

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Hibrid vagy elektromos hajtáslánc lehetséges alkalmazása harcjárművekben

**OE-BGK
2022.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Balla Levente Benedek
T009028/FI12904/B**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

SAKADOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Balla Levente Benedek
Szakdolgozat száma: SZD22040511562827
Törzskönyvi száma: T009028/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki
Specializáció: gépészmérnöki - harcjármű-technikai

A dolgozat címe: Hibrid vagy elektromos hajtáslánc lehetséges alkalmazása harcjárművekben

A dolgozat címe angolul: Possible application of hybrid or electric power transmission in combat vehicles

A feladat részletezése:

1. Foglalja össze a harcjárművek hagyományos hőerőgépen alapuló hajtásláncainak felépítését, főbb jellemzőit, sajátosságait!
2. Ismertesse a hibrid hajtásláncok felépítését, főbb jellemzőit, vizsgálja meg azok harcjárművekben történő alkalmazásának lehetőségeit!
3. Ismertesse az elektromos hajtásláncok felépítését, főbb jellemzőit, vizsgálja meg azok harcjárművekben történő alkalmazásának lehetőségeit!
4. Vesse össze a különféle hajtásláncok alkalmazásának jellemzőit, különös tekintettel a várható járműipari fejlesztési irányokra és értékelje az eredményeket!

Intézményi konzulens neve: Dr. Farkas Gabriella

Külső konzulens neve: Végvári Zsolt alezredes
Munkahelye: Nemzeti Közszoigálati Egyetem HHK

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 27.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022.12.15.

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	6
2. A hibrid és elektromos hajtásláncok általános jellemzői.....	10
2.1 Az alternatív hajtások bemutatása	11
2.1.1 Mild-hibrid.....	11
2.1.2 Full-hibrid	12
2.1.3 Plug-in (konnektoros) hibrid.....	15
2.1.4 Range Extender (hatótáv növelt) elektromos autó.....	16
2.1.5 Fuel Cell (üzemanyagcellás) autó.....	17
2.1.6 Tisztán elektromos autó	17
2.2 Alternatív hajtások fejlesztési eljárásai.....	18
3. Hibrid és elektromos hajtásláncok lehetséges alkalmazása harcjárművekben	22
3.1 Hagyományos hőerőgépen alapuló harcjármű hajtáslánc felépítése	22
3.2 Hibrid hajtásláncok általános jellemzői harcjárművekben	26
3.2.1 Menetdinamika	26
3.2.1 Állóhelyzeti áramellátás	26
3.2.2 Üzemeltetés költsége	27
3.2.3 Csendesüzem	27
3.2.5 Járműfelépítés és tervezés.....	28
3.2.6 Elektromotorok, teljesítményelektronika és energiatárolók	29
3.3 Hibrid hajtások típusai	31
3.3.1 Soros hibrid hajtásláncok.....	32
3.3.2 Párhuzamos hibrid hajtásláncok	36
3.3.3 Soros Párhuzamos hibrid hajtásláncok	39
3.4 Elektromos hajtásláncok harcjárművekben	40
3.4.1 Elektromos hajtásláncok felépítése személyautókban.....	42
3.4.2 Elektromos hajtások előnyei harcjárművekben	45
3.4.3 Elektromos hajtások hátrányai harcjárművekben	46

3.5 Hagyományos és alternatív hajtásláncok összehasonlítása	47
4. Összefoglalás	53
5. Summary.....	54
6. Irodalomjegyzék	55

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap a hadviselés terén a korszerű technológiák alkalmazása. A korszerű reguláris haderők általában már nem tömeghadseregek, hanem azokat professzionális katonák alkotják, akik a kisebb létszám miatt technikai fölényrel tudják elérni a hatékonyabb működést.

Mindig is megvolt a katonák részéről az igény egy olyan eszközre, amely képes a harctéren mozogni, képes tüztámogatást nyújtani, illetve védelmet tud biztosítani a kezelő személyzetnek.

A XX. század elejére lett annyira fejlett a technika, hogy ezeket az eszközöket létre tudták hozni. Az első ilyen eszközök a páncélautók voltak. Ezek tulajdonképpen tehergépjárművek voltak, amelyekre páncéllemezeket erősítettek és géppuskát szereltek. A páncélautó nem kimondottan katonai fejlesztés volt, csupán egy civil technikai újdonságnak a katonai implementációja. Az első világháború előtt főként karhatalmi célokra használták őket, de előfordult a hadi alkalmazás is.

Kizárólag közutak mentén tudtak közlekedni, mivel a korabeli elégtelen motorok és a páncélzattal járó nagy tömeg miatt nem voltak alkalmasak a terepen való közlekedésre. Az első világháború álló csatáiban fogalmazódott meg az igény egy olyan eszközre, amely a páncélvédettséget terepen is képes biztosítani a kezelő személyzet számára.

Az első harckocsit, saját nevén Mark I-et 1916-ban a somme-i csatában vetette be Anglia. Lényege a szárazföldi hadviselés hatékonyságának növelése volt, gondolva a harctéren megjelenő akadályokra, mint például a lövészárkok vagy a drótkerítések. A bevetés taktikai sikernek számított, rémületet keltett az ellenoldali katonák soraiban. Azonban akkoriban nem volt kiforrva a harckocsik alkalmazási rendje, nem társult hozzájuk támogató gyalogság, így a bevetett harckocsikat jórészt még aznap el is veszítették. [1]

Anglia a későbbiekben kidolgozta a doktrínát a harckocsik alkalmazási rendjéről, amely elősegítette a páncélos egységek hatékony használatát. Ezt követően a két világháború között minden haderő alkalmazásba vette a harckocsit és azok igen jelentős fejlődésen mentek keresztül.

Kialakult a terepen való használathoz szükséges futómű szerkezet. A harckocsikat láncfalppal szerelték fel, amely lánc tagjai csapszegekkel voltak összekötve egymással.

A csuklópontok nem rendelkeztek por elleni védelemmel a talajjal való érintkezés során, így azok elhasználódása esetén az egész tagot, illetve a tagokat összekapcsoló csapszegeket is cserélni kellett.

A szovjet (T-34, T-54) harckocsik csapszegei egyoldalúak és rögzítés nélküliek voltak, így egy könnyen gyártható és igénytelen lánc kapcsolat biztosította a könnyű szerelhetőséget.

Benzinmotor helyett először szintén a T-34 harckocsiban kezdtek el dízel motort alkalmazni, mivel kedvezőbb nyomatékkal és hatásfokkal bírt. A dízel motor egy esetleges találat esetén kevésbé volt hajlamos a kigyulladásra, mint korábbi benzinmotoros társai, továbbá a dízel üzemnek köszönhetően a harckocsi hatótávolsága is nagymértékben megnövekedett. [2]

Eleinte a harckocsi páncélzatok a már meglévő technológiák alkalmazása okán összeszegecselt fém lapokból álltak, amelyek jelentős kockázatot jelentettek. Találat esetén ugyanis a szegecs repeszként viselkedtek a küzdőtérben, megsebesítve ezzel a személyzetet. A későbbiekben a szegecselés helyett hegesztett majd öntött páncélzatokat kezdtek használni, amelyek már nem rendelkeztek az elődre jellemző repesz hatással. Ezek homogénebb, jóval megbízhatóbb páncélok voltak. [3]

A második világháború vége fele a harckocsi fegyverzete is véglegessé vált. A korábbi több ágyús modellek helyett egy forgatható toronyban elhelyezett és 360 fokban körbe forgatható harckocsi ágyú lett a fő fegyverzet.

A második világháború során majd azt követően a páncél és fegyverzet fejlesztésének eredményeként nagy mértékben nőtt a harckocsik tömege, mérete és tűzereje. Az ezekkel járó súlytöbblet indokoltá tette az erőforrások fejlesztését is.

A nyolcvanas években az Amerikai Egyesült Államokban a dízelmotort gázturbinával próbálták meg kiváltani, de annak nehézkes indítása, jelentős fogyasztása és zajhatása miatt nem mondható egyértelműen sikeres fejlesztésnek. A gázturbina első beépítésére az M1 Abrams harckocsiban került sor.

Ezt követően a konvencionális fejlesztési irányokban jelentős áttörések már nincsenek. A passzív páncélzatot manapság csak annak vastagításával lehetne fejleszteni, ami súlytöbbletet okozna és megnehezítené vagy esetenként teljesen ellehetetlenítené a harcjárművek légi szállítását, illetve hidakon vagy városokban való alkalmazását.

A tűzerő növelése már csak az ágyú űrméretének növelésével lehetséges, korszerűsíteni ezen a technikán már nem lehet.

A harckocsi minden esetben lánc talpas futóművel rendelkezik, melynek rugózása az első és hátsó futógörgőinél kisebb, középen pedig nagyobb erősségű. Felfüggesztés szempontjából a rugózó elemek hidraulikus, pneumatikus, vagy hidropneumatikus módon működhetnek. [4]

Általában 3-4-5 fős kezelőszemélyzetet igényelnek, és a bolygó műves sebességváltónak köszönhetően fokozatváltás közbeni hajtással is rendelkeznek a korszerű harcjárművek. [5]

A belsőégésű motorokkal ellátott harcjárművek fejlesztésében kevés potenciál maradt, mert a belsőégésű motorok hatásfokát érdemben már nem lehet javítani. Teljesítmény és fogyasztás terén a továbbfejlesztések nagyon összetetté teszik a szerkezetet, amely a megbízhatóságot jelentős mértékben rontja.

A fejlődés érdekében megfontolásra érdemes, hogy alternatív hajtásláncokat építsünk harcjárműveinkbe, amelyek több területen is jelentős előrelépést jelentenének belsőégésű elődjekhez képest. A harcjárművekben a hibrid és elektromos hajtásláncok szerény múltja tekintenek vissza, ezért szakdolgozatom erről szóló publikus könyv hiányában elsődlegesen a civil technika adaptációjára épül.

Bemutatom, hogyan, és milyen mértékben fejleszthetők a szárazföldi harcjárművek az alternatív hajtási technológiák alkalmazásával.

Az elektromos és hibrid hajtásokat globális megközelítésben mutatom be, kezdve a személyautóknál kifejlesztett technológiától a harcjárműveknél alkalmazandó megoldásokig.

Szakedolgozatom elsődleges célja, hogy koncepcionálisan bemutassam az alternatív hajtási technológiákat, kiegészítve a harcászatra gyakorolt pozitív és esetenként negatív hatásaival.

2. A hibrid és elektromos hajtásláncok általános jellemzői

A hibrid hajtás valójában nem a XX. század találmánya, mint ahogy azt sokan hiszik. A történelem során számos próbálkozás előzte meg az elektromos hajtások személygépjárművekbe való integrálását. Az 1. ábrán látható az 1989-ben megjelent Armstrong Phaeton névre keresztelt első hibrid autó. Erőforrása egy 6,5 literes kéthengeres dízelmotor volt, amit egy akkumulátorról üzemelő dinamóval összekapcsolt lendkerék egészített ki. Az akkumulátort a dinamó és a visszanyert fékezési energia (másnéven regeneratív fékezés) töltötte. Az akkumulátor biztosította a motor indítását és a fényszórók működését is. Az ikonikus járművet 2016 márciusában bocsátották árverésre. Közel 200 millió forintért kelt el, mivel mindössze egyetlen darab készült belőle. Ha akkoriban a hibrid technológiára nagyobb figyelmet fordítottak volna, talán ma egészen más úton járna az autóipar.



1. ábra: Armstrong Phaeton, az első hibrid autó [6]

Hivatalosan a Toyota Prius volt a legelső hibrid szériautó, amelyet 1997-ben mutattak be. Ugyanakkor ahhoz, hogy beszélhessünk a harcjárművek alternatív hajtáslánccal való felszereléséről, elengedhetetlennek tartom, hogy áttekintsem és jellemezzem a különböző alternatív hajtás típusokat.

2.1 Az alternatív hajtások bemutatása

Az alternatív hajtások bemutatásához mindenekelőtt tisztáznunk kell a hibrid és az elektromos autók fogalmát. Azokat az autókat nevezzük hibrideknek, amelyek hajtásláncában villanymotor mellett egyéb meghajtási forma (általában belsőégésű motor) is megtalálható. Ezek a járművek többségükben képesek tisztán elektromosan közlekedni, de a belsőégésű motor megléte miatt nem mondhatóak tisztán elektromosnak. Egyes járművek villanymotoron kívül nem rendelkeznek egyéb meghajtási formával, ezek az elektromos autók. Az elektromos autókat egy vagy több villanymotor hajtja, melyek az üzemeléshez szükséges elektromos áramot akkumulátorokból nyerik. A villamos vagy hibrid hajtási katonai járművek egy része a felépítmény igényeinek megfelelően néha fel vannak szerelve egy szuperkondenzátorral, amely rövid idő alatt biztosít nagy teljesítményű impulzusszerű energiakibocsátást. [7] [8]

Az alternatív hajtáslánccal szerelt gépjárművek különféle szempontok szerint csoportosíthatók. A következőkben ezeket a csoportokat fogom bemutatni, és elemezni. [9] [10]

- Mild-hibrid
- Full-hibrid
- Plug-in (konnektoros) hibrid
- Range Extender (hatótáv növelt) elektromos autó
- Fuel-cell (üzemanyagcellás) elektromos autó
- Tisztán elektromos autó

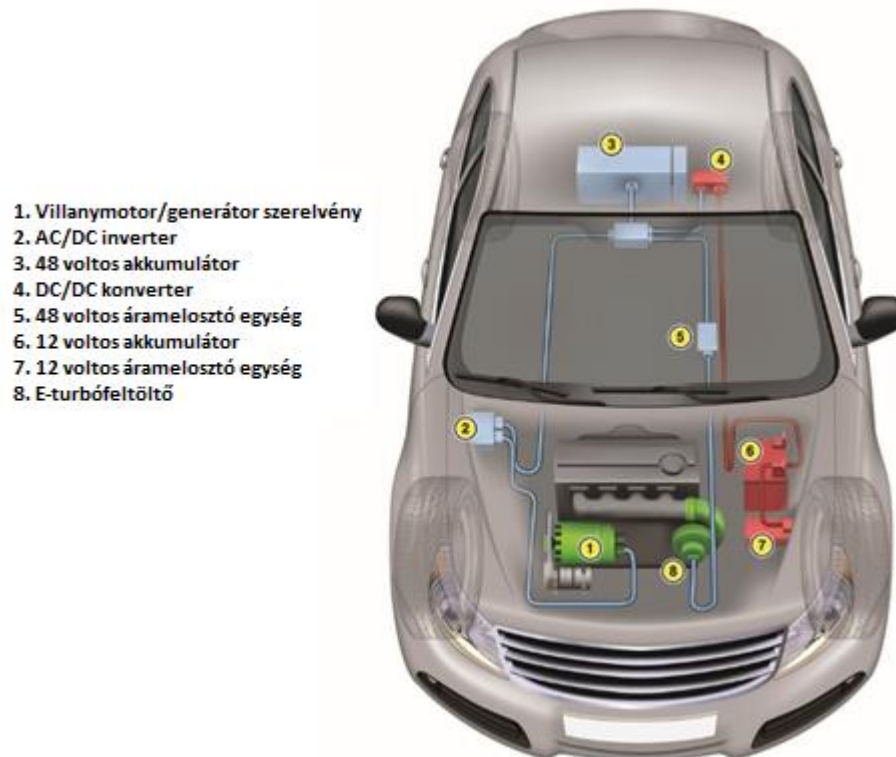
2.1.1 Mild-hibrid

A Mild-hibrid, vagy lágy hibrid technológia első sorban a kisebb károsanyag kibocsátás és fogyasztás miatt lett kifejlesztve. Akkumulátorban tárolja a meghajtáshoz szükséges energiát. Az ezzel a technológiával szerelt jármű képes a regeneratív fékezésre, ami a fékezéskor keletkező hőenergiát elektromos árammá alakítja és visszatölti az akkumulátorba.

A villanymotorként működő önindító-generátor segíti a belsőégésű motor indítását. Az elektromos rásegítés a belsőégésű motor alacsonyabb fordulatszám tartományaiban

történik, mert ekkor a legmagasabb a fogyasztás, és ekkor szennyezi legjobban a környezetet. [11]

A Mild-hibrid rendszer ugyan nem tölthető hálózatról és nem képes tisztán elektromos működésre, de a belsőégésű motor működését nagy mértékben könnyíti.



2. ábra: A Mild-hibrid rendszer felépítése [12]

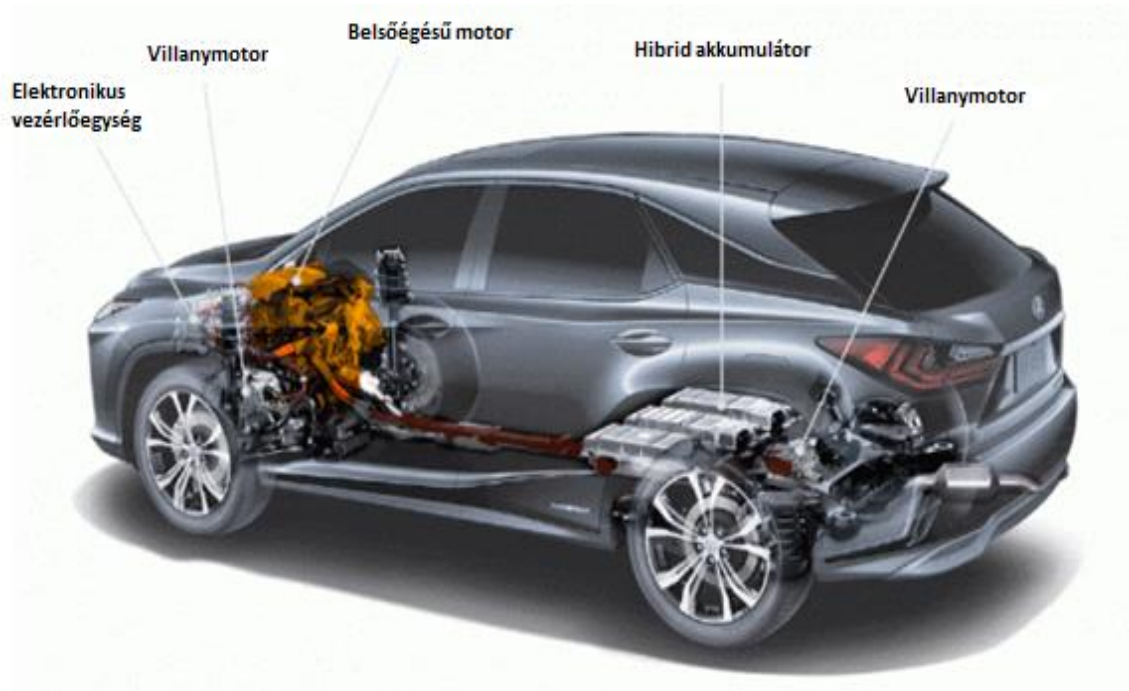
A 2. ábrán látható a Mild-hibrid rendszerek általános felépítése, amely egy kis méretű akkumulátorral segíti a hajtást.

