



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2021. november 24.

KÖRNYEZETI FENNTARTHATÓSÁG A LOGISZTIKÁBAN

ENERGIAHATÉKONYSÁGOT JAVÍTÓ ÉS KÖRNYEZETTERHELÉST MÉRSÉKLŐ KÖZÚTI FUVAROZÁS MAGYARORSZÁGON

Environmental Sustainability in Logistics

Energy Efficiency Improvement and Environmental Impact Reduction in Road Transport in Hungary

Készítette: Simon Rita, NVQY8Y
MATE GTK ÜSZI
Ellátáslánc menedzsment mester szak (MA)
(keresztfélév) 4. félév, végzős hallgató
Levelező tagozat
Budai Campus

Belső témavezető: Dr. Zalainé Mészáros Kornélia, egyetemi
adjunktus, MATE GTK ÜSZI

Külső témavezető: Dr. Bakó Tamás, tudományos munkatárs,
MTA KRTK KTI

**Budapest
2021. október 25.**

Tartalom

1. Bevezetés	3
2. Szakirodalom feldolgozás	5
2.1. A téma időszerűsége: klímaváltozás és a megfékezéséhez kapcsolódó intézkedések	5
2.2. Megújuló energiaforrások a közlekedésben.....	7
2.3. A fenntarthatóság	10
2.3.1. Fenntarthatósági elméletek.....	10
2.3.2. Az Európai Unió energiahatékonyságának irányelvei	13
2.3.3. A fenntartható ellátásilánc.....	14
2.3.4. Alternatív üzemanyagok	18
2.3.5. Elektromos kamionok	23
3. A magyarországi helyzet bemutatása	28
3.1. Magyarország CO ₂ kibocsátása	28
3.2. Magyarország közlekedése a CO ₂ kibocsátás tükrében.....	29
3.3. Alternatív üzemanyagok és meghajtások hazánkban	31
4. Módszertan és eredmények	34
4.1. A modellezéshez felhasznált adatok.....	34
4.1.1. Előrejelzett teljesítmény.....	34
4.1.2. Elterjedési ráta	37
4.1.3. Átlagos fogyasztás.....	39
4.1.4. Egy liter dízel olaj elégetése során a légkörbe kerülő CO ₂ mennyisége.....	40
4.2. A modell	40
4.3. Forgatókönyvek a CO ₂ kibocsátás változásáról 2025-re és 2030-ra	42
4.3.1. Pesszimista forgatókönyv.....	43
4.3.2. Alap forgatókönyv	44
4.3.3. Optimista forgatókönyv	45
4.4. Költségek és optimalizáció	46
4.4.1. Egyszerű (optimalizálás nélküli) költség számítás.....	46
4.4.2. Minimális telepítési költség meghatározása még tolerálható átlagos töltési idő mellett	48
5. Következtetések, javaslatok.....	51
6. Összefoglalás	54
Irodalom jegyzék	56
Ábrák forrásjegyzéke.....	61
Mellékletek	63

1. Bevezetés

Diplomadolgozatom választott témája az ellátásiláncok fenntarthatósága és működésük gazdaságossága. A téma időszerű, mert a természeti környezet romlása, az antropocén vagy kapitalocén klímaváltozás gyorsulása miatt a gazdaság szinte minden területén számolni kell az emisszió csökkentés tényével mindamellett, hogy ezzel párhuzamosan a termelő és szolgáltató folyamatok gazdaságos működését fenn kell tartani a profitabilitás érdekében. A környezeti fenntarthatóság súlyosbodó problémái az ellátásiláncok folyamatait, így a logisztikai közúti fuvarozást is, jelentős kihívás, belátható távon megoldandó probléma elé állítja. A jövő életképességére való tekintettel különösen fontos mihamarabb megtalálni és alkalmazásba venni azt a közúti fuvarozási módot, amely az energiahatékonyságot (teljesítményt) leginkább javítja és ezzel párhuzamosan viszont a környezeti terhelést is számottevően mérsékli.

A dolgozat témájának jelentősége, hogy a közúti fuvarozáshoz köthető fenntarthatósági kérdéskört járja körbe, megoldást keresve arra, hogy milyen módon lenne elérhető, hogy a közúti logisztika környezetileg fenntarthatóbban működjön, miközben teljesítménye nem változik. Annak felvázolása során, hogy melyik alternatív meghajtási típus lenne nagy valószínűség szerint a legmegfelelőbb, milyen feltételekkel és költséggel, a dolgozat azt is igyekszik számba venni, hogy milyen kilátások, trendek mutatkoznak a rendelkezésre álló jelenlegi technológiai előrejelzések alapján a megvalósításra.

A dolgozat első, szakirodalmi részében a környezeti fenntarthatóság és a közúti fuvarozás kapcsolatát vizsgáló szakirodalmat, előrejelzéseket és statisztikai adat háttérrel tekintetem át az Európai Unió és Magyarország vonatkozásában. A második, tudományos módszertani részben három kutatási célkitűzés vizsgálata történt, amelyek a következők:

KC1: 2025-re és 2030-ra a gazdaságfejlődés különböző lehetséges forgatókönyvei alapján (pesszimista, alap, optimista) az elektromos nehéz teherautók és vontatók elterjedési rátájának becslése. Arra számítok, hogy a meglevő statisztikai adatok és előrejelzések felhasználásával, valamint ezekre épített kalkulációval megbecsülhető az elektromos nehéz tehergépjárművek elterjedési rátája 2025-re és 2030-ra.

KC2: Ugyanezen forgatókönyvek alapján előrejelzés készítése a dízeles nehéz tehergépjárművek okozta CO₂ kibocsátásról, valamint az elektromos tehergépjárművek használatával megtakarított CO₂ mennyiségéről. Arra számítok, hogy az előző számítások alapján és további statisztikai adatok felhasználásával forgatókönyvenként becsülhető a dízeles tehergépjárművek által okozott CO₂ emisszió mennyisége. Valamint az elterjedési ráta

segítségével érték adható annak is, hogy az elektromos teherautók és vontatók használata mekkora CO₂ megtakarítást eredményez.

KC3: Annak vizsgálata, hogy mekkora költségvonzata van egy nagy teljesítményű haszongépjármű töltőhálózat (HPCCV) kialakításának országosan, amely biztosítja az elvárható (tolerálható) átlagos töltési időt. Arra számítok, hogy az előző számítások alapján és egyéb technológiai információk figyelembevételével egy körülbelüli összeg kikalkulálható a létesítési költségeket illetően. Ez az összeg, azonban, csakis hipotetikus jellegű, mivel a beruházások mértéke a jelen időpontban teljes biztonsággal előre nem megmondható. A költségbecslés kizárólag útmutatásként szolgál a fenntartható Magyarország megvalósítása felé vezető úton. A létesítési költségek az elterjedési ráta alapján 2025-ben és 2030-ban operáló belföldi elektromos nehéz tehergépjármű flotta számára optimális működést, azaz elvárható töltési időt biztosító töltőhálózat létesítését veszi figyelembe.

A dolgozat utolsó, összegző fejezetében az eredmények rövid felsorolása és értékelése került megfogalmazásra. A témafeldolgozás menete, az alrészek és fejezetek tematikája a célkitűzést hivatott követni, valamint teljes mértékben igyekszik alkalmazni az ellátásilánc menedzsment mester szakon a diplomadolgozati követelmények abszolválásának feltételeit.

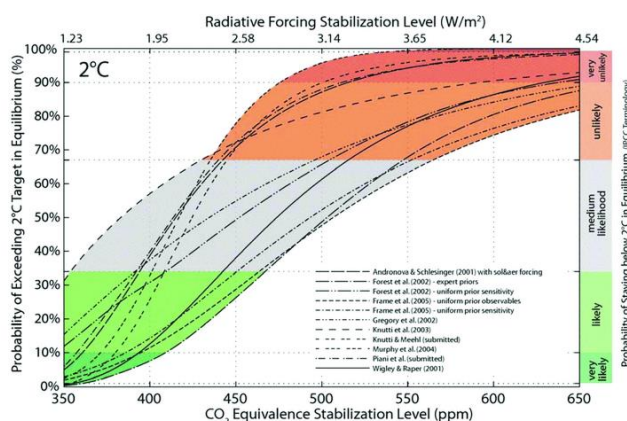
2. Szakirodalom feldolgozás

2.1. A téma időszerűsége: klímaváltozás és a megfékezéséhez kapcsolódó intézkedések

Jelen korunkban jelentős környezeti állapot változás zajlik. Az antropocén éghajlatváltozás kiváltó oka a gazdasági termelőtevékenység következtében a légkörbe jutó üvegházhatású gázok (GHG) egyre nagyobb koncentrációja.

A *Klíma- és Energiaügyi Megoldások Központjának* (C2ES) kimutatása alapján a GHG gázok légkörbe kerülésének vezető globális oka az energiatermelés (72%). Ezen belül a közlekedés 15%-ban felelős az emisszió kibocsátásáért. A globális vezető kibocsátók között az Európai Unió sorrendben a harmadik, 9,1%-os éves emissziós szinttel (C2ES, 2017).

Az *Éghajlatváltozási Kormányközi Testület* (IPCC) grafikont készített a hőmérséklet és a földi légkörben legnagyobb koncentrációban előforduló GHG gáz, a CO₂, összefüggéseiről, amely bemutatja, hogy a felszíni átlaghőmérséklet 2°C-os növekedése, amely már visszafordíthatatlan hatásokat eredményez az ökoszférában, körülbelül 650ppm (pars per million= 1/10⁶ m²) CO₂ légköri szintnél következik be (1. ábra).



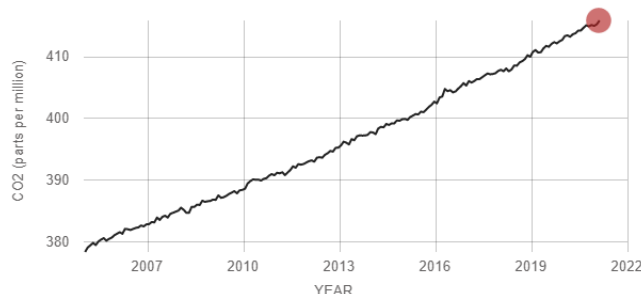
1. ábra: A globális felmelegedés 2°C-os növekedésének valószínűsége.

Forrás: Sobhy, M (2016)

Az amerikai *Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal* (NASA) globális klímaváltozás mérései alapján 2021 júliusában a légkör CO₂ koncentrációja 417ppm volt, ami a 650ppm 64%-a és arányosan +1,28°C átlaghőmérséklet növekedésnek felel meg (NASA Global Climate Change, 2021)¹. A globális CO₂ ppm értékek jó ideje már folyamatos növekedést mutatnak, arra utalva, hogy a légkör CO₂ tartalma egyáltalán nem csökken, az üvegházhatás miatti felmelegedés pedig töretlen (2. ábra). A légkör viszont egyéb üvegházhatású gázokat is tartalmaz (többek között CH₄ metánt, N₂O dinitrogén-oxidot és az úgynevezett halogénezett szénhidrogéneket), melyek

¹ A felmelegedést a 11.500 éve véget ért utolsó nagy eljegesedés óta mért felszíni átlaghőmérséklethez viszonyítják.

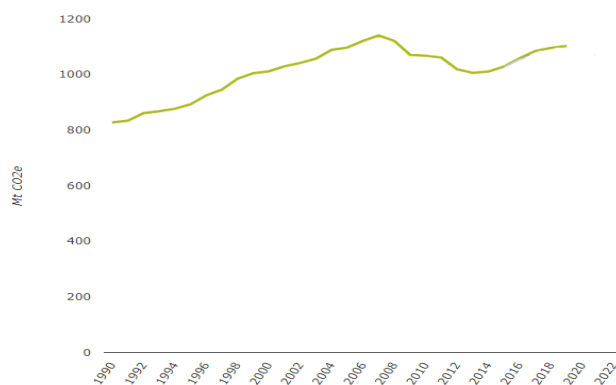
aránya az üvegházhatású gázokon belül körülbelül 40%, ami a CO₂ szinten felül még +0,5°C hőmérséklet emelkedést jelenthet. Így, ha az összes légkörbe bocsátott GHG gáz hőmérséklet emelő hatását nézzük, akkor a globális ökoszféra felmelegedése jelenleg körülbelül +1,78°C körül tarthat (Vida, G, 2016).



2. ábra: Légköri CO₂ ppm értékek az elmúlt évtized havi mérései alapján.
Forrás: NASA Global Climate Change (2021)

Az Európai Unió az elmúlt években célul tűzte ki az emisszió mérséklését. A 2019-es, legújabb fenntartható gazdasági akció tervében, az *Európai Zöld Megállapodásban (Green Deal)* foglaltak alapján 2030-ra az 1990-es kibocsátási szinthez képest legalább 55%-os csökkentést kíván elérni, míg 2050-re karbon semlegessé kíván válni, ami azt jelenti, hogy akkorra a CO₂ kibocsátás értéke nem haladhatja meg az 1990-es szinthez képest legalább 90%-kal csökkentett értéket (T&E, 2020). Ez 2050-re körülbelül akkora emisszió mennyiséget jelentene, amit a környezet még biztonságosan el tudna nyelni, és a klímaváltozást okozó hatásmechanizmus és folyamatos hőmérséklet emelkedés lassulna.

Az *Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) 2020-as Közlekedési és Környezetvédelmi Jelentési Mechanizmusa (TERM)* szerint az Európai Unióban a vezető GHG kibocsátási szektorok között a közlekedés 27%-kal van jelen a növekvő kőolaj felhasználás miatt (3. ábra), ami meglehetősen visszaveti a klíma és környezetvédelmi célok elérését (EEA, 2020a). Ennek legfőbb kiváltó oka, hogy az európai közlekedési szektor még mindig túlnyomóan fosszilis üzemanyagokra támaszkodik (90% felett). Az *Európai Autógyártók Szövetsége (ACEA)* szerint 2019-ban a benzinmotorral meghajtott autók száma az utakon 2,3%-kal növekedett (ACEA, 2020a), míg az áruszállító tehergépjárművek 97,9%-a dízellel üzemelt (ACEA, 2020b). A közlekedésből származó CO₂ kibocsátás az elmúlt években évente körülbelül 2%-kal nőtt (EEA, 2019).



3. ábra: Európai Unió GHG kibocsátása a közlekedési szektorban növekszik.

Forrás: EEA (2020a)

A TERM-ben hangsúlyozottak alapján a jelenlegi uniós erőfeszítések a közlekedési szektor környezeti és klíma hatásainak mérséklésére nem kompatibilisek azzal, hogy a célkitűzéseknek megfelelően a klímaváltozás hatásait hosszú távon mérsékelni tudják. Az EEA szerint további kiegészítő intézkedésekre lenne szükség, mert a mostani közlekedési emissziós trend mellett 2030-ra a GHG kibocsátás a vártnál kisebb mértékben fog csökkenni, és a Párizsi Klímacsúcson deklarált hőmérsékleti határérték megvalósítása nehézségbe ütközhet. Valamint, felmerül annak a veszélye is, hogy a közlekedési szektor nem tud majd az előírt mértékben hozzájárulni a 2050-re tervezett európai klíma semlegességhez sem. Egy 2020-ban független kutatók által készített közlekedési dekarbonizációs tanulmány szerint is ellentmondás tapasztalható az európai *Green Deal* által kitűzött célok és a megvalósítás között (Haas, T – Sander, H, 2020). Az *Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség* (T&E) tanulmánya szintén hasonló véleményt formált (T&E, 2018).

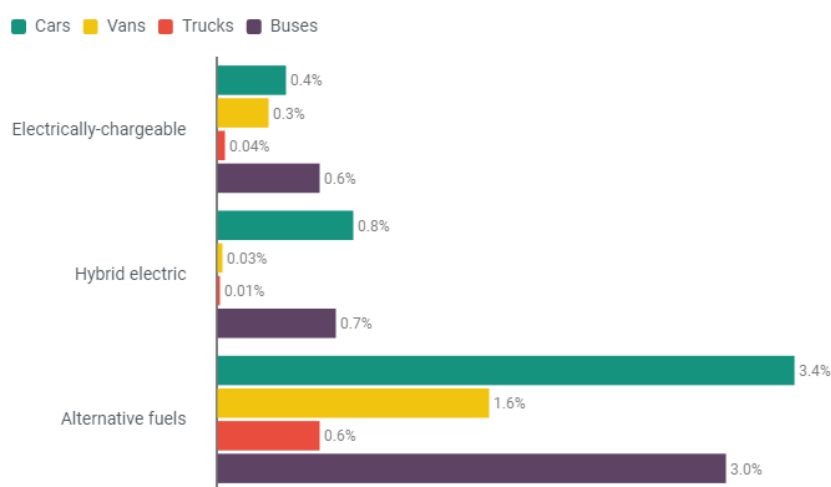
Az Európai Unió klíma- és környezetpolitikáját meghatározó 2016-os *Párizsi Éghajlatvédelmi Egyezmény* az ökoszférai hőmérséklet emelkedés felső határát +2°C-nál húzta meg. A légkör 416ppm-es CO₂ koncentrációja miatt a globális felmelegedés viszont máris elég közel jár a nemzetközi egyezményben toleráltakhoz. Habár az Európai Unió összes tevékenységéből származó GHG kibocsátás mértéke 1990-2018 közötti periódusban 21%-kal csökkent (EUROSTAT, 2021), a közlekedési szektorban a helyzet mitsem javult. Sőt a kibocsátás több, mint 20%-kal nőtt ezen időszak alatt. Szektoron belül a helyzet egyre inkább kiéleződni látszik. Cselekedni kellene.

2.2. Megújuló energiaforrások a közlekedésben

Az Európai Unióban a közúti közlekedés az egyik legtöbb GHG gázt kibocsátó terület. A közlekedésből származó CO₂ kibocsátás 72%-áért a közúti közlekedés felelős, mivel a felhasznált energia több, mint 90%-át kőolaj alapú üzemanyagokból nyerik ki (EEA, 2019).

Az EEA szerint zéró és alacsony kibocsátású közlekedési eszközök használatban való elterjedésére sokkal gyorsabb szükség lenne, mint a jelentlegi gyakorlat. 2019-ben a közlekedési szektorban felhasznált megújuló energia aránya a 2017-es 7,4%-ról 8,4%-ra nőtt, és valószínű, hogy 2020-ban nem érte el a 2009/28/EK *Irányelve a megújuló energiaforrásokból előállított energia (RED)* és a 2009/30/EK *Irányelve a benzinre, a dízelolajra és a gázolajra vonatkozó követelmények* által kitűzött 10%-ot. 2019-ben az Európai Unió 27 tagállama közül csupán három valósította meg a közlekedésben a 10%-os megújuló energia felhasználási arányt: Finnország, Svédország és Hollandia (EEA, 2020a).

Az ACEA statisztikái alapján az európai közlekedési szektorban a megújuló energiaforrások felhasználása nemcsak, hogy kezdetleges, de meglehetősen egyenetlen is. A személyautók esetében 2019-ben a megújuló energia használata 4,6% volt, ami 0,4%-ban oszlott meg az elektromos, 0,8%-ban a hibrid (elektromos és üzemanyagos keverék), és 3,4%-ban az alternatív bioüzemanyag és biogáz alapú keverék üzemanyagok között. A kamionoknak csupán 0,65%-a működött megújuló energia által: 0,04%-ban elektromos, 0,01% hibrid és 0,6% egyéb alternatív üzemanyagokkal (4. ábra).



4. ábra: Az Európai Unióban alternatív üzemanyaggal (elektromos, hibrid és alternatív bioüzemanyagok) működő gépjárművek aránya².

Forrás: ACEA (2019)

Ez az eloszlás viszont még mindig elég alacsony, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy az elmúlt tíz évben a közúti közlekedési eszközök száma folyamatosan nőtt (mintegy 7%-kal). 2019-ben 242,7 millió személyautó és több, mint 35 millió busz és teherszállító jármű közlekedett az Európai Unió útjain (ACEA, 2021a).

² Zöld: autók, sárga: furgonok, piros: kamionok, lila: buszok.

A TERM szerint 2019-ban a közlekedési szektorban felhasznált megújuló energiaforrásokból előállított energia közel 90%-a alternatív bioüzemanyagokból származik. Ezek közül a legnépszerűbb a biodízel és a bioetanol. A biodízel a felhasznált bioüzemanyagok 80%-át adja, és az *98/70/EK Irányelv a benzin és dízelüzemanyagok minőségéről* szóló előírásnak megfelelően 7-10%-os arányban található meg a szénhidrogén alapú dízel üzemanyagba keverve (B7). A bioetanol benzint helyettesít és annak adalékaként szolgál motor üzemanyagként. A motorbenzin biokomponens tartalma 5 vagy 10%-os lehet (E5, E10). Ez azt jelenti, hogy a bioüzemanyagok felhasználása is köthető a GHG kibocsátáshoz, mivel kőolajból származó üzemanyagokba vegyítik őket, amelyek 90-95%-ban továbbra is szennyezőek. A bioüzemanyagok előállításához szükséges növények megtermelése során kibocsátott emisszióról nem is beszélve. A biodízel főként állati és növényi zsírokból készül, amelyek között megtalálható a pálmaolaj és a szója is. Ezek előállítása közismerten nagy környezetkárosítással, CO₂ kibocsátással, trópusi erdőfelégetéssel, biodiverzitás veszteséssel jár. Európában ezen túl repce és napraforgó olajat használnak biodízel készítésre, azonban ezeknek a termőterületét sem lehet bizonyos határokon túlra növelni (McKinnon, A et al, 2015, p. 279-280).

Az európai közlekedésben az alternatív üzemanyagok között az elektromosság még mindig gyerekcipőben jár. Az ACEA piaci elemzése szerint viszont sokkal nagyobb lenne a kereslet, ha meglennének a szükséges infrastrukturális feltételek (ACEA, 2020c). A közlekedési szektorban az elektromos energia arányának növelése csökkentené a fosszilis üzemanyagok használatát, a kevert alternatív bioüzemanyagokra gyakorolt nyomást, és a megújuló energiatermeléshez szükséges infrastrukturális fejlődést is előmozdítaná.

