



KONFERENCIAKÖTET

Conference Proceedings

**Nemzetközi tudományos konferencia
a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából**
International Scientific Conference
on the Occasion of the Hungarian Science Festival

Sopron, 2022. november 3.
3 November 2022, Sopron

**TÁRSADALOM – GAZDASÁG – TERMÉSZET:
SZINERGIÁK A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSBN**

SOCIETY – ECONOMY – NATURE: SYNERGIES IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Szerkesztők / Editors:

OBÁDOVICS Csilla, RESPERGER Richárd, SZÉLES Zsuzsanna, TÓTH Balázs István

Nemzetközi tudományos konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából
International Scientific Conference on the Occasion of the Hungarian Science Festival

Sopron, 2022. november 3. / 3 November 2022, Sopron

**TÁRSADALOM – GAZDASÁG – TERMÉSZET:
SZINERGIÁK A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSSEN**
SOCIETY – ECONOMY – NATURE:
SYNERGIES IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

KONFERENCIAKÖTET
Conference Proceedings

LEKTORÁLT TANULMÁNYOK / PEER-REVIEWED STUDIES

Szerkesztők / Editors:

OBÁDOVICS Csilla, RESPERGER Richárd, SZÉLES Zsuzsanna, TÓTH Balázs István



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

UNIVERSITY OF SOPRON PRESS

SOPRON, 2023

Nemzetközi tudományos konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából
International Scientific Conference on the Occasion of the Hungarian Science Festival

Sopron, 2022. november 3. / 3 November 2022, Sopron



Felelős kiadó / Executive Publisher: Prof. Dr. FÁBIÁN Attila,
a Soproni Egyetem rektora / Rector of the University of Sopron

Szerkesztők / Editors:

Prof. Dr. OBÁDOVICS Csilla, Dr. RESPERGER Richárd, Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna,
Dr. habil. TÓTH Balázs István

Lektorok / Reviewers:

Dr. habil. BARANYI Aranka, Dr. BARTÓK István, Dr. BEDNÁRIK Éva,
BAZSÓNÉ dr. BERTALAN Laura, Dr. CZIRÁKI Gábor, Dr. FARAGÓ Beatrix,
Dr. HOSCHEK Mónika, Dr. habil. JANKÓ Ferenc, Dr. habil. KOLOSZÁR László,
Dr. KÓPHÁZI Andrea, Prof. Dr. KULCSÁR László, Dr. NEDELKA Erzsébet, Dr. NÉMETH Nikoletta,
Prof. Dr. OBÁDOVICS Csilla, Dr. habil. PAÁR Dávid, Dr. PALANCSA Attila,
Dr. habil. PAPP-VÁRY Árpád, PAPPNÉ dr. VANCÓS Judit, Dr. habil. PATAKI László,
Dr. PIRGER Tamás, Dr. RESPERGER Richárd, Dr. habil. SZABÓ Zoltán,
Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna, Dr. SZÓKA Károly, Dr. TAKÁTS Alexandra,
Dr. habil. TÓTH Balázs István

Tördelőszerkesztő / Layout Editor: Dr. RESPERGER Richárd
Segédszerkesztő / Assistant Editor: NEMÉNY Dorka Virág

ISBN 978-963-334-450-7 (pdf)

DOI: [10.35511/978-963-334-450-7](https://doi.org/10.35511/978-963-334-450-7)

Creative Commons licenc: BY-NC-SA 2.5



Nevezd meg! Ne add el! Így add tovább! 2.5 Hungary
Attribution – Non commercial – Share Alike 2.5 HUNGARY

SZERVEZŐK

Soproni Egyetem Lámfalussy Sándor Közgazdaságtudományi Kar (SOE LKK),
A Soproni Felsőoktatásért Alapítvány

A konferencia elnöke: Prof. Dr. Széles Zsuzsanna egyetemi tanár, dékán (SOE LKK)

Tudományos Bizottság:

- elnök: Prof. Dr. OBÁDOVICS Csilla PhD egyetemi tanár, Doktori Iskola-vezető (SOE LKK)
- társelnök: Dr. habil. TÓTH Balázs István PhD egyetemi docens, igazgató (SOE LKK)
- tagok: Prof. Dr. FÁBIÁN Attila PhD egyetemi tanár (SOE LKK), rektor (SOE)
- Prof. Dr. SZÉKELY Csaba DSc professor emeritus (SOE LKK)
- Prof. Dr. KULCSÁR László CSc professor emeritus (SOE LKK)
- Prof. Dr. SZALAY László DSc egyetemi tanár (SOE LKK)
- Prof. Dr. Clemens JÄGER PhD egyetemi tanár, dékán (FOM)
- Prof. Dr. Alfreda ŠAPKAUSKIENĚ PhD egyetemi tanár (VU FEBA)
- Dr. habil. POGÁTSZA Zoltán PhD egyetemi docens (SOE LKK)
- Dr. habil. PAPP-VÁRY Árpád Ferenc PhD tudományos főmunkatárs (SOE LKK)
- Dr. Rudolf KUCHARČÍK PhD egyetemi docens, dékán (EUBA FIR)

Szervező Bizottság:

- elnök: Dr. RESPERGER Richárd PhD adjunktus (SOE LKK)
- tagok: Dr. NEDELKA Erzsébet PhD egyetemi docens, dékánhelyettes (SOE LKK)
- Dr. KERESZTES Gábor PhD egyetemi docens, dékánhelyettes (SOE LKK)
- Dr. habil. Eva JANČÍKOVÁ PhD egyetemi docens (EUBA FIR)
- Dr. habil. KOLOSZÁR László PhD egyetemi docens, intézetigazgató (SOE LKK)
- Dr. HOSCHEK Mónika PhD egyetemi docens, intézetigazgató (SOE LKK)
- PAPPNÉ dr. VANCSÓ Judit PhD egyetemi docens, intézetigazgató (SOE LKK)
- Dr. SZÓKA Károly PhD egyetemi docens (SOE LKK)
- titkár: NEMÉNY Dorka Virág kutatási asszisztens (SOE LKK)

ORGANIZERS

University of Sopron Alexandre Lamfalussy Faculty of Economics (SOE LKK),
For the Higher Education at Sopron Foundation

Conference Chairperson: Prof. Dr. SZÉLES Zsuzsanna PhD Professor, Dean (SOE LKK)

Scientific Committee:

Chair: Prof. Dr. Csilla OBÁDOVICS PhD Professor, Head of Doctoral School (SOE LKK)

Co-Chair: Dr. habil. Balázs István TÓTH PhD Associate Professor, Director (SOE LKK)

Members: Prof. Dr. Attila FÁBIÁN PhD Professor (SOE LKK), Rector (SOE)

Prof. Dr. Csaba SZÉKELY DSc Professor Emeritus (SOE LKK)

Prof. Dr. László KULCSÁR CSc Professor Emeritus (SOE LKK)

Prof. Dr. László SZALAY DSc Professor (SOE LKK)

Prof. Dr. Clemens JÄGER PhD Professor, Dean (FOM)

Prof. Dr. Alfreda ŠAPKAUSKIENĖ PhD Professor (VU FEBA)

Dr. habil. Zoltán POGÁTSA PhD Associate Professor (SOE LKK)

Dr. habil. Árpád Ferenc PAPP-VÁRY PhD Senior Research Fellow (SOE LKK)

Dr. Rudolf KUCHARČÍK PhD Associate Professor, Dean (EUBA FIR)

Organizing Committee:

Chair: Dr. Richárd RESPERGER PhD Assistant Professor (SOE LKK)

Members: Dr. Erzsébet NEDELKA PhD Associate Professor, Vice Dean (SOE LKK)

Dr. Gábor KERESZTES PhD Associate Professor, Vice Dean (SOE LKK)

Dr. habil. Eva JANČÍKOVÁ PhD Associate Professor (EUBA FIR)

Dr. habil. László KOLOSZÁR PhD Associate Professor, Director of Institute (SOE LKK)

Dr. Mónika HOSCHEK PhD Associate Professor, Director of Institute (SOE LKK)

Judit PAPPNÉ VANCSÓ PhD Associate Professor, Director of Institute (SOE LKK)

Dr. Károly SZÓKA PhD Associate Professor (SOE LKK)

Secretary: Dorka Virág NEMÉNY Research Assistant (SOE LKK)

TARTALOMJEGYZÉK / CONTENTS

1. szekció (személyes): Fenntartható gazdálkodás és menedzsment, körforgásos gazdaság Session 1 (personal): Sustainable Economy and Management, Circular Economy

Az ökológiai termelés és termékek piacának változásai a COVID-19 okozta megszorítások alatt

Dr. GYARMATI Gábor 11

Fenntartható fejlődés és körforgásos gazdaság a vállalkozások mindennapi életében

Dr. FEKETE-BERZSENYI Hajnalka – Dr. KOZMA Dorottya Edina –

Dr. MOLNÁRNÉ dr. BARNA Katalin – Prof. Dr. MOLNÁR Tamás 26

Fenntarthatóság a divatiparban (?) – Négy divatipari szervezet CSR jelentésének rövid áttekintése, valamint a fenntarthatóságra törekvés fogyasztók általi észlelésének vizsgálata

VIZI Noémi 39

Épített örökségeink fenntarthatósága a volt szovjet laktanyák újrahasznosításának példáján keresztül

TEVELY Titanilla Virág 52

2a. szekció (személyes): A fenntartható fejlődés globális és regionális vetületei

Session 2a (personal): Global and Regional Aspects of Sustainable Development

A migráció mérésének módszertani nehézségei

RUFF Tamás 65

2b. szekció (személyes): A fenntartható fejlődés globális és regionális vetületei

Session 2b (personal): Global and Regional Aspects of Sustainable Development

Munkaérték preferenciák vizsgálata a szállítási ágazatban

Dr. BALÁZS László – Dr. KŐKUTI Tamás 73

3. szekció (személyes): Turizmus és marketing, fenntartható turizmus

Session 3 (personal): Tourism and Marketing, Sustainable Tourism

Studentifikáció Lágymányoson, avagy az újbudai egyetemek hatása a fenntartható turizmusra

KISS Bence Álmos – PORHAJAS Gábor László 85

Book Consumption Literature – Literature Review on the Subject of the Behavior of Book Consumers

Miklós LÉGRÁDI – Dr. habil. Zoltán SZABÓ 96

Szállodaüzemi intézkedések irányvonalai a fenntarthatóság jegyében

MARTOS János András 114

**Sportfogyasztási szempontú elemzés a Sopronban rendezett
2021-es Női Vízilabda Magyar Kupáról**
CSISZÁR Szabolcs János – Dr. habil. PAÁR Dávid126