Az erős motorfék hatás miatt a vezetőnek kevesebbet kell használnia a féket, ezáltal a fékrendszer élettartama jelentősen magasabb. A belsőégésű motor élettartama is hosszabb egy Mild-hibrid esetben, mert az elektromos rásegítés részben mentesíti a belsőégésű motort a hirtelen terhelés alól. Dinamikusabb indulást biztosít, mindezt kis mértékű tömegnövekedés ellenében.

2.1.2 Full-hibrid

A full-hibrid járművek többségükben öntöltőek, mivel a regeneratív fékezés és a tartós egyenletes menetsebességnél termelt energia feltölti a bennük található akkumulátort. [13]

Ebből következően a full-hibridek sem tölthetők külső forrásból. A full-hibrid hajtás a Mild-rendszerhez hasonlóan három komponensre bontható szét: Belsőégésű motorra, villanymotorra és akkumulátorra. [14]



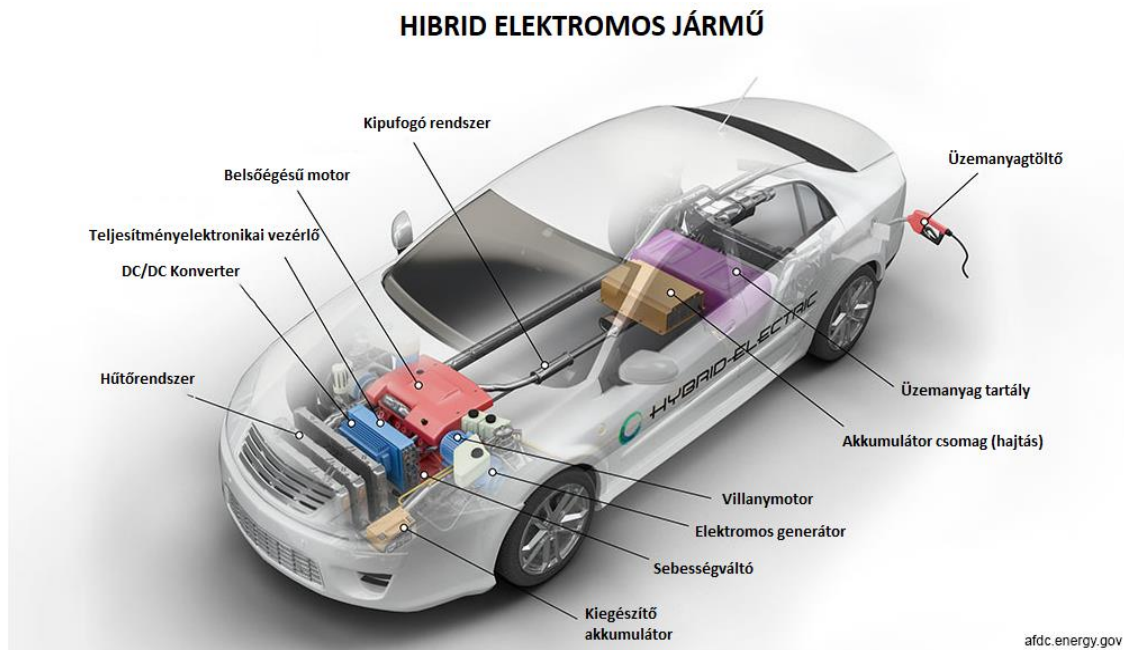
3. ábra: A full-hibrid rendszer felépítése [15]

A mild-hibriddel ellentétben három módon képes a meghajtást biztosítani: Üzemelhet csupán belsőégésű motorral, hibrid üzemben és tisztán elektromosan is. A rendszer automatikusan kiválasztja az adott helyzetben ideális meghajtást, melyet a gépjárművezető viszont manuálisan is átkapcsolhat a neki megfelelő üzemmódra.

A Mild-rendszertől jóval nagyobb kapacitású akkumulátor szükséges, mivel a tisztán elektromos hajtást csak ennek segítségével tudja kivitelezni a jármű.

Ezek a járművek álló helyzetben készenléti módba kapcsolnak, nem fogyasztanak tüzelőanyagot. Vegyes használatra tökéletesek, mert 50 km/h sebességig, illetve néhány kilométeren keresztül képesek tisztán elektromosan üzemelni. Lakott területeken kívül a hagyományos belsőégésű motor biztosítja a megszokott menetdinamikát.

Alacsony terhelés során a hibrid technológia belsőégésű motorral segíti az elektromotor működését. Intenzív gyorsításkor a belsőégésű és az elektromotor is maximális teljesítményt ad le.



4. ábra: Hibrid járművek általános kialakítása [17]

Egyenletes nagy sebességgel való közlekedés során a jármű csak a belsőégésű motort használja, az elektromotor csak az esetleges gyorsításoknál támogatja.

A hagyományos belsőégésű motoros járművekkel szemben a hibridek jelentősen kevesebb kopó alkatrészrel vannak felszerelve, és az erős motorfék miatt a fékeket is kevésbé szükséges használni, így sokkal megbízhatóbbak.

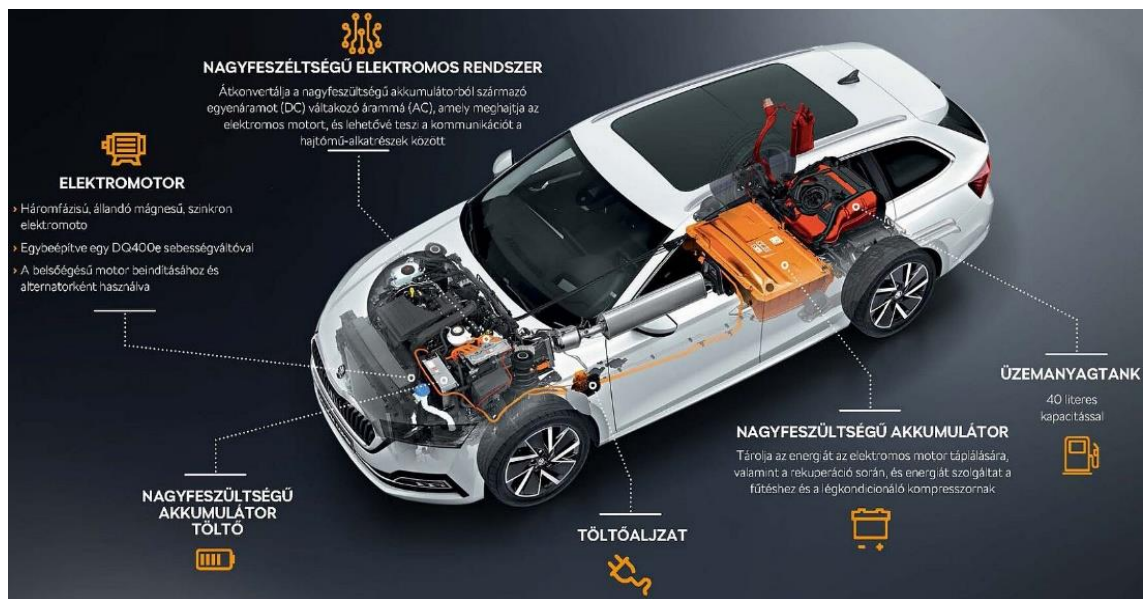
A megszokott sebességváltók helyett általában elektronikus vezérléssel ellátott fokozatmentes sebességváltó szolgál a két erőforrás effektív szinkronizálására. [18]

A hibrid járművek esetében az akkumulátort a mechanikai védetség, a hőszigetelés és a csomagter megőrzése érdekében többnyire a hátsó utastér ülő felülete alá szokták elhelyezni.

A 4. ábrán láthatóak a hibrid technológia plusz beépített alkatrészei. Ilyen például az elektromotor, az elektromos generátor, az akkumulátor és a DC/DC átalakító. A DC/DC átalakító az akkumulátor töltését végzi a belsőégésű motor generátoráról. Azért van szükség az átalakítóra, mert a hibrid jármű külső forrásból nem tölthető, viszont a hibrid rendszer akkumulátorának feszültsége nem a hagyományos 12 volt.

2.1.3 Plug-in (konnektoros) hibrid

A Plug-in hibridek a korábbi típusoktól a töltés módjában térnek el, mivel az ezzel a hajtással szerelt gépjárműveket már lehet külső áramforrásról is tölteni. A full-hibridekhez hasonlóan a Plug-in hibrid is képes tisztán elektromosan közlekedni, már akár 50-75 kilométeren keresztül is. A magasabb hatótáv a nagyobb akkumulátornak köszönhető. [10] [19]



5. ábra: Plug-in hibrid járművek általános kialakítása [20]

Az 5. ábrán látható a jármű töltőaljzata, ami a külső forrásból történő feltöltést lehetővé teszi. Feltölthetjük munkahelyünkön, elektromos töltőpontokon, de akár otthon is. Ezek a járművek is öntöltőek, illetve képesek regeneratív fékezésre.

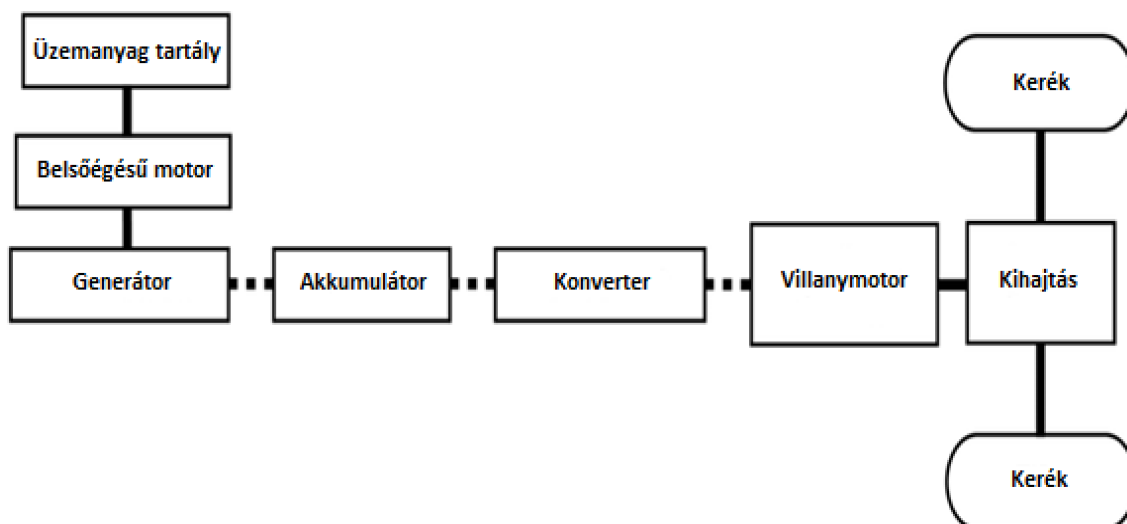
Az akkumulátor lemerülése esetén is üzembiztos marad a jármű a belsőégésű motornak köszönhetően, ezért használóját nem hagyja cserben akkor sem, ha éppen nincs ideje feltölteni az akkumulátort.

A Plug-in hibrid képes kiválasztani, és alkalmazni az adott helyzetben előnyös hajtást, pont, mint a full-hibrid. Alacsony terhelésnél az elektromotor, magasabb terhelésnél a belsőégésű motor igénybevétele a meghatározó.

Jelenleg talán a Plug-in hibrid a legpraktikusabb hibrid, mert a külső tölthetőség miatt biztosan teljes töltöttséggel tudunk elindulni, akár városi használat vagy hosszabb út megtétele előtt.

2.1.4 Range Extender (hatótáv növelt) elektromos autó

A hatótáv növelt elektromos autókat már csak az elektromotor hajtja, de a szerkezetben helyet kapott egy kisméretű benzinmotor, amely áramfejlesztőként működik. [7] [10]



6. ábra: A REX járművek általános felépítése [21]

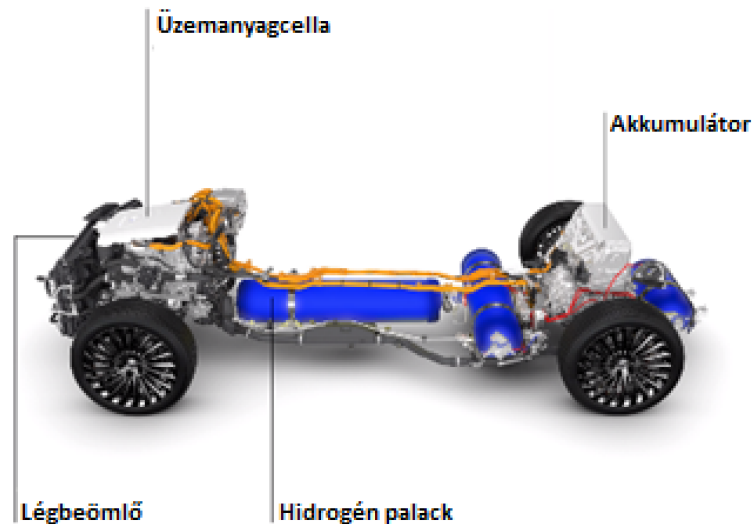
A 6. ábrán látható egy REX jármű általános felépítése, amelyben egy áramfejlesztőként üzemelő belsőégésű motor került. A mechanikus összeköttetést folytonos, az elektromos összeköttetést szaggatott vonal jelöli. A benzinmotor hosszabb távok megtételét teszi lehetővé az akkumulátor szükség szerinti töltésével. Tisztán elektromosan 100-150 kilométert is képesek megtenni, ami egy jelentős előrelépés a Plug-in hibridekhez képest. Nagy sikere van ennek a hajtásnak, mert az elektromos autózás élményét nyújtja, kiegészítve egy kiforrott technológiával, amely segítségével nem kell lemondanunk a magasabb hatótávolságról.

A tisztán elektromos autókkal szembeni egyetlen hátránya a magas karbantartásigény, ami a kiegészítő kis benzinmotor okozta komplex szerkezet hozománya.

A Plug-in hibridek gyors fejlődése miatt egyre kevésbé használunk hatótáv növelt elektromos autókat. Többnyire tömegközlekedési eszközök között terjedt el, mert a károsanyag kibocsátást jelentősen lecsökkenti. [22]

2.1.5 Fuel Cell (üzemanyagcellás) autó

A 7. ábrán látható üzemanyagcellás autót 1992-ben a Toyota fejlesztette ki.



7. ábra: A Toyota hidrogénhajtásának felépítése [23]

A hidrogéntartályból kiáramló hidrogén keveredik a beömlő levegővel, ami egy kémiai reakció útján elektromos áramot termel és tölti a jármű akkumulátorát.

Az ezzel a hajtással szerelt autók rendkívül drágák és eddig kevés hidrogéntöltő állomás épült a töltésükre.

A fordított elektrolízis folyamán a hidrogén és az oxigén kölcsönhatásba lép egymással, amely során víz és elektromos áram jön létre égésterméként.

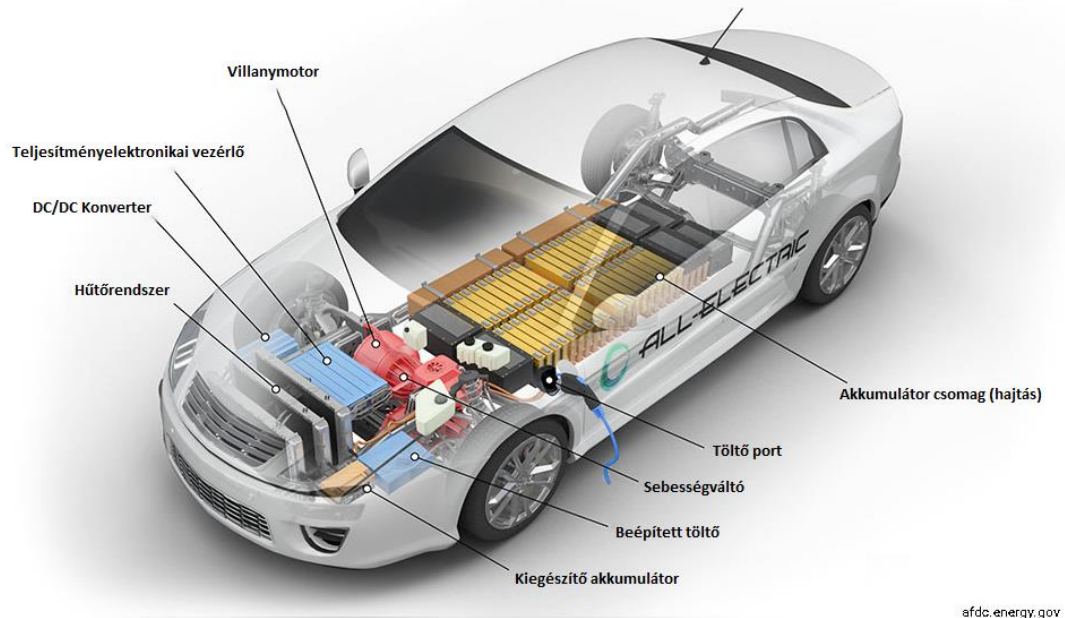
Az elektromos autókkal szemben gyors töltést (bár ezt csak szakképzett kútkelő végezheti) és nagy hatótávolságot kínál a hidrogén meghajtás. A környezetet nem szennyezi, mert nem rendelkezik károsanyag kibocsátással. Az üzemanyagcella és a villanymotor alkotja a technika alapját. [14], [24]

2.1.6 Tisztán elektromos autó

A tisztán elektromos autó egy vagy több villanymotor által hajtott közlekedési eszköz. Energiaforrása az autóba szerelt legtöbb esetben lítium-ion technológiára épülő akkumulátor, amely kizárólag külső forrásból tölthető fel. Az akkumulátorok kisebb energiasűrűsége miatt a belsőégésű motoros hajtásoknál jellemzően alacsonyabb hatótávolsággal rendelkeznek.

