

HIBRID- ÉS ELEKTROMOS JÁRMŰVEK ENERGIAMENEDZSMENTJÉNEK LEHETSÉGES NAPELEMES TÁMOGATÁSA

POSSIBLE SOLAR SUPPORT FOR THE ENERGY MANAGEMENT OF HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES

Sári Zoltán sari.zoltan@gamf.uni-neumann.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A következő tanulmányban bemutatok egy olyan napelemmel támogatott rendszert, ami képes lehet hibrid- és elektromos járművek energiamenedzsmentjének olyan zöld villamos energiával történő támogatására, ami egy válasz lehet a jövő környezetvédelmi előírásaira a járműiparban. Az átlagos járműhasználatban felmerülő energia szükségletet részben fedezheti, illetve a jármű egyéb rendszereinek energiafelhasználására adhat alternatív megoldást.

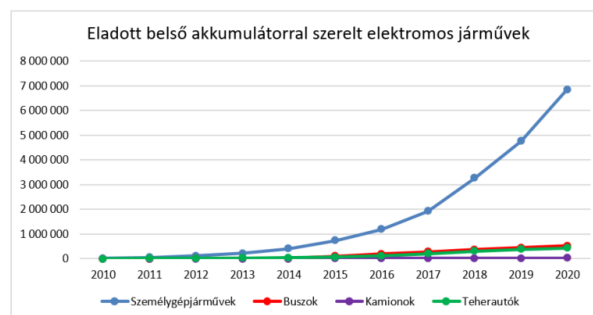
ABSTRACT

In the following I am going to present a solar cell supported system that could be an answer to future environmental regulations of the vehicle industry by supporting hybrid and electric cars with green electricity. This solution could partially cover the energy needs resulting from average vehicle use as well as provide an alternative solution for the energy consumption of the other systems of the vehicle.

1. BEVEZETÉS

A személyautó használatról nagyon nehezen mondunk le, ez egy roppant értékes és fontos közlekedési eszköz számunkra, ezért nehéz megfelelő alternatívát találni arra, hogy ne az autóinkkal közlekedjünk nap, mint nap. Természetesen mindenki törekszik arra, hogy minél kisebb károsanyag kibocsátással járjon a közlekedés, így egyre több olyan jármű jelenik meg az utakon, ami helyi károsanyag kibocsátás szempontjából kevésbé szennyező. Erre egy

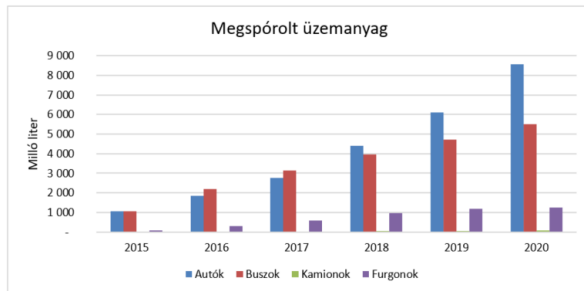
megfelelő megoldás lehet a különböző hibrid- és elektromos autók. Ezt igazolja az a grafikon is, ami az elmúlt 10 évben eladott tisztán elektromos járművek mennyiségét mutatja világvizonylatban.



1. ábra. Elmúlt 10 évben eladott tisztán elektromos járművek [1]

Az elektromos járművek terjedése várhatóan a közeljövőben sem fog lassulni, sőt, inkább egyre nagyobb mértékben fog nőni az eladott járművek száma, ugyanis több gyártó is bejelentette, hogy az elkövetkezendő 20-30 évben [2] befejezik a belső égésű motoros járművek fejlesztését, és gyártását (pl. Volkswagen, Mercedes stb.). Mindemellett a kezdetben rendkívül kevés elektromos töltőt tartalmazó töltőhálózat fejlődése és lefedettsége szintén egyre növekvő tendenciát mutat.

A globális felmelegedés, illetve a városok tisztább levegőjének szempontjából igen jelentős értéknek számít az eladott elektromos járművek mennyisége. Mivel így nagy mennyiségű üzemanyag elégetésétől kíméljük meg a közvetlen környezetünket. Az elektromos járművek alkalmazásával az elmúlt öt évben közel 65 milliárd liter üzemanyag (2. ábra) elégetését lehetett megspórolni, amely így nem terhelte a környezetet sem.



2. ábra. Elmúlt 5 évben megspórolt üzemanyag mennyisége [1]

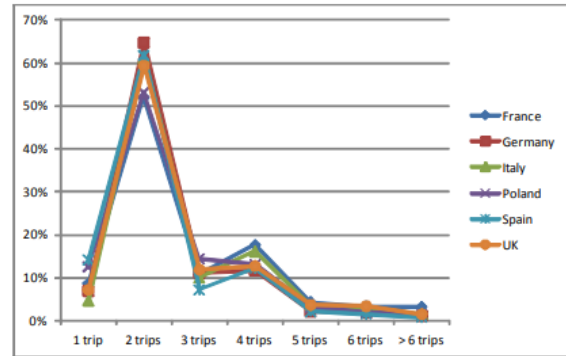
Az elektromos járművek töltéséhez szükséges áramot elsősorban a villamos hálózat szolgáltatja, amely leterheltsége az elmúlt időszakban szintén megnövekedett, amelyhez az elektromos járművek is hozzájárulnak. Csak az elmúlt 5 évben az elektromos gépjárművek töltésre használt energia átlagosan a 19-szeresére növekedett [1].

