt elektromos autó akkumulátorában található hasznos anyagok vizsgálatát választottam. Az elektromos autók kiválasztásánál elsődleges szempont volt az aktuális divat, valamint az árkategóriák közötti átjárás is. Ennek értelmében a következő öt autót választottam ki:

- Tesla S
- BMW I3
- Nissan Leaf
- Mazda MX-30
- Peugeot 3008

Miután kiválasztottam az autókat, az interneten fellelhető források alapján összegyűjtöttem a szóban forgó autók akkumulátorainak információit - az adott típus elektromos kivitelű modelljeire vonatkozóan - és ezek alapján készítettem el a táblázatokat.

Az eredmények kiszámításához az összegyűjtött információk alapján először is feltüntettem az akkumulátorokban található fémeket, majd pedig előfordulásukat a vizsgált akkumulátorban koncentráció formájában. Az akkumulátorokban található fémek koncentrációjának

megállapításához Gaines és munkatársai (2018) tanulmányát használtam fel. A fémek tőzsdei árának megállapításához a Londoni Fém-tőzsde online elérhető <https://www.lme.com/Metals> oldalt alkalmaztam.

A vizsgált elem tömegének kiszámításához szükségem volt az akkumulátor teljes tömegére, valamint az adott akkumulátor esetében alkalmazott koncentráció százalékra. Mivel a források külön kezelték az aktív katód részt (lásd: mre 2018.13.Table 2.), így az ebben lévő fémeket az ott feltüntetett 33%-al el kellett osztanom. Az aktív katód részen kívül feltüntetett réz és alumínium mennyiséget a megadott érték 100 %-ában vettem figyelembe, a forrás értelmében. Az így elvégzett százalékos számítás eredményeit szoroztam a cellák össztömegével majd ezt az összeget osztottam 100-zal, mely a százalékos eredmény korrigálást volt hivatott megoldani. Az így kapott értékeket az „elem tömeg az akkumulátorban” oszlopnál tüntettem fel.

Az elem értékének kiszámításához az előzőekben kapott elem tömeget szoroztam az említett oldalon található tőzsdei árral, majd elosztottam ezerrel, mivel az elemek tőzsdei ára tonnában volt feltüntetve, azonban én kg-ban végeztem a számításaimat.

Ezen számítások nyomán megkaptam azt, hogy adott akkumulátorban milyen értékek és milyen értékben találhatóak. Ezt követően becsléseket készítettem a jövőbeli lehetőségeket illetően. Először kiválasztottam, hogy véleményem szerint mely akkumulátor típus lesz az, ami a jövőben a leginkább elterjedté válik, majd pedig az adott kocsi típus eladásait vettem számításba. A gyártók alapvetően 8 év garanciát vállalnak az akkumulátorokra, én a kerekítés érdekében 10 évre módosítottam ezt a számot. Arra voltam kíváncsi, hogy a jelenlegi eladásokat tekintve, milyen mennyiségű értékes fémre tehetünk szert 10 év múlva, amikor az elektromos autók akkumulátorai lebontásra kerülnek.

2.2. Eredmények

A lítium-ion akkumulátorok felépítéséről elmondható, hogy az elektromos autók működésében kulcsfontosságú szerepet játszanak, hiszen ezek tárolják és alakítják át a kémiai energiát elektromos energiává, meghajtva az autó motorját és különböző rendszereit. Ezek az akkumulátorok több cellából állnak, amelyek együtt alkotják az akkumulátor pakkot, a cellák katódból, anódból, elektrolitból és szeparátorból épülnek fel. A töltési és kisülési ciklusok során a lítium-ionok és elektronok vándorlása biztosítja az energiaáramlást az akkumulátorban. Az akkumulátorok súlya átlagosan 300 kg, de egy nagyobb kapacitású akkumulátor súlya akár 600 kg is lehet. Az akkumulátor az elektromos autók árából is nagy hányadot, legtöbbször 30-40%-ot tesz ki. A lítium-ion akkumulátorok a legfelkapottabbak a kiváló teljesítményük és újrahasznosíthatóságuk miatt.

Az akkumulátorok általában 2 000-3 000 töltési ciklust bírnak ki, ami megfelelő karbantartás és optimális használat mellett 10-15 év-re lehet elegendő, hiszen az akkumulátor kapacitása átlagosan 2-3%-kal csökken évente. Az akkumulátor élettartamát megközelítő időtartamú garanciát adnak a gyártók is, ami 8-10 év szokott lenni.

Egy akkumulátor csere igen költséges lehet, középkategóriás autóknál 2-3 millió, luxusautóknál 8 millió Ft is lehet.

A következőkben a vizsgálataim eredményeit fogom bemutatni. A vizsgálathoz használt koncentráció %-os értékeit a (mre 2018.13.Table 2.) publikációból dolgoztam fel.

2.2.1. Tesla S akkumulátor vizsgálata

A Tesla S által megtehető legnagyobb távolság 424 km, míg az akkumulátor teljes tömege 540 kg. Ebből a cellák össztömege 378 kg-ot tesz ki. Becslésem az alapján történt, hogy az akkumulátor teljes tömegének a körülbelül 70 % a cellák tömege irodalmi adatok alapján. Vizsgálataim során a cellákra fókuszálok. A Tesla S-ben megtalálható akkumulátor típusa: lítium-vas-foszfát (LFP).

A számítások elvégzésekor (2024.07.04) a használatban levő árfolyam:

1 USD = 364,4 Ft

7. táblázat: A Tesla S elektromos autó akkumulátor vizsgálatának eredménye

Fém elem	Koncentráció [%]	fémek tömeg akkumulátorban [kg]	fémek tőzsdei ára [USD/t]	fémek értéke az adott akkuban [USD]
<i>Li</i>	1,452	5,49	15000	82
<i>Co</i>	0	0,00	28550	0
<i>Ni</i>	0	0,00	17492	0
<i>Mn</i>	0	0,00	0	0
<i>Fe</i>	11,682	44,16	655	29
<i>Cu(Copper)</i>	14,5	54,81	9868	541
<i>Al</i>	7,5	28,35	2548	72
<i>Összes fém tartalom</i>	35,134	132,81		724

Forrás: saját szerkesztés

A Tesla S autó esetében látható, hogy az akkumulátor cellák összes fémtartalma 132,8-kg-ot tesz ki, míg az akkumulátor teljes tömege 540 kg. Ennek nyomán megállapítható, hogy ez az akkumulátor cellák teljes tömegének 35,1%-a. Legnagyobb mértékben a réz található meg benne (54,8 kg), míg ezt követi a vas (44 kg). Alumínium 28,35 kg található benne. Nem

található az akkumulátorban se kobalt, se mangán, se pedig nikkel. Az adatok alapján az összes fém értéke a vizsgált akkumulátorban 724 USD-t tesz ki.