Az elektromos autók jóval kevesebb mozgó alkatrésszel rendelkeznek, mint elődjeik, ezért sokkal megbízhatóbbak. [25]

TISZTÁN ELEKTROMOS JÁRMŰ



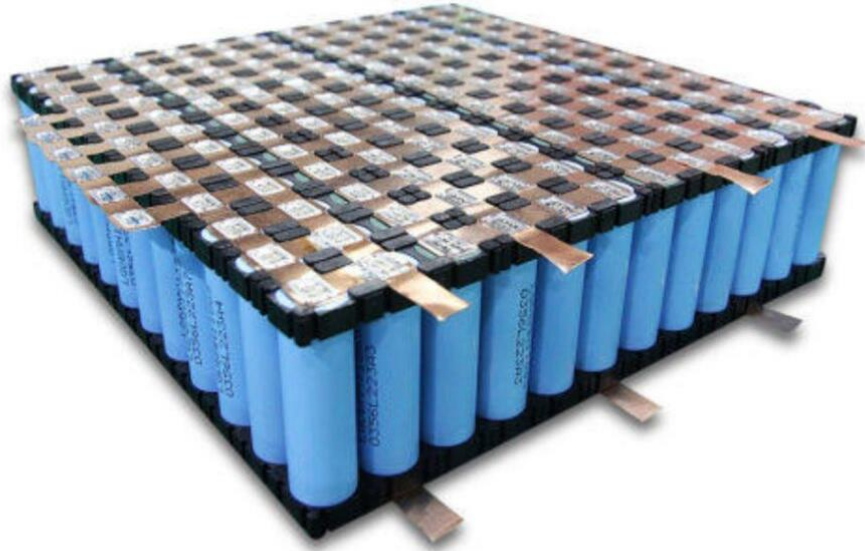
8. ábra: A tisztán elektromos autók általános felépítése [26]

A hibridekhez képest jelentősen nagyobb az akkumulátor mérete, mivel ezek az autók képesek tisztán elektromosan a legnagyobb hatótávolságra. Az egyetlen kivétel a hatótáv növelt elektromos autó, amely az áramfejlesztőként működő kis benzinmotor miatt nagyobb távolságot tud megtenni egyetlen feltöltéssel. A villanymotor egyszerűsége miatt nincs szükség olyan alkatrészekre, amelyek a belsőégésű motoros autókban gyakran meghibásodnak. Ilyen például a sebességváltó vagy a turbófeltöltő. [10] [25]

2.2 Alternatív hajtások fejlesztési eljárásai

Az elektromos autók akkumulátorfejlesztései rendszeresen érnek el áttöréseket manapság. Egyre olcsóbbak, egyre kevesebb a gyártáshoz felhasznált ritkán előforduló vegyület és egyre magasabb a térfogategységre jutó kapacitás is. Különféle gyártók igyekeznek új energiatárolási technológiákat kifejleszteni a töltés idejének minimalizálása és a hatótáv növelése érdekében. Az autók akkumulátora nagyszámú integrált cellából áll.

A legtöbb elektromos autóban jelenleg az elektronikai eszközeinkben is megtalálható Lítium-ion akkumulátorok vannak, amelyek 300-400 kilométeres hatótávolságot biztosítanak egyetlen feltöltéssel. [27]



9. ábra: Akkumulátor hengeres tokozása [28]

A 9. ábrán látható módon hengeres tokozást alkalmaznak a cellák beépítésekor, mivel mechanikai szilárdság szempontjából ez a legellenállóbb megoldás. Ezekben az akkumulátorokban elektrolit folyadékon keresztül áramlanak az ionok. Az elektrolit rendkívül veszélyes, egy kismértékű mechanikai behatás során szivároghat, amely tüzet vagy robbanást eredményezhet. A Lítium-ion akkumulátorok előállítása nagyon költséges és környezetszennyező. [29]

Az elektromos autók tömegét tekintve nyilvánvalóvá válik az akkumulátor okozta jelentős súlytöbblet, ami drasztikusan csökkenti a hatótávolságot. Celláira jellemző a 3,7 voltos cellafeszültség.

Az előbb ismertetett cellatípuson kívül más összetételű akkumulátorokat is használunk elektromos autókban, ilyen az NMC, a Ni-Mh, a Li-s, illetve az Ólom-savas akkumulátorok.

A Nikkel-Mangán-Kobalt cellák nagy energiasűrűséggel bírnak, amely a $220 \text{ W}\cdot\text{h/kg}$ -ot is elérheti. A magasabb energiasűrűségnek köszönhetően alacsonyabb a tömege, és nagyobb áramleadásra képes. [30], [31]

A Nikkel-fémhibrid technológiát először a korabeli hibrid autókban használták, például a Toyota Priusban is. Olcsó technológia volt, de mára a lítiumos akkumulátorok sokkal jobb teljesítményt nyújtanak, ennek ellenére egyes Toyota modellekben a mai napig megtalálhatóak. A negatív oldalon egy hidrogén megkötésére szolgáló fémötvözet, míg a pozitív oldalon nikkel található. A legrégebbi Ni-Cd technológiánál (hagyományos szerszámgépekben használatos) 10-40%-kal nagyobb kapacitással rendelkezik, illetve kevésbé környezetszennyező, és könnyebben újrahasznosítható. Rövidebb élettartammal rendelkezik, és lassabban is tölthető, de olcsóbb elődjénél. [32], [33], [34]

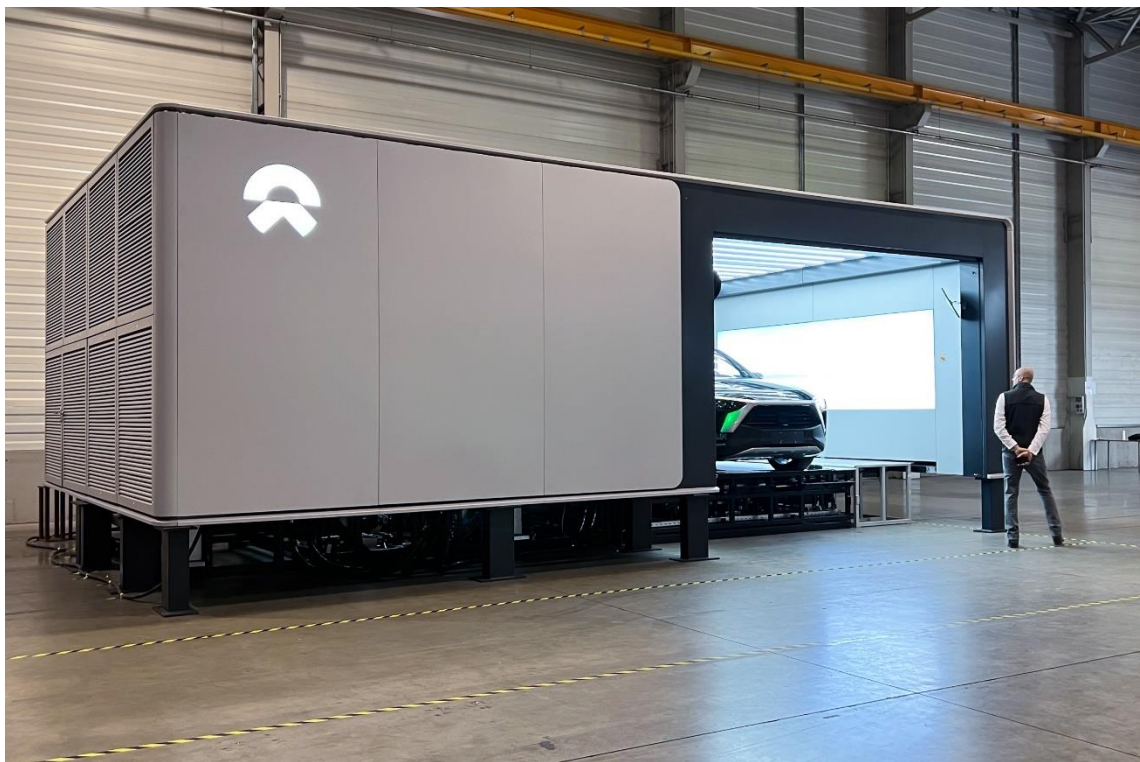
A Lítium-kén akkumulátorok nagyobb közlekedési eszközöknek, például elektromos buszoknak ideálisak, mivel nagy energiatároló kapacitással rendelkeznek. Bonyolult a használatuk, mivel egy adott hőfokra való felmelegítést igényelnek. A világ leghatékonyabb akkumulátorává nőheti ki magát, ha a 40-50 töltés után lejáráó élettartamot ki tudják küszöbölni a fejlesztők. A kén kevésbé környezetszennyező, ezért alacsonyabbak lehetnek a gyártási költségek a jövőben. A technológia óriási, elméletben akár $1,67 - 2,5 \text{ kWh/kg}$ -ig terjedő energiasűrűségi értékre is képes lehet. [35]

Az ólomsavas akkumulátorok minden személyautóban megtalálhatóak. Ez volt az első kereskedelmi forgalomba került tölthető áramforrás. Tárolóedényből, és két nagy felületű ólomlapból áll, amelyek elektrolitba (általában kénsav) vannak merítve. Alacsony az előállítási költsége, de 2-300 töltés és kisütés ciklus az élettartama. A külső hőmérsékleti hatásokkal szemben rendkívül ellenálló, -40 és 60°C között képes működni. Hátránya a lassú tölthetőség, a rövid élettartam, illetve összetételét tekintve bizonyos összetevői környezetszennyezőek. [36]

A legtöbb gyártó a szilárdtest akkumulátorokban látja a jövőt, amely működése nagyon hasonló a Lítium-ion akkumulátorokéhoz. A különbség az elektrolit, ez esetben már szilárd halmazállapotban van jelen. Ezek az akkumulátorok többszörös kapacitást ígérnek, amely eredményezheti a hatótáv növekedését, vagy az akkumulátor méretének és súlyának csökkentését. Kevésbé tűz- és robbanásveszélyesek, illetve hűteni sem kell őket. Jelenleg ennek a technológiának a legnagyobb a potenciálja a hagyományos belsőégésű motoros autók leváltására, mert a vásárlók számára az egyik legfontosabb

szempont a gyors feltöltés, melyet ez az akkumulátor típus becslések szerint 5 percre is le tud redukálni. [37]

Forradalmi fejlesztéseket folytat egy kínai autó és akkumulátor gyártó és fejlesztő cég, a NIO. Az elektromos járművek számára kivethető energiaforrást biztosít, amelyet a jármű tulajdonosa a legközelebbi töltőállomáson épp oly gyorsan cserélhet ki, mint amilyen gyorsan egy hagyományos belsőégésű motoros autót meg lehet tankolni. Az első NIO töltőállomás idén júliusban Biatorbágyon létesült Magyarországon. [38]



10. ábra: A NIO elektromos töltőállomása Biatorbágyon [39]

3. Hibrid és elektromos hajtásláncok lehetséges alkalmazása harcjárművekben

A hibrid technológia civil járművekben való eredményessége teret nyitott hasonló technika használatára harcjárművekben is. A belsőégésű motoros harcjárművek hatásfokán érdemben már nem lehet javítani, így az alternatív technológiákra kerül a fejlesztések során a hangsúly. Ha a harcjárművek kedvezőbb üzemanyagfogyasztással rendelkeznének, kevesebb üzemanyagra lenne szükség a működésükhöz, ami elsősorban nem gazdasági, hanem katonai műveleti előny. A hibrid technika egyszerűbbé teszi az egyre növekvő számú fedélzeti villamos eszköz áramellátását is (pl: APS), mivel az elektromos rásegítés miatt nagyobb méretű akkumulátorral rendelkezik a harcjármű. A hibrid és elektromos hajtásláncok megismeréséhez, mindenekelőtt szükséges bemutatni a hagyományos harcjármű hajtásláncokat is. [40]

3.1 Hagományos hőerőgépen alapuló harcjármű hajtáslánc felépítése

A hagyományos belsőégésű motoros harcjármű erőforrása lehet kis fajlagos méretű és súlyú benzinmotor, vagy előbbinél kicsit nehezebb és bonyolultabb, de kedvezőbb tüzelőanyag fogyasztással bíró dízelmotor. Harckocsik esetén az amerikai M1 Abrams harckocsikban a benzin vagy dízelmotorok helyett gázturbina található.

A benzinmotor nyomatéka jelentősen nagyobb fordulatszám tartományt ölel fel, mint a dízelek, ezáltal könnyebben kezelhetőek és rugalmasabbak. A dízelmotorok előnyeikhez tartozik, hogy harckocsik esetében „mindenevők”, tehát a gázolajforrás kimerülése esetén más tüzelőanyaggal is képesek tovább üzemelni. [41]

A gázturbinákra jellemző a 40% körüli hatásfok, illetve a széles fordulatszám tartomány okozta bonyolult hidegindítás. Zajkibocsátás terén a gázturbina magasán a leghangosabb a benzin vagy dízelmotorokhoz mérten.

Mindkét motortípusra jellemző a kis fordulaton alacsony teljesítmény, illetve az önerőből indulás hiánya.

Megoldásként megalkottak egy különleges tengelykapcsolót, amely a hajtó és hajtott felek közti kapcsolat szétválasztására és csúsztatására szolgál. Ezáltal sebességváltáskor a forgatónyomaték csúsztatott átadása nem befolyásolja a jármű nyugalmi állapotát.

A hajtómű és a tengelykapcsoló együtt alkotja az erőátviteli láncot, amely a jármű hajtókerekeiig juttatja a forgatónyomatékokat.

Az erőátviteli tér helyzete szerint kétféle építést kategorizálunk.

Egyik esetben az erőátviteli tér a páncéltest hátsó- másikonál az első részében kap helyet. Ha az első részben kap helyet, akkor kisebb mérettel rendelkezik, de mivel ezáltal megnövekedik az alváz magassága, nehezebb megfelelően védett homlokpáncélzatot kialakítani. Leggyakrabban a farrészben helyezik el, mert ott csökken a sérülés esélye a láncmeghajtó kerék és a kihajtómű esetében, illetve a homlokpáncélzat ballisztikai szempontból sokkal ellenállóbbá tehető. A motor ereje kizárólag a láncaljp hátsó részét terheli, ezáltal javul a hatásfoka és kisebb lesz a láncaljp kopása is. [41]

A szerkezet által keletkezik egy tér, amely vagy növeli a harckocsi hosszát, vagy ha nem lehet hosszabb, akkor a meglévő terekből vesz el, ilyen volt például az orosz T-55 modell.[41]

Kezdetben mechanikus és félautomata váltókkal voltak szerelve a harcjárművek, amely jelentősen megterhelte a vezetőt.

A bolygóműves sebességváltó képes hajtás közben is fokozatot váltani és egy hidrodinamikus nyomatékváltóval összeépítve kialakítható belőle az automata sebességváltó. Az automata sebességváltó igazán a gázturbinával működik hatékonyan, mert annak kevés sebességfokozatra van szüksége.

A hidrodinamikus tengelykapcsoló két fő komponense a turbina és az örvényszivattyú.[42]

Előbbi a hajtott tengelyre, utóbbi a motor tengelyére van illesztve. A szivattyú körbe hajtja a hidraulika olajat, amely az állandó fordulatszám eléréséig forgatja a szivattyút. A kapcsolás önműködően zajlik le, de folyamatos hűtésre van szüksége és állandó üzem mellett veszteséges is a súrlódás-hőtermelődés miatt. A szlip a két forgó komponens közti fordulatszám eltérés, ami által a rendszer hatásfoka 80% körüli. Bolygóműves vagy fogaskerekes sebességváltókba szokták beépíteni, ahol állandó üzem esetén a mechanikus tengelykapcsoló veszi át a kapcsolatot, kiküszöbölve ezzel a szlipet.

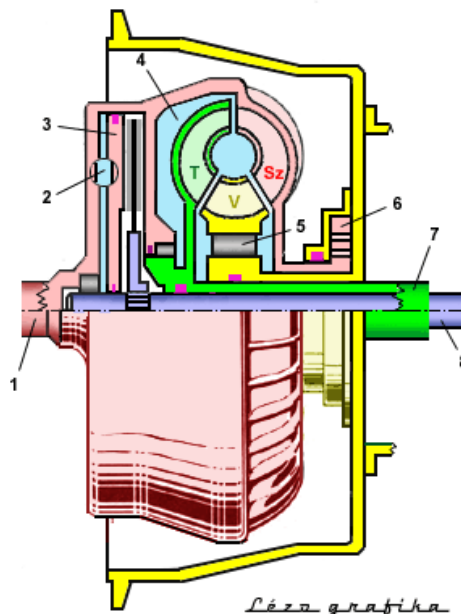
Ha a turbina és a szivattyú közé beépítenek egy vezetőkerék koszorút, amely változtatható szögbe állítható, akkor fokozatmentesen lehet állítani a turbina hajtott tengelyének fordulatszámát. [42]

Ez az úgynevezett hidrodinamikus sebességváltó, melyet bolygóműves mechanikus vagy hagyományos fogaskerekes sebességváltóval szoktak együtt alkalmazni.

