

DIPLOMADOLGOZAT

Fekete Noémi Mercédesz

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Műszaki menedzser mesterképzési szak

**EGY VÁLLALAT ELEKTROMOS ÉS DÍZEL
TEHERGÉPJÁRMŰVEINEK MŰSZAKI-GAZDASÁGI
MODELLEZÉSE ÉS ELEMZÉSE**

Belső konzulens:	Dr. Daróczy Miklós egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Műszaki Menedzsment Tanszék
Külső konzulens:	Endródi Tamás kereskedelmi igazgató
Készítette:	Fekete Noémi Mercédesz

Gödöllő

2024

MŰSZAKI INTÉZET
MŰSZAKI MENEDZSER MESTERSZAK
Termelés- és minőségmenedzsment specializáció

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Fekete Noémi Mercédesz (YPFOEE)

részére

A diplomadolgozat címe:

Egy vállalat elektromos és dízel tehergépjárműveinek műszaki-gazdasági modellezése és elemzése

Feladatkiírás:

Tekintse át a hazai és nemzetközi szakirodalmat az elektromos tehergépjármű témában! Végezzen primer kutatást és elemezze! Készítsen egyedi járműspecifikációt és szimulációt a megfelelő elektromos jármű meghatározásához! Hasonlítsa össze a kiválasztott elektromos tehergépjármű üzemeltetési költségét, egy dízel üzemű tehergépjármű üzemeltetési költségével! Vizsgálja ezek alakulását az évek múlásával! Elemezze a járművek költségstruktúráját és fejtse ki az abból levonható következtetéseket! Fogalmazza meg javaslatait az elektromos tehergépjárművek jövőbeli gazdaságos üzemeltetésével kapcsolatosan!

Közreműködő tanszék: Műszaki Menedzsment

Külső konzulens: *Endrődi Tamás kereskedelmi igazgató, Volvo Hungária Kft., 2051 Biatorbágy, Budai út 2.*

Belső konzulens: *Dr. Daróczy Miklós egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet*

A dolgozat beadási határideje: 2024. április 29.

Kelt: Budapest, 2024. április 26.

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt: *Bp.*, *2024* év *04* hó *29* nap


(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke	2
1. Bevezetés.....	3
2. Hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése	5
2.1. A szállítmányozás jelenlegi helyzete	5
2.2. Környezetszennyezés és az áruszállítás hatása a környezetünkre	7
2.3. Nemzetközi és EU-s éghajlatvédelmi intézkedések.....	10
2.3.1. Párizsi éghajlatvédelmi egyezmény.....	10
2.3.2. Európai Unió intézkedései	10
2.4. Alternatív meghajtások.....	14
2.5. Elektromos jármű.....	17
2.5.1. Története	17
2.5.2. Előnyei, hátrányai és tapasztalatok	23
2.5.3. Működésének műszaki háttere	25
2.5.4. Teljes tulajdonlási költség – TCO	33
3. Anyag és módszer	36
3.1. Renault Trucks bemutatása.....	36
3.2. Esettanulmány	37
3.3. Teljes tulajdonlási költség számítás	38
4. Eredmények és értékelésük	46
4.1. Járműspecifikáció és szimuláció	46
4.2. Költség modell.....	51
4.2.1. Költségtényezők.....	52
4.2.2. Teljes tulajdonlási költség (TCO) és a visszavásárlási érték	58
4.2.3. Költségek megoszlása	61
4.2.4. Kilométerenkénti költség modellezése a futásteljesítmény változása esetén.....	64
5. Következtetések és javaslatok	66
6. Összefoglalás	69
7. Források jegyzéke.....	71

Rövidítések jegyzéke

ACJB - Alternating Current Junction Box	váltakozó áramú csatlakozódoboz
BMU - Battery Management Unit	akkumulátormenedzsment egység
CCCM - Combined Charging System Control Module	kombinált töltőrendszervezérlő modul
CMS - Coolant Management System	hűtőfolyadék kezelő rendszer
CCS - Combined Charging System	fedélzeti kombinált töltőrendszer
CSU - Charging Switch Unit	töltőkapcsoló-egység
EM - Electric Motor	villanymotor
EMD - Electric Motor Drive	hajtáslánc-vezérlő
ePTO - Electric Power Take-Off	mellékajtás elektronikus vezérléssel
ESCM - Energy Storage Control Module	energiatároló-vezérlő modul
ESS - Energy Storage System	energiatároló rendszer
EVC - Electromobility Vehicle Control Module	gépjárművezérlő modul
HPCU - Hybrid Powertrain Control Unit	hibrid hajtásláncvezérlő-egység
MDS - Motor Drive System	motorhajtásrendszer
MPB - Modular Power Box	moduláris tápegység
On-BC - On-Board Charger	fedélzeti töltő
PCM - Powertrain Control Module	erőátviteli vezérlőegység
PUCU - Pump Control Unit	hűtőközeg-szivattyú
SOC - State of Charge	töltöttségi szint
SOH - State of Health	akkumulátor egészségi állapota
SOP - State of Power	elérhető energia mennyiség
TCO - Total Cost of Ownership	teljes tulajdonlási költség
TVJB - Traction Voltage Junction Box	hajtás feszültség csatlakozódoboz
TVMU - Traction Voltage Monitoring Unit	hajtás feszültség ellenőrző egység
TVS - Traction Voltage System	meghajtás elektromos rendszere

1. Bevezetés

Diplomadolgozatom témájául egy konkrét vállalat dízel és jövőbeli elektromos tehergépjárművének műszaki és gazdasági elemzését választottam. Ennek oka, hogy az elmúlt három évben a közúti fuvarozási szektor egyik legidőszerűbb és egyben legérdekesebb témája az elektromobilitás. Számos fuvarozással kapcsolatos folyóiratban foglalkoztak e témával és az elektromos kamionok világszerte konferenciák és kiállítások témájául szolgáltak. A technológia és az azzal kapcsolatos újdonságok mindenkit érdekelnek, viszont ami a szállítványozási vállalatokat leginkább érdekli, az az új technológiával járó valós költségek. Ezzel kapcsolatos cikk vagy tanulmány még nem készült Magyarországon, főleg nem egy konkrét tehergépjármű márka részéről.

A dolgozat témájának kiválasztása elég egyszerű volt számomra, ugyanis 2017 óta a Volvo Hungária Kft.-nél dolgozom, a Renault Trucks értékesítési részlegén. Az elmúlt három évben folyamatosan követtem az elektromos tehergépjárművekkel kapcsolatos híreket és innovációkat. Szerencsémre a Volvo Csoportba tartozó Renault Trucks éllovasa az elektromos technológiának, így egy olyan típusú jármű kerül a dolgozatban bemutatásra, ami jelenleg már több országban is forgalomban van.

A dolgozat célja a hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése, az alkalmazott módszerek ismertetése és használatuk segítségével a primer kutatás elvégzése és elemzése. Munkám fókuszában az elektromos tehergépjármű és üzemeltetési költségének összehasonlítása áll egy dízel üzemű tehergépjármű üzemeltetési költségével. Emellett kifejtésre kerül, hogy melyek azok a hatások, politikai döntések, amelyek miatt az elektromos járművek kora újra beköszöntött. A dolgozat betekintést enged az elektromos autózás rövid történetébe, jelenlegi működésének műszaki hátterébe, megfogalmazza az előnyeit, hátrányait és a jelenlegi tapasztalatokat. A szekunder kutatás zárásaként ismertetem a teljes tulajdonlási költség számítással kapcsolatos legfontosabb tanulmányokat és a kutatásomban használt módszert.

Végül a járműspecifikáció és a szimuláció segítségével egy átfogó összehasonlítás készül a két járműtípus költségeiről. Választ ad arra a kérdésre, hogy az összköltség tekintetében van-e különbség, és ha igen, akkor az milyen mértékű, melyek azok a költségtényezők, amelyek leginkább befolyásolják a kapott eredményeket. A téma szempontjából választ kapunk arra, hogy az adott elektromos jármű esetén mennyi lesz az optimális üzemeltetési idő. A kutatás

zárásaként modellezéssel vizsgálom meg, hogy a futásteljesítmény milyen hatással van a két jármű kilométerenkénti költségére.

Remélem, hogy következtetéseim és javaslataim hozzájárulnak majd a további kutatásokhoz és a jövőben segítségére lesznek a magyarországi Renault Trucks értékesítési csapatának.

2. Hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése

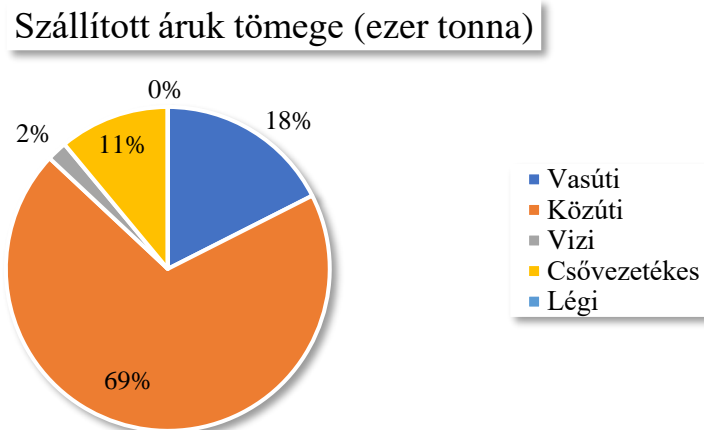
A szakirodalmi áttekintés során leginkább idegen nyelvű források segítettek munkámat, melyek többsége internetes forrásból származik. Szekunder kutatásom elsődleges célja az elektromos jármű teljeskörű bemutatása. Ezen kívül a szállítmányozás jelenlegi helyzetének és környezeti hatásának ismertetése. Illetve azoknak az intézkedéseknek a kifejtése, amelyek a tehergépjármű gyártókat és fuvarozókat ösztönzik a dízel járművek leváltására. Ez a fejezet az alternatív meghajtások ismertetésén túl mélyebb betekintést enged az elektromos járművek történetébe, pozitív és negatív tulajdonságaiba, működésébe és költségeinek meghatározásába.

2.1. A szállítmányozás jelenlegi helyzete

Az EU országaiban, mind hazánkban is egyre nagyobb szerepet tölt be a közúton szállított termékek aránya, ez a korszerű gyártásnak és a kereskedelem-szervezési eljárásoknak köszönhető. A haszongépjárművek nagymértékben hozzájárulnak a gazdasági növekedéshez és foglalkoztatottsághoz. Előnyei közé tartozik a gyorsaság, a háztól házig szállítás és a rugalmasság. A közúti közlekedés egyik hátránya, hogy a környezeti zajforrások közül ez okoz leginkább kellemetlenséget az emberek számára (Kiss, 2002).

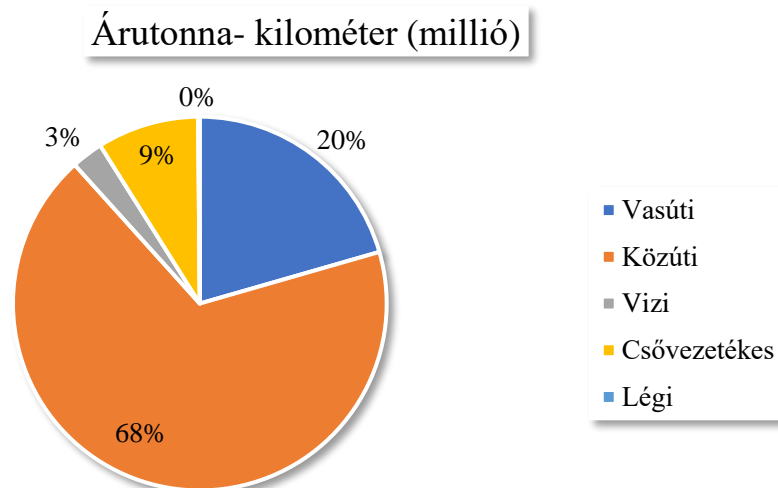
A jelenleg legfrissebb KSH adatok szerint, a szállított áruk tömege 2022-ben összesen 295 millió tonna volt. Az 1. ábra alapján áruk tömegének több mint kétharmadát közúton szállították el. 2022-ben a szállított áruk mennyisége vasúton 18%-ot, csővezetéken 11%-ot, vízen pedig közelítőleg 2 %-ot tett ki. Belföldi viszonylatban a közúti fuvarozás a meghatározó. Ha nemzetközi viszonylatban vizsgáljuk a fuvarozott áruk mennyiségét, látható, hogy a közúti fuvarozás kisebb arányt képvisel, mint belföldön (KSH, 2023; KSH, 2023).

1. ábra: Szállított áruk tömege 2022-ben
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (2023) adatok alapján)



Az árutonna-kilométerben mért teljesítmény a különböző áruszállítási ágazatokban összesen több mint 55,2 milliárd volt és ennek ugyancsak kétharmada közúton teljesült (2. ábra). A vasúti szállítás tekintetében ez utóbbi 20% körül volt. Tonnakilométer teljesítményben mérve 9%-ot tett ki a csővezetéken szállítás aránya. A legkisebb részesedése a vízi szállításnak volt, 3% körüli, míg a légi szállítás nagysága elhanyagolható (KSH, 2023; KSH, 2023).

2. ábra: Árutonna-kilométer 2022-ben
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (2023) adatok alapján)



Az áruszállítás iránti kereslet intenzíven növekszik a lakosságellátás és a termeléshez kapcsolódó szállítások területén. A szállítás iránti kereslet növekedésének fő okai, a logisztikai folyamatokban keresendők (Sós, 2020). Ez az egyetlen olyan ágazat, amelyben az elmúlt

harminc évben nőtt az üvegházhatású gázok kibocsátása, 1990 és 2019 között 33,5%-kal emelkedett (Európai Parlament, 2023). A közlekedés környezeti hatásai közé tartozik még a zajszennyezés, a talaj- és vízszennyezés, valamint a járművekből származó hulladék. A levegőszennyezést elsősorban a belső égésű motorok által kibocsátott gázok okozzák. A belső égésű motorok lehetnek benzin- vagy dízelmotorok. A fő különbség közöttük az üzemanyag elégetésének módjában rejlik. A dízelmotorok kevesebb üzemanyagot fogyasztanak és hatékonyabbak, ezért a teherszállításban (közúti, vasúti és hajózási) és a nehézgépek üzemeltetésében használják őket, míg a benzinmotorokat főként személygépkocsikban és motorkerékpárokból alkalmazzák (Sós, 2020).

A közúti áruszállítás általában véve már most is alacsonyabb szén-dioxid-kibocsátású, mivel ebben az ágazatban egy megfelelően működő fuvarozó cég a lehető legalacsonyabb dízel fogyasztást próbálja tartani. A teherautók termelékenységének folyamatos javítása mellett a gyártók még üzemanyag-takarékosabbá tették a járműveket. 1960 és 2015 között a teherautók átlagsebessége megduplázódott, teljesítményük majdnem megháromszorozódott, átlagos fogyasztásuk pedig megfeleződött. Egy nyergesvontató esetében 1960 óta az átlagsebesség megduplázódott, az átlagfogyasztás megfeleződött, a teljesítmény megháromszorozódott és az össztömeg 26%-al nőtt. A tehergépkocsik zajszennyezésének csökkentésére is jelentős erőfeszítéseket tettek a gyártók. Ma 32 darab tehergépkocsira lenne szükség ahhoz, hogy elérjük egy 1970-es évekből származó jármű zajszintjét (Renault Trucks, 2021a).

A fenti adatok azt tükrözik, hogy a közúti fuvarozás nagyon meghatározó iparág. Ugyanakkor pont ez az, ami miatt súlyos problémát okoz.

2.2. Környezetszennyezés és az áruszállítás hatása a környezetünkre

Ma már köztudott, hogy az emberi tevékenységből eredő üvegházhatás jelentős szerepet játszik az éghajlat alakításában. A múltban a szén-dioxid-kibocsátást csökkentő energiaforrások bevezetését, például a kőszén földgázzal való felváltását vagy alternatív energiaforrások bevezetését tekintették a szén-dioxid-probléma egyetlen megoldásának. Ez azonban a globális energiagazdaság olyan átalakítását igényelné, amelyet nem lehet gyorsan megvalósítani és akár a világgazdaságot is tönkre tenné.

A szén-dioxid az oxigénnel és a nitrogénnel ellentétben kulcsfontosságú üvegházhatású gáz, amely elnyeli és kibocsátja a hőt. Az üvegházhatású gázok segítenek fenntartani a Föld

átlaghőmérsékletét 15-16 °C körül, mivel fokozatosan sugározzák a hőt, és megakadályozzák, hogy fagypontra alacsonyodjon. Az üvegházhatású gázok megnövekedett szintje azonban felborította a Föld energiaegyensúlyát, ami a hő megkötéséhez és a globális átlaghőmérséklet emelkedéséhez vezetett (Sós, 2021).

Az utóbbi húsz évben a tudományos közösség létrehozta a lábnyom-stílus mutatókat, hogy felhívja az emberek figyelmét a környezetre gyakorolt hatásukra. A lábnyomcsaládba tartozik például az ökológiai-, az energia-, a szén- és a vízlábnyom. A szén-dioxid-lábnyom közvetlenül és közvetve egy tevékenység által okozott, illetve egy termék életciklusa során felhalmozódott CO₂ -kibocsátás kizárólagos teljes mennyiségének összessége (Wiedmann & Minx, 2008). A karbon-lábnyom kifejezéssel is gyakran találkozunk, ami figyelembe veszi például a CH₄ vagy az N₂O kibocsátásokat is, amelyek még nagyobb hatással vannak a globális felmelegedésre, mint a CO₂.

Az International Transport Forum (ITF) 2016-os tanulmánya részletesen vizsgálja a nemzetközi kereskedelmi trendek, különösen az áruszállítás változásának hatását az ökológiai lábnyomra, és becsüli ezek mértékét egészen 2050-ig. A tanulmány szerint a globális teherfuvarozás CO₂-kibocsátása meg négyeszeresíthető a jelenlegi értékekhez képest. Aminek az az oka, hogy a nemzetközi kereskedelem növekszik, a nemzetközi logisztikai hálózatok egyre több gazdasági központot kötnek össze az óceánokon és kontinenseken át. Ezáltal az ellátási láncok hosszabbá és bonyolultabbá váltak, illetve a változó fogyasztói preferenciák és az új gyártási követelményeknek köszönhetően változtak a nemzetközi kereskedelmi trendek és a teherfuvarozási minták (Mészáros & Boldizsár, 2021). Napjaink egyik népszerű szállítási trendje a *Just-In-Time* rendszer, amely egyre kisebb mennyiségű áru egyre rövidebb időközönkénti szállítását jelenti. Ez fokozatosan csökkenti a készletezési költségeket, de növeli a környezetterhelést. Mivel ez a rendszer az áruk mozgatásának rugalmasságát és pontosságát hangsúlyozza, a legtöbb árut közúton szállítják, ami a szennyező anyagok, mérgező gázok és a zaj tekintetében jelentős környezeti hatással jár (Sós, 2021).

Valójában a közúti szállítás a CO₂-kibocsátás fő forrása a nemzetközi kereskedelemmel kapcsolatos közlekedésben, mivel itt a legmagasabb a tonna/kilométerenkénti kibocsátás. A kibocsátás intenzitása más közlekedési módokhoz képest magas, a kereskedelemmel kapcsolatos teher szállítási kibocsátások több mint felét teszi ki. A közúti áruszállítás 2050-re a nemzetközi kereskedelemhez kapcsolódó összes kibocsátás 56%-át teszi ki, szemben a 2010-es 53%-kal.

Először is, a kereskedelmi volumen növekedése mellett az átlagos szállítási távolság növekedése azt is jelenti, hogy az árukat nagyobb távolságra szállítják a főbb kereskedelmi partnerek között, ami több üzemanyagot éget el. Ázsiában volt a legnagyobb abszolút növekedés a CO₂-kibocsátásban, míg Afrikában a legerősebb relatív növekedés (+689%). Másodszor, az ázsiai és afrikai országok közötti áruszállítás jelentősen megnőtt. Ez azt eredményezi, hogy a szén-dioxid-intenzív közúti szállítás egyre növekvő kereskedelmi volumeneket eredményez, mivel ezekben a régiókban az alternatív közlekedési infrastruktúra jelenleg kevésbé fejlett, mint másutt. Harmadszor, a légi teherszállítmány versenyelőnyre tett szert a nagy értékű áruk szállításában, és mivel az országok egyre összetettebb termékeket exportálnak, ez megnövelte a légi áru és a légi kibocsátás arányát.

A légszennyezés után a zaj a második legfontosabb egészségügyi problémákat okozó környezeti tényező az Egészségügyi Világszervezet (WHO) egyes megállapításai szerint. Természetesen a légszennyezés több idő előtti halálessel jár, mint a zajszennyezés. Úgy tűnik azonban, hogy a zaj nagyobb hatással van az életminőségre és a mentális egészségi mutatókra (EEA, 2020).

A zajnak való hosszán tartó kitettség különféle egészségügyi problémákhoz, például alvászavarokhoz, a szív- és érrendszerre és az anyagcserére gyakorolt negatív hatásokhoz, valamint a gyermekek kognitív nehézségeihez vezethet. Az adatok arra utalnak, hogy a környezeti zaj évente körülbelül 48 000 új ischaemiás szívbetegség és 12 000 korai halálessért felelős. Ezenkívül körülbelül 22 millió ember van folyamatosan kitéve magas zajszintnek, és 6,5 millióan szenvednek krónikus alvászavarral (EEA, 2020).

A városi zaj csökkentésére irányuló leggyakoribb intézkedések közé tartozik a régi aszfaltozott utak simább aszfaltra cserélése, a forgalomirányítás javítása, a 30 km/h sebességkorlátozás bevezetése, a tömegközlekedési eszközökön a csendes gumibroncsok használata a tömegközlekedési eszközökön, az elektromos járművek infrastruktúrájának bővítése a városokban, valamint az aktív közlekedési módok, például a gyaloglás és a kerékpározás ösztönzése (EEA, 2021).

2.3. Nemzetközi és EU-s éghajlatvédelmi intézkedések

2.3.1. Párizsi éghajlatvédelmi egyezmény

Az egyezményt megelőző néhány évben az UNFCCC tagállamai intenzív tárgyalásokat folytattak egy új, átfogó megállapodás kidolgozásáról. Ennek eredményeképpen valamennyi tagállam konkrét kötelezettségvállalásokat tett, és célokat tűzött ki az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. 2015. december 12-én 195 ország gyűlt össze Párizsban a 21. Felek Konferenciáján konferenciájára, amely ratifikálta a mérföldkőnek számító Párizsi Megállapodást. Aláírására a Föld napján, 2016. április 22-én került sor (FAO, 2018).

A Párizsi Megállapodás jogilag kötelező érvényű nemzetközi egyezmény az éghajlatváltozásról, amely 2016. november 4-én lépett hatályba. Célja, hogy a globális felmelegedést 2°C alá csökkentse, lehetőleg 1,5°C -ra korlátozza az iparosodás előtti szinthez képest. A Párizsi Egyezmény végrehajtása gazdasági és társadalmi átalakulást igényel, amely az országok egyre ambiciózusabb éghajlat-változási intézkedéseinek 5 éves ciklusán alapul. A hosszú távú cél érdekében a felszólították az országokat, hogy 2020-ig dolgozzanak ki és nyújtsanak be hosszú távú, alacsony üvegházhatású gázkibocsátású fejlesztési stratégiákat. Az országok létrehozta egy fokozott átláthatósági keretrendszert. A fokozott átláthatósági rendszer keretében az országok 2024-től kezdődően átlátható módon fognak jelentést tenni az éghajlatváltozás enyhítése, az alkalmazkodási intézkedések és a nyújtott, vagy kapott támogatás terén tett intézkedésekről és elért eredményekről. Bár a Párizsi Megállapodás céljainak eléréséhez még jelentősen fokozni kell az éghajlatvédelmi erőfeszítéseket, a megállapodás hatálybalépése óta eltelt évek máris alacsony szén-dioxid-kibocsátású megoldásokat és új piacokat teremtettek. Egyre több ország, régió, város és vállalat jelöl ki szén-dioxid-semleges célokat. Az alacsony szén-dioxid-kibocsátású megoldások versenyképessé válnak, a kibocsátások 25%-áért felelős gazdasági ágazatokban. Ez a tendencia leginkább a villamosenergia- és a közlekedési ágazatban figyelhető meg (UNFCCC, S. a.).