2019-ben az európai közúti közlekedésen belül a logisztikai anyagmozgatásban szerepet játszó áruszállítás a CO₂ kibocsátás 38,1%-ért volt felelős, vagyis a közúti közlekedés során keletkező összes emisszió több, mint 50%-ért. Emellett a közúti áruszállítás a teljes európai árumozgatás mintegy 65%-át teszi ki (Sós, N E, 2020). Ez az arány elég jelentős, tekintettel arra, hogy *Európai Autógyártók Szövetsége* (ACEA) szerint 2019-ben az utakon közlekedő teherszállító kamionoknak legfeljebb csak 0,65%-a működött megújuló energiaforrásból származó üzemanyaggal (4. ábra).

A napjainkban zajló LEAN elvű vállalati beszerzési és értékesítési irányzatok megkívánják a folyamatos, egyre inkább kisebb mennyiségű áru- és alapanyag szállítást, amely együtt jár a készletek örökös mozgásával, akár mozgó tárolásával. A szállítási igények növekedésének fő okai a JIT elvű készletezés, a szolgáltató cégekkel való szoros együttműködés (kiszervezések) növekedése, a termékféleségek számának növekedése, a beszerzési rendelések méretének

csökkenésével egyidőben a rendelések intenzitásának növekedése és az ellátási lánc globalizálódása. Mindez a folytonos GHG kibocsátás miatt jelentősen növeli a környezet terheltségét. Így a logisztikai áruszállításban használatos nehéz teherjárművek kibocsátásának felülvizsgálata, átalakítása meglehetősen időszerű téma és felszültséget ró nemcsak az áruszállítás közvetlen megvalósítóira, hanem a teljes fogyasztói társadalomra is.

Egyre inkább nő a felhasználói igény a zéró emissziós járművekre. Az ellátásiláncokban egyre több, szállítmányozással vagy fuvarozással foglalkozó vállalat fordul az elektromos teherszállítás felé. A legtöbb vállalat számára azonban nem csak a dízel meghajtású tehergépjárművek elektromos akkumulátoros verzióra való cseréjét szükséges végrehajtani. A költségek csökkentését, a profitmaximalizálást a folyamatos adatgyűjtéssel, a legjobb gyakorlat keresésével (benchmarking), az önálló üzemelés beindításával, megfigyelésével tudják majd a működés biztonságosságát és költséghatékonyságát növelni. A rendszerátalakítási folyamatokban nincs mód további évtizedes halogatásokra.

2.3. A fenntarthatóság

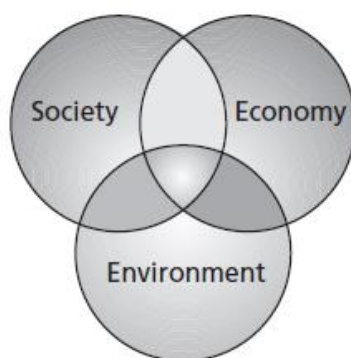
A kialakult környezeti válság kezelése az emisszió csökkentésre való törekvés keretében szemléletváltást kíván meg az ellátásiláncok mentén kialakított áru fuvarozásban, az ellátásiláncok szerkezetében, és az erre alapozott infrastrukturális háttérben. A következőkben szeretném röviden áttekinteni azokat a tényezőket, amelyek elmélyítik a természeti környezet és a közúti ellátási logisztika fenntarthatósági harmonizációjához szükséges tudást, és kiemelik a kutatási téma jelentőségét.

2.3.1. Fenntarthatósági elméletek

Fenntarthatónak az a fejlődési mód nevezhető, amely a jelen igényeit úgy elégíti ki, hogy ezzel nem veszélyezteti a jövő generációk szükségleteinek kielégítését (Horváth, A – Károlyi, L, 2019). Ez nem feltétlen a jelen szükségletek korlátozását jelenti, hanem sokkal inkább arra ösztönöz, hogy a funkcionalitás területén hatékonyabb „win-win” szituáció kerüljön kialakításra a környezet-gazdaság-társadalom hármasa között.

A fenntarthatósági elméleteknek több fajtája létezik. Az úgynevezett gyenge (konvencionális) fenntarthatósági elmélet szerint a környezet, a gazdaság és a társadalom hatást gyakorol egymásra, de kölcsönösen nem függ egymástól (5. ábra). Mindhárom alaptényezőt egyforma körökkel szokták jelölni, a fenntarthatóság alapjait szimbolizáló három alappillérként, azonos fontosságukat kihangsúlyozva. A hármas optimalizálás vagy célrendszer (TBL vagy 3P) elképzelésének közepére szokták a vállalatokat helyezni, mivel ott, a három terület találkozásában érhető el a környezeti-gazdasági-társadalmi célokat optimalizáló fenntartható

fejlődés. Ennek megfelelően, a társadalmi-környezeti szférák metszésében következik be a társadalmi-környezeti fejlődés, a társadalmi-gazdasági és a környezeti-gazdasági metszetben pedig a környezeti-gazdasági fejlődés érhető el. A vállalatok közepén elfoglalt helyzetük alapján a környezetminőség, a társadalmi igazságosság és a gazdasági profit optimalizálásával és a teljes rendszer működésének támogatásával minimálisra tudják csökkenteni a tevékenységükből eredő externális környezeti károkat. Így a fenntartható vállalat gazdasági életképessége mellett egy időben a környezetre és társadalomra nézve is felelős (Horváth, A – Károlyi, L, 2019).

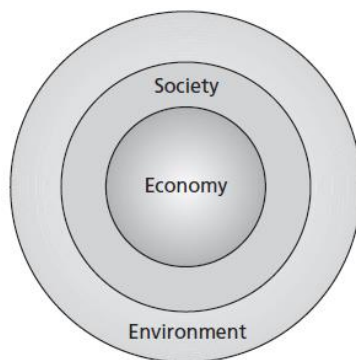


5. ábra: Gyenge fenntarthatósági viszony.

Forrás: Scott Cato, M (2009)

Más nézőpont szerint viszont az 5. ábrán látható gazdasági terület a valóságban sokkal nagyobb befolyással bír a vállalati döntéshozatalban, mint a további két szféra. Ez abban is megnyilvánul, hogy a gazdasági döntések bizonyos részének költségeit a társadalom viseli, a környezet pedig annál is magasabb árat fizet, a termelési folyamatok környezetre káros externális hatásait elnyeli. A gazdaság úgy tekint ezekre az externáliákra, mint a külső környezeti szféra történéseire, vagyis gazdasági szempontból kitolhatók a közvetlen hatótérből és a két szféra metszetében kifizetendő adókért cserébe valahol máshol lehet velük elszámolni. A gazdaság társadalmi hatásaira is hasonló teljesül. Viszont, a természeti környezet belső működése ettől a logikától eltér, adókért cserébe nem igazán tud megtisztulni, a felhalmozott GHG gázok nem roppennek ki csak úgy a légkörből. A környezeti elnyelőképeséget meghaladva a vállalatoknak egy idő után már nincs hova tovább tolni a szennyezést, onnantól kezdve saját maguknak kell gondoskodni gazdasági folyamataik környezeti szabályok szerinti fenntarthatóságáról.

A gyenge fenntarthatóságban tapasztalt anomália miatt szükséges volt bevezetni az erős fenntarthatóság koncepcióját (6. ábra). Az erős fenntarthatóság szerint a gazdaság és a társadalom a környezet végeessége miatti szűkös keretek között van, annak alrendszeréiként.



6. ábra: Zöld gazdaság erős fenntarthatósági fogalmi rendszere.

Forrás: Scott Cato, M. (2009)

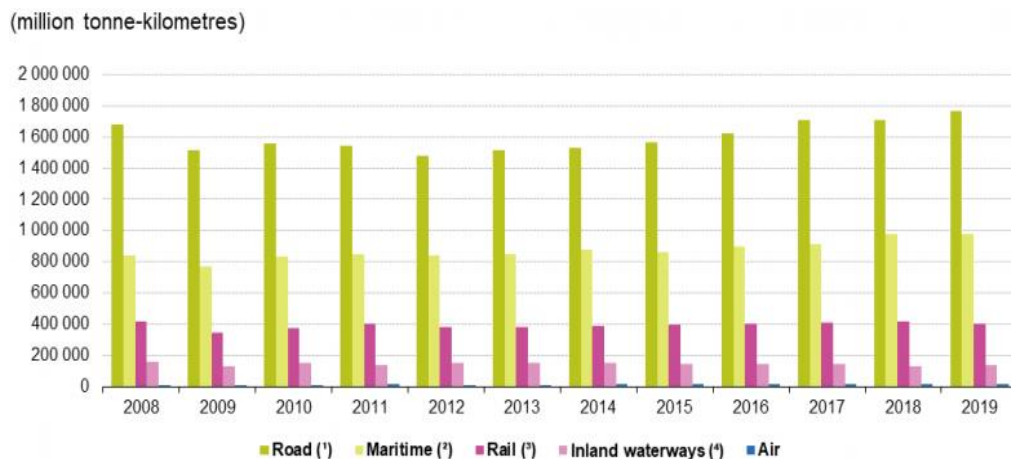
Az erős fenntarthatóság alappillérei három tökéletesen egymásba ágyazott körként jelennek meg. A külső körben van a bolygó által biztosított természeti környezet, amely véges és nem bővíthető. A második körben a társadalmi környezet, ami a bolygón élő emberiséget hívatott megjeleníteni. Legbelül a gazdasági szféra, amely a társadalmon belül, annak termékeként létezik és funkcionál. Az erős fenntarthatósági nézet szerint mind a gazdaság és mind a társadalom függési viszonyban áll a természeti környezettől. A környezeti szféra folyamatosan nyersanyagaival biztosítja prosperálásukat. A környezet az alap, amire a másik két rendszer felépül, így fontosságuk nem egyenlő, hanem a környezet javára kihangsúlyozott. Életet és gazdaságot fenntartó képessége miatt meghatározza a benne helyet foglaló két alrendszer alapvető működését. Mindez magával vonja azt is, hogy az alrendszerek nem nőhetik túl a keretet. Vagyis a társadalom nem szaporodhat túl a bolygó által eltartható populáció mennyiségen, valamint a gazdasági rendszer sem nöheti ki a globálisan rendelkezésre álló teret. Az externáliák kibocsátásáról nem is beszélve, amiket direkt módon az őt környező rendszerekbe ürít. A gazdaságból kikerülve az externáliák áthaladnak a társadalmon, számos megbetegedést és rossz életkörülményeket okozva, majd a természeti környezetben kötnek ki, ahol felhalmozódnak. Hasonlóan a nyersanyag felhasználásnak, a termelésnek és a tőke forgatásának is fizikai korlátai vannak. Ezért a gazdasági alrendszer működésének fokozására egyetlen lehetőség a belső folyamatainak minőségi javítása. Az eddigi, környezeti és társadalmi fenntartó rendszerre egyaránt káros folyamatok beszüntetésére, és a szimbiózisban prosperáló jövőt megalapozó újítások beindítására, bevezetésére lenne a legnagyobb szükség. A GHG gázok kibocsátását olyannyira növelő közlekedés, és az arra épülő ellátási, logisztikai folyamatok kitisztítására, emisszió mentesítésére mindennél nagyobb szükség van.

2.3.2. Az Európai Unió energiahatékonyságának irányelvei

Az Európai Unió 2012/27/EU *energiahatékonysági irányelve* és annak 2018-as módosítása (2018/2002/EU) kötelező jellegű intézkedéseket hozott arra nézve, hogy az európai országok hogyan valósítsák meg energiatermelésük és felhasználásuk harmonizációját a klímacélokhoz megfelelően. Az új irányelv előírja, hogy „*első az energiahatékonysági elv*” figyelembevétele a kínálati oldalra vonatkozó új szabályok kialakításakor. „*Ezen felül biztosítani kell, hogy az energiahatékonyság és a keresleti oldali reagálási mechanizmusok a termelési kapacitással azonos hangsúlyt kapjanak. Az energiahatékonyságot minden, az energiarendszer tervezéséhez kapcsolódó döntés és finanszírozási döntés meghozatala során figyelembe kell venni. Az energiahatékonysági fejlesztéseket minden olyan esetben meg kell valósítani, amikor azok költséghatékonyabbak, mint a megfelelő kínálati oldali megoldások*” (Európai Parlament és Tanács 2018, §2).

Az európai energiapolitika kiemelt hangsúlyt fektet a GHG kibocsátás csökkentés miatti fenntartható energiaellátás fejlesztésére és alacsonyabb fosszilis tüzelőanyag függőségre. Az irányelv energiahatékonysági elvárásai közé tartozik az energiafogyasztás évenkénti 0,8%-os csökkentése, valamint tíz évre szóló *nemzeti energia- és éghajlati terv* (NEKT) készítése arra vonatkozóan, hogy az egyes tagállamok hogyan akarják megvalósítani a klímasemleges energiahatékonysági céljaikat 2030-ig. Valamennyi uniós országnak hatékonyabban kell felhasználnia az energiát az energialánc minden szakaszában, az energiatermeléstől, az átvitelen keresztül, az elosztás és a végső felhasználás periódusában is. Az energiahatékonysági irányelv célkitűzései elősegítik a legújabb európai fenntartható gazdasági akció terv (*Green Deal*) megvalósítását abban, hogy szabályozott előírásokkal meghatározzák a GHG gázok csökkentésének keretében milyen módon kell előmozdítani az energiahatékonysági erőfeszítéseket, valamint az energiahatékonyabb járművek gyorsabb terjedését is szorgalmazzák, ami a közúti logisztikai áru fuvarozás jövőjére tekintettel nagyon fontos.

A *Nemzetközi Energiaügynökség* (IEA) szerint Európában a közlekedés szektor legtöbb energiát lekötő módja a közúti közlekedés (89%) (IEA, 2020). 2018-ban a belföldi áruszállítás 75,3%-a közúton történt (7. ábra). Ezt a trendet a 2020-as világjárvány átmenetileg visszavetette, de a közeljövőben újabb növekedés várható.



7. ábra: Áruszállítás mennyiségi változása szállítási módoként az Európai Unióban³.

Forrás: EUROSTAT (2021)

A közúti áruszállításban jelenleg leginkább használt energiaforrás a fosszilis benzin és dízel (90% felett), ezért a szektor energetikai ellátása nem kompatibilis a környezeti és társadalmi fenntarthatósági alapelvekkel és az Európai Unió fenntartható gazdasági elvárásaival. A közúti áruszállítás mindenképpen energetikai átalakításra szorul.

2.3.3. A fenntartható ellátásilánc

A fenntartható ellátásilánc menedzsment (FELM vagy SSCM) koncepciója a zöld ellátásilánc menedzsmentből (ZELM vagy GSCM) alakult ki, és alapvető filozófiája, hogy az ellátási tevékenységben láncként összekapcsolódó vállalatok gazdasági tevékenységük során nem veszélyeztethetik sem a természeti környezetet, sem a társadalmi jólétet, mert úgy hosszú távon nem tartható fenn sikeres gazdasági tevékenység.

A ZELM az 1990-es évektől hosszabb fejlődésen esett át, mivel a környezetvédelmi koncepciók és a társadalmi tudatosság nézetei egyre inkább begyűrűztek az ellátásilánc menedzsment területére. „*Azt az ellátási menedzsmentet, amely a vállalati vezetői döntésekbe a környezeti fenntarthatóság kritériumait is beépíti, beleértve a termékfejlesztéshez, a beszerzéshez, beszállítók kiválasztásához, gyártáshoz, a termék fogyasztóhoz való eljuttatásához, valamint a termék életciklusának végén a visszatérítések folyamatához kapcsolódó döntéseket összességében zöld ellátásilánc menedzsmentnek nevezzük*” (Szász, L – Demeter, K, 2017, 250. o.).

Az ZELM-ben az ellátásilánc folyamatok, közöttük a közúti áruszállítás GHG emissziós környezetkárosító hatásának mérésére vállalati szinten alkalmazásra került a szénlábnym

³ Szállított millió árutonna kilométer alapján közúti (világos zöld), partmenti tengeri (sárga), vasúti (sötét rózsaszín), belvízi (pink) és légi (kék) áruszállítás.

(carbon footprint) követése, hogy számszerűen meg lehessen állapítani az egyes ellátási tevékenységekhez mekkora környeztkárosító hatás köthető (McKinnon, A et al, 2015, p. 55-77). A ZELM folyamataiban, főként a kedvező társadalmi megítélés miatt, fontos a legjobb gyakorlat keresése (benchmarking), mely során a versenytársakhoz mérve összehasonlíthatóvá válnak az ellátásilánc mentén összekapcsolódó vállalatok belső folyamatai és a saját gyakorlathoz képest lehetőség nyílik a legjobb zöld teljesítményt nyújtó folyamatok alkalmazására. A ZELM szerinti működéshez hozzátartozik az önkéntes környezetjavítást szolgáló tevékenységek vállalása is. Ilyen például a vállalati környezeti jelentés (*green reporting*) készítése, amelyben az ellátásiláncban részt vevő vállalatok évenként felülvizsgálják és kiemelik környezetvédelmi tevékenységeiket és annak társadalmi hasznát. A szintén önkéntes ISO 14000 környezetmenedzsment minőségirányítási rendszer, valamint az EMAS környezetvédelmi vezetési és hitelesítési rendszer szabványokra támaszkodva célul tűzte ki a környezeti integráció megvalósítását a vállalati szintű vezetésben.

Legújabban az ellátásilánc menedzsmentben megjelent a fenntarthatóság átfogó szempontjait magába foglaló rendszerszemlélet is. A FELM „*az anyagi, információs és értékáramlási folyamatok, valamint az ellátásilánc tagvállalatai között megvalósuló, együttműködésnek olyan irányú menedzsmentjét jelöli, amely a fenntartható működés mindhárom célját - azaz a gazdasági, környezeti és társadalmi fenntarthatóságot is – szem előtt tartja a vevők és más érintettek elvárásainak megfelelően*” (Szász, L – Demeter, K, 2017, 242. o.).

A FELM a fenntartható fejlődés hármas optimalizálás (TBL) koncepciójára épülve fő feladatának tekinti az ellátásiláncban képződő profit maximalizálást, miközben a környezeti károk minimalizálása mellett maximalizálja a társadalmi jóléthez való hozzájárulást. A FELM a felelős vállalatirányítás stratégiája, a ZELM eszközeire támaszkodva, de annál szélesebb fenntarthatósági szemléletmóddal tekint a sok szereplős ellátásilánc egészére. A hagyományos tervezés-szervezés-irányítás-megvalósítás rendszerén túl, ugyanezen dimenziókat egy új szemléletű, társadalom- és környezettudatosabb struktúrában fogja össze és harmonizálja a hosszú távú fenntartható fejlődés érdekében. Ennek alapján a FELM koncepciójába beletartozik az emisszió mentes, az energia hatékonyságot javító és a környezetterhelést mérséklő közúti áru fuvarozásra való áttérés az ellátásiláncon mentén. A teljes európai közlekedési szerkezettel a közúti logisztikai áruszállítás rendszere is átalakítást igényel, hogy az ellátásiláncon a fenntarthatósági világválság megváltozott körülményeihez alkalmazkodni tudjanak és „win-win” szituációt kialakítva a természet-gazdaság-társadalom fenntarthatóság pillérei között hosszú távon gazdaságilag fenntartható módon tudjanak prosperálni. Az ellátásiláncon gazdasági teljesítményét, gazdaságosságát úgy lehet fenntartani az emisszió csökkentésén és a

fogyasztói-vevői igények töretlen teljesítésén túl, hogy az erőforrásokat (energiát) olyan módon használják fel, amivel biztosítják a jövőbeli értékteremtő folyamatokhoz szükséges további erőforrások megmaradását vagy újra termelődését. A fenntartható energia integrálása az ellátásiláncok menti közúti szállítmányozásba elengedhetetlen, amelynek megvalósítása túlmegy a vállalatonkénti cselekvőképességen, az önkéntességen vagy a vállalatok ellátásilánc menti összehangolt csoportos fenntarthatósági tevékenységén. A probléma megoldásához feltétlen szükség van központi szabályozásra.

A fenntartható ellátásiláncban a közúti áru fuvarozásnak meg kell felelnie a központi kormányzat által hozott szabályozásoknak. A közlekedési szektor szempontjából egyik legfontosabb európai szabályzat a 2011-től használatos úgynevezett *Fehér Könyv a Közlekedésről (White Paper On Transport)*, ami célkitűzések sorozatát foglalja össze a fenntartható módon működő egységes európai közlekedési térség megvalósításáért.

A *Fehér Könyv* kimondja, hogy a közlekedési rendszer nagy változtatások előtt áll, mivel jelenleg nem fenntartható módon működik és ez a trend nem folytatódhat. Kiemeli az új, alternatív technológiák alkalmazásának jelentőségét, valamint a szükséges infrastruktúra kiépítésére is hangsúlyozott figyelmet fordít. Előírja az európai multimodális közlekedés megvalósítását. A multimodális közlekedés keretén belül a vasúti és folyami hajózás fejlesztését kiemelten szem előtt kell tartani, mert az összekapcsolt vasúti-folyami-közúti áruszállítási útvonalak létrehozásával a közúti közlekedés túlterheltsége és környezetre gyakorolt nyomása mérséklődik. A multimodális áruszállítással párhuzamosan a *Fehér Könyv* megfogalmazza a transzeurópai közlekedési hálózat (TEN-T) kialakítását, amely egész Európát átfogó közúti-vasúti-folyami-légi közlekedési hálózatot hoz létre legkésőbb 2050-re azzal a céllal, hogy a kontinens gazdaságos és fenntartható közlekedését szolgálja. A hálózat központi folyosóit páneurópai közlekedési folyosóknak nevezzük (White Paper On Transport, 2011, p. 7).