2.2.2. BMW I3 akkumulátor vizsgálata

A BMW I3 által megtehető legnagyobb távolság 130-160 km, míg az akkumulátor teljes tömege 204 kg. Ebből a cellák össztömege 142,8 kg-ot tesz ki. A BMW I3-ban megtalálható akkumulátor típusa: lítium-vas-foszfát (LFP).

A számítások elvégzésekor (2024.06.21.) a használatban levő árfolyam:

1 USD = 392,9 Ft

8. táblázat: A BMW I3 elektromos autó akkumulátor vizsgálatának eredménye

Fém elem	Koncentráció [%]	fémek tömeg eakkumulátorban [kg]	fémek tőzsdei ára [USD/kg]	fémek értéke az adott akkuban [USD]
<i>Li</i>	1,452	2,07	15000	31
<i>Co</i>	0	0,00	24900	0
<i>Ni</i>	0	0,00	16666	0
<i>Mn</i>	0	0,00	0	0
<i>Fe</i>	11,682	16,68	650,42	11
<i>Cu(Copper)</i>	14,5	20,71	9204	191
<i>Al</i>	7,5	10,71	2502	27
<i>Összes fém tartalom</i>	35,134	50,17		259

Forrás: Saját szerkesztés

Az összes fémtartalom a BMW I3 akkumulátorban 50,1 kg-ot tesz ki, míg a cellák teljes tömege 142,8 kg. Ennek nyomán kijelenthető, hogy 35,1%-a hasznosítható fém az akkumulátoron belül. Az akkumulátorban található elemek értéke 259 USD-nek megfelelő összeget jelent. Hasonlóan a Tesla S-ben megtalálható akkumulátorhoz, itt sem található se kobalt, se nikkel, se pedig mangán az akkumulátoron belül, és a legnagyobb értéket ismételten a réz (20,7 kg) képviseli, melyet a lítium és az alumínium (10,71 kg) követ.

2.2.3. Nissan Leaf akkumulátor vizsgálata

A Nissan Leaf által megtehető legnagyobb távolság 250 km, míg az akkumulátor teljes tömege 272 kg. Ebből a cellák össztömege 190,4 kg-ot tesz ki. A Nissan Leafben megtalálható akkumulátor típusa: lítium-ion (NMC).

9. táblázat: A Nissan Leaf akkumulátor vizsgálatának eredménye

Elem	Koncentráció [%]	elem tömeg eakkumulátorban [kg]	elem tőzsdei ára [USD/kg]	elem értéke az adott akkuban [USD]
<i>Li</i>	2,5707	4,89	15000	73
<i>Co</i>	1,9866	3,78	24900	94
<i>Ni</i>	15,8169	30,12	16666	502
<i>Mn</i>	1,8513	3,52	0	0
<i>Fe</i>	0	0,00	650,42	0
<i>Cu(Copper)</i>	15,7	29,89	9204	275
<i>Al</i>	8	15,23	2502	38
<i>Összes fém tartalom</i>	45,9255	87,44		983

Forrás: Saját szerkesztés

A Nissan Leafben található akkumulátor esetében megállapítható, hogy az fémek értéknek össztömege az akkumulátor cellában 87,4 kg-ot tesznek ki, amely a cellák össztömegéhez viszonyítva (190,4 kg) 45,9%-ot jelent. Összességében ez 983 amerikai dollárnak megfelelő összeget jelent. Az akkumulátorban megtalálható fémeket vizsgálva azon következtetésre jutottam, miszerint legnagyobb mennyiségben a nikkel volt jelen (30 kg), melyet a réz követett (29,8 kg). Azonban kiemelném, hogy ezen akkumulátor egyáltalán nem tartalmaz vasat, cserébe viszont az előzőek mellett mangán is megtalálható benne.

2.2.4. Mazda MX-30 akkumulátor vizsgálata

A Mazda-MX30 által megtehető legnagyobb távolság 200 km, míg az akkumulátor teljes tömege 310 kg. Ebből a cellák össztömege 217 kg-ot tesz ki. A Mazda-MX30-ban megtalálható akkumulátor típusa: vas-foszfát akkumulátor.

10. táblázat: A Mazda MX-30 akkumulátor vizsgálatának eredménye

Elem	Koncentráció [%]	elem tömeg eakkumulátorban [kg]	elem tőzsdei ára [USD/kg]	elem értéke az adott akkuban [USD]
<i>Li</i>	1,45	3,15	15000	47
<i>Co</i>	0,00	0,00	24900	0
<i>Ni</i>	0,00	0,00	16666	0

<i>Mn</i>	0,00	0,00	0	0
<i>Fe</i>	11,68	25,35	650,42	16
<i>Cu(Copper)</i>	14,50	31,47	9204	290
<i>Al</i>	7,50	16,28	2502	41
<i>Összes fém tartalom</i>	35,13	76,24		394

Forrás: Saját szerkesztés

A Mazda MX-30 esetében az akkumulátor cellákban lévő elemek értékének összítőmege 76,2 kg-ot tesz ki, mely a cellák teljes tömegéhez viszonyítva – amely 217 kg – 35,1%-ot jelent. Az elemek értéke 394 amerikai dollárnak felel meg. Az akkumulátorban legnagyobb mennyiségben a réz van jelen (31,4 kg), melyet a vas követ 25,3 kg-mal. A Teslához és a BMW-hez hasonlóan ezen akkumulátor sem tartalmaz kobaltot, nikkelt vagy mangánt.

2.2.5. Peugeot 3008 akkumulátor vizsgálata

A Peugeot 3008 által megtehető legnagyobb távolság 525 km, míg az akkumulátor teljes tömege 520 kg. Ebből a cellák összítőmege 364 kg-ot tesz ki. A Peugeot 3008-ban megtalálható akkumulátor típusa: lítium ion (NMC 811).