A világ villamos energiájának fogyasztása az elmúlt 5 évben tovább emelkedett közel 9,5 %-al ez 2197 TWh növekedés jelent. Az elektromos járművek töltésére felhasznált energia összesen 5,6 %-át (122,8 TWh) teszi ki. Ennek ellenére ez a mennyiség a világ teljes energia felhasználásában, ami 23177 TWh 2020-ban, szinte elenyésző, csupán 0,0016 %-át jelenti. [3]

Ezt az értéket viszont szükséges csökkenteni, mert a meglévő infrastruktúra és az energiatermelés sem képes ilyen mértékben lekövetni. Ebben lehet megoldásként gondolni a napelem rendszerek nagyobb kihasználására.

2. ÁLTALÁNOS AUTÓHASZNÁLAT

Egy 2012-ben készült tanulmányban, ami Európai Uniósi államok részvételével készült, a kutatók megvizsgálták az autó használati és parkolási szokásainkat. Arra az érdekes megállapításra jutottak, hogy jellemzően 2 utat teszünk meg az autónkkal naponta, ezt láthatjuk a 3. ábrán. [4]



3. ábra. Naponta megtett utak száma [4]

A válaszadók arra a kérdésre, hogy ezeknek az utazásoknak mi a célja, a nagy százalékban (több mint 35%) azt választották, hogy legtöbbször munkába mentek. Tehát reggel elindultak otthonról, megérkeztek a munkahelyükre, majd este onnan hazamentek. Az utazási idő 25 perc volt, a megtett út hosszának pedig 20 kilométeres átlagot vehetünk.

Tehát a hétköznapi autóhasználatára kijelenthetjük, hogy az átlagos utazási idő naponta 25 perc utanként, ami alatt kb. 20 kilométert teszünk meg, a többi időt parkolással töltjük. [4] Ez a táv kedvező a hibrid- és elektromos járműveknek, mert az akkumulátorban tárolt energia mennyisége elegendő, egy teljesen feltöltött esetet vizsgálva. Így a hibrid rendszerekkel bíró autóknál a belsőégésű motor nem fog bekapcsolni, ami azt jelenti, hogy szinte minden esetben zéró emisszió mellett autózhatunk.

3. HIBRID- ÉS ELEKTROMOS JÁRMŰVEK ÉS FOTOVOLTAIKUS RENDSZEREK

Alapvetően kétféle rendszerről beszélhetünk, amiben elektromos hajtásrendszer jelenik meg, a teljesen elektromos hajtáslánccal (EV) és a hibrid hajtáslánccal (HEV). Jelen tanulmányban nem teszünk különbséget a plug-in hibrid rendszer és a hagyományos hibrid rendszer között. Amivel ezek még kiegészülhetnek, az a napelem rendszer, de ez sajnos csak nagyon alacsony számban található meg a kínálati palettán, csakis a Toyota Priusnál volt elérhető.

3.1. Tisztán elektromos járművek előnyei

A karbantartás összege lényegesen kisebb a hagyományos járművekhez képest, mivel sokkal kevesebb meghibásodásra alkalmas alkatrészrel rendelkeznek, ezáltal egyszerűbb és költséghatékonyabb lehet a villanyautó karbantartása. A költségek csökkentéséhez és a hatékonyság növeléséhez hozzátartozik az is, hogy a tisztán elektromos autóknál sokkal kevesebb helyzetben szükséges a mechanikus súrlódó féket igénybe venni, mivel ezek a járművek képesek a regeneratív fékezésre is, amely nagy fékerőt képes kifejteni, ugyanakkor fékezéskor az akkumulátorba tölti vissza az így visszanyert energiát. Ennek a folyamatnak a lényege, hogy a meghajtást biztosító elektromotor fékezéskor generátor üzemmódba kapcsol át, így válik lehetségessé az energia visszatáplálása, amely során akár 15 %-os hatótáv növekedés is elérhető. A regeneratív fékezés továbbá a levegő tisztább tartásához is hozzájárul, hiszen a járművek a közlekedés során nem csak a kipufogón keresztül bocsátanak ki károsanyagokat, hanem minden fékezés során fékpor is kerül a levegőbe a fékbetétek és a tárcsák súrlódása révén. Ennek a szennyezésnek a mértékét ezáltal csökkenteni lehet, továbbá a minél hatékonyabb energia visszanyeréssel kisebb akkumulátorra van szükség, így a jármű súlya is csökkenthető, ezáltal nemcsak a gumikopásból eredő károsanyag kibocsátás is csökken, de a zajterhelés is.

3.2 Tisztán elektromos járművek hátrányai

Az tisztán elektromos járművek legnagyobb hátránya a hagyományos belsőégésű motorral szerelt autókkal szemben a lassú töltési sebességük. Míg egy benzinkúton az üres tankot körülbelül 5 percre telik teljesen feltölteni, a villanyautók akkumulátorának töltése sokkal több időt vesz igénybe. Továbbá a töltési sebesség az autó, illetve a töltőállomás töltési képességétől is függ (1. táblázat). Ezen felül az akkumulátor kapacitása is lényeges szempont.