Hidrodinamikus nyomatékváltót az automata sebességváltókban alkalmazunk, mivel növeli a nyomatékot, képes rugalmasan változtatni az áttételt, és ez lecsökkenti a mechanikus váltóban szükséges fokozatok számát.



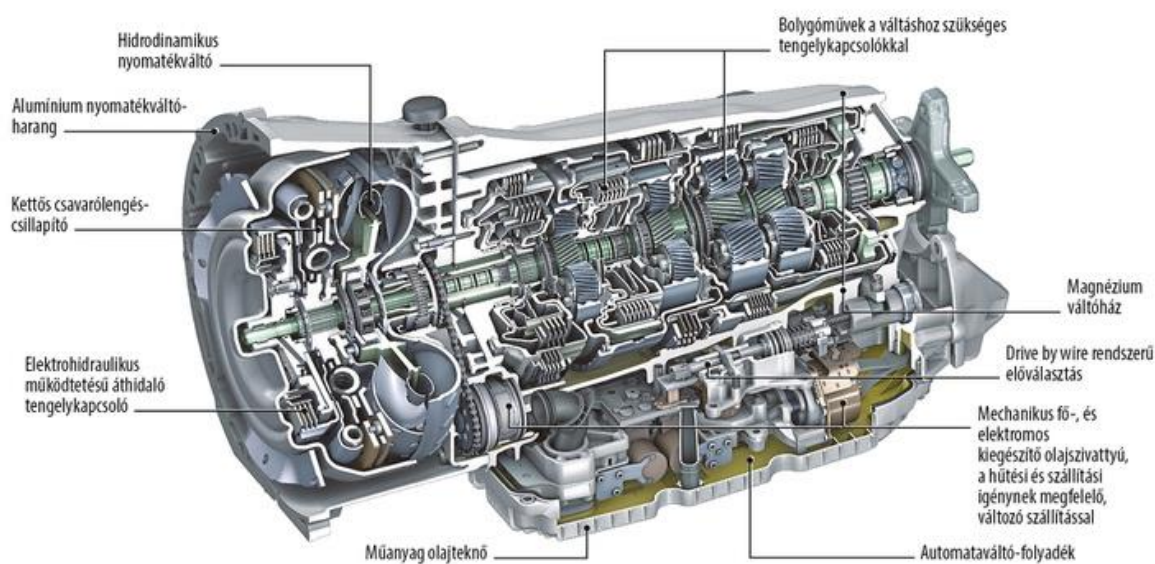
11. ábra: A hidrodinamikus nyomatékváltó munkakerekei [43]



12. ábra: Hidrodinamikus nyomatékváltó összeépítve egy sűrűdőtárcsás tengelykapcsolóval [43]

Az 11. ábrán a három munkakereket láthatjuk, jobbról nézve a szivattyúkerék, a vezetőkerék, illetve a turbina. A vezetőkerék azért munkakerék, mert bizonyos esetekben együtt forog a másik kettővel és a hidraulika olajjal.

A 12. ábrán már egy komplett hidrodinamikus nyomatékvtót láthatunk, ahol a vezetőkerék az 5-ös számú szabadonfutóra van szerelve, ezáltal egy irányba tud elfordulni. Az 1-es számú motortengelyről érkezik a hajtás, amely össze van kötve egy fogaskerék szivattyúval, ami a 4-es számú folyadékról gondoskodik, illetve a szivattyúkerékkel. A mechanikus sebességváltó házába két tengely érkezik a hidrodinamikus nyomatékvtótól. A 8-as számú tengely a motor nyomatékát viszi be, míg a 7-es számú a turbinán ébredő nyomatékot. A 8-as számú tengely nyomatékbevitelle csak akkor történik meg, ha a 3-as számú dugattyú a 2-es számú tér nagy nyomása miatt a súrlódó tengelykapcsolót lezárja. Ekkor származik előnyünk a vezetőkerék szabadonfutóra szereléséből, mivel ilyenkor mindhárom kerék egységesen forog a folyadékkal és a forgást sem fékezi le. Többek között ez az oka a vezetőkerék keréknek való kiképzésének.[44]



13. ábra: Az automata sebességváltó általános összetétele harcjárművekben [45]

A 13. ábrán látható automata sebességváltó a korábban leírtak szerint egy bolygókerékes sebességváltó és egy hidrodinamikus nyomatékvtó összekapcsolva. A szerkezet

működése a bolygóműveken alapszik, amelyek kimenő fordulatszámát az éppen rögzített kerék határozza meg. A bolygóművek egymás után kapcsolásával növelhető a sebességfokozatok száma.

A tengelyek fékezéséért hidraulikus vagy elektromos működtetésű lemezes tengelykapcsolók és szalagfékek felelnek.

3.2 Hibrid hajtásláncok általános jellemzői harcjárművekben

Nagy figyelem fordul manapság a hibrid meghajtásokra harcjárművek terén, mert a civil alkalmazásba vett hibrid hajtás fogyasztása jelentősen eltér a csupán belsőégésű motorral szerelt elődjeikétől. Harckocsik esetében a regeneratív fékezés nagyobb szerepet kaphat, mert a nagy tömeg okozta hő- és mechanikai hatások fokozódása miatt jelentősen több energiát fog tudni visszatölteni az akkumulátorba. A nagyobb méretű akkumulátor több energiával lesz képes ellátni a fedélzetet, amely kiszolgálná a modern harckocsik áramellátási igényeit. Mindezek mellett a hibrid hajtás növeli a belsőégésű motor élettartamát, és kibővített csendesüzemű működést (silent watch) tesz lehetővé.

A hibrid harcjárművek tömeggyártása technikai kihívásokkal küzd, mert egyelőre nem áll rendelkezésre elegendő akkumulátor, elektromotor, elektronika, és azokhoz szükséges gyártósor. [46]

3.2.1 Menetdinamika

A civil járművek hibrid hajtásain megfigyelhető a hirtelen nyomatékleadás és a gyorsabb reakcióidő. A harcjárművek három fő tulajdonsága a harctéren a védettség, a tűzerő és a mozgékonyság. Utóbbit figyelembe véve jelentős előrelépést jelenthetnek a hibrid hajtások, mert a villanymotor biztosította nyomaték, illetve a magasabb hatásfok jelentősen növelheti a terepen való közlekedés gyorsaságát.

3.2.1 Állóhelyzeti áramellátás

A harcjárművek rendelkeznek olyan kifejlett technológiákkal, melyek folyamatos stabil áramellátást igényelnek. Ilyen a helyzetfelismerő rendszer, az aktív védelmi rendszer és a különböző harctéri irányító rendszerek. A hibrid technológiának fedélzeti áramellátásával ezeket a rendszereket is stabilan kell tudnia működtetni. Ezzel a

hajtáslánccal elkerülhető az állóhelyzeti energiaellátást lehetővé tévő segédaggregátor (APU) beépítése és működtetése. [47], [48]

3.2.2 Üzemeltetés költsége

Az akkumulátor elektromos ráségítése miatt a jármű tüzelőanyag fogyasztása jelentős mértékben csökkenhet, amely nagyban megnövelheti az eszköz autonóm működési idejét. Különböző hibrid hajtásokkal végeztek teszt pályán méréseket a mérnökök, amelyek 10-20 százalékos fogyasztáscsökkenést mutattak, függően a teszt pályára domborzati viszonyaitól. A redukált fogyasztásnak köszönhetően a harc jármű szerelhető kisebb térfogatú üzemanyag tankkal, drasztikusan megnőhet a hatótávolsága, illetve csökkenhet a logisztikai teher, például az üzemanyag. [47]

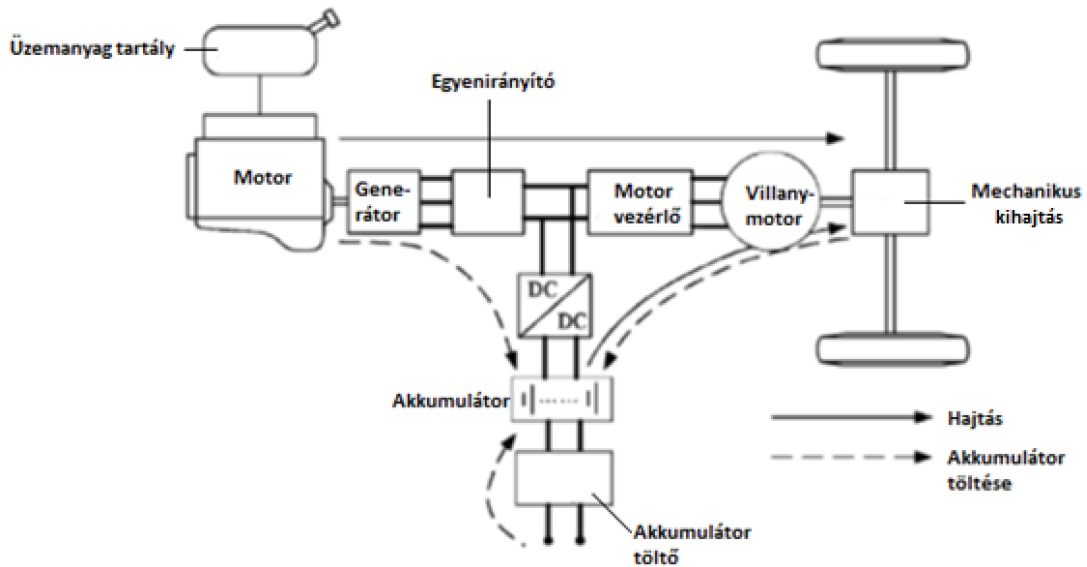
3.2.3 Csendesüzem

Annak köszönhetően, hogy ezeknek a harc járműveknek nem a belsőégésű motor az egyetlen erőforrásuk, képesek három különböző módban üzemelni. Közlekedhetnek csupán belsőégésű motorral, tisztán elektromosan, illetve kombinálva is. A silent watch funkció az állóhelyzeti áramellátást jelenti, ahol a harc jármű a számára szükséges energiát az akkumulátorból meríti. A hibrid hajtásnak köszönhetően a nagyobb akkumulátor méret miatt a jármű hosszabb ideig képes fenntartani a főhajtómű leállítása melletti áramellátását. A funkció nagy előnye a belsőégésű motor nélküli működés, mivel ekkor alig bocsát ki hőt és zajt, ezáltal minimális hőlenyomattal rendelkezik a harc jármű. A silent watch funkció időtartama tovább növelhető egy segédhajtóművel (APU), amely a hatótávnövelt (REX) elektromos autók nál megismert kis belsőégésű motor és generátor vagy üzemanyagcella együttesét jelenti. Ezen esetben a kis belsőégésű motor áramfejlesztőként működik, támogatva az energiaellátást.

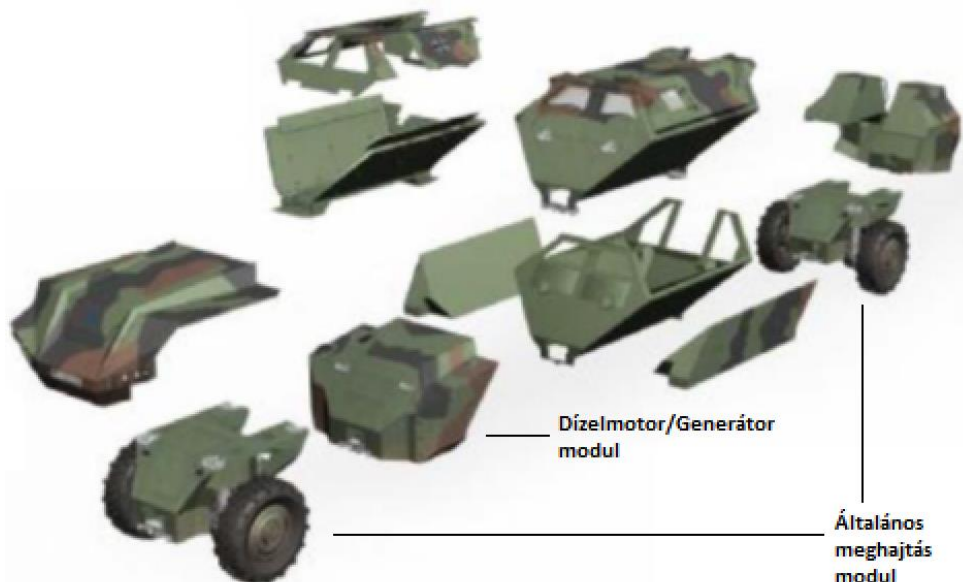
A jármű tisztán elektromos módban nem csak állóhelyzetben biztosíthatja az energiát, hanem az akkumulátor teljes lemerüléséig menet közben is, ez a silent mobility. A tisztán elektromos közlekedés során kisebb hőlenyomattal rendelkezik, és kevesebb zajt bocsát ki. Tisztán elektromosan a jelenlegi technika mellett relatív keveset tudnak közlekedni a harc járművek, ennek oka az akkumulátorok alacsony energiasűrűsége. [46]

3.2.5 Járműfelépítés és tervezés

A jármű előnyei a hibrid rendszer felépítésétől függenek. Kétféle felépítés létezik, soros és párhuzamos hibrid. Jelenleg katonai felhasználásban a soros felépítés a legkedveltebb, amely korábban évekig használatban volt dízel-elektromos hajókban és vonatokban, legtöbbször beépített energia tárolására szolgáló eszköz nélkül.



14. ábra: Soros hibrid hajtáslánc felépítése [49]



15. ábra: A Rheinmetall Gefas koncepciójának robbantott ábrája [50]

A 14. ábrán látható soros hibrid esetén nincs mechanikai kapcsolat a hajtott kerekek és a belsőégésű motor között. Kerekes járművek esetében elektromos vezetékeken keresztül

jut el az áram a villanymotorból a kerékagyba épített villanymotorokig, amely nagyfokú rugalmasságot biztosít.

A mechanikai összeköttetés kiaknázása tette lehetővé a német Rheinmetall cég 15. ábrán látható moduláris koncepcióját, amely egy általános hajtás-tengely modul használatával biztosítja a nyolc-, hat-, és négykerékmeghajtásra való konfigurálást.

Az összetett és bonyolult mechanikus hajtáslánc mellőzése számos előnnyel szolgál, mint például a harcjármű belső terének felszabadulása vagy a nagyobb megbízhatóság és a szükségtelen pótalkatrészek okozta kisebb logisztikai teher. Jelentős kockázati tényező a hagyományos hajtásláncban a kardántengely, mert ha aknarobbanás történik a jármű alatt, lövedékként viselkedik, jelentősen rontva ezzel a személyzet túlélési esélyét. Ha a kardántengely nincs a hajtásláncban, ez is elkerülhető.

A kerékagyon belüli villanymotorok számos új felfüggesztési forma kialakítását is lehetővé teszik.

A harcjárművek fejlődése a belsőégésű motoros mechanikus meghajtású technológián alapult, és minden alkalommal továbbfejlesztették valamely tulajdonságát. A mai harcjárművek ezek során fejlődtek ki, ezért a tervezés szabályai és módszerei rendkívül kidolgozottak. A hibrid technológia bevezetése a már megalkotott hajtásláncból függően fog fejlődni különböző mértékben a közeljövőben.

Napjainkban a háborúkat a gyors ütemű technológiai fejlődés jellemzi, ezáltal a járművek tervezési követelményei nagy mértékben megváltoztak az elmúlt években. A belsőégésű motoros mechanikus meghajtású harcjárműveinket több tíz fejlesztési ciklus alatt ismertük meg teljesen, most a hibrid technológia a második vagy harmadik ciklusát éli meg, és még el sem hagyták a teszt pályákat. A jelenleg is folyó fejlesztések közül, ha nem is mind, de jónéhány nagy hatással lesz a harcjárművek megszokott kialakítására.

[46]

3.2.6 Elektromotorok, teljesítményelektronika és energiatárolók

A hibrid technológiához különféle elektromotorok állnak tesztelés alatt, ezek közül emelkedik ki a kapcsolóreluktancia (SR) motor, az indukciós (IM) motor, illetve az állandó mágneses (PM) motor.

1. táblázat: Villanymotorok nyomatéksűrűségi értékei [46]

Gép típusa		
	Nm/m ³	Nm/kg Cu
Állandó mágneses (PM)	28860	28,7 - 48
Indukciós (IM)	4170	6,6
Kapcsolóreluktancia (SR)	6780	6,1

Az 1. táblázaton láthatóak a villanymotorok nyomatéksűrűségi értékei. A táblázatban szereplő adatok alapján a PM motorok rendelkeznek a legkisebb térfogattal és tömeggel adott teljesítmény és nyomaték mellett. A kiemelkedő adatoknak köszönhetően a katonai hibrid járművek szinte teljes egészében a PM motorokra épülnek.

A villanymotorok nem tökéletesek, mert csak kis fordulatszám tartományban lehetséges az üzemeltetésük. A probléma a kiemelkedő adatok ellenére legjobban a PM motorokat sújtja. A kutatások jelenleg kiterjednek a fordulatszám tartomány növelésére, a jelgeneráló és vezérlő szoftveralgoritmusok, illetve teljesítményelektronika tervezésére is.