2.3.2. Európai Unió intézkedései

Az EU kibocsátásának körülbelül egyötödért a közúti közlekedés a felelős. A szén-dioxid-kibocsátásának csökkentésére két módszer létezik: növelni a járművek hatékonyságát, vagy megváltoztatni a felhasznált üzemanyagtypust. A lakosok, a városok és a fogyasztók a környezetbarát mobilitás irányába való elmozdulást akarnak. A közlekedés azonban az egyetlen

olyan ágazat az EU-ban, ahol a kibocsátás az elmúlt években nőtt. Az EU-ban a közúti közlekedésből származó üvegházhatású gázkibocsátás több mint 25%-a, az EU egészében pedig az üvegházhatású gázkibocsátás mintegy 6%-a a nehézgépjárművekből, például a teherautókból, városi és távolsági buszokból származik. Ez a tendencia elsősorban a közúti közlekedés iránti kereslet növekedésének köszönhető, amely várhatóan tovább fog nőni (European Commission, 2023).

Ezért az Európai Parlament és Tanács létrehozta a 2019/1242 rendeletet az új nehézgépjárművek szén-dioxid-kibocsátási előírásainak meghatározásáról. A rendelet szerint a 2019-es átlagszinthez képest (referencia időszak) az unió állományába tartozó új tehergépjárművek CO₂ kibocsátását csökkenteni kell a 2025-től 15 %-kal, 2030-tól pedig 30%-kal (Az Európai Unió hivatalos lapja, 2019).

A környezet védelmét biztosító intézkedések keretét többek között a közlekedésről szóló Fehér Könyv (2011) határozza meg. Ebben a dokumentumban tíz célt határoztak meg a versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer létrehozására, amely az üvegházhatású gázok kibocsátásának 60%-os csökkentésére vonatkozó célkitűzés elérését tartalmazza. A tíz cél közül három közvetlenül a közúti áruszállításhoz kapcsolódik.

Új üzemanyagok és meghajtási rendszerek kifejlesztése és bevezetése a fenntartható fejlődés elveivel összhangban 2030-ra felére csökkenteni kell a hagyományos meghajtású járművek számát a városi forgalomban, és 2050-re el kell távolítani őket a városokból, 2030-ra biztosítani kell gyakorlatilag CO₂-mentes logisztikát a nagyvárosokban, és csökkenteni kell az egyéb káros kibocsátásokat.

Az intermodális szállítási logisztikai láncok optimalizálása, beleértve az energiahatékonyabb közlekedési módok nagyobb mértékű használatát. 2030-ra a 300 km-nél hosszabb távolságokra irányuló közúti szállítás 30%-át más közlekedési módokra, például vasútra és vízi közlekedésre kell áttéríteni, 2050-re pedig az ilyen szállítás már több mint 50%-át. Ez elősegíti a hatékony ökológiai közlekedési folyosók kialakítását. E cél elérése érdekében a megfelelő infrastruktúrát ki kell bővíteni (Nowakowska-Grunt & Strzelczyk, 2019).

Az éghajlati válság kezelése érdekében csökkenteni kell az ágazat CO₂ kibocsátását. Ennek érdekében a Bizottság új célokat javasolt az EU éghajlatváltozással és szén-dioxid-mentesítéssel kapcsolatos célkitűzéseinek teljesítése érdekében, a fosszilis tüzelőanyagok iránti kereslet csökkentése mellett. Ha a javaslatot elfogadják, 2030-tól szigorúbb CO₂-kibocsátási normákat vezetnek be a nehézgépjárművekre, és a rendelet hatályát kiterjesztik a könnyű

tehergépjárművekre, a városi buszokra, az autóbuszokra és a pótkocsikra. Ezen felül a Bizottság a nulla kibocsátású autóbuszok városi területeken történő bevezetésének felgyorsítása érdekében azt javasolta, hogy 2030-tól minden új városi autóbusznek nulla kibocsátásúnak kell lennie. Ez az új célkitűzés a 2019-ben elfogadott célkitűzésre épül, amely a nehézgépjárművekre vonatkozó első uniós szintű szén-dioxid-kibocsátási előírás lesz. A hatálybalépéshez a Bizottság javaslatát az Európai Parlamentnek és az EU Tanácsának el kell fogadnia (European Commission, 2023).

A Bizottság új, ambiciózusabb uniós célértékeket javasolt az új nehézgépjárművek szén-dioxid-kibocsátására vonatkozóan 2030 után. A CO₂-kibocsátás javasolt csökkentése a 2019-es szintekhez képest a következő: 45%-kal 2030. január 1-jétől, 65%-kal 2035. január 1-jétől és 90%-kal 2040. január 1-jétől. A gyártókon múlik, hogy milyen technológiákat használnak e célok eléréséhez, például villamosítást, hidrogén-üzemanyagcellás vagy hidrogénnel működő belső égésű járműveket.

A pótkocsik energiahatékonyságának javítása költséghatékony módja a közúti közlekedési ágazat szén-dioxid-kibocsátásának csökkentésének, mivel viszonylag alacsony költségű technológiákkal, például aerodinamikai fejlesztésekkel érhető el. Ezért a rendelet hatályának a pótkocsikra való kiterjesztése tovább csökkenti a szén-dioxid-kibocsátást, és tovább csökkenti a fuvarozók teljes tulajdonlási költségét. A hatékonyabb pótkocsik használata 2031 és 2050 között a korábbi szabályozáshoz képest mintegy 23 millió tonnával (170 millió hordóval) csökkentené a fosszilis tüzelőanyagok (elsősorban a dízel és más olajtermékek) iránti keresletet. Ha egy hatékonyabb pótkocsit egy akkumulátoros elektromos jármű vontatna, akkor a pótkocsinak köszönhetően nagyobb hatótávolsággal rendelkezne, és kisebb akkumulátorokat használhatnának a feladat elvégzéséhez, így csökkentve az elektromos teherautó költségeit (European Commission, 2023).

1992 óta az EU egyre szigorúbb kibocsátási normákat ("Euro" szabvány) vezet be az EU-ban értékesített új járművekre. Ezeket a szabványokat a személygépkocsik esetében arab számokkal (Euro 1-6), a tehergépkocsik esetében pedig római számokkal (Euro I-VI) fejezik ki. A kibocsátást szabványosított laboratóriumi vizsgálatokkal mérik annak biztosítása érdekében, hogy a károsanyag-kibocsátás ne haladja meg az uniós előírásokban meghatározott értékeket. Ma az EU rendelkezik a világ legátfogóbb és legszigorúbb kibocsátási előírásaival. A legújabb, Euro 6-os szabványt 2014-ben vezették be. Azóta a személygépkocsikra és kisteherautókra vonatkozó Euro 6 további intézkedéseket vezetett be az NO_x- és

részecskeszennyező anyagok kibocsátásának további csökkentése érdekében valós vezetési körülmények között: Az Euro 6d, amely 2017 óta van érvényben, 2020-ban jelentős frissítést kapott. Egy újabb frissítés, az Euro 6e 2022-ben lépett hatályba. A kutatások azt mutatják, hogy a legszigorúbb Euro 7/VII forgatókönyv (azaz a NOx és a részecskékre vonatkozó nulla szabályozás) esetén a közúti közlekedés NOx-kibocsátása a személygépkocsik és a furgonok esetében kevesebb, mint 5%-kal, a tehergépkocsik esetében pedig körülbelül 2%-kal csökkenne (2035-re a 2020-as szinthez képest) az Euro 6d-hez képest. A jövőben a zéróemissziós járművek kibocsátásai valószínűleg meghaladják majd a kipufogógázok részecskéibocsátását. Ezért az Euro 7 új típusú szennyező anyagokat is bevezet, mint például a fékek és gumiabroncsok kopásából származó részecskék. A jelenlegi Euro 6 besorolású járművekhez hasonlóan az Euro 7-nek is csak évek múlva látjuk a hatását. Ez tehát egy olyan időszakban lesz érezhető, amikor a CO₂-szabályozás következtében egyre több nulla kibocsátású jármű kerül a piacra. Más szóval, a régebbi járművekre vonatkozó megoldás nélkül az Euro 7-nek csak marginális hatása lesz a közúti közlekedés NOx-kibocsátására (ACEA, 2022).

Látható, hogy az EU különböző előírásokkal, szabványokkal igyekszik eleget tenni a Párizsi megállapodásban vállalt kötelezettségeinek. Ezt tovább folytatva a 2023/958 irányelvben és a 2023/959 irányelvben elfogadták az EU „Irány a 55%!” kampányát. az EU "Fit for 55" csomagja átmeneti célként tűzi ki, hogy 2030-ra az 1990-es szinthez képest 55 százalékkal csökkenjen az üvegházhatású gázok kibocsátása. Ezen éghajlat-változási célok eléréséhez a megújuló energiaforrások (RES) részarányának az EU teljes energiatermelési és fogyasztási összetételében a korábban elértnél lényegesen nagyobbak kell lennie (Tran, 2022).

Az „Irány a 55%!” terv része EU *Emissions Trading System* intézményi reform. Ez az Európai Unió kibocsátáskereskedelmi rendszere, amely a világ legnagyobb szén-dioxid-piacának számít, és a fő eszköz, amely segíti az EU-t üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében. A rendszer meghatározza a szén-dioxid árát. Ezek olyan kibocsátási egységek, amelyekért az EU ETS hatálya alá tartozó szervezeteknek évente meghatározott számú kibocsátási egységet kell vásárolniuk, az éves üvegházhatásúgáz-kibocsátásuk függvényében. Az adott évben megvásárolható és eladható kibocsátási egységek számának felső határát minden évben meghatározzák és csökkentik. Ez gazdasági ösztönzőt jelent a vállalatok számára, hogy mérsékeljék kibocsátásukat. Néhány ágazatot azonban súlyosan érint a „kibocsátáshelyezés”, és versenyképességük növelése érdekében ingyenes kibocsátási egységeket kapnak. 2005-ös bevezetése óta a rendszer alá tartozó ágazatokban az EU kibocsátása 41%-kal csökkent. Az EU ETS körülbelül 10 000 vállalatot foglal magában az

Európai Gazdasági Térségen belül az energiatermelésben, a hőszolgáltatásban, az energiaintenzív iparágakban és a kereskedelmi repülésben (Európai Tanács, 2023).

Az ETS jelenlegi (negyedik) szakasza 2021-től 2030-ig tart. Ebben az időszakban az EU új célként tűzte ki, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását a 2005-ös szinthez képest 62%-kal csökkenti. Ez az erőművekre, az energiaigényes iparágak széles körére, a légi és tengeri közlekedésre vonatkozik. Az érintett kibocsátások: szén-dioxid (CO), nitrogén-oxid, perfluor-karbonok és metán.

Új, független kibocsátáskereskedelmi rendszert hoztak létre az épületekhez, a közúti közlekedéshez és az ipari tevékenységekhez kapcsolódó tüzelőanyagokra, amelyek nem tartoznak a meglévő kibocsátáskereskedelmi rendszer hatálya alá. 2005. január 1-jétől az e jogszabály hatálya alá tartozó tevékenységek üzemeltetői kötelesek fizetni az előző évi üvegházhatású gázkibocsátásért (1 tonna szén-dioxid (CO₂) vagy más, erősen egyenértékű üvegházhatású gázkibocsátás alapján).

2024. január 1. és 2030. december 31. között 20 millió kibocsátási egységet különítenek el annak érdekében, hogy a légi járművek üzemeltetőit a fosszilis tüzelőanyagokról való átállásra ösztönözzék. A közúti közlekedésben és az épületekben történő kibocsátáskereskedelem ösztönzése érdekében a társjogalkotók megállapodtak abban, hogy 2027-től külön, de párhuzamos kibocsátáskereskedelmi rendszert hoznak létre az ezen ágazatokban kibocsátott üzemanyagokra. Ez az ETS2-nek nevezett rendszer nem az üzemanyag végfelhasználóira, hanem azokra vonatkozik, akiknek jövedéki adót kell fizetniük az energia után (pl. adófizető raktárak és üzemanyag-szállítók) (EUR-Lex, 2023).

2.4. Alternatív meghajtások

A belső égésű motorral hajtott dízelüzemű járművek előnye a nagy hatótávolság, amelyet egyetlen tankolással meg lehet tenni. Hátrányuk azonban a viszonylag magas szennyezőanyag-kibocsátás, amely négy komponensből, szén-monoxidból, szénhidrogénekből és nitrogén-oxidokból áll, valamint a magas zajszennyezés (Szilágyi, et al., 2021). Jelenleg nincs még egy olyan tüzelőanyag, mint a kőolaj, ezért az alternatív megoldások mindig kompromisszumokkal járnak (Pézsza, et al., 2011).

A következő tüzelőanyagok lehetnek a belsőégésű motorok alternatívái: bioetanol, biodízel, LPG, CNG, hidrogén. Ezeknek a tüzelőanyagoknak mind meg van az előnye és a hátránya. Az élelmiszernövények bioüzemanyag-előállításra való felhasználásának etikai dilemmáját a második generációs bioüzemanyagok kezelték, amelyekhez nem használnak élelmiszernövényeket. Az LPG és a CNG a hagyományos fosszilis tüzelőanyagokhoz képest alacsonyabb károsanyag-kibocsátásuk miatt környezeti előnyökkel járó alternatív üzemanyagok. A CNG-üzemű járművekre való átállás jelentősen javította a levegő minőségét olyan városokban, mint Tokió és Delhi. Bár a szakértők úgy vélik, hogy a hidrogén idővel az elsődleges üzemanyagforrássá válik, bizonytalanság van a szükséges infrastruktúra időzítését és fejlesztését illetően.

A hajtáslánc és összetevőinek meghatározása a következőképpen írható le. A gépjármű hajtáslánca jellemzően különböző elemekből áll, kezdve a mechanikai energiát előállító erőforrástól, áthaladva a motoron, tengelyeken, tengelykapcsolókon, differenciálműveken és hasonló egységeken, a kerekekig, amelyek energiát adnak át a környező környezetnek. Ez magában foglalhatja a lánctalpakat és a légsavárokat is, az adott járműtől függően (Zinner, 2006).

A 20. század közepére a tervezőmérnökök már felismerték az elektromos meghajtás előnyeit, és megpróbálták a két meghajtási rendszert kombinálni a károsanyag-kibocsátás és a fogyasztás csökkentése érdekében. A hagyományos belsőégésű motorok fogyasztása, különösen városi környezetben, csökkenthető a fékezés során keletkező mozgási energia visszatáplálásával az elektromos rendszerbe, amely így gyorsításra és az elektromos segédberendezések működtetésére használható. A dízel- vagy benzinmotorok akkumulátorokkal kombinált használata számos előnnyel jár, mint például az energiahatékonyság növelése és a kibocsátás csökkentése a működés során. A legelterjedtebb lítium-ion akkumulátorok egy töltésre jutó hatótávolsága azonban még mindig alacsonyabb, mint a belsőégésű motoroké, mivel az üzemanyaghoz képest alacsonyabb az energiasűrűségük. A hibrid hajtáslánc négy alapvető üzemmódban működik. Tisztán elektromos hajtás: ebben az üzemmódban a belsőégésű motor teljesen kikapcsol, és a járművet kizárólag az elektromos motor hajtja. Hibrid üzemmód Ebben az üzemmódban a belsőégésű motor és az elektromos motor együttesen biztosítja a jármű mozgásához szükséges nyomatékot. Elektromos rásegítés üzemmód, amelyben a belsőégésű motor és az elektromos gép együttesen biztosítja a jármű egyenletes mozgásához szükséges nyomatékot. Hirtelen nyomatéknövekedéshez (pl. gyors gyorsítás) az elektromos motor alkalmas, és a vezérlő utasítja az elektromos gépet, hogy pozitív

nyomatékkal segítse a belsőégésű motort. Generátor üzemmódban a belsőégésű motor generátorként működik az elektromos motor akkumulátorához. Fékezéskor a kerekek mozgási energiájának egy részét is vissza tudja nyerni. Töltés közben a belsőégésű motornak több nyomatéka van, mint amennyi a jármű mozgásához szükséges, így az elektromos gép a többletenergiát az akkumulátor töltésére használja fel. A hibrid rendszereknek különböző kategóriáit különböztethetjük meg: mildhibrid, fullhibrid, plug-in hibrid. A mildhibrid rendszernek bizonyos funkciókat kell teljesítenie, ideértve a start/stop rendszert, az elektromos gép által végrehajtott rekupetációs fékezést és az elektromos rásegítés képességét. A full-hibrid rendszerek nem csak arra képesek, hogy kizárólag elektromos energiával működjenek, de le is tudják kapcsolni a belső égésű motort mozgás közben, így nagyobb távolságokat tesznek meg zaj és helyi károsanyag-kibocsátás nélkül. Tovább lépve a plug-in hibridekre, hasonlóságokat mutatnak a teljes hibridekkel, de további funkciókat kínálnak. Amellett, hogy az akkumulátort a belső égésű motoron keresztül lehet tölteni, a plug-in hibridek külső áramforráshoz, például fali konnektorhoz is csatlakoztathatóak. Ezt az egyedülálló töltési folyamatot egy speciálisan kialakított és megerősített tápcsatlakozó segíti elő (Szilágyi, et al., 2021). A hibrid hajtású járművek a városi forgalomban mutatják a legnagyobb előnyüket, ahol jobb üzemanyag-hatékonyságot és alacsonyabb károsanyag-kibocsátást kínálnak (Emőd, et al., 2006).

Teljesen elektromos hajtáslánc esetén a belsőégésű motor és a kapcsolódó rendszerek, mint például a porlasztó, a hagyományos többfokozatú automata sebességváltó és az üzemanyagtartályok eltávolításra kerülnek, és helyükre egy elektromos motor és a kapcsolódó segédberendezések kerülnek. A tisztán elektromos hajtáslánc előnyei pontosan ugyanazok, mint a tisztán elektromos meghajtású plug-in hibrideké. Nagy sebességnél azonban zaj keletkezhet a gumiabroncsok súrlódása és a szélzaj miatt. További előnye, hogy a hagyományos típusokhoz képest jóval kevesebb alkatrészre van szükség, ezért olcsóbb a karbantartása. A kinetikus energiaelnyelő rendszernek köszönhetően ezeknél a járműveknél az üzemi fékeket alig használják, így sem a fékbetétek, sem a féktárcsák nem kopnak jelentősen. A karbantartási követelmények is alacsonyak, és a megfelelő infrastruktúrával rendelkező elektromos hálózat növeli az üzemidőt (Szilágyi, et al., 2021). Az elektromos hajtástechnika terjeszkedését akadályozzák az akkumulátor teljesítményével kapcsolatos problémák, amelyek hatással vannak a jármű hatótávolságára (Emőd, et al., 2006). Még viszonylag nagy akkumulátorkapacitással is legfeljebb több száz kilométert tehet meg egy elektromos jármű egyetlen feltöltéssel, és egy-egy feltöltés több órát vesz igénybe, nem pedig percek, mint a dízelüzemű teherautók esetében. A nagy akkumulátorkapacitás továbbá azt jelenti, hogy a

jármű súlya a jelenlegi technológia (Li-Pol) mellett jelentősen csökkenti a teherautó által szállított rakomány megengedett legnagyobb súlyát.

Figyelmet kell fordítani az elektromos meghajtás akkumulátor-technológiájára. A jelenlegi és a közeljövő akkumulátor-megoldásai közé tartozik a lítium-ion. A lítium akkumulátorok nagy energiasűrűsége és nagy teljesítménye lehetővé teszi olyan akkumulátorcsomagok gyártását, amelyek elegendő energiát képesek tárolni egy jármű meghajtásához.

Az alábbiakban röviden ismertetek néhány új technológiát. Az első a lítium-levegő akkumulátorok, amelyek a környezeti levegőt hasznosítják egy kémiai folyamat során. Ez a változat a töltés során felszabadítja a merítés során felhasznált oxigént, ami elméletileg kiváló alternatívává teszi a nagy energiasűrűség és az alacsony tömeg miatt, de a tömeggyártás nem lehetséges. A szilárd elektrolit lítium akkumulátorok szilárd elektrolittal és lítiumból készült elektródákkal rendelkeznek. Előnyük a hagyományos technológiával szemben, hogy kapacitásuk akár több százezer töltési ciklusra is elegendő lehet. A hőmérséklet-változás nagyrészt nem befolyásolja őket, és fél vagy akár negyed annyi idő alatt tölthetők újra. Jelenleg azonban hátrányuk, hogy energiasűrűségük alacsonyabb, mint a hagyományosaké. A grafén akkumulátorok olyan lítium-ion akkumulátorok, amelyekben a grafit anódot grafénnel helyettesítik. Ha ezt a technológiát kombinálják, elméletileg olyan energiatároló eszközöket lehet előállítani, amellyel 20 másodperc alatt képes 90 százalékra feltölteni az akkumulátort (Szilágyi, et al., 2021).

2.5. Elektromos jármű

„Az elektromos autó/kamion (villanyautó) egy villanymotorral meghajtott gépjármű, mely az elektromos energiát leggyakrabban egy, illetve akár több akkumulátorból nyeri.” (Orosz, et al., 2019).

2.5.1. Története

Az elektromos meghajtás egészen 1825-re nyúlik vissza mikoris Jedlik Ányos elkészítette az első elektromotort. Majd 1828-ban egy autómódellet is épített. 1837-ben Thomas Davenport szabadalmaztatta elektromos hajtású modelljét, ami egy kör alakú, elektromos

pályán mozgott. Ugyanebben az évben Robert Davidson megépítette az első olyan elektromos járművet, ami már emberek szállítására volt alkalmas. A jármű hajtásához egyszer használatos galvánelemeket használt. Az első villanymozdony is az ő nevéhez fűződik (Modern Mobilitás, 2020).

Gaston Plante francia fizikus 1859-ben találta fel az ólomsavas akkumulátort, amit később Camille Alphonse Faure fejlesztett tovább, és 1881-re jelentősen megnövelte az akkumulátor kapacitását (McFadden, 2020).

1881-ben Gustave Trouvé bemutatta Párizsban a Trouvé triciklit, ami a világ első hivatalosan elismert elektromos járműve volt. Ezt a triciklit pedálokkal hajtották, de nem sokkal később két angol mérnök (William Edward Ayrton és John Perry) megépítette a pedálok nélküli elektromos triciklit (Manz, 2022).

Thomas Parker nevéhez fűződik az első elektromos autó, amit egy saját tervezésű, újratölthető, nagykapacitású akkumulátorral működtetett (1884). A következő sikeres elektromos járművet 1894-ben fejlesztette ki Henry G. Morris és Pedro G. Salom. Az autó az Electrobat nevet kapta. Egy elég nehéz szerkezet volt, acél gumiabroncsokkal, hogy elbírja a nagysúlyú ólom akkumulátort. Az Egyesült Államokban, William Morrison épített egy hatszemélyes elektromos autót, ami akár képes volt a 23 km/órás sebességre.

Látva ezeket a fejlesztéseket, megnőtt a technológia iránti érdeklődés és az autógyártók elkezdtek kísérletezni elektromos és hybrid járművekkel. Az egyik ilyen a példa Ferdinand Porsche P1-ként elnevezett autója, ami úgy nézett ki, mint egy lovaskocsi, de elektromos meghajtású volt (McFadden, 2020).

1899-ben új rekord született, amikor a belga Camille Jenatzy átlépte a 100 km /h sebességet egy torpedó alakú elektromos járművel. La Jamais Contente nevű járművével pontosan 105,882 km/h sebességet ért el. A járművet két 25 kW-os, 200 V üzemi feszültségű motor hajtotta Michelin gumiabroncsokkal. A sofőr az aerodinamikus, rakéta alakú jármű tetején ült. A gépkocsi valószínűleg nagyobb sebességet is elérhetett volna, ha kicsit jobban figyelnek a légellenállásra és lejjebb ültetik a vezetőt (Modern Mobilitás, 2020).

Az 1900-as évek környékén már annyira elterjedtek a piacon az elektromos járművek, hogy Franciaországban és Németországban ezekkel a járművekkel szállították a postát és a táviratot. Amerikában pedig az újságokat elektromos kézbesítő járművekből dobták ki a kertekbe. Amerikában az elektromos járművek még sok évig nagy népszerűségnek örvendtek.

Egy hihetetlen adat 1912-ből, amikor is körülbelül 35 000 elektromos járművet regisztráltak. A reklámkampányokban leginkább nők szerepeltek, amivel az volt a gyártók célja, hogy megszólítsák a nőket és bemutassák mennyire egyszerű egy elektromos jármű vezetése (Manz, 2022).

1899-től a Baker Electric elektromos autókat kezdett gyártani. Thomas Edison állítólag azzal járult hozzá a fejlesztéshez, hogy nikkel-vas akkumulátorokat szállított a Baker Electricnek 1903-ban, és töltőket 1909-ben. A márka első elektromos járműve a Runabout, 560 W teljesítményű volt. Egy későbbi a Model V Electric Coupé már 6 kW teljesítményre volt képes a 12 db akkumulátorral, ami összesen 84 V feszültséget biztosított. Egy töltéssel képes volt 120 kilométert megtenni és a végsebessége 50 km/h volt. 1914-ben felvásárolták a céget és 1916-ban pedig leállították a gyártást és az I. világháború lezárását követően sem indították újra a gyárat (Modern Mobilitás, 2020).