Model	Akkumulátor kapacitás	Megtehető hatótávolság	0%-ról 100%-ra való töltési idő				
			3,7 kW lassú	7 kW lassú	22 kW gyors	43-50 kW gyors	150 kW szuper gyors
Nissan Leaf (2018)	40 kWh	143 mérföld	11 óra	6 óra	6 óra	1 óra	-
Tesla Model S (2019)	75 kWh	238 mérföld	21 óra	11 óra	5 óra	2 óra	<1 óra
Mitsubishi Outlander PHEV (2018)	13,8 kWh	24 mérföld	4 óra	4 óra	4 óra	40 perc	-

1. táblázat Töltési sebességek különböző kapacitású elektromos járművek esetén [5]

A töltési sebesség mellett a másik nagy hátrányuk a tisztán elektromos járműveknek, hogy egy teljesen feltöltött akkumulátorral megtehető távolság lényegesen elmarad (maximálisan 500-600 km) a hagyományos autók képességeihez mérten (700-1000 km). Ebből kifolyólag a használatuk javarészt a városra és annak vonzáskörzetére korlátozódik. [5]

A megtehető távolság és a töltési sebesség lassúsága mellett az elektromos töltőhálózat kiépítettsége is nagy gondot jelent, bár az elmúlt 10 évben az elektromos autók számával együtt a töltőhálózatok mennyisége is nagymértékű javulást mutat. Az eladási ár is magasabb a hasonló kategóriájú, pusztán belsőégésű motorral szerelt változatokhoz képest.

4. NAPELEM

Az elektromos áram létfontosságú szerepet tölt be a mai társadalomban. Ezen energia előállítására számos lehetőség jött létre az elmúlt évszázadok során (pl. szénérőművek, atomerőművek stb.) Azonban a fenntartható fejlődés érdekében nélkülözhetetlenné vált a megújuló energiák alkalmazása áramtermelés céljából, hiszen a környezet számára rendkívül megterhelő a nem megújuló pl. szénérőművek, alkalmazása. Habár a fenntartható elektromos áram termelés még nem teljesen megoldott, de már számos fajtája létezik (pl. szélérőművek, vízerőművek, napelem farmok, árapályerőművek stb.). Ezek közül az egyik legkisebb környezeti terhelést a napelemek jelentik, hiszen ezek felhelyezhetők épületek, járművek tetejére is, amelyek ezáltal nem zavarják az élővilágot, mint például a szél- vagy vízerőművek. [6]

A napelemek fő alkotórészét adó PV-cellákat alapvetően négy fő csoportra lehet felosztani, a kristályoknak 2 fajtája létezik, a monokristályos és polikristályos. Emellett vannak vékonyréteg- és hibridcellák is. [7]

4.1. Vékonyfilm napelemek

A vékonyfilm napelemek már második generációs napelemeknek számítanak (az első generációt a mono-, illetve polikristályos napelemek alkotják). Gyártásuk során egy vagy több egymást követő fázisban vékony filmréteget gözölnek fel valamilyen hordozóra (például: fém, üveg műanyag stb.). [7]

Az egyik legnagyobb előnyük is ennek a gyártásnak köszönhető, mivel így ezek a vékonyréteg-cellák rugalmasak, a tömegük rendkívül alacsony, emellett nagyon olcsó őket előállítani. Továbbá jó teljesítményt tudnak nyújtani közvetett napfény, illetve magas hőmérséklet mellett is. A jellemző hatékonyságuk 6-12 % közé tehető, amely eltöprel a kristályos napelemekhez képest (20 %). Azonban a széleskörű elterjedésüket az hátráltatja, hogy bizonyos vékonyréteg-anyagok az idő előrehaladtával akár 15-35%-os hatásfok romlást is elszenvedhetnek a kezdeti értékhez képest. [7]

4.2 Monokristályos napelem

A monokristályos szilícium létrehozásához a Czochralski-módszert alkalmazzák, amely során egy úgynevezett magkristályt helyeznek egy olvadt tiszta szilíciumot tartalmazó kádba magas hőmérséklet mellett. A mag ezt követően felszívódik, és a helyén kialakul a kristály az olvadékból. [8]

Így egy nagyobb henger alakú kristály fog kialakulni, amelyet álnégyzetes oszlopformára vágnak. Ezzel a módszerrel lehet a legjobban minimalizálni a feldolgozott egykristályos szilícium hulladékot. Később felszeletelik ezt a kristályt vékony szeletekre, amelyek a cellák alapját fogják képezni. [7]

Az egyik legnagyobb előnye a monokristályos napelemeknek, hogy jelenleg is az egyik legjobb hatásfokkal bírnak a napelemek közül, amellett, hogy rendkívül sokáig tudnak megfelelő hatékonysággal működni (akár 30 év is). Az átlagos hatásfokuk a 18-20 %-os tartományba esik, azonban laboratóriumi körülmények között akár 25-30%-os hatásfokkal is képesek üzemelni. [7]

4.3 Polikristályos napelem

A monokristályos cellákkal ellentétben a polikristályos, más néven többkristályos cellák kristályszerkezetének eloszlása nem homogén, mivel a napelem cellák szemcsehatárokkal rendelkeznek. A polikristályos napelem gyártása során grafit tégelybe öntenek olvadt halmazállapotban lévő szilíciumot, amelyet ezután a hőmérséklet szabályozásával kikristályosítják. A hűtési folyamat miatt nem csak egy pontból indul ki a kristályosodás, ezáltal alakul ki az úgynevezett polikristály. A monokristályos napelem cellákkal ellentétben a polikristály osztyákat egy négyzetes oszlop alakú rúdból vágják ki, melyek körülbelül 180-350 mikrométer vastagságúak. Ezekből az osztyákból készítik el a komplett cellákat. [7]