4a. szekció (személyes): Pénzügyek, számvitel, fenntartható pénzügyek
Session 4a (personal): Finance, Accounting, Sustainable Finance

**A könyvviteli szolgáltatási szakma megítélése. Összehasonlító elemzés
a 2020. és 2022. évek felmérése alapján**
Dr. VERESS Attila – Dr. SIKLÓSI Ágnes – Dr. SISA Krisztina A.136

A KKV-szektor hitelezési tendenciának értékelése MNB adatok alapján
MÁRKUS Mónika147

**Az ellátási láncok fenntartható pénzügyi adaptációja
– rövidtávú fizetési kötelezettségek finanszírozása**
Dr. CZIRÁKI Gábor – HACKL János158

**ESG közzététel vizsgálata nemzetközi háttérű kereskedelmi bankok esetében
Magyarországon**
SIKLÓSI Veronika172

4b. szekció (személyes): Pénzügyek, számvitel, fenntartható pénzügyek
Session 4b (personal): Finance, Accounting, Sustainable Finance

A fenntarthatóság és az osztalékpolitika kapcsolata
Dr. KUCSÉBER László Zoltán – Dr. CSOMA Róbert180

**Pénzügyi és öngondoskodási ismeretek a magyar középiskolák
végzős osztályaiban 2021-ben**
KOVÁCS Zoltán – TÖRÖNÉ Prof. Dr. DUNAY Anna 188

A cégértékelés módszertani kihívásai
FÁBIÁNNÉ JÁTÉKOS Judit Ilona203

5. szekció (személyes): Sustainable Economy, Management and Development
Session 5 (personal): Sustainable Economy, Management and Development
(session in English)

The Qualitative Characteristics of Accounting Information: A Literature Review
Asma MECHTA – Prof. Dr. Zsuzsanna SZÉLES – Dr. Ágnes SIKLÓSI219

**Tourism Development in Indonesia - Surakarta City Role Supporting
National Tourism Planning**
*Dr. Rizky Arif NUGROHO – Laura BAZSÓNÉ BERTALAN PhD –
Judit PAPPNÉ VANCSÓ PhD*228

**Green Manufacturing Practices Towards Sustainable Development
in the Ready-Made Garments (RMG) Industry of Bangladesh**
Dr. Md. Sadrul Islam SARKER – K. M. Faridul HASAN – Dr. István BARTÓK241

Drivers and Barriers of GSCM Practices Implementation: Literature Review <i>Khouloud CHALLOUF – Dr. Nikoletta NÉMETH</i>	252
--	-----

6. szekció (személyes): Tourism and Marketing, Sustainable Tourism
Session 6 (personal): Tourism and Marketing, Sustainable Tourism
(session in English)

Impact of COVID-19 Pandemic on Tourism Sector in Vietnam <i>Thi Thuy Sinh TRAN – Dr. Nikoletta NÉMETH – Dr. Thai Thuy PHAM – Nhat Anh NGUYEN</i>	259
--	-----

Tourism in Troubled Times: the Economic and Social Effects of Short- and Expected Long-Term Changes <i>Dr. habil. Tamás SZEMPLÉR</i>	276
--	-----

Application Areas of Drones: Exploratory Research from Residential and Corporate Perspectives <i>Bendegúz Richárd NYIKOS – Astrid IONESCU</i>	286
---	-----

7. szekció (online): A fenntartható fejlődés globális és regionális vetületei
Session 7 (online): Global and Regional Aspects of Sustainable Development

Németország elektromos személygépjármű exportja az Európai Unió tagállamaival <i>Dr. KONKA Boglárka</i>	295
---	-----

Fenntartható design - új megközelítések a terméktervezésben <i>NÁDAS Gergely – Dr. habil. MOLNÁR László</i>	307
---	-----

Challenges of the Adaptation Planning – Evolution of the Vulnerability Assessment Methodologies <i>Pál SELMECZI</i>	322
---	-----

Szisztematikus irodalmi áttekintés a személygépjárművekbe épülő elektromos hajtáslánc gyártásáról a fenntarthatóság szempontjából <i>Dr. TÓTH Árpád – BEGE András</i>	329
---	-----

Németország az európai labdarúgás térképén – jogi és sportföldrajzi megközelítés <i>Dr. ENGELBERTH István – Dr. VIRÁGH Árpád</i>	344
--	-----

A körforgásosság mérési lehetőségeinek vizsgálata a szállodaüzemeltetésben <i>KARAKASNÉ Dr. MORVAY Klára</i>	360
--	-----

Az állami nyugdíjrendszerek fenntarthatóságának kihívásai <i>SZABÓ Zsolt Mihály</i>	377
---	-----

Competencies for Sustainable Development <i>Zsuzsanna NAGYNÉ HALÁSZ</i>	391
---	-----

8. szekció (online): Turizmus és marketing, fenntartható turizmus
Session 8 (online): Tourism and Marketing, Sustainable Tourism

Gyógynövényturizmus és az abban rejlő lehetőségek
– Az Észak-Magyarországi kínálati oldal primer vizsgálata
PÁSZK Norbert400

Fiatal külföldi turisták pozitív és negatív tapasztalatai Budapesten
Dr. habil. GROTTE Judit – MAGYAR Tímea408

Mit ígér Bükkfűrdő? A városmárka-kommunikáció lehetséges eszközei és csoportosításuk a POE-modell alapján
HORVÁTH Kornélia Zsanett417

9. szekció (online): Fenntartható gazdálkodás, körforgásos gazdaság
Session 9 (online): Sustainable Economy, Circular Economy

Erdei biomassza lehetőségei és korlátai Magyarország energiabiztonságában
VARGOVICS Máté – Dr. NAGY Dániel433

A körforgásos gazdaság és a soproni hulladékfeldolgozó stratégiája
KASZA Lajos – Dr. NÉMETH Patrícia444

10. szekció (online): Sustainable Economy, Management and Development
Session 10 (online): Sustainable Economy, Management and Development
(session in English)

Comparison of the Density of Physicians and General Practitioners in the Hungarian Csongrád-Csanád Country and in the Territorial Units of Vojvodina for the Period 2002-2020
Dr. Ivana KOCSICSKA453

The Re-Consideration of Business Diplomacy and Corporate Social Responsibility for International Business in the Post-Covid-19 World
Anh Tuan TRAN463

Examining the Process of Project Preparation
Attila LEGOZA474

The Relativity between Sustainable Management and Turnaround Management: Evidences and Suggestions for the Hungarian Agricultural Sector
Zsuzsanna VARGA – Dr. habil. Etelka KATITS – Dr. Éva SZALKA – Dr. Ildikó PALÁNYI – Katinka MAGYARI484

Developing countries and Sustainability
Arjana KADIU – Dr. habil. Zoltán SZABÓ504

The Effect of Supply Chain Management in Achieving Sustainability in Supply Chain in Four Seasons Hotel in Syria
Wael ALASFAR519

**The Role of EGTCs and Euroregions in Economic Cooperation Across
the Hungarian-Romanian Border Between the Period 2007-2020**

Melinda BENCZI 531

11. szekció (online): Poszter szekció

Session 11 (online): Poster Session

Procrastination and its Influencet on Retirement Saving Plann

Khaliunaa DASHDONDOG540

Színházi kommunikáció 2.0

Hazai kőszínházak jelenléte Facebookon és Instagramon a pandémia első évében

Dr. DÉR Cs. Dezső – Dr. habil. PAPP-VÁRY Árpád Ferenc – ZRINYI Ivett554

A felnőttképzésben résztvevő álláskeresők elhelyezkedési esélyei

Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében

LE-DAI Barbara575

Cost Analysis of Sustainable Concrete Production Using Waste Nanoparticles

Omar ZINAD – Dr. habil. Csilla CSIHA – Prof. Dr. Alya'a Abas AL-ATTAR585

Szisztematikus irodalmi áttekintés a személygépjárművekbe épülő elektromos hajtáslánc gyártásáról a fenntarthatóság szempontjából

Systematic Literature Review on Electric Powertrain Manufacturing from Passenger Cars in Relation to Sustainability

Dr. TÓTH Árpád¹

gazdasági vezető (*Business Leader*)

Járműipari Kutatóközpont - Széchenyi István Egyetem (*Vehicle Industry Research Center, Széchenyi István University - Hungary*)

BEGE András²

PhD-hallgató (*PhD Student*)

Széchenyi István Egyetem, Regionális- és Gazdaságtudományi Doktori Iskola (*Széchenyi István University, Doctoral School of Regional- and Business Administration Sciences - Hungary*)

Absztrakt

Az autóiparban az elmúlt években az innováció magas szintje az elektromos (valamint az alternatív) meghajtású járművek kifejlesztését és széles körű gyártását eredményezte, amely egyelőre nem tekinthető befejezett folyamatnak az akkumulátor gyártásával fellépő károsanyag kibocsátása miatt. A tanulmány a jelenlegi elektromos hajtásláncokra és a lehetséges jövőbeli alternatívákra helyezi a hangsúlyt azok fenntarthatóságának vizsgálatát megcélözva. A témával kapcsolatos eddigi releváns (a mainstream által elismert) kutatási eredmények megértéséhez szisztematikus irodalmi áttekintést kell végezni, amelyet a PRISMA-módszer könnyít meg, és amelynek középpontjában a jármű akkumulátorok fenntarthatósága áll. A tanulmány tartalmazza a jelenleg gyártásban lévő és a jövőben kilátásban lévő akkumulátorok elemzését rendszertechnikai szempontból. Emellett a technológia gazdasági és műszaki szempontú elemzése elősegíti a fenntarthatóságot a gyártási kapacitás és a költségek figyelembe vétele mellett.

Kulcsszavak: elektromos hajtás, fenntartható közlekedés, környezetvédelem

JEL-kódok: L62, O14, O44, O57

Abstract

The high level of innovation in the automotive industry in recent years has led to the development and widespread production of electric (and alternative) vehicles, which cannot yet be considered a complete process due to the emissions associated with battery production. The focus of the study is on current electric powertrains and possible future alternatives, with a view to examining their sustainability. A systematic literature review, facilitated by the PRISMA methodology and focusing on the sustainability of vehicle batteries, is needed to understand the relevant (mainstream) research results on the subject to date. The study includes a systems engineering analysis of batteries currently in production and those foreseen for the future. In addition, the analysis of the technology from an economic and technical point of view will facilitate sustainability while taking into account production capacity and costs.