Thomas Edison mindeközben folytatta munkáját és jobb teljesítményű akkumulátorok fejlesztésével foglalkozott, majd közeli barátjával, Henry Forddal kezdett közösen dolgozni. Céljuk egy olyan elektromos jármű létrehozása volt, ami a tömegek számára is megfizethető. Ugyanis egy Ford T-modell ára körülbelül 650 dollár volt, míg egy elektromos jármű körülbelül 1750 dollárba került 1912-ben (McFadden, 2020).

A benzinmotoros Ford T-modell megjelenése 1908-ban meghatározta az elektromos járművek jövőjét és súlyát az akkori piacon (Ifj. Chikán, 2014).

A Detroit Electric 1907-től 1939-ig körülbelül 13 000 villanyautót gyártott, ami alapján elmondható, hogy az egyik legsikeresebb villanyautó márka volt. Ezekben a járművekben 14 db savas ólomakkumulátort helyeztek el, de az Edison-féle nikkel-vas akkumulátorral is kapható volt. Fejlesztettek egy olyan járművet, amely képes volt egy töltéssel 340 kilométert megtenni, ami a jelenkorban is jónak mondható, bár végsebességük csak a 32 km/h-t érte el.

1907-ben megjelentek London utcáin a London Electrobuses Company emeletes buszai, amelyek 1,75 tonnás akkumulátorral működtek és hatótávuk 60 km volt. Mivel ezek töltése nyolc órát vett igénybe, ezért úgy növelték a hatótávot, hogy megálltak egy töltőállomáson és kicserélték az akkumulátort. Egy modern szerkezetnek köszönhetően ez könnyen és pár perc alatt meg volt, így hamar folytathatta munkáját a sofőr.

Pár évvel később több angol városban megjelentek a trolik, amiknek névleges teljesítményük 59 kW és névleges feszültségük 550 V volt.

A General Motors 1912-ben kezdett elektromos járműtechnológiával foglalkozni. A cégek külön teherautó részlege volt, ami ólomakkumulátorok GMC taxikat és teherautókat gyártott. Ezeken a járműveken tömör abroncs volt és lánc továbbította a nyomatékot a hátsó kerekek felé. A General Motors közel 700 darab ilyen típusú járművet gyártott 1917-ig.

1912 jelentette az elektromos autók első virágkorának végét, ugyanis ebben az évben Cadillac bevezette a piacon az első olyan belsőégésű motoros járművet, ami elektromos önindítóval és világítással volt ellátva (Modern Mobilitás, 2020).

Az 1900-as évek második évtizedét az elektromos haszongépjárművek flotta értékesítése jellemezte. Ezeket a járműveket leginkább étel- és italbeszállítók, újságkiadók és mosodák vásárolták meg (Manz, 2022). Például egy chicago-i cég tej szállításra használta a Walker Vehicle Company elektromos teherautóit a belvárosban. A jármű 3,5 lóerős és hátsó villanymotoros volt, ami képes volt 50 mérföldet (körülbelül 80 kilométert) megtenni (McCandless, 2021).

1924-ben a Berliet – a Renault Trucks jogelődje – létre hozta első elektromos furgonját, ami egy töltéssel körülbelül 80 kilométert tudott megtenni. A négy lóerős jármű 26 kilométerperórás végsebességgel rendelkezett és a villanymotor egy 225 amperórás akkumulátorral működött. Ezt a 3. ábrán látható járművet halottaskocsiként használták, mert csendes volt és képes volt lassan haladni (Renault Trucks, 2021a).

3. ábra: Berliet első elektromos furgonja
(Forrás: (Volvo Group, S. a.))



1927-ben a Magyar Királyi Posta megvásárolta a Rába és a MÁG első villanyautóit. Összesen 35 darab járművet vásároltak 1931-ig, ebből 28 darab Rábát, amit a győri Magyar Waggon- és Gépgár Rt. és 7 darab, amit a Magyar Általános Gépgyár Rt. gyártott. Az összes jármű teljes villamossági részét pedig a Ganz-féle Villamossági Rt. készítette. 1000 Ah-s ólomakkumulátor hajtotta a 15 kW-os motort. Az akkumulátort körülbelül 6-8 óra alatt töltötték fel, ami az átlagos 20 km/h-s sebességgel 60-70 kilométeres távra volt elegendő. Az akkumulátorokat emelőpad segítségével cserélték, mint ahogy az előzőekben említett London Electrobus-nál láthattuk. Annyira masszívak voltak ezek a járművek, hogy egészen az 1960-as évekig a Magyar Királyi Posta szolgálatában álltak (Modern Mobilitás, 2020).

Az 1930-as évek közepére szinte teljesen eltűntek az elektromos hajtású járművek. A benzin motoros járművek térhódítása jellemezte ezt az időszakot, igaz voltak próbálkozások a második világháború idején, mint ahogy a következő példa is bizonyítja (McFadden, 2020).

Franciaországban a német megszállás után a benzin felhasználást szabályozták. Ezért több francia gyártó újra a villany hajtású járművek fejlesztésével kezdett foglalkozni. Ekkoriban számos modell jelent meg a kisautóktól, a nyolc tonnás teherautókig. A Peugeot megalkotta első elektromos autóját, a VLV-t (Voiture Légère de Ville), ami egy együlékes városi autó volt. Ebben az időszakban több országban megjelentek olyan elektromos járművek, amelyeket benzinmotoros járműből alakítottak át. Ennek oka az üzemanyaghiány volt (Manz, 2022).

Az 1960-as években a városokban nagymértékben nőtt a forgalom, ami a levegő minőségének romlásához vezetett. Ez egy új lehetőséget adott az elektromos járművek hódításának. Elsőként 1966-ban az Egyesült Államokban volt olyan gondolat a kongresszus részéről, hogy a légszennyezés hatásos csökkentésére az elektromos járművek lennének alkalmasak. Ez nyilván ösztönzést adott, de nem volt nagy hatással az villany járművek elterjedésére.

Az 1970-es évek közepén egy amerikai gyártó, a Sebring-Vanguard forgalmazta az első olyan elektromos járművet, amely sorozatgyártásban készült. A Citicar, egy kétülékes, szögletes külsővel rendelkező városi autó volt. Az akkoriban 4500 dollárba kerülő jármű hatótávolsága 60-80 km, és végsebessége elérte a 70 km/h-t. A Citicar volt az egyik legkeresettebb elektromos autó, de még sem sikerült neki átvenni a belsőégésű járművek piaci vezető szerepét. Ennek főként az volt az oka, hogy nem tudták a járművek hatótávolságát növelni és az akkumulátorok töltési idejét csökkenteni, ezen felül az is problémát okozott, hogy nem voltak kiépítve töltőállomások (Szabó, 2010).

A General Motors az 1990-es évek közepén kifejlesztette az EV1 elektromos járművet. Valójában a jármű megépítése egy válasz volt a California Air Resources Board-nak. Ugyanis létrehoztak egy törvényt a légszennyezés szabályozására, ami szerint csak olyan járműveket fejleszthetnek, amelyek nem bocsának ki káros anyagokat, ez szükséges ahhoz, hogy California államban forgalmazzák járműveiket a gyártók. 1998-tól kötelezővé tették az elektromos járművek bevezetését a piacra, ezzel azt remélték, hogy a kétezres évekre már kétszámjegyű lesz a piaci részesedésük az elektromos hajtású járműveknek (McFadden, 2020).

A General Motors-t követte a japán Toyota, amely 1997-ben vezette be a piacra a hybrid hajtású autóját, a Prius-t. Ez volt a világon az első tömeggyártású hybrid jármű, aminek nagy előnye, hogy alacsonyabb károsanyag kibocsátással járt, mint a piacon lévő többi jármű. Már az első évben 18 ezer darab Prius-t adtak el (Ifj. Chikán, 2014).

2008-ban a Renault Trucks elkezdett dolgozni a Maxity típusú járművének elektromos prototípusán. 2010-ben pedig elkezdtek előszériában gyártani. A két tonna teherbírású járművet a Tafanei italforgalmazó cég tesztelte Párizsban.

2009-ben voltak az első tesztek a Renault Midlum elektromos változatával, amit az Air France tesztelt. Majd a 4. ábrán látható jármű 2012 elejétől egy éven keresztül nyolc Carrefour-üzlet szállítását látta el Lyon központjában és a környező agglomerációban. A belvárosi üzletekbe történő szállítások kora reggel öt és hét óra között zajlottak, nem zavarva a lakosok nyugalma. Hatótávolsága 100 km, és mindössze 8 óra alatt teljesen feltölthető. Ennek eredményeként a jármű rendelkezik minden olyan tulajdonsággal, amely ahhoz szükséges, hogy megfelelő legyen a városi környezetbe (Desmond, 2020).

4. ábra: Az első elektromos Renault Midlum
(Forrás: (Autotechnika, 2012))



2008-ban jött a nagy áttörés, ugyanis a Tesla Motors kifejlesztette első elektromos járművét, a Roadster-t. A forradalmi akkumulátortechnológiának és elektromos hajtásláncnak köszönhetően ez volt az első országúti teljesen elektromos autó. A lítium-ion akkumulátorral több, mint 320 kilométert képes megtenni egy töltéssel és végsebessége akár elérheti a 200 km/h-t (McFadden, 2020).

2.5.2. Előnyei, hátrányai és tapasztalatok

Az Amerikai Egyesült Államokban 28 tehergépjármű flotta üzemeltető cég vezetőivel készítették interjút. Az interjúalanyok a magas beszerzési költséget említették okként, hogy miért nem fontolgatják a flotta bővítését elektromos járművekkel (Sugihara, et al., 2024).

A dízelüzemű tehergépjárművek első vásárláskor olcsóbbak, de a gyártókkal készített interjúk azt mutatják, hogy az üzemeltetési és karbantartási költségeik magasabbak, mint az elektromos teherautóké. Az elektromos változatnak kevesebb mozgó alkatrésze van, így kevesebb karbantartást igényelnek, amely költségmegtakarítást eredményez. Emellett a dízelüzemanyag drágább, mint a villamos energia, ami azt jelenti, hogy az elektromos teherautók üzemeltetési költségei alacsonyabbak. Jelenleg a fuvarozó vállalatok felelősek azért, hogy saját járműveik számára elektromos töltőállomásokat biztosítsanak. Az ilyen infrastruktúrába való beruházás költséges, ami új pénzügyi terhet jelent a fuvarozók számára.

Továbbá az elektromos tehergépjárművek különösen a városokban ígéretes alternatívát jelentenek a levegő- és zajszennyezés csökkentésére, a légzőszervi megbetegedések megelőzésére és az életminőség javítására. Fontos megjegyezni, hogy a felmérések alapján, vannak olyan szállítási szolgáltatásokat megrendelő cégek, nagy szervezetek, amelyek hajlandóak többletköltségeket vállalni a környezetbarátabb áruszállításért.

Az elektromos teherautók jelenleg nem optimálisak hosszú távú szállításhoz, mivel nincs megfelelő infrastruktúra, és az akkumulátortechnológia nem készült fel 400 kilométernél hosszabb távolságokra. Jelenleg a töltőállomások telepítéséért a szállítványozási vállalat felelős, de később ez a feladat a kormányra hárulhat. Továbbá fontos szempont az időjárás, amely befolyásolja a járművek működését. A hó és az eső hatással van az elektromos teherautók fogyasztására, amely akár 30%-kal is növekedhet. Fontos megjegyezni azonban, hogy a szélsőséges időjárási körülmények jelentősen befolyásolják a dízelfogyasztást is, ami akár 20%-kal is nőhet (Pylova, 2023). Az egyik amerikai fuvarozó cég tapasztalatai alapján az

akkumulátorok jelenleg nem tudják kezelni a -10°C -t. Illetve úgy nyilatkozott, hogy ha jövőben az elektromos tehergépjárművek nem lesznek képesek nagyobb távolságok megtételében, akkor ők nem gondolkoznak ilyen jellegű járművek beszerzésében mert az hatással lenne a profitjukra (Sugihara, et al., 2024).

Egy másik fontos szempont, amit figyelembe kell venni, az a jármű feltöltéséhez szükséges idő. A dízel teherautók esetében általában 6-15 perc szükséges a tankoláshoz, ami nagyrészt a tank méretétől függ. Az elektromos teherautóknál a feltöltés körülbelül 2,5 órát vesz igénybe, de ez az idő a járműben használt akkumulátortól és a töltőállomás kapacitásától is függ (Pylova, 2023). Az elektromos tehergépjármű üzemeltetőinek tapasztalatai szerint a töltési idő nem illeszkedik a mai működési struktúrához, ugyanis jelenleg Amerikában egy gépjárművezető 11 órát vezethet és a töltéssel eltöltött idő csökkenti a vezetési idejét. Ezzel korlátozza a megtehető távolságot és a nyereséget.

Hátrányként kell még megemlíteni, hogy mivel a tehergépjármű súlyát növelik az akkumulátorok, ezért az korlátozza a szállítható áru súlyát (Sugihara, et al., 2024), illetve az összekapcsolt járművek esetében össztömegét. Például Finnországban az összekapcsolt járművek engedélyezett össztömege 76 tonna. Míg a dízel teherautók képesek lennének ezen súlyok szállítására, az elektromos tehergépjárművek átlagosan 44 tonnára vannak korlátozva. Ez a szempont gondos figyelmet igényel, mivel gátat szab az elektromos járművek által szállított rakományok súlyának (Pylova, 2023).

Jelenlegi kutatások szerint a nehézgépjárművek villamosításának legfőbb akadályai a töltés infrastruktúra, a beszerzési költségek és a hatótávolság (Sugihara, et al., 2024).

Már magyarországi tapasztalatokról is lehet beszélni, amit Patai Krisztina, a Waberer's Green Division igazgatója és Papp Balázs, a Happy Cargo ügyvezetője osztott meg a 2023-as KözútVilág Konferencián. A Waberer's Green Division elégedett az elektromos járműveivel, a gyártók által ígérteket teljesítik. Patai Krisztina kiemelte, hogy az elektromos haszongépjárművek kezelését meg kell tanulni, főleg a töltés vonatkozásában, aminek infrastruktúrája Magyarországon nem megoldott még. Emellett azt tapasztalták, hogy beszerzési költség és a karbantartási költség is több, mint egy hagyományos dízel jármű esetén.

Papp Balázs úgy nyilatkozott, hogy bár ez egy új technológia, amihez alkalmazkodni kell a gépjárművezetőnek és a többi dolgozónak, mégis teljesen hétköznapi módon tudják használni a járműveket. A gépjárművezetők is könnyen hozzászórtak az elektromos járművek

vezetéséhez. Igyekeztek olyan megállapodásokat kötni megbízóikkal, hogy megérje beruházni egy elektromos tehergépjárműbe és töltési pontokat alakítottak ki a megbízók telephelyén.

A megbízói igények hónapról hónapra egyre nőnek az alternatív meghajtású járművek iránt. Az ügyfelekkel folytatott tárgyalások során az egyik legfontosabb kérdés, hogy van-e zöld szolgáltatása a vállalatnak, fejtette ki Patai Krisztina. A Happy Cargo is megerősítette, hogy a recesszió sem tartotta vissza a megbízók érdeklődését. Sőt már olyan tenderek is vannak, ahol kifejezetten alternatív meghajtású járművek szállítási díjának meghatározását kérik tőlük.

A Waberer's Green Division igazgatója kifejtette, hogy jelenleg nincsenek konkrét támogatások az elektromos tehergépjárművekre, amely megnehezíti a beszerzéseket. De vannak már az elektromos tehergépjárművek számára biztosított kedvezmények, mint például az alacsonyabb társasági adó és az olcsóbb behajtási engedélyek. Úgy véli, hogy az elektromobilitás előmozdításához hozzájárulna, ha kedvezményes útdíjat biztosítanának az elektromos tehergépjárművek tekintetében (Aranyi, 2023).

2.5.3. Működésének műszaki háttere

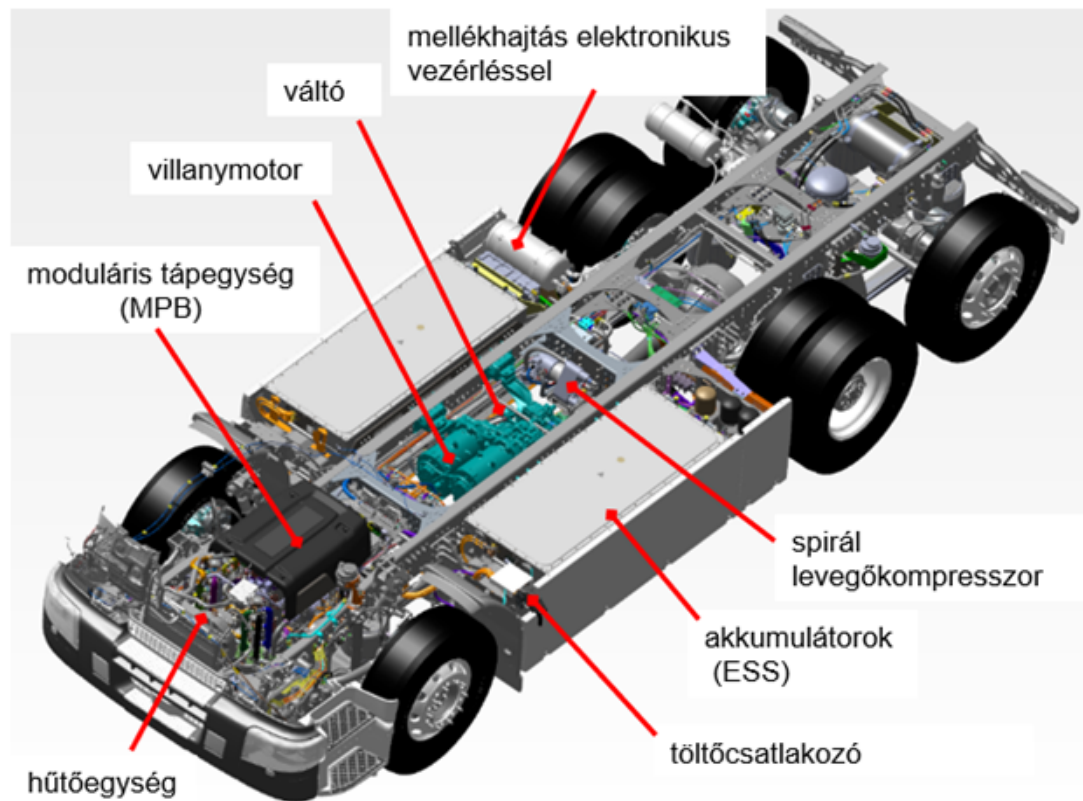
A továbbiakban szeretném kifejtetni azt, hogy hogyan is működik egy elektromos tehergépjármű, milyen egységekre osztható és milyen új technológiák kerültek beépítésre. Az is látható lesz, hogy mennyire különbözik az adott jármű, a dízel meghajtású változatától. Végül bemutatásra kerül az is, hogy milyen módon tölthetőek ezek a járművek, és milyen töltő típusok léteznek.

Az elektromos járműveket a villanymotor hajtja, az erre szolgáló elektromos berendezést pedig elsődleges energiatároló komponenseknek nevezzük. Emellett a többi elektromos fogyasztót is ez a rendszer látja el. A hajtás-feszültség rendszerint 400V és 800V között mozog, de előfordulhatnak más feszültség szintek is. A rendszerben lehetnek egyenáramú (DC) és váltóáramú (AC) alkotórészek is (Volvo Group, 2021a).

Az elektromos hajtás hat részegységből áll: energiatároló rendszer (*Energy Storage System*), hajtáslánc-vezérlő (*Electric Motor Drive*), villanymotor (*Electric Motor*) és váltó, segédberendezések, hűtési rendszer és a kiszolgáló berendezések. A villanymotor három fázisú váltóárammal működik, míg az akkumulátor egyenárammal. Pontosan ezért van szükség a hajtáslánc-vezérlőegységre az *Electric Motor Drive*-ra (EMD), amely kontrollálja és átalakítja az akkumulátor és a villanymotor közti áramot. Tehát elindulásakor az akkumulátorok DC

feszültségét olyan AC feszültséggé alakítja, amelynek változtatható a frekvenciája. Ez azért fontos, mert a frekvencia fogja meghatározni a villanymotor fordulatszámát. Fékezéskor az elektromos motor úgy működik, mint egy generátor. A motor által létrehozott áramot az EMD egyenárammá alakítja, ami így már alkalmas az akkumulátorok töltésére (Volvo Group, 2021b).

5. ábra: A Renault D Wide főbb egységei
(Forrás: Saját fordítás (Volvo Group, 2021b) adatai alapján)

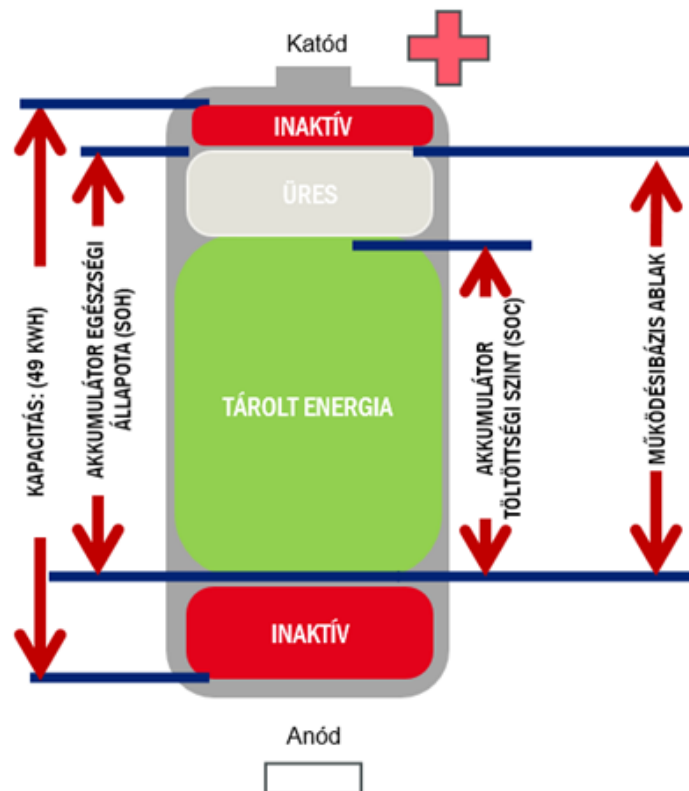


Elektromos energia tároló rendszer

Az *Energy Storage System* feladata, hogy a szükséges elektromos energiát tárolja a járművön. Az akkumulátor összesen 360 lítium-ion cellából áll. Ezek a cellák 30 modulra vannak osztva és minden modul 12 cellát tartalmaz. A tárolórendszerben két szinten vannak a modulok elhelyezve, köztük egy szigetelőbetét van. Az ESS-eket az Akasol és egy német gyártó szállítja a Renault Trucks-nak. Az akkumulátor tömege tartó konzollal együtt 535 kg, hossza 189 cm, szélessége 73 cm és magassága 32,2 cm. Ezeknek az akkumulátoroknak az élettartama használatától függően körülbelül 3-10 év. Teljes kapacitásuk 66 kWh, az akkumulátor degradáció miatt az élettartama végén pedig 53 kWh. Maximális feszültsége 738 V, míg a névleges 661 V. Az ESS rendszerhez hozzá tartozik a *Battery Management Unit* (BMU), ami

minden belső áram-vezérlési és felügyeleti funkciót irányít. Olyanokat felügyel, mint például a töltési szint, az elérhető energia mennyisége, és az akkumulátor állapota, hőmérséklete. Az ESS-nek egyedül ez az alkotórésze cserélhető, ugyanis tilos az ESS-t felnyitni (RENAULT TRUCKS, 2021B). Az akkumulátorok hőmérsékletének használat közben minimum 20°C és maximum 35°C körül kell lennie a cellákon belül. Az optimális hőmérséklet 25°C fok, a környezeti hőmérséklettől függetlenül (Volvo Group, 2019).