A gyártás egyszerűsége miatt olcsóbbak a polikristályos napelemek, mint az egykristályos társaik, azonban a modern napelem gyártás során már nincs olyan lényegesen nagy különbség közöttük, mint 10 évvel ezelőtt. Ezzel szemben a hatékonyságuk viszont lényegesen rosszabb (14-18%) a bennük jelenlevő szemcsehatárok miatt, laboratóriumi körülmények között azonban akár a 20%-os hatásfokra is képesek. Az egyes kristályok nagyon ritkán illeszkednek egymáshoz tökéletesen, így közöttük rések maradnak, amelyek veszteségekhez vezetnek. Ennek ellenére ez az eltérés adja az egyik előnyét a monokristályos napelemmel szemben, mivel így a cellák a szórt fényt jobban tudják hasznosítani, ezáltal képesek felhasználni a nem megfelelő szögben beérkező napsugarakat is. [7]

4.4 Hibrid napelem cellák

A hibrid cellák a napelemek 4. generációjába tartoznak (5. ábra), amelyek lényege, hogy két különböző technológiát ötvöznek egymással. Ha két réteg amorf szilícium közé egykristályos szilíciumot helyezünk, akkor az hibrid napelem cellának fog minősülni. Az így elérhető hatásfok akár 19-% is lehet. A hibrid panelek célja tehát tulajdonképpen a hatásfok növelése, azonban az elterjedésüket nagyban hátráltatja, hogy a technológia rendkívül drágának számít a hagyományos kristályos vagy vékonyfilmes technológiákhoz képest. [7]



4. ábra Negyedik generációs hibrid napelem [9]

hasonlóan a külön erre a célra létrehozott elektromos járművekhez.



5. ábra Neumann János Egyetem Megalux napelemes járműve

5. ELEKTROMOS JÁRMŰ NAPELEMES TÁMOGATÁSA

Az elektromos autók hatékonyságának növelésének egyik lehetséges módja lehet, ha napelemekkel látjuk el a járműveket. Létezik már a villanyautók között olyan, amelynél választható extrafelszerelésként napelemet is lehetett tetetni a jármű tetejére, ilyen például a legújabb 2022-es Toyota Prius Plug-in Hybrid, ez az autó tisztán elektromosan 50 km-es hatótávval rendelkezik. Ezt további 5 kilométerrel képes megnövelni a napelemmel ellátott tető, tehát ebben az esetben képes közvetlenül az autó akkumulátorát is tölteni. [10] Más cégek, például a Lightyear egy tisztán elektromos autót fog készíteni Lightyear One név alatt, amelynél napelemek fogják borítani a teljes tetőt, továbbá a hátulját és a motorháztetőt is. Számításuk szerint a jármű így naponta akár 70 km-es hatótávra is képes lehet a napelemek segítségével, így lehetővé téve, hogy városi használat mellett csak közvetlen a naptól származó energiára legyen szüksége a villanyautónak. Független tesztelésből eredő adatok azonban még nem érhetőek el, mivel a Lightyear One még nem került gyártásba. [11]

5.1 Napelem kiválasztása és elhelyezése a járművön

Napelem járműbe történő építése esetén a leghatékonyabb módszer, ha annak tetején helyezük el az energiatermelő rendszert,

A nagy összefüggő területeken elhelyezett napelemek csökkentik a költségeket és növelik a hatékonyságot. Az egyik leggyakoribb elektromos járműfajta a kisbuszok kategóriája, amely jelentős tetőfelülettel rendelkezik a többi gépkocsihoz képest. Példaként vegyünk egy Mercedes EQV 300 Long típusú autót, aminek a tetőfelülete 3,6 m²-t tesz ki. A korábban ismertetett poli-, monokristályos, vékonyréteg és hibrid napelemek közül szükséges meghatározni, hogy az adott feltételekhez viszonyítva melyik variáns a leginkább alkalmas arra, hogy villanyautókban a napenergiát hasznosítsa. Ehhez egy döntési mátrix (2. táblázat) segítségével értékeltem és súlyoztam az egyes napelemeket az általam legfontosabbnak vélt szempontok és, a már korábban elvégzett irodalomkutatás alapján.

	Hatékonyság		Elérhetőség		Költség		Élettartam		Össz. z.:
	Érték [1-5]	Súly. érték	Érték [1-5]	Súly. érték	Érték [1-5]	Súly. érték	Érték [1-5]	Súly. érték	
Polikristályos napelem	3	15	5	15	4	16	4	16	57
Monokristályos napelem	4	20	5	15	3	12	5	20	67
Vékonyréteg napelem	2	10	5	15	5	20	1	4	49
Hibrid napelem	5	25	1	3	1	4	5	20	52
Súly [1-5]	5		3		4		4		-

2. táblázat Döntési mátrix

A monokristályos napelem 2022-ben az egyik legjobb hatásfokkal rendelkező, széles körben elterjedt és gyártott napelem típus. Ebből kifolyólag számos gyártó van a világon (pl.

Longi Solar, Risen, Sharp stb.), amelyeknek kínálata bizonyos mértékben eltérő. A legmegfelelőbb energiatermelő egység kiválasztása érdekében elsőként szükséges összehasonlítani az egyes termékeket (3. táblázat). A legfontosabb szempontok közé tartozik a hatásfok és az 1 m²-re leosztott teljesítmény, mivel a járműbe történő építés megköveteli, hogy a lehető legjobban teljesítő napelem kerüljön bele, a lehető legjobb kihasználás érdekében. Emellett az ár is jelentős, mivel a modulok legyártása és járműbe integrálása rendkívüli mértékben befolyásolja a gyártási költségeket.