11. táblázat: A Peugeot 3008 akkumulátor vizsgálatának eredményei

Elem	Koncentráció [%]	elem tömeg eakkumulátorban [kg]	elem tőzsdei ára [USD/kg]	elem értéke az adott akkuban [USD]
<i>Li</i>	2,5707	9,36	15000	140
<i>Co</i>	1,9866	7,23	24900	180
<i>Ni</i>	15,8169	57,57	16666	960
<i>Mn</i>	1,8513	6,74	0	0
<i>Fe</i>	0	0,00	650,42	0
<i>Cu(Copper)</i>	15,7	57,15	9204	526
<i>Al</i>	8	29,12	2502	73
<i>Összes fém tartalom</i>	45,9255	167,17		1879

Forrás: Saját szerkesztés

Az akkumulátor cellákban található elemek tömege 333,5 kg-ot tesz ki, mely a cellák teljes tömegéhez viszonyítva (364 kg) 45,9%-ot jelent. Ennek értelmében kijelenthető, hogy az általam vizsgált öt elektromos autó közül a Peugeot 3008-as az, melyben a lemagasabb az érték. Ennek nyomán az fémek értékének összege 1879 USD-nek felel meg. Ezek mellett az akkumulátor minden vizsgált elemet tartalmaz, legnagyobb mértékben nikkelt (57,5kg), míg ezt követi szorosan a réz (57,1 kg) – kivételt képez ez alól a vas, mert nem tartalmazza az akkumulátor.

A következő táblázatban összegeztem az első számítások során kapott eredményeket, hogy átfogóan elemezhessem a kapott eredményeket.

12. táblázat: *A vizsgált öt akkumulátor eredményeinek összesítése*

<i>Gépjármű típus</i>	<i>Cellák összömege (kg)</i>	<i>Fémek tömege az akkumulátorban (kg)</i>	<i>Százalékos arány (%)</i>	<i>USD</i>	<i>Ft</i>	<i>Előforduló fémek az akkumulátorban</i>
<i>Tesla s</i>	378	132,8	35,1	724	263 825	Li, Fe, Cu,Al
<i>Nissan Leaf</i>	190,4	87,4	45,9	983	386 221	Li, Co, Ni, Mn, Cu, Al
<i>Peugeot 3008</i>	364	167,17	45,9	1879	738 259	Li, Co, Ni, Mn, Cu, Al
<i>Mazda MX-30</i>	217	76,2	35,1	394	154 802	Li, Fe, Cu, Al
<i>Bmw I3</i>	142,8	50,1	35,1	259	101 761	Li, Fe, Cu, Al

Forrás: Saját szerkesztés

Következtetés:

A vizsgálati eredményeim alapján megállapítható, hogy a Peugeot 3008 típusú gépjármű akkumulátora tartalmaz a legnagyobb mennyiségben újrahasznosítható fémeket, így a tőzsdei értéket figyelembe véve is a legértékesebb akkumulátornak minősül a vizsgált típusok között.

2.2.6. Jövőbeli becslések

Szakdolgozatom teljessé tételéhez az interneten fellelhető adatok alapján külön megvizsgáltam az NMC és az LFP akkumulátorok élettartamát, valamint ezek nyomán a visszanyerhető elemek értékét is. Az NMC akkumulátorok esetében a becsült élettartam rendeltetésszerű használat esetén 10 évet tesz ki, viszont ez az időintervallum a tapasztalatok szerint jelentősen redukálódhat. Az NMC akkumulátorok bár nagyobb pillanatnyi teljesítményre képesek az LFP-vel szemben, de ennek a rövidebb élettartam az ára. Az LFP akkumulátoroknál a becsült 10 éves élettartam életszerűnek mondható. (http 11).

Ennek nyomán megállapítható, hogy az LFP akkumulátor kevesebb költséggel hosszabb időre biztosítható az elektromos autó használhatóságára.

Dolgozatomban öt típusú kocsit vizsgáltam, így a jövőbeli becslések esetében is ezt az öt autót választottam.

Tesla S által használt akkumulátor becslésének számítása

A Tesla S modell esetében LFP nevezetű akkumulátor kerül felhasználásra, melynek becsült élettartama 10 év (http 11). Az adott modellből 68 874 darabot adtak el 2023-ban (http 12), és 1 modell esetében az elemek tömege 724 USD-nek megfelelő összeget képvisel. Tehát ennek nyomán megállapítható, hogy 2033-ban, amikor ezen modellek akkumulátorainak végét datálják, körülbelül 49 864 776 USD összegnek megfelelő elem szabadul fel.

Ha külön az elemeket vizsgáljuk, akkor a következő állapítható meg:

- 378 t lítium kerülhet vissza a körforgásba, ami 5 670 000 USD-t jelent
- 3 071 t megfelelő vas kerül vissza a körforgásba, ami 2 011 505 USD-nek felel meg
- 3 775 t megfelelő réz kerül vissza a körforgásba, ami 37 251 700 USD-nek felel meg
- 1 952 t megfelelő alumínium kerül vissza a körforgásba, ami 4 973 696 USD-nek felel meg

BMW I3 által használt akkumulátor becslésének számítása

A BME I3 modell ugyanúgy LFP megnevezésű akkumulátort használt, mint a Tesla az S modelleknél, tehát ismételten 10 évre datálhatóak az akkumulátorok lejáratí ideje. A kutatásaim során nem találtam 2023-ra vetített adatokat az eladás területén, mert ennek a típusnak a gyártását megszüntették, így csak a 2022-ben eladott autók számával tudtam számolni. 2022-ben az USA területén 9 db BMW I3 került eladásra, míg Európán belül 19 752 db-ot értékesítettek, a kettő összege 19 761 db-ot jelent összességében. A számításaim alapján az akkumulátorban található elemek értéke 259 USD-t jelent, ami az összes eladott példány nyomán 5 118 099 USD-t jelent. 2033-ban.

Amennyiben itt is külön vizsgáljuk az elemeket, akkor a következő eredmények állapíthatóak meg:

- 39,5 t lítium kerül vissza a körforgásba a szakszerű kinyerést követően, ami 592 500 USD-nek felel meg.
- 328 t vas válik újra hasznosíthatóvá, ami 213 331 USD-t jelent.
- 408 t rézzel lehet számolni 2033-ban a kinyerést követően, ami 3 755 232 USD-nek felel meg.
- 211 t mennyiségű alumínium válik újra felhasználhatóvá a körforgásban, ami 527 922 USD-t jelent.