6. ábra: Az akkumulátor állapotát meghatározó paraméterek
(Forrás: Saját fordítás (Renault Trucks, 2021b) adatai alapján)



A lítium-ion cellákban az akkumulátor kémiai reakciója a lítium jelenlétén alapszik. Ez ionos állapotban marad, a negatív elektródon lévő szénnek, valamint a katódot körülvevő nikkell-, mangán- és kobaltbevonatnak köszönhetően. Tehát az anód a szén, a katód pedig a lítium, nikkell, mangán és kobalt. A fent már említett BMU kiszámítja az akkumulátorok különböző paramétereit: töltöttségi szint, elérhető energia mennyisége, akkumulátor állapota. A töltöttségi szint, vagy ahogy az angol szakirodalomban nevezik *State of Charge* (SOC), az akkumulátor töltöttségi szintjét jelzi. Amikor az akkumulátor teljesen feltöltött, a töltöttségi állapot 100%, és csökken, amikor a jármű használatban van, ilyenkor az “üres” terület növekszik. Az elérhető energia mennyisége vagy *State of Power* (SOP) előre jelzi a SOC és a

cella hőmérséklete alapján, hogy mennyi teljesítmény állítható vissza az adott időpontban. A *State of Health* (SOH) az akkumulátor "egészségi" állapotát méri azáltal, hogy összehasonlítja az akkumulátor átlagos állapotát az újkori teljesítményének állapotával. Az évek során az inaktív zóna növekszik, ennek hatására pedig az SOH értéke csökken (Renault Trucks, 2021b).

Moduláris tápegység

A moduláris tápegység a hagyományos dízel motor helyén található. Részegységei a 24 V-os akkumulátor, a hűtőfolyadék kezelő rendszer, a váltakozó áramú csatlakozódoboz (ACJB), a töltőkapcsoló-egység (CSU), a fedélzeti töltő (On-BC), a hajtás feszültség csatlakozódoboz (TVJB), a hajtás feszültség ellenőrző egység (TVMU) és az úgynevezett DC/DC átalakító. A 24 V-os áramkör egy kiegészítő feszültségrendszer, aminek az a feladata, hogy a jármű segédberendezéseit működtesse.

A hűtőfolyadék kezelő rendszer vagy *Coolant Management System* (CMS) felel azért, hogy megfelelő hőmérséklet legyen az akkumulátorok belsejében, ugyanis a hőmérsékletnek mindig minimum 20 és maximum 35 Celsius fok körül kell lennie függetlenül a környezeti hőmérséklettől. Ezen felül a segédberendezések hűtése is a feladata (VOLVO GROUP, 2019).

A DC/DC átalakító a 600 V főakkumulátor feszültséget 24 V-ra alakítja át a segédberendezések számára. Fontos megjegyezni, hogy 24 V-ról 600 V-ra nem történik átalakítás (Renault Trucks, 2021b).

Vezérlőegységek

A hibrid hajtásláncvezérlő-egység (HPCU) feladata a vontatási feszültségrendszerben az elektromos áram kezelése. Ezen belül az I/O és a vontatási feszültségrendszer indítását, leállítását és felügyeletét kezeli. Az erőátviteli vezérlőegység (PCM) a fékezés, a sebességváltás és a teljesítményleadás vezérlésével foglalkozik.

Az energiatároló-vezérlő modul (ESCM) az energiatároló rendszer termomenedzsment átjárója. CAN jeleket továbbít a tranzakciós akkumulátorokhoz, az energiatároló rendszer hűtés- és fűtésvezérlő modulokhoz és a hűtőszivattyúhoz.

Az ESS ellátja mért adatokkal a hibrid hajtásláncvezérlő egységet a cellafeszültségről, a cellahőmérsékletről stb. Ezeket az adatokat a hibrid hajtásláncvezérlő egység az akkumulátor töltöttségi szint becslésére használja.

A EMD képes aktiválni és deaktiválni a motorhajtás rendszer teljesítményelektronikáját az erőátviteli vezérlőegység és a hibrid hajtásláncvezérlő-egység kérésére. A DC/DC átalakító vagy konverter feladata, hogy a főakkumulátor feszültséget átalakítsa 12/24 V-ra.

A hajtás feszültség ellenőrző egység a nagyfeszültségű reteszelő hurok működését felügyeli, amely megvédi az embereket a jármű üzemeltetése, javítása során. A jármű és a fedélzeti kombinált töltőrendszer (CCS) közötti interfész a kombinált töltőrendszervezérlő modul (CCCM). A CSU az egyenáramú töltés bemenete és a hajtási feszültségrendszer közötti elektromos interfész része. Ezen keresztül biztosítja a hibrid hajtásláncvezérlő egység a biztonságos csatlakozást és leválasztást a töltőállomáshoz.

A fedélzeti töltő (On-BC) ellátja az energiatároló rendszert, miközben a hálózati váltakozó áramot egyenárammá alakítja és tápellátást biztosít a főakkumulátoroknak és a segédberendezések akkumulátorának.

A meghajtás elektromos rendszere, magának a hajtásnak a magja, ami biztonságos villamosenergia átvitelt biztosít a főbb alkatrészek között (Nagyszokolyai, 2022a).

Levegőellátás

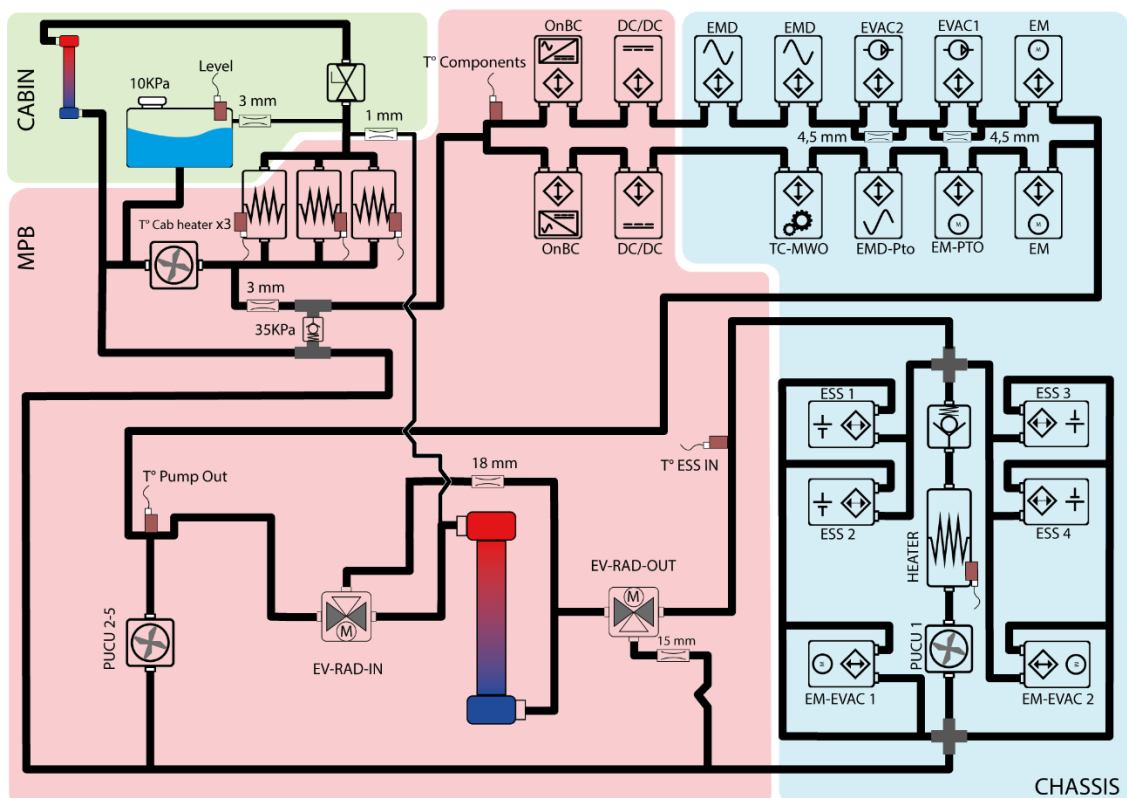
A levegőellátás szerkezete olyan, mint a hagyományos, viszont több eleme eltér a megszokottól. Mint például a kompresszor, ami az elektromos járművekben kicsit más, egy villanymotor hajtja és sokkal csendesebb. A kompresszor képes a villanymotor fordulatszámát befolyásolni a gépjárművezérlő modul (EVCM) segítségével. Ha 6,5 bar alatt van a légnyomás akkor nagy fordulatszámmra, ha 6,5 és 9 bar között van, akkor közepes fordulatszámmra és ha 9 és 10,5 bar között van, akkor pedig kis fordulatszámmra van szüksége a kompresszornak a villanymotortól. A szükséges fordulatszámokra való átállás egy kisebb időeltolódással történik meg. A EVCM feladata, hogy számításokat végezzen az üzemi ciklusok, a teljes működési idő és a termelt sűrített levegő mennyiségének meghatározásához. Emellett képes a műszerfal kijelzőjére figyelmeztetéseket küldeni a kompresszor állapotáról. A Renault Trucks elektromos járműveiben folyadékűtéses scroll-kompresszort használ. A levegő sűrítést egy álló és egy forgó spirális elemmel végzi el. A scroll- technológiás kompresszor egy 24 voltos, egyenáramú villanymotorból és spirálkompresszorból áll, amelyek mechanikusan kapcsolódnak össze (Nagyszokolyai, 2022b).

Termomenedzsment

A termomenedzsment, hő- és hőmérséklet szabályozás összefogó irányítását jelenti. A következő nyolc egység képezi a termomenedzsment részét: energiatároló rendszer, hajtáslánc-vezérlő, fedélzeti töltő, DC/DC konverter, villanymotor, spirálkompresszor, levegőkompresszor, mellékajtás elektronikus vezérléssel.

Az elektromos meghajtású járművekben fontos az egyes egységek hűtése ugyanis az áram miatt nagyobb hő szabadul fel és ez a hőmérséklet növekedés károsíthatja az áramköri és a mechanikai szerkezetet. Az akkumulátorok megfelelő működésének fenntartásához a jármű leállítása után is folyamatos a termomenedzsment szabályozás. A termomenedzsment rendszer három körből áll (7. ábra), amelyben a folyadék biztosítja a hűtést, a fűtést és a temperáló hőn tartást. Ez a három kör a vezetőfülke fűtés, az egységek hűtése és az akkumulátor hűtés-fűtés.

7. ábra: A termomenedzsment rendszer hűtő-fűtő körei
(Forrás: (Renault Trucks, 2021a))



A termomenedzsment szerkezeti blokkja az MPB-re szerelve található, amely *Cooling Box*-ként szerepel a műszaki leírásokban. Emellett ide kötötték be a hűtőkörök és a vezetőfülke fűtés alkatrészeit, a HPCU-t, az EVCM-et, a fűtőreléket és a fülke radiátort.

A hűtőközeg-szivattyúk elektronikát tartalmazzák, megnevezése *Pump Control Unit* (PUCU). A hűtőközeg szivattyúval találkozhatunk a hibrid hajtásláncvezérlő egységnél, az akkumulátor hűtőkörében, és a vezetőfülkében. Az akkumulátornak fűtőköre is van, amiben egy szivattyú és egy fűtőelem található, ez utóbbit az energiatároló-vezérlő modul (ESCM) irányítja.

A hűtőtömbhöz való hűtőkori folyadékáramlásnak irányításával és a bypass ág megnyitásával az elektrohidraulikus három utas szelep foglalkozik. Ezekből az úgynevezett EV-RAD szelepekből a moduláris tápegységen van beáramló és kiáramló, amik a hűtőközeget vezérlik. Manuálisan is működtethetők, de alap esetben a *Cooling Box*-on keresztül az EVCM működteti.

A hűtő elemek után a folyadékfűtő elemekről is említést kell tenni. Ezekből az elemekből három felel a vezetőfülke fűtéstért, egy pedig az akkumulátorok megfelelő hőmérsékleten tartásáért. A fűtést a HPCU irányítja. A fűtőelemek mindegyikében hőfokjeladó található (Nagyszokolyai, 2022b).

Töltőrendszer

Ha külső áramforrásból, csatlakozón keresztül töltjük a járművet, akkor ezt tehetjük 400 V váltóárammal vagy 600 V egyenárammal. A 400 V-os csatlakozó használatakor a fedélzeti töltő (OnBC) a váltóáramot 600 V egyenárammá alakítja, mielőtt elérné az energiatároló rendszert (ESS). Az ilyen típusú töltés leginkább hosszabb megállások során, vagy az éjszakai töltésre jellemző.

Az elektromos járművek úgynevezett „belső töltésre” is képesek. Dr. Nagyszokolyai Iván a következőképpen fogalmazta meg a rekuperálást: „Amikor a villanymotor fékezőnyomatékot fejt ki, generátorként működik, és váltakozó áramot állít elő. A regenerált váltakozó áramot az EMD egyenárammá alakítja, és az ESS töltésére használja.” Tehát a váltakozó áramot a hajtáslánc-vezérlő alakítja át egyenárammá az energiatároló rendszer töltésére.

A kombinált töltőrendszer bemenet alkalmas váltakozó és egyenáramú töltésre is. Biztonsági okokból a töltőt nem lehet véletlenszerűen leválasztani a tehergépjárműről. Ha a hőmérséklet meghaladná a küszöbértéket akkor a CCS-ben lévő érzékelőt figyelő kombinált töltőrendszer vezérlő modul jelet küld HPCU-nak, ami megszakítja a töltést. Ezek után, ha nincs reteszelve a fülke, akkor eltávolítható a töltőkábel (Nagyszokolyai, 2022a).

Töltési módok

Külső áramforrásról történő töltés esetén a töltésnek két alapvető típusa van: váltóáramú-töltés (AC) és egyenáramú (DC) töltés. Ez a két típusú töltés azonban számos különböző interfészen keresztül is kivitelezhető. Egy nagyon gyakori interfész egyik példája a szabványos kábellel csatlakoztatott elektromos járműtöltő, amelyet jellemzően a járműgarázsokban és műhelyekben használnak a szabványos formátum és a széles körű rendelkezésre állás miatt. Egy másik példa az áramszedő töltő, amelyet jellemzően a buszjárat végállomásain alkalmaznak, hogy megkönnyítsék a járművezetők számára a töltési folyamatot. Egy adott jármű töltéséhez szükséges idő számos paramétertől függ, mint például az akkumulátor kapacitása, a töltő specifikációja, vagy az infrastruktúra.

A váltóáramú töltés kifejezés minden olyan töltőrendszerre vonatkozik, amely változó feszültséget biztosít a jármű számára. Váltakozó áramú feszültségellátás használata esetén az egyenárammá alakítást a járműbe épített AC-DC áramátalakító végzi el, mivel a hajtásakkumulátorok egyenáramon működnek.

A legtöbb váltóáramú töltőrendszer kábelcsatlakozást használ a járműhöz, de néhány fontos eltéréssel:

AC tápellátás fali aljzaton keresztül, kommunikáció nélkül

Ez a megoldás a teljesítmény szempontjából rögzített, és alacsony áramerősségre 16-32 amperre korlátozódik. Nem kínál lehetőséget a töltési paraméterek megváltoztatására, és nem rendelkezik kommunikációs felülettel sem a járművel. Ezt a megoldást ritkán hajtják végre.

AC tápellátás fali aljzaton keresztül, kommunikációval

Ez a megoldás lehetővé teszi a tápellátás beállítását egy jóváhagyott intervallumon belül. Kommunikációs felülettel is rendelkezik a járművel, amely lehetővé teszi bizonyos biztonsági funkciókat.

AC ellátás állandó telepítésű töltőállomáson keresztül, kommunikációval

Ez a megoldás lehetővé teszi a tápellátás beállítását egy jóváhagyott intervallumon belül. Kommunikációs felülettel is rendelkezik a járművel, amely további biztonsági funkciókat is lehetővé tesz. Általában ez az ajánlott megoldás a Volvo Csoport elektromos járműveinek váltóáramú töltésére.

Az "egyenáramú töltés" kifejezés minden olyan töltőrendszerre vonatkozik, amely egyenáramot szolgáltat a járműnek. Egyenfeszültség használata esetén az elektromos áram közvetlenül a hajtás-akkumulátorokhoz vezethető, feszültségátalakítás nélkül.

Mivel az áramátalakításhoz szükséges berendezés a fix töltőben van, ahelyett, hogy a járműre kellene szerelni, így nagyobb és erősebb berendezéseket lehet használni. Ennek köszönhetően a legtöbb egyenáramú töltési megoldás általában sokkal nagyobb töltési teljesítményt kínál, mint a járműre szerelt áram átalakítókkal végzett standard AC töltés.

A nehéz járművek szabványos egyenáramú töltési megoldásai mindig tartalmazznak egy kommunikációs interfészt a járműhöz, a biztonság fokozása érdekében (Volvo Group, 2021a).

A Renault Trucks D. Z.E, mai nevén E-Tech D 16T és a 26 tonnás E-Tech D Wide teherautók ugyanazon a gyártósoron készülnek, mint a hagyományos, nem elektromos változataik. Azonban az elektromos technológia sajátosságainak megfelelő műveleteket előzetesen egy speciális egységben végzik. Akkreditált technikusok összeszerelik a teljesen elektromos járművekre jellemző különféle részegységeket (hajtáslánc, motor, sebességváltó és központi egység), amelyeket aztán a gyártósorhoz visznek, és ott beépítik. Miután ezek a részegységek beépültek, a teherautók visszakerülnek a speciális technikusokhoz, ahol további műszaki műveleteket és speciális minőségellenőrzéseket végeznek rajtuk. Az elektromos járművek ezután átmehetnek a hagyományos gyártási szakaszokon, beleértve a próbavezetést a teszt pályán és a teljesítménypróbát. Az elektromos teherautók gyártásához összesen körülbelül 50 óra munkára van szükség (Renault Trucks, 2024a).

2.5.4. Teljes tulajdonlási költség – TCO

Egy jármű birtoklása és üzemeltetése komplex költségekkel jár, amelyek idővel változnak. A teljes tulajdonlási költség, a *Total Cost of Ownership* módszertana lehetővé teszi, hogy a különböző időpontokban felmerülő költségeket egyetlen mutatóban össze tudjuk foglalni, ami segít abban, hogy egyértelműen lássuk egy jármű teljes költségét. A teljes tulajdonlási költség kiszámítása során figyelembe vesszük az eszköz birtoklásának, üzemeltetésének és karbantartásának összes költségét egy meghatározott időtartam alatt. Ez a módszer nagyon hasznos lehet beruházások összehasonlítására és a legjövedelmezőbb alternatíva kiválasztására (Morris & Mearig, 2018). A következőkben a TCO számítás különböző módszereit és megközelítéseit ismertetem a nemzetközi tanulmányokból.

A European Federation for Transport and Environment tanulmánya 5 éves időintervallumban számol. A költségtényezői a tehergépjármű értéke, az akkumulátor költsége, karbantartási költség, a gépjárművezető bére, az útdíj, a töltéshez használt villamos energia költsége, és a biztosítás. Ez a tanulmány leginkább a nemzetközi nyergesvonatóval történő fuvarozásra koncentrál. A jármű egy 170 ezer eurós Tesla nyergesvontató, amelynél feltételezik, hogy a jármű összeszerelése az Hollandiában történik meg, azáltal kikerülik a 22%-os importvámot. A dízel nyergesvontatóra éves 12 500 euró karbantartási költséggel számolnak, míg az elektromos jármű esetén ennek az összegnek a felét becsülték. Ezt azzal indokolják, hogy egyszerűbb hajtáslánccal rendelkezik és a fékrendszere kevésbé kopik, mint a dízel járművéké. Fontos még megemlíteni, hogy úgy gondolják, hogy az első öt évben még nem szükséges az akkumulátor csere (Earl, et al., 2018).

Az következő nemzetközi tanulmány azon kezdeményezésről szól, amely a nehéz tehergépjárművek zéró kibocsátású technológiákra történő átállását vizsgálja. A kutatást az International Council on Clean Transportation (ICCT) készítette 2017 szeptemberében a Zero Emission Vehicles (ZEV) International Alliance számára. A költségvizsgálat célja a különböző teherautótechnológiák költségeinek összehasonlítása egy meghatározott időtartamon belül. A teljes birtoklási költségelemzés egy tízéves időszakra vonatkozik, amely magában foglalja a beruházási költséget, a karbantartási és az üzemanyagköltségeket a jármű élettartama alatt. Az elemzésben vizsgálták a dízel, az üzemanyagcellás, a felsővezetékes elektromos és az akkumulátoros elektromos üzemanyagokat, illetve technológiákat. Az Európai Unióban lévő flották átlagos éves futásteljesítményét vették alapul, ami körülbelül 110 ezer kilométer. A költségeket kilométerenként becsülték, és a 2015 és 2030 között gyártott járművek esetében változatlan költségeket feltételeztek. A karbantartási és javítási költségeket kilométerenként 0,12 dollárra becsülik a dízel jármű esetén és 0,11 dollárra az elektromos teherautók esetében. A hagyományos dízelüzemű járművek költségei idővel növekednek, azonban az alternatív üzemanyag-technológiákhoz képest viszonylag állandóak éves szinten. Az összes többi technológia esetében az évek múlásával csökken az üzemeltetési költség, mivel a beruházási költségek 2015 és 2030 között mérséklődnek (Moultak, et al., 2017). Fontos megjegyezni, hogy a tanulmány csak a jármű- és üzemanyagköltségeket vizsgálja, más tényezőket, mint például az adókat, a biztosításokat, a gépjármű vezető bérét és az útdíjat nem veszi figyelembe.

A harmadik TCO-val kapcsolatos tanulmányt, az International Energy Analysis Department- Lawrence Berkeley National Laboratory készítette. A teljes tulajdonlási költséget alapvetően per mérföld határozták meg, ami az egységnyi beruházási, karbantartási, üzemanyag

és általános üzemeltetési költségeket jelenti. Az elektromos teherautó üzemanyagköltsége az elektromos áram, és a töltőberendezés általános költségéből áll. Az elektromos teherautó beruházási költségét úgy határozták meg, hogy az akkumulátor és egyéb tartozékok költségét és egy dízel jármű egységnyi beruházási költségét összeadták, majd kivonták a dízel tehergépjármű részeinek költségét, mint például az üzemanyagtartályt és a hajtásláncot. Az elektromos teherautóknál a növekvő beruházási költség legfőbb tényezője az akkumulátor ára. A tanulmány a beruházási költséget per mérföldre számította ki, melyeket főként az akkumulátorárak és a teherautók hatótávolsága alapján becsültek meg. Az üzemeltetési időt öt és hét évre határozták meg, mind a dízel, mind az elektromos teherautók esetében. Megállapították, hogy a dízel teherautók öt év esetén kilométerenként 1,6 euró, hét év alatt pedig 1,485 euró költséggel járnak. Az elektromos teherautókat tekintve ez az öt év alatt körülbelül 0,63 euró, hét év alatt pedig 0,73 euró költséget jelentenek kilométerenként (Phadke, et al., 2021). A tanulmány számolt az akkumulátor amortizációjával, de nem vette figyelembe a jármű értékvesztését.

A TCO kulcsfontosságú tényezői a járműtípus és a felhasználási terület, mivel ezek határozzák meg a jármű költségeit, a hajtáslánc követelményeit, a töltésinfrastruktúrát és az üzemeltetési költségeket. A kiegészítő berendezések, például az emelőhátfal vagy hűtőegységek, általában nem kerülnek figyelembevételre a TCO számításokban. A jármű tömegének és hasznos terhelésének megközelítésében különbségek mutatkoznak, és vannak eltérések a járművek bruttó tömegének rögzítésében is. Valamint az akkumulátorok súlyának és a jármű teljesítményének követelményeiben. A járműtömeg és a hasznos terhelés megközelítésében különbségek mutatkoznak. Míg néhány tanulmány az összes technológia esetében rögzíti a jármű bruttó tömegét, és feltételezi, hogy a járműszabályozás változása lehetővé teszi ezt, mások súlybűntetést számítanak az akkumulátorokra, vagy rögzített járműteljesítményt vesznek figyelembe. Az akkumulátorok miatti plusz súly idővel csökkenhet a hatékonyabb akkumulátorok és a gyorsabb töltés elérhetőségével.

3. Anyag és módszer

A dolgozatom kutatási része egy konkrét esettanulmányt tárgyal, amelyben egy elektromos jármű értékesítési mechanizmusát részletezem. A vizsgálat során az értékesített elektromos járművet és egy azonos típusú, azonos paraméterekkel rendelkező dízel járművet vettem alapul, majd a költségek szempontjából összehasonlító elemzésnek vettem alá. A kutatás végső szakaszában modellezéssel vizsgáltam a különböző tényezők egymásra gyakorolt hatását.

3.1. Renault Trucks bemutatása

A Renault Trucks 1894 óta tartja székhelyét Lyonban, Franciaországban. Itt tervezik és gyártják az összes közepes és nagy méretű teherautójukat. A vállalat számos kiegészítő szolgáltatást is nyújt ügyfeleinek, ideértve a finanszírozási és biztosítási megoldásokat, az előre jelző karbantartást és az üzemanyagfelhasználás optimalizálását, valamint az alkatrészek ellátását, hogy teljes körű támogatást nyújtson a gépjárművek üzemeltetése során.