MODUL TÍPUSOK	Tertület [m ²]	Cella szám [db]	Hatásfok [%]	STC [W]	NMOT [W]	Ár [Ft]	STC [W/m ²]	NMOT [W/m ²]
1. Risen RSM40-8-400M mono	1,92	120	21,3	410	310,7	73950	213,54	161,82
2. Jinko Solar N-type	1,91	132	21,22	405	302	83000	212,04	158,12
3. Trina Vertex Mono TSM-DE18M 500W Solar Black	2,41	150	21,2	510	385	76500	211,62	159,75
4. Trina Solar 120 cellás monokristályos napelem	1,92	120	21,1	405	306	78895	210,94	159,38
5. Jinko Tiger 385W All Black mono napelem	1,91	132	20,96	400	298	58100	209,42	156,02
6. Longi Solar 120 cellás monokristályos napelem	1,82	120	20,9	380	283,8	70650	208,79	155,93
7. Phono Solar 120 cellás monokristályos napelem	1,83	120	20,71	380	281	68890	207,65	153,55
8. Risen RSM144-7-450M mono	2,21	144	20,6	455	342,5	86990	205,88	154,98
9. Sharp NU-JD445 mono	2,21	144	20,1	445	333,96	91480	201,36	151,11

3. táblázat Monokristályos napelemek piackutatása

A monokristályos napelemek közül a Risen RSM40-8-400-as típusnak a legjobb a hatásfoka és az 1 m²-re jutó teljesítmény aránya. Ennek ellenére a listában a középen helyet foglaló Jinko Tiger 385W All Black mono napelem ár-érték aránya a legjobb, de a hatásfoka 0,34 %-al gyengébb, míg az 1 m²-re jutó teljesítménye 4-5 Watt-al kevesebb. A tisztán elektromos Mercedes EQV 300 Long napelemes támogatására, ebből kifolyólag a Jinko Tiger 385W All Black mono napelemet tartom a legjobb választásnak, mert sem hatásfokban, sem teljesítményben nem olyan nagy az eltérés a többihez képest, viszont árban magasan a legjobb választás, egy ilyen koncepció megvizsgálásához.

6. A BEÉPÍTETT NAPELEM ENERGIA TERMELÉSE

Az elektromos autónk szabadon felhasználható tető felülete 3,6 m², a számításához feltételezem, hogy ezt a helyet maximálisan kihasználjuk, tehát teljes mértékben lefedjük a kiválasztott monokristályos napelemmel. Az egy év alatt az elektromos járművünkbe integrált napelem által megtermelhető energia-mennyiség azonban sok tényezőtől függ. Az első, hogy a napelem erőművekhez, vagy a háztetőkön lévő napelemekhez képest a cella a kisbuszon kizárólag 0°-os szögben helyezkedik el, tehát nincs megfelelő szögben megdöntve, illetve nem néz ideálisan déli irányba. A napelemek számára a legtökéletesebb beállítás a teljesen déli tájolás, és emellett 34°-os szögben meg is kell dönteni azokat, ekkor tudják csak 100%-ban kihasználni a kapacitásukat, ettől eltérve a hatásfok romlik. Jelen esetben 0°-os tetőszög beállítással a napelem 83,5%-os hatást tud elérni az ideálishoz képest (4. táblázat), ezáltal a hatásfok is kevesebb lesz. Így a napelemmel ellátott jármű hatásfoka 17,5% (1).

Tetőszög	Tájolás						
	Északnyugat 135°	Nyugat 90°	Délnyugat 45°	Dél 0°	Délkelet - 45°	Kelet - 90°	Északkelet -135°
0°	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5	83,5
15°	73,6	83,5	90,2	93,7	90,8	83	74,3
30°	64	79,4	93,3	99,3	94,5	81,2	65,4
34°	61,7	78,4	93,5	100	94,8	80,4	63,1
45°	55,6	75,1	92,5	99,9	94,1	77,3	56,9
60°	47,4	68,7	87,5	95,7	89,4	70,7	48,3
90°	30,3	49,6	66,1	72,6	87,8	50,5	30,7

4. táblázat Napelemek hatásfokának változása a tetőszög és a tájolás függvényében [12]

$$\eta = \frac{\eta_{\text{napelem}} \cdot \eta_{0^\circ}}{100} = \frac{20,96\% \cdot 83,5\%}{100} = 17,5\% \quad (1)$$

6.1 Átlagosan besugárzott napenergia mennyisége Magyarországon

A következő fontos tényezők közé tartozik a hely (domborzat, kontinens, éghajlat/időjárás) és az idő (évszak, hónap) is, ahol és amikor a jármű használatban van. Ezek még olyan kis országban is, mint Magyarország, jelentős eltéréseket produkálhatnak, mivel az egyes területek közötti éves besugárzott kWh/m² mértéke, több mint 100 kWh/m²-el is eltérhet, ilyen például

különbség Sopron (1220 kWh/m²) és Szeged (kWh/m²) között. A napsütéses órák száma évszaktól, időjárástól is függ. Magyarországon a meteorológiai szolgálat ezeket az adatokat mindig rögzíti, ezáltal ezek az adatok elérhetőek. Megközelítőleg évente a havi napsütéses órákat összeadva 2000 óra napsütés éri Magyarországot, és a havi napsütés intenzitásával kiszámítható a havi besugárzás nagysága. Az egyes hónapokban történő napsugárzásos órák és a napsütés erősségének szorzata megadja a havi besugárzás mértékét, azonban ez az érték meghaladhatja az éves szinten mért értéket (1325-1220 kWh/m²), ezért figyelembe kell venni az időjárást is, vagyis, hogy milyen mértékben felhős az égbolt, mert ez is jelentős mértékben befolyásolja a földre jutó besugárzás mértékét. Ennek az ismeretnek a birtokában meghatározható egy közelítő tényező, amellyel beszorozva a kiszámított értékeket, megkaphatjuk a valósághoz közeli adatokat. Az éves besugárzást a rendelkezésemre álló mérés alapján, és annak átlag értékével számoltam (2).