Nissan Leaf által használt akkumulátor becslésének számítása

A Nissan Leaf modellnél alkalmazott akkumulátor – eltérően az eddigiektől – NMC megnevezést viseli magán, ami a benne található fémekre utal: nikkel, mangán és kobalt. Ezen modellből 2023-ban 7 152 darabot adtak el (http 14), így a továbbiakban ezen adattal számoltam. Az összes elem értéke USD-ben 983 dollárnak felel meg, tehát egy autó esetében ekkora értékű elemekkel kell számolni 10 év múlva.

A következőkben először kiszámítottam, hogy mennyi fém fog felszabadulni 10 év múlva:

- 35 tonnának megfelelő lítium kerül vissza a körforgásba 10 év múlva, ami 525 000 USD-nek felel meg.
- A kobalt esetében 27 t-val lehet számítani 10 év múlva, melynek dollárbeli összege 672 300 USD.
- A nikkelnél 10 év múlva 215 tonnányi fém kerül vissza a körforgásba, melynek összege 3 583 190 USD.
- A mangán esetében egy érdekes problémával szembesültem, mivel maga az akkumulátor rendelkezik fémmel, azonban aznap, amikor a számításokat készítettem, a mangán tőzsdei ára 0 USD volt, így ezek alapján az érték minden esetben 0 lesz. Így csak az elem tömegét tudom 10 év múlva becsülni. Ebben az esetben 25 tonna mangán kerülhet vissza a körforgásba.
- A réznél 10 év múlva 213 tonnányi fémmel kell számolni, mely újra hasznosíthatóvá válik, ami 1 967 569 USD-nek felel meg.
 - Az alumíniumnál a 10 éves periódus esetén 108 tonnányi fém kerül vissza a körforgásba, ami 272 530 USD-nyi összeget jelent.

A Mazda MX-30 által használt akkumulátor becslésének számítása

A Mazda MX-30 esetében úgynevezett Panasonic lítium-ion akkumulátor került felhasználásra, mely az elemek eloszlása alapján megállapítható, hogy az LFP akkumulátorok típusába sorolható. Így az általam vizsgált 10 éves periódus teljes mértékben tartható, módosítások nélkül. A forrás, melyet alkalmaztam az eladott példányok felméréséhez, 2023-ra csak 100 db eladott példányt jegyzett az Amerikai Egyesült Államokban, míg Európán belül 0-t mutatott. Így módosítottam a számítási adatokon, és a 2022-es adatokkal számoltam, ami 324 + 5849 (6173) db (http 15). Tehát ennek nyomán 2032-ben 470,6 t-nak megfelelő hasznos fém nyerhető ki az adott akkumulátorból. Ez az egyes fémekre lebontva a következőképpen néz ki:

- A lítium esetében 19,4 t-nak megfelelő fém fog felszabadulni 10 év múlva, mely 291 000 USD-nek felel meg.
- A vasnál 156 t-nak megfelelő fém kerülhet kinyerésre 10 év múlva, mely 101 465 USD-nek megfelelő összeget jelent.

- A réz esetében 194 tonnányi fém kerülhet vissza a körforgásba 10 év múlva, mely 1 785 576 USD-nek megfelelő összeget jelent
- Az alumínium esetében 100 t-nak megfelelő fém kerül vissza a körforgásba, ami 250 264 USD-t jelent

A Peugeot 3008 által használt akkumulátor becslésének számítása

A Peugeot 3008 modellekben az előzőekben már ismertetett NMC akkumulátor került felhasználásra, mely ismételten azon problémát jelenti, hogy ezen akkumulátorok 10 évre vannak kalibrálva. Így ennek értelmében hasonlóan fogok eljárni, mint a Nissan Leafnél tettem. A Peugeot 2023-as eladási reportja nyomán 133 772 db-ot adtak el az általam vizsgált modellből, így a továbbiakban ezen adattal fogok számolni (http 16). A Peugeot akkumulátorában található elemek össz tömege, ami 10 év múlva 222 363 tonna értékű újrahasznosítható fémet fog jelenteni a körforgásos gazdaságban. Ez az egyes fémekre lebontva a következőképpen alakul:

- A lítium esetében 10 év múlva 1 252 tonnának megfelelő fém kerül vissza a körforgásba, ami 18 780 000 USD-nek felel meg.
- A kobalt esetében 967 tonnának megfelelő fém kerül felszabadításra 10 év múlva, mely értékét tekintve 24 078 300 USD-t jelent.
- A nikkelnél 7 701 tonnányi fémmel kell számolni 10 év múlva, mely USD-ben nézve 128 344 866 USD-t tesz ki.
- A mangán esetében a tőzsdén nem találtam ehhez rendelt árat, így az összeg 0 USD volt. Azonban kiszámítható, hogy 10 év múlva 901 tonnányi mangán szabadul fel.
- A réznél 7 645 t-nak megfelelő tömegű réz fog visszakerülni a körforgásba 10 év múlva, ami 70 364 580 USD összeget jelent.
- Az alumíniumnál 10 év múlva 3 895 tonnányi fémmel lehet számolni, melynek dollárban kifejezett értéke 9 745 290 USD.

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Az általam vizsgált hulladékkezelési és újrahasznosítási területet napjainkban jellemezve elmondható a felismert probléma, a problémakezelés még nem kifejlett módszere, a növekvő emberi tenni akarás. Felismertük, hogy az eddigi irány nem jó, változtatni kell, elkezdünk lépéseket tenni az ügy érdekében, de a jelenlegi próbálkozások még nem elegendőek. Folyamatosan törekednünk kell a technológiai fejlődésre, a természetes és mesterséges környezet szimbiózisának elérésére, az okozott károk ártalmatlanítására, és az új problémák megelőzésére. Számítalan hatás befolyásolhatja ezt a folyamatot, a teljesség igénye nélkül néhányat említve: az adott gazdasági helyzet, a társadalom, leginkább a vezetőség hozzáállása, trendek stb.

Csökkenti-e annyival a környezetterhelésen az elektromos meghajtás, mint amennyivel terheli azt az akkumulátorok előállítása, utógondozása, ártalmatlanítása?