A Renault Trucks igazi büszkesége a történelme, ami 1894-ben kezdődött, amikor Marius Berliet megtervezte és megalkotta az egyhengeres motort, valamint megépítette első benzinmotorral működő autóját. Jelenleg a Renault Trucks ezt a több mint 100 éves örökséget tartja fent a Volvo csoport második legnagyobb cégeként. A Renault Trucks jelen van több mint 100 országban, öt földrészen. A járművek tervezése és gyártása, valamint az alkatrészek gyártása Franciaországban és Spanyolországban történik. A vállalat világszerte 15 000 embert foglalkoztat, és több mint 100 országban 1200 értékesítési és szervizpontot működtet. 11 összeszerelő gyáruk van a világon, amelyből 5 található Európában (Renault Trucks, 2024b).

Renault Trucks, mint a fenntartható mobilitás kiemelkedő szereplője, már több mint egy évtizede elkötelezte magát az elektromos járművek iránt annak érdekében, hogy javítsa az életminőséget városi területeken, és csökkentse a CO₂-kibocsátást, elősegítve ezzel a közúti teherszállítás dekarbonizációját. A Renault Trucks széles választékban kínál teljesen elektromos járműveket különböző felhasználási célokra, melyek, mint látható a 8. ábrán, 650 kilogrammtól, 44 tonnáig terjednek. Emellett teljes körű segítséget nyújt az üzemeltetőknek az átállás folyamatában a fenntartható energiamegoldásokra.

8. ábra: A Renault Trucks jelenlegi elektromos termékkínálata
(Forrás: (Renault Trucks, 2024a))



A második generációs teljesen elektromos járművei a következők: a Kleuster Freegônes e-cargo biciklit, a Renault Trucks E-Tech Trafic Red EDITION-t, a Renault Trucks E-Tech Master Red Edition-t, a Renault Trucks E-Tech D-t, a Renault Trucks E-Tech D Wide-ot, a Renault Trucks E-Tech C-t és a Renault Trucks E-Tech T-t. Ez a széles termékválaszték bizonyítja elkötelezettségüket a fenntartható közlekedési megoldások biztosítása mellett (Renault Trucks, 2024a).

3.2. Esettanulmány

A jövőben várhatóan jelentős változások következhetnek be a tehergépjárművek értékesítési folyamatában, különös tekintettel arra, hogy sokkal átfogóbban kell megvizsgálni, mely jármű típus felel meg leginkább az ügyfelek igényeinek. Jelenleg az elektromos tehergépjárművek alkalmazása még korlátozott a hatótávolság és a töltési infrastruktúra hiánya miatt. Az értékesítőknek fel kell mérniük, hogy mely elektromos jármű lenne a legalkalmasabb a fuvarfeladatok hatékony elvégzésére. Ehhez az ügyfelek részéről szükség van bizonyos kérdések megválaszolására, amelyek segítik a megfelelő specifikáció összeállítását.

Az adatok gyűjtését így az ügyfélnél kezdtük. Ez a vállalat szeretne anonim maradni ezért a következőkben R. Kft.-ként fog szerepelni. Az R. Kft. kapcsolatba lépett velünk ugyanis megbízói igények miatt szerettek volna egy elektromos járművet a flottájukba. A találkozó során a következő kérdések segítették a jármű meghatározását:

- Mi a jármű használat jellege?
- Mi a szállítandó áru jellege?
- Mennyi a hasznos teher, amit szállítania kell?
- Milyen méretű fülkére van igény?
- Milyen tengelytávra van szükség?
- Milyen típusú felépítmény legyen? Milyen paraméterei vannak?

- Hány megálló van a szállítás során?
- Ezekon a megállókon van fel és/vagy le rakodás? Ha van, akkor milyen tömegű áru kerül lerakodásra? Ilyen esetekben sor kerül-e a segédberendezés használatára?
Egy megállón hányszor működteti a segédberendezést?

A fentiekon kívül részletesebb, mélyebb kérdések is felmerülhetnek egy ilyen megbeszélés során, de jelen dolgozatban csak az alap adatok szükségesek a továbbiak kidolgozásához.

A beszélgetés során az ügyfél részéről az derült ki, hogy céljuk egy regionális dízel jármű kiváltása elektromossal, tehát az elektromos jármű ugyanazt az útvonalat és feladatot végezné el, mint dízel társa. A tehergépjármű fuvarfeladata, hogy elmenjen Jászberénybe egy elektronikai eszközöket gyártó céghez, majd az ott felvett árut kiszállítsa két értékesítővel foglalkozó vállalatnak. Körülbelül 6 000 kg szárazárut kellene szállítania, amit az első megállónál felraknak, majd a következő két megállónál nem egyenlő arányban raknak le. Minden fel- vagy lerakási ponton egy alkalommal működésbe hozzák az emelőhátfalat. Az áru jellegéből adódóan az alvázon egy dobozos felépítmény van zárt rakfelülettel.

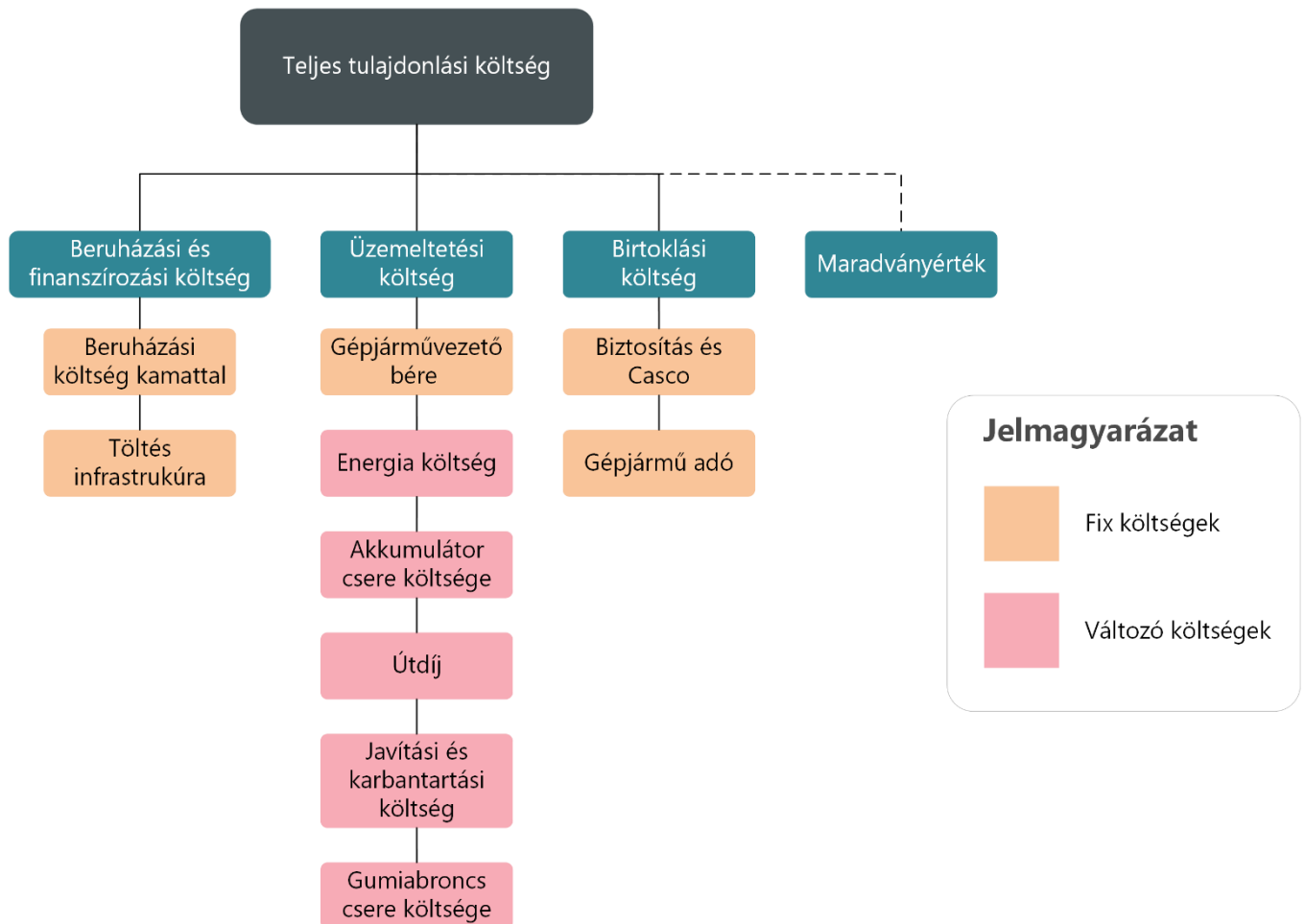
A járműspecifikáció után meg kell vizsgálni, hogy a konkrét fuvarfeladatot hogyan tudja elvégezni. Ezért a Renault Trucks fejlesztett egy programot a *Range Simulator*-t, amely segítségével egy elektromos jármű napi fuvarfeladatát tudjuk leszimulálni. Az ebből nyert adatokból pedig következtetéseket tudunk levonni azzal kapcsolatban, hogy alkalmas-e a jármű a fuvarfeladatra, módosítani kell-e az útvonalat, érdemes-e közben töltést beiktatni, változtassuk-e az akkumulátorok számát, lehetőség van-e egy nap több kör megtételére, illetve adataiból gazdaságossági számítások végezhetők. A szimuláció eredményeit a következő fejezet tartalmazza.

3.3. Teljes tulajdonlási költség számítás

A megfelelő jármű kiválasztása és a szimuláció után az ügyfelek döntését nagyban meghatározó pont következik. Már nem elegendő csupán csak a megfelelő terméket bemutatni számukra, hanem bizonyítani kell, hogy a költségek szempontjából is ez az optimális választás. Az ügyfél döntése jelentős mértékben függ a jármű teljes tulajdonlási költségétől. Ennek érdekében szükséges egy beruházási döntést segítő számítás, amely átláthatóan mutatja be azt, hogy milyen költségekre kell számítani egy elektromos jármű esetén. Ezen költségek összességét, ahogy a szakirodalmi részben is említésre került, *Total Cost of Ownership*-nek

(TCO) nevezzük. A dolgozat szekunder kutatási részében bemutatott TCO számítások közül úgy értékeltem, hogy egyik sem megfelelő módszer az általam kívánt pontos eredmények eléréséhez. Ennek okán saját számítási módszert dolgoztam ki, egyéni jelölésekkel a European Federation for Transport and Environment tanulmánya nyomán. Ennek meghatározásához a következő elemek kiszámítása szükséges, ami a 9. ábrán látható.

9. ábra: A teljes tulajdonlási költséget meghatározó fix és változó költségek
(Forrás: Saját munka)



A költségkalkulációt nem csupán a D Z.E járműre, hanem az R. Kft. dízel járművére is el kell készíteni. Ennek oka az, hogy így összehasonlíthatjuk az ügyfél számára, milyen mértékben különbözik az eltérő meghajtású járművek teljes költsége és annak szerkezete.

Beruházási és finanszírozási költség, maradványérték

A beruházási és finanszírozási költség a vételárból, a kamat és az infrastruktúra költségéből áll. Az elektromos jármű vételára a gyártó által javasolt fogyasztói áron alapul, ami összhangban van a járműspecifikációval.

Az R. Kft. az elektromos járműre kerülő felépítmény tekintetében szeretne ugyan azzal a felépítménygyártóval dolgozni. Ezért biztosak lehetünk, hogy ennek költsége megegyezik. Emellett a járműre kerülő felépítmény és segédberendezések emelik a jármű értékét. A töltés infrastruktúra kiépítése egy fix egyszeri költség, amely minden új elektromos jármű esetén a beruházás részét képezi. Ennek költsége a töltő teljesítményétől függ.

A maradványértéket is ide csoportosítottam, attól függetlenül, hogy ez nem egy költségtényező, de szorosan kapcsolódik bizonyos költségelemkehez, azok kiszámításához.

Az elektromos meghajtású jármű maradványértékének meghatározása teljesen más szempontból van megközelítve. A maradványérték, vagy másnéven visszavásárlási érték függ az akkumulátor állapotától az adott futamidő végén. Ezt úgy kell értelmezni, hogy az akkumulátor élettartama során, egy degradációs folyamaton megy keresztül, amelynek a végén már nem használható és cserélni szükséges. Az akkumulátor állapotának meghatározására van egy számítás, amely később, az akkumulátor csere költségének meghatározásakor kerül bemutatásra.

A beruházási költség meghatározásához szükséges adatokat a 1. táblázat rögzíti.

1. táblázat: Beruházási költséget meghatározó elemek és jelölésük
(Forrás: Saját munka)

	<i>Jelölés</i>
Tehergépjármű nettó vételára	P_t
Felépítmény és kiegészítő felszerelések nettó ára	P_f
Töltési infrastruktúra/teherautó	TI
Kamatláb	r
Maradványérték	RV

Először meg kell határozni a finanszírozandó összeget:

$$\text{Finanszírozandó összeg } (F) = (P_t + P_f) - RV$$

Másodszor pedig a kamatot:

$$Kamat(k) = \left(\frac{F}{2} + RV\right) \cdot \left(\left(\frac{r}{100} + 1\right)^n - 1\right)$$

Ahol az n a futamidők száma.

A beruházási költséget a finanszírozandó összeg és a kamatok költsége együttesen határozza meg.

$$Beruházási\ költség\ kamattal\ (Bk) = F + k$$

Üzemeltetési költség

Az üzemeltetési költség a gépjárművezető béréből, az energia-, az akkumulátor csere-, javítási és karbantartási-, a gumibroncs csere költségéből és az útdíjból áll.

Egy teherautó tekintetében egy sofőrrel számolunk. Az évek számával megszorozva megkapjuk, hogy a különböző futások alatt mennyi a bérköltség. Ez mindkét meghajtás esetén ugyan annyi, nincs olyan, ami indokolja a magasabb bért az egyik, vagy másik jármű esetén.

Energia költség tekintetében már nem ilyen egyszerű a helyzet. Az elektromos jármű átlagos fogyasztását a szimulátor fogja megadni. Dízel esetében könnyebb volt a fogyasztást meghatározni, ugyanis egy használatban lévő jármű fogyasztási adatait ki lehet olvasni az Optifleet1-ből.

A következő számítás alapján kaptam meg az éves fogyasztást.

$$Ef = E_{\text{átl}} \cdot s$$

Ahol:

- Az Ef az éves fogyasztás kilowattórában és literben
- Az $E_{\text{átl}}$ az átlagos fogyasztás kWh/km és liter/100 km-ben megadva
- Az s az éves futásteljesítményt jelöli

¹ A Renault Trucks online flottakezelő rendszere a jobb jövedelmezőség érdekében.

Ezután a következő években az energia árának inflációval történő növekedése alapján kiszámoltam az energia költségét. Az energiaár inflációja 1% volt, tehát minden évben az energiaár 1%-kal nőtt az előző évhez képest. Így az energia ára az n -edik évben:

$$Ep_n = Ep_{n-1} \cdot (1 + r_i)$$

Ahol:

- Az Ep_n az energia ára az n -edik évben
- Az Ep_{n-1} az energia ára az n -dik évet megelőző évben
- Az r_i az éves energia árinfláció
- n az év száma, amelyre kiszámítjuk az energia költségét.

Az energia költség megadásához a következő képletet kell alkalmazni.

$$Ec_n = Ec_{n-1} + (Ep_n \cdot Ef)$$

Ahol,

- Az Ec_n az energia költség n év alatt
- Az Ec_{n-1} az energia költség az n -dik évet megelőző évben
- Az Ep_n az energia ár az n -edik évben
- Az Ef az éves energiafogyasztás

A dízel jármű fogyasztásához hozzá tartozik az AdBlue adalékanyag fogyasztása is. Egy Renault D 16T 4X2 típusú jármű átlagos AdBlue fogyasztása az elfogyasztott üzemanyag 8 %-a.

$$Ac_n = ((Ef \cdot r_a) \cdot Ap) \cdot n$$

Ahol,

- Az Ac_n az AdBlue költsége euróban az n -dik futamidő estén,
- Az n a futamidők száma,
- Az Ef az éves energia fogyasztás literben,
- Az r_a az AdBlue fogyasztása százalékosan megadva,
- Az Ap végül azt adja meg, hogy mennyibe kerül az Adblue literenként.

Az elektromos járműnek is meg van a sajátossága a meghajtásából adódóan, ami az akkumulátor. A maradványérték esetében már említésre került és most ki is fejttem az akkumulátor állapotának meghatározását. Ugyanis mind a maradványérték, mind az akkumulátor csere költsége ettől függ. A Renault Trucks garantálja, hogy 300 MWh energia átvezetésére képes élettartama során úgy, hogy az akkumulátor kezdeti kapacitásának 80%-a az élettartam végén is rendelkezésre áll. Ezt azért fontos megemlíteni, mert ennek alapján tudjuk meghatározni az akkumulátor állapotának százalékos értékét a különböző évek végén.

$$B_{state\ n} = 1 - \left(\frac{E_f \cdot n}{E_B} \right)$$

A csere után az előbb használt képletet ki kell egészítenünk „-1” -el, hiszen le kell vonnunk a már cserélt akkumulátor pakkot.

$$B_{state\ n} = 1 - \left(\left(\frac{E_f \cdot n}{E_B} \right) - 1 \right)$$

Ha akkumulátor cserére kerül sor, akkor egy akkumulátor árát megszorozva az akkumulátorok számával, megkapjuk, hogy mekkora költséget jelentene az adott futamidő esetén.

A gépjármű vezető bérénel említett megállapítás vonatkozik az útdíjra is, ugyanis a kutatás elkészítésekor még nem volt más díjszabás a zéró emissziós járművekre, így a számításnál a költség ugyanannyi lesz. Fontos megemlíteni, hogy 2024 január elsejétől bevezették az alacsony kibocsátású és a kibocsátásmentes környezetvédelmi besorolási kategóriát. Ami azt jelenti, hogy a jövőben kedvezményes útdíjat lehet fizetni az elektromos járművek esetén.

A jármű által megtett útvonal körülbelül 30%-a fizetős útdíjas szakasz. Az éves futásteljesítmény 30 %-a tehát megadja az útdíjas szakaszon megtett éves kilométerek számát. Ezek alapján levezethető mennyi lesz az éves útdíj.

$$Tc = (s \cdot r_t) \cdot Tp$$

Ahol,

- A Tc az útdíj éves költsége euróban
- Az s az éves futásteljesítmény kilométerben

- Az r_t a fizetős útdíj szakasz százalékban megadva
- A T_p a fizetendő útdíj kilométereként

Javítási és karbantartási költség (RM_c) esetén az elektromos tehergépjárműnél jelenleg még nehéz meghatározni, de a Renault Trucks jelenlegi árképzése szerint ez egy éves, fix összeg, ami a futamidők számával lineárisan növekszik. A dízel javítási és karbantartási költsége viszont nem lineáris trendet mutat. Ennek okai a kopó alkatrészek, amelyek az elektromos járműben nem találhatók.

Az utolsó üzemeltetéshez köthető költségelem a gumiabroncs csere. A Renault Trucks bérautó flottája alapján azt tapasztaltuk, hogy körülbelül 100 000 kilométerenként szükséges gumiabroncs csere a hasonló disztribúciós járműveken. Ebben az esetben sem kell különbséget tenni a két jármű között, ezért a következő számítás érvényes lesz mindkettőre.

$$N_{cs} = \frac{(s \cdot n)}{s_g}$$

Ahol,

- Az N_{cs} a cserék száma
- Az s_g a futásteljesítmény, ami után gumiabroncs csere javasolt

Birtoklási költség

A birtoklási költség a gépjárműadóból és a biztosítási költségekből származik.

A gépjármű adó meghatározásában a Nemzeti Adó és Vámhivatal hivatalos adószámítását használtam. Az adó mértékét meghatározza, hogy légrugós-e a jármű, vagy sem. Az általam vizsgált járművek légrugósak, így 850 Ft / 100 kg-al kell számolni. Az elektromos és dízel kamionok esetében az adószámítás nem tér el egymástól, így az alábbi képletbe való behelyettesítés után mindkét jármű gépjármű adója megállapítható.

$$\text{Gépjárműadó (GJA)} = \left(\frac{\text{Saját tömeg} + \left(\frac{\text{Raksúly}}{2} \right)}{100} \right) \cdot 850$$

A kötelező biztosítás és casco tekintetében már nem lehet ennyire egyértelműen meghatározni ezeknek a költségét. Az R. Kft. kiadta számomra a dízel tehergépjárműnek az éves kötelezőbiztosítási és casco díjának összegét. Az elektromos jármű esetében ajánlatot kértem egy gépjármű biztosítási brókertől.

Teljes tulajdonlási költség

Az utolsó költségelem meghatározása után össze kell adni a fix (F_n) és a változó (V_n) költségelemeket.

$$F_n = Bk + TI + GVB + GJA + KBC$$

Ahol,

Bk = Beruházási költség kamattal

TI = Töltési infrastruktúra

GVB = Gépjárművezető bére

GJA = Gépjárműadó

KBC = Kötelező biztosítás és casco

$$V_n = Tc + Ec + Ac + Bc + RMc + Gc$$

Ahol,

Tc = Útdíj

Ec = Energia költség

Ac = Adblue költség

Bc = Akkumulátor csere költsége

RMc = Javítási és karbantartási költség

Gc = Gumiabroncs csere költsége

A fentiek alapján már meghatározható, hogy mennyi lesz a teljes tulajdonlási költsége az elektromos és a dízel tehergépjárműnek.

$$TCO_n = \sum_{n=1}^n F + V$$

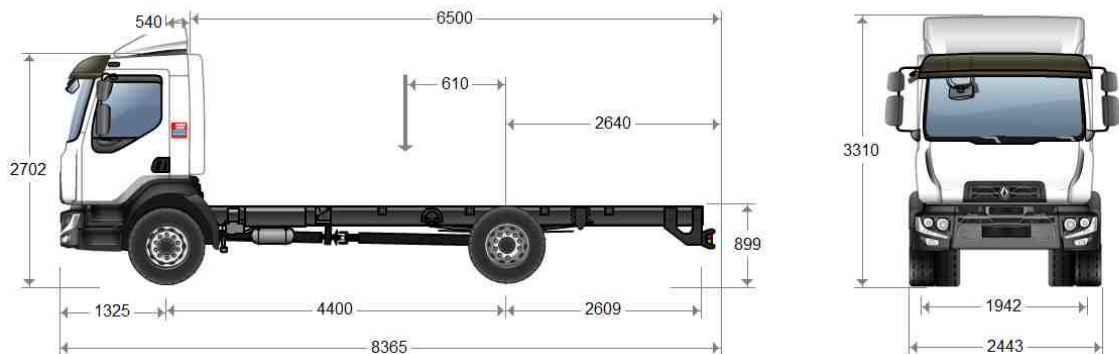
4. Eredmények és értékelésük

4.1. Járműspecifikáció és szimuláció

Mivel az R. Kft. flottájában jelenleg is van egy az ügyfél által kívánt dízel Renault jármű ezért annak a specifikációját alapul véve, számukra egy 16 tonnás, 4X2-es kerékképletű jármű lesz a megfelelő. A Renault kínálatában ennek az elektromos változata a D Z.E. 16 T P4X2, amely a 10. ábrán látható. Az akkumulátorok számát tapasztalatokon és iterációs eljárásokon keresztül tudjuk megadni, illetve ahhoz, hogy a dízel jármű tengelytávját meg tudjuk tartani, ezért első körben négy darab, 66 kWh kapacitású akkumulátorral készítjük el a jármű specifikációját. Ha több akkumulátorra van szükség, akkor a helyigénye miatt hosszabb tengelytáv indokolt. Elsősorban szem előtt kell tartani, hogy ha több az akkumulátor, akkor a jármű beszerzési ára is magasabb lesz, illetve azt, hogy egy hasznot nem hozó, improduktív terhet cipel a jármű, ha több az akkumulátor, mint amennyi szükséges. Ennek elkerülése érdekében a következő részben bemutatott szimuláció az akkumulátor kapacitás ellenőrzésére szolgál. Eredményétől függően növelhetjük, vagy csökkenthetjük az akkumulátorok számát.

10. ábra: D Z.E. 16 T P4X2 alváz és paraméterei

(Forrás: Saját munka a Partner Proposition² programból származtatva)



Először is létrehoztam a járművet az ügyfél válaszai alapján, amelynek adatai az alábbi 2. táblázat foglalja össze. A szimulátornak ezekre van szüksége a számításokhoz.