$$E_{\text{mért átlag}} = \frac{1220 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} + 1325 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{2} = 1275,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

A rendelkezésemre álló adatokból számolt besugárzás összege viszont $E_{\text{számolt}} = 2423,43 \text{ kWh/m}^2$. Az eltérésből kiszámítható a felhők által befolyásolt tényező (3), amellyel pontosan meghatározható lesz az elektromos kisbusz által termelt éves elektromos áram mennyisége.

$$\eta_{\text{felhő}} = \frac{E_{\text{mért átl}}}{E_{\text{számolt}}} = \frac{1275,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{2423,43 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 0,525 \quad (3)$$

A buszon lévő napelemek éves teljesítménye tehát következőképpen alakul: (4)

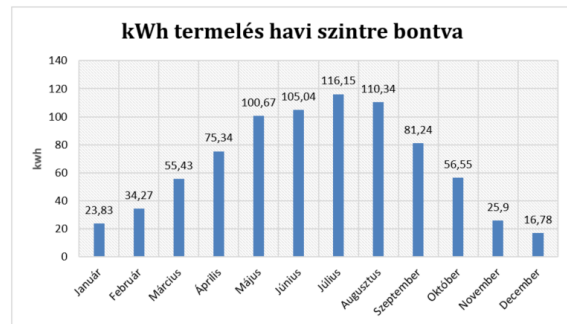
$$W_{\text{napelem}} = A \cdot E_{\text{számolt}} \cdot \eta \cdot \eta_{\text{felhő}} = 3,6 \text{ m}^2 \cdot 2423,46 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,175 \cdot 0,525 = 801,55 \text{ kWh} \quad (4)$$

Ezek szerint a járművünkbe integrált 3,6 m² felülettel rendelkező monokristályos Jinko Triger napelem éves szinten 801,55 kWh energia termelésére lehet képes Magyarország területén. A havi szinten megtermelhető energia viszont nagymértékben változik, ennek meghatározására az alábbi számítási metódust használtam (5), amelyben a napsugárzás intenzitása (IT) és a napsütéses órák száma ($n_{\text{napos_órák}}$), ezek

folyamatosan változó értékek, valamint a napelem felülete (A), a napelem hatásfoka (η) és a számolt időjárási tényező ($\eta_{\text{felhő}}$) szerepelnek.

$$W_{\text{havi}} = IT \cdot n_{\text{napos_órák}} \cdot \eta_{\text{felhő}} \cdot \eta \cdot A \quad (5)$$

Grafikonon megjelenítve, havi bontásban a következőképpen néz ki a havi teljesítménye a fent említett napelem rendszernek.



6. ábra Napelem rendszer havi teljesítmény

7. A NAPELEMEK ÁLTAL TERMELT ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

A megtermelt elektromos energiát többféle módon is fel lehet használni, például az akkumulátorok töltésére, vagy jármű elektromos berendezéseinek működtetésére, valamint akár a hálózatba történő visszatáplálásra is.

7.1 Akkumulátorok töltése

Mercedes EQV 300 Long egy 100 kWh-ás akkumulátorral van felszerelve, amelynek a nettó kihasználható mennyisége 90 kWh. [13] Pusztán a beépített napelemmel való töltés nyáron naponta átlagosan 3,6 kWh-val tudja ellátni a járművet, amely a teljes mennyiség 4%-a. Ebből kifolyólag hetente az akkumulátor körülbelül 30%-át képes feltölteni a monokristályos napelem. A jármű tehát képes arra, hogyha egy hónapig nem használják, akkor is 100%-ra legyen feltöltve, habár ezek az értékek a legrosszabb besugárzással rendelkező évszakban drasztikusan lecsökkennek. Télen naponta átlagosan csak 0,48 kWh villamos energia termelésére képes a jármű, amely csupán 0,5%-os töltöttségi szintet jelent. Tehát évszaktól függően az akkumulátor töltésére fordított energia akár 12,5% is lehet az ideális

értékhez képest. Ebből következik, hogy bár a napelem a villamos energiát megtermeli, azonban nem feltétlenül járul hozzá jelentős mértékben a töltöttségi szint növekedéséhez. Nyáron és tavasszal azonban viszonylag magas határfokkal tud üzemelni, ezáltal számottevően növelheti a jármű „zöldebb” használatát. Éves szinten 8,9-szer (6) lenne képes feltölteni egy nettó 90 kWh-ás akkumulátort a járműbe integrált napelem.