A *Fehér Könyv* a rövid és közép távú (300km alatti) ellátási áru fuvarozás megvalósítását főként közúton képzei el, míg hosszú távon, a multimodális páneurópai közlekedési folyosókon. A szállítmányozás jelentős részének közúti volta miatt a *Fehér Könyv* előírja az áruszállító gépjárművek technológiai fejlesztését, az energiahatékonyságra való törekvést, az új meghajtások, az alternatív üzemanyagok alkalmazását, valamint a multimodális áruszállítási hálózaton az ellátásiláncok optimalizálását. Terv szerint 2030-ra a hosszú távú áruszállítás 30%-a kerülne át a multimodális úthálózatra, 2050-re pedig több, mint 50%-a.

A *Fehér Könyvben* foglaltak megvalósítása rendkívüli módon innováció függő. Az energiahatékony és környezetileg fenntartható közlekedés és áruszállítás technológiai

újításokat, innovatív stratégiát, és a legjobb megoldások kiválasztását kívánja meg. A közlekedési rendszer megváltoztatása nagy befektetésekkel jár a környezetbarát technológiákba, és hosszú időn át tartó infrastruktúra kiépítést igényel. A jövőbeli áruszállításban kiemelt szerepet fog kapni az újfajta meghajtás miatt a gépjárművek teljesítménye és energia hatékonysága, a légkör tisztán tartása és a szállítási útvonalak jobb kihasználtsága. A transzeurópai közlekedési hálózat azon részei, ahol ezek a feltételek megvalósulnak, lehetőség szerint multimodalitással kombinálva, zöld folyosóknak nevezhetők. A *Fehér Könyv* továbbá előírja az üzleti célú emissziós tanúsítványok és általános CO₂ kibocsátási mértékrendszer megalkotását abból a célból, hogy az áruszállítás során keletkező szénlábnyom számítás lehetővé váljon akár vállalati, vagy akár minden egyes fuvar szintjén.

A *nehézgépjárművek CO₂ kibocsátásának csökkentéséről (2019/1242/EU)* szóló rendelettel az Európai Unió a gyártó vállalatokat minden tagállamban egységesen arra kötelezi, hogy megfelelő technológiák alkalmazásával az új nagyméretű kamionok (N₃ kategória) és vontatók (O₄ kategória) CO₂ kibocsátását 2025-ra 15%-kal, 2030-ra pedig 30%-kal csökkentsék a 2019-es európai átlaghoz képest. Az áruszállító tehergépjárművek kibocsátás csökkentésének tovább szigorodó előírása 2030-tól várható.

A rendelet a zero és alacsony kibocsátású járművek (ZLEV) technológia semleges módon⁴ történő elterjedését is ösztönzi, amelynek eszköze a korai cselekvések jutalmazásaként egy superkredit rendszer. A superkredit elszámolás lényege, hogy a gyártó kredit jóváírást kap, ha a ZLEV járművek aránya az új nehézgépjármű állományában növekszik. 2025 után pedig egy benchmark alapú superkredit jóváírási rendszer lesz várható. A kreditek megszerzése előnyöket biztosít a gyártóknak, például könnyebb hitelfelvételt vagy adókedvezményt, ami a vállalatok nemzetközi versenyképessége szempontjából előremozdító tényező. Az együttműködés elutasítása pénzügyi büntetést von maga után.

A közúti nehézgépjárművek CO₂ kibocsátásának felügyelete a gyártói jelentések alapján történik, melyet a tagállamok kormányai ellenőriznek. Az új nehézgépjárművek CO₂ kibocsátásának nyomon követése és bejelentése (2018/956/EU) rendelet értelmében. A felügyeleti rendszer lényege, hogy a gyártók figyelemmel kísérik és jelentik az új kamionok CO₂ kibocsátásait az európai piacon gyártott minden új jármű esetében. Az adatokat az egységes jármű energiafogyasztás kalkulátor szoftverbe (VECTO) táplálják, majd továbbítják a kormánynak. Mindez kiegészíti a személyautókra és furgonokra már régebb óta használatban levő felügyeleti rendszert. A közúti nehézgépjárművek teljes életciklusú CO₂

⁴ A technológiai semlegesség a folyamatosan fejlődő ZLEV kamion technológiákra utal, amik a szóba jövő CO₂ mentes vagy alacsony kibocsátású alternatív üzemanyagokra alapozva több irányban fejlődnek.

kibocsátásnak értékelésére vonatkozó módszertan 2023-ban kerül majd először alkalmazásba (European Commission, 2019).

Az Európai Zöld Megállapodásban (Green Deal) kitűzött emisszió csökkentési értékeket és a hozzájuk fűződő szabályozási lépéseket az első európai klímarendelet (Climate Law) igyekszik törvénybe foglalni. A törvény hatályba lépése után az európai emissziós szabályozások kielégítetlensége az ellátásiláncok menti áruszállítási folyamatokban törvénysértésnek fog minősülni. Így a fenntartható ellátásilánc már nem csak vállalatok közötti filozófia, hanem törvényben rögzített követelmény lesz.

2.3.4. Alternatív üzemanyagok

A következőkben az Európai Unióban a közúti áru fuvarozási szektorban használatos alternatív üzemanyagok bemutatása, emissziós és energetikai értékelésük, valamint az infrastrukturális háttér ismertetése kerül sorra.

Az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről (2014/94/EU) szóló irányelv értelmében alternatív üzemanyagnak nevezzük az olyan energiaforrásokat, amelyek „*legalább részben kiváltják a fosszilis üzemanyagokat a közlekedés energiaellátásában, hozzájárulnak annak dekarbonizációjához, és javítják a közlekedési ágazat környezeti teljesítményét*” (Európai Parlament és Tanács 2014, §20). Az alternatív üzemanyagok közül csak azok a megújulók, amik megújuló erőforrásból származnak és energiatartalmuk újratermelhető. A közúti áru fuvarozási szektorban használható alternatív üzemanyagok négy nagyobb csoportba sorolhatók: bioüzemanyagok, gázüzemű járművekben használatos üzemanyagok, hidrogén üzemanyagcellás meghajtás, elektromos és hibrid járművek (McKinnon, A et al, 2015, p. 279-283).

A bioüzemanyagokra jellemző, hogy folyékony vagy gáznemű üzemanyagból állnak, és leginkább növényekből, biomasszából, hulladékból vagy állatoktól származó szerves anyagokból kerülnek előállításra. A közúti áru fuvarozás során főként a biodízel, a bioetanol és a biometán, azaz biogáz, használatos. A biodízel a felhasznált bioüzemanyagok 80%-át adja, és 7-10%-os arányban található meg a fosszilis szénhidrogén alapú dízel üzemanyagba keverve (B7). Ennél nagyobb arányú felhasználása a motor átalakítását kívánja meg. A bioetanol a benzin adalékaként szolgál motor üzemanyagként, biokomponens tartalomként csak 5 vagy 10%-os lehet (E5, E10). A biometán vagy biogáz legalább 97%-ban metánból és széndioxidból áll, általában földgázhoz keverik az LNG (cseppfolyós földgáz) és CNG (sűrített földgáz) üzemanyagokban. A nyers biometán használata belsőégésű motorokban nem jellemző.

A bioüzemanyagok használata az Európai Unió rendelkezéseinek hatására minden tagállamában elterjedt, és különösen a biodízelnak köszönhetően, jelenleg a legjelentősebbek a közúti árufuvarozási szektorban. Azonban a bioüzemanyagokkal kapcsolatban több probléma van. Egyrészt az előállításukhoz szükséges források megtermelése nagy területeket von el az élelmiszertermeléstől, valamint az élővilágtól. Másrészt energetikai hatékonyságuk viszonylag gyenge (10. ábra), és nem eredményeznek zéró emissziót.

A gázüzemű járművek meghajtása elsősorban földgázra, valamint annak biometán tartalmú keverékeire vagy a keverékekből előállított cseppfolyós és sűrített változatokra támaszkodik. Ilyen a cseppfolyósított kőolajgáz (LPG), a sűrített földgáz (CNG) és a cseppfolyós földgáz (LNG). Az LPG főként szénhidrogén alapú üzemanyagok előállításának propán és bután gázokból álló mellékterméke, de előállítható biomasszából is. Az LPG CO₂ tartalma a benzinhoz képest mindössze 15%-kal kevesebb, üzemanyagként való alkalmazása az utóbbi időben visszaesést mutat. Az *Európai Alternatív Üzemanyag Megfigyelőközpont* (EAFO) szerint jelenleg 32.000 töltőállomása létezik Unió szerte.

A CNG leginkább metán alapú, ezért jól keverhető a megújuló biometánnal. A benzinhoz képest nagyobb a fűtőértéke és jól szállítható csővezetéken vagy tartályokban. Legnagyobb hátránya, hogy magas földgáz igénye miatt növeli az Európai Unió import fosszilis energiahordozó függőségét, valamint közel sem zéró kibocsátású és nem tekinthető megújuló energiaforrásnak. Ezenfelül a metán is beletartozik a GHG gázok kategóriájába, így hőmérséklet emelő hatása van. A CNG töltőállomások közepesen elterjedtek, 2020-ban 3.642 állt rendelkezésre Európában. Az EAFO szerint 2020-ban az alternatív üzemanyaggal működő nehéz teherszállító gépjárművek között a legtöbb (19.486 darab) CNG-vel működött. Az elmúlt években az európai CNG flotta száma ugrásszerűen megduplázódott.

Az LNG-t az ugyancsak szénhidrogén alapú dízel alternatívájaként tartják számon. Így alkalmas hosszabb távolságokra történő árufuvarozásra. A *Tiszta energiák a közlekedésben: az alternatív üzemanyagok európai stratégiája* (COM (2013) 17) az LPG-vel és a cseppfolyós bioüzemanyagokkal együtt az LNG-t is a jövő hosszú távú közúti árufuvarozásának lehetséges opciójaként emelte ki (8. ábra). Azonban az *Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség* (T&E) tanulmánya szerint az LNG teherautóknak jóval nagyobb a CO₂ kibocsátásuk, mint azt korábban gondolták, így nem nevezhetők „tisztáknak” és kivezetésük a közlekedésből ajánlatos lenne (T&E, 2018b, 11-12. oldal). Az LNG töltőállomások kevésbé elterjedtek Európában, jelenleg mindössze 332 van belőlük. Az EAFO szerint 2020-ban az alternatív üzemanyaggal működő nehéz teherszállító gépjárművek között a második legnagyobb flottával (5.508 darab) az LNG meghajtásúak rendelkeztek. Valamint az új járművek regisztrációjában

is majdnem 50%-ot (1.162 darab) tettek ki a CNG mellett, míg harmadik a BEV (akkumulátoros elektromos) meghajtás lett. Az Európai Unió közlekedés politikájának köszönhetően 2016 és 2020 között a belföldi LNG flotta összességében mintegy kilencszerezésre nőtt.

Közlekedési mód Üzemanyag Hatótáv	Közúti személyszállítás			Közúti áru fuvarozás			Légi	Vasúti	Vízi		
	rövid	közepes	hosszú	rövid	közepes	hosszú			belvízi	rövid távú tengeri	tengeri
LPG											
Földgáz	LNG										
	CNG										
Villamos energia											
Bioüzemanyagok (cseppfolyós)											
Hidrogén											

8. ábra: Európai Unió által javasolt alternatív üzemanyagok közlekedési módoként⁵.
Forrás: COM (2013) 17

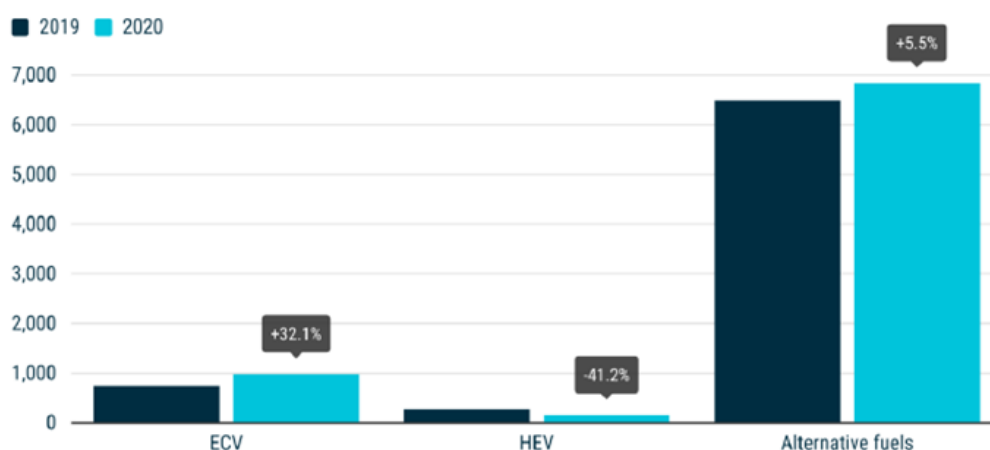
A hidrogén üzemanyagcellás (FCEV) meghajtás a közúti hosszú távú áru fuvarozásban alapvető előrelépést jelentene a környezet fenntarthatósága szempontjából. Ugyanis a hidrogén üzemanyagcellában történő elégeése során jelentős mennyiségű energia keletkezik, miközben égésterméként csupán vízgőz távozik a járműből. Utántöltéshez rengeteg hidrogén áll a rendelkezésre a Földön, nem fenyeget a kifogyás veszélye. A hidrogén jól szállítható cseppfolyós és sűrített gáz formában is. Utántöltési ideje gyors, csak pár percet vesz igénybe. Alkalmazása üzemanyagcellában jó energiahatékonyságot ad (10. ábra). Használata mindenképpen javítaná az áruszállító tehergépjárművek energiaellátását, és csökkentené a CO₂ kibocsátást. A hosszú távú áru fuvarozásban a hidrogén üzemanyagcellás teherszállító járművek elterjedésével jelenleg az a probléma, hogy egyrészt a technológia további fejlesztést kíván, még nem igazán kiforrott, bár az utóbbi időben sok előrelépés történt és az első járművek már próbaüzembe kerültek. Valamint az üzemanyagcellás meghajtás jelenleg még elég drága. Másrészt, az utántöltő infrastruktúrája szinte teljesen hiányzik. 2020-ban összesen 125 darab H₂ töltőkút állt rendelkezésre egész Európában.

Az elektromos járművek lehetnek akkumulátoros (BEV vagy ECV) vagy hibrid (PHEV vagy HEV) gyártmányúak. A kategorizálás az alapján történik, hogy a jármű teljesen elektromos árammal működő feltöltő akkumulátoros vagy emellett a meghajtáshoz szükséges energiát más elven működő meghajtási mechanizmusból is nyer. Jelenleg a hibrid technológiai kombináció nehéz tehergépjárműveknél kizárólag elektromos áram és belső égésű motor párhuzamos

⁵ A hosszú távú közúti áru fuvarozásban a fosszilis alapú LPG, LNG és a cseppfolyós bioüzemanyagok kaptak kiemelt jelentőséget.

alkalmazását jelenti, ami miatt a hibrid járművek egyre kisebb érdeklődést kapnak (9. ábra). Az elektromos meghajtás az áru fuvarozásban egyelőre gyerekcipőben járó opció. Ennek fő oka a technológia eddigi hiányosságai: a feltöltő akkumulátor méretének, kapacitásának, hosszú feltöltési idejének, a jármű viszonylag kicsi hatótávolságának, a magas költségeknek köszönhető, valamint a nagy kapacitású töltőpontoknak a hiánya.

Az elektromos akkumulátoros kamionok technológiája folyamatosan fejlődik, egyre több az áttörés és egyre inkább közelebb kerül a gyakorlati megvalósítás a hosszabb távú (> 300km) közúti szállítmányozásban. Az EAFO adatbázisa alapján 2020-ban az akkumulátoros elektromos (BEV) kamionokból álló európai flotta 928 darabra bővült és 2018 óta a használatban levő járművek száma majdnem megtriplázódott. Az új járművek több mint 90%-át Németországban és Hollandiában vették meg (EAFO 2020b). Ezzel szemben tíz európai uniós országban egyetlen elektromos kamiont sem vásároltak 2020-ban.



9. ábra: az Európai Unióban forgalomba helyezett alternatív üzemanyaggal működő nehéz tehergépjárművek száma⁶.

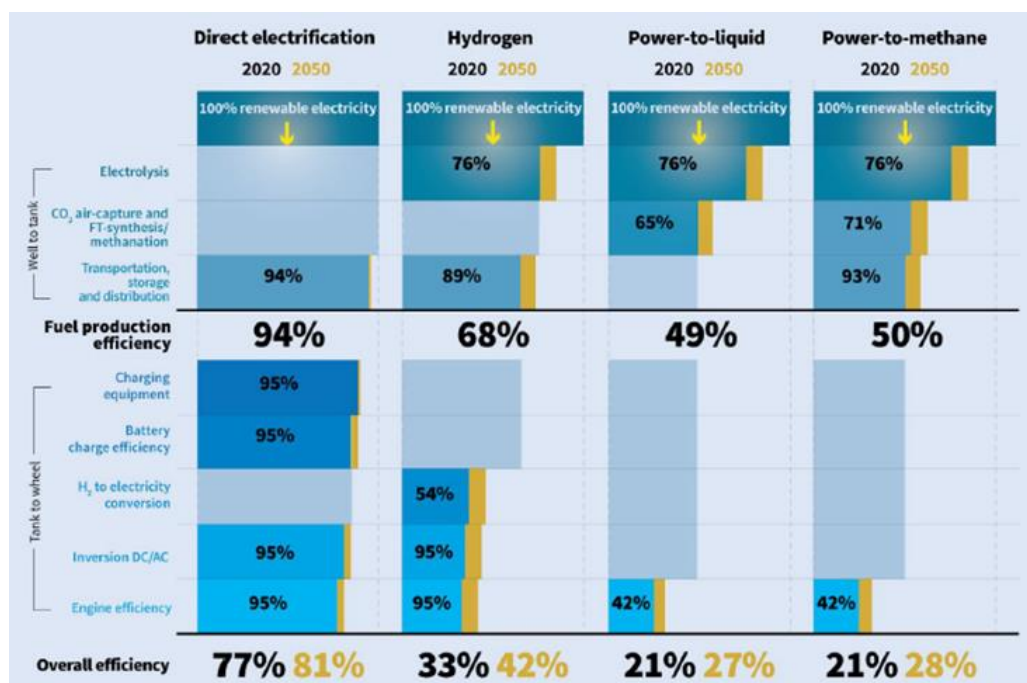
Forrás: ACEA (2020d)

Az alternatív meghajtású nehéz tehergépjárművek kategóriájában jelenleg, az európai közlekedési politikai döntéseknek megfelelően, vezetnek a bioüzemanyagok és a gázüzemű járművekben használatos üzemanyagok, amik közel sem mondhatók CO₂ emisszió mentesnek. Az Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség (T&E) szerint az Unió alternatív üzemanyagokkal kapcsolatos lépései a 2050-re történő zéró emisszió eléréséhez nem elégségesek (T&E 2020, p. 3-14). A fosszilis üzemanyagokról a bioüzemanyagokra és a gázüzemű járművekben használatos üzemanyagokra történő átállás nem fogja a légkört a kellő

⁶ 2019-ben (sötétkék) és 2020-ban (világoskék) az Európai Unióban forgalomba helyezett alternatív üzemanyaggal működő nehéz tehergépjárművek darab száma. ECV: tisztán elektromos, HEV: hibrid, Alternative fuels: többi alternatív üzemanyag (LPG, LNG, biodízel, H₂ stb., CNG nélkül).

mértékben dekarbonizálni. A kevert tartalmú alternatív üzemanyagok előnyben részesítése a tisztán fosszilisokkal szemben nem jár kiemelkedő környezeti teljesítménnyel. Nem is beszélve arról, hogy a közlekedési és áruszállítási szektor várható növekedésével a bioüzemanyagok termelése nem fog tudni lépést tartani, valamint a földgáz készletek sem végtelenek. Mindenképpen szükség lenne más technológiákra való határozottabb támaszkodásra az áru fuvarozásban, melyek a T&E megállapítása alapján az elektromos akkumulátoros, valamint a hidrogén üzemanyagcellás meghajtási megoldások lehetnének.

Az elektromobilitásra való áttérés egyik legnagyobb előnye az lenne, hogy megvalósulhatna a motor teljesítményhez mért legjobb energia hasznosítása. A T&E által készített összesítésen (10. ábra) a négy alternatív üzemanyagcsoport energetikai hatékonyság értékelése látható.



10. ábra: Alternatív üzemanyagok energetikai összehasonlítása.

Forrás: T&E (2020)

Az első oszlop az elektromos akkumulátoros (BEV) nehéz tehergépjárművek energetikai hatékonyságmutatóit tartalmazza. Az üzemanyag hatékonyság (*Fuel production efficiency*) az előállítás szakaszában (*Well-to-tank*) 94%, míg a tehergépjárműben való felhasználás során (*Tank-to-wheel*) az elektromos töltő, az akkumulátor töltés, az inverter és a motor hatékonyságának függvényében a teljes energia hatékonyság (*Overall efficiency*) 77-81% között teljesül. A második oszlopban a hidrogén meghajtás esetében az előállítás szakaszában az üzemanyag hatékonyság 68%-ban, a teljes energia hatékonyság 33-42%-ban érvényesül. A harmadik oszlop a folyékony alternatív üzemanyagokra vonatkozik, ahol az előállítás szakaszában 49%, a felhasználás során pedig 21-27%-os az energia hatékonyság. Az utolsó

oszlopban a gáznemű üzemanyag hatékonysága 50%, míg a teljes energia hatékonyság 21-28% között mozog.