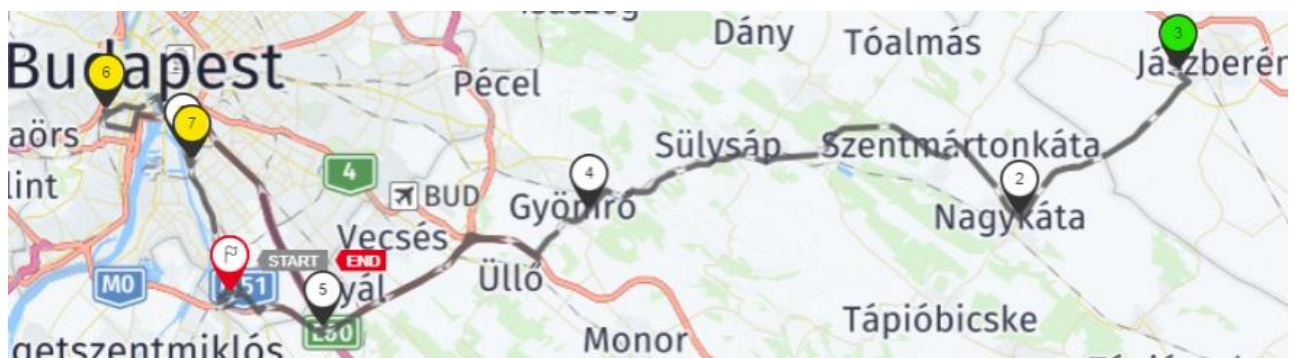
² A Partner Proposition egy olyan Renault Trucks által használt program, amelyben elkészíthető a járművek specifikációja.

2. táblázat: A jármű adatai, amelyeket a szimulációs program felhasznál
(Forrás: Saját munka)

Típus	D Z.E. 16 T 4x2
Akkumulátor kapacitás	66 kWh
Akkumulátor számla	4 db
Töltöttségi állapot (SOC)	80%
Segédberendezés	emelőhátfal
Segédberendezés energiafogyasztása / használat	0,03 kWh
Alváz és akkumulátor súlya	7 710 kg
Saját tömeg	10 200 kg
Bruttó járműtömeg	16 700 kg
Maximális hasznos teher	6 500 kg

A jármű adatok után az útvonalat kell megtervezni. A tehergépjármű fuvarfeladata, hogy elmenjen egy elektronikai eszközök gyártó céghez, majd az ott felvett árut kiszállítsa két helyre. A 11. ábra látható az útvonal.

11. ábra: Az elektromos jármű tervezett napi útvonala
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)



Az útvonal hossza 186 km, amit körülbelül 10 Celsius fokban tesz meg. Ezt az utat egy nap kétszer teszi meg. Az útvonal megtervezése után az egyes fel- és lerakodó helyekhez hozzáadtam a szállított áru tömegét, mennyi időt töltött a fel- és lerakodással, a gépjármű vezető pihenő idejét, illetve, hogy használatban volt-e segédberendezés. A D.Z.E. esetében ez utóbbi az emelőhátfal, amelynek egyszeri használata 0,03 kWh.

12. ábra: A fuvarfeladat egyes pontjai, meghatározó történések, kiegészülve az akkumulátor állapot változásával
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)

Payload change	Service time	Battery charging	Truck Auxiliaries	Remaining
Budapest 1239, Magyarország				
0 kg	0 mins	150 kW, DC	0 mins	Remaining: 211 kWh (100%) 0/1 Auxiliaries
Nagykátá 2760, Magyarország				
0 kg	0 mins			Remaining: 170 kWh (81%) Distance to empty: 249.0 km 0/1 Auxiliaries
Jászberény 5100, Magyarország				
5500 kg	32 mins			Remaining: 161 kWh (76%) Distance to empty: 238.3 km 1/1 Auxiliaries

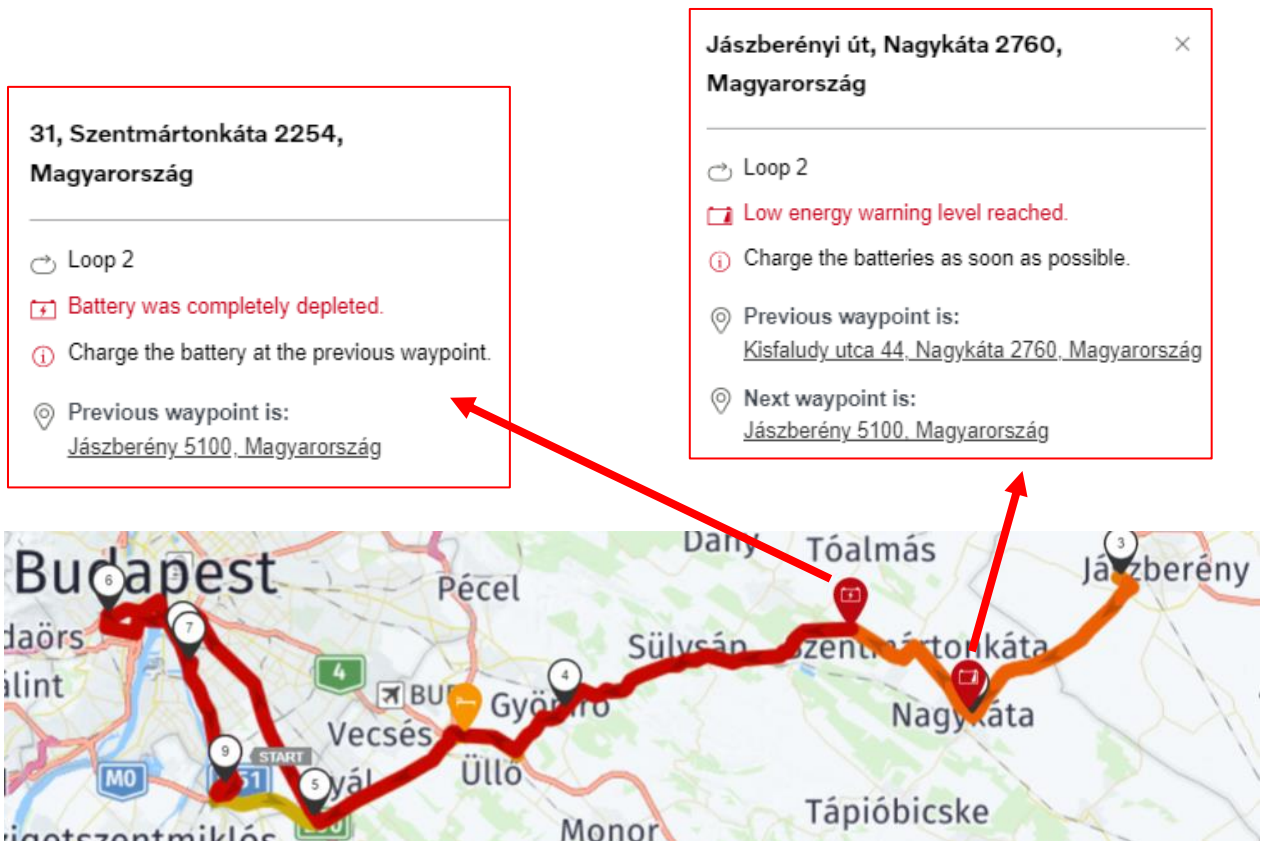
A 12. ábrán látható, hogy a jármű teljesen felöltve indul el a telephelyről. Nagykátát érintve megérkezik Jászberénybe, ahol megtörténik a szállítandó áru felrakása, ami 32 percet vesz igénybe. Az áru tömege körülbelül 5 500 kg és itt használják először az emelőhátfal. A következő két helynél leszállítja az árut. A két lerakási helyen is szükséges az emelőhátfal használata, ezért a szimulációs programban is hozzáadtam ahogy azt a 13. ábra mutatja.

13. ábra: A áru leszállításának rögzítése a szimulációs programban
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)

Budapest 1113, Magyarország				
-3000 kg	17 mins			Remaining: 88 kWh (42%) Distance to empty: 116.0 km 1/1 Auxiliaries
Budapest 1097, Magyarország				
-2500 kg	15 mins			Remaining: 81 kWh (38%) Distance to empty: 108.0 km 1/1 Auxiliaries

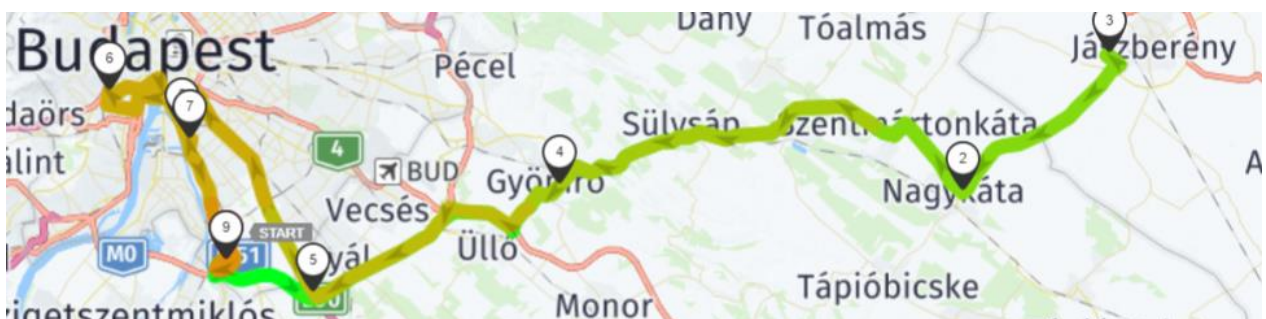
Az eredményt megtekintve látható az alábbi ábrán, hogy a jármű nem képes két kör megtételére, erre a hibaüzenetek is felhívják a figyelmet a 14. ábrán. Pirossal jelöli a program azt a részét az útvonalnak, amit már nem tud befejezni. Ezért szükség van a jármű töltésére, amit ez esetben a saját telephelyén tud megtenni.

14. ábra: A szimuláció lefuttatása utáni hibaüzenetek, ha két kört tesz meg a jármű
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)



Az első kör elvégzése után az akkumulátor töltöttsége 38%, így a telephelyre visszatérve egy 150 kW-os gyorstöltőre helyezik a járművet 60 percre. Amíg töltődik a jármű addig a gépjárművezető kiveszi a 45 perces kötelező pihenő idejét. Ennyi idő alatt nem töltődik fel teljesen az akkumulátor, de 93%-al el tud indulni a fuvarra. A nap végén 27%-os töltöttséggel tér vissza a telephelyre. A 15. ábra alapján a szimuláció ez esetben sikeres volt.

15. ábra: A szimuláció sikeres lefuttatása utáni térképen bemutatott akkumulátor állapot
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)



Az akkumulátor állapotát a szimulátor számítja ki a beírt adatok alapján, ami nagyban függ az áru tömegétől és a megtett kilométertől.

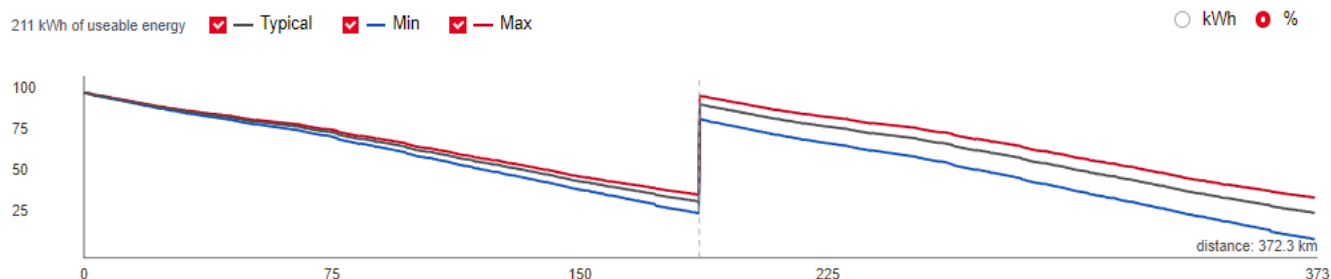
A szimuláció alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy az egy órás gyorstöltés beiktatásával képes ezzel az akkumulátor csomaggal teljesíteni a dízel jármű feladatát, viszont a menetidő ezzel hosszabb lesz. Tovább tudjuk vizsgálni más szempontok alapján is, hogy a jármű valóban meg fog-e felelni a feladatának. Erre az alábbi 3.táblázatban található értékek segítenek megadni a választ, amelyek a szimuláció eredményei.

3. táblázat: A szimuláció eredményeit összefoglaló táblázat
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)

	10 °C	0 °C	20 °C
Energiafelhasználás	Jellemző	Minimum	Maximum
Teljes fogyasztás, kWh	278	309	260
Átlagos fogyasztás, kWh/km	0,75	0,83	0,7
Megmaradt energia, kWh	57	23	77
Megmaradt energia (SOC), %	27	11	36
Visszatermelt energia, kWh	52	52	52
Töltési idő	1 óra	1 óra	1 óra
Töltött energia, kWh	124	121	126
Útvonal hossza, km	372,3	372,3	372,3
Szállított hasznos teher, kg	5500	5500	5500
Átlagsebesség, km/h	45	45	45
Maximális sebesség, km/h	80	80	80

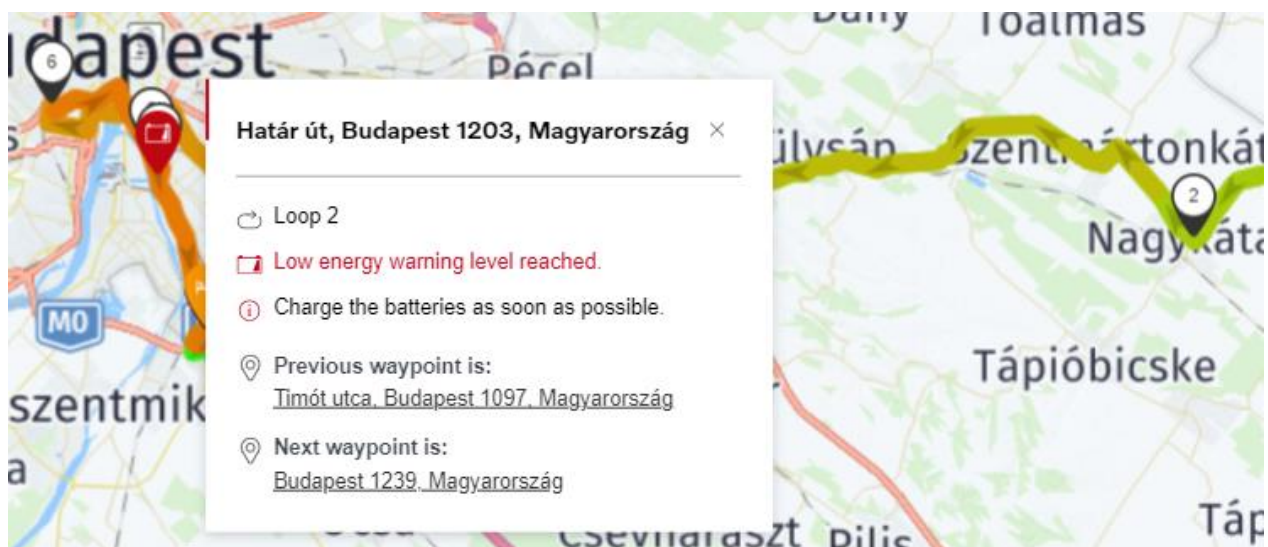
A táblázat a külső hőmérséklettől függően mutatja meg a jellemző (10°C), a minimális (0°C), és a maximális (20°C) energiafelhasználás esetén az adatokat. A 16.ábra alapján látható, hogy az akkumulátor töltöttségi állapotát hogyan befolyásolja a hőmérséklet. Téli időszakban amikor 0°C (késsel jelölt) körül van, akkor az energiafogyasztás drasztikusan nő, és akár az útvonalat sem tudja befejezni a jármű. Ezt a megállapítást a szimulációs eredményeket összefoglaló 3. táblázat is megerősíti, ugyanis a fuvar végére a megmaradt energia már csak 11%.

16. ábra: Az akkumulátor töltöttségi szint a megtett út és hőmérsékletváltozás függvényében
(Forrás: Range Simulator)



A térképen az útvonal színe jelzi az akkumulátorok teljesítményét a kiválasztott referencia-hőmérsékleten. A lenti 17. ábrán, ha a minimális hőmérséklet választjuk, akkor a program jelzi számunkra, hogy a jármű elérte az alacsony energia szintet és minél előbb fel kell tölteni az akkumulátort. Tehát azt állapíthatjuk meg, hogy nullához közeli hőmérséklet esetén nagyon kockázatos elektromos járművel ezt a fuvarfeladatot teljesíteni. Megoldás lehet, hogy a jármű csak egy szállítási kört teljesítsen, vagy meg kell növelni a töltési időt, hogy a második körre 100%-os akkumulátor töltöttséggel induljon. Itt megmutatkozik meg az elektromos járművek egyik sajnálatos hátránya.

17. ábra: A szimuláció lefuttatása minimális külső hőmérséklet esetén
(Forrás: Saját munka, Range Simulator-ból származtatva)



Az eredmények összefoglalásaként arra a következtetésre jutottam, hogy a javasolt jármű megfelel a fuvarfeladatnak és képes teljesíteni az előre meghatározott útvonalat. A szimuláció alapján megtudtam ennek a módját is, és az ehhez kapcsolódó adatok segítségével pontosabb becslést készíthettem a költségekről.

4.2. Költség modell

A kutatás során egy összetett költség alapú modellt alkalmaztam a részletes elemzés érdekében. A következőkben az elektromos és dízel járművek költségstruktúrájának alapos elemzésére és az abból levonható következtetések részletes kifejtésére összpontosít. Az elemzés különböző szempontok alapján vizsgálja az üzemeltetési költségeket, a visszavásárlási értéket az akkumulátor állapotának figyelembevételével, valamint a fix és változó költségek alakulását

a futamidő függvényében. A cél, hogy feltárjuk és megértsük az elektromos és dízel járművek költségeinek alakulását az idő múlásával. Ezen része a dolgozatnak ismerteti a főbb eredményeket, amelyek segítenek abban, hogy megalapozott következtetéseket vonjunk le a járművek költségtényezőinek alakulásáról és hatásairól. Végül modellezéssel megvizsgáltam, hogy a futásteljesítmény változása milyen hatással van a költségszerkezetre.

4.2.1. Költségtényezők

A következőkben az anyag és módszer részben kifejtett képletek segítségével ismertetem az eredményeket.

A beruházási költség meghatározásához szükséges értékek közé tartozik a nettó vételár. A dízel jármű újkori vételára az adásvételi szerződésben szereplő 70 000 €. Az R. Kft. a jármű vásárlásakor évi 5%-os kamatozású lízinget vett igénybe. Ezt a kamatlábat feltételezem az elektromos esetén is. Az elektromos tehergépjármű vételára 257 000 €. Mindkét jármű esetén a felépítmény ugyanaz, így ennek költsége 28 000 € járművenként. Az elektromos meghajtású járműnél plusz költséget jelent a töltési infrastruktúra kiépítése, ami 9 300 € per teherautó.

A dízel gépjármű maradványértékét a 4. táblázat tartalmazza, amit értékesítésekor meghatároztak. Ezt a jármű kora és a futott kilométer alapján határozzák meg.

4. táblázat: A dízel jármű maradványértéke különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

Dízel	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Maradványérték	41 000 €	31 000 €	22 000 €	16 000 €	11 000 €	8 000 €

Ez alapján egyértelmű, hogy az elektromos járműnél is a futamidő változásával a visszavásárlási érték is módosul. Viszont ebben az esetben ez kiegészül még az akkumulátor állapotával, amit két részre oszt az 5. táblázat, 0-50%-ig és 51-100%-ig.

5. táblázat: Az elektromos jármű maradványértéke és az azt meghatározó akkumulátor állapot a különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
0-50 %	55 000 €	43 000 €	32 000 €	23 000 €	16 000 €	12 000 €
51-100%	74 000 €	60 000 €	50 000 €	43 000 €	37 000 €	30 000 €

Ez alapján meg tudjuk állapítani, hogy ha az akkumulátor állapota 3. év végén 25,6%, akkor a maradványérték 55 000 € lesz. A D Z.E. esetében a maradványértékeket a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat: Az elektromos jármű maradványértéke különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

Elektromos	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Akkumulátor állapota	25,60%	0,80%	76%	51,20%	26,40%	1,60%
Maradványérték	55 000 €	43 000 €	50 000 €	43 000 €	16 000 €	12 000 €

A következő 7. és 8. táblázat összefoglalja a beruházási és finanszírozási költségeket az elektromos és a dízel járműre, futamidőkre lebontva.

7. táblázat: Az elektromos jármű beruházási és finanszírozási költségei a különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

Elektromos	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Töltési infrastruktúra/teherautó	9 300 €	9 300 €	9 300 €	9 300 €	9 300 €	9 300 €
Beruházási költség kamattal	256 796 €	277 343 €	281 277 €	297 776 €	330 269 €	343 902 €
Finanszírozandó	230 000 €	242 000 €	235 000 €	242 000 €	269 000 €	273 000 €
Kamat	26 796 €	35 343 €	46 277 €	55 776 €	61 269 €	70 902 €

8. táblázat: A dízel jármű beruházási és finanszírozási költségei a különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

Dízel	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Töltési infrastruktúra/teherautó	-	-	-	-	-	-
Beruházási költség kamattal	67 955 €	80 900 €	92 577 €	101 385 €	109 187 €	115 305 €
Finanszírozandó	57 000 €	67 000 €	76 000 €	82 000 €	87 000 €	90 000 €
Kamat	10 955 €	13 900 €	16 577 €	19 385 €	22 187 €	25 305 €

Az üzemeltetési költség elemei a következőképpen alakulnak.

A gépjárművezető teljesmunkaidős alkalmazott, és éves bére átlagosan 25 800 €. Meghatározott futamidőkre bontva az 9. táblázat foglalja össze az gépjárművezető költségét.

9. táblázat: A gépjárművezető bérköltsége különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Gépjárművezető bére	77 400 €	103 200 €	129 000 €	154 800 €	180 600 €	206 400 €

Energia költség tekintetében már nem ilyen egyszerű a számítás. A szimuláció eredményéből kiderült, hogy a jármű egy nap alatt 372 kilométert tesz meg. Ha az átlagos 250 munkanappal számolunk, akkor egy év alatt 93 000 kilométer a futásteljesítmény. Az átlagos fogyasztást is kiszámolta a szimulátor, ami 0,75 kWh, viszont egy pont ideális külső hőmérsékletet vett figyelembe, amikor se hűteni, se fűteni nem kell a fűlkét és az akkumulátorokat. Ezért a 10°C és a 0°C -ban számolt fogyasztás átlagát, 0,8 kWh/km-t használtam a további számítások során. Ennek eredménye, hogy az éves fogyasztás 74 400 kWh.

A dízel tehergépjármű átlagosan 23 litert fogyaszt 100 kilométeren, a számítás alapján éves fogyasztása 21 390 liter.

A nem lakossági villany ára átlagosan 0,2 €/kWh, míg a gázolajé 1,4 €/l. Az 10. táblázatban összefoglalt inflációs energia árakat látjuk 8 évre vetítve, 1%-os éves infláció esetén.

10. táblázat: Az inflációs energiaárak különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

	1. évben	2. évben	3. évben	4. évben	5. évben	6. évben	7. évben	8. évben
Elektromos (€/kWh)	0,200	0,202	0,204	0,206	0,208	0,210	0,212	0,214
Dízel (€/L)	1,400	1,414	1,428	1,442	1,457	1,471	1,486	1,501

Végül az előzőekben részletezett értékek alapján, az energia költségének eredményeit minkét jármű esetén a következő 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat: Az energia költségek különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

	1 év	2 év	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Elektromos (€)	14 880	29 909	59 968	75 299	90 783	106 422	122 217	138 171
Dízel (€)	29 946	60 191	90 739	121 593	152 755	184 228	216 017	248 123

A dízel jármű energia költségéhez hozzátartozó AdBlue átlagos fogyasztása egy Renault D 16T 4X2 típusú jármű esetén az elfogyasztott üzemanyag 8%-a. Az AdBlue jelenlegi ára literenként 0,4 €, ami alapján az 12. táblázatból kiderül, hogy mennyi az AdBlue költsége az adott futamidő esetén.

12. táblázat: Az AdBlue költsége különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
2 053 €	2 738 €	3 422 €	4 107 €	4 791 €	5 476 €

Az akkumulátor csere költségét az akkumulátor állapotra vonatkozó számítással állapítottam meg. Minden egyes évre az tapasztalható, hogy az 5. évtől negatív eredményeket kapunk. Ez azt jelenti, hogy az az akkumulátor már nem használható az 5. évben, ezért itt szükséges egy akkumulátor csere. Behelyettesítve a képletbe az 5. év végén 76%-os lesz az akkumulátor állapota. A 13. táblázat foglalja össze a futamidők végén az akkumulátor állapotát és az akkumulátor csere számát.