Keywords: electric drive, sustainable transport, environmental protection

JEL Codes: L62, O14, O44, O57

1. Bevezetés, Célok

¹ totha@ga.sze.hu

² beger.andras@gmail.com

A fenntartható közlekedés iránti törekvések az elmúlt években tapasztalt megnövekedett károsanyag kibocsátás és az ezzel járó környezetvédelmi hátrányok miatt hangsúlyossá váltak. A globális szén-dioxid kibocsátás közel 22%-a a közlekedésből adódik (EDGAR/JRC, 2021), így érthető, hogy a jelenlegi tendencia szerint a társadalom a „zéró kibocsátást” hirdető elektromos járművekben látja a kiutat a fenntartható közlekedés felé. Ezen felül számos város vezetett be különböző korlátozó intézkedéseket a belsőégésű motorral meghajtott járművekre, az elektromos és a hibrid meghajtású járművek fogyasztását ösztönözve. Ezen intézkedések bevezetésének egyik célja a dekarbonizációs ráta folyamatos növelése, elérve a legalább évi 12,9%-ot, mellyel az előttünk álló katasztrofális éghajlatváltozás elkerülése a cél. A 2020-as évben globális szinten mért dekarbonizációs ráta például 2,5% volt (amely 5-szöröse a célérték 12,9%-nak), holott a COVID-19 világválság miatt javában olyan intézkedések bevezetése történt, mely során a személy és áruszállítás ezen évben mérséklődött, de ezen érték messze elmarad attól a céltól, amely másrészt a Párizsi éghajlatvédelmi egyezményben szereplő hőmérséklet emelkedés 1,5°C alatt tartásához szükséges (Milborrow et al., 2021).

Az autóiipari szereplők jelentős törekvéseket tesznek arra, hogy elektromos jármű palettájukat szélesítsék, melyekben napjainkban legnagyobb százalékban lítium-ion energiatároló rendszerek találhatóak. (Leonie & Dev, 2022) A környezeti szennyezést tekintve az elektromos járművek hasznos élettartama során bár megvalósul a „zéró kibocsátás”, az akkumulátorok gyártását tekintve azonban különböző hátrányokba ütközhet ezen technológia. Az autóiipar ezen kihívásokkal szembenézve arra kényszerül, hogy zöldebb járművek gyártására (azaz kevésbé szennyező járművekre) fókuszáljon úgy, hogy már azok gyártási folyamatában is megvalósuljon a károsanyag kibocsátás minimalizálása. (Lin et al., 2014) Ezenfelül egyik fő feladattá vált, hogy csökkentsék a járműgyártás során keletkező hulladékokat is (Kushwaha & Sharma, 2016). A szükséges akkumulátorok jövőbeli mennyisége számos kihívást jelent a nyersanyagok elérhetősége és fenntarthatósága szempontjából. Emiatt számos alternatív kémiai megoldáson dolgoznak a járműgyártók és azok beszállítói a lítium más, nagyobb mennyiségben előforduló elemekkel, például nátriummal való helyettesítésén (Lombardo et al., 2022). Mivel a Li-ion akkumulátorok olyan kritikus fémekből állnak, amelyek esetében középtávon fennáll az ellátás megszakadásának veszélye (Langkau & Erdmann, 2021), ezen tanulmány két lehetséges útvonalat tárgyal. Az egyik az említett más alternatív energiatárolók fejlesztési szakaszainak áttekintése, a másik pedig az élettartamukat megélt akkumulátorok újrahasznosítási lehetőségei, melyek hozzájárulhatnak a fenntartható jövőért tett lépésekhez.

2. Az alkalmazott módszerek

Az elektromos járművek alternatív energiatároló rendszereinek megismeréséhez szükséges az eddig e-témában íródott szakirodalom áttekintése, rendszerezése. Ahhoz, hogy a szakirodalmi bázis terjedelmét képesek legyünk szűkíteni, a PRISMA SLR³ módszer elemei kerültek alkalmazásra. Az SLR definíciója alapján a szisztematikus irodalmi áttekintést úgy határozzák meg, mint a közzétett elsődleges tanulmányok azonosításának, értékelésének, elemzésének módszerét egy adott kutatási kérdés megválaszolása érdekében (Leonie, & Dev, 2022).

Az autóiiparban született kutatásokra igaz, hogy megannyi megközelítésből vizsgálták az elektromos járművek hatékonyságát és versenyképességét a belsőégésű motorral szerelt járművekkel szemben, így az elmúlt években a környezetvédelmi kérdések növekvő jelentősége végett számos tanulmány foglalkozott a zöld innovációval szemben támasztott kihívásainak elemzésével (Balon et al., 2016; De Oliveira et al., 2018).

³ SLR = "Systematic Literature Review", azaz szisztematikus szakirodalmi recenzió (Tóth, 2022).

Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a tanulmányok leginkább egy-egy rész témára koncentráltak az elektromos gyártás témakörében, de olyan tanulmányt nem találtunk, amely során kifejezetten az energiatároló rendszerek fenntarthatóságát vizsgálták volna olyan szempontokat összefoglalva mint az újrahasznosítási, újrafelhasználási lehetőségek, vagy éppen a más típusú akkumulátorok hatékonyságának elemzése. A fent említettek alapján ezen tanulmány főként az elektromos járművek energiatároló rendszerét hivatott elemezni a jelenleg elérhető lítium-ion akkumulátorokra fókuszálva, ezenkívül más, az autógyártásban lehetséges alternatívaként felmerülő akkumulátor technológia hatékonysági elemzése kíván keretet adni a kutatásnak.

2.1. Cél és kutatási kérdések

A tanulmány célja: az elektromos járművek akkumulátoraival kapcsolatban íródott meglévő szakirodalomak összegzése az említett témában lévő ismeretek azonosítását, feltérképezését és szintézisét javasolva. Ezen cél elérése érdekében a következő kutatási kérdések kerültek megfogalmazásra:

- Vannak-e és ha igen, melyek azok az akadályok, melyek a jelenleg elektromos személygépjárművekbe telepített lítium-ion akkumulátorok fenntarthatóságát befolyásolják?
- Léteznek-e olyan megoldási javaslatok, melyek a lítium-ion akkumulátorok összetételének javítását, a felhasználandó nyersanyagok csökkenését célozzák?
- Találunk-e új fejlesztési útvonalakat az energiatároló rendszerekkel szemben?
- Milyen törekvések léteznek az akkumulátorok szekunder felhasználására?

2.2. Szűrési kritériumok és lokalizációs stratégia

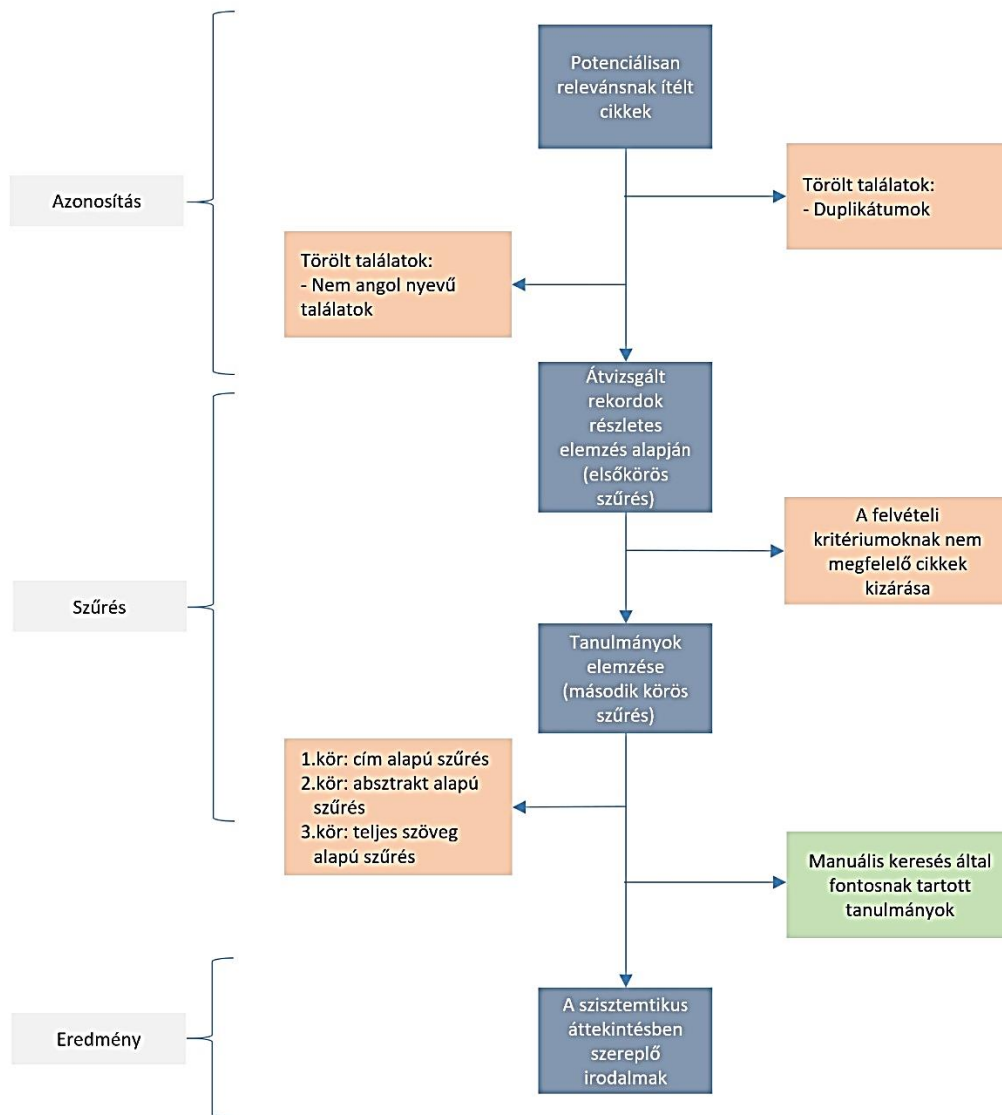
A szisztematikus elemzésbe azon irodalmak kerülnek, melyek a zöld innovációval kapcsolatos fenntartható gyártást vizsgálták az elektromos járművek energiatároló rendszereit illetően.

Ezenkívül további, kiegészítő befogadási és kizárási kritériumok alkalmazására is sor kerül. Ami a tanulmányok időbeli keretét illeti, a lítium-ion akkumulátorral kapcsolatos irodalmak tekintetében a 90-es évekig nyúltak vissza a találatok feldolgozása, melyet ezen akkumulátor típus összetételének viszonylag nagy múltjának figyelembe vétele magyarázza. Az új technológiák fejlesztési és gyártási elemzésekor azonban szigorúan a 2011 és azt követően íródott tanulmányok elemzésére került sor a technológia robbanásszerű/folyamatos fejlődése révén, amely az autógyártás általánosan is jellemző.