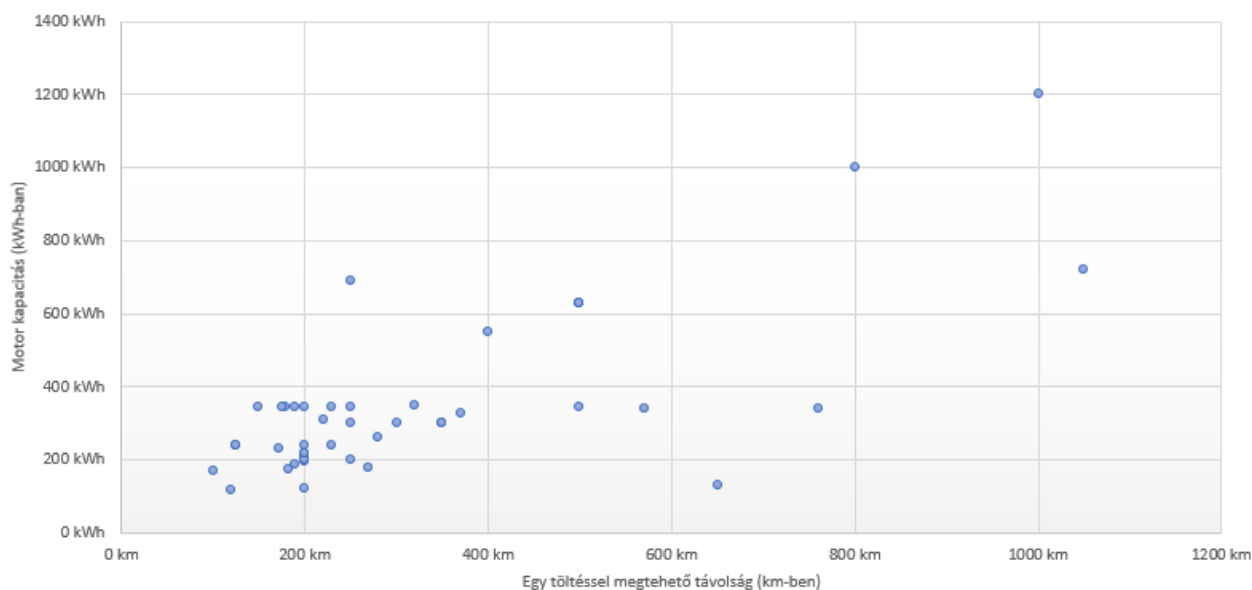
Az elektromos akkumulátoros meghajtás a legenergiahatékonyabb és legkevésbé környezetszennyező, ezért az Uniónak figyelembe kellene venni az elektromos nehéz tehergépjárművekre támaszkodó közúti árufuvarozás a korábbiaknál sokkal határozottabb fejlesztését.

2.3.5. Elektromos kamionok

A téma jelentőségét körvonalazó utolsó fejezetben az alternatív meghajtások közül a leghatékonyabbnak bizonyuló elektromos akkumulátoros (BEV) technológiai hátterének, teljesítésbeli képességeinek és töltő típusainak bemutatása kerül sorra. A dolgozat fókuszába illeszkedő nagyméretű (>10 tonnás), a forgalmi engedély alapján az N₃ kategóriához tartozó nehéz tehergépjárművek és a hasonló súlykategóriás vonatok (O₄) kerülnek elemzésre. A hidrogén üzemanyagcellás meghajtás csak összehasonlítás végett kerül említésre.

A nehézgépjárművek CO₂ kibocsátásának csökkentéséről (2019/1242/EU) szóló rendelet kimondja, hogy az elektromos és hidrogén cellás kamionok környezetvédelmi teljesítményük alapján a kibocsátásmentes tehergépjármű (ZEV) kategóriába tartoznak.

Európában 2018-ban a közúti árufuvarozásban egy útra eső átlagosan megtett távolság 581km volt (EUROSTAT 2019), ami azt jelenti, hogy az elektromos meghajtásnak is legalább ekkora távolságokhoz kell idomulni. Az egyhuzamban megtett utazások az esetek 90%-ában nem érik el a 300km-t (T&E 2020 p. 16). A globaldrivetozero.org régiókra bontható technológiai adatbázisa alapján az Unióban jelenleg vagy hónapokon belül rendelkezésre álló BEV nehéz tehergépjárművek által megállás nélkül közúton megtehető átlagos távolság 316km. Ezt a teljesítményt átlagosan 344kWh akkumulátor teljesítményű 27 tonnás kamionok érik el. A hidrogén üzemanyagcellás tehergépjárművekkel megtehető átlagos távolság 546km, amihez körülbelül 430kWh kapacitású motor szükséges.



11. ábra: ZEV nehéz tehergépjárművekkel (BEV) egy feltöltéssel megtehető távolság és akkumulátor teljesítmény.

Forrás: globaldrivetozero.org (2021) alapján saját szerkesztés.

A globaldrivetozero.org adatbázisa alapján készített 11. ábrán látható, hogy a jelenlegi elektromos technológiák teljesítményei hogyan oszlanak meg a megtett távolság és akkumulátor kapacitás függvényében. A táblázat 45 eltérő típusú, Európában jelenleg vagy pár hónapon belül elérhető elektromos kamionok adatainak felhasználásával készült, melyek gyártói a BYD, DAF, Daimler - Mercedes Benz, Eforce, Einride, Emoss, Framo, Fuso, Futuricum, Ginaf, Irizar, Man, Nikola, Orten, Quatron, Renault Trucks, Scania, Tesla, Volvo. Az összehasonlításhoz felhasznált hat eltérő típusú FCEV kamionok gyártói pedig az Esoro, Hyundai, Nikola és Toyota. Az ábrán szereplő kamionok többsége 200km körül tud menni egy feltöltéssel megállás nélkül és csak 33%-uk jut 300km-nél messzebbre, ami azzal magyarázható, hogy az elektro mobilitásban az eddigiekben többnyire a városi last-mile szerű áru fuvarozásra koncentráltak, és a hosszabb távolsági közúti áru fuvarozás korszakára a technológia most kezd majd csak még ráhangolódni. Az ábrán az is látható, hogy vannak olyan gyártók, akik előbb járnak a fejlesztésben, például az Eforce teherszállító járművei 500km-t tudnak megtenni, a Futuricum 570-760km között, a 2021-ben bevezetésre kerülő Tesla Semi 800km körül, amit hamarosan követni fog a Tesla Semi Long Range 1050km-rel és a Nikola Tre EV egyik változata 1000km-rel. A hidrogén üzemanyagcellás meghajtások estében a Hyundai HDC6 Neptun 1100kWh motor kapacitás mellett maximálisan 1200km-es távolságot tud megtenni. A hosszabb távolságokra történő európai közúti áru fuvarozáshoz szükséges technológia már vagy rendelkezésre áll vagy pedig az ajtón kopogtat. Itt lenne az idő az utántöltő infrastruktúra kiépítésének és a logisztikai közúti szállítmányozásban használt régebbi

tehergépjármű flották lecserésének megkezdéséhez. Az ACEA szerint 2021-ben az uniós flotta átlagéletkora ugyanis 13 év (ACEA 2021b, p. 12).

Az áruszállító flották telepítése függ az elektromos kamionok töltési technológiájától is. A BEV járművek feltöltésére három eljárás alkalmas (12. ábra).



12. ábra: Elektromos nehéz tehergépjárművek töltési technológiái.

Forrás: T&E (2020)

Az elektromos kamionok töltése lehetséges álló és mozgó állapotban is. Statikus állapotú töltéskor a tehergépjárműben levő akkumulátor töltőponthoz csatlakoztatott vezetéken keresztül töltődik. Dinamikus töltés esetén a kamion mozgó állapotban folyamatosan töltődik. Ez lehetséges felsővezetéken keresztül, vagy az úttest közepén végigvezetett sínszerű töltőhálózaton keresztül.

A felsővezetéken keresztüli töltés alkalmazására Európában kiemelkedő példa a Scania R450 Hybrid közúti kísérleti projektje. A németországi A5-ös autópálya mentén 5km-es kiépített szakaszon már járnak a próbaüzemű hibrid troli kamionok. A kamionok, a Siemens - Scania és állami kezdeményezésen túl, több helyi logisztikai szolgáltató tulajdonában állnak a jövőben megvalósítandó CO₂ mentes áru fuvarozáshoz szükséges tapasztalat vállalati szintű megszerzése érdekében. A felsővezetékes „elektromos autópálya” előnye, hogy az áruszállító tehergépjárműveknek nem kell tartalmazniuk akkumulátort, ami jelenleg még elég nagy helyet foglal el, megnövelve a gépjármű bruttó súlyát és csökkentve a hasznos teherbírását. Valamint megfelelő karbantartás esetén a felsővezetékes pálya használata évtizedekre is szólhat és akár nemzetközi logisztikai hálózatba kapcsolt konvoj technológia alkalmazására is alkalmas (T&E 2020, p. 20).

Az alulról töltő elektromos sínszerű hálózat alkalmazására Spanyolországban történnek kísérletek. Az Alstom és a spanyol kormány közös kezdeményezésében egyelőre főként városi közlekedésben akkumulátoros buszok folyamatos töltéséhez. A felsővezetékes töltéssel szemben előnye, hogy sokkal kisebb beavatkozással jár a kiépítése és a későbbiekben sem zavaró a látványa. Energiahatékonyságban pedig akár elérheti a felsővezeték teljesítményét is. Jelenleg az elektromos kamionok töltése teljes mértékben statikusan, a tehergépjárműben levő akkumulátor vezetéken keresztül töltőponthoz való csatlakoztatásával történik. Az elektromos töltőhelyek lehetnek depó, rendeltetési helyen levő vagy közterületen levő töltők. A depó töltés

az éjszakai állomásozás alatt valósul meg a logisztikai szolgáltató telephelyén. Rendeltetési helyen levő töltés során a logisztikai elosztóközpontokban, célállomásokon be- és kirakodás alatti töltés valósulhat meg. A közterületen levő töltők éjjel és nappal is elérhetők a kijelölt helyeken, például parkolóknak, autópályamenti pihenőhelyeken vagy benzinkutakon, ahol lehetőség szerint bármikor felhasználhatók (T&E 2020, p. 15-20).

A statikus feltöltés leválasztása után a tehergépjármű akkumulátora raktározza a motor működéséhez szükséges energiát a következő töltőállomásig. Jelenleg a legtartósabb akkumulátorok lítiumion alapú technológiára támaszkodnak⁷. Az elektromos nehéz tehergépjárművek gyors töltéséhez „megatöltők” kellenek, amiket nagy teljesítményű haszongépjármű töltőnek nevezünk (HPCCV). A HPCCV-től elvárt teljesítmény előreláthatóan 1-3 MW és a megalkotásán egyelőre a CharIn kezdeményezéssel az elektromos nehéz tehergépjármű gyártók összefogottan dolgoznak. Az Európában elérhető legfejlettebb gyorsöltő technológia a CCS2, a CHAdeMO, valamint a CEE+P+N+E (red), amik maximum 500kW, illetve 400kW-ra tudnak tölteni. A Tesla Supercharger maximum teljesítménye is gyengébb (250kW), így a Tesla hálózaton belül az elektromos kamionok töltéséhez szintén szükség van a Megacharger technológia kialakítására, ami hónapokon belül beindulhat a Tesla Semi piacra lépésével párhuzamosan. Pillanatnyilag átlagosan egy 27 tonnás 344kWh motor kapacitású kamion feltöltése az 500kW-os CCS2 gyorsöltőn legalább 1 óra 30 perc körül mozog. A közeljövőben az áruszállítás folyamatos biztosítása érdekében egy négy és fél órás útra történő kamion feltöltés legfeljebb 45 percet vehet majd igénybe, amihez több, mint 1 MW teljesítményű töltőkapacitás biztosítása lesz szükséges (ACEA 2020, p. 6).

Az elektromos tehergépjárművek töltése lehetséges még mobilis feltöltéssel is. Erre kísérlet a németországi Route Charge Projekt, ahol BEV vontatók vannak alkalmazásban, melyek akkumulátorai útmenti depókban 15 perc alatt egy targonca segítségével kicserélhetők. A „mobilis akkumulátor” előnye, hogy gyorsan cserélhető, és két csere között a depóban teljes mértékben feltölthető, anélkül, hogy a töltési idő hosszúsága frusztráló tényezőként hatna a sofőr számára. A projekt tesztkamionjai napi szinten több, mint 500 km-t futnak meghatározott útvonalak mentén, városok közötti zónákban. A cserélő depóállomások által lefedett területen kívül a rendszer nem működik (Motionist, 2020).

Az elektromos nehéz tehergépjárművek mihamarabbi elterjedéséhez elkerülhetetlenül szükséges az infrastruktúra átalakítása, amely nem feltétlenül lesz egységes, hiszen több megoldás kínálkozik, bár mind közül jelenleg a legnépszerűbb a statikus töltőállomások

⁷ A jövő nagy lehetősége a szilárdtest akkumulátor lehet, amellyel az első próbálkozások egyelőre nem jártak kitüntetett sikerrel.

kiépítése. Az európai vezetés feladata, hogy eldöntse pontosan melyiket alkalmazza a 2050-es zéró emissziós cél megvalósítása érdekében.

3. A magyarországi helyzet bemutatása

3.1. Magyarország CO₂ kibocsátása

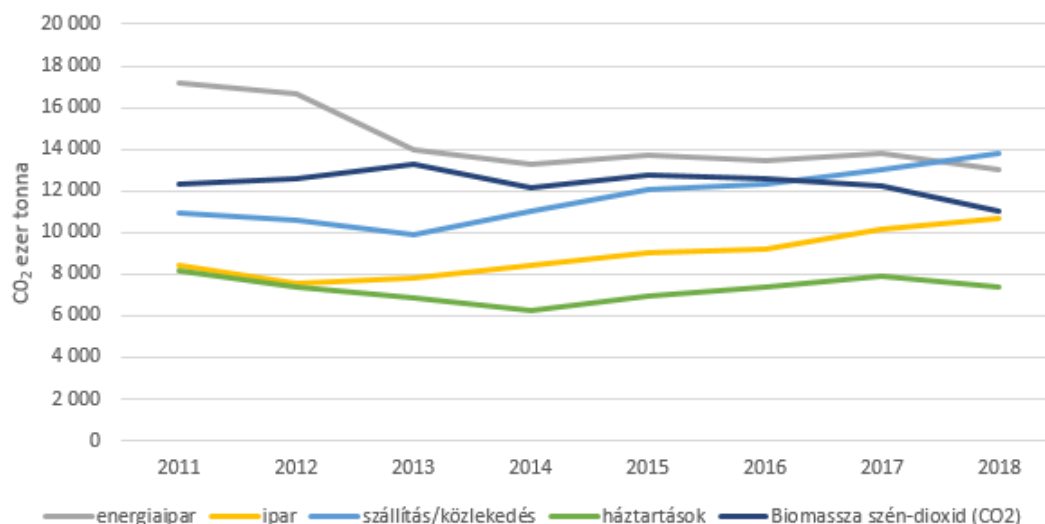
A fejezet célja a téma kiterjesztése és elemzése hazánkkal kapcsolatban, mivel a kutatási célkitűzések megfogalmazása és vizsgálata a hazai közúti árufuvarozásban a nehéz tehergépjárművek nagy teljesítményű elektromos feltöltőhálózatának (HPCCV) hipotetikus kialakításával kapcsolatban kerülnek összepárosításra.

Az Európai Unióhoz hasonlóan Magyarország CO₂ kibocsátása is lassan csökken, 2019-ben 45,7 millió tonna volt (IEA, 2019). A *Nemzeti Energia- és Klímaterv* szerint 2010 óta 22%-kal javult a gazdaság GHG intenzitása (NEKT, 2020, 39. oldal). Ezzel hazánk a világ GHG kibocsátásának 0,1%-át, az Európai Unió CO₂ emissziójának pedig 1%-át adja. Az uniós célkitűzésekkel összhangban 2030-ra belföldön is az emisszió legalább 40%-os csökkentése a cél az 1990-es szinthez képest (Nemzeti Energiastratégia 2030, 42. oldal), 2050-re pedig a klímasemlegesség megvalósítása. Azonban, ennek ellenére, az ország közlekedésből és szállításból származó CO₂ kibocsátása folyamatosan növekszik (13. ábra), 2018-ra a vezető emissziós szektorra nőtte ki magát az összkibocsátások 38%-val (IEA, 2018). Az *Európai Környezetvédelmi Ügynökség* (EEA) szerint Magyarország közlekedésből származó GHG kibocsátása 1990-2016 közötti periódusban közel 40%-kal nőtt (EEA 2019), aminek legfőbb kiváltó oka a fosszilis tüzelőanyagokra támaszkodó közlekedési eszközök számának növekedése. A *Központi Statisztikai Hivatal* (KSH) adatai alapján 2020-ban összesen 3,9 millió személyautó, mintegy 19.454 busz, 542.848 kis, közepes és nehéz tehergépkocsi és 81.317 vontató állt forgalomban. 2001 óta a tehergépkocsiknál 35%-os, a vontatóknál 69%-os növekedés következett be (KSH 2020a).

Az áruszállítási módok közül a közúti árufuvarozás vált a legjelentősebbé, a teljes szállítási szektor mintegy kétharmada (KSH, 2019), ami az éves CO₂ összkibocsátás körülbelül 8%-át jelenti (Diófási-Kovács, O, 2020, 63. oldal).

A KSH szerint a szállítmányozásból és közlekedésből származó CO₂ kibocsátás 2013 óta átlagosan 6%-kal növekedett (KSH 2018) és 2030-ig előreláthatóan még tovább fog növekedni a szállítmányozás várható volumen növekedése miatt. Ennek ellenére Az *Új Nemzeti Energiastratégia 2030-ig* mindössze 5%-kal tervezi a közlekedésből származó emissziót csökkenteni (Nemzeti Energiastratégia 2030, 51. oldal). Azonban Magyarország stratégiai céljának tartja a hosszú távú fenntartható gazdasági növekedést és azt is, hogy ezzel párhuzamosan a nemzeti jövedelemtermelés emisszió és energia intenzitása folyamatosan csökkenjen (NEKT 2020, 19. oldal). Így a hazai szállítmányozás és közlekedés fenntarthatósági

célkitűzése minden bizonnyal még revízió alá kerül a nemzetközileg is versenyképes magyar logisztikai iparág megvalósítása érdekében. A közlekedés és a közúti áru fuvarozás minél nagyobb arányú zöldítése mindenképpen hozzájárulna a bruttó nemzeti termék (GDP) növekedéséhez és lehetőséget nyújtana arra, hogy az ország gazdasága ne maradjon le a nemzetközi versenyben Európa többi részétől. Emellett a közlekedés és szállítás jelentősebb mértékű dekarbonizációja a társadalmi jólét, az egészség és az egészséges környezet előmozdításában is sokat segítene.



13. ábra: Magyarország vezető CO₂ kibocsátású szektorai.

Forrás: KSH (2018) alapján saját szerkesztés.

3.2. Magyarország közlekedése a CO₂ kibocsátás tükrében

A belföldi közlekedés és szállítmányozás energetikai ellátottságában jelenleg főként import kőolajra és földgázra támaszkodik (90% felett), és egyben a kőolaj legnagyobb felhasználója (59%) (Nemzeti Energiastratégia 2030, 23. oldal). 2017-ben a közlekedés és szállítmányozás energiafogyasztása a hazai összes energiafelhasználás mintegy 25%-át tette ki, és azóta is folyamatosan növekszik. Ugyanakkor a közúti közlekedésben hasznosított energia 37%-a volt áruszállításhoz köthető (Nemzeti Energiastratégia 2030, 50-82. oldal). Az hazai energiafelhasználás jelentős importfüggőségének mérséklése a fogyasztás csökkentésével, illetve alternatív üzemanyagokra történő nagyobb áttéréssel valósulhatna meg, amelyben a jelenleginél figyelemre méltóbb lehetne a megújuló energia részaránya.

Az ország belső szabályozási tervezete azonban egyelőre nincs felkészülve a jelentősegteljesebb változtatásokra a közúti forgalom klímasemlegességének irányában. Egy 2020-ban készült felmérés szerint, amely a zöld logisztikai megoldások alkalmazását vizsgálta a magyar 3PL szolgáltatóknál, a megkérdezett vállalkozások számára az elektromobilitási

tényezőt csupán a kisebb árumozgató eszközök, például elektromos targonca használata jelentette. Egyik megkérdezett sem használt alternatív üzemanyagokat, mert hozzáférhetőségüket korlátozottnak találták, ami a teherszállító gépjárművek működését veszélyezteti és akadályozza a közúti áruszállítási szolgáltatás minőségét (Diófási-Kovács, O, 2020, 66-67. oldal).