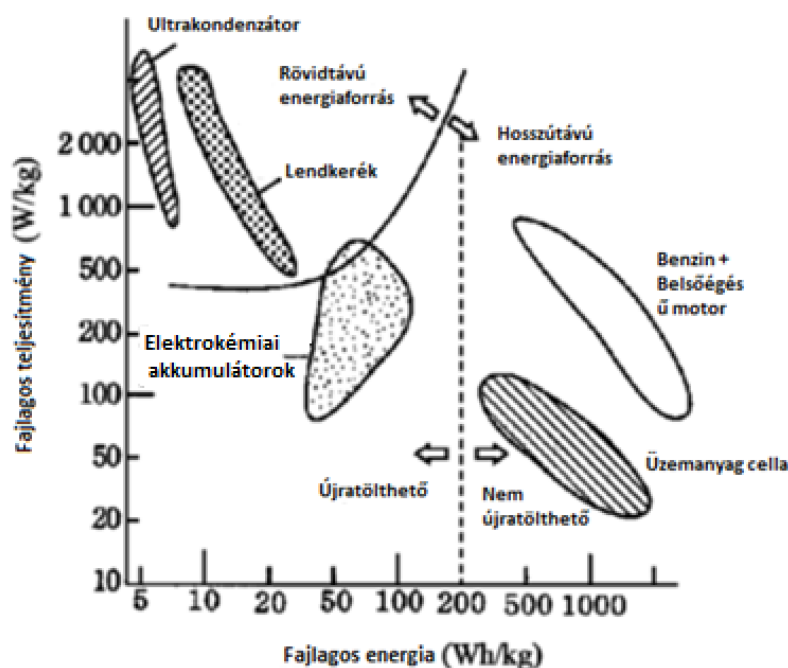
A nagy teljesítményű villanymotorok hűtést is igényelnek, amely több motor használata esetén meglehetősen bonyolulttá teszi a hűtőfolyadék elosztását.

Rengeteg különféle teljesítményelektronikai rendszer és szabályozási stratégia létezik az elektromotorokhoz, melyek zöme kiváló áramvezetési képességgel rendelkező szigetelt kapujú bipoláris tranzisztort használ az aktív kapcsolás végrehajtásának érdekében.

Ezen rendszerek mérete és tömege limitálva van a járművön belül. Ezen felül magasabb energiasűrűségi értékeket eredményez, mint a hagyományos hajtások esetén. Az IGBT egy szilícium eszköz, amely maximális üzemi hőmérséklete 150 °C, ezért a legtöbb esetben külön hűtést igényel. Léteznek szélessávú (WBG) félvezetők, ilyen például a szilícium-karbid, amely 500 °C körüli maximális üzemi hőmérséklettel rendelkezik. A technológia jelenleg még nem teszi lehetővé használatukat, de nagy potenciál rejlik bennük.

A hibridek három energiatároló technológiát használhatnak, a lendkereket, az újratölthető akkumulátort és az szuperkondenzátorokat. A lendkerék tárolja a kinetikus energiát, amit a generátor alakít elektromos energiává. [51]

Energiatároló rendszerek méretezésekor ügyelni kell az elegendő csúcsteljesítmény biztosítására, és megfelelő mennyiségű energia tárolására a hatótávolság és csúcsterhelés követelményeinek kiszolgálására.



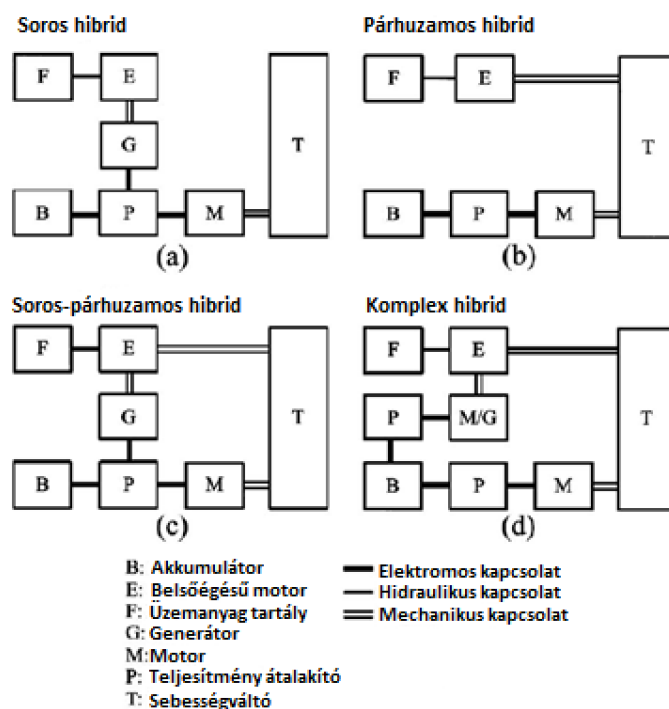
16. ábra: Eltérő energiatárolási rendszerek jellemzői [46]

A 16. ábrán láthatóak a különböző technológiák fajlagos energiái és fajlagos teljesítményei.

A hibrid és a tisztán elektromos járművek energiatároló egységei jelentős mértékben eltérnek, mert a hibrideknél a csúcsteljesítmény, míg a tisztán elektromosoknál a tárolt energia mennyisége a legfontosabb paraméter. Az olyan hibrideknél, amelyek esetén a tisztán elektromos üzemmód a legfontosabb, fontos paraméter a tárolt energia mellett a csúcsteljesítmény és a csendes mobilitás (silent mobility) is. Egy olyan tápegység megtervezése, ami a méret, a tömeg és a költségek szempontjából is megfelelő, nagyon bonyolult és időigényes. [46]

3.3 Hibrid hajtások típusai

Jelenleg kétféle hibrid jármű konfiguráció létezik, soros és párhuzamos hibrid. A két típus sematikus ábrája a 17. ábrán látható.



17. ábra: A négy különböző hibrid felépítés sematikus ábrája [46]

A 17. ábra „a” pontja egy olyan elektromos járművet szemléltet, amely akkumulátor töltöttségét a belsőégésű motor és az elektromos generátor tartja szinten.

A „b” pontban szemléltetett párhuzamos hibrid különbözik az előzőtől, mert ez egy hagyományos, belsőégésű motorral üzemelő jármű, kiegészítve egy elektromos motorral, amely segíti a gyorsulást és a csúcsteljesítményt.

A következő fejezetek a soros, a párhuzamos, illetve a kettő kombinációjából álló hibrid konfigurációk előnyeiről és hátrányairól fognak betekintést nyújtani.[46]

3.3.1 Soros hibrid hajtásláncok

A belsőégésű motor által termelt mechanikai energiát a generátor alakítja elektromos energiává, amelyet később a villanymotor konvertál vissza mechanikus energiává.

A soros hibridek 6 különböző működési módra képesek. Ilyen az akkumulátor, a motor, a kombinált, a teljesítménymegosztás, az állóhelyzeti töltés, illetve a regeneratív fékezés mód. Akkumulátor módban a belsőégésű motor kikapcsolt állapotban van, a jármű energiaellátását kizárólag az akkumulátor biztosítja. Ebben az üzemmódban képes a harcjármű csendesen haladni tisztán elektromosan. Motor módban a villanymotor

energiaellátását a generátor és a belsőégésű motor együtt biztosítják. Kombinált üzemmódban a villanymotort a belsőégésű motoron és generátoron kívül az akkumulátor is ellátja energiával. Ez az üzemmód akkor kapcsol be, ha nagy teljesítményre van szükség, akár domborzati viszonyok leküzdésekor. A teljesítménymegosztás mód esetén a belsőégésű motor és a generátor által termelt energia szétoszlik az akkumulátor és a villanymotor között. Állóhelyzeti töltés módban a generátor és a belsőégésű motor tölti az akkumulátort, ezért generátor módnak is szokás nevezni. A regeneratív fékezés üzemmód esetén a villanymotor generátorként működik, és a mechanikai energia elektromossá alakításával tölti az akkumulátort.

Sok esetben hibásan hibridnek nevezik a soros hajtáslánccal rendelkező járműveket. Számos katonai járműben nem alkalmaznak energiatároló egységet (akkumulátort), ezért ezek kizárólag motor üzemmódban használhatóak. Ezekre a járművekre ezen túl elektromos hajtáslánccal rendelkező járművekként hivatkozunk, nem pedig hibridekként. A belsőégésű motor és a hajtó kerekek mechanikus szétválasztásának eredményeképp a belsőégésű motor fordulatszáma lényegesen szűkebb, ezáltal mindig az optimális tartomány környékén üzemel, ami javítja a hatásfokot. A beszűkülés által potenciálisan megnőtt a hatásfok. A soros hibrid járművek hatékonysága a sok üzemmód miatt meglehetősen összetett. A következő egyenletekkel elvégezhető az akkumulátor (I.) és a motor (II.) üzemmód hatásfokának becslése. [46]

A hatásfok számításakor használt összefüggés [46]:

$$\eta_{\text{Összes I.}} = \eta_{\text{Akkumulátor}} \times \eta_{\text{Hajtáslánc}} \times \eta_{\text{Villanymotor}} \quad (3.1)$$

$$\eta_{\text{Összes II.}} = \eta_{\text{Belsőégésű motor}} \times \eta_{\text{Generátor}} \times \eta_{\text{Hajtáslánc}} \times \eta_{\text{Villanymotor}} \quad (3.2)$$

Ahol: $\eta_{\text{Összes I.}}$	= Akkumulátor üzemmód hatásfoka
$\eta_{\text{Összes II.}}$	= Motor üzemmód hatásfoka
$\eta_{\text{Akkumulátor}}$	= Akkumulátor hatásfoka
$\eta_{\text{Hajtáslánc}}$	= Elektromos hajtáslánc hatásfoka
$\eta_{\text{Villanymotor}}$	= Villanymotor hatásfoka
$\eta_{\text{Belsőégésű motor}}$	= Belsőégésű motor hatásfoka
$\eta_{\text{Generátor}}$	= Generátor hatásfoka

2. táblázat: Soros hajtáslánc alkatrészeinek hatásfokai [46]

Komponens	Érték
Belsőégésű motor	0.3 - 0.35
Generátor	0.90 - 0.95
Elektromos hajtáslánc	0.95
Akkumulátor	0.85 - 0.95
Villanymotor	0.90 - 0.95

Az alrendszerek hatásfok értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

Hagyományos hajtáslánc hatásfokszámításához használt összefüggés [46]:

$$\eta_{\text{összes}} = \eta_{\text{Belsőégésű motor}} \times \eta_{\text{Sebességváltó}} \times \eta_{\text{Hajtáslánc}} \quad (3.3)$$

Ahol: $\eta_{\text{összes}}$ = Hajtáslánc teljes hatásfoka
 $\eta_{\text{Belsőégésű motor}}$ = Belsőégésű motor hatásfoka
 $\eta_{\text{Hajtáslánc}}$ = Hajtáslánc hatásfoka
 $\eta_{\text{Sebességváltó}}$ = Sebességváltó hatásfoka

3. táblázat: A hagyományos mechanikus hajtáslánc alkatrészeinek hatásfokai [46]

Komponens	Érték
Belsőégésű motor	0.1-0.35
Sebességváltó	0.75
Hajtáslánc	0.95-0.99

A hagyományos hajtáslánc komponenseinek hatásfok értékei a 3. táblázatban találhatóak.

Ha összehasonlítjuk a motor üzemmód maximális hatásfokát a hagyományos mechanikus hajtásláncéval, feltűnően kicsi a különbség. Ennek ellenére fejlettebb a hibrid hajtáslánc, mert a hagyományos mechanikus hajtáslánc az üzemidő legnagyobb részében jóval az

optimális hatásfok alatt teljesít. A regeneratív fékezés vagy az akkumulátor generátorral való töltése tovább javíthatja a hatásfokot.

A motor hajtókerekekről való leválasztása rugalmasabbá teszi a járműfejlesztést, mert az erőátvitelhez elektromos vezetékeket használunk, nem pedig merev mechanikus hajtótengelyt és differenciálművet. A jármű modularitására jó példa a 15. ábra.

A kerékagyba építhető villanymotorok minden egyes kerékbe beépíthetőek, ezáltal minimálisra csökken a hajtáslánc komplexitása, amely jelentős mértékben növeli a jármű megbízhatóságát. A mechanikus pótalkatrészekből a nagyobb megbízhatóság miatt kevesebb kell, ezért a harcjármű logisztikai terhe is csökken. Ezek a motorok lehetővé teszik a kerekek tapadásának egyedi szabályozását, amely segíti őket a terepen való mobilitásban. Az álló helyzetben való megfordulás és a két oldal különböző sebességgel való hajtásának lehetősége pedig kedvezőbb manőverezhetőséget biztosít.

A kerékagyba szerelt motoroknál a hajtótengelyek elhagyhatóak, ezáltal számos új felfüggesztési geometria alkalmazható. Lehetőség nyílik például futókaros felfüggesztés alkalmazására, ami még kevesebb helyet is foglal el, mint a dupla lengőkaros felfüggesztés. Ez a megoldás csökkentheti a harcjármű magasságát, és növelheti a belső térfogatot.

A soros hibridek hajtásláncában a villanymotor hajt ki a kerekekre. Többfokozatú sebességváltót nem igényel, mert a villanymotor közel ideális fordulatszám-nyomaték karakterisztikával rendelkezik. A bonyolult sebességváltó elhagyásával jelentősen csökken a rendszer komplexitása. Az egyetlen erőforrás miatt a soros hibridek jóval egyszerűbb vezérlési algoritmussal bírnak, mint a párhuzamos hibridek vagy más kombinált hajtáslánc konfigurációk. [46]

A belsőégésű motor energiái kétszer kerülnek átalakításra. Először a mechanikai energiából elektromos energiába a generátor által, majd vissza mechanikus energiába a villanymotor által. A többszöri átalakítás nagyobb mennyiségű veszteséget is jelent, így összességében a soros hibrid hajtásláncok hatásfoka alacsonyabb, mint a párhuzamos hibrideké.

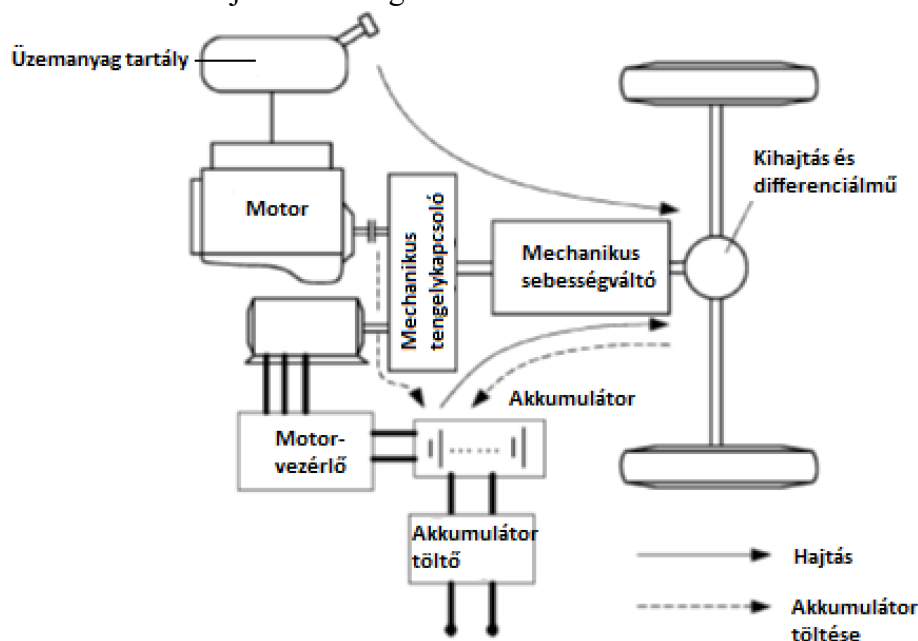
A villanymotort (vagy motorokat), mint egyetlen erőforrást, a korábban tárgyaltak szerint a csúcsteljesítményre kell méretezni. Egy nyolckerekű katonai harcjármű esetén például nem csak a villanymotort kell csúcsteljesítményre méretezni, hanem a belsőégésű motort és a generátort is, mert egy lejtő leküzdéséhez hosszabb időintervallumban szükséges a

csúcsteljesítmény biztosítása. Ennek következtében a hibrid hajtáslánc költségesebb lesz, és nagyobb térfogatot fog elfoglalni, mint egy hagyományos mechanikus hajtáslánc.

A korábban említettek szerint a soros hibrid hajtáslánc egy elektromos jármű, amelyet egy belsőégésű motor és elektromos generátor segít. A hajtáslánc a vezérlőelektronikán és villanymotorokon alapszik. A hibrid hajtás a hagyományos hajtással szerelt járművekhez képest nagy kihívást és változást jelent a járműkialakításban. [46]

3.3.2 Párhuzamos hibrid hajtásláncok

A párhuzamos hibrid hajtás lehetővé teszi a jármű számára a villanymotor, de akár a belsőégésű motor általi hajtás lehetőségét is.



18. ábra: A párhuzamos hibrid hajtáslánc felépítése [49]

A 18. ábrán látható a párhuzamos hibrid hajtáslánc felépítése és energiaáramlása.

Fontos elem a mechanikus tengelykapcsoló, mert ez határozza meg a hajtáslánc lehetséges üzemmódjait. Ennek következtében az üzemmódok száma általában hat, de legtöbbször az eszközkonfigurációtól függ. A hat üzemmód a soros hibridekhez hasonlóan villanymotor, a motor, a kombinált, a teljesítménymegosztás, az állóhelyzeti töltés, illetve a regeneratív fékezés.