13. táblázat: Az akkumulátor állapot és a cserék száma a futamidők végén
(Forrás: Saját munka)

	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Akkumulátor állapota	25,60%	0,80%	76,00%	51,20%	26,40%	1,60%
Akkumulátor csere száma a futamidő során	0	0	1	1	1	1

Jelenleg egy akkumulátor ára körülbelül 25 000 €. Mivel a D Z.E. jármű specifikációja alapján négy akkumulátorra van szükség, ezért egy alkalommal az akkumulátor csere költsége összesen 100 000 €. Ez a költség az 5 éves futamidő során jelenik meg és a 8 éves futamidő

estén is a része még a költségeknek. A 8. év végén 1,6%-os az akkumulátor állapota, ami alapján arra lehet következtetni, hogy a 9. évben egy újabb akkumulátor cseréjére lesz szükség.

A jármű évi 27 900 kilométert tesz meg útdíjas szakaszon. A kutatás elkészítésekor a fizetendő útdíj 0,2 € volt kilométerenként.

A képlet alapján az elektromos és dízel tehergépjármű futamidőnkénti útdíj költségét a következő 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat: Az elektromos és dízel tehergépjárművek útdíja különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
16 740 €	22 320 €	27 900 €	33 480 €	39 060 €	44 640 €

A javítási és karbantartási költség az elektromos tehergépjármű esetén az ügyfélnek kiadott ajánlatban évente 5 750 €. Ezt futamidőkre kiszámítva az 15. táblázat tartalmazza.

15. táblázat: Az elektromos jármű javítási és karbantartási költségei különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
17 250 €	23 000 €	28 750 €	34 500 €	40 250 €	46 000 €

A dízel jármű erre vonatkozó költségét a megkötött szerződés szerint a 16. táblázatban részletezem.

16. táblázat: A dízel jármű javítási és karbantartási költségei különböző futamidők esetén
(Forrás: Saját munka)

3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
7 000 €	12 000 €	18 000 €	24 000 €	30 000 €	36 000 €

A számítás alapján minden évben gumiabroncs csere szükséges. Ennek költsége évente 3 200 €. Ezt a következő 17. táblázat összefoglalja össze.

17. táblázat: Az elektromos és dízel tehergépjárművek gumiabroncs költsége különböző futamidők esetén

(Forrás: Saját munka)

3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
9 600 €	12 800 €	16 000 €	19 200 €	22 400 €	25 600 €

Biztosítás, casco és gépjármű adó

Az éves gépjármű adó megállapításához behelyettesíttem a képletbe.

Elektromos

$$\text{Gépjárműadó (GJA)} = \left(\frac{10\,200 + \left(\frac{6\,500}{2} \right)}{100} \right) \cdot 850 = 114\,325 \text{ Ft}$$

Dízel

$$\text{Gépjárműadó (GJA)} = \left(\frac{8\,000 + \left(\frac{8\,000}{2} \right)}{100} \right) \cdot 850 = 102\,000 \text{ Ft}$$

Az adott gépjárműadókat átváltottam euróra a könnyebb összköltség számításához. A 380 EUR/HUF árfolyammal átszámított és kerekített összeget tartalmazza a 18. táblázat.

18. táblázat: Az elektromos és dízel tehergépjárművek gépjárműadója különböző futamidők esetén

(Forrás: Saját munka)

	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Elektromos	900 €	1 200 €	1 500 €	1 800 €	2 100 €	2 400 €
Dízel	810 €	1 080 €	1 350 €	1 620 €	1 890 €	2 160 €

Végül a biztosítás és casco ajánlatok alapján az alább 380 EUR/HUF árfolyammal átváltott díjakat kaptam (19. táblázat).

19. táblázat: Az elektromos és dízel tehergépjárművek biztosítási és casco költsége különböző futamidők esetén

(Forrás: Saját munka)

	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Elektromos	11 100 €	14 800 €	18 500 €	22 200 €	25 900 €	29 600 €
Dízel	6 600 €	8 800 €	11 000 €	13 200 €	15 400 €	17 600 €

Az összes költségtényező kifejtése után a teljes tulajdonlási költség is megállapítható.

A TCO számítás eredményét az alábbi 20. táblázat tartalmazza.

20. táblázat: Az elektromos és dízel tehergépjárművek teljes tulajdonlási költsége különböző futamidők esetén

(Forrás: Saját munka)

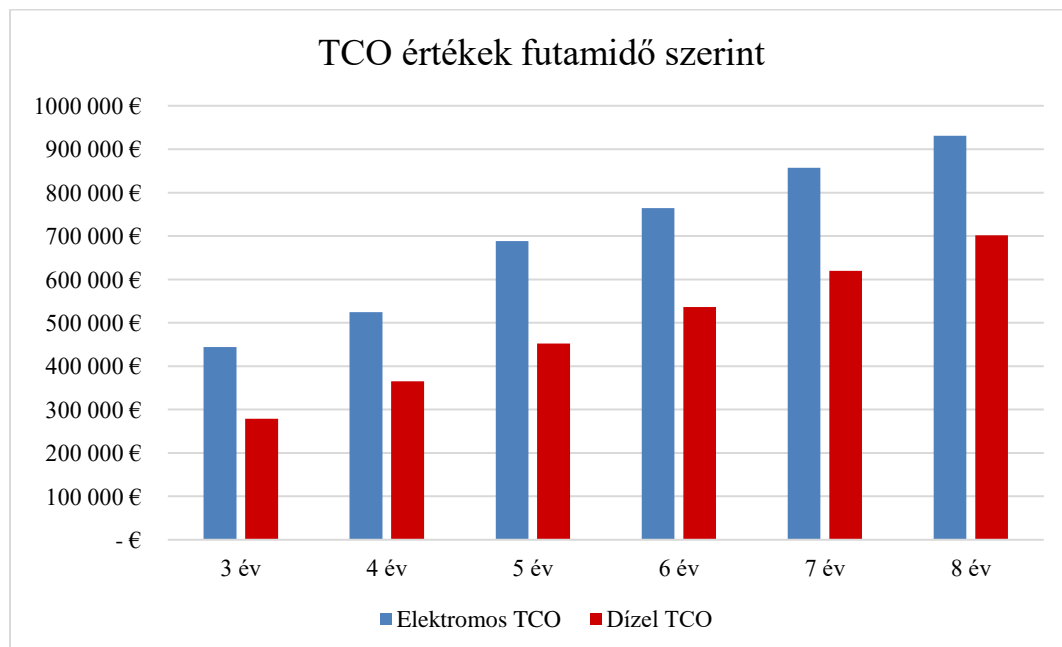
	3 év	4 év	5 év	6 év	7 év	8 év
Elektromos	444 174 €	524 382 €	688 130 €	764 598 €	857 216 €	931 133 €
Dízel	278 898 €	365 431 €	452 004 €	536 021 €	619 345 €	701 304 €

Az előzőekben felsorakoztatott eredmények jobb megértése érdekében a következőkben ezek elemzésére és értékelésére fog sor kerülni.

4.2.2. Teljes tulajdonlási költség (TCO) és a visszavásárlási érték

Az előző fejezetben kiszámolt TCO (teljes tulajdonlási költség) értékek ábrázolva vannak az 18. ábrán, ahol a vízszintes tengelyen a futamidők, míg a függőleges tengelyen euróban kifejezett értékek találhatók.

18. ábra: Az elektromos és dízel tehergépjármű TCO értékei futamidő szerinti bontásban
(Forrás: Saját munka)

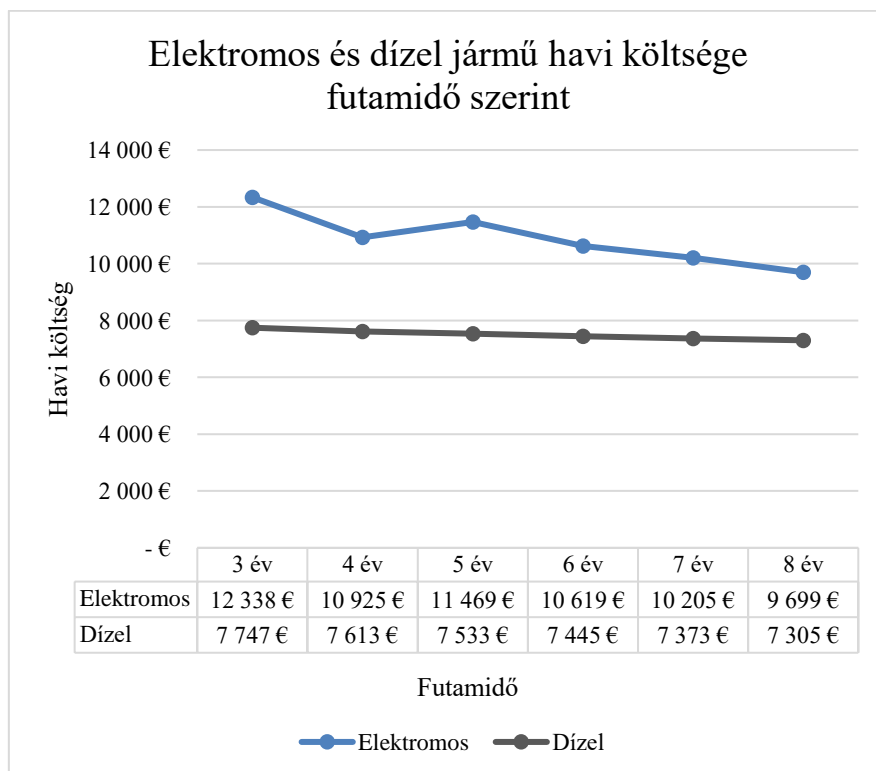


A diagram elemzése során megfigyelhető, hogy a költségek folyamatos növekedést mutatnak az idő múlásával. Rámutat arra, hogy minden futamidő esetén, az elektromos

meghajtású járművek TCO-ja jelentősen magasabb, mint a dízel járműveké. Az elektromos járművek gazdaságossága idővel javul. Például a 3 éves futamidő végén az elektromos járművek TCO-ja mintegy 37%-kal magasabb, mint a dízel járműveké. A 8. futamidő végére ez a különbség már 24%-ra csökken, ami arra utal, hogy az elektromos járművek hosszabb távon versenyképesebbek lehetnek.

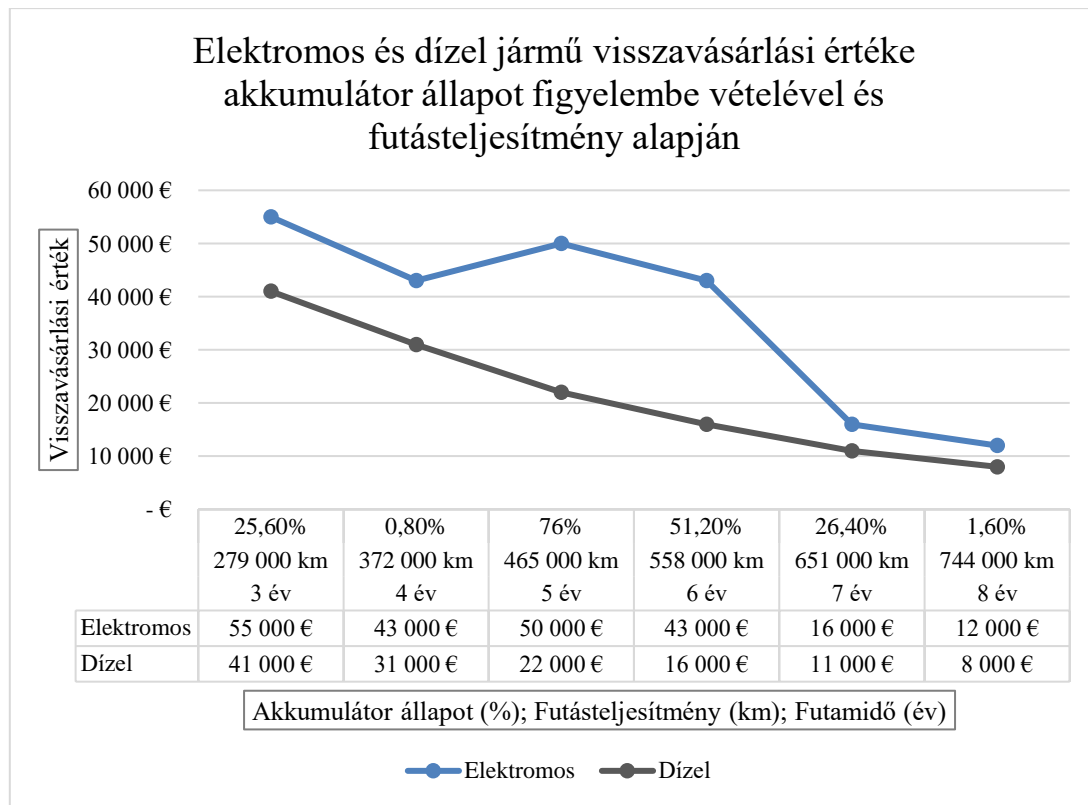
A teljes tulajdonlási költségek értelmezése és megjelenítése az egyes futamidőkön belül, a havonta elköltött összegek felbontásával sokkal részletesebb és áttekinthetőbb. A 19. ábrán a vonaldiagram megmutatja a két jármű havi költségeit a különböző futamidők esetén. Megfigyelhető, hogy a dízel jármű költségei idővel minimális csökkenést, míg az elektromos tehergépjármű költségei változó tendenciát mutatnak. Például a 4 éves futamidő esetében hirtelen csökken a havi költség, azonban az 5 éves futamidő esetén ismét emelkedik. Ettől kezdve azonban fokozatosan csökkennek a havi kiadások. A változó dinamika megértéséhez szükség van a teljeskörű költségelemzésre, amelyre a következő 4.2.3. részben kerül sor.

19. ábra: Az elektromos és dízel tehergépjárművek havi költsége futamidő szerint
(Forrás: Saját munka)



A dolgozat korábbi szakaszában kiemeltém, hogy az elektromos járművek visszavásárlási értéke jelentősen függ az akkumulátor állapotától, míg a hagyományos dízel meghajtású járművek értéke inkább a futásteljesítménytől és a jármű életkorától függ. Az alábbi 20. diagram részletezi e tényezők hatását a különböző futamidőkön belül.

20. ábra: Az elektromos és dízel tehergépjármű visszavásárlási értéke akkumulátor állapot figyelembevételével és futásteljesítmény alapján
(Forrás: Saját munka)



A dízel járművek értéke folyamatosan csökken, míg az elektromos járművek értéke változó tendenciát mutat. Az adatokból látható, hogy a hároméves korú járművek értéke között mindössze kevesebb, mint 15 000 € különbség van, ami 8 éves korukra 4 000 €-ra csökken. Ez indikálja, hogy az elektromos és dízel járművek értéke az idő múlásával közelít egymáshoz. Érdekes jelenség, hogy az elektromos járművek még 6 éves korukban is magasabb értéket képviselnek, mint a dízel járművek fele annyi idős korában. Viszont a 6. évtől rohamosan visszaesik az értékük.

Az adatelemzés során megállapítható, hogy az akkumulátor állapota döntő hatással van a jármű értékére. Látható, hogy az akkumulátor állapota a 4. év végén 0,8% volt, ami azt feltételezi, hogy az 5. évben az akkumulátor cserére szorul. Ez az oka, hogy a jármű értéke magasabb lesz, mint a 4. év végén. Továbbá, a 8. év végére a második akkumulátor is használhatatlanná válik, ami alapján a 9. évben ismét szükség lesz a cserére. Ez a folyamat továbbra is emelni fogja az elektromos jármű értékét, míg a dízel járművek esetében az értékcsökkenés trendje valószínűleg folytatódik. Ennek eredményeképpen a két jármű értéke valószínűleg nem fog azonos szintre kerülni a kilencedik év végére sem. A kilenc éves futamidő azért nem része már a vizsgálatnak, mert ekkorra a jármű erkölcsi avulása és a felépítmény

amortizációja miatt nem gazdaságos befektetni további 100 000 eurót egy közel 750 000 kilométert futott járműbe. Akkumulátor csere nélkül a jármű leselejtezésre kerül. Amennyiben mégis sor kerülne a cserére, a jármű maradványértéke növekedne, és további 4 évig lenne lehetőség a jármű használatára.

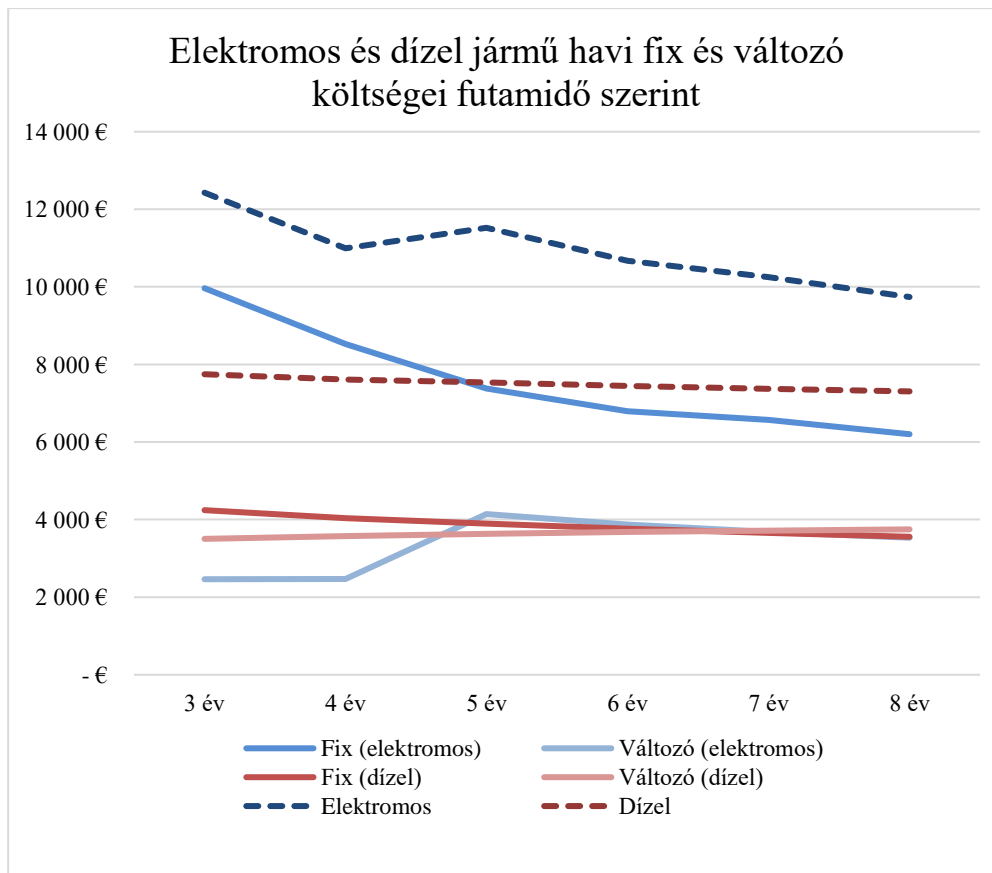
4.2.3. Költségek megoszlása

Az elektromos tehergépjármű teljes tulajdonlási költségének változó tendenciáját futamidők tekintetében a különböző költségelemek részletes vizsgálata segítségével érthetjük meg. A fix és változó költségek futamidő szerinti alakulásának elemzése során érdekes megfigyelésekre tehetünk szert. Míg a dízelnél egy majdnem lineáris trend figyelhető meg, ahol a változó költségek emelkednek, a fix költségek pedig csökkennek, addig az elektromos járművek esetében sokkal dinamikusabban változnak ezek az értékek.

A fix költségek tekintetében a 3 éves futamidő során a legmagasabb havi költség jelentkezik, majd fokozatosan csökken ez a költség a futamidők során. Ez az alternáló tendencia részben azonosítható a változó költségek dinamikus alakulásán keresztül. A 21. ábra vonaldiagramján megfigyelhető, hogy ugyanazon futamidőknél hirtelen változás következik be a trend irányában, ami nagyban befolyásolja az összköltség alakulását.

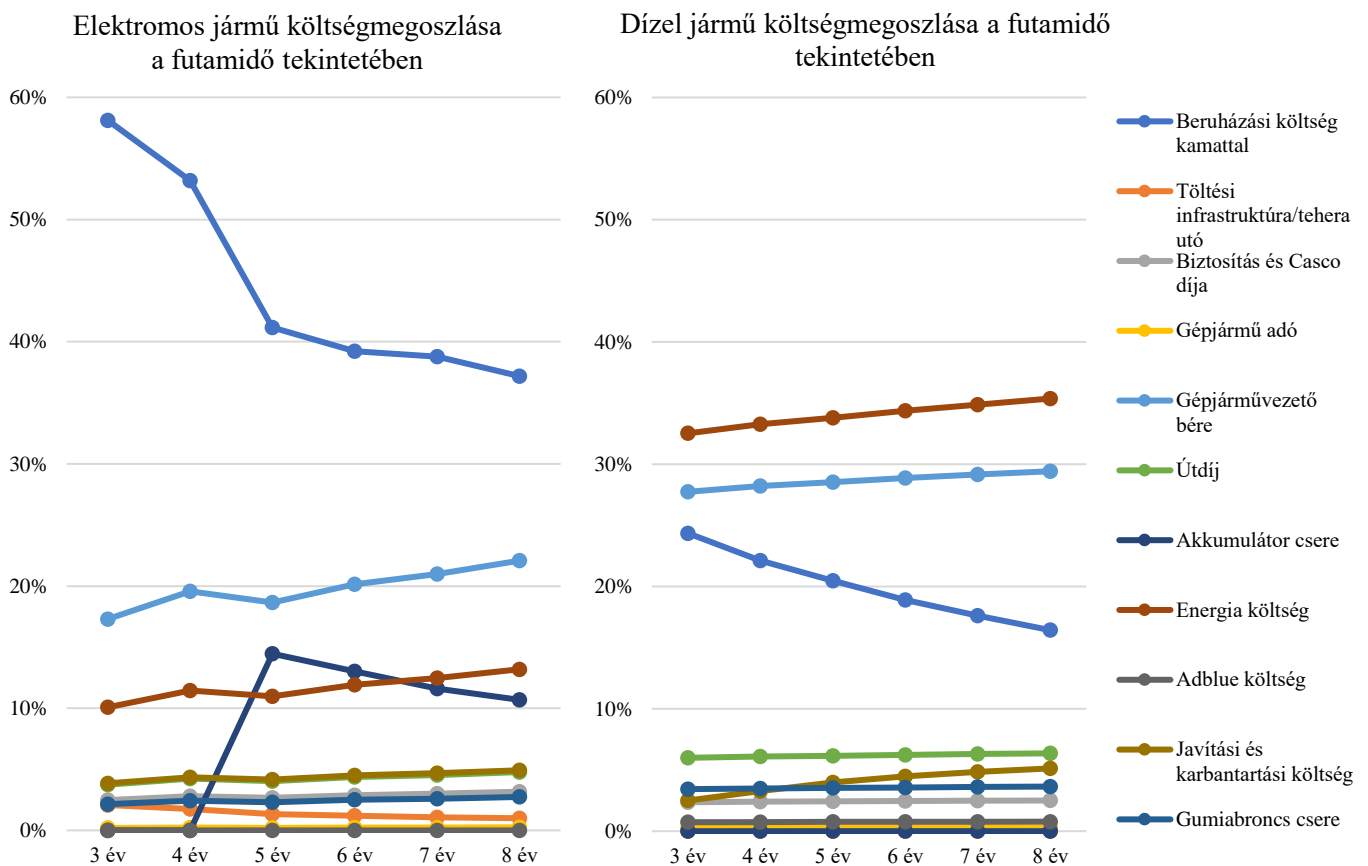
A fix költségek magasabb költségeket mutatnak a változó költségekhez képest, azonban érdekes módon mégis a változó költségeknek van nagyobb hatása a havi összköltségekre. A további elemzések során érdemes mélyebben megvizsgálni mind a fix, mind a változó költségek részleteit annak érdekében, hogy pontosabb következtetéseket vonhassunk le a költségszerkezetre vonatkozóan.

21. ábra: Az elektromos és dízel tehergépjármű havi fix és változó költségei a futamidő szerint
 (Forrás: Saját munka)



A 22. ábrán az elektromos és dízel jármű költségmegoszlása látható az évek előrehaladtával. Megfigyelhető, hogy az elektromos járművek esetén a legnagyobb részét a költségeknek a beruházási költségek teszik ki, míg a dízel járműveknél az energia költség dominál. A D.Z.E. tehergépjármű esetében az iniciális beruházás jelentős, azonban az 5. évben ez az érték meredeken csökken, majd fokozatosan tovább csökken. A dízel járműnél már az energia költség tekintetében inkább egy százalékosan növekvő trendet tapasztalunk. A járművezetők bére mindkét esetben a második legnagyobb költséget jelenti, és az idő előrehaladtával egyre nagyobb részt képvisel az összköltségen belül.