Az adatkivonás, vagy lokalizációs stratégia elemei meghatározzák, hogy az egyes primer tanulmányokhoz szükséges információk beszerzése milyen formában történik. Ezen tanulmányban a Scopus adatbázisban elérhető tanulmányokat vizsgáltuk, amely során a következő keresőkifejezések és azok szinonimái alapján történt a keresés: "electric", "passenger car", "powertrain", "production", "sustainability". Ilyen formában az elektromos személygépjárművek gyártási hatékonyság elemzése volt a fő keresési irány, amelybe beletartozik a meghajtás energiatároló rendszerének elemzése is fenntarthatósági szempontokból. A keresés folyamatábráját az 1. ábra mutatja be.

Az első szűrés nélküli keresést követően az adatbázis összesen 221 db tanulmányt listázott ki, mely során a duplikátumokat (23 db) és a nem angol nyelvű találatokat (19 db) kiszűrve 179 találat esett a következő felülvizsgálat alá. A felvételi kritériumok alá nem sorolható tanulmányok (mint például más típusú járművek -mint elektromos kisteherautó, e-bike-, vagy más meghajtású járművek -mint például hibrid, hidrogéncellás járművek-) elemzésekor további 86 db találat esett ki, mely során összesen 93 db tanulmány került be a cím, absztrakt, majd maga a tanulmány alapú szűrésbe. Cím és absztrakt alapú szűrést követően 53 db találat, majd tanulmány alapú szűrés alapján (beleértve a manuális keresés alapján további fontosnak tartott irodalmakat) összesen 37 db találat adta e tanulmány irodalmi bázisát, mely a témakört illetően megfeleltek a meghatározott kritériumoknak. A módszertan következő lépéseként a fő cél ezen

irodalmak gondos feldolgozását követően a kutatási kérdéseknek megfelelő adatok kinyerése, az információk rendszerezése és keretbe foglalása volt.



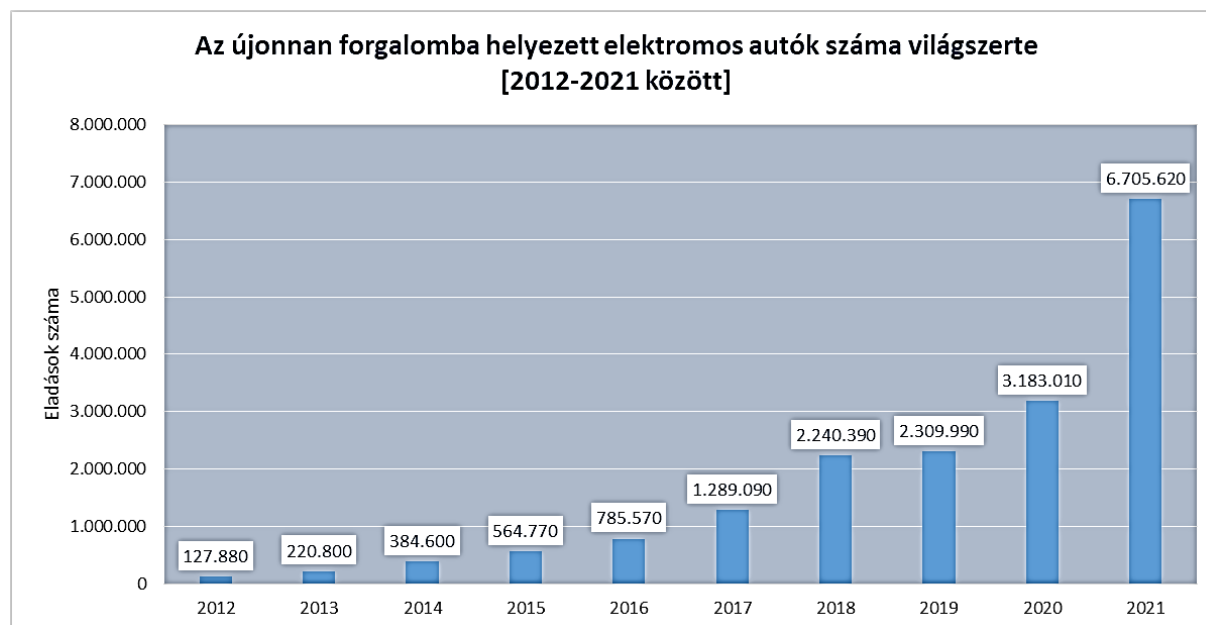
1. ábra: A szisztematikus szakirodalmi áttekintés PRISMA SLR munkafolyamatának a tanulmányra optimalizált bemutatása

Forrás: Moher et al. (2009), PRISMA (2021) és Tóth (2022) alapján saját szerkesztés

3. Az elektromos járművek energiatároló rendszerei

Az utóbbi időben folyamatosan növekedésen megy keresztül a pusztán elektromos motorral meghajtott járművek iránti igény környezetvédelmi tudatosságból, vagy a kormányok különböző korlátozásainak köszönhetően. Amint az a 2. ábrán látható az újonnan bejegyzett elektromos járművek száma 2021-ben mintegy 6,7 millióra növekedett világszerte, szemben a 2012-es 127.880-as darabszámhoz képest (Ajanovic & Haas, 2019).

2021-ben például összesen 17,4 millió elektromos autót regisztráltak világszerte (kétszer annyit, mint 2 évvel korábban). Az elektromos járművek iránti igény folyamatos növekedését magyarázhatja például egy 2021-es németországi felmérés, melyben a válaszadók egyharmada szerint volt döntő szempont a környezetvédelem új járművük vásárlásakor (Fotouhi et al., 2016; Ajanovic & Haas, 2019).



2. ábra: Az elektromos járművek iránti igény folyamatos növekedése az elmúlt 9 évben

Forrás: Ajanovic & Haas (2019) alapján saját szerkesztés

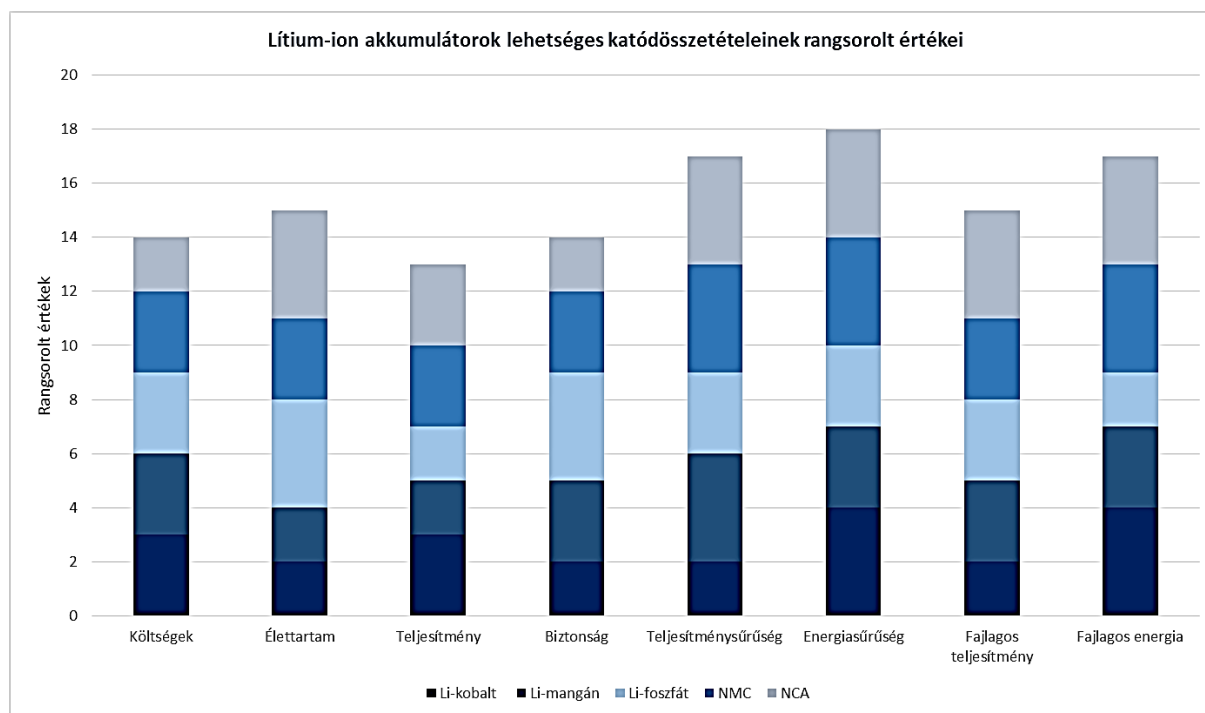
Az elektromos járművek eladásait tekintve Kína jár az élen, így 2021-ben több, mint 51%-os értékesítési részesedést ért el (több, mint 3,3 millió elektromos gépjármű eladással). Az Egyesült Államokban és Németországban is egységesen 10%-os volt ez az arány szintén a 2021-es évben. Norvégiában a 12%-os értékesítési arány rendkívül magasnak tekinthető, mivel a teljes lakosság alig több, mint 5 millió volt 2021-ben, így a 152.000db eladott elektromos jármű jelentős előrelépésnek tekinthető ezen járműtípus piacát tekintve (Population.City, 2022; Martin, 2022).

A mai elektromos járművek legnagyobb része Li-ion tartalmú akkumulátorral kerülnek a végfelhasználóhoz, mert ezen akkumulátor típusok magas energiahatékonysággal és teljesítménysűrűséggel rendelkeznek, amelyek mellett széles hőmérsékleti működési tartományban is képesek működni. Hosszú a ciklus életkoruk és emellett alacsony önkisülési ráta jellemzi az energia-, töltési-, és feszültség-hatékonyság mellett. Ezen jellemzők miatt uralják jelenleg az autópárt az elektromos járművek területén. A Li-ion akkumulátorra jellemző negatívumok azonban, hogy viszonylag lassú a töltési ideje, nagy maga az akkumulátor mérete és súlya, valamint kapacitása korlátozott, így a nagy autógyártók különböző akkumulátortípusok fejlesztésén dolgoznak, amelyekről a későbbiekben lesz szó (Lai et al., 2013; Fotouhi et al., 2016).