A mechanikus tengelykapcsoló (18. ábra) lehet sebesség- vagy nyomatékváltó is egyben. A mechanikus tengelykapcsoló adja át a belsőégésű motor és a villanymotor nyomatékát. [46]

Szögsebesség és nyomaték számításához használt összefüggés [46]:

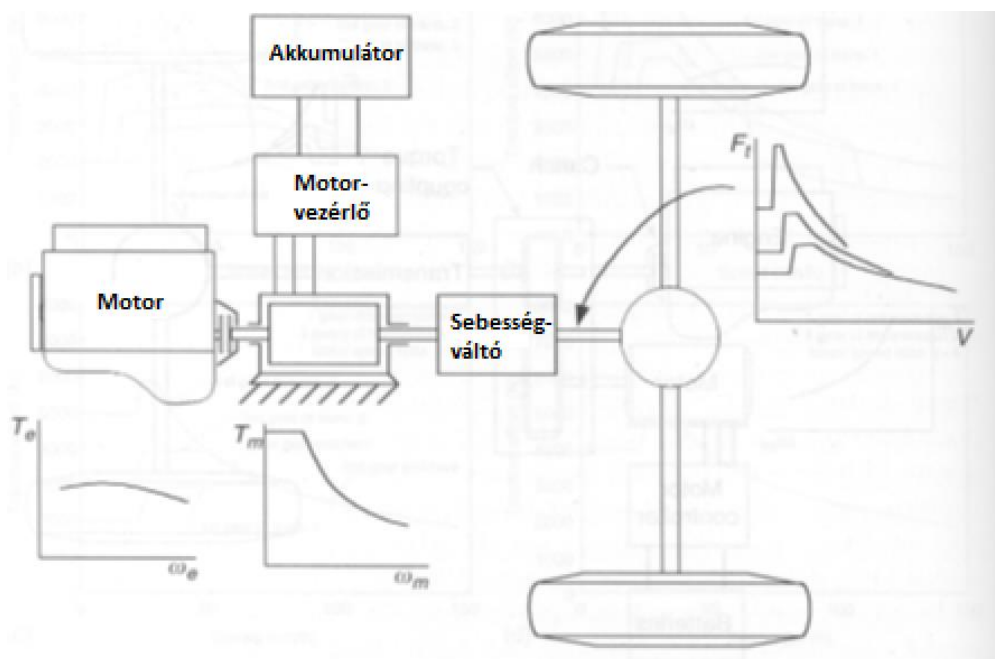
$$T_{Kimenő} = k_{I.} \times T_{Bemenő I.} + k_{II.} \times T_{Bemenő II.} \quad (3.4)$$

$$\omega_{Kimenő} = \frac{\omega_{Bemenő I.}}{k_{I.}} = \frac{\omega_{Bemenő II.}}{k_{II.}} \quad (3.5)$$

Ahol: T = Nyomaték [Nm]

ω = Szögsebesség

k = Áttétel



19. ábra: Egytengelyes nyomatékcsatolású párhuzamos hibrid hajtáslánc [52]

A 19. ábrán egy nyomatékkapcsolós hajtáslánc példája szerepel. Ezen esetben a tengelykapcsoló maga a villanymotor, ahol a forgórész közvetlenül a motorról csatlakozik a hajtótengelyhez. Ezzel a szerkezettel a motor és a váltó mechanikus összekapcsolása miatt nem lehetséges az állóhelyzeti töltés üzemmód, csak ha hozzáadunk egy kuplungot a rendszerhez. [52]

A bolygókeres hajtóművel rendelkező sebességkapcsolós hajtás jellemzőinek számítása[46]:

$$\omega_{Kimenő} = k_{I.} \times \omega_{Bemenő I.} + k_{II.} \times \omega_{Bemenő II.} \quad (3.6)$$

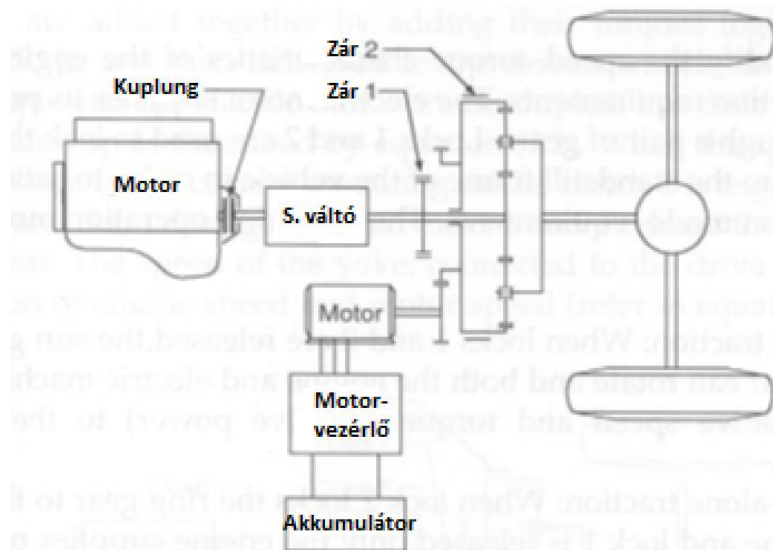
$$T_{Kimenő} = \frac{T_{Bemenő I.}}{k_{I.}} = \frac{T_{Bemenő II.}}{k_{II.}} \quad (3.7)$$

Ahol: T = Nyomaték [Nm]

ω = Szögsebesség

k = Áttétel

A két bemenet iránya és forgási iránya szét kell legyenek választva egymástól, mert ez teszi lehetővé az ötödik üzemmódot (állóhelyzeti töltés). Ebben az esetben a villanymotor a gyűrűs fogaskerékhez kapcsolva generátorként működik, és a napkeréken a motor bemenetével ellentétes irányban forog.



20. ábra: Sebességkapcsolós párhuzamos hibrid hajtáslánc felépítése [53]

A 20. ábrán látható két zár közül az egyes számú csak a villanymotor hajtására és a regeneratív fékezésre kapcsol be. A kettes számú gyűrűs fogaskerék zár csak a belsőégésű motor meghajtásakor működik.

A párhuzamos hibrid hajtáslánc kisebb térfogattal rendelkezik, mint egy soros hibrid, mert ebben az esetben a belsőégésű motor és a villanymotor is nyomatékot ad át a kereknek. Ha a szükséges csúcsteljesítmény csak időszakos, akkor ezzel a két motor

együttes teljesítményének kell megegyezni. A hajtáslánc méretezése azonban komplexebb, mivel korlátozott az akkumulátorban tárolható energia mennyisége.

A párhuzamos hibrid hajtáslánc hatékonyabb a soros hibrideknél, mert a belsőégésű motor által előállított nyomatékot nem alakítják át elektromos energiává, hanem közvetlenül használják fel. A párhuzamos konfiguráció sokkal inkább hasonlít egy belsőégésű motor hajtotta járműhöz, mint a soros hibrid. [46]

A párhuzamos hibrid hajtás rendkívül komplex. A vezérlési algoritmusok bonyolulttá váltak, mert az akkumulátorokhoz többszörös változó paraméterek tartoznak, és az üzemi ciklusok száma is rendkívül kiszélesedett.

Mivel a belsőégésű motor nincs leválasztva a kerekekről, a motor optimális tartományban való üzemeltetése nehézkessé válik, amely a hatásfok romlásához vezet.

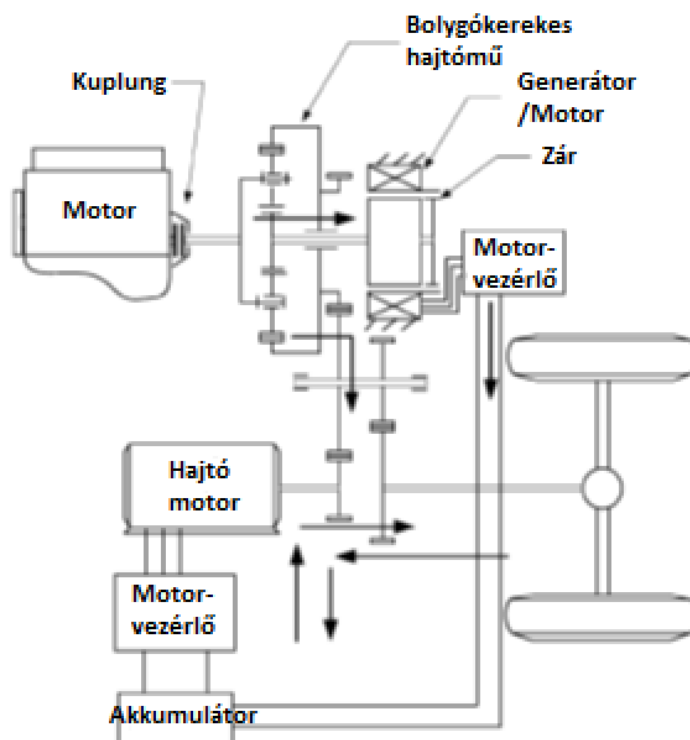
A soros hibrid hajtás járműtervezés terén való rugalmassága a párhuzamos hibrideknél nem megvalósítható, mert szükség van a differenciálművekkel és hajtótengelyekkel rendelkező hagyományos hajtásláncra. A hagyományos hajtáslánc miatt a párhuzamos hibrid járművekhez is szükségesek tartalék alkatrészek, amelyek logisztikai teher szempontjából negatívumnak számítanak.

Az összes típusú hibrid hajtás közös hátrányának tekinthető az akkumulátor tűzveszélyessége. Egy esetleges találat esetén súlyos problémát okozhat a lángra kapó akkumulátor, amelyet műveleti körülmények között nehéz kezelni. [46]

3.3.3 Soros Párhuzamos hibrid hajtásláncok

A soros párhuzamos hajtás nagyon hasonlít a párhuzamos konfigurációhoz. Tartalmaz egy további villanymotort, amely generátorként üzemel. A 21. ábra a híres Toyota Priusban használt soros párhuzamos hibrid hajtást mutatja be. Ebben a hajtásláncban megtalálható egy sebesség- és egy nyomatékkapcsoló is.

A párhuzamos és soros hibridek jó tulajdonságai és előnyei egyesülnek a soros párhuzamos hibridekben. Jelentős hátrány a plusz villanymotor okozta megnövekedett költség, komplexitás és térfogat. [54]



21. ábra: A Toyota Prius soros-párhuzamos hajtáslánca [54]

3.4 Elektromos hajtásláncok harcjárművekben

A hibrid harcjárművek még teszt pályán vannak, ennek ellenére számos ország tervez tisztán elektromos harcjárműveket is. Pont ahogy a hibrid járműveknél, ez esetben is a civil technika sikeressége a kiváltó ok. Az elektromos meghajtás már nem számít új technológiának, mert régóta használják vasúti technikában és újabban a közutakon is. Rengeteg cég foglalkozik a hajtás fejlesztésével. Az új innovációknak köszönhetően a tisztán elektromos hajtások egyre hatékonyabbak és egyre több alkalmazásba terjednek ki, ezért ezen hajtások piaca gyorsan változik. A civil elektromos járművek gyors térhódítása felkeltette az érdeklődést az elektromos hajtáslánc védelmi szektorba való integrálására. A harcjárművek nagymértékű fejlesztését teszik lehetővé, mert az elektromos hajtásláncok rengeteg előnnyel rendelkeznek. A komplex és drága eszközöknél, mint a harckocsi, nem ritka az sem, hogy akár 50 évig üzemeltetik őket, de közben folyamatosan korszerűsítik is. Ezek a járművek korábbi korszakok szüleményei, teljesen más igények és normák szerint építették ki őket. A nagyhatalmak az új

technológiák előnyeinek kihasználására fordítják a hangsúlyt, mert ez lehetővé teszi nekik a mozgékonyság, az automatizálás és a túlélés esélyének növelését.

Az innováció olyan jövőt mutat, melyben a katonai járművek drasztikus átalakuláson mehetnek keresztül. A jelentős tömegű és komplex mechanikus alkatrészeket és hajtást a fejlesztők szívesen cserélnék egyszerűbb és rugalmasabb elektromos rendszerekre.

Az elektromos meghajtás egy fontos alappillére a jövőnek, minden további fejlesztésben meghatározó lesz a jelenléte. Az elektromos hajtásláncok egyrészt a hatékonyság/hatásfok, másrészt a feltörekvő új technológiák működésének lehetővé tétele által játszanak egyre fontosabb szerepet a védelmi célú eszközök fejlesztésében.

Az elektromos hajtás jelentősen megbízhatóbb és hatékonyabb a mechanikus hajtásoknál, illetve jobb vezérlést és a nagyobb nyomaték által javuló mozgékonytságot tesz lehetővé. Tisztán elektromos működése miatt nincs szüksége tüzelőanyagra, ezért ez a fajta logisztika nem szükséges hozzá, ugyanakkor új feladatot ró az üzemeltetőkre az akkumulátorok tábori/harci körülmények közötti töltése és az ehhez szükséges energia biztosítása. A hagyományos belsőégésű motorokat leválthatja a villanymotor, a rögzített mechanikus alkatrészek helyét pedig rugalmas elektromos kábelek vehetik át. Utóbbi esetén a mérnökök jelentősen kevesebb megkötéssel rendelkeznek, ezért a járművek tervezésekor a funkcionalitás teret nyer a hagyományos elrendezések rovására.

Az elektromos meghajtás precíziós vezérlést biztosít, ezzel támogatva a következő generációs intelligens harcjárművek kifejlődését. A belsőégésű motorok és a mechanikus hajtótengelyek villanymotorokra és elektromos kábelekre való cseréje lehetővé teszi a meghajtás, az érzékelők, a vezérlők, a fedélzeti számítógépek, a kommunikációs és célzó egységek egyetlen rendszerbe való integrálását. Az imént felsorolt egységek egy rendszerbe rendezéséért az elektromos hajtás felel, így ez az autonóm járművek kifejlődésének legjobb bázisa.

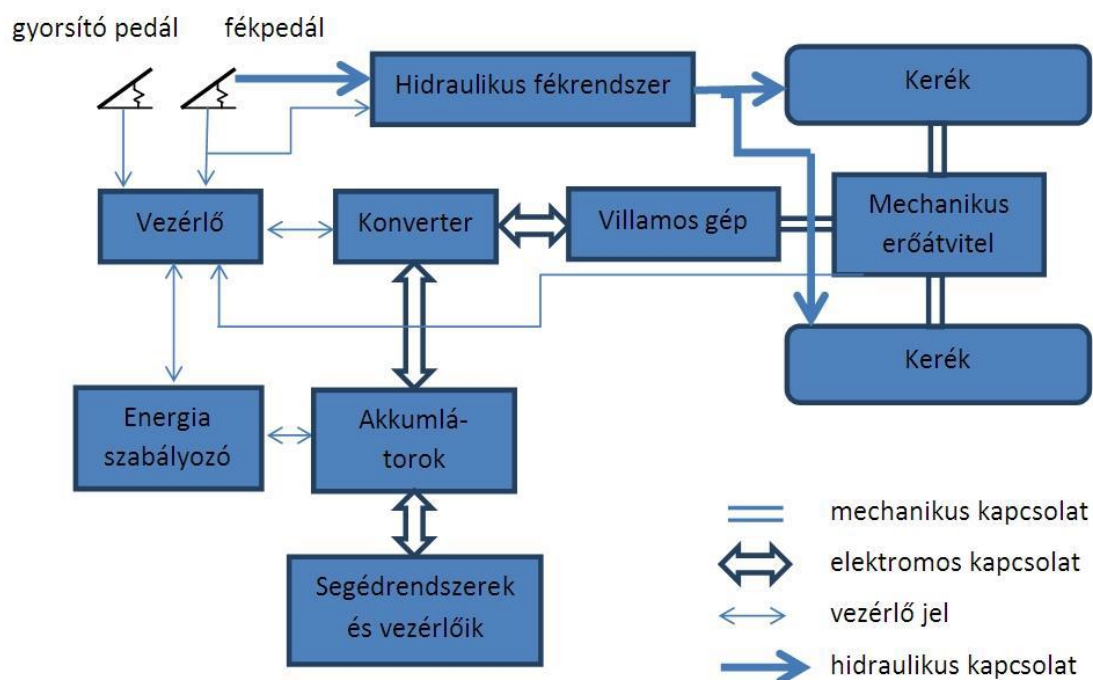
A jövő háborúinak technológiáját nehéz megjósolni, de nagy valószínűséggel az elektromos hajtás jelentős szerepet fog vállalni bennük. A jelenlegi nézetek szerint a hadseregek egyik priorizált célja a robotok, a drónok és az autonóm járművek továbbfejlesztése és hadba állítása. Az Amerikai Egyesült Államok és az Egyesült Királyság az autonóm járművek különböző környezetekben való alkalmazását akarják lehetővé tenni. A páncélos harcjárművek fejlesztése egy alapkőnek tekinthető a jövőre nézve.

A jelenlegi harcjárművek kialakítása több problémával néz szembe. A védettségi igények növekedése indokolja a páncélzat fejlesztését is, amit a korábban tárgyaltak szerint már nem lehet fejleszteni, mert túl nehéz és nagy méretűek lennének, ezért jelentősen csökkenne a mozgékonyságuk. A kerekeket hajtó mechanikus tengely korlátozza a járművek alsó páncélzatának védettségi szintjét is, így a harcjármű alatt bekövetkező robbanások mozgásképtelenné tehetik a szerkezetet. A jelenlegi technika alig alkalmas a negyedik ipari forradalom technológiáira, de főként az autonóm működésre. A szenzorok számának megnövelése újabb elektromos terhelést jelentene, amely a mechanikus és elektromos platformok között kommunikációs protokollt igényel. A két platform nem képes az együttműködésre, mert nem ez volt a tervezésük célja.