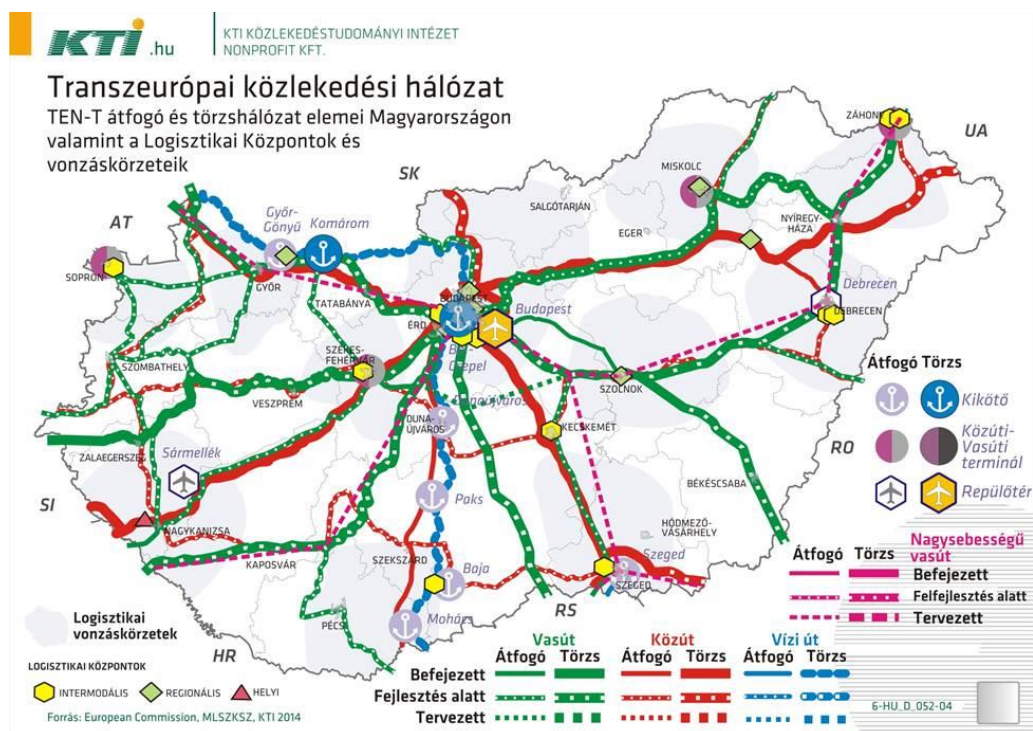
A KSH szerint Magyarország 2019-ben az Európai Unió közúti áruforgalmából közel 2%-ban részesedett. Belföldön a legtöbb árut közúton szállították (65%), míg a kevésbé CO₂ intenzív szállítási módok közül vasúton (17%), csővezetéken (15%) és belvízi hajózással (3%) sokkal kevesebb árumozgatás történt (KSH 2019). A szállítás és raktározás nemzetgazdasági ágazatként 6%-os hozzáadott értéket képviselt és az elmúlt években az ország beruházásaiban 16% körül részesült, főként a gyorsforgalmi úthálózat építése miatt. Viszont a beruházások teljes nemzetgazdasági bővülésénél (13%) így is kisebb ütemű volt a fejlesztések aránya (9,8%), ami a szektor lassabb fejlődésére utal. 2019-ben nemzetközi viszonylatban a Magyarországon átmenő áruszállításban a vasút teljesítménye (34%) meghaladta a közútét (32%), ehhez hasonlóan a csővezetékes szállítás (26%) és a folyami hajózás (8%) is jelentősebb volt a belföldinél. Azonban, míg az elmúlt években a belföldi közúti árufuvarozás teljesítménye javult, addig a nemzetközié folyamatosan csökkent, ami főként a közúti árufuvarozás európai szabályozási szigorításainak tudható be. A belföldi átlagos közúti szállítási távolság 80km, a nemzetközi 650km körül mozog (KSH 2019).

A transzeurópai közlekedési hálózat részeként hazánk területén három fő folyosó halad át (14. ábra), amelyek a nemzetközi árufuvarozás gerinceként a jövő intermodális kereskedelmi vérkeringését képviselik majd. A TEN-T folyosók 2030-ra fel fogják számolni a regionális szűk keresztmetszeteket, illetve korszerűsítik a közúti-vasúti-folyami áruszállítási infrastruktúrát. Hazánk folyamatos fejlesztésekkel és előírásokkal⁸ nagy hangsúly fektet arra, hogy a páneurópai hálózat belföldi elemei határidőre elkészüljenek.

A Mediterrán Folyosóhoz belföldön két vasúti és egy közúti sáv tartozik. A vasúti sávok a déli szlovén (Hódos) és horvát határ mentén (Gyékényes) lépnek be, a Dunántúlon áthaladva Budapest érintésével Záhonynál hagyják el az országot. A közúti rész Letenyénél (M7) szeli át a déli határt, majd Budapest (M0) érintésével Beregsuránynál (M3) lép ki az országból (összesen 583km) Ukrajnába. A Keleti Folyosó vasúti szakaszai Szlovákia és Ausztria felől lépnek be, Hegyeshalomnál egyesülnek, majd Budapest és Békéscsaba érintésével délkeleten Lökösházánál Romániába mennek át. A közúti rész a nyugati határon fekvő Hegyeshalmot

⁸ Például 2003. évi CXXVIII. törvény a gyorsforgalmi utak építésének gyorsításáról, 2005. évi CLXXXIII. törvény a magyar vasúti közlekedés kontinentálisan egységesülő rendszerbe illesztéséről.

(M1) köti össze Budapesttel, majd dél felé fordulva Nagylaknál (M5, M43) lép át (összesen 390km) Romániába. A Rajna-Duna Folyósó főként folyami hajózásra épül. Ennek megfelelően teljes belvízi szakasza követi a Duna mentét. Közúti és vasúti sávjai pedig egybeesnek a Keleti Folyósóéval (TENtec 2021). A klímasemlegesség miatti intermodalitásra törekvés következtében a folyósók a különböző áruszállítási módok keverésével is használhatók lesznek (kombinált szállítás), vagyis ugyanazt a rakományt akár integrált fuvarozási láncban is lehet majd továbbítani.



14. ábra: TEN-T magyarországi folyósói.

Forrás: KTI (2014)

3.3. Alternatív üzemanyagok és meghajtások hazánkban

Hazánkban az elmúlt öt évben az áruszállító tehergépjárművek energetikai meghajtásában vezető üzemanyag a dízel (99%) volt. Emellett kis mértékben (majdnem 1%) előfordult benzinnel, LNG, LPG vagy CNG-vel működő nehéz tehergépjármű regisztráció is (ACEA 2021b, ACEA 2020d). A belföldi áru fuvarozásban a bioüzemanyagok közül a biodízel a legnépszerűbb. Használata az elmúlt években nőtt, 2018-ban majdnem háromszor annyi biodízel került felhasználásra (143ktoe), mint biobenzin (50ktoe) (EAFO 2020c). A gázüzemű járművek meghajtása elsősorban LNG-re, LPG-re és CNG-re támaszkodik. Az első és máig egyetlen belföldi LNG töltőállomás 2019-ben nyitott az M0-ás körgyűrűn, a páneurópai TEN-T korridorok legfőbb találkozási csomópontjában kifejezetten haszongépjárművek számára. Az LNG-t használó kamionok hatótávolsága egy feltöltéssel akár 1.500km is lehet (Alapjázat

2019). 2020-ban 526 darab LPG töltőállomás volt hazánkban, melyek száma az utóbbi három évben 14%-kal csökkent. Egy LPG töltőállomásra jutó gépjárművek száma viszont nem változott (50 darab). A belföldi LPG meghajtású gépjárművek között a tehergépjárművek aránya kevesebb, mint 1% (ACEA 2021b). Ugyanekkor 21 darab CNG töltőállomás állt rendelkezésre az országban, melyek száma 2015 óta két és félszeresére nőtt (EAFO 2020d). 2017-ben összesen 105 darab 3,5 tonna feletti közepes és nehéz CNG meghajtású tehergépjárművet tartanak számon (Nemzeti Energiastratégia 2030, 85. oldal).

A hidrogén üzemanyagcellás (FCEV) meghajtású nehéz járművek egyelőre teljes mértékben hiányoznak (ACEA 2020f, p.26). Az első belföldi mobil hidrogén töltőállomás 2021 áprilisában került átadásra, ami azonban még nem közterületi feltöltő kút, hanem a hidrogént előállító Linde Magyarország Kft. budapesti telephelyén létesült tartálytöltő állomás. *Az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről (2014/94/EU) szóló európai irányelv alapján* 2016-ban Magyarországon is megszületett egy nemzeti szakpolitikai keret az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről, amely kimondta a belföldi hidrogén üzemanyagcella töltő infrastruktúra fejlesztésének szükségességét, ami eddig sajnos nem valósult meg. A nemzeti innovációs és technológiai miniszter közlése szerint 2021 végétől magyar gyártású hidrogén üzemanyagcellás autóbusz fog készülni. Valamint, a Nemzeti Hidrogéntechnológiai Platform által kidolgozásra került az úgynevezett *Fehér Könyv*, amely a hazai hidrogéntechnológiai szektor stratégiai alapozó dokumentuma (Híradó 2021).

Az első hazai elektromos (BEV) kamion tesztüzemű megjelenése 2020 októberéig váratott magára (15. ábra). A Scania alapokra épült magyar fejlesztésű kamion az Audi Hungária Kft. belföldi telephelyei között az ipari alkatrészeket szállító ingázó kamionflotta tagja. A 40 tonnás, statikus töltésű tehergépkocsi 690 kWh motor kapacitással bír és egy feltöltéssel 230km-es út megtételére képes (Villanyautósok 2020), ami átlagos teljesítménynek mondható a nemzetközi piacon jelenleg elérhető elektromos kamionok között (11. ábra).

Az üzemeltető Innovatív Raktárlogisztika Kft. 2021 végére még kilenc hasonló kamiont tervez az Audi használatába bocsátani, a teljes ipari flotta lecserélése érdekében. Minden egyes elektromos kamion használatával éves szinten akár 40 tonna CO₂ kibocsátása is elkerülhető (Audi 2021). Az elektromos kamionok nagy teljesítményű gyors töltése (HPCCV) jelenleg Magyarországon sem megoldott. Az openchargemap.org szerint 2021-ben 743 helyszínen 1.479 darab elektromos töltőállomás van hazánkban. Ezek közel 80%-a alacsony teljesítményű lassú töltő (<=22kW), főként személyautók számára (STATISTA 2021). A fennmaradó 20%-ot kitevő gyorsöltők között megtalálható a CCS2, a CHAdeMO, a CEE+P+N+E (red), valamint a Tesla Supercharger technológia.



15. ábra: Audi Hungária: elektromos kamion a logisztikában.

Forrás: Audi (2021)

Az elektromos nehéz tehergépjárművekkel történő közúti áru fuvarozás meghonosodásához és megerősödéséhez szükség van a legalább 1 MW teljesítményű töltőkapacitással bíró HPCCV vagy Tesla Megacharger töltők megjelenésére és belföldi elterjedésére. Ehhez a gyors töltő hálózat által felhasznált elektromos áram árát is realizálni kell. A nagy teljesítményű haszongépjármű töltőhálózat kialakítására elsőként a transzeurópai TEN-T folyosók magyarországi autópálya szakaszai mentén lenne a legnagyobb szükség. Ezek a szakaszok ugyanis a lehető legnagyobb mértékben hozzájárulnak a magyar gazdaság teljesítményének javulásához. Magyarország versenyképes európai gazdasággá kíván fejlődni a jövőben, aminek megvalósításához az egyetlen út az emisszió mentes, korszerű és hatékony szállítmányozáson vezet keresztül a közúti áru fuvarozási logisztikában és az arra épülő gazdasági és társadalmi igényeket kielégítő ellátásiláncokban.

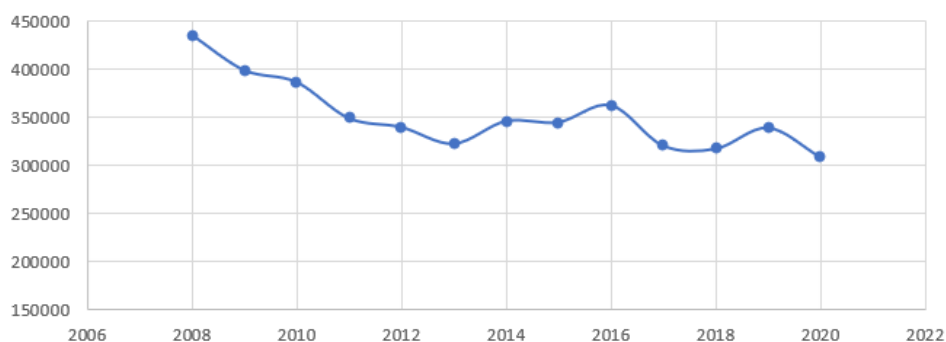
4. Módszertan és eredmények

4.1. A modellezéshez felhasznált adatok

Az alábbiakban röviden bemutatom a modellezéshez felhasznált adatokat, illetve a különböző paraméterértékek meghatározásának módját.

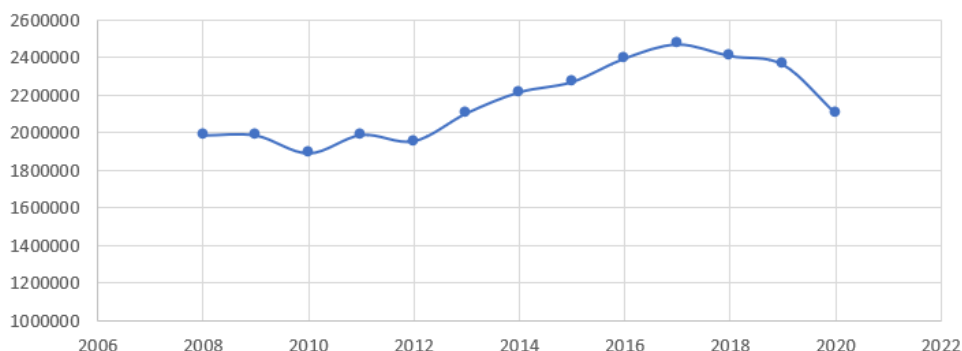
4.1.1. Előrejelzett teljesítmény

Annak érdekében, hogy az elektromos teherautók elterjedése által okozott CO₂ kibocsátás csökkenést modellezni tudjuk, előrejelzést kell készítenünk a CO₂ kibocsátást alapvetően meghatározó futásteljesítmény jövőbeli alakulásáról. Az előrejelzéshez a múltbéli adatokat a KSH által évente felvett reprezentatív adatgyűjtéséből vettem. A minta megfigyelési egysége a Magyarországon üzemben lévő 3,5 tonna teherkategória feletti tehergépjárművek és vontatók (a mezőgazdasági vontatók kivételével). A mintanagyság évi 13 ezer jármű; a mintába bekerülő járművek üzemeltetőinek minden negyedév egy-egy hetének a teljesítményéről szolgáltatnak adatot. Az alábbi ábrák a 2008 és 2020 közötti tény adatokat mutatják az évenkénti futásteljesítményről kilométerben a 10 tonna feletti teherautók és a vontatók esetében.



16. ábra: 10 tonna feletti teherautók futásteljesítménye (ezer km) 2008-2020 között.

Forrás: KSH (2020c) alapján saját szerkesztés.



17. ábra: Vontatók futásteljesítménye (ezer km) 2008-2020 között.

Forrás: KSH (2020c) alapján saját szerkesztés.

Az adatokból nyomon követhető, hogy a nehézteherautók futásteljesítménye folyamatosan csökken, míg a vontatók futásteljesítménye növekszik. Ez utóbbiak esetében a 2020-ban

megfigyelhető jelentős visszaesés a koronavírus járvány miatt bekövetkező gazdasági visszaesésnek tulajdonítható. A futásteljesítmény előrejelzéséhez olyan módszert választottam, amely könnyen megvalósítható és kevés adatot igényel, ezért esett a választásom az exponenciális simításra. Ugyanakkor az egyszerű exponenciális simítás nem tudja megfelelően leképezni az adatokban megbúvó közel lineáris trendet, ezért a dupla exponenciális simítást, vagy más néven Holt-féle lineáris trendmodellt alkalmaztam mindkét adatsorra. A modell egyenletei a következők:

$$u_1 = y_1 \quad (1)$$

$$v_1 = 0 \quad (2)$$

$$u_i = \alpha y_i + (1 - \alpha)(u_{i-1} + v_{i-1}) \quad (3)$$

$$v_i = \beta(u_i - u_{i-1}) + (1 - \beta)v_{i-1} \quad (4)$$

$$\hat{y}_{i+1} = u_i + v_i \quad (5)$$

ahol y_i jelzi az idősor i -időpontban érvényes adatát, α az adat simítási paraméter ($0 \leq \alpha \leq 1$), míg β ($0 \leq \beta \leq 1$) a trend simítási paraméter, u_i jelzi a simított adatot, v_i jelzi a becsült trendet és $\hat{y}_{i+1}$ jelöli a becsült, vagy előrejelzett idősor adatot. Érdeemes megjegyezni, hogyha $\beta = 0$, akkor a sima exponenciális simítást kapjuk. Amennyiben a meglévő adatokon túl k időszakra szeretnénk előrejelezni az idősor értékeit, akkor a következő egyenletet kell alkalmaznunk:

$$\hat{y}_{i+h} = u_i + kv_i \quad (6)$$

Holt kibővítette a sima exponenciális simítás módszerét annak érdekében, hogy a trendet tartalmazó adatsorok esetében is megvalósítható legyen az exponenciális simítás. A módszer három alapegyenletet tartalmaz, az egyik az előrejelzést generáló egyenlet (6), a másik a szintet megragadó egyenlet (3), végül a trendet leíró egyenlet (4). Az exponenciális simítás során úgy kell megválasztanunk az α és a β paraméterek értékeit, hogy az előrejelzés hibáját minimalizáljuk. Az előrejelzés hibáját számos mutatóval lehet mérni, én az átlagos négyzetes hibát (*mean squared error*) alkalmaztam. Az előbbieknek megfelelően a következő optimalizálási problémát kell megoldani:

$$\min_{\alpha, \beta} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (7)$$

feltéve, hogy

$$\alpha \leq 1 \quad (8)$$

$$\beta \leq 1$$

$$\alpha, \beta \geq 0 \quad (9)$$

A (7) optimalizálási problémát a Microsoft Excel Solver moduljával oldottam meg. Az optimalizált paraméterek kiszámítása után alkalmazhatjuk a (6) egyenletet az előrejelzéshez. A k-periódust tartalmazó előrejelzés standard hibájának kiszámításához a következő képletet kell alkalmazni:

$$se_k = se_1 * \sqrt{\left(\frac{se_{k-1}}{se_1}\right)^2 + (\alpha * (1 + (k - 1) * \beta))^2}, \quad (10)$$

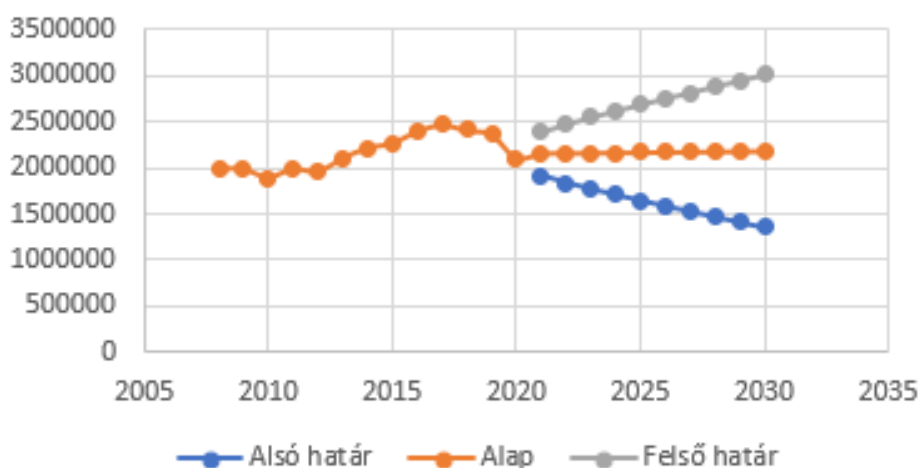
ahol α és β a Holt-féle trendmodell paraméterei, és az első időszak standard hibáját, azaz se_1 -t a következő képlet alapján számolhatjuk:

$$se_1 = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (11)$$

Az előrejelzés konfidencia intervalluma a következő képlet szerint számolható:

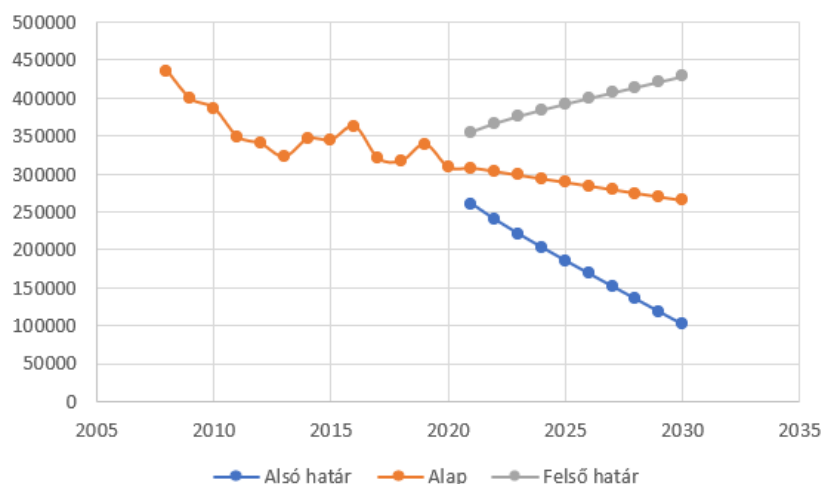
$$\hat{y} \pm se_k * Z_{kritikus} \quad (12)$$

Az előrejelzett értékeket az alábbi ábrák tartalmazzák:



18. ábra: Vontatók futásteljesítménye (ezer km) 2020-2030.

Forrás: KSH (2020c) alapján saját számítás.



19. ábra: 10 tonna feletti teherautók futásteljesítménye (ezer km) 2021-2030.

Forrás: KSH (2020c) alapján saját számítás.

Az előrejelzett értékek (18. ábra) alapján azt mondhatjuk, hogy az előrejelzés alapvonala többé-kevésbé követi az előző időszak alapirányzatát, azaz a vontatók esetében egy igen enyhe növekedéssel számolunk. Ugyanakkor a 10 tonna feletti teherautók esetében (19. ábra) az optimista előrejelzés (mely a konfidencia intervallum felső határa) trendfordulót jelez, mivel a 2020-ig tartó csökkenés viszonylag meredek növekedésbe fordul át. Hasonlóan a vontatók esetében a pesszimista előrejelzés (mely a konfidencia intervallum alsó határa), szintén trendfordulót jelez, mivel a – 2020 előtti – növekvő trend csökkenő trendbe fordul át.