22. ábra: Az elektromos és dízel tehergépjármű költségmegoszlása a futásteljesítmény alapján
(Forrás: Saját munka)



Az 5. évben az elektromos járművek költségstruktúrájában kiemelkedő tényező az akkumulátorcsere költség, amely az összköltség 14,46%-át teszi ki. Jelentős költséget jelent az útdíj mindkét típusú jármű esetében, bár a dízel járművek esetében nagyobb teherként jelentkeznek az összes költség tekintetében. Az idő előrehaladtával az útdíjak százalékos aránya minimális növekedést mutat mindkét típusú jármű esetében.

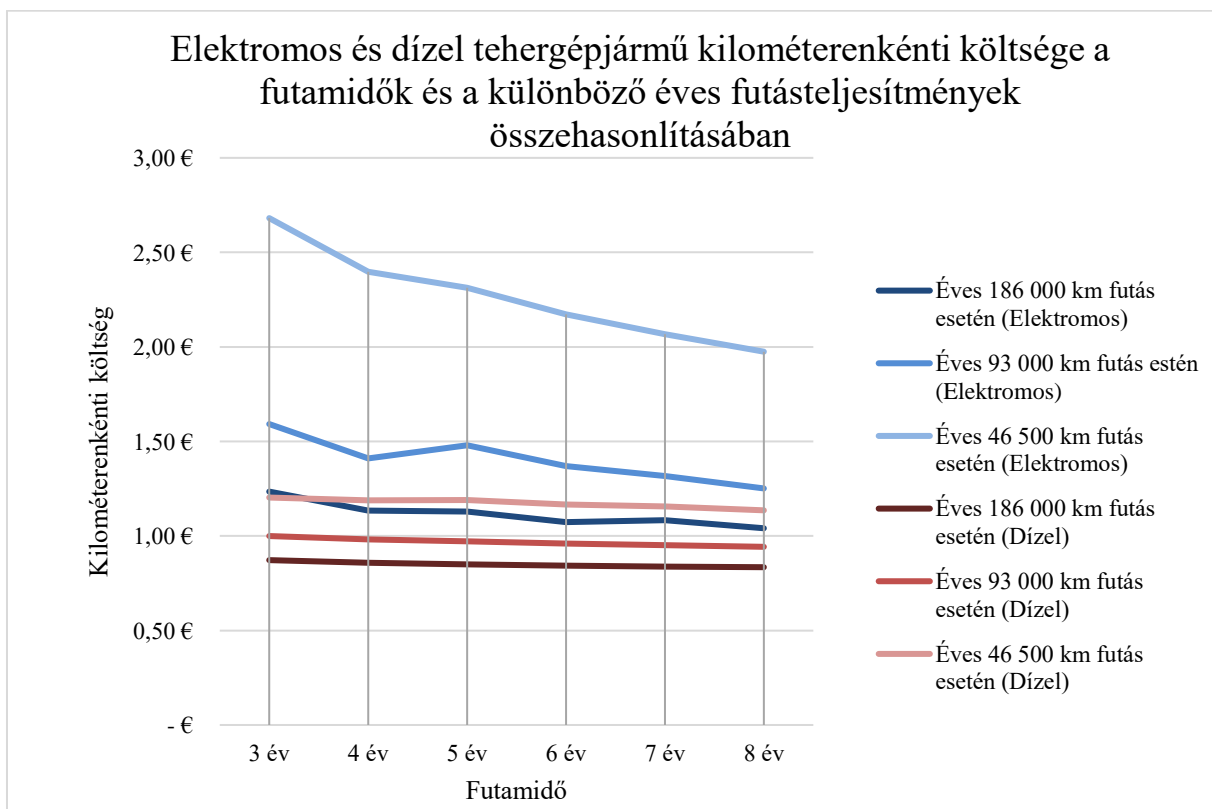
A javítási és karbantartási költségek aránya a dízel tehergépjárművek esetében fokozatosan növekszik, elérve a 8 éves futamidő végére az összköltség 5,13%-át. Az elektromos járművek esetében a karbantartási költségek minimális növekedési tendenciát mutatnak a többi költség között. Fontos megjegyezni, hogy ellentétben a szakirodalmi forrásokkal, az elektromos járművek javítási és karbantartási költségei magasabbak, mint a dízelé. A harmadik évben az elektromos jármű karbantartási költségei 10 250 euróval magasabbak, mint a dízel járművéké, azonban ez a különbség az évek során csak minimálisan csökken.

4.2.4. Kilométerenkénti költség modellezése a futásteljesítmény változása esetén

Az 23. ábra vonaldiagramján a futásteljesítmény változása szerint modellezett kilométerenkénti költség látható. A kutatási részben éves 93 000 kilométerfutással számoltam a járműnek szánt megbízás alapján. A vizsgálat célja annak felmérése, hogy ha ezt az éves futásteljesítményt kétszeresére növeljük vagy felére csökkentjük, hogyan befolyásolja ez a kilométerenkénti költséget.

Megállapítható, hogy mindkét járműtípus esetében, ha a futásteljesítmény a kétszerese - azaz évi 186 ezer kilométert teljesítene -, akkor a kilométerenkénti költség a legalacsonyabb lenne. Ha az elektromos meghajtású tehergépjármű éves futásteljesítményét felére csökkentjük, akkor a költség rendkívül magas lesz, bár ez az évek során mérséklődik, de nem olyan mértékben, hogy közelítsen a szimulációban szereplő jármű kilométerenkénti költségéhez.

23. ábra: Az elektromos és dízel tehergépjármű kilométerenkénti költsége a futamidők és a különböző éves futásteljesítmények összehasonlításában
(Forrás: Saját munka)



A dízel tehergépjárművek költségszerkezete általában stabil, ami azt jelenti, hogy a kilométerenkénti költség nem mutat jelentős fluktuációkat a futásteljesítmény változásával. Ennek eredményeként a dízel tehergépjárművek esetében az idő előrehaladtával a költségek

alacsonyabb fluktuációja tapasztalható, ami stabilabb és kiszámíthatóbb üzemeltetési környezetet teremt.

5. Következtetések és javaslatok

A jármű a szimuláció elvégzése óta átadásra került az R. Kft. számára és kiválóan elvégzi a neki szánt feladatot. Ennek köszönhetően össze tudtam hasonlítani a rendelkezésre álló valós és a szimulációs adatokat (21. táblázat). A valós adatokat az Optifleet rendszerből származtatva vettem számításba.

21. táblázat: A valós és szimulációs adatok összehasonlításához szükséges adatok
(Forrás: Saját munka, a Range Simulator és Optifleet rendszerekből származtatva)

	Tényleges	Szimuláció
Energiafelhasználás (kWh) 10 fok	264	278
Útvonal hossza (km)	368	372,3
Átlagos fogyasztás (kWh/km)	0,72	0,75
Megmaradt energia (SOC), %	29	27

Az adatok közötti eltérés mértéke marginális. A szimuláció alapján 4,3 kilométerrel hosszabb az útvonal, mint a valóságban. Az energiafelhasználás tekintetében a szimuláció magasabb értékeket mutat (278 kWh) a valós adatokhoz (264 kWh) képest. Az átlagos fogyasztás esetében a szimuláció átlagos fogyasztása magasabb (0,75 kWh/km) a valós adatokhoz (0,72 kWh/km) viszonyítva. Így tehát elmondható, hogy a szimulátor nagyobb értékekkel számol, emiatt lehet, hogy a megmaradt energia (SOC) szempontjából a szimulációs adatok szerint kevesebb energia maradt (27%) a járműben, mint a valóságban (29%). Ezen különbségek alapján felmerül a kérdés, hogy a szimuláció mennyire tekinthető pontosnak a valóságos teljesítménnyel szemben. A szimulátor alkotói felhívják a felhasználók figyelmét, hogy a feltüntetett eredmények csak becslések, amelyek elsősorban a felhasználó, vagy az ügyfél által megadott információkon alapulnak. Ezért nem tudják garantálni sem a bevitt információk pontosságát, sem a kimeneti eredményeket. A tényleges eredmények magasabbak vagy alacsonyabbak lehetnek a következő tényezők függvényében, amelyek többek között a járművezető viselkedésétől, a jármű sebességétől, a jármű karbantartásától, a domborzati viszonyoktól, az időjárási és útviszonyoktól, valamint a jármű tényleges használatához kapcsolódó egyéb tényezőktől függenek.

Ezen információk alapján megállapítható, hogy a szimulációs értékek egy optimális állapotot sugallanak, miközben figyelembe vesznek számos befolyásoló tényezőt, ám nem mindegyiket.

Az elektromos jármű teljes tulajdonlási költsége még nyolc éves futamidő esetén is magasabb, ami azt sugallja, hogy a közeljövőben valószínűleg az elektromos járművek teljes költsége nem fogja elérni a dízel járművek szintjét. Ez azt jelenti, hogy csak a nagyobb szállítmányozási vállalatok lesznek képesek megengedni maguknak az elektromos járművekbe történő beruházást. Azonban érdemes megemlíteni, hogy a Renault Trucks-nak már létezik olyan projektje, amelynek az a célja, hogy a jövőben bérleti konstrukciókat kínáljanak az elektromos tehergépjárművekre. Ezek a konstrukciók lehetővé teszik a vállalatok számára, hogy az elektromos járműveket használják, azonban valószínűleg ezek a lehetőségek továbbra is főként a nagyobb fuvarozó cégek számára lesznek elérhetőek, mivel a kisebb cégek számára a bérleti költség is túl magas lehet.

A havi költség és a visszavásárlási érték alapján megállapíthatjuk, hogy a szimuláció során létrehozott járművet érdemes 8 évig üzemeltetni, majd értékesíteni. Ez azért javasolt, mert a kilencedik évben új akkumulátorcsomagra lesz szüksége a járműnek, azonban ennek az alkalmazása nem fogja olyan mértékben növelni a jármű értékét, hogy ez a befektetés megtérüljön. Tehát a 8 éves futamidő optimális időtávot biztosít a jármű fenntartható üzemeltetéséhez és a befektetés megtérüléséhez. Ezzel a stratégiával minimalizálhatóak a hosszú távú költségek és maximalizálható a jármű értéke az üzemeltetés végén. Ezenkívül érdemes figyelembe venni, hogy az elektromos járművek technológiája és piaci értéke is folyamatosan fejlődik. Ennek függvényében az elektromos jármű értéke merőben eltérő lehet, mint amit kezdetben előre jeleztünk vagy becsültünk.

Az elektromos jármű esetén az a következtetés vonható le, hogy nem érdemes elektromos járművet üzemeltetni, ha éves futása nem közelíti meg a 90 ezer kilométert. Valóban, bár több alkalommal kell az akkumulátorokat cserélni, azonban a beruházási költség így térül meg legjobban, figyelembe véve a hosszú távú üzemeltetés és fenntartás teljes költségét. Tehát ezek alapján azt lehet mondani, hogy az elektromos tehergépjárművek költségek szempontjából érzékenyek az éves futásteljesítmény változására. Ez a dízel esetében ilyen mértékben nem releváns.

Az elektromos tehergépjárművek magas kezdeti beszerzési költségeinek csökkentése érdekében az állam támogatást nyújthatna a járművek vásárlásához, vagy lízingeléséhez. Ez lehetne vissza nem térítendő támogatás, kedvezményes lízing konstrukció vagy adókedvezmény. Az ilyen típusú támogatások segíthetnek az elektromos járművek szélesebb körű elterjesztésében, a piaci áttörés elősegítésében.

Az elektromos járművek részére kedvezőbb útdíjak bevezetése ösztönző lehet a fenntartható közlekedés felé. Ez lehet például az elektromos járműveknek alacsonyabb, vagy akár ingyenes út használatot biztosító programok bevezetése. Ebben Magyarország már jó úton halad, kedvezőbb útdíjjal segítik az elektromos járművek üzemeltetőit. Bár amíg ilyen kevés elektromos tehergépjármű van az országban, addig érdemes lenne ezekre a járművekre ezt a díjat eltörlni.

Az elektromos járművek üzemeltetési költségeinek csökkentése érdekében jó lehetőség lenne a napenergia felhasználása. A napelemek telepítése a járművek üzemeltetési területén, vagy a parkolóknál lehetővé tenné a járművek töltését napenergiával. Emellett a napenergia tárolásának megoldásai, például az akkumulátorok vagy más energiatároló rendszerek, segíthetnek a napenergia hatékonyabb felhasználásában és a járművek üzemeltetési költségeinek további csökkentésében.

Az említett intézkedések összehangolt alkalmazása elősegítheti az elektromos tehergépjárművek elterjedését és hozzájárulhat a fenntartható közlekedési megoldások gyakorlati megvalósításához.

6. Összefoglalás

A dolgozatom kutatási részében részletesen elemzésre került egy elektromos jármű értékesítési mechanizmusa egy konkrét esettanulmány keretében. Az esettanulmány során az ügyféllel történő konzultáció után megalkottam a megfelelő paraméterekkel rendelkező járművet, amely megegyezik a jelenleg is használt dízel járművével. Egy szimulációs program segítségével megalkottam ugyan azt az útvonalat, amit a dízel jármű nap mint nap megtesz. A szimuláció eredményeként arra jutottam, hogy a javasolt elektromos jármű megfelel a fuvarfeladatnak.

A szimulációban szereplő elektromos és a vállalat dízel járművének teljes tulajdonlási költségét meghatároztam, majd ez összehasonlításra került. A futamidők nem befolyásolják a teljes tulajdonlási költséget, így az elektromos jármű összköltsége mindig nagyobb lesz, mint a dízelé és az elektromos jármű gazdaságossága idővel javul. Az elemzés részeként alkalmazott költség alapú modell segített abban, hogy részletesen elemezzem az elektromos és a dízel járművek költségstruktúráját és az abból levonható következtetéseket. A maradványérték tekintetében arra jutottam, hogy az elektromos jármű értékét nagyban az akkumulátor állapota határozza meg, ezért mutat változó tendenciát a futamidő előrehaladtával. Ezzel szemben a dízel jármű értékét inkább a jármű életkora és futott kilométere határozza meg, ezért értéke folyamatosan csökken.

Megfigyelhető, hogy míg a dízelnél a változó költségek emelkednek és a fix költségek csökkennek lineárisan, az elektromos járműveknél dinamikusabb tendenciák figyelhetők meg. A költségmegoszlás vizsgálata alapján megállapítottam a dominánsabb költségtényezőket, amelyek nagyban befolyásolják a két jármű összköltségének alakulását. Az elektromos tehergépjárműnél ilyen például a kezdeti beruházási költség, a gépjárművezető bére, az akkumulátor csere költsége és az energia költség. A dízel jármű költségmegoszlásában az energia költség a legmeghatározóbb költségelem, majd a gépjárművezető bére, a beruházási költség és az útdíj.

Megállapításra került a modellezés és a megfogalmazott eredmények alapján, hogy a szimulációban lefuttatott elektromos jármű éves kilométerfutása és üzemeltetési költsége nyolc éves futamidő estén optimális.

A kutatás további megfontolásokat is felvet, például az elektromos járművek technológiájának és piaci értékének folyamatos fejlődését, valamint a futásteljesítmény

változásának hatását a költségszerkezetre. Az előrelépés érdekében fontos az állami támogatások és ösztönzők bevezetése az elektromos járművek terjesztésének elősegítésére, valamint az alternatív energiaforrások, például a napenergia, aktívabb kihasználása az üzemeltetés során. Összességében a kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy az elektromos tehergépjárművek elterjesztése és fenntartható üzemeltetése számos intézkedés kombinálásával valósítható meg.

Ez az integrált megközelítés lehetővé teszi, hogy a közlekedési szektorban jelentős előre lépéseket érjünk el a fenntarthatóság és hatékonyság terén, hozzájárulva ezzel a környezetvédelemhez és a gazdasági fenntarthatósághoz.

7. Források jegyzéke

- ACEA, E. A. M. A., 2022. *'Euro' pollutant emission standards*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Aranyi, P., 2023. Marad a dízel, de nyomulnak az alternatívok. *Navigátorvilág*, október. kötet, pp. 49-51.
- Autotechnika, 2012. *Teljesen elektromos 16 tonnás teherautó a Renault-tól*. [Online]
Available at: <https://autotechnika.hu/cikkek/egyeb/9591/teljesen-elektromos-16-tonnas-teherauto-a-renault-toi>
[Hozzáférés dátuma: 2022.06.14.].
- Az Európai Unió hivatalos lapja, 2019. *Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/ rendelete (2019. június 20.) az új nehézgépjárművek szén-dioxid-kibocsátási előírásainak meghatározásáról, valamint az 595/2009/EK és az (EU) 2018/956 európai parlamenti és tanácsi rendelet és a 96/53/EK tanácsi*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Desmond, K., 2020. *Electric Trucks*. North Carolina: McFarland & Company, Inc..
- Earl, T. és mtsai., 2018. *Analysis of long haul battery electric trucks in EU*. Graz, European Federation for Transport and Environment (T&E).
- EEA, E. E. A., 2020. *A zajszenyezés jelentős probléma mind az emberi egészség, mind a környezet szempontjából*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- EEA, E. E. A., 2021. *A zajszenyezés továbbra is elterjedt Európa-szerte, de mértéke csökkenthető*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Emőd, I., Tölgyesi, Z. & Zöldy, M., 2006. *Alternatív járműhajtások*. Budapest: Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft..
- EUR-Lex, 2023. *Greenhouse gas emission allowance trading system*. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/greenhouse-gas-emission-allowance-trading-system.html>
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.07.].
- Európai Parlament, 2023. *Tények és adatok az autók szén-dioxid-kibocsátásáról*. [Online]
Available at: <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20190313STO31218/tenyek-es-adatok-az-autok-szen-dioxid-kibocsatasrol-infografika>
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.12.].
- Európai Tanács, 2023. *„Irány az 55%!”: az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerének reformja*. [Online]
Available at: <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/>
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.07.].
- European Commission, 2023. *CO2 emission standards for Heavy-Duty Vehicles*. [Online]
Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_23_763
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.07.].
- European Commission, 2023. *Reducing CO2 emissions from heavy-duty vehicles*. [Online]
Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/reducing-co2-emissions-heavy-duty-vehicles_en
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.07.].

- FAO, F. a. A. O. o. t. U. N., 2018. *Klímváltozás Jelvényprogram*. hely nélk.: Food & Agriculture Org..
- Ifj. Chikán, A., 2014. *Az elektromos autózás rövid története*. [Online]
Available at: http://chikansplanet.blog.hu/2014/06/13/az_elektromos_autozas_rovid_tortenete
[Hozzáférés dátuma: 2022.06.14.].
- Kiss, D., 2002. A közúti áruszállítási forgalom okozta környezeti terhelések. *Közlekedéstudományi szemle*, LII.(9.), pp. 331-335.
- KSH, 2023. *Áruszállítás szállítási módok szerint negyedévenként*. [Online]
Available at: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0050.html
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.11.].
- KSH, 2023. *Belföldi áruszállítás szállítási módok szerint*. [Online]
Available at: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0003.html
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.11.].
- KSH, 2023. *Nemzetközi áruszállítás szállítási módok szerint*. [Online]
Available at: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0004.html
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.11.].
- Manz, V. C., 2022. *Short History of Electric Vehicles*. [Online]
Available at: https://www.zf.com/mobile/en/stories_9473.html
[Hozzáférés dátuma: 2022.06.18.].
- McCandless, J., 2021. *100 Years Before the GMC Hummer EV and Tesla Cybertruck, Electric Trucks Were Popular*. [Online]
Available at: <https://www.newsweek.com/100-years-before-gmc-hummer-ev-tesla-cybertruck-electric-trucks-were-popular-1660569>
[Hozzáférés dátuma: 2022.06.18.].
- McFadden, C., 2020. *A Brief History and Evolution of Electric Cars*. hely nélk.: ismeretlen szerző
- Mészáros, F. & Boldizsár, A., 2021. Az áruszállítás környezeti hatása – áruszállítási lábnyom, mint új áruszállítási mutatószám. In: *LOGISZTIKAI ÉVKÖNYV*. Szabadka: Magyar Logisztikai Egyesület, pp. 159-166.
- Modern Mobilitás, 2020. *A villanyautók története*. [Online]
Available at: <http://www.modern-mobilitas.hu/2020/07/10/elektromos-hajtasu-autok-tortenete>
[Hozzáférés dátuma: 2022.06.10.].
- Morris, L. & Mearig, T., 2018. *Life Cycle Cost Analysis Handbook*. 2 szerk. Juneau, Alaska: Department of Education & Early Development.
- Moultak, M., Lutsey, N. & Hall, D., 2017. *Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles*. Washington: International Council on Clean Transportation.
- Nagyszokolyai, I., 2022a. Renault Trucks D Z.E. Electric. *Autotechnika*, 20(2), pp. 28-37.
- Nagyszokolyai, I., 2022b. Renault Trucks D.Z.E. Electric 2. rész. *Autotechnika*, 20(3), pp. 28-36.
- Nowakowska-Grunt, J. & Strzelczyk, M., 2019. *The current situation and the directions of changes in road freight transport in the European Union*, hely nélk.: Transportation Research Procedia.
- Orosz, T., Veres, P. & Bányainé Tóth, Á., 2019. Elektromobilitás az áruszállításban. *Multidiszciplináris Tudományok*, 9(1), pp. 88-95.

- Pézsza, N., Ailer, P., Trencsényi, B. & Palkovics, L., 2011. Közlekedési rendszerbe integrált alternatív járműhajtások. *A jövő járműve*, 1(2), pp. 5-8.
- Phadke, A. és mtsai., 2021. *Why Regional and Long-Haul Trucks are Primed for Electrification Now*. Berkeley: International Energy Analysis Department - Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Pylova, A., 2023. *Comparison of diesel and electric trucks in the transportation company*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Renault Trucks, 2021a. *D & D WIDE ZE Basic Technical Knowledge – Range Discovery*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Renault Trucks, 2021b. *D & D WIDE ZE Basic Technical Knowledge - Traction Voltage 1/2*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Renault Trucks, 2024a. *Electromobility*. [Online]
Available at: <https://www.renault-trucks.com/en/electromobility>
[Hozzáférés dátuma: 2024.02.05.]
- Renault Trucks, 2024b. *Our company*. [Online]
Available at: <https://www.renault-trucks.com/en/about-renault-trucks/our-company>
[Hozzáférés dátuma: 2024.02.05.]
- Sós, N. E., 2020. „A közúti áruszállítás szerepe az árumozgatásban, és a tevékenység során kibocsátott káros anyagok mennyiségének változása. *Műszaki Katonai Közlöny*, 30(1), pp. 141-146.
- Sós, N. E., 2021. A szén-dioxid (CO₂) környezetkárosító hatása és keletkezése az áruszállítási folyamatok során. *Műszaki Katonai Közlöny*, 31(2), pp. 53-67.
- Sugihara, C., Hardman, S. & Kurani, K., 2024. Who decides which trucks to buy? Implications for electrifying freight fleets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 126. kötet.
- Szabó, L., 2010. *A villamos járművek története*. [Online]
Available at: <http://users.utcluj.ro/~szabol/Papers/ENELKO2010.pdf>
[Hozzáférés dátuma: 2022.06.18.]
- Szilágyi, R., Kiss, T., Botos, S. & Felföldi, J., 2021. Alternatív közúti fuvarozási hajtásrendszerek komplex értékelési lehetőségei. In: *Logisztikai Évkönyv*. Budapest: Magyar Logisztikai Egyesület, pp. 150-158.
- Tran, A., 2022. *How to differentiate between Euro 6 and Euro 7*. [Online].
- UNFCCC, S. a.. *The Paris Agreement*. [Online]
Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
[Hozzáférés dátuma: 2022.07.10.]
- Volvo Group, 2019. *Electromobility – Product and Service Market*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Volvo Group, 2021a. *E-mob alapok*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Volvo Group, 2021b. *Az elektromobilitás alapja - Volvo Group termékek*. hely nélk.:ismeretlen szerző
- Volvo Group, S. a.. *More stories from the archive*. [Online]
Available at: <https://www.volvogroup.com/en/about-us/heritage/stories-from-the-archive.html>
[Hozzáférés dátuma: 2024.01.12.]
- Wiedmann, T. & Minx, J., 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: *Ecological Economics Research Trends*. New York: Nova Science, pp. 1-11.

Zinner, G., 2006. *Gépjárművek erőátviteli berendezései*. Budapest: Tankönyvmester Kiadó.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Fekete Noémi Mercédesz
A Hallgató Neptun kódja: YPFOEE
A dolgozat címe: Egy vállalat elektromos és dízel tehergépjárműveinek
műszaki-gazdasági modellezése és elemzése
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Műszaki Menedzsment

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és 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 mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2024 év 04 hó 26 nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Fekete Noémi (hallgató Neptun azonosítója: YPF0EE) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Gödöllő, 2024. április 28.



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.