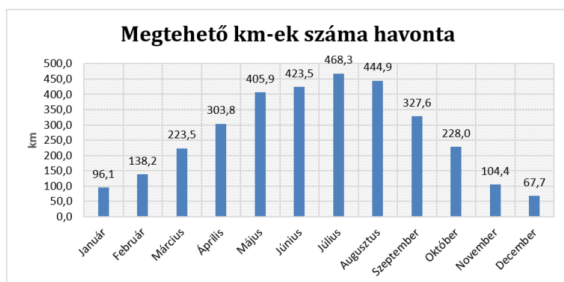
$$n = \frac{W_{\text{napelem}}}{W_{\text{akkumulátor}}} = \frac{801,55 \text{ kWh}}{90 \text{ kWh}} = 8,9 \quad (6)$$

Hatótávot tekintve a jármű a WLTP gépjárművek üzemanyag fogyasztására és károsanyag kibocsátására hozott szabvány szerinti fogyasztása 248 Wh/km. [13]

Az előző bekezdésekben már bemutattam, hogy mekkora a napelem rendszer által termelt energia nagysága, így nagyon egyszerűen kiszámítható, hogy a jármű mekkora utat képes megtenni csakis napenergia segítségével (7).

$$S_{\text{megtehető}} [\text{km}] = \frac{W_{\text{napelem}}}{L_{\text{jármű fogy.}}} = \frac{801,55 \frac{\text{kWh}}{\text{év}}}{0,248 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}} = 3232 \frac{\text{km}}{\text{év}} \quad (7)$$

Havi szintre lebontva az alábbi megtehető plusz kilométerek lehetségesek (7. ábra). A kiértékelés alapján, havi szinten jelentős hatótáv növekedés érhető el a napelemes kisbusz tekintetében, főként a naposabb hónapokban.



7. ábra Havi szinten megtehető út hossza a napelem által termelt energiából

Ha visszatekintünk a bevezetőben taglalt átlagos járműhasználatra, akkor azt láthatjuk, hogy a járműhasználók átlagosan 20 km-et használják az autójukat hétköznaponként. Ez körülbelül 100 km-t jelent heti szinten, így a fenti táblázatból azt láthatjuk, hogy a legrosszabb téli hónapokban ugyan nem sikerül ezt a nagyságú energiát megtermelni, viszont a nyáron akár egész hónapban használhatjuk az autónkat napenergiából. Így a napsütéses hónapokban az autónkat zöld energiával használva nem

terheljük oly mértékben a környezetünket, és a villamos hálózatot.

7.2 A jármű elektromos berendezéseinek működtetése

Egy jármű elektromos berendezéseinek fogyasztása nagymértékben eltér egymástól. A legnagyobb fogyasztók a fűtés és a légkondicionáló berendezés, ezzel szemben a rádió vagy a világítás elenyésző mértékű fogyasztással bír. Az összes lényegesebb fogyasztót tekintve, ha mind be van éppen kapcsolva, akkor átlagosan 4 kWh többletfogyasztást jelentenek, mivel a fűtés és a légkondicionáló használata egyszerre indokolatlan és kivitelezhetetlen. [14]

Az alábbi táblázatban (5. táblázat) részletezem a fogyasztást és azt, hogy éves szinten megtermelt energiából mennyi időt használhatjuk a járműnkben az adott berendezéseket. Azt láthatjuk, hogy a fűtés és a klíma rendszer üzemeltetése sok energiába kerül, de azokat is viszonylag hosszú ideig tudjuk használni a járműnkben. [14]

Fogyasztó	Fogyasztás [kWh]	Évente megtermelt energiából való üzemeltetés [óra]
Fűtés	2	400,78
Klíma	2,43	329,86
Első szélvédő fűtés	0,8	1001,94
Szellőztetés középállásban	0,17	4715
Tompított fényszórók	0,125	6412,4
Távolsági fényszórók	0,120	6679,5
Ködlámpa	0,11	7286,82
Ülésfűtés	0,1	8015,5
USB-töltő	0,1	8015,5
Kormányfűtés	0,05	16031
Fűtött külső tükrök	0,04	20038,7
Rádió	0,02	40077,5
Külső navigációs készülék	0,01	80155

5. táblázat A járműben található fogyasztók használhatósága az éves energiatermelés függvényében

Ami feltűnik a fenti listában, hogy a világítás és akár egy navigációs készülék használata meglehetősen kevés energiába kerül, természetesen a minél nagyobb kijelző használata hatványozottan növeli a fogyasztást. Amit fontos megemlíteni a vezetéstartogató rendszerek (radarok, kamerák) szintén rendelkeznek energiaigénnyel, de ezek használata is a tompított fényszóró szintjén mozognak. Itt jegyezni meg, a világító berendezések LED-es megoldása 15-ször kevesebbet fogyaszt, mint a halogén megoldás. A két legnagyobb fogyasztót persze nem használjuk folyamatosan, de így is közel fél hónap az, amikor ezek működését napenergia tudja biztosítani. A többi fogyasztó tekintetében viszont nagyon hosszasan működés érhető el, akár egész évben. Ha ezeket a fogyasztókat napelemtől működtetjük, akkor már sokat tudunk nyerni a hatótávon, mert nem kell a nagyfeszültségű akkumulátorok energiáját ezeknek a működésére használni.

7.3 A megtermelt napenergia villamos hálózatba történő táplálása

Az elektromos autók egyik nagy előnye, hogy akár az otthonunkban is lehet őket tölteni. Azonban ha az akkumulátor teljesen fel van töltve, akkor a beépített napelemeket le kell kapcsolni, vagy egyszerűen a megtermelt villamos energiát el kell disszipálni. Ennek egyik kiküszöbölési lehetősége lehetne, ha képes lenne a jármű a házak tetején lévő napelemekhez hasonlóan az elektromos hálózatba visszatáplálni az energiát. Egy átlagos családi ház villamosenergia fogyasztása egy hónapban 230 kWh. [15]

Ha csak arra használnánk a napelemes elektromos autót, hogy a háztartásba becsatlakozva energiát termeljen, abban az esetben havi szinten átlagosan 66,8 kWh-t állítana elő, amely a teljes fogyasztásnak közel 29 %-át váltaná ki. Emlékezzünk vissza, a napelemekkel foglalkozó fejezetben bemutattam a megfelelő beépítését, ami a járműben nem ideális szögben helyezkedik el, de a tetőn ez módosítható az optimális beesési szög elérése érdekében. Ezért lehetséges csak ekkora mértékű rásegítés a hálózatra.