		Minimum	Alap	Maximum
Teherautók	2025	1854569	2887676	3920782
	2030	1013325	2650378	4287432
Vontatók	2025	16446346	21646328	26846310
	2030	13555561	21795414	30035266
Összesen	2025	18300914	24534003	30767093
Összesen	2030	14568887	24445792	34322697

20. ábra: Előrejelzett futásteljesítmény (100 km).

Forrás: KSH (2020c) alapján saját számítás.

Az alapvonalai előrejelzés alapján a 10 tonna feletti teherautók futásteljesítménye 2020 és 2030 között 14%-kal fog csökkenni, míg a vontatók futásteljesítménye 3,7%-kal fog nőni.

4.1.2. Elterjedési ráta

Az elektromos nehéz tehergépjárművek és vontatók elterjedését illetően 2025-re és 2030-ra egyelőre nem létezik alapjogszabályi direktíva, ami főként a technológiai bizonytalanságoknak, ebből kifolyóan a lassú töltési időnek, másrészt pedig a megfelelően nagy teljesítményű gyors haszongépjármű töltőhálózat szinte teljesen hiányzó infrastruktúrájának köszönhető. Az *Alternatív Üzemanyagok Infrastruktúrájáról szóló (2014/94/EU) irányelv* is megfogalmazza

annak sürgős igényét, hogy európai és tagállami szinten mihamarabb meghatározott és kötelező erejű infrastrukturális célokat tűzzenek ki az alacsony és zéró kibocsátású nehéz tehergépjárművekre. Az *Európai Zöld Megállapodás (Green Deal)* sem tartalmaz megállapításokat, mutatószámokat az elektromos nehézgépjárművek elvárt terjedését illetően. Ennek megfelelően csupán becslések, átlagos előrejelzések léteznek az elektromos nehéz tehergépjárművek elterjedését illetően, amik nem jelentenek pontos adatokat, előfordulhat, hogy változnak. Hasonlóképpen, a rendelkezésre álló források és adatok alapján csupán becslést tudok adni az elektromos nehéz tehergépjárművek és vontatók jövőbeli elterjedéséről.

Az elterjedési ráta becsléséhez kiindulásként az *Európai Autógyártók Szövetségének (ACEA)* legfrissebb statisztikai kimutatását használtam fel az alternatív meghajtású járművek szegmensenkénti részesedéséről az Európai Unióban (4. ábra). Ez alapján az elektromos nehéz tehergépjárművek elterjedése az összes nehéz tehergépjármű között 0,04% volt 2019-ben. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) globális *Trendek és fejlemények az elektromos járművek piacain* című kitekintése szerint 2020-ban is bőven 1% alatt állt az elektromos nehéz tehergépjárművek elterjedése az Unióban (IEA, 2021a). Továbbá, az IEA azt is állítja, hogy 2020-ban az európai elektromos nehéz gépjárműpark évközi növekedése 23% volt, ami azt jelenti, hogy az év során a járművek száma 450 darabra gyarapodott. A 2025 évi elterjedési ráták kiszámolásakor figyelembe vettem, hogy 2020-as elterjedési ráta rendkívül alacsony – 0,04% – volt, így feltételeztem, hogy erről az alacsony bázisról nagyon gyors növekedést fogunk tapasztalni. Így alap esetben 3%-os elterjedési rátával számoltam 2025-re, míg a minimális elterjedési rátát 1%-ra becsültem. Az elterjedési ráta maximális értékét 8%-ra becsültem 2025-re.

A 2030-as európai elterjedési arányok becsléséhez felhasználtam az IEA *Az elektromos járművek bevezetésének kilátásai* című kitekintésében szereplő *Fenntartható Fejlődés Szcenárióhoz* rendelt 3%-os növekedési értéket minimális elterjedési rátaként (IEA, 2021b). Az alap és maximális értékeket pedig a Bloomberg NEF (New Energy Finance) 2021-es elektromos jármű kitekintésében olvasottak alapján átvettem. A Bloomberg NEF a Bloomberg elsődleges kutatási szolgáltatása, ami többek között, a tiszta energiára és a fejlett közlekedésre terjed ki. A kutatási tevékenység segíti a vállalati stratégiát, a pénzügyi és a politikai döntéshozókat a változásban és a lehetőségek teremtésében (Bloomberg NEF, 2021).

A Bloomberg *Gazdasági Átmeneti Szcenáriója* alapján a ZEV (kibocsátásmentes) elektromos nehéz tehergépjármű értékesítési részesedés 8%, ami megfelel a 2030-as elterjedési ráta alap értékének. A *Nettó Zéró Szcenárióban* a nehéz tehergépjárművek elterjedése optimistább 12%-ot kapott a Bloomberg részéről, ami számomra a maximum elterjedési arányt képviseli.

A magyarországi elterjedési ráta becslése az európai értékeken alapul, mivel az Európai Unió tagállamaként hazánkra is vonatkoznak a szakirodalom feldolgozás részben említett uniós előírások, amelyeket be kell tartani a karbon semlegesség megvalósítása érdekében. Ezért az eddig megállapított elterjedési arányokat a KSH nyilvántartásában szereplő *Tehergépjárművek száma összesség szerint* tábla 12.000 kg és felette áruszállító tehergépjárművek (2005-2020) oszlopa és a *Közúti gépjárművek száma járműnemeként* tábla vontatókra (2001-2020) vonatkozó adatai alapján módosítottam a becslés során. A *Tehergépjárművek száma összesség szerint* tábla adatai nem tartalmazzák a vontatók adatait. A két adatsor alapján megállapítottam, hogy 2006-2020 közötti időszakban az összes tehergépjárművek között a 12.000 kg és felette áruszállító tehergépjárművek aránya átlagosan 6% volt, míg a vontatók elterjedési aránya átlagosan 12%. Az európai előrejelzési arányszámokat pedig ezen értékek arányában tovább bontottam a nehéz tehergépjárművek és vontatók kategóriákban 2025-re és 2030-ra. A becslés részletezett eredményét a 21. ábra mutatja be.

		Minimum	Alap	Maximum
Teherautók	2025	0,30%	1%	3%
	2030	1%	3%	4%
Vontatók	2025	0,70%	2%	5%
	2030	2%	5%	8%

21. ábra: Elterjedési ráta (%).

Forrás: előrejelzések alapján saját szerkesztés.

4.1.3. Átlagos fogyasztás

Az ACEA szerint az európai nehéz tehergépkocsi állomány 97,8%-a dízellel működik (B7) (ACEA, 2020g, 5. o.). A nehéz tehergépjárművek 100 km-enkénti átlagos üzemanyag fogyasztása típustól, rakománytól és az útszakasz nehézségétől függően 25-45 liter között mozog (VTT Processes, 2005). Ennek számtani átlaga 35 liter. Mivel a Magyarországon forgalomban levő nehéz tehergépjárművek és vontatók átlagos használati élettartama 11,2 év (ACEA, 2021b), így 2025-ben az átlagos fogyasztás tekinthető 35 liter/100 km-nek. A 2030-ban használatban levő tehergépjárművek egy része akár jelenleg kerül le a gyártósorokról. Közülük kerültek összehasonlításra a legismertebb márkák gyártmányai az 1000 Punkte Test-en, amely a világ legismertebb összehasonlító tesztje a nehéz teherautók számára, ahol a 2020-es győztes vontató fogyasztása 36,5 liter/100 km volt (TransINFO, 2021). Így azt feltételezem, hogy 2025-ig az előzőekben említett átlag fogyasztás nem fog változni. Előreláthatóan 2025-től válik majd az EURO 7-es standardú környezetvédelmi besorolás kötelezővé a gépjármű gyártásban, ami talán magával hozhat némi változást a nehéz tehergépjárművek fogyasztásának

gazdaságosságát illetően. Mindebből kifolyólag azt feltételezem, hogy 2030-ban a nehéz tehergépjárművek 100 km-enkénti átlagos fogyasztása kicsit csökkenni fog.

		Minimum	Alap	Maximum
Teherautók	2025	25 liter	35 liter	45 liter
	2030	25 liter	33 liter	40 liter
Vontatók	2025	25 liter	35 liter	45 liter
	2030	25 liter	33 liter	40 liter

22. ábra: Átlagos fogyasztás (liter/100 km).

Forrás: előrejelzések alapján saját szerkesztés.

4.1.4. Egy liter dízel olaj elégetése során a légkörbe kerülő CO₂ mennyisége

A számítás menetéhez az ecoscore.be oldal nyújtott segítséget, amely a járművek környezetvédelmi pontszámát állapítja meg az úgynevezett *well-to-wheel* módszer alapján. Ez a módszer figyelembe veszi a járművek szennyező anyag kibocsátás kalkulációját, mind a vezetési fázisban (*tank-to-wheel*), mind az üzemanyag előállítás fázisban (*well-to-tank*) (Ecoscore, 2021). A vezetési fázisban a járművezetés okozta kipufogógáz kibocsátás megállapításakor figyelembe kell venni egy liter dízel olaj tömegét, ami 835 gramm. A dízel olaj literenként 86,2%-ban tartalmaz szenet, ami 720 gramm. A szén CO₂-vé történő égéséhez 1920 gramm oxigénre van szükség. Így az égés során literenként 720+1920=2642 gramm CO₂ keletkezik.

A nehéz tehergépjárművek 100 km-enkénti átlagos üzemanyag fogyasztása típustól függően 25-45 liter között mozog (VTT Processes, 2005). Ennek számtani átlaga 35 liter. Tehát az átlagos fogyasztás tekinthető 35 liter/100 km-nek. A kilométerenkénti CO₂ kibocsátást ebből megkapjuk, ha a 35 litert megszorozzuk a 2642 gramm literenként keletkező CO₂ kibocsátási értékkel és elosztjuk 100 km-rel. Az így kapott 924 gramm a kilométerenkénti CO₂ kibocsátási mennyiséget jelenti a nehéz tehergépjárműveknél.

A nagyméretű dízelmotorok károsanyag kibocsátásán jelenleg csak az AdBlue környezetbarát adalékanyag használatával tudnak segíteni. Ez az adalékanyag főként a szén-monoxid (CO), a nitrogén-oxid (NO_x), a szén-hidrogén (H_xC_y), valamint a finomszemcsés anyagok (PM) kibocsátását tudja csökkenteni. Így a CO₂ kibocsátás kalkulációjában nem veszem figyelembe az AdBlue használatát.

4.2. A modell

A modell megalkotása során több egyszerűsítő feltevessel kell élni. Egyrészt csak a Magyarországon bejegyzett 10 tonna feletti teherautók és vontatók kibocsátás csökkenését lehet vizsgálni. El lehet tekinteni tehát attól, hogy Magyarország területére más országban bejegyzett

elektromos teherautók és vontatók is beléphetnek, használhatják a kiépítendő elektromos töltőhálózatot, valamint a Magyarországon bejegyzett teherautók és vontatók is elhagyhatják az ország területét. Feltételezem továbbá, hogy az elektromos teherautók és vontatók töltéséhez szükséges elektromos energiát karbonsemleges módon állítják elő, így az elektromos teherautók elterjedése nem fogja növelni CO₂ mennyiségét a légkörben. További feltevés, hogy nem lesznek hibrid, csak tisztán elektromos teherautók és vontatók, valamint a teherautók és a vontatók átlagos fogyasztása minden időszakban azonos. A modell változói az átlagos fogyasztás, az elterjedési ráta, valamint a futásteljesítmény, míg a modell paramétere az egy liter dízelolaj elégetése során légkörbe kerülő CO₂ mennyisége.

Jelölések:

CO_{diesel}^i = az i-edik időszak (év) CO₂ kibocsátása, ha a nehézteherjármű állomány csak dízelolajjal üzemelő nehézteherautókból és vontatókból áll

CO_{mixed}^i = az i-edik időszak (év) CO₂ kibocsátása, ha a nehézteherjármű állomány részben elektromos járművekből áll

$\hat{T}_i$ = a nehéz teherautók előrejelzett futásteljesítménye az i-edik időszakban (év)

α_i^T = az elektromos teherautók elterjedési rátája az i-edik időszakban (év)

$\hat{V}_i$ = a vontatók előrejelzett futásteljesítménye az i-edik időszakban (év)

α_i^V = az elektromos vontatók elterjedési rátája az i-edik időszakban (év)

$\hat{C}_i$ = becsült átlagos fogyasztás az i-edik időszakban (év)

LC = egy liter dízel olaj elégetése során a légkörbe kerülő CO₂ mennyisége

A Magyarországon bejegyzett és üzemeltetett 10 tonna feletti teherautók és vontatók által az i-edik időszakban kibocsátott CO₂, feltéve, hogy az előrejelzett futásteljesítményt kizárólag hagyományos teherautók és vontatók fogják teljesíteni a következő képlettel számolható:

$$CO_{diesel}^i = (\hat{T}_i + \hat{V}_i) * C_i * LC \quad (1)$$

A Magyarországon bejegyzett és üzemeltetett 10 tonna feletti teherautók és vontatók által az i-edik időszakban kibocsátott CO₂, feltéve, hogy a nehézteherautó állományt részben (vagy egészben) elektromos teherautók és vontatók fogják alkotni:

$$CO_{mixed}^{2030} = [\hat{T}_i * (1 - \alpha_i^T) + \hat{V}_i * (1 - \alpha_i^V)] * \hat{C}_i * LC \quad (2)$$

Az elektromos teherautók elterjedése és az átlagos fogyasztás változása miatti CO₂ megtakarítás az i-edik időszakban a következő képlettel számolható:

$$\Delta CO = CO_{diesel}^i - CO_{mixed}^i \quad (3)$$

A fenti egyenletek kizárólag az elektromos teherjárművek elterjedés miatt bekövetkező CO₂ kibocsátás változást ragadják meg egy jövőbeli időpillanatban. Ugyanakkor a kibocsátás változást lehet a 2020-as értékhez is viszonyítani. Ekkor a (3) egyenlet a következő alakot ölti:

$$\Delta CO = CO_{diesel}^{2020} - CO_{mixed}^i \quad (4)$$

Az így számított ΔCO nemcsak az elektromos teherjárművek elterjedési rátájának és az átlagos fogyasztás változásának a hatását fogja mutatni, hanem a futásteljesítmény 2020 és az i-edik időszak között előrejelzett változását is.

4.3. Forgatókönyvek a CO₂ kibocsátás változásáról 2025-re és 2030-ra

Mivel három paraméter van – futásteljesítmény, elterjedési ráta, átlagos fogyasztás –, melyek mindegyikéhez három lehetséges jövőbeli értéket lehet rendelni – minimum, alap, maximum –, ezért összesen 27 különböző jövőbeli világállapot lehetséges. Ezek közül kiválasztottam a legvalószínűbbet – ez akkor valósul meg, ha minden paraméter esetében az alap értéket vesszük –, valamint a CO₂ kibocsátás szempontjából két, a paraméterértékek két szélsőséges kombinációját, az egyiket pesszimista, a másikat optimista forgatókönyvek neveztem el.

Az előzőek alapján megállapításra került, hogy 2020-ban a Magyarországon bejegyzett és üzemeltetett nehéz tehergépjárművek (KSH nyilvántartásában 10 tonna feletti teherautók és vontatók) által kibocsátott CO₂ mennyisége 2.229.471 tonna volt, melynek kerekített értéke 2.230 ezer tonna. A modellben megadott képlet segítségével a becsült elterjedési ráta, az átlagos fogyasztás és az előrejelzett futásteljesítmény felhasználásával kiszámítható, hogy ehhez képest a 2025-ben és 2030-ban a Magyarországon bejegyzett és üzemeltetett 10 tonna feletti dízeles teherautók és vontatók által kibocsátott CO₂ mennyisége előreláthatóan mekkora lesz. A számítás összefoglaló eredményeit a 23. ábra tartalmazza.

Év	Pesszimista	Alap	Optimista	
2025	3 634	2 226	1 151	ezer tonna
2030	3 559	2 029	888	ezer tonna

23. ábra: Forgatókönyvek szerinti becsült CO₂ kibocsátás.

Forrás: KSH (2018) és KSH (2020c) alapján saját számítás.

4.3.1. Pesszimista forgatókönyv

A pesszimista forgatókönyvet az jellemzi, hogy a CO₂ kibocsátás ekkor a legmagasabb, mivel a futásteljesítmény mindkét kategória (nehéz teherautók és vontatók) esetén maximális, az elektromos nehéz tehergépjárművek elterjedési aránya mindkét kategória esetén minimális, valamint az átlagos fogyasztás mindkét kategória esetén maximális. Mindezek alapján a pesszimista forgatókönyv szerint 2025-ben 3.634 ezer tonna lehet a nehéz tehergépjárművek CO₂ kibocsátása, ami a 2020-as mennyiség 163%-a, 2030-ban pedig 3.559 ezer tonna, vagyis a 2020-as szint 160%-a. A pesszimista forgatókönyvben szereplő CO₂ emissziós értékek a magyarországi tulajdonban levő és a külföldi tulajdonú szállítmányozást végző nehéz tehergépjárművek kibocsátását is magában foglalják. Ebből kifolyólag export CO₂ emissziós értéket is tartalmaz, ami azt jelenti, hogy a futásteljesítményből adódóan a magyar tulajdonú tehergépjárművek kibocsátása nem feltétlenül csak belföldön, hanem a határ elhagyása után külföldön is bekövetkezik az Európai Unió területén. Mivel a GHG gázok hatásai nem állnak meg az országhatároknál, így az export emissziós értékek alakulása is nagyon fontos lesz a transzeurópai közúti fuvarozásban. Ehhez hasonlóan a TEN-T folyosók mentén áthaladó külföldi teherautók CO₂ kibocsátása Magyarország területén import emissziós értéknek tekinthető, ami viszont nem szerepel a nemzeti kibocsátásiegyeségi forgalmi jegyzékekben. Az Európai Unió a közlekedésből származó nemzetközi export- és import CO₂ kibocsátás értékeinek szabályozását első ízben 2021-ben a *2018/842/EU Rendelettel* alkotta meg, amely egyelőre az Unión kívülről importált, jelentős CO₂ kibocsátással előállított és szállított termékeket érinti karbonvám formájában (Másfélfo, 2021). Ennek felülvizsgálata az Unión belüli közlekedést és így a közúti szállítványozást illetően egyelőre még várat magára (*Effort Sharing Regulation*).

A pesszimista forgatókönyv akkor következhet be, ha nem történik számottevő változás az elektromos kamionba szerelhető akkumulátor technológiában, a nagy teljesítményű haszongépjármű töltő (HPCCV) fejlesztésében, elterjesztésében, valamint a technológiai követelmények fejletlensége mellett gyenge mértékű az állami szabályozás a közlekedés fejlesztésben, és hasonlóan gyenge a GHG hatású gázok emissziójára vonatkozó szakpolitikai háttér. Az európai zöld folyosók kiépítése sem éri el a hozzáfűzött reményeket. Az elektromos áram ára nem elég gazdaságos az elektromos teherszállításban való alkalmazáshoz, továbbra is inkább ragaszkodnak a dízel meghajtáshoz, vagy az elektromosítás helyett más egyéb, költséghatékonyabb opciókat igyekeznek feltárni. Továbbra is jellemző a halogatás, a döntésképtelenség, az elmúlt évtizedhez hasonló struccpolitika folytatása valósul meg.

A pesszimista forgatókönyv alapján a legnagyobb a CO₂ kibocsátás, és a legkisebb az emissziós megtakarítás. A kibocsátáshoz mért emissziós megtakarítási arány 2025-re 1% körüli, 2030-ra pedig várhatóan kicsit kevesebb, mint 2%.

4.3.2. Alap forgatókönyv

Az alap forgatókönyv szerint 2025-ben és 2030-ban a Magyarországon bejegyzett és üzemeltetett 10 tonna feletti teherautók és vontatók által kibocsátott CO₂ mennyisége 2.226, illetve 2.029 ezer tonna körül lesz várható. Ezek az értékek a 2020-asnak a közel 100%-a, valamint 91%-a. Így a forgatókönyv alapján további kibocsátás növekedés nem várható, enyhé csökkenés következhet be a közúti szállítmányozásban fellépő elektromosítás miatt.

Az alap forgatókönyvet jellemzi, hogy a futásteljesítmény mindkét kategória (nehéz teherautók és vontatók) esetén alap, az elterjedési arány mindkét kategória esetén alap, ahogyan az átlagos fogyasztás is.

A közúti szállítmányozásban bekövetkező elektromosításnak köszönhetően az alap forgatókönyv esetén a 2025-ben 2%, 2030-ban pedig 5% körüli a kibocsátáshoz mért elkerülhető CO₂ mennyisége a 2020-as szinthez képest.

Az alap forgatókönyv megvalósulásához olyan paraméterek együttállása képzelhető el, mint karbongazdag gazdasági növekedés, ami a teherautók futásteljesítmény növekedését vonja maga után. A technológiai fejlődés jelen van, de viszonylag lassú és egyenetlen. Az elektromos nagy teljesítményű haszongépjármű töltőhálózatok kiépítettsége nem optimális, azaz, nem éri el a teljes lefedettséget a TEN-T belföldi közúti folyosói mentén és az egyéb főutakon. Az állam szabályozó ereje közepes, ami miatt a vállalatoknak nem igazán éri meg az elektromosításba fektetni, elektromos nehéz tehergépjárművekkel vagy töltőikkel bajlódni. A befektetésekhez sok önerő szükséges. Az állam nem megfelelő mértékben támogatja a régi dízeles nehéz tehergépjárművek cseréjét, nehézkes a hitelfelvétel, a befektetők nem kapnak adómentességet stb. Mindennek következtében a vállalatoknak meg kell fontolni, hogy mennyire áll érdekükben az elektromosítás alkalmazása a közúti szállítmányozásban. Az is előfordulhat, hogy az intermodális szállítmányozásban a TEN-T belföldi szakaszain a vasúti és a vízi szállítás a vártnál nagyobb mértékben felfut, és távolsági szállítmányozásban a vállalatok inkább olcsóbbnak és megvalósíthatóbbnak látják ezeket a szállítmányozási formákat, mint a közúti nehéz tehergépjárművek drága elektromosítását. Az egyetlen érvényesítő erő az Európai Unió húzó ereje, amihez alkalmazkodni kell, bár az is inkább a nagyobb GDP-vel rendelkező nyugat-európai országokban érvényesül. Az alternatív közlekedés és szállítmányozás alkalmazásában ez a szakadék Európa nyugati és keleti része között jelenleg is érzékelhető, hiszen a nyugat-

európai országokban meghatározóbb az elektromos kamionok alkalmazása vagy kísérleti projektek létesítése az alkalmazásukra, mint a kelet-európai országokban, ahol elvétve lehet találni elektromos nehéz tehergépjárművet. A többféle paraméter együttállása miatt mindenesetre nem következik be jelentős előrelépés a CO₂ emisszió csökkentésében 2030-ig, hanem többé-kevésbé a jelenlegi tendenciák folytatódnak továbbra is. A kibocsátáshoz mért emissziós megtakarítási arány 2025-re 2% körüli, 2030-ra pedig 5%.