A lítium-ion akkumulátorok nagyobb energiatárolási potenciállal rendelkeznek, mint például az ólomsavas akkumulátorok, amelyek a kis energiatároló kapacitáshoz képest realizálható nagy súlyuk végett nem felelnek meg az elektromos járművekbe való telepítésnek. Emellett a Li-ion akkumulátoroknak számos kémiai kombinációi léteznek. Ezen akkumulátor típusoknak 4 fő összetevője van: két elektróda (pozitív töltésű katód és negatív töltésű anód), elektrolit és szeparátor, amely hozzájárul a rövidzárlat elkerüléséhez (Parajuly et al., 2020).

Az akkumulátor töltési fázisában a lítium-ionok az anód elektródába vándorolnak, az akkumulátor használatakor (azaz kisülés következtében történő merülésük során) fordított ciklust követve az anódból a katód elektródába vándorolnak. Az akkumulátorok cellákból állnak, melyek jellemzői a katód kémiai összetételétől függően változnak. A Li-ion akkumulátorral szerelt járművekben gyakori katód kémiai összetételek lehetnek a lítium-kobalt, lítium-mangán, lítium-foszfát, lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid (NMC) és a lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid (NCA). Ezen összetételek alapján a katód anyaga igen változatos lehet a költségek és az igények függvényében (Gong et al., 2016).

A 3. ábra tartalmazza a fent említett katód összetételek rangsorolt értékeit, melyek az egymáshoz viszonyított hatékonyságok alapján kerültek meghatározásra olyan ismérvek szerint, mint a költségek, élettartam, teljesítmény, vagy akár a biztonság.



3. ábra: A katód összetételek rangsorolt értékei
 Forrás: Hannan et al. (2018) alapján saját szerkesztés

A lítium-kobalt oxid kémiai összetételű katódot nagy fajlagos energiája miatt az elektronikai eszközök mellett az elektromos járművekbe is telepítették, de a kobalt korlátozott hozzáférhetősége miatt magas költségek jellemzik (Kim et al., 2016). Az energiasűrűsége körülbelül 150-190 Wh/kg 500-1000 ciklus mellett. Emellett előnyeihez sorolható a technológiai érettség, az alacsony önkisülés, amely mellett a rendszer alacsony saját biztonsága hátrányként kezelendő (Stampatori et al., 2020). A lítium-kobalt akkumulátorok alapjaiban véve reaktívak és rossz hőstabilitás mutatnak, valamint a rendszer már említett labilis önbiztonsága miatt működésük során figyelmet igényelnek ahhoz, hogy a biztonságos használat garantálva legyen. (Miao et al., 2019) Ezenkívül rövid élettartam jellemzi őket, korlátozott terhelhetőséggel a fent említett okok miatt (Zhang et al., 2015; Lee et al., 2016). Az említett negatívumok ellenére ezen típus a Tesla Roadster, illetve a Smart Fortwo elektromos modellekben is helyet kapott korábban (Miao et al., 2019).

A lítium-mangán-oxid energiasűrűsége 100-140 Wh/kg-ra tehető 1000-1500 ciklus mellett. Nagyon magas az eredendő biztonsága és nem tartalmaz kobaltot, amely a költségek szempontjából előnyös. Az alacsony energiasűrűsége azonban a lítium-kobalthoz képest elmarad,

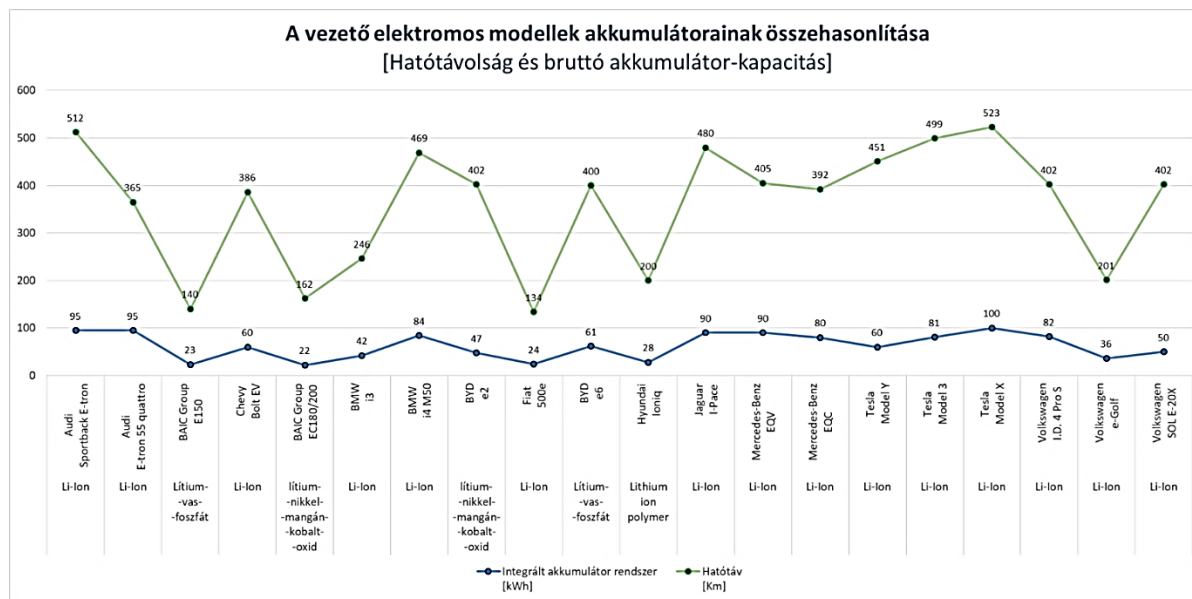
viszont fajlagos teljesítménye magasabb. (Stampatori et al., 2020) Ezen kémiai összetétel hőstabilitása erősebb, mint a lítium-kobalt-oxidé, de körülbelül 33%-al alacsonyabb kapacitást és rövidebb élettartamot eredményez (Battery University, 2022). A legtöbb li-mangán akkumulátor li-mangán-kobalt-oxiddal keveredik annak érdekében, hogy a fajlagos energia és az élettartam javítható legyen. Ezen típusú akkumulátort több ismert járműgyártó vállalat is használta, mint például a BMW i3 vagy a Chevy Volt (Miao et al., 2019).

A lítium-vasfoszfvát kémiai összetétel alacsony ellenállás mellett jó elektrokémiai teljesítményt nyújt, mindemellett hosszú ciklus élettartammal és nagy áramerősséggel rendelkezik. (Chunwen et al., 2011) Maximum 2000 ciklus mellett 90-140 Wh/kg energiasűrűség jellemzi magas biztonsági tényező mellett. Hátránya, hogy a fent említett energiasűrűség alacsonynak tekinthető vetélytársaival szemben (Stampatori et al., 2020). A lítium-vasfoszfvátnak nagyobb az önkisülése, mint más Li-ion akkumulátoroknak, ami az öregedés során kiegyensúlyozási problémákat okozhat. Ezt a problémát kifinomult vezérlőelektronika alkalmazásával lehet enyhíteni, ami azonban megnöveli az akkumulátorcsomag költségeit. Úgy tűnik továbbá, hogy a nedvesség jelentősen korlátozza az akkumulátor élettartamát, de így is népszerű választás a lakóautók gyártóinak körében (Hannan et al., 2018).

Az elektromos járművekbe akkumulátort gyártó vállalatok elsősorban a lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid katód keverék fejlesztésére, gyártására koncentráltak (Thackeray et al., 1983), mert a mangán és a nikkelt egyesítése jó összteljesítményt mutat, mivel ki tudja hozni a nikkelt magas fajlagos energiáját és a mangán alacsony belső ellenállási hatását. Ezzel szemben a mangán alacsony fajlagos energiát biztosít, a nikkelt pedig alacsony stabilitást. (Thackeray et al., 1983) Ezen katód típus energiasűrűsége a középmezőnyben van (140-200 Wh/kg) 1000-2000 ciklus mellett. Alacsony kobalt tartalma (1/3) a költségek tekintetében jelentős előnyt hordoz, viszont biztonsággal kapcsolatos hátrányokat fedeztek fel a nikkeltben gazdag akkumulátor típusokban (Stampatori et al., 2020). A különböző fémek (nikkel és mangán) keveréke gyártónként változik, melyet nagyon szigorúan őrzött képlettel állítanak elő (Miao et al., 2019).

A lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid a lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxidhoz hasonlóan nagy fajlagos energiát és fajlagos teljesítményt, valamint hosszú élettartamot kínál. (Hannan et al., 2018) Ezen katód típus rendelkezik a legnagyobb energiasűrűséggel (200-250 Wh/kg) 1000-1500 ciklus mellett. Itt szintén a körülbelül 1/3 kobalt tartalom miatt a költségek tekintetében jelentős előnyt hordoz az összetétel, de kapacitása a magas hőmérséklet függvényében csökkenhet (Stampatori et al., 2020).

A különböző katód összetételű lítium-ion akkumulátorok fejlesztési előrelépéseinek köszönhetően a járműgyártó vállalatok nagy számban használják a Li-ion akkumulátorokat járműveikben. Mindennek igazolásául a 4. ábrán látható összeállításban a vezető elektromos járműgyártó vállalatok egyes típusainak hatótávolsága és a járműbe épített akkumulátorszintű összefoglalását vizsgálhatjuk a teljesség igénye nélkül. Látható, hogy kivétel nélkül az összes jármű lítium-ion akkumulátorral rendelkezik, ezek közül a Tesla a világ egyik legismertebb elektromos jármű márkája, mely kifejezetten elektromos járművek fejlesztésével és gyártásával foglalkozik. A Model 3 és Y együttes eladásai közel 1 millió (911.208 db) jármű volt 2021-ben világszerte. Ezenkívül forgalmát tekintve a BYD versenytársnak tekinthető, mivel ez a márka generálja az egyik legnagyobb forgalmat Kínában úgy, hogy a nemzetközi piacra csak korlátozottan koncentrált. Így például a kimutatásban is látható (4. ábra) BYD e2-es típus csak Kínában érhető el (Leonie & Dev, 2022).



4. ábra: Elektromos járművek áttekintése akkumulátoruk típusa és hatótávolságuk szerint
Forrás: Leonie és Dev (2022) alapján saját szerkesztés

Az egyik legnagyobb németországi konzern a VW-t tekintve 2021-ben összesen 452.900 db elektromos járművet értékesített, amely 96%-os növekedést jelentett a 2020-ban eladott darabszámhoz képest. A lítium-ion akkumulátorok az elektromos járművekben világszerte a legszélesebb körben használt energiatároló rendszerek. Ennek oka az, hogy a jelenleg elérhető összes többi technológiával összehasonlítva ezen energiatároló rendszerek biztosítják a legnagyobb hatótávolságot a legalacsonyabb költségek mellett. Előnyeik közé sorolandó a nagyfokú ciklikusság, az alacsony karbantartási igény, az alacsony önkisülési arány és a korábban említettek szerint a gyors technológiai fejlődés, mely a megnövekedett keresletből adódó fejlesztési intenzitásnak köszönhető (Leonie & Dev, 2022).