Ugyan háború esetén nem elsődleges szempont a környezetvédelem, de a tüzelőanyag fogyasztása és annak korlátozott mennyiségben való rendelkezésre állása annál inkább. A geopolitikai bizonytalanság és a költségek miatt a tüzelőanyagok hosszú távon ki vannak téve az áremelkedésnek, miközben a tiszta elektromos energia előállításának és tárolásának technológiája folyamatosan fejlődik. Az üzemanyagok szállítása komoly logisztikai terhelést okoz és az ezt szállító utánpótlás láncok minden esetben az ellenséges támadás kiemelt célpontjai. Ezekre a problémákra rövidebb távon a hibridek, hosszú távon pedig a megújuló energiaforrások vagy az elektromos meghajtásra való teljes átállás kínál megoldást. [55]

3.4.1 Elektromos hajtásláncok felépítése személyautókban

A korai elektromos autóknál a belsőégésű motort villanymotorra, az üzemanyagtankot pedig akkumulátorra cserélték, de ezek a módosítások nem használták ki az elektromotor összes kedvező tulajdonságát. Manapság az elektromos járművek szerkezeti kialakítása már nagy mértékben eltérő irányban fejlődik. A kialakítás legtöbbször a villanymotortól függ, ezért a továbbiakban általános kialakításról beszélek. Az elektromos meghajtás három alrendszere a hajtáslánc, az energiaforrás és a segédberendezések. A hajtáslánc alkotó elemei a mechanikus hajtómű, a villanymotor, az átalakító egység (konverter) és a vezérlőegység.[56]

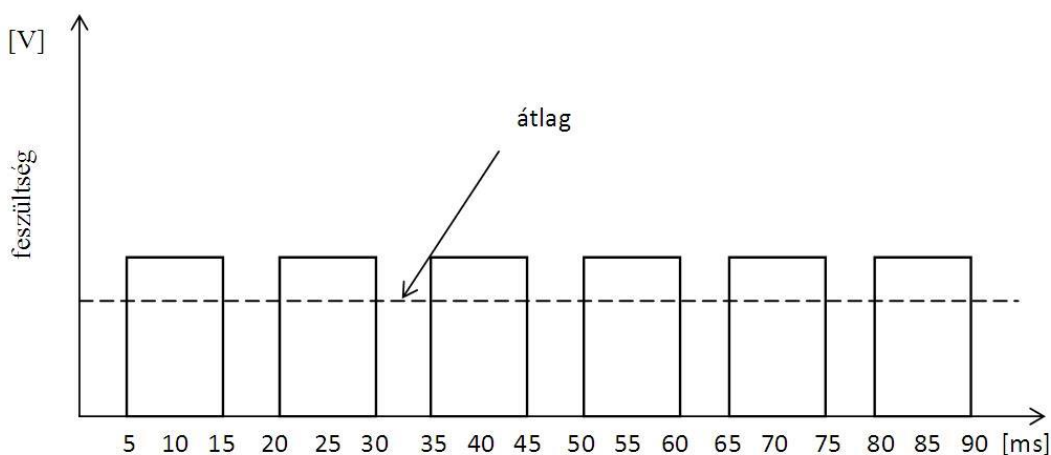


22. ábra: Elektromos hajtású jármű általános felépítése [56]

A gépjárművezető által működtetett pedálról kap jelet a vezérlőegység, amely ez alapján vezérli a jármű hajtására szolgáló villamos gép és az akkumulátor között áramló elektromos energia irányát és nagyságát. A korábbiakban tárgyalt regeneratív fékezés és a gyorsítás a 22. ábrán látható pedál segítségével megy végbe. A pedál lenyomása gyorsulást, míg felengedése a járműbe integrált üzemi féket nélkülözve lassítást eredményez. A pedál felengedésével a villanymotor generátorként működik és az akkumulátorban elektromos energiaként tárolja el a jármű felesleges mozgási energiáját. Az energiaszabályozó egység az előbbi példában, illetve a jármű akkumulátorának töltésekor kap szerepet. Ugyanakkor a komolyabb fékhatás elérése érdekében az elektromos járművek is fel vannak szerelve hagyományos, hidraulikus működtetésű üzemi fékberendezéssel is.

Korábban az akkumulátor terhelés közel állandó volt, mert potenciométerrel szabályozták a szükséges elektromos energia mennyiségét, amely tekercsein a felesleges teljesítmény hővé vált. Ez a megoldás alacsony hatásfokot eredményezett. Korszerű, egyenáramú motorokkal ellátott elektromos járműveknél a villamos gép teljesítményét impulzusszélesség modulációval szabályozzák. A motor kapocsfeszültségét a kapcsoló

üzemben működő tranzisztor be és kikapcsolási idejének arányával lehet változtatni, ezért a vezérlés könnyen elvégezhető.[56]



23.ábra: Az impulzusszélesség moduláció [56]

A 23. ábrán az impulzusszélesség moduláció elve tekinthető meg. Szaggatott vonal jelöli a motor tápfeszültségét, vagyis az átlagos tápfeszültséget. Ha az impulzusok ábrán látható 10 ms-os szélességét növeljük, akkor nő a teljesítmény és az átlagfeszültség, fordított esetben pedig csökken. Az ábrán bemutatott eset csak a feszültségcsökkenést engedi, de léteznek különféle kapcsolások, amelyek feszültségnövelő hatásúak.

A jármű fő akkumulátorai által biztosított egyenfeszültség átalakítását a konverter egység végzi. Az elektromos járművekben az egyenáramú helyett váltóáramú villamos gépek is kerülhetnek, mivel számos tulajdonságuk kedvezőbb azoknál. Ilyenkor az inverter feladata az egyenfeszültség váltakozó feszültségre való átalakítása. Ha az egyenfeszültség más egyenfeszültségre való alakítása a cél, például a segédberendezések vagy a villanymotor igénye szerint, azt a konverter egység végzi.

Az elektromos járművek meghajtásában leggyakrabban alkalmazott villamos gépek az egyenáramú motor, az aszinkron és- a szinkron motor, a permanens mágneses forgórészű, kefe nélküli egyenáramú (BLDC) motor, illetve a kapcsolt reluktancia motor.

A mechanikus erőátvitel elektromos autókban való használata függ a villanymotortól és annak elhelyezésétől is. Kerékagya épített motorok esetén a korábban tárgyalt hibridekhez hasonlóan elhagyható a teljes mechanikus hajtómű, mert ezesetben közvetlenül a kereket hajtja meg a villamos gép. Egyetlen motor alkalmazása esetén mindenképpen szükséges az erő mechanikus átvitele és elosztása.[56]

3.4.2 Elektromos hajtások előnyei harcjárművekben

Az elektromos hajtás mind a belsőégésű motorral, mind a hibrid hajtással szemben jelentős előnyökkel rendelkezik. A következőkben ezeket az előnyöket fogom bemutatni.

Ezeknek a harcjárműveknek az egyetlen erőforrásuk a villanymotor, tehát már nem található bennük belsőégésű motor. Ennek köszönhetően csak tisztán elektromos módban képesek üzemelni. Az állóhelyzeti áramellátás a hibridekhez hasonlóan az elektromos hajtással rendelkező harcjárművekben is nagy előnyt jelent. Az előrelépés a funkció rendelkezésre állásának időtartama, ugyanis a tisztán elektromos hajtások a nagyobb akkumulátor méretnek köszönhetően a hibrideknél is sokkal tovább lesznek képesek fenntartani ezt az állapotot. Az elektromos hajtás jellemzője a még a csendes működés, így a jármű zajkibocsátása jelentősen alacsony. A hőerőgépen alapuló motor kiváltásának köszönhetően az ilyen harcjárművek jelentős hőlenyomattal nem rendelkeznek. Az akkumulátor technika jelenlegi állása ugyanakkor egyelőre nem biztosítja a katonai járműveknek a megfelelő hatótávolságot.

A hibridekhez hasonlóan a tisztán elektromos hajtásláncok is a civil szférában szereztek maguknak hírnevet, amely leginkább a villanymotor gyors nyomatékleadásának, ezáltal a jelentősen magasabb indítóképességnek köszönhető. A harcjárművek három fő tulajdonsága közül leginkább a mozgékonyság javításában vállalhatnak szerepet. Sokkal gyorsabb manőverezhetőség és menetdinamika jellemzi majd a harcjárműveket, ha a villamos energia tárolás technikája elér erre a szintre. A benzinmotorok $\leq 30\%$ -os, illetve a dízelmotorok $\leq 40\%$ -os hatásfokához képest a villanymotorok 90% fölötti értékkel bírnak, ezáltal sokkal energiahatékonyabb közlekedés válik lehetővé.

Az elektromos hajtások már nem rendelkeznek több bonyolult alkatrésszel, mint a belsőégésű motoros társaik. Ennek köszönhetően jelentősen kisebb a meghibásodási lehetőség, amely nagyban növeli a megbízhatóságot, ami a harceszközöknél alapvető fontosságú.

A villanymotor kevesebb mozgó alkatrésszel is rendelkezik, ezáltal a szervízigénye minimális. Nem igényel semmilyen jellegű kenőanyagot, így egy szinte gondozásmentes motorként gondolhatunk rá.

3.4.3 Elektromos hajtások hátrányai harcjárművekben

Az elektromos hajtás számos pozitív tulajdonsága ellenére rendelkezik negatívakkal is, amelyek többnyire az akkumulátorok jelenlegi fejlettségi szintjének tudhatók be. Az elektromos járművek töltését egy külső forrásból kell véghez vinni, amire a hadseregeknek egyelőre nincs megfelelő eszköze. A következőkben a harcjárművek villanyosításának hátrányairól lesz szó, a technikai kihívásokat figyelembe véve.

A ma használatos akkumulátorok energiasűrűsége igen kedvezőtlen. Extrém hideg hőmérsékleten még tovább romlik az eleve alacsony érték. A gázolaj energiasűrűsége 10,700 Wh/l, a benziné pedig 9700 Wh/l. A hagyományos tüzelőanyagokhoz képest rendkívül alacsony energiasűrűséggel bírnak a legjobb lítium-ion akkumulátorok is, amelyek értéke 250-től 670 Wh/l-es mértékig terjed. Ez az oka az akkumulátorok jelentős mennyiségének és tömegének a különböző villamos hajtású járművekben. Új technológia kialakításáig a villamos hajtás nem tud jelentős mértékben fejlődni, mert nagy tömeg és költség jellemzi az ezzel a hajtáslánccal szerelt járműveket.

A belsőégésű motorok nehézkes hidegindítás után egészen az üzemanyag kifogyásáig folyamatosan stabilan képesek üzemelni. Sajnos ez a tisztán elektromos járművekről nem mondható el, mert az akkumulátorok hőmérséklettől való függése befolyásolja a harcjármű hatótávolságát. A mai elektromos járművekben használt lítium ion akkumulátoroknak -20 °C fokos hőmérséklet környékén jelentős a teljesítménysűrűség romlása is. Ez azért következik be, mert az extrém hideg időjárásban az akkumulátor vegyi folyamatai lelassulnak, a belső ellenállása nagy mértékben megnő, ezért alig képes energialeadásra, ráadásul ilyenkor még tölteni sem lehet. Az akkumulátor ugyanis valójában nem elektromos, hanem vegyi energiát tárol, így a hőmérséklet az elektrokémiai folyamat hatásfokát, illetve lefolyásának időtartamát jelentősen befolyásolja.

A leadott teljesítmény ezáltal csökkenni fog, ami a mozgékonyság rovására megy.

Ennek a problémának egyik lehetséges megoldása egy olyan akkumulátor használata, amely egy fűtőszállal szabályozza a saját hőmérsékletét. Ez a megoldás magából az akkumulátorból veszi a szükséges energiát, így csökkenti a maximális hatótávolságot, de ez extrém hidegben egyébként is drasztikusan csökken.

A lítium-ferrofoszfát akkumulátorok szabadtéri használatra lettek tervezve. Kisebb energiasűrűséggel rendelkeznek, mint a lítium-ionos akkumulátorok, de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten is képesek jelentős teljesítmény leadására, így ezek alkalmazása rövidtávú megoldás lehet.

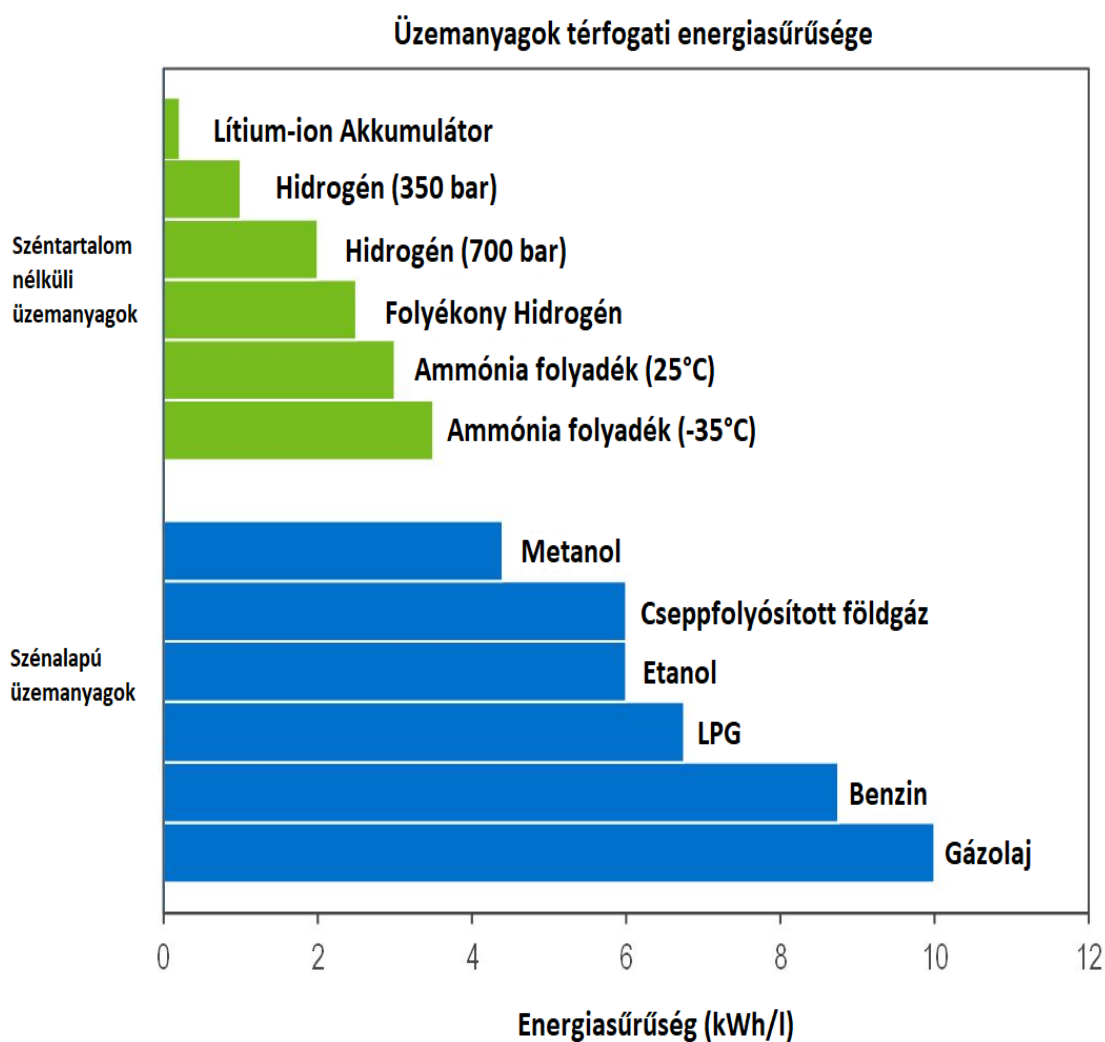
Különféle országok hadereje jelenleg erre kialakított teszt pályákon teszteli a hibrid harcjárműveket, de ma még tisztán elektromos hajtáslánccal szerelt harcjármű létezéséről nincs publikus információ. Az elektromos járművek töltőpontokat igényelnek a töltéshez, ezek hálózata jelenleg még a személyautók esetében sincs tökéletesre kiépítve. Jelentős anyagi háttér szükséges ezek megalkotásához, illetve hordozhatóvá tételéhez. Egy esetleges mobil katonai töltőpont létrehozása időigényes és az ellenfél számára potenciális célpontot is jelent hadviselés terén. Ideiglenes megoldásnak számít a dízelaggregátor használata, amely hordozható áramfejlesztőként segítheti a jövő tisztán elektromos harcjárműveit. [57]

3.5 Hagyományos és alternatív hajtásláncok összehasonlítása

A legelterjedtebb hajtáslánc forma napjainkban hagyományos hőerőgépen alapul. Ennek oka az 1900-as évek elején egyeduralkodóvá vált belsőégésű motor. A korai villanyautók nagyon kicsi távolság megtételére voltak képesek, a gőzhajtású járművek pedig 40-60 kilométerenként igényeltek tüzelőanyagot és vizet.

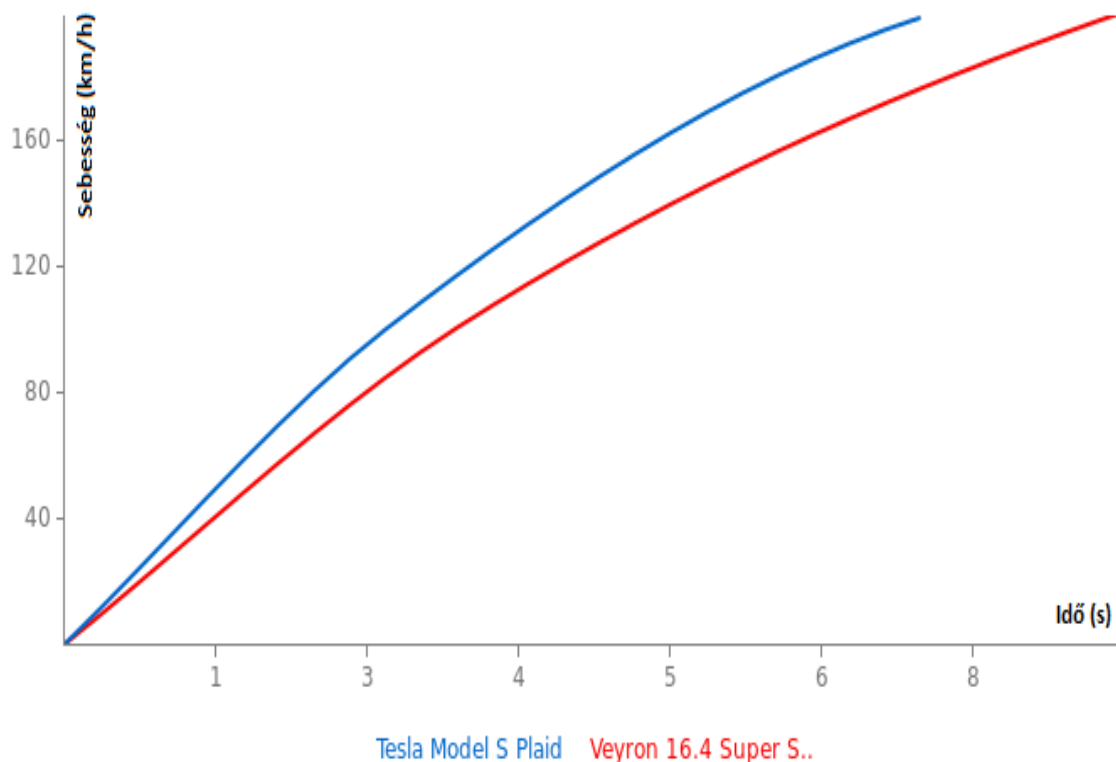
Az alternatív hajtások nehezen fejlődnek, mert az akkumulátorok fejlettségi foka visszatartja őket a nagyobb áttörés elérésétől. Az alacsony energiasűrűség az akkumulátorokat, ezáltal legfőképp a tisztán elektromos hajtással szerelt járműveket érinti súlyosan, miközben a belsőégésű motoros harcjárművek tüzelőanyaga remek értékekkel bír. A két jelenleg elérhető alternatív hajtáslánc közül a hibrid hajtás ráépül a belsőégésű motorra, megtartva ezzel a magas energiasűrűséget és kihasználva az elektromos rásegítés előnyeit.