ÖSSZEGZÉS

A környezetvédelem és a hagyományos tüzelőanyagok krízise determinálja az alternatív hajtások térnyerését, és az elektromos energia is előállítható zöld energiaként, amire a járműiparban is törekedni kell. Emellett az akkumulátorok nehezebb előállítása is további fejlesztések felé ösztönzi a gyártókat. Ezen kívül a soron következő környezetvédelmi előírás kisebb súlyú járművek építésére fogja szorítani a gyártókat, mivel az üzemi fék- és gumikopásból eredő károsanyag kibocsátás mértéke is szabályozva lesz. Ez a kisebb és könnyebb akkumulátorok beépítését hozza magával, ami azonban a hatótáv rovására mehet, és ezt a gyártók nem engedhetik meg maguknak. Át kell gondolni, milyen egyéb megoldások lehetnek, és erre egy lehetséges válasz a napelem. Természetesen a teljesítmény nagyban függ a napelem méretétől és a napsugárzástól. Ebben a tanulmányban bemutattam a napelem működését, egy lehetséges kialakítást, és annak elméleti eredményeit. Ez a tanulmány akár egy stratégiai döntés alapja lehet, hogy fizikálisan is megépítésre kerüljön egy ilyen rendszer, és megtörténhessen a validáció. Amivel nem számoltam, mert ezt elég nehéz a megépítés nélkül meghatározni, az a napelemek járműbe integrálása, és a fejlesztéshez szükséges költségek. Ennek ellenére mindenképp szükséges egy olyan alternatív móddal fejleszteni, amivel úgy támogatható az energiamenedzsment, hogy az a rendelkezésre álló energiát úgy optimalizálja, hogy a hatótáv ne csökkenjen. Ezt a járműnek oly módon kell megoldania, hogy közben a környezetet se terhelje. Ezt az elméletet tovább fogom fejleszteni szimulációval, és az így kapott eredményekre alapozva, források bevonásával tervezem megépíteni a prototípust. Azt gondolom ez az elmélet használható, és piacképes.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] IEA, „IEA: Global EV Data Explorer,” [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2022>. [Hozzáférés dátuma: 01 06 2022].

- [2] G. Hebermehl, „Volle Konzentration auf Elektroantrieb,” *Auto-motor und sport*, 19 09 2019.
- [3] Enerdata, „Electricity domestic consumption,” [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumptiondata.html>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].
- [4] P. K. Guzey, F. Davide, M. Angelo, S. Gabriella, A. Andrea, Z. Alyona és T. Christian, „Driving and parking patterns of European car drivers – a mobility survey,” *JRC Publications Repository*, 2012.
- [5] p. point, „pod point,” [Online]. Available: <https://pod-point.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car#>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].
- [6] V. K. Tóth Anett, „NAPELEM MÚLTJA, JELENE ÉS JÖVŐJE,” *Multidiszciplináris tudományok*, %1. kötet9, %1. szám4, pp. 221-228, 2019.
- [7] B. I. Lipták Róbert, „2020.4.49NAPELEMES VILLAMOSENERGIA-TERMELŐ RENDSZEREK Lipták,” *Multidiszciplináris tudományok*, %1. kötet10, %1. szám4, pp. 434-443, 2020.
- [8] A. Lavaa, „Linqip Technews,” 19 01 2021. [Online]. Available: <https://www.linqip.com/blog/what-is-a-monocrystalline-solar-panel/>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].
- [9] „New 4G Solar Cells Combine Inorganic and Organic Materials to Boost Efficiency,” *The Green Optimistic*, 30 07 013. [Online]. Available: <https://www.greenoptimistic.com/new-4g-solar-cells-combine-inorganic-and-organic-materials-to-boost-efficiency-20130730/>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].
- [10] Toyota, „Toyota.hu,” Toyota Magyarország, [Online]. Available: <https://www.toyota.hu/modellek>. [Hozzáférés dátuma: 12 05 2022].
- [11] „Lightyear,” Lightyear, [Online]. Available: <https://lightyear.one/>. [Hozzáférés dátuma: 11 04 2022].
- [12] „Green Match,” Green Match, [Online]. Available: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels>. [Hozzáférés dátuma: 11 05 2022].
- [13] „Electric Vehicle Database,” 2022. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1240/Mercedes-EQV-300-Long>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].
- [14] „ADAC,” ADAC, [Online]. Available: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/ausstattung/sitzheizung-verbrauch/>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].
- [15] „Profitline,” Profitline, 22 11 2019. [Online]. Available: <https://profitline.hu/Mennyi-villamos-aramot-fogyaszt-egy-haztartas-egy-honapban-es-az-a-kWh-energia-mennyibe-kerul-400446>. [Hozzáférés dátuma: 15 03 2022].
- [16] „Electric Vehicle Database,” Electric Vehicle Database, [Online]. Available: <https://ev-database.org/cheatsheet/range-electric-car>. [Hozzáférés dátuma: 10 06 2022].