Ami a lítium-ion akkumulátorok árát illeti ezen komponens jelenleg az elektromos jármű legdrágább alkatrésze. Ez azt jelenti, hogy a járműgyártók által 2019-ben még átlagosan 139 €/kWh ár volt az irányadó a teljes "akupack"-ra vonatkozóan. Ez az összeg 2022-re azonban 92 €/kWh-ra csökkent, amely például a 2017-es 171 €/kW összegnek majdnem a felét jelenti a lítium-ion akkumulátor kilowattóránkénti árát tekintve. Ha ezen 2022-ben meghatározott összeggel számolunk, akkor a 4. ábrán látható 100kWh Tesla Model X akkucsomagja például 9.200 € összeget tesz ki a teljes jármű árából. Ezen kilowattóránkénti összeg kalkulálásakor azonban fontos figyelembe venni, hogy az összeg az akkumulátorban található összetételek és az akkumulátorok minőségének függvényében változhat (Horváth&Partners, 2020).

A lítium-ion akkumulátornak a fent említett előnyeinek felül számos hátránya merül fel, mint például a külső hőmérséklet ingadozástól erősen függő hatótáv, amely az elektromos jármű tulajdonosaiban úgynevezett "hatótáv-szorongást" kelt a felmérések alapján, illetve a lassú töltési idő, mely nem tud versenyre kelni a belsőégésű motorral szerelt járművek gyors tankolási folyamatával (Deloitte, 2022).

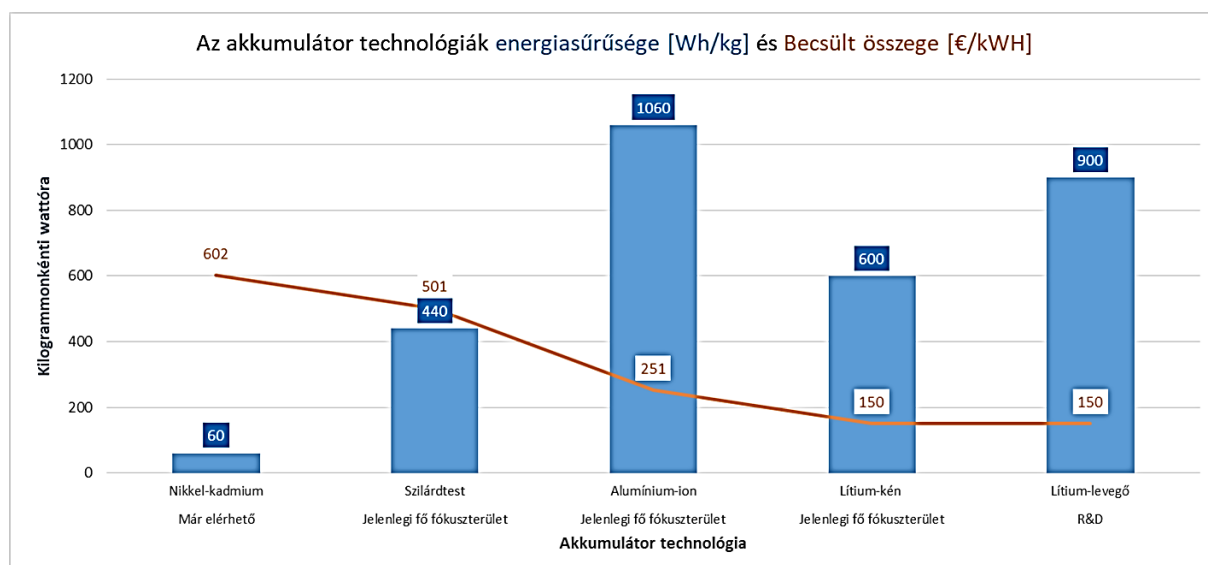
Ami az elektromos járművek energiatároló rendszeréhez szükséges nyersanyag bányászataát illeti olyan hátrányt kell kiemelni, amely a végfelhasználó számára az esetek nagyobb százalékában ismeretlen marad, ez pedig a lítium bányászataához szükséges nagy mennyiségű vízfelhasználás. A lítium készlet a folyamatos feltárásoknak köszönhetően világszerte növekedett, amely összesen 2019-ben csaknem 62 millió tonnát tett ki. Az Egyesült Államokban azonosított lítium készletek – a kontinentális sós vizek, a geotermikus sók, hektorit, olajmezők sói

és pegmatitok – 6,8 millió tonnát tesznek ki, Dél-Amerikában, Argentínában az azonosított lítium készletek 14,8 millió tonna volt 2019-ben, Bolíviában 9 millió tonna, míg Chilében 8,5 millió tonna volt ugyancsak 2019-ben (U.S. Geological Survey, 2019). A fentiek ismeretében fontos tudni, hogy Dél-Amerikában rendkívül vízigényes módszert dolgoztak ki ezen értékes nemesfém bányászatára, mely során 1 tonna lítium kinyeréséhez közel 500.000 gallon (körülbelül 1,89 millió liter) édesvíz felhasználása szükséges egy olyan régióban, ahol az édesvíznek különösen fontos szerepe van. Ez a vízmennyiség egyébként a chilei régió vízkészletének csaknem 65%-át emésztette fel, amely a helyi gazdákat arra kényszeríti, hogy más régiókból hozzanak vizet állataiknak (Amit, 2018). Mindennek ismeretében egy elektromos autó átlagos akkumulátorában található (körülbelül 8-10 kilogrammnyi) lítium előállításához körülbelül 18.000 liter édesvíz felhasználása tapad járművenként (Rónay, 2021).

A Li-ion akkumulátorok mellett a nagy ismert autógyártók és energiatároló gyártó cégek új kémiai összetételű akkumulátorok fejlesztésén dolgoznak, melyek nem a korábbi fejezetben említett Li-ion akkumulátorok katód összetételének további kémiai fejlesztését szorgalmazzák, hanem más, új alternatív útvonalak keresését, melyekkel a lítium-ion akkumulátorokkal kapcsolatos nehézségek, mint például az alacsony tárolható töltési mennyiség, a biztonság kérdése, a nagy súly vagy a hűtéshez szükséges drága és nehéz hűtőközegek szükségessége javítható lenne.

Ezen tanulmányban így rövid elemzés keretén belül megvizsgáljuk a 3 jelenleg fókuszpontban lévő (szilárdtest, alumínium-ion, lítium-kén) és 1 kutatási, fejlesztési fázisban található (lítium levegő) akkumulátor típusokat. Ezen akkumulátorok energiasűrűség és becsült kilowattóránkénti ár szerinti kimutatása az 5. ábrán látható.

2016 novemberében a Toyota megtalálta a módját annak, hogy a lítium-ion akkumulátorok folyékony elektrolit komponensének eltávolításával sokkal stabilabb energiaforrást hozzon létre. Az új akkumulátorok várhatóan több mint kétszer akkora energiasűrűséget biztosítanak, mint a lítium-ion cellák, és egyetlen feltöltéssel több mint 300 mérföldet tudnak megtenni az elektromos járművek számára. Emellett a Volkswagen, a Tesla, illetve a Renault-Nissan Szövetség is nagymértékben kezdtek az úgynevezett szilárdtest akkumulátorokba beruházni, mely típus a Li-ion akkumulátorokban ismert folyékony elektrolit helyett szilárd anyagot használ fel. További előnye, hogy nem gyúlékony és a szilárd testnek köszönhetően a Li-ion akkumulátorból ismert szivárgás (mely az akkumulátor élettartamát folyamatosan csökkenti) megszüntethető. Másik előnye, hogy az elektromos járművek drága hűtőrendszerének szükségessége is kérdésessé válik, ugyanis ezen technológia csökkenti a hűtőközeg iránti igényt. Ezen ismert okokból a Toyota nem titkolt célja, hogy 2025-re minden sorozatgyártású járművébe ezen akkumulátor típust kívánja beépíteni. A szilárd test lehet például üveg-elektrolit, mely költségghatékonyabb is lehet a lítium-ion akkumulátornál, mivel lehetővé tenné a tengervízből kinyert olcsóbb nátrium használatát elektrolitként. Az alumínium-ion akkumulátorokat tekintve a biztonság lehet az a döntő ismérv, mely során ezen energiatároló rendszerek felvehetik a versenyt a lítium-ion összetételű társaikkal szemben, emellett a töltési idő és a ciklusidő tekintetében is előnyöket képes felmutatni. Az eddig ismert hátránya a csekély energiasűrűség volt, amely életképtelenné tette az alumínium-ion akkumulátorokat az elektromos járművek használatához. Azonban 2016-ban egy kínai kutatócsoport olyan technológiát fejlesztett ki, mely során egy alumínium-grafitos kétionos akkumulátor nagyobb energiasűrűséget, kisebb súlyt, kevesebb térfogatot és alacsonyabb gyártási költséget kínált. Ezen akkumulátor típus 50%-al alacsonyabb gyártási költséget, legalább 1,3-szor nagyobb fajlagos sűrűséget és legalább 1,6-szor nagyobb energiasűrűséget kínál a Li-ion akkumulátorokkal szemben. További előnye a technológiának, hogy alacsonyabb a környezetre gyakorolt negatív hatása (Leonie & Dev, 2022).



5. ábra: Akkumulátortechnológiák, melyek megoldást jelenthetnek a Li-ion akkumulátor által ismert problémákra

Forrás: Leonie és Dev (2022) alapján saját szerkesztés

A lítium-kén akkumulátor fejlesztési törekvései magasabb ciklus tartamot eredményeznek és emellett nem gyúlékony összetételről beszélünk. A kén nem mérgező és olcsó, így a jósolt összege ezen akkumulátornak kilowattóránként kevesebb a Li-ionhoz képest (a számítások alapján kevesebb, mint 150€/kW). A fő problémát a kapacitás okozta, mivel ezen akkumulátorok már néhány töltési ciklus után tönkrementek. Ennek kiküszöbölésére a kaliforniai Lawrence Berkeley laboratórium kutatócsoportja a cellák kialakításához grafén-oxidot használt, melynek eredményeképpen a kapacitásuk legalább 1500 ciklusra nőtt meg, anélkül, hogy az akkumulátor tönkrement volna (Leonie & Dev, 2022).