4.3.3. Optimista forgatókönyv

Az optimista forgatókönyv alapján elmondható, hogy 2025-ben és 2030-ban a magyarországi 10 tonna feletti teherautók és vontatók által kibocsátott CO₂ mennyisége 1.151, illetve 888 ezer tonna körül lesz várható. Ezek az értékek a 2020-as emissziós mennyiségnek a közel 52%-át, illetve 40%-át teszik ki. Így a forgatókönyv alapján jelentős csökkenés következhet be a közúti szállítmányozásban fellépő elektromosítás miatt.

Az optimista forgatókönyvet jellemzi, hogy a futásteljesítmény mindkét kategória esetén minimális, az elterjedési arány mindkét kategória esetén maximális, valamint az átlagos fogyasztás mindkét kategória esetén minimális. A közúti szállítmányozásban bekövetkező elektromosításnak köszönhetően az optimista forgatókönyv esetén 2025-ben 5%, 2030-ban pedig 8,5% körüli lehet majd a kibocsátáshoz mért elkerülhető CO₂ mennyiség a 2020-as szinthez képest.

Az optimista forgatókönyv megvalósulásához olyan paraméterek együttállása szükséges, mint az elvárásoknak megfelelő elektromos nehéz teherautó maximális elterjedés a közúti szállítmányozásban és az ehhez szükséges elégséges infrastrukturális és technológiai háttér megléte. Mindemellett a gazdasági növekedés töretlen és a korábbi karbongazdag tendenciákat sikerül átfektetni a zero emisszió felé vezető karbonsemlegesség ténfelére. Az elektromos közúti teherszállítás terjedését az állam teljes mértékben segíti, mind szabályozással, mind a kedvező gazdasági környezet megteremtésével, beruházási kedvezményekkel. A vállalatoknak érdekükben áll az elektromosításba beruházni, mivel a befektetések megtérülnek. Az olajárak növekednek, a dízeles gépjárművek gyártása és forgalmazása lelassul, az állami szabályozás az új típusú tehergépjárművek gyártását részesíti előnyben. A TEN-T zöld folyosók mentén a vasúti és vízi teherszállítás is jelentős arányt képvisel a karbonmentesítésben, így az intermodális európai szállítmányozás megvalósul, a közúti szállítmányozás aránya ezen belül összességében csökken.

Az optimista forgatókönyvben szereplő gazdaság megvalósítja mindazt, ami ma még csak terv. A közlekedésből és szállítmányozásból származó CO₂ emisszió csökken, eléri az ideálisnak

tartott határértékeket. A szénhidrogén alapú közlekedésről ütemezett és folyamatos áttérés valósul meg az energiahatékonyabb és környezetterhelést mérséklő alternatív formákra, melyek között vezető szerepet kap az elektromosság. Megjelennek a zöld rendszámok a nehéz tehergépjárműveken, amelyek terjedését számos eszközzel igyekeznek elősegíteni: akár könnyített parkolási lehetőségek vagy a hétvégi kamionstop megszüntetése. A technológiai újításoknak és az állami szabályozásnak köszönhetően ezeket a lépéseket az elektromos áram alacsony ára is lehetővé teszi. Az optimista forgatókönyv szerinti jövőben megvalósul mindaz, ami a klímaváltozás lassulásához szükséges, a gazdaság és vele együtt a közlekedés és szállítmányozás is a környezetileg fenntarthatóvá konvertálódás útján mozog.

4.4. Költségek és optimalizáció

4.4.1. Egyszerű (optimalizálás nélküli) költség számítás

Az alábbiakban feltételezem, hogy csak egyfajta elektromos töltő (1 MW erősségű) fog elterjedni, mellyel 45 perc alatt lehet egy teljesen lemerült akkumulátort 100%-ra feltölteni. Ekkor a következő képlet alapján lehet meghatározni az egy napra jutó összes töltési időt:

$$CHT_i = \left(\frac{\hat{T}_i * \alpha_i^T + \hat{V}_i * \alpha_i^V}{WD * E} \right) * t \quad (1)$$

A képletben $\hat{T}_i$ a teherautók becsült futásteljesítménye az i -edik időszakban, α_i^T az elektromos teherautók elterjedési aránya az i -edik időszakban, $\hat{V}_i$ a vontatók futásteljesítménye az i -edik időszakban, α_i^V az elektromos vontatók elterjedési aránya az i -edik időszakban, t az akkumulátor töltési ideje, mely alatt egy teljesen lemerült akkumulátort 100%-ra lehet tölteni (ennek a paraméternek az értéke a korábbiak alapján 45 perc). WD azoknak a napoknak a száma az évben, amikor a nehéz teherjárművek közlekedhetnek (ennek a paraméternek az értéke 260 nap, a hétvégi kamionstop miatt), E az egy töltéssel megtehető távolság. Ez utóbbi paraméter tekintetében a 2020-as tényérték 316 km, azt várjuk, hogy az elkövetkező időszakban a technológiai fejlődés ezen a téren viszonylag gyors lesz és 2025-re már 653 km lesz az egy töltéssel megtehető maximális távolság, míg 2030-ra ez az érték az előzetes becsléseknek megfelelően 990 km-re fog nőni. A pesszimista, alap és az optimista forgatókönyvek paraméterértékeivel számolva a 24. ábrán látható az egy napra jutó összes töltési időszükséglet.

Év	Pesszimista	Alap	Optimista	
2025	5 293	12 240	23 270	perc
2030	11 251	20 442	19 667	perc

24. ábra: Egy napra jutó töltési időszükséglet.

Forrás: Saját számítás.

Az adatok alapján meglepőnek tűnhet, hogy az egy napra jutó töltési időszükséglet 2025-ben az optimista forgatókönyv alapján magasabb lesz, mint 2030-ban. Ez részben annak köszönhető, hogy nagyobb mértékben esik vissza a nehéz teherjárművek futásteljesítményében meghatározó részt képviselő vontatók futásteljesítménye 2025 és 2030 között⁹, mint amilyen mértékben nő az elektromos vontatók elterjedési aránya. Továbbá az akkumulátor kapacitás (az egy töltéssel megtehető maximális távolság) a jelzett időszakban 51%-kal fog nőni, ami tovább csökkenti az egy napra jutó töltési időszükségletet. Az egy napra jutó töltési időszükséglet meghatározása után az alábbi egyszerű képlet segítségével határozható meg az i -edik időszakban szükséges töltőállomás szám:

$$N_i = \frac{CHT_i}{h} \quad (2)$$

A képletben CHT_i az i -edik időszak egy napra jutó töltési időszükséglete, h egy töltő napi nyitvatartási ideje. Ez utóbbi esetében feltételezem, hogy minden töltő napi 24 órát, azaz 1440 percet üzemel. A töltőszám fenti képlet szerinti meghatározása során eltekintettem attól, hogy a teherjárművek nem egyenletesen érkeznek a töltőkre és így sorállás alakulhat ki. A 25. ábra mutatja a (2) képlet alapján számolt szükséges töltőállomás számot a különböző forgatókönyvek esetén.

Év	Pesszimista	Alap	Optimista	
2025	3,675465	8,500032	16,15978	db
2030	7,813467	14,19583	13,65795	db

25. ábra: Szükséges töltőállomás szám (nyers számok).

Forrás: Saját számítás.

A fenti táblázat a (2) képlet szerinti nyers számokat mutatja, melyek minden esetben törtszámok, ezért kerekíteni kell annak érdekében, hogy értelmezhető eredményeket kapjunk. Mivel a töltési időszükségletet ki kell elégíteni, ezért felfelé kell kerekíteni minden esetben (26. ábra).

Év	Pesszimista	Alap	Optimista	
2025	4	9	17	db
2030	8	15	14	db

26. ábra: Szükséges töltőállomás szám (egészérték).

Forrás: Saját számítás.

⁹ Ne feledjük, hogy az optimista forgatókönyv esetén a futásteljesítmény minimális. A minimális futásteljesítményt az előrejelzés alsó határával azonosítottuk, mely csökkenő tendenciát mutat mind a vontatók, mind a teherautók esetében.

Az adatok alapján a nehéz teherjárművek töltésére alkalmas töltők telepítési költsége 2020-ban 60-220 millió forint/darab között mozog. Feltételezem, hogy 2025-30-ra ez az érték mai árakon számolva 130 millió forint/darab lesz. Ez utóbbi egységárral számolva a 27. ábra mutatja a töltőhálózat kiépítésének költségét.

Év	Pesszimista	Alap	Optimista	
2025	520	1 170	2 210	millió Ft
2030	1040	1 950	1 820	millió Ft

27. ábra: Töltőhálózat kiépítésének költsége.

Forrás: Saját számítás.

4.4.2. Minimális telepítési költség meghatározása még tolerálható átlagos töltési idő mellett

A modell felállítása során feltételezzük, hogy az elektromos nehéz teherautók és vontatók elterjedésének első évtizedében két töltési technológia fog egymással versengeni. Az egyik olcsóbb (1 MW erősségű), de lassúbb (normál), míg a második egy drágább (3 MW erősségű), de gyorsabb töltési időt biztosító technológia. A feladat az, hogy meghatározásra kerüljön, hogy mennyi normál és mennyi gyors töltőt lehet telepíteni, úgy, hogy közben az összes telepítési költséget minimalizáljuk.

A lassúbb töltőből n_1 a gyorsabb töltőből n_2 darabot telepítünk, míg a töltők egységára a rendre c_1 , c_2 és $c_1 < c_2$, így az összes telepítési költség $c_1 n_1 + c_2 n_2$, aminek a minimumát kell keresni (lásd (1) egyenlet). A töltők nyitvatartási idejét h -val jelöltem és feltételezem, hogy az összes töltő típustól függetlenül azonos nyitvatartási idejű töltőállomáson van elhelyezve. Töltési idő alatt a következőkben azt az időtartamot értjük, mely ahhoz szükséges, hogy egy teljesen lemerült akkumulátort 100%-ra töltsenek, ezt a normál és a gyorsöltő esetében rendre t_1 -el és t_2 -vel jelölöm, valamint $t_1 > t_2$.

A napi maximális töltésszám kapacitás az előzőek alapján $n_1 * \frac{h}{t_1} + n_2 * \frac{h}{t_2}$, mely nem lehet kisebb, mint a napi átlagos töltésszám-igény. Az alábbi (2)-es egyenlőtlenség jobb oldalán álló tört számlálójában szereplő összeg a napi átlagos futásteljesítmény (km-ben), ahol az első tag jelöli a vontatók, míg a második a teherautók futásteljesítményét, míg a tört nevezőjében az egy feltöltéssel megtehető kilométer áll (E), azaz a tört a napi átlagos töltésszámigényt adja meg. Ez utóbbi meghatározásakor azzal az egyszerűsítő feltevessel élek, hogy minden teherautó és vontató azonos E km megtételére alkalmas akkumulátorral rendelkezik, valamint csak teljesen lemerült akkumulátort töltenek fel és azt viszont 100%-ra. Az elektromos töltőhálózat kiépítésekor nem csak a költség az egyetlen szempont, hanem az is, hogy az átlagos töltési idő a lehető legrövidebb legyen. A lenti (3) egyenlőtlenség jobb oldala (T) jelöli az átlagos

elvárható töltési időt, míg az egyenlőtlenség bal oldalán az összes napi időkapacitás és a napi átlagos töltésszám hányadosa áll.

Végül ki kell kötni, hogy a töltők darabszáma nemnegatív egész szám kell, hogy legyen. Az előzőek alapján az (1) egyenlet a modell célfüggvénye, a (2) egyenlőtlenség a töltésszám kapacitás korlát, a (3) egyenlőtlenség a még tolerálható átlagos töltési idő korlát, a (4)-(5) kifejezések az egészértékűségi korlátok, míg (6)-(7) egyenlőtlenségek a nem-negativitási korlátok.

A modell célfüggvénye:

$$\min_{n_1, n_2} c_1 n_1 + c_2 n_2 \quad (1)$$

$$n_1 * \frac{h}{t_1} + n_2 * \frac{h}{t_2} \geq \frac{FT^V + FT^T}{E} \quad (2)$$

$$\frac{E(n_1 + n_2) * h}{FT^V + FT^T} \leq T \quad (3)$$

$$n_1 \in \mathbb{Z}$$

$$n_2 \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

$$n_1 \geq 0 \quad (6)$$

$$n_2 \geq 0 \quad (7)$$

Az fenti modell egy tiszta egészértékű programozási feladat, amit több módszerrel is meg lehet oldani, az egyik ilyen a korlátozás és szétválasztás módszere, vagy a Gomory-féle metszési algoritmus. Céлом a három kiválasztott forgatókönyv (pesszimista, alap, optimista) esetében a minimális telepítési költség meghatározása, ha az átlagos elvárható töltési idő 40 perc. A modellezés során a 2030-as elektromos futásteljesítményt és akkumulátor kapacitást (egy feltöltéssel megtehető km) vettem figyelembe. Azzal a feltevéssel éltem, hogy a normál töltő 45 perc alatt tudja 0-ról 100%-ra tölteni az akkumulátort, míg a gyorsöltőnek ehhez elég 30 perc. Egy darab normál töltő telepítési költsége 130 millió Ft, míg egy darab gyors töltő telepítési költségét 180 millió Ft-ra becsültem. A feladat gyakorlati megoldását Excel Solver segédprogramjával végeztem el, melynek eredményét a 28. ábra tartalmazza.

	Pesszimista	Alap	Optimista
Célfüggvény érték (összköltség), millió Ft	980	1750	1700
Normál töltő optimális mennyisége (db)	2	1	2
Gyorstöltő optimális mennyisége (db)	4	9	8
Összes töltő (db)	6	10	10
Átlagos töltési idő (perc):	34,56 perc	32,95 perc	32,95 perc
Töltésszám szükséglet	250	454	437
Töltésszám kapacitás	256	464	448
Töltésszám kapacitás szükséglet differencia	6	10	11

28. ábra: Feltételes költség optimalizáció eredménye.

Forrás: Saját számítás.

A fenti táblázat alapján számos fontos megállapítás tehető. Noha 40 perc volt az elvárható maximális átlagos töltési idő, az optimalizálás eredményeképp mindhárom forgatókönyv esetében az átlagos töltési idő ennél jóval kisebb lett. A töltők darabszáma a pesszimista forgatókönyv esetében 2-vel, az alap forgatókönyv esetében 5-tel, míg az optimista forgatókönyv esetében 4-gyel lett kevesebb. Összehasonlítva a csak normál töltőből álló, elvárható időkorlát nélküli modellel azt látjuk, hogy mindhárom forgatókönyv esetében napi szinten 6-11 perc tartalékidő áll rendelkezésre, mely némi mozgásteret nyújt a töltésigény napon belül ingadozásának kezelésében.

Az átlagos töltési idővel számolva, a pesszimista forgatókönyv esetében naponta 2611, az alap forgatókönyv esetében 5482, az optimista forgatókönyv esetében pedig 5268 perc megtakarítás érhető el. Természetesen a fenti előnyöknek ára van: a pesszimista esetben 60 millió, az alap forgatókönyv esetében 200 millió, míg az optimista forgatókönyv esetében 120 millió forint pluszköltség jelentkezik, a feltétel nélküli költségszámítás alapján kapott töltőhálózat létesítési költségekhez képest 2030-ra.

A fenti modellt számos irányba lehet tovább fejleszteni. Érdemes lenne lefedettségi korlátot is beépíteni a modellbe, mely kifejezné azt, hogy a teherautó vezetők számára az is fontos, hogy az egyes töltőállomások milyen messze vannak egymástól, illetve, hogy az ország minden részében legyen töltési lehetőség, ne csak a TEN-T zöld folyosói mentén. Fontos fejlesztési irány lehet az elterjedési ráta endogén változóként való beépítése a modellbe. Az is feltételezhető ugyanis, hogy az elektromos töltőhálózat sűrűsége hatással van az elektromos teherjárművek elterjedésére is. Végül de nem utolsósorban érdemes lenne a potenciális várakozási idő modellezése is.

5. Következtetések, javaslatok

A dolgozatomban a szakirodalom feldolgozás során olyan információk kerültek bemutatásra, amelyekből egyértelműen kimutatható az elektromos közúti teherszállítás időszerűségének, valamint jelentőségének oka. Amíg az Európai Unió és Magyarország általános CO₂ kibocsátása csökken, addig a kibocsátási arányon belül a közlekedésből és szállítmányozásból származó emisszió az elmúlt években folyamatosan nőtt (3. és 13. ábra). Ennek legfőbb oka, hogy az európai közlekedési szektor még mindig túlnyomóan fosszilis üzemanyagokra támaszkodik (90% felett), valamint a ZEV (zeró emissziós) nehéz tehergépjárművek aránya 2020-ban is csak 0,04% volt (4. ábra), annak ellenére, hogy a legtöbb árut közúton mozgatják (7. ábra).

Az elemzésből az is látható, hogy a központi, európai szabályozás milyen lépéseket tett vagy nem tett meg eddig, annak érdekében, hogy a zero emissziós közúti áru fuvarozás megvalósulhasson. Ennek keretében hátrányként értelmezhető, hogy ezidáig túlnyomóan a nem zero emissziós alternatív üzemanyagok támogatása valósult meg a közúti szállítmányozásban (8. és 9. ábra). Mindennek következtében megállapításra került, hogy az Unió alternatív üzemanyagokkal kapcsolatos lépései a 2050-re történő zero emisszió eléréséhez nem elégségesek és a fosszilis üzemanyagokról a bioüzemanyagokra és a gázüzemű járművekben használatos üzemanyagokra történő átállás nem fogja a légkört a kellő mértékben dekarbonizálni. Ezért a közeljövőben gyors változtatásra van szükség a közúti közlekedést és fuvarozást illető szakpolitikákban. A problémára megoldás jelenthet az elektromosság minél nagyobb mértékű használata (10. ábra), amelynek technológiai felfejlesztése jelenleg még gyerekcipőben jár (11. ábra). A technológiai lemaradás oka legvalószínűbben az, hogy korábban nem fordítottak a zero emissziós meghajtásokra elég figyelmet, hanem inkább az átmeneti megoldásokra koncentráltak, amik sajnos a karbon mentesség eléréséhez nem tudnak jelentékeny módon hozzájárulni, így nem jelentenek hathatós megoldást hosszú távon. Az elektromosság használata nemcsak, hogy emisszió szempontjából lenne kielégítő, hanem a közúti fuvarozásban mindemellett a legenergiahatékonyabb megoldásnak is mondható (10. ábra).

Az elektromos meghajtás helyzete hazánkban is az európai helyzetet tükrözi vissza. Jelenleg egy darab elektromos nehéz tehergépjármű működik az ország területén.

Az európai közúti közlekedés dekarbonizációjában a transzeurópai közlekedési hálózat (TEN-T) kialakítása 2030-ra is sokat segíthet. A TEN-T zöld folyosói mentén megvalósulhat az intermodális szállítmányozás: vasút, vízi, közúti és légi szállítmányozás keverékével, valamint

közúton a megfelelő zéró emissziós technológiák alkalmazásával (például nagy teljesítményű haszongépjármű töltőhálózat (HPCCV) kialakításával). Magyarország is részét képezi a TEN-T hálózatnak, így a megjelenő új technológiákhoz muszáj lesz alkalmazkodnia, amelyek alkalmazása a magyar gazdaság versenyképességének megtartása szempontjából kiemelkedően fontos lehet.

A témába vágó kutatási célkitűzések megvalósítása összességében elérhetőnek tekinthető. Az első kutatási célkitűzés alapján az elektromos nehéz teherautók és vontatók elterjedési rátája került becslésre 2025-re és 2030-ra a gazdaságfejlődés három lehetséges forgatókönyve alapján. Összességében elmondható, hogy az elterjedési ráta még 2030-ra is elég szerény arányt eredményezett (21. ábra), azonban a 2020-as 0,04%-os arányhoz képest mégis számottevő lehet a növekedés, ami 2050-re a karbonsemlegesség megvalósításához vezető út kezdeti lépése lehet. Előreláthatóan a technológia fejlődésével 2030 után még gyorsabb ütemű lehet a zéró emissziós közúti áru fuvarozás fejlődése és egyre számottevőbb lesz az utakon az elektromos nehéz tehergépjárművek által végzett áruszállítás, akár hosszú távon is (>300km).

A második kutatási célkitűzés alapján előrejelzés készült a dízeles nehéz teherautók CO₂ kibocsátásáról 2025-re és 2030-ra, valamint az elektromos tehergépjárművek használatával megtakarítható CO₂ mennyiségéről a gazdaságfejlődés három lehetséges forgatókönyve esetére. A CO₂ kibocsátás előrejelzése a 23. ábrában került összefoglalásra. A kibocsátáshoz mért megtakarítási ráta a pesszimista forgatókönyv esetében elhanyagolható (1-2%), az alap forgatókönyvben 2-5%, az optimista esetében pedig 5-8,5%, ami arra enged következtetni, hogy a zéró emisszió irányába mutató változás elkezdődhet, de 2030-ig egyelőre csak szerényebb CO₂ megtakarítás mutatható fel.