A 24. ábrán látható adatok szerint az elektromos hajtások üzemanyaga meg sem közelíti a hagyományos tüzelőanyagok energiasűrűségi értékét. Az elektromos hajtásláncok rendszeresítéséhez fontos lenne javítani az eltéréseken.



24. ábra: Különféle üzemanyagok energiasűrűségi értékei [58]

Menetdinamikai szempontból a belsőégésű motorral szerelt harcjárművek hatásfokát már nem lehet érdemben javítani. A hibrid technika rövid távú megoldás, mert a belsőégésű motorra épül, elektromos rásegítéssel kiegészítve. A katonai járművek ennek köszönhetően erőteljesebb gyorsulásra, és alacsonyabb tüzelőanyag fogyasztásra képesek. Az elektromos hajtások egyelőre csak civil járművekben találhatók meg, de idővel a harcjárművekben is helyet fognak kapni.



25. ábra: Két felső kategóriás sportautó gyorsulási diagramja [59]

A 25. ábrán két hasonló teljesítményű, de különböző hajtáslánccal szerelt sportautó gyorsulását követhetjük nyomon. A kék vonal a Tesla elektromos autóját, míg a piros a Bugatti belsőégésű motoros autójának gyorsulását mutatja. Szemmel látható a Tesla előnye a Bugattival szemben. Ez a villanymotornak köszönhető, mert alacsony fordulatszámtól kezdve képes leadni nyomatékának száz százalékát, mindezt egy belsőégésű motoroknál jóval magasabb, 90 százalék fölötti hatásfok mellett. Ha a maximális sebességet vesszük alapnak, akkor azt a belsőégésű motorral szerelt autó képes tovább fenntartani. Harcjárművek esetében a gyorsulás fontosabb tényező a maximális sebességnél, ezért indokolt az idővel elektromos hajtásra való átállás. Jelentős rugalmasságot biztosít a villamos hajtás a mérnököknek, mert a bonyolult mechanikus szerkezetek helyett elektromos vezetékek viszik az energiát a villanymotorokba, ezáltal a tervezés is leegyszerűsödik.

A harcjárművek áramellátása nagyon fontos tényező, mert pl. az aktív védelmi rendszer, illetve a kommunikációs rendszerek is függenek tőle. A belsőégésű motorral szerelt harcjárművek nagy problémája az álló helyzetben történő áramellátás, mert leállított hajtómű mellett csak nagyon rövid ideig képesek működtetni a fedélzeti villamos berendezéseket. A hibrid harcjárművek a nagyobb méretű akkumulátoruk miatt hosszabb ideig, az elektromos harcjárművek pedig az üzemelés teljes ideje alatt képesek lesznek stabil áramellátást biztosítani.

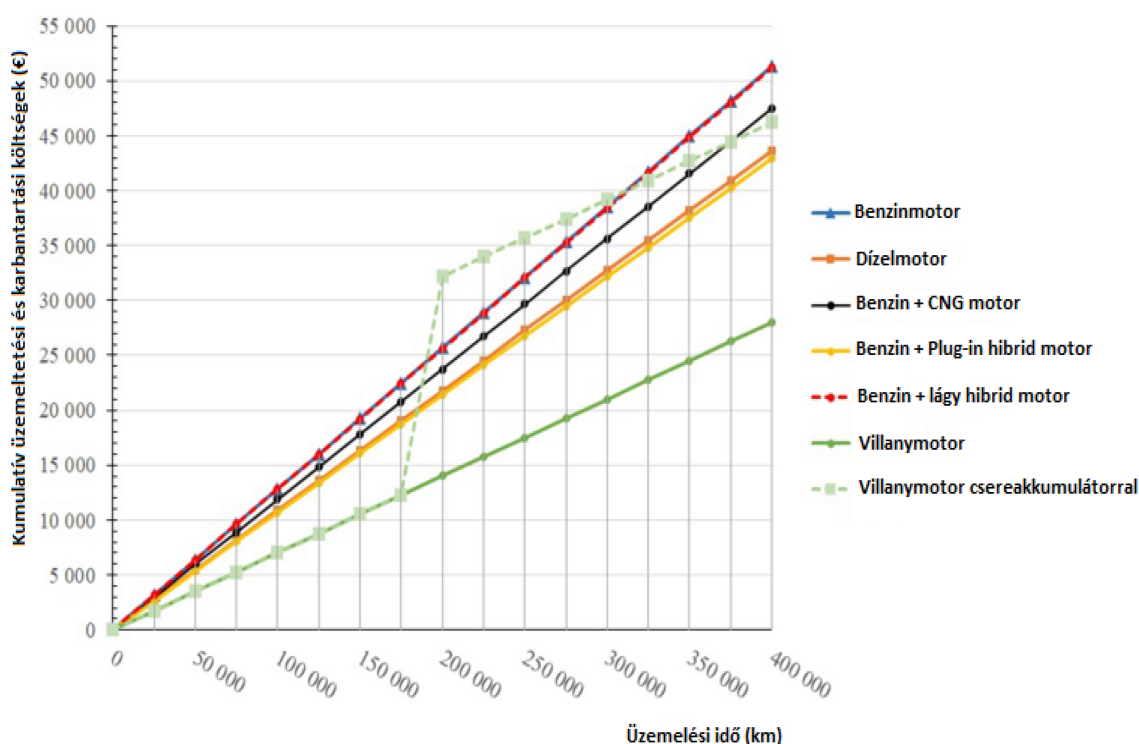


26. ábra: Az októberben debütált AbramsX hibrid harckocsi [60]

A 26. ábrán látható az M1 Abrams gázturbinával szerelt harckocsi utódja, az Abrams X. Az Abrams X egy dízel hibrid, amely jelentősen könnyebb és alacsonyabb (adatok szerint 50%-kal) üzemanyag fogyasztással bír elődjénél. Kisebb kezelő személyzetet igényel, ráadásul mesterséges intelligenciát alkalmazó rendszerek is helyet kaptak benne. Az Abrams X a következő generációs hibrid harcjármű, amelyben szintén fontos tényező az áramellátás, azon belül is a silent watch üzemmód.

A silent watch funkcióra a belsőégésű motoros harcjárművek az akkumulátor mérete miatt minimális ideig képesek, a csendes közlekedésre pedig a magas zajkibocsátással járó motorjaik miatt egyáltalán nem. A hibridek képesek mindkettőre, a silent watch funkcióra nagyobb időintervallumban mint a belsőégésű motoros harcjárművek.

A belsőégésű motorral rendelkező harcjárművek komplex szerkezete magas meghibásodási kockázatot rejt. A magas kockázat miatt ezeknek a harcjárműveknek a logisztikai terhe magasabb, mert a pótalkatrészeket is szállítani kell. A hibrid hajtású harcjárművek szerkezetükből adódóan képesek lehetnek egyes mechanikai alkatrészeket elhagyni (hajtótengely), amely csökkent ezen a kockázaton, ezáltal megbízhatóbbak. A villamos hajtásra jellemző a minimális meghibásodási lehetőség, illetve az alacsony LCC, azaz életciklus költség, amely a kevés mozgó alkatrésznek köszönhető. A villanymotorok csapágyazása 1.000.000 kilométer után esedékes, amely egy katonai jármű esetén jelentősen csökkenti a karbantartás költségét és növeli a két karbantartás közti időintervallumot.



27. ábra: Különböző járműhajtások életciklus költsége [61]

A 27. ábráról az életciklus költsége olvasható le különböző járműhajtások esetében, amely szintén indokoltá teszi a harcjárművek elektromos hajtásra való átállását.

A belsőégésű motoros harcjárművek sokkal jobban észlelhetők mint a hibrid vagy (a jövőben) elektromos társaik. Ez a hőlenyomatnak köszönhető, amely egy elektromos jármű esetében minimális, egy hibrid esetén szakaszos, egy belsőégésű motorral szerelt esetén pedig folyamatosan fennáll. A jövőben a harcjárművek lopakodási képessége nagyban függ a felderíthetőségtől, amely hőkamerával is történhet. Azok a járművek lesznek előnyben, amelyek a nagy hőhatást kibocsátó belsőégésű motor helyett az alternatív meghajtási módokat választják. A minimális hőlenyomat az elektromos hajtással érhető el, amihez a megfelelő erőforrást napjainkban is folyamatosan fejlesztik.

4. Összefoglalás

Az alternatív hajtásláncú harcjárműveknek feltehetően a következő években lesz nagyobb alkalmazási potenciálja. A technika jelenlegi állása a hibrid hajtások harcjárművekbe való integrálását lehetővé teszi, mivel a villamos hajtáslánc összességében az akkumulátorok miatt még nem érte el a szükséges fejlettségi szintet.

A hibrid hajtásokban megtalálható a belsőégésű motor, így egy kiforrott technikára épül az elektromos rásegítés, örökölve az üzembiztonságot. A harcjárművek hibrid hajtásai véleményem szerint a civil szféra hibrid hajtásai nyomán fognak fejlődni. A legelső ismert hibrid harcjármű a nemrégiben debütált lágy hibrid (mint az Abrams X) harckocsi, de ezt követi majd a full hibrid és valószínűleg a plug-in hibrid is. A jelenleg tesztelés alatt álló hibrid harcjárművek a civil hibridekhez hasonlóan alacsonyabb tüzelőanyag fogyasztással rendelkeznek, ami a költségek csökkentésén túl az üzemeltetés biztonságát is javítja.

Mivel a harcjárművek töltése a jelenlegi technika mellett sok időt igényel, ezért meglátásom szerint a full hibrid, illetve a hatótáv növelt (REX) technika nyújthat megoldást a tisztán elektromos harcjárművek megjelenéséig.

A villamos hajtással szerelt harcjárműveket főként a töltéshez szükséges infrastruktúra és az akkumulátorok fejlettségi foka akadályozza meg a térhódításban. A katonai töltőpontoknak a mobilitás mellett nagy teljesítménnyel is kell rendelkezniük, mert a harcjárművekbe feltehetően nagy méretű és kapacitású akkumulátorok fognak kerülni a nagy tömeg és méret miatt.

Az alternatív hajtások elősegítik a harcéri mozgékonytságot, egyszerűbbé teszik az áramellátást, és újfajta alkalmazásokat tesznek lehetővé. A hajtótengely kiváltásával megnövelik a túlélés esélyét és a harcjármű aknák elleni védettségét is. A hőlenyomat és zajkibocsátás megszűnésének köszönhetően a járművek nehezebben lesznek észlelhetőek.

Elképzelésem szerint rövidtávon a hibrid harcjárművek jelentősen át fogják alakítani a modern hadviselést. Hosszú távon a teljesen elektromos harcjárművek csak a megfelelő akkumulátor fejlettség elérése esetén kerülhetnek használatba, amely a jelenleg közlekedő civil autók fejlettségét alapul véve még éveket vehet igénybe.

5. Summary

Combat vehicles with alternative drivetrains are expected to have greater application potential in the coming years. The current state of technology allows hybrid drives to be integrated into combat vehicles, but the electric drive chain has not yet reached the necessary level of development due to the batteries.

The internal combustion engine is found in hybrid drives, so the electric assistance is based on a developed, well-understood technique, inheriting operational safety. In my opinion, the hybrid drives of combat vehicles will develop through the hybrid drives of the civil sphere. The very first hybrid combat vehicle may be a mild hybrid (like the Abrams X tank), the next full hybrid, and the subsequent plug-in hybrid in the future. The hybrid combat vehicles that are currently being tested have lower fuel consumption, similar to civilian hybrids, which not only reduces costs but also improves operational safety.

Since charging combat vehicles requires a lot of time in addition to the current technology, in my opinion, full-hybrid and Range Extender technology can provide a solution until the development of purely electric combat vehicles.

Combat vehicles with electric drive are mainly prevented from being successful by the infrastructure required for charging and the development level of batteries. The charging stations should have high capacity, because the combat vehicles presumably have large batteries and capacity due to their mass and size.

Alternative drives facilitate battlefield mobility, simplify power supply, and enable new strategic plans. By replacing the drive shaft, the chances of survival and the protection of the combat vehicle against mines are increased. Due to the elimination of thermal imprint and noise emission, vehicles will be more difficult to detect.

In my opinion, in the short term, hybrid combat vehicles will significantly transform modern warfare. In the long term, fully electric combat vehicles can only be used if the appropriate battery development is achieved, which may take years based on the development of civilian cars currently in use.

6. Irodalomjegyzék

- [1] „Az I. világháború egyik legvéresebb ütközetében kerültek bevetésre az első tankok is”, *Múlt-kor történelmi magazin*, 2021. szeptember 15. <https://mult-kor.hu/tank-fedonevvel-kerultek-bevetesre-az-első-harckocsik-az-i-vilaghaboru-egyik-legveresebb-utkozeteben-20210915> (elérés 2022. november 14.).
- [2] S. User, „T34 – a dízel motor történelem egyik legendája”. <https://royaldiesel.hu/dizel-blog/item/46-t34-a-dizel-motor-toertenelem-egyik-legendaja> (elérés 2022. november 14.).
- [3] Creative35, „A harckocsik passzív védelmének fejlődéstörténete (by Creative35)”, *World of Tanks Magyar Portál*. <https://www.wotinfo.hu/index.php/item/4827-a-harckocsik-passziv-vedelmenek-fejlodestortenete-by-creative35> (elérés 2022. november 14.).
- [4] Farkas Z., „Lánctalpas futóművek III. rész”, *Haditechnika*, köt. 52, sz. 3, o. 55–60, 2018, doi: 10.23713/HT.52.1.12.
- [5] J. Gyarmati, G. Gávay, és E. Hegedűs, „Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó”, sz. 3., o. 113–126, 2022, doi: 10.32562/mkk.2022.3.7.
- [6] „Bonhams : 1896 ARMSTRONG PHAETON GASOLINE ELECTRIC HYBRID”. <https://www.bonhams.com/auctions/23133/lot/152/> (elérés 2022. november 14.).
- [7] „Elektromos autó - definíció és fajtái”, *Villanyautósok*. <https://villanyautosok.hu/elektromos-auto/> (elérés 2022. november 14.).
- [8] „Szuperkondenzátor, leírás, működés elve, benefits for the car's purchase price with your own hands”, *Sciencealpha*, 2019. október 3. <https://sciencealpha.com/supercapacitor-description-principle-of-operation-benefits-for-the-cars-purchase-price-with-your-own-hands/> (elérés 2022. november 14.).
- [9] Mátyás K., „Oké, hogy hibrid, de mi hajtja?”, *Autónavigátor.hu*. <https://www.autonavigator.hu/cikkek/oke-hogy-hibrid-de-milyen-hibrid/> (elérés 2022. november 14.).
- [10] T. Denton, *Electric and hybrid vehicles*, 2nd edition. Abingdon, Oxon ; New York, NY: Routledge, 2020.
- [11] elektromosauto.hu, „Mild-, enyhe-, lágy hibrid. Mi ez?”, *elektromosauto.hu*, 2020. július 28. <https://elektromosauto.hu/mild-enyhe-lagy-hibrid-mi-ez/> (elérés 2022. november 14.).
- [12] „Exploring the 48 volt mild hybrid system”, *Latvia / Estonia / Lithuania*, 2020. május 14. <https://www.autodata-group.com/baltics/news/industry/48-volt-mild-hybrid-system/> (elérés 2022. november 14.).
- [13] „Hybrid kisokos”, *Style Magazin*. <https://www.motorhang.hu/hir/Hybrid-kisokos/2973/> (elérés 2022. november 14.).
- [14] A. Elgowainy, Szerk., *Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*. New York, NY: Springer New York, 2021. doi: 10.1007/978-1-0716-1492-1.
- [15] „Mild, full, plug-in - avagy hibrid kisokos kezdőknek | Autoszektor”. <https://www.autoszektor.hu/hu/content/mild-full-plug-avagy-hibrid-kisokos-kezdoknek> (elérés 2022. november 14.).

- [16] „Toyota hibrid modellek | A természetes választás”, *Toyota HU*.
<https://www.toyota.hu/elektifikalt/hybrid> (elérés 2022. november 14.).
- [17] „Alternative Fuels Data Center: How Do Hybrid Electric Cars Work?”
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work> (elérés 2022. november 20.).
- [18] Rónay P., „Mik az elektromos autó előnyei és hátrányai?”, *xForest*, 2021. szeptember 16. <https://xforest.hu/elektromos-auto-elonyei-elektromos-auto-hatranyai/> (elérés 2022. november 14.).
- [19] „Ezek 2021 legjobb plug-in hibridjei”, *Das Blog - A használt autós blog*.
https://dasblog.blog.hu/2021/06/28/ezek_2021_legjobb_plug-in_hibridjei (elérés 2022. november 14.).
- [20] „Plug-in hibrid elektromos autó| Toyota”.
<https://www.toyota.hu/elektifikalt/plug-in-hibrid-elektromos> (elérés 2022. november 14.).
- [21] „