A Li-ion akkumulátorokkal kapcsolatos hátrányok kiküszöbölésére, nem csak az új energiatároló rendszerek felé nyitásával reagálnak a technológiai vállalatok, hanem számos vállalat dolgozik azon, hogy a járművekben már korukat megélt akkumulátorok újra visszakerüljenek a felhasználói körforgásba, alacsonyabb károsanyag kibocsátást és hulladékkezelési eljárást megcélözva.

Ennek megvalósítása érdekében léteznek olyan eljárások, melyek a lítium-ion akkumulátorok újrahasznosítását célozzák 3 fő útvonalon. Erről lesz szó a következő fejezetben.

4. Újrahasznosítási módszerek

Az elmúlt 20 évben az akkumulátorral működő készülékek és járművek számának nagymértékű növekedése miatt a különböző nagyvállalatok erőfeszítéseket tettek az akkumulátorok és alkatrészek csökkentésének vagy újrafelhasználásának módjainak meghatározására. A korábbi ólom-sav akkumulátorokkal kapcsolatos újrahasznosítási programok például több éve működőképesnek mondhatóak. Az Egyesült Államokat tekintve az elhasznált akkumulátorok újrahasznosítási aránya megközelíti a 99%-ot (Miao et al., 2019). A Li-ion akkumulátorok megnövekedett igényéből fakadó újrahasznosítási technológia még viszonylag új keletű, ezért az infrastruktúra még nem áll teljeskörűen rendelkezésre az ólom-sav akkumulátorok nagy sikeréhez képest. Az elektródok gyártása során felhasznált anyagok nagy része újrahasznosítható, egyes tanulmányok az akkumulátorok részeként felhasznált réz esetében közel 96%-os hasznosítási arányt mutattak ki (Zhou et al., 2010). Az Európai Unió a nikkel-kadmium akkumulátorok ese-

tében 75%-os, az ólom-sav akkumulátorok esetében 65%-os, az összes többi akkumulátor esetében pedig 50%-os újrahasznosítási arányt tűzött ki célul (Miao et al., 2019). Mivel a lítium-ion akkumulátorok esetében a katód anyagok értéke az akkumulátor teljes értékének közel 40%-át teszi ki, az újrahasznosítási folyamat 3 útvonala elsősorban a katód anyagokban lévő nagy értékű fémekre, például a kobaltra, lítiumra és a nikkelle összpontosít (Zheng et al., 2018; Chen et al., 2019). Ezen 3 fő eljárás a fémek lítium-ion akkumulátorokból való kinyerését célozzák pirometallurgiai (salak leválasztása a felhasználható anyagokról), hidrometallurgiai (fémek alacsony koncentrációban való visszanyerése) valamint biohidrometallurgiai (leválasztás gombák/baktériumok útján) útvonalak segítségével (Harper et al., 2019; Bai et al., 2020; Yang et al., 2020).

4.1. Pirometallurgiai módszer

A pirometallurgiai technológia hőkezeléses eljárás segítségével az alkotó fémoxidokat ötvözzé redukálja. A művelet egyszerűségének és a nagy feldolgozási kapacitásnak köszönhetően széleskörben alkalmazzák a lítium-ion ipari újrahasznosításának területén (Martins et al., 2021).

Ezen technológia azonban alacsony visszanyerési aránnyal és magas energiafogyasztással jár, amely korlátozza alkalmazásukat. A feldolgozási minőség függ a hőmérséklettől, az időtől, a tisztítógázoktól és a fluxus hozzáadásától (Martins et al., 2021). A pirometallurgiai eljárást általában 3 fő csoportra szokás osztani: előmelegítés, műanyag égetés és az értékes fémek redukciója. Az előmelegítési szakasz fő célja az elektrolit lassú elpárologtatása, ezzel csökkentve a robbanás veszélyét. Ezt követően az olyan szerves anyagok, mint a műanyagok égetésével segítik a magas hőmérséklet fenntartását. Végül az anyagok olvasztásával és redukálásával az értékes fémek (mint a vas, nikkelle, kobalt és réz) kinyerésével fejeződik be a folyamat. Az eljárás során a 150 °C alatti hőmérsékleten fellépő gázok elsősorban elektrolitból és a kötőanyag komponensekből származó illékony szerves anyagokból állnak (Harper et al., 2019). A pirometallurgiai módszer 150 °C-nál jelentősen magasabb hőmérsékleten zajló redukációs reakciókkal nyeri vissza az értékes anyagokat, de mivel jelentős az energiafogyasztás, így ezen tényező figyelembevétele miatt a napjainkban ismert legtöbb újrahasznosítási módszer célja a hagyományos pirometallurgiai eljárások hőmérsékletének 500-1000 °C-ra való csökkentése (Yang et al., 2020). A további hátrányokat tekintve a pirometallurgiai folyamat során általában nem veszik figyelembe az elektrolitok és az akkumulátorokban található rendkívül nagy arányban megtalálható műanyagok (40-50% az akkumulátor teljes tömegéhez viszonyítva) vagy más összetevők, például a lítiumsók visszanyerését. Az említett renkívül magas hőmérsékleten történő kezelés során olyan környezeti hátrányok realizálhatóak, mint a mérgező gázok keletkezése, illetve a magas energiaköltségek, de ennek ellenére a rendkívül értékes fémek, mint a nikkelle és a kobalt kinyerése miatt gyakran alkalmazott eljárásnak tekinthető, holott az összességében visszanyerhető anyagok száma korlátozott (Harper et al., 2019).

4.2. Hidrometallurgiai módszer

A hidrometallurgiai technológia hatékony módszer az értékes fémek vizes közegből történő oldására és kinyerésére. A hidrometallurgiai módszer előnye ellentétben a pirometallurgiai folyamattal az alacsony energiafelhasználás és a nagy visszanyerési tisztaság, ennek ellenére igen bonyolult folyamatról beszélünk (Hua et al., 2020). A hidrometallurgiai kezelések során vizes oldatokat használnak a kívánt fémek katódanyagból történő kimosásár (Harper et al., 2019). Ellentétben egyes pirometallurgiai eljárásokkal, amelyekben az elhasznált Li-ion akkumulátorokat gyakorlatilag szétszerelés nélkül közvetlenül nagyon magas hőmérsékletű feldolgozásnak vetik alá, a hidrometallurgiai eljárást szinte kivétel nélkül előkezelési feladatok előzik meg (Bai et al., 2020).

Egy tipikus ipari méretű hidrometallurgiai eljárás során a fémek kinyerésének oldott fémoldatokból való megkönnyítésének érdekében kioldás segítségével a salakokból vagy ötvözetekből származó fémfrakciókat szelektíven oldják vagy ötvözetmentesítik (Lai et al., 2013). A fémoldatokat ezután szétválasztási folyamatoknak vetik alá, amelyek során a megfelelő fémeket, például kobaltot, nikkelt, vasat, rézt és alumíniumot nyerik ki (Bai et al., 2020). Az akkumulátorok aprítási eljárása így gyors és hatékony módszer az akkumulátorok anyagainak biztonságossá tételére, de az anód- és katódanyagok keveredése az újrahasznosítási folyamat kezdetén megnehezíti a későbbi feldolgozást. Az anyagok elkülönítését jelentősen javítaná egy olyan módszer, amelyben az anód- és katódszerelvényeket is szét lehetne választani a mechanikus vagy oldószeres elkülönítés előtt. Ez az egyik olyan kulcsfontosságú terület, ahol az életciklus végi újrahasznosítás tervezése valódi hatást ígér. A napjaink elektromos járműveiben található akkumulátorok cella kialakítása rendkívül bonyolulttá teszi az újrahasznosítást, és jelenleg sem a hidro-, sem a pirometallurgia nem kínál olyan útvonalakat, melyek tiszta anyagáramokhoz vezetnének (Harper et al., 2019).

4.3. Bio-hidrometallurgiai módszer

A bio-hidrometallurgiai technológia környezetbarát volta miatt kiegészítheti a hagyományos pirometallurgiai vagy hidrometallurgiai módszereket, mivel az elhasznált Li-ion akkumulátorokból történő értékes anyagok kioldására mikrobiális metabolizáció során keletkező savakat használ. A bio-hidrometallurgiai eljárást (hulladékanyagból történő értékes fémek kinyerését mikrobiális savtermelés vagy mikrobiális anyagcsere segítségével) az alacsony költségek mellett nagy hatékonysággal kapcsolatos előnyei miatt alternatív módszerként fogadták el az értékes anyagok Li-ion akkumulátorokból történő kinyerésére (Hua et al., 2020). A biolazítást követő további elválasztási technikák nagyjából megegyeznek a hidrometallurgiai útvonallal (Martins et al., 2021). Ezen figyelemreméltó hidrometallurgiai kioldási eljárás fémemésztő baktériumokat használ, mely folyamatot széles körben vizsgálták az elmúlt években, elősorban az alacsony kezelési és visszanyerési igénye, a környezetre gyakorolt csekély hatása (szemben a pirometallurgiai és hidrometallurgiai folyamatokkal) és az alacsony működési költsége miatt a lítium-ion akkumulátorok szervesen és szerves kioldási eljárásaihoz képest. A fémemésztő baktériumokat és gombákat széles körben vizsgálják a Li-ion akkumulátorok fémkomponenseinek újrahasznosítására (Martins et al., 2021).

A fent említett pozitívumok mellett, (mint a költség- és környezetvédelmi előnyök) az alacsony átteresztőképességgel és a lassú bioreakció kinetika miatti alacsony kioldási sebességgel kapcsolatos aggályok – mivel a biohidrometallurgiai folyamat napokat emészt fel ugyanazon hatékonyság eléréséhez, mint a savas kioldás (Martins et al., 2021) – e technológia életképes kereskedelmi alkalmazását hátrányosan befolyásolják (Bai, 2020).

5. Következtetések / Összefoglaló

A tanulmány fő célja a jelenleg nagy népszerűségnek örvendő elektromos járművek háttérének vizsgálata volt a rendelkezésre álló szakirodalom alapján. A szakirodalmi bázis szűkítéséhez a szisztematikus irodalomkutatás (PRISMA SLR) elemeit hívtuk segítségül.