A harmadik célkitűzés annak becslése volt, hogy egy nagy teljesítményű haszongépjármű töltőhálózat kialakítása mekkora költségbe kerülhet. A költségbecslésnél fontos tényező volt annak figyelembevétele, hogy a töltőhálózat tolerálható töltési időt biztosítson. Ennek keretében először csak egyfajta töltő elterjedésére számítottam (1 MW erősségű) és feltételeztem, hogy az átlagos töltési idő 45 perc lesz. A kapott eredmények alapján meglepőnek tűnhet, hogy az egy napra jutó töltési időszükséglet 2025-ben az optimista forgatókönyv alapján magasabb lett, mint 2030-ban. Ez annak tudható be, hogy nagyobb mértékben esik vissza a nehéz tehergépjárművek futásteljesítményében meghatározó részt képviselő vontatók futásteljesítménye 2025 és 2030 között, mint amilyen mértékben nő az elektromos vontatók elterjedési aránya. Továbbá, az akkumulátor kapacitás a jelzett időszakban jelentősen nőhet, ami tovább csökkenti az egy napra jutó töltési időszükségletet. Ezek után azt feltételeztem, hogy 2030-ra két, eltérő erősségű töltő lesz forgalomban (1 MW és 3 MW erősségű), valamint az

optimális (azaz minimális költségű) töltőszám meghatározásához az átlagos töltési időnek kisebbnek kell lennie, mint 40 perc. A modell megoldása után kapott értékekből (28. ábra) látszik, hogy az optimalizálás eredményeképpen mindhárom forgatókönyv esetében az átlagos töltési idő jóval kisebb lett, mint 40 perc. Vagyis az egyelőre a szakmai fórumokon előrejelzett technológiai fejlemények feltehetően jelentősen előremozdíthatják majd a jelenleg még elég lassú nehéz tehergépjármű töltési időt, amivel óriási lendületet adhatnak a közúti fuvarozás energiahatékonyságot javító és környezeti terhelést mérséklő közeljövőbeli eshetőségének. Ennek megfelelően a heterogén töltőknél az összes töltő darabszáma a pesszimista forgatókönyv esetében 2-vel, az alap forgatókönyv esetében 5-tel, míg az optimista forgatókönyv esetében 4-gyel lett kevesebb, mint a homogén töltős számításakor. Valamint, a pesszimista esetben 60 millió, az alap forgatókönyv esetében 200 millió, míg az optimista forgatókönyv esetében 120 millió forint pluszköltség jelentkezett, a korábbi költségszámítás alapján kapott töltőhálózat létesítési költségekhez képest. Ez arra utal, hogy meg kell fizetni a tanulópénzt addig, amíg az egységes és bevált, egyenletes nagy teljesítményű haszongépjármű szabványtöltők használata meghonosodik.

A modellt javasolt lenne több módon továbbfejleszteni. Lefedettségi korlátot is lehetne beépíteni a modellbe, mely kifejezné, hogy az egyes töltőállomások milyen messze legyenek egymástól, illetve, hogy az ország minden részében legyen töltési lehetőség, ne csak a TEN-T zöld folyosói mentén. További fejlesztési irány lehetne az elterjedési ráta endogén változóként való beépítése a modellbe, valamint érdemes lenne a potenciális várakozási idő modellezése is.

6. Összefoglalás

Dolgozatom első részében a környezeti fenntarthatóság és a közúti fuvarozás kapcsolatát vizsgáló szakirodalmat tekintetem át, mely során megállítottam, hogy a választott téma időszerű, mivel napjainkban klímaváltozás zajlik, aminek megfékezésére történnek ugyan lépések, de a közúti fuvarozásban ezek egyelőre minimálisan érzékeltetik hatásukat. A napjainkban zajló LEAN elvű vállalati beszerzési és értékesítési irányzatok megkívánják a folyamatos, egyre inkább kisebb mennyiségű áru- és alapanyag szállítást, amely együtt jár a készletek örökös mozgásával, akár mozgó tárolásával. Mindez megnövekedett szállítási igényt eredményez, amely a közúti szállítmányozás esetében jelentősen hozzájárul a teherautók által okozott folyamatosan növekvő CO₂ emisszióhoz.

A gyenge és az erős fenntarthatósági elméletek közötti szemléletbeli különbség vizsgálata után áttekintettem a ZELM (zöld ellátásilánc menedzsment) és a FELM (fenntartható ellátásilánc menedzsment) koncepciókat, és megállapítottam, hogy a fenntartható energia integrálása az ellátásiláncon menti közúti szállítmányozásba elengedhetetlen, amelynek megvalósítása túlmegy a vállalatunkénti cselekvőképességen. A teljes európai közlekedési szerkezettel a közúti logisztikai áruszállítás rendszere is átalakítást igényel, hogy az ellátásiláncon a fenntarthatósági világválság megváltozott körülményeihez alkalmazkodni tudjanak „win-win” szituációt kialakítva a természet-gazdaság-társadalom fenntarthatósági pillérei között.

Az európai piacon elérhető alternatív üzemanyagok jellemzése és az akkumulátoros elektromos nehéz tehergépjárművek (BEV) rövid technológiai áttekintése után ismerttettem a jelenlegi elektromos töltési technológiákat és a gyorsító típusokat. Kiemeltem annak szükségességét is, hogy a mostani 90 perces akkumulátoros töltési idő csökkentésére lesz szükség a közeljövőben az elektromos közúti teherszállítás széleskörű elterjedéséhez, amit a HPCCV nagy teljesítményű haszongépjármű töltő (megatöltő) bevezetésétől várnak.

A magyarországi alternatív üzemanyag helyzet bemutatása során kiemelésre került, egy a magyar 3PL szolgáltatóknál végzett zöld logisztikai megoldások alkalmazását vizsgáló 2020-as felmérés, amely szerint az egyik megkérdezett sem használt alternatív üzemanyagokat, mert hozzáférhetőségüket olyan mértékben korlátozottnak találta, ami akadályozta a közúti áruszállítás minőségét. A magyar gazdaság és logisztikai iparág versenyképességének fenntartása érdekében szükség lenne a közúti áru fuvarozás minél nagyobb arányú zöldítésére, ami hozzájárulna a bruttó nemzeti termék (GDP) növekedéséhez és lehetőséget nyújtana a társadalmi jólét, az egészség és az egészséges környezet előmozdítására.

A dolgozat második, tudományos módszertani része három kutatási célkitűzést vizsgált. Az első célkitűzés az elektromos teherautók és vontatók elterjedési rátájának becslése volt 2025-re és 2030-ra. A második célkitűzés két részből tevődött össze. Egyrészt előrejelzés készítése volt a cél a dízeles nehéz tehergépjárművek okozta CO₂ kibocsátásról, majd a felírt képlet alapján az elektromos nehéz tehergépjárművek alkalmazásával megtakarított CO₂ mennyiség előrejelzése történt meg. A harmadik kutatási célkitűzés annak vizsgálata volt, hogy egy nagy teljesítményű haszongépjármű töltőhálózat (HPCCV) optimális töltőszámának mekkora a költségvonzata.

Összességében, tanulságosnak érzem a téma vizsgálatát és a kutatási célkitűzésekben megfogalmazott tényezők vizsgálatát, mivel jelenleg még elég nehezen tanulmányozható területet ölelnek fel, amelynek vizsgálatával, legalábbis Magyarországon, viszonylag kevesen foglalkoznak.

Irodalom jegyzék

(Minden letöltés 2021.11.20-ra érvényes)

- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2019) Reliable figures and statistics <https://www.acea.auto/figure/share-of-alternatively-powered-vehicles-in-the-eu-fleet-per-segment/>
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020a) Fuel types of new cars: petrol +11,9%, diesel -3,7%, electric +80,5% in fourth quarter of 2019 <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-petrol-11-9-diesel-3-7-electric-80-5-in-fourth-quarter-of-2019/>
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020b) Fuel types of new trucks: diesel 97,9%, electric 0,2%, hybrid 0,1% market share in 2019 <https://www.acea.auto/fuel-cv/fuel-types-of-new-trucks-diesel-97-9-electric-0-2-hybrid-0-1-market-share-in-2019/>
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020c) Charging Points: Growth not keeping pace with rising demand for electric vehicles <https://www.acea.be/press-releases/article/charging-points-growth-not-keeping-pace-with-rising-demand-for-electric-veh>
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020d) Medium and Heavy Trucks Over 3.5T New Registrations by Fuel Type in the European Union https://www.acea.be/uploads/press_releases_files/ACEA-trucks_by_fuel_type_full-year_2020.pdf
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020e) Charging and Re-fuelling Infrastructure Required for Heavy-duty Vehicles https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Position_Paper-Charging_and_re-fuelling_infrastructure_heavy-duty_vehicles.pdf
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020f) Making the Transition to Zero Emission Mobility, 2020 Progress Report https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_progress_report_2020.pdf
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020g) Position Paper, Charging and re-fuelling infrastructure required for heavy-duty vehicles https://www.acea.auto/files/ACEA_Position_Paper-Charging_and_re-fuelling_infrastructure_heavy-duty_vehicles.pdf
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2021a) Size and distribution of the EU vehicle fleet <https://www.acea.auto/figure/size-distribution-of-the-eu-vehicle-fleet/>
- ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2021b) Vehicles in Use, Europe <https://www.acea.be/uploads/publications/report-vehicles-in-use-europe-january-2021.pdf>
- Alapjázat (2019) Cseppfolyósított földgázt tankolnál? Most már megteheted <https://alapjázat.hu/aktualis/cseppfolyositott-foldgazit-tankolnal-most-mar-megteheted>
- Audi (2021) Audi Hungária: elektromos kamion a logisztikában <https://www.audi.hu/hirek/aktualis-hirek/4114-audi-hungaria-elektromos-kamion-a-logisztikaban>
- Bloomberg NEF (2021) Electric Vehicle Outlook 2021 <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- C2ES (2017) Global Emissions <https://www.c2es.org/content/international-emissions>
- <https://chargemap.com/map>

- Diófási-Kovács, O. (2020): Zöld logisztikai megoldások Magyarországon - 3PL szolgáltatók környezetvédelmi tevékenységeinek elemzése, Logisztikai trendek és legjobb gyakorlatok 6. évfolyam, 1. szám, 63-69. old. https://logisztikaitrendek.hu/wp-content/uploads/2020/07/20_9_10-Diófási-Kovács.pdf
- EAFO (Európai Alternatív Üzemanyag Megfigyelőközpont) (2020a) LPG - Heavy-duty Vehicles <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/n2-n3>
- EAFO (Európai Alternatív Üzemanyag Megfigyelőközpont) (2020b) Electricity – Heavy-duty Vehicles <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/n2-n3>
- EAFO (Európai Alternatív Üzemanyag Megfigyelőközpont) (2020c) Biofuel Consumption – Heavy-duty Vehicles <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/biofuels/consumption#>
- EAFO (Európai Alternatív Üzemanyag Megfigyelőközpont) (2020d) CNG/LNG refuelling stations <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/ng-natural-gas/filling-stations-stats>
- Ecoscore (2021) What is the Ecoscore of a vehicle? <https://ecoscore.be/en/info/ecoscore/what>
- EEA (Európai Környezetvédelmi Ügynökség) (2020) Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term/increasing-oil-consumption-and-ghg>
- EEA (Európai Környezetvédelmi Ügynökség) (2019) Transport Greenhouse Gas Emissions <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/resource-efficiency-and-low-carbon-economy/transport-ghg-emissions>
- EEA (Európai Környezetvédelmi Ügynökség) (2021) Use of renewable energy for transport in Europe <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-cleaner-and-alternative-fuels-2/assessment>
- European Commission (2019): Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en
- Európai Parlament és Tanács (2013) 1315/2013/EU Rendelete a transzeurópai közlekedési hálózat fejlesztésére vonatkozó uniós iránymutatásokról https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t_en
- Európai Parlament és Tanács (2014) 2014/94/EU Irányelve az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094>
- Európai Parlament és Tanács (2019) 2019/1242 Rendelete az új nehézgépjárművek szén-dioxid-kibocsátási előírásainak meghatározásáról <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1242/oj>
- Európai Parlament és Tanács (2018) 2018/2002/EU Irányelve az energiahatékonyságról szóló 2012/27/EU irányelv módosításáról https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.328.01.0210.01.ENG
- EUROSTAT (2019) Road freight transport by journey characteristics https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics#Average_distance_travelled
- EUROSTAT (2020) Energy, transport and environment statistics. Statistical Books by the European Union <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/ks-dk-20-001>
- EUROSTAT (2021) Greenhouse gas emission statistics – emission inventories <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

explained/index.php?title=Greenhouse_gas_emission_statistics_-_emission_inventories#Trends_in_greenhouse_gas_emissions

- Georgescu-Roegen, N (2005): Az entrópia törvénye és a gazdasági probléma, in: Természet és gazdaság, Ökológiai közgazdaságtan szöveggyűjtemény, Typotex Kiadó, Budapest, 41-55. oldal.
- globaldrivetozero.org
- Green Deal (2019) https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- Mobility Strategy (2021) Sustainable and smart mobility strategy, Putting European transport on track for the future https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en
- Haas, T. – Sander, H. (2020): Decarbonizing Transport in the European Union: Emission Performance Standards and the Perspectives for an European Green Deal, Sustainable Automobilities in the Mobile Risk Society, Sustainability Special Issue 12(20), 8381. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8381/html>
- Híradó (2021): Átadták Magyarország első mobil hidrogéntöltő-állomását <https://hirado.hu/belfold/kozelet/cikk/2021/04/29/atadtak-magyarorszag-első-mobil-hidrogen-toaltoallomasat#>
- Horváth, A. – Károlyi, L. (2019): Fenntarthatóság, fenntartható ellátási lánc menedzsment, International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS), Vol. 4., No. 4, p. 322-328. <https://ojs.lib.unideb.hu/IJEMS/article/view/5366>
- IEA (Nemzetközi Energiaügynökség) (2018) Hungary, Data browser: Energy topic - CO₂ emissions, Indicator – CO₂ emissions by sector <https://www.iea.org/countries/hungary#overview>
- IEA (Nemzetközi Energiaügynökség) (2019) Hungary, Key energy statistics <https://www.iea.org/countries/hungary>
- IEA (Nemzetközi Energiaügynökség) (2020) Energy efficiency indicators: Overview <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-overview>
- IEA (Nemzetközi Energiaügynökség) (2021a) Trends and Developments in Electric Vehicle Markets, Global EV Outlook 2021 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets>
- IEA (Nemzetközi Energiaügynökség) (2021b) Prospects for Electric Vehicle Deployment <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/prospects-for-electric-vehicle-deployment>
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal) (2018) Légszennyező anyagok és üvegházhatású gázok kibocsátása (1985-2018) https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ua002d.html
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal) (2019) Helyzetkép a szállítási ágazatról. <http://www.ksh.hu/katalogus/>
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal) (2020a) A közúti gépjárművek száma járműnemenként (2001-2020) https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ode008.html
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal) (2020b) A tehergépjárművek száma tömeg szerint (2005-2020) https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ode009.html
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal) (2020c): Közúti áruszállítási teljesítmények a jármű teherbírása szerint (2003-2020) https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0008.html
- Másfél fok (2021) Karbonvámval kényszerítené ki az EU a globális kibocsátáscsökkentést <https://masfelfok.hu/2021/06/24/karbonvammal-kenyszeritene-ki-az-eu-a-globalis-kibocsatascsokkentest/>

- McKinnon, A. – Browne, M. – Piecyk, M. – Whiteing, A (2015): Green Logistics, Improving the Environmental Sustainability of Logistics, 3rd Edition, Kogan Page, London.
- Motionist, (2020) Quick battery swap rather than long charging frustration <https://motionist.com/en/quick-battery-swap-rather-than-long-charging-frustration/>
- NASA (Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal) Global Climate Change (2021) Facts Carbone Dioxide <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- NEKT (Nemzeti Energia- és Klímaterv) (2020) <https://www.enhat.mekh.hu/strategiak>
- Nemzeti Energiestratégia 2030, Kitekintéssel 2040-ig, Tiszta, Okos, Megfizethető Energia (2020) <https://www.enhat.mekh.hu/strategiak>
- openchargemap.org
- Scott Cato, M. (2009) Green Economics, An Introduction to Theory, Policy and Practice, Earthscan, London.
- Sós, N. E. (2020): A közúti áruszállítás szerepe az árumozgatásban, és a tevékenység során kibocsátott káros anyagok mennyiségének változása, Műszaki Katonai Közlöny 30. évfolyam, 1. szám, 139-159. oldal. DOI: 10.32562/mkk.2020.1.10
- STATISTA (2021) Number of electric vehicle charging stations in Hungary from 2013 to 2021, by type <https://www.statista.com/statistics/933078/number-of-electric-vehicle-charging-stations-in-hungary/>
- Szász, L. – Demeter, K. (2017): Ellátásilánc-menedzsment, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- T&E (Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség) (2020) Recharge EU trucks: time to act! A roadmap for electric truck charging infrastructure deployment. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_02_RechargeEU_trucks_paper.pdf
- T&E (Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség) (2018a) How to decarbonise European transport by 2050. <https://www.transportenvironment.org/publications/how-decarbonise-european-transport-2050>
- T&E (Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség) (2018b) Analysis of long haul battery electric trucks in EU. Marketplace and technology, economic, environmental, and policy perspectives. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/20180725_T%26E_Battery_Electric_Trucks_EU_FINAL.pdf
- TENtec (2021) TENtec interactive map viewer, Mobility and Transport by European Commission <https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html>
- TransINFO (2021) A Scania 540 S vontató nyerte a német kamion összehasonlító-tesztet <https://trans.info/hu/a-scania-540-s-vontato-nyerte-a-nemet-kamion-osszehasonlito-tesztet-223597>
- Vida, G (2016) A Klímahelyzet 2016, Magyar Tudomány 2017/6. szám, 645-652. oldal. <http://www.matud.iif.hu/2017/06/02.htm>
- Villanyautósok (2020): Magyar fejlesztésű elektromos kamion szállít az Audinak Győrben <https://villanyautosok.hu/2020/10/08/magyar-fejlesztesu-elektromos-kamion-szallit-az-audinak-gyorben/>

- VTT Processes (2005) Heavy duty truck emissions and fuel consumption simulating real world driving in laboratory conditions
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/2005_deer_erkkila.pdf
- White Paper On Transport (2011) Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource-efficient transport system (European Commission Directorate – General for Mobility and Transport)
https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf

Ábrák forrásjegyzéke

(Minden letöltés 2021.11.20-ra érvényes)

- 1.) Sobhy, M (2016) <http://www.studentsonclimatechange.com/climate-conversation/archives/09-2016#>
- 2.) NASA (Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal) Global Climate Change (2021) Facts Carbene Dioxide <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- 3.) EEA (Európai Környezetvédelmi Ügynökség) (2020a) Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term/increasing-oil-consumption-and-ghg>
- 4.) ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2019) Reliable figures and statistics <https://www.acea.auto/reliable-data-statistics/>
- 5.) és 6.) Scott Cato, M. (2009) Green Economics, An Introduction to Theory, Policy and Practice, Earthscan, London, p. 37.
- 7.) EUROSTAT (2021) Freight transport performance, adjusted for territoriality, EU 2008-2019 (million tonne-kilometres) [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Freight_transport_performance_adjusted_for_territoriality_EU_2008-2019_\(million_tonne-kilometres\).png&oldid=520113](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Freight_transport_performance_adjusted_for_territoriality_EU_2008-2019_(million_tonne-kilometres).png&oldid=520113)
- 8.) COM (2013) 17 Tiszta energiák a közlekedésben: az alternatív üzemanyagok európai stratégiája <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=celex%3A52013PC0017>
- 9.) ACEA (Európai Autógyártók Szövetsége) (2020d) Medium and Heavy Trucks Over 3.5T New Registrations by Fuel Type in the European Union. https://www.acea.be/uploads/press_releases_files/ACEA-trucks_by_fuel_type_full-year_2020.pdf
- 10.) T&E (Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség) (2020) Recharge EU trucks: time to act! A roadmap for electric truck charging infrastructure deployment. p. 37. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_02_RechargeEU_trucks_paper.pdf
- 11.) globaldrivetozero.org
- 12.) T&E (Európai Közlekedési és Környezetvédelmi Szövetség) (2020) Recharge EU trucks: time to act! A roadmap for electric truck charging infrastructure deployment. p. 20. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_02_RechargeEU_trucks_paper.pdf
- 13.) KSH (2018) Légszennyező anyagok és üvegházhatású gázok kibocsátása (1985-2018) https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ua002d.html

- 14.) KTI (2014) <https://www.kti.hu>
- 15.) Audi (2021) Audi Hungária: elektromos kamion a logisztikában
<https://www.audi.hu/hirek/aktualis-hirek/4114-audi-hungaria-elektromos-kamion-a-logisztikaban>
- 16.) KSH (2020c) alapján saját szerkesztés
- 17.) KSH (2020c) alapján saját szerkesztés
- 18.) KSH (2020c) alapján saját számítás
- 19.) KSH (2020c) alapján saját számítás
- 20.) KSH (2020c) alapján saját számítás
- 21.) Előrejelzések alapján saját szerkesztés.
- 22.) Előrejelzések alapján saját szerkesztés.
- 23.) KSH (2018) és KSH (2020c) alapján saját számítás
- 24.) Saját számítás
- 25.) Saját számítás
- 26.) Saját számítás
- 27.) Saját számítás
- 28.) Saját számítás

Mellékletek



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

4. sz. függelék – Hallgatói és konzulensi nyilatkozat minta

NYILATKOZAT

Alulírott Simon Rita, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus, ellátásilanc menedzsment szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2021. év október hó 25. nap

Simon Rita
Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2021 év október hó 28 nap

Belső konzulens
Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!