A hulladékkakkumulátorok hazai feldolgozásának szükségességét az alábbiak indokolják:

- Környezetvédelmi szempontok a következők:
 - az akkumulátorok fokozottan veszélyes anyagokat tartalmaznak, amelyek a használatból kikerült akkumulátorok esetében a környezetbe jutva, maradandó környezeti és egészségkárosodást okoznak;
 - a használat után nem szakszerűen kezelt, a hulladékokkal keverten jelentkező akkumulátorok károsító hatásai évtizedeken át érvényesülhetnek (erre bizonyíték a hevesi ólomfeldolgozók tragédiája is);
 - a Baseli Egyezmény korlátozta a hulladék exportot, ami az akkumulátorok külföldi feldolgozási gyakorlatát rövidtávon kizárja.

Összességében megállapítható, hogy a gépjármű újrahasznosítás a jövő eszköze lehet a fenntartható fejlődésnek. A Föld energia és ásványi anyag készletei végesek, azok kizsigerelése hosszútávon nem fenntarthatók, nyitnunk kell az alternatív megoldások felé mind a gyártás során mind az újrahasznosítás területén (Alpek et. al., 1994).

Az egyéni kutatásom során öt elektromos autó akkumulátorában található fémeket vizsgáltam, melyek közül kettő modellben az NMC nevezetű akkumulátor típust alkalmazták, míg háromban a LFP nevezetű akkumulátor típust. Az általam feltett négy hipotézis majdnem mindegyikét sikerült megválaszolni, melyeket most külön bekezdésekben tárgyalok az információk alapján, majd pedig az egyéb észrevételeimet közlöm.

13. táblázat: Vizsgált elektromos autók legfontosabb adatai

	Modell	Akku kapacitás kWh	Teljesítmény Le	Hatótávolság km	Töltő teljesítmény/Töltési idő
Tesla S	75D	75	518	490	150 kW /42perc
BMW I3		42	170	235-246	11 kw /3óra 27perc 50kw / 36 perc
Nissan Leaf	2018	40	150	250	50 Kw/ 1-1,5 óra
Mazda MX-30	2020	32	143	200	6,6 kw/5 óra 45 perc
Peugeot 3008		73	210	524	22 kw/30 perc

Forrás: Saját szerkesztés

Megállapítások

- A számításokat öt elektromos autó akkumulátorával kapcsolatban végeztem el. Ezek mentén azon következtetésekre jutottam, miszerint 2023-ban a Peugeot 3008 volt az egyik legjobban vett autómodell, aminek előnyeire csak még jobban ráerősített azon tényező, miszerint az akkumulátorának teljes tömege 520 kg-ot tesz ki, melyből a cellák tömege 364 kg-ot jelentett. Legnagyobb meglepetésemre az akkumulátorban fellelhető fémek tömege 167,17 kg-ot tesz ki, ami 45,9%-a a cellák teljes tömegének. Ennek nyomán megállapíthatom, hogy a Peugeot 3008 modell az, melynek akkumulátora a legnagyobb mértékben tartalmaz értékes fémeket. Azonban hátrányként kell megemlítenem, hogy a Peugeot 3008 NMC akkumulátort alkalmaz, amivel igaz, hogy az egyik legnagyobb távot képes megtenni az autó (525 km), azonban a benne található fémek értékének összege 1879 USD, ami előrevetíti az akkumulátor árát, miközben annak élettartama optimális esetben 10 évre tervezett.

Nagy reményeket fűztem a Tesla S modellhez, mivel az utóbbi években elég nagy hangsúlyt kaptak a Tesla autómodellek. Az akkumulátorban található fém elemek tömege 132,8 kg, ami 35,1%-a a cellák össztömegének. Igaz, hogy ennek köszönhetően a benne található fémek értékének összege 724 USD, ami következtetni enged az akkumulátor olcsóbb előállítási költségeire, azonban az összképen sokat ront az, hogy jóval kisebb mértékben hasznosítható újra az akkumulátor, mint a Peugeot 3008 esetében.

A Nissan Leaf esetében ismételten nagyobb százalékban nyerhetőek ki az elemek az akkumulátorból, 45,9%-ban, azonban itt is hasonló problémával nézünk szembe, mint a Peugeot 3008 esetében, hiszen az alkalmazott akkumulátor NMC típusú. További probléma a Nissan Leaf esetében, hogy a megtehető legnagyobb táv 250 km, ami az utolsó előtti helyre sorolja az autót. Összességében úgy vélem, hogy az általam vizsgált 5 autó közül ez szerepelt a leggyengébben az ismert információk tekintetében, mivel a benne található fémek értékének

összege is 983 USD-re rúg, tehát az akkumulátor előállítása nem tartozik az olcsók közé. Összesítve az autó rövidtávot képes megtenni az akkumulátorral, melynek előállítása drágább, mint a Tesla S modell esetében. Ezen akkumulátor élettartama is gyengébb, mint az LFP típusúaké.

A Mazda MX-30 autómoddell a legnagyobb megtehető távolsága az akkumulátorral 200 km, ami nagyban elmarad a Tesla S és a Peugeot 3008 akkumulátorától. Igaz, hogy előnyként szolgál az, hogy a benne található fémek értékének összege 394 USD, ami az akkumulátor összegének alacsonyságát is előre jelezheti. Azonban probléma, hogy az újrahasznosítható fémek összege a teljes cellák tömegéhez viszonyítva 35,1%-ot tesz ki, tehát a teljes akkumulátor újrahasznosíthatósága jóval kisebb, mint a Peugeot vagy a Nissan esetében.

Utolsónak hagytam a BMW I3 elektromos autómoddelt több okból kifolyólag. Az első, ami miatt legutoljára soroltam, az a legnagyobb megtehető távolság, mivel ez maximum 160 km lehet, ami a legrosszabb az 5 vizsgált autó közül. Igaz, hogy az öt vizsgált autó közül ennek a legalacsonyabb az akkumulátorban megtalálható fémek értékének összege 259 USD-vel. Azonban csupán csak a cellák össztömegének 35,1%-át teszik ki a bennük található elemek, tehát a többihez mérten ez is csak kicsit több, mint a fele értékben forgatható vissza a körforgásba. Tehát a 259 USD arra enged következtetni, hogy az akkumulátor olcsósága lehetőséget nyújt arra, hogy olcsóbb legyen az autó előállítása, azonban egyáltalán nem garancia rá, miközben számos hátránnyal rendelkezik az autó.

- Összességében úgy vélem, hogy a vizsgált akkumulátorokban látható, nagyságrendbeli különbségek lehetnek, amik elsősorban az akkumulátor típusától, valamint annak kapacitásától függenek. Ezek az összegek a hulladékfeldolgozó cég bevételeinek részét képezik, mivel ezt az összeget a szállítás, feldolgozás költsége jelentősen csökkentheti.
- A számítások nyomán úgy vélem, hogy az LFP akkumulátorok esetében nagy valószínűséggel az akkumulátorokban rejlő csekély érték nem fedezi a feldolgozás költségét sem, tehát itt szükséges volna valamilyen támogatási rendszer kidolgozása.
- Véleményem szerint a jövőben az elektromos autók feldolgozása csak úgy valósítható meg, hogy kiszerezik az élettartamuk végére ért akkumulátorokat, és ezeket a megfelelő hasznosító üzemekbe küldik, míg az autó karosszéria a dolgozatomban is bemutatott shredder üzemek egyikébe kerül. Ennek megvalósítása érdekében szükséges volna leadási pontok kialakítása, amely olyan speciálisan kijelölt gyűjtőpontok hálózata lenne, ahol az autót hivatalos szervízpontokon vagy újrahasznosító központokban lehetne leadni. Ezeket a pontokat az autógyártók, akkumulátorgyártók és fémfeldolgozók közösen üzemeltethetik, hogy garantálják a megfelelő feldolgozást.

Az akkumulátorok szétválasztását minden esetben szakképzett technikusok végeznék, mivel a lítium-ion akkumulátorok veszélyes anyagokat tartalmaznak, és különleges kezelést igényelnek, azonban szóba jöhetnek automatikus vagy félautomata robotrendszerek alkalmazása is a gyorsabb, biztonságosabb szétszereléshez, így minimalizálhatóvá válna az emberi beavatkozások kockázata is.

Ezt követően a leválasztott akkumulátorokat speciális újrahasznosító üzemekbe küldenék, ahol a fémeket, mint például a lítium, a kobalt, nikkel, kivonásra kerül, és azokat újabb akkumulátorok gyártásához használják fel. Másodlagos felhasználási forma lehetne az is, -ha az akkumulátor még megfelelő állapotban van- hogy energiatárolóként felhasználásra kerül lakossági vagy ipari célokra, ezzel az akkumulátorok - körfogásos felhasználás nyomán történő- hasznosítási életciklusa növelhető lenne, miközben a hulladék mennyisége csökkenne.

Az autó egyéb alkatrészei külön kezelhetőek lehetnének a következő módon:

- Fém és műanyag: A karosszéria fémrészeit feldolgozó üzemekbe szállítják, ahol újrahasznosítják az alumíniumot, acélt és egyéb anyagokat. A műanyag részeket külön feldolgozzák, ahol lehetséges, új termékek előállítására.
- Elektronikai alkatrészek: Az elektromos alkatrészek (kábelek, vezérlőegységek) külön újrahasznosítási folyamaton mennek keresztül, és felhasználhatók új elektromos járművekhez vagy egyéb elektronikai eszközökhöz.
- Ezen kívül szeretnék kitérni még a leadás ösztönzésére is, mely a legkönnyebben anyagi ösztönzőkkel válhatna elérhetővé. Az anyagi ösztönzés célja lenne, hogy az autótulajdonosok motiváltak legyenek arra, hogy az autókat és az akkumulátorokat a megfelelő helyre vigyék. Az ösztönzést a következőképpen terveztem:
 - **Leadási bónusz:** Az autó leadásakor az autótulajdonos kap egy pénzügyi bónuszt vagy kedvezményt egy új elektromos autó vásárlásához.
 - **Állami támogatás:** Állami támogatásokkal, adókedvezményekkel lehetne ösztönözni a régi elektromos autók és akkumulátorok visszaszolgáltatását.

Azonban az is fontos szempont lenne, hogy a teljes folyamatot környezetbarát módon alakítsák ki, minimalizálva így a környezeti terhelést. A gyűjtési és újrahasznosítási rendszert szigorú szabályozásokkal és ellenőrzésekkel biztosítanák, hogy az anyagok felelős feldolgozásra kerüljenek.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Szakedolgozatomban egy igen komplex és aktuális problémát vizsgáltam, még pedig a roncsautók hasznosanyag tartalmát, valamint azok újrahasznosíthatóságát. Mivel jó magam is olyan munkakörben dolgozom, mely érintett a témában, így elengedhetetlennek tartottam, hogy a lehető legnagyobb mértékben körbejárjam az adott témát, és minden olyan területet érintsek, ami segítségemre lehet a probléma megértésében, valamint a lehetséges megoldások kidolgozásában.

A szakirodalmi áttekintésem, pontosan a komplexitás miatt, igen sokrétű lett, melynek következtében érintettem magukat a gépjárműveket, azok kategorizálását, majd pedig áttértem az élettartamuk végére ért gépjárművek esetében szükséges teendőkre, úgymint a roncsautók begyűjtése, feldolgozása, valamint az így begyűjtésre került alkatrészek hasznosíthatóságára. Ezt követően külön kitértem a shredderezés technológiájára, majd pedig a hazai példákat vettem szemügyre, azon belül is az Ózdi Acélművekre fókuszáltam. Jelenleg hazánkban négy darab shredder üzem áll alkalmazásban, melyből kettő Budapesten, egy Fehérvárcsurgón, egy pedig Miskolcon található. A shredderezés technológiájára mutató igényt alátámasztja, az ország minden területén megtalálható, mindennapi problémát jelentő nagy kiterjedésű, hatalmas mennyiségű hulladékot magába foglaló hulladéklerakó telepek jelenléte.

Külön példaként emeltem ki dolgozatomban az UD Stahl Recycling Kft-t, mivel ők évente több, mint 120 000 tonnának megfelelő acélhulladékot készítenek elő a kohászatra, valamint további 30 000 tonna hulladékot fordítanak kereskedelmi célú felhasználásra, ami – véleményem szerint – kiváló példa lehetne a hozzájuk hasonló profillal rendelkező cégek számára a jövőre tekintve. Ezen kívül megemlítettem az Ózdi Acélműveket is, mely Magyarország vezető üzemei közé tartozik, és rendelkezik ISO 9001-es besorolással.

Ezt követően visszatértem ismételtén a gépjárművekre, azon belül is a felépítésükkel és karosszériájukkal foglalkoztam, valamint azok újrahasznosítási lehetőségeikkel.

Azonban a gépjárművek esetében nem elegendő csupán a karosszériával foglalkozni, hanem a bennük található akkumulátorokkal is, melyek önmagukban is veszélyesek a környezetre és az emberre is egyaránt. Ennek értelmében külön fejezetben foglalkoztam a gépjárművekben található akkumulátorokkal, azok felépítésével, valamint ezekben az egységekben található ólmok felhasználási lehetőségeivel.

Mint arra már a bevezetésben is utaltam, már most is olyan mértékben aknázzuk ki a Föld nyersanyagkészletét, mely negatívan befolyásolja a Föld megújuló képességét, valamint olyan negatív hatásokat eredményez, amik felett már nem lehet szemet hunyni.

Pontosan emiatt érintettem dolgozatomban a körforgásos gazdaságot, mivel – saját meglátásaim szerint – jelenleg ez az egyetlen olyan mértékű beavatkozás, mely pozitív irányba billentheti a mérleget a Föld kiaknázásával kapcsolatosan.

Egyéni kutatásként egy nem mindennapi témát választottam, még pedig azt, hogy öt elektromos autó akkumulátorában található értékeket vizsgáltam. Az általam választott öt autó A Tesla S 75D modell, a BMW I3 modell, a Nissan Leaf 2018 modell, a Mazda MX-30 2020 modell és a Peugeot e-3008 modell volt. Annak érdekében, hogy teljes körűen vizsgálni tudjam a választott modellek akkumulátorait, először gyűjtőmunkát végeztem a különböző akkumulátorok jellemzőiről, azon belül is specifikusan a lítium típusú akkumulátorokra fókuszáltam. Emiatt érintettem a lítium-kobalt-dioxid akkumulátort, a lítium-mangán-oxid akkumulátort, a lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid akkumulátort, a lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid akkumulátort, a lítium-titán akkumulátort, valamint a lítium-vas-foszfát akkumulátort. Az egyéni kutatás elején bemutatott akkumulátorokból az öt vizsgált autóban az NMC nevezetű, valamint az LFP nevezetű akkumulátorokat érintettem, melyek elég nagy különbséget mutattak a számításokat követően.

A számítások során arra a megállapításokra jutottam, hogy az öt elektromos autó közül az egyik -újrahasznosítás szempontjából- legnagyobb értéket magába foglaló akkumulátorral a Peugeot 3008 autómódellemmel rendelkezik. Az akkumulátorban fellelhető fémek tömege 167,1 kg-ot tesz ki, ami 45,9%-a a cellák teljes tömegének. A vizsgált autók közül a legnagyobb távolságot is ezen autómódellem képes megtenni. Megállapítható, hogy a Peugeot 3008 modell az, melynek akkumulátora a legnagyobb mértékben tartalmaz értékes fémeket, legnagyobb távot képes megtenni egy teljes feltöltéssel (525 km), valamint a benne található fémek értékének összege is a legnagyobb, amely 1879 USD.

Leggyengébb teljesítményűnek a BMW I3 típusú autó mondható a vizsgált gépjárművek közül. Egyrésztől kevésnek bizonyul, hogy egy teljes akkumulátor feltöltéssel csupán maximum 160 km tehető meg, másrésztől az akkumulátorban található újrahasznosítható fémek 35,1%-ot tesznek ki az akkumulátor össztömegéhez viszonyítva. (ekkor mennyiségű értékes fém található meg benne). Tehát ez az érték is még inkább hátrébb sorolja a teljesítmény és az újrahasznosíthatóság szempontjából a BMW I3 akkumulátorát. Fontos megemlíteni, hogy ebben az akkumulátorban a legalacsonyabb a fémek összértéke (259 USD) is.

Dolgozatom következtetések részében megfogalmaztam néhány – általam – kivitelezhetőnek vélt javaslatot, melyek elősegíthetnék az elektromos autók leadását, valamint a leadásra való ösztönzést. Ennek érdekében úgy vélem, elengedhetetlen, hogy támogatásokat fogalmazzanak meg mind az állam, mind pedig a leadásra szánt autókat fogadó helyek, mivel

ezen ösztönzés nélkül nem válna előre mozdíthatóvá a leadás. Ezen kívül az akkumulátorok és a karosszéria feldolgozására is kidolgoztam lehetőségeket, melyek továbbfejlesztve akár a jövőbeni lehetőségek egyike is lehetne az elektromos autók feldolgozásában.

Összességében úgy vélem, hogy jelenleg még nagyon hosszú út áll a gépjárműgyártás előtt, hogy megtalálják a megfelelő akkumulátor típust, mely nem csak hosszú élettartamú, de a lehető legnagyobb mértékben is képesek azt újrahasznosítani az élettartamuk végén, ami pedig még inkább elősegíteni az úgynevezett életciklus tervezést, ami elengedhetetlen a gépjárműgyártásban meglátásaim szerint.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Dr. Nagy Sándor Mártonnak, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítő és Környezettechnológia Intézet intézetigazgatójának, aki szakdolgozatom elkészítéséhez szükséges információkat rendelkezésemre bocsátotta, kiemelkedő szintű szakmai tudása és tapasztalata által koordinálta a munkámat.

IRODALOMJEGYZÉK

Alpek, F.; De Ron, Penev, K.D. (1994): Boyadjiev, I.K.: Disassembly: Design and Advanced Processes and Systems for Reuse of Products and Materials. Project-Proposal in Copernicus Project

Bandivadekar. A. M.S. (2001): Candidate, Industrial Ecology and the Automobile Case Study of Automobile Recycling in U.S., Michigan Technological University, Houghton, MI 49931

Boros T. (2001): Környezetvédelmi és újrahasznosítási szempontok bevonása a termékfejlesztésbe – példák a gépjárműszektorból. BME-OMIKK-Hulladékok 2001/8

Curry, C. (2017): Lithium-ion Battery Costs and Market, Bloomberg New Energy Finance

Domanovszky H. (2018): Az energetikai váltás biztosíthatja számunkra a fenntartható fejlődést? Elektromos gépjármű meghajtások energetikai értékelése a fenntarthatóság szempontjából in: Közlekedéstudományi Szemle LXVIII. évf. 4. sz
DOI 10.24228/KTSZ.2018.4.2

European Commission (2016): Circular Economy. Closing the loop. An ambitious EU circular Economy Package.

Letöltés dátuma: 2024.08.26

Letölthető: https://commission.europa.eu/system/files/2016-04/circular-economy-factsheet-general_en.pdf

Európai Parlament (2021): Erőforrás-hatékonyság és a körforgásos gazdaság. (G. Amanatidis, Szerk.)

Letöltés dátuma: 2024.08.26.

Letölthető: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/hu/FTU_2.5.6.pdf

Gaines, L. Richa K., Spangenberg, J. (2018): Key issues for Li-ion battery recycling MRS Energy&Sustainability: A Review Journal, Materials Research Society

Garai T. (2001): Irányelvek újrahasznosítható termékek kifejlesztéséhez. BME-OMIKK-Hulladékok 2001/8.

Hantanasirisakul, K., & Sawangphruk, M. (2023): Sustainable Reuse and Recycling of Spent Li-Ion batteries from Electric Vehicles: Chemical, Environmental, and Economical Perspectives. *Global Challenges*, 7, 2200212. <https://doi.org/10.1002/gch2.202200212>

Hornyák M. (2011): Hulladékkezelők, a jövő őrzői, Hulladékhasznosítók Országos Egyesülete, Budapest

Liyanage, T., Tan, T.C.M., Woidasky, J. (2020): Shredding, Liberation and Sorting of e-Waste Materials, *Journal of Cleaner Production*

Lukács P. (2010): Roncsautók a fenntarthatóság szolgálatában c. 17;21;25; ppt. Kecskeméti Főiskola, Kecskemét

Nagy S. (n.a.): Elektronikai hulladékok, autóroncs, Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, Miskolc

Pistoia, G. (2014): Lithium-ion Batteries – Advances and Applications, Elsevier, United Kingdom

Rácz, Nagy-Csőke (n.a.): Forgókalapácsos aprítómű (shredder), Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, Miskolc

Romare, M., Dahllöf L. (2017): Report C 243, The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries – A Study with Focus on Current Technology and Batteries for Light-duty Vehicles, IVL Swedish Environmental Research Institute, Sweden

Varga A., Gyenge Cs. (2001)a: Elhasznált gépkocsi roncsok szakszerű sorozat szétszerelése és újrahasznosítása, Fiatal Műszakiak Tudományos ülészaka, Kolozsvár

Varga A., Gyenge Cs. (2001)b: Forschung der Recycling – Möglichkeiten von Alautos, Disszertáció munka, Kolozsvári Műszaki Egyetem, Kolozsvár

Varga A. (2003): roncsautók szétszerelése és újrahasznosítása in: Műszaki szemle., Budapest

Érintett rendeletek

Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles - Commission Statements, Official Journal L 269, 21/10/2000 p. 0034 – 0043

Jármű kategóriák osztályozása 5/1990.(IV.12.) KöHÉM Rendelet

Megtekinthető: <https://njt.hu/jogszabaly/1990-5-20-5E>

Megtekintett internetes források

http 1, 2023

Megtekinthető: <https://www.vg.hu/nemzetkozi-gazdasag/2023/07/rajzanak-az-uj-autok-az-europai-utakra-csak-magyarorszagon-nem>

Megtekintve: 2024.07.24

http 2, 2023

Megtekinthető: <https://www.autonavigator.hu/cikkek/atrendezodott-e-az-europai-autopiac-a-2023-as-szamok-alapjan/>

Megtekintve: 2024.07.24

http 3

Megtekinthető: www.oamkft.hu

Megtekintve: 2024.07.28

http 4

Megtekinthető: <https://www.oamkft.hu/hu/kezdolap/ismerteto>

Megtekintve: 2024.07.28

http 5

Megtekinthető: <https://www.fajltube.com/gazdasag/gepeszet/A-gepkocsi-karosszeriak-anyaga31345.php>

Megtekintve: 2024.07.28

http 6

Megtekinthető: https://www.volvocars.com/hu/v/cars/plug-in-hybrids?gclid=CjwKCAjwtp2bBhAGEiwAOZZTuMlonC5ybcg5r4tdtcBJ7rBv3QF7WvQDN3760NLLwgaOt5ZDqQ17JBoCcBAQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds

Megtekintve: 2024.07.28

http 7

Megtekinthető: <http://hasznositsd.hu/fogalomtar/veszelyes-hulladek>

Megtekintve: 2024.07.28

http 8

Megtekinthető: <https://villanyautosok.hu/2018/05/30/akkumulator-technologia-litium-alap-akkumulatorok/>

Megtekintve: 2024.08.26.

http 9

Megtekinthető: <https://hu.torphanbattery.com/info/what-is-a-lithium-iron-phosphate-battery-61473756.html>

Megtekintve: 2024.08.26.

http 10

Megtekinthető: <https://www.udstahl.hu/hu/vashulladek-meh-telep-femhulladek-ud-stahl>

Megtekintve: 2024.08.27.

http 11

Megtekinthető: <https://www.ev-bee.com/article/9-nmc-and-lfp-lithium-ion-batteries>

Megtekintve: 2024.09.10.

http 12

Megtekinthető: <https://tridenstechnology.com/tesla-sales-statistics/>

Megtekintve: 2024.09.10.

http 13

Megtekinthető: <https://www.goodcarbadcar.net/bmw-i3-sales-figures-usa-canada/>

Megtekintve: 2024.09.10.

http 14

Megtekinthető: <https://insideevs.com/news/703114/nissan-us-bev-sales-2023q4/>

Megtekintve: 2024.09.10.

http 15

Megtekinthető: <https://www.goodcarbadcar.net/mazda-mx-30-sales-figures/>

Megtekintve: 2024.09.11

http 16

Megtekinthető:

https://www.media.stellantis.com/uploads/me/attachment/2566/resultats_commericaux_peugeot_2023_infopress_fr_0702202465c35a7f58354-65c394e175c54.pdf

Megtekintve: 2024.09.11.

NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Jakabné Für Jenifer Viktória
A Hallgató Neptun kódja: I7FYL4
A dolgozat címe: Elektromos autók Li-ion akkumulátoraiban lévő fémek mennyiségének és értékének vizsgálata a körforgásos gazdaság tükrében
A megjelenés éve: 2024
A tanszék neve: Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

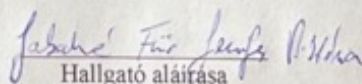
Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe.

Kelt: 2024 év október hó 30 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A *Jakabné Für Jenifer Viktória* (név) (hallgató Neptun azonosítója: *I7FYL4*) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/~~szakdolgozatot~~/diplomadolgozatot/portfólió¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/~~diplomadolgozatot~~/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2024 október 30


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő alá húzandó.

³ A megfelelő alá húzandó.