A Scopus adatbázisban szűkített elérhető tanulmányok alapján elemzésre került a ma kapható elektromos járművekben legnagyobb számban megtalálható lítium-ion akkumulátorok előnyei, kémiai fejlesztési lehetőségeinek előrelépései valamint hátrányai, amely által választokat kaphattunk a tanulmányban feltett kutatási kérdésre a lítium-ion akkumulátorokkal kapcsolatos fenntarthatósági akadályokra vonatkozóan. Így azon – a felhasználó számára ismert – aggályok, mint a hosszú töltési idő, az alacsony energiasűrűség (például a külső környezet alapján változó hatótáv), illetve a biztonság kérdése mellett globális szintű akadályok is megjelölésre kerültek, amelyek bár a felhasználók számára közvetlenül nem érzékelhetőek, mégis a lítium-

ion akkumulátorok fenntarthatóságát kihívások elé és megoldási javaslatok kidolgozására kényszerítik. A tárgyalt aggályokra reagálva a tanulmány második szakaszában a lítium-ion akkumulátoroktól eltérő, más összetételű energiatároló rendszerek fejlesztési fázisai, főbb ismérvei kerültek bemutatásra, válaszokat keresve az új, lehetséges alternatív útvonalakra, melyek a hatékonyabb energiatároló rendszerek megvalósítását célozzák. Az elemzésből kiderült, hogy a lehetséges jövőbeli energiatároló rendszerek összetételei közül érezhetően a szilárdtest akkumulátorok lehetnek a legnagyobb vetélytársai a lítium-ion akkumulátoroknak, mivel biztonságban, stabilitásban és energiasűrűségben is nagyobb hatékonyságot ígérnek. A tanulmány az elektromos járművekben használt, már korukat megélt, kapacitásukat elvesztett lítium-ion akkumulátorok 3 újrahaznosítási útvonalának bemutatásával zárult.

A kutatás további fejlesztéseként az új akkumulátor technológiák gyártását övező fenntarthatósági vizsgálata hozhat majd olyan kézzelfogható eredményeket, melyekkel összehasonlíthatóvá válhat a jelenlegi Li-ion akkumulátorok fenntartható gyártása. Ezen adatokra azonban egyelőre várni kell, mert a korábban említett akkumulátor típusok nagyrésze még a fejlesztési szakaszuk különböző fázisait élék meg.

Irodalomjegyzék

- Ajanovic, A. & Haas, R. (2019). On the environmental benignity of electric vehicles. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(3), 416–431. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0252>
- Amit, K. (2018). *The spiralling environmental cost of our lithium battery addiction*. <https://www.wired.co.uk/article/lithium-batteries-environment-impact> (Letöltve: 2022.12.01.)
- Bai, Y., Muralidharan, N., Sun, Y. K., Passerini, S., Whittingham, M. S. & Belharouak, I. (2020). Energy and environmental aspects in recycling lithium-ion batteries: Concept of Battery Identity Global Passport. *Materials Today*, 41, 304–315. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.09.001>
- Balon, V., Sharma, A.K. & Barua, M.K. (2016). Assessment of barriers in green supply chain management using ISM : a case study of the automobile industry in India. *Global Business Review*, 17(1), 116e135. <https://doi.org/10.1177/0972150915610701>
- Battery University (2022). *BU-205: Types of Li-Ion*. <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion> (Letöltve: 2022.12.01.)
- Chen, M., Ma, X., Chen, B., Arsenault, R., Karlson, P., Simon, N. & Wang, Y. (2019). Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries. *Joule*, 3(11), 2622–2646. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.014>
- Chunwen, S., Shreyas, R., John, B. G. & Feng, Z. (2011). Monodisperse Porous LiFePO₄ Microspheres for a High Power Li-Ion Battery Cathode. *American Chemical Society*, 133(7), 2132–2135. <https://doi.org/10.1021/ja1110464>
- De Oliveira, U. R., Espindola, L. S., Da Silva, I. R., Da Silva, I. N., Rocha, H. M. (2018). A systematic literature review on green supply chain management: research implications and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 187, 537–561. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.083>
- Deloitte (2022). *2022 Global Automotive Consumer Study*. Key findings: Global focus countries. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Consumer-Business/us-2022-global-automotive-consumer-study-global-focus-final.pdf> (Letöltve: 2022.12.05.)
- EDGAR/JRC (2021). Verteilung der CO₂-Emissionen weltweit nach Sektor bis 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167957/umfrage/verteilung-der-co-emissionen-weltweit-nach-bereich/> (Letöltve: 2022.12.05.)

- Fotouhi, A., Auger, D.J., Propp, K., Longo, S. & Wild, M. (2016). A review on electric vehicle battery modelling: From Lithium-ion toward Lithium–Sulphur. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1008–1021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.009>
- Gong, C., Xue, Z., Wen, S., Ye, Y. & Xie, X. (2016). Advanced carbon materials/olivine LiFePO₄ composites cathode for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 318, 93–112.
- Hannan, M. A., Hoqou, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., Ker, P. J. (2018). State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. *IEEE Access*, 6, 19362–19378. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2817655>
- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575, 75–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>
- Horváth&Partners (2020). Status quo der E-Mobilität in Deutschland. <https://www.horvath-partners.com/de/media-center/studien/faktencheck-e-mobilitaet-status-quo-der-e-mobilitaet-in-deutschland-update-2020/> (Letöltve: 2022.11.26.)
- Hua, Y., Zhou S., Huang, Y., Liu, X., Ling, H., Zhou, X., Zhang, C. & Yang, S. (2020). Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 478, 228753. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228753>
- Kim, H., Lee, K., Kim, S. & Kim, Y. (2016). Fluorination of free lithium residues on the surface of lithium nickel cobalt aluminum oxide cathode materials for lithium ion batteries. *Materials & Design*, 100, 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.121>
- Kushwaha, G.S. & Sharma, N.K. (2016). Green initiatives: a step towards sustainable development and firm's performance in the automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 121, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.072>
- Lai, Q, Zhang, H., Li, X., Zhang, L. & Cheng, Y. A novel single flow zinc-bromine battery with improved energy density. *Journal of Power Sources*, 235, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.01.193>
- Langkau, S. & Erdmann, M. (2021). Environmental impacts of the future supply of rare earths for magnet applications. *Journal of Industrial Ecology*, 25(4), 1034–1050. <https://doi.org/10.1111/jiec.13090>
- Lee, J.H., Yoon, C.S., Hwang, J.Y. Kim, S.J., Maglia, F., Lamp, P., Myungd, S.T. & Sun Y.K. (2016). High-energy-density lithium-ion battery using a carbon-nanotube–Si composite anode and a compositionally graded Li[Ni_{0.85}Co_{0.05}Mn_{0.10}]O₂ cathode. *Energy & Environmental Science*, 9(6), 2152–2158. <https://doi.org/10.1039/C6EE01134A>
- Leonie, S.-K. & Dev, M. (2022). eMobility – In-depth Market Insights & Data Analysis. Statista. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/49256/dokument/emobility-market-insights-und-analysis/>
- Lin, R.-J., Chen, R.-H. & Huang, F.-H. (2014). Green innovation in the automobile industry *Industrial Management & Data Systems*, 114(6), 886–903. <https://doi.org/10.1108/IMDS-11-2013-0482>
- Lombardo, T., Lambert, F., Russo, R., Zanotto, F., M., Frayret, C., Toussaint, G., Stevens, P., Becuwe, M. & Franco, A.A. (2022). Experimentally Validated Three-Dimensional Modeling of Organic-Based Sodium-Ion Battery Electrode Manufacturing. *Batteries & Supercaps*, 5(8), e202200116. <https://doi.org/10.1002/batt.202200116>
- Martin, K. (2022). *Absatz von Elektroautos weltweit bis 2021*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/406683/umfrage/anzahl-der-verkaeufe-von-elektroautos-weltweit-prognose/> (Letöltve: 2022.10.07.)
- Martins, L.S., Guimarães, L.F., Junior, A.B.B., Tenório, J.A.S., Espinosa, D.C.R. (2021). Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability. *Journal of Environmental Management*, 95, 113091. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113091>

- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A. & Yokochi, A. (2019). Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. *Energies*, 12(6), 1074. <https://doi.org/10.3390/en12061074>
- Milborrow, I. P., Suran, K., Monkhouse, C., Gilbert, M. & Huntle, J. (2021). *Net Zero Economy Index 2021: Code Red To Go Green*. PwC, UK. <https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/net-zero-economy-index-2021.pdf> (Letöltve: 2022.12.02.)
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. & The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Parajuly, K., Ternald, D. & Kuehr, R. (2020). *The Future of Electric Vehicles and Material Resources: A Foresight Brief*. UNU/UNITAR - SCYCLE (Bonn) & UNEP-IETC (Osaka).
- Population.City (2022). *Norway Population*. <http://population.city/norway/> (Letöltve: 2022.10.07.)
- PRISMA (2021). *Welcome to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) website!* <http://www.prisma-statement.org/> (Letöltve: 2022.11.09.)
- Rónay P. (2021). *A lítium jelenti a jövőt? Vannak hátrányai is a használatának?* <https://xforest.hu/litium/> (Letöltve: 2022.12.05.)
- Stampatori, D., Raimondi, P. P. & Noussan, M. (2020). Li-Ion Batteries: A Review of a Key Technology for Transport Decarbonization. *Energies*, 13(10), 2638. <https://doi.org/10.3390/en13102638>
- Staples, M. & Niazi, M. (2006). Experiences using systematic review guidelines. *Journal of Systems and Software*, 80(9), 1425–1437. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.09.046>
- Thackeray, M.M., David, W.I.F., Bruce, P.G. & Goodenough, J.B. (1983). Lithium insertion into manganese spinels. *Materials Research Bulletin*, 18(4), 461–472. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(83\)90138-1](https://doi.org/10.1016/0025-5408(83)90138-1)
- Tóth Á. (2022). *A Comprehensive, Automated, and Systematic Literature Review on Applied P-graph Research with a Focus on Sustainability and Resilience*. Conference presentation. The 6th Sustainable Process Integration Laboratory Scientific Conference (SPIL'22), Brno, Csehország.
- U.S. Geological Survey (2019). *Mineral commodity summaries 2019*. National Minerals Information Center, Reston, VA. <https://doi.org/10.3133/70202434>
- Zhang, Z., Zhang, Q., Chen, Y., Bao, J., Zhou, X., Xie, Z., Wei, J. & Zhou, Z. (2015). The First Introduction of Graphene to Rechargeable Li–CO₂ Batteries. *Angewandte Chemie*, 54(22), 6550–6553. <https://doi.org/10.1002/anie.201501214>
- Zheng, X., Zhu; Z., Lin; X., Zhang, Y., He; Y., Cao; H. & Sun, Z. (2018). A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries. *Engineering*, 4(3), 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.018>
- Zhou, X., He, W.-z., Li, G.-m., Zhang, X.-j., Huang, J.-w. & Zhu, S.-g. (2010). Recycling of Electrode Materials from Spent Lithium-Ion Batteries. In *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Chengdu, China, 18-20 June 2010* (pp. 1–4). <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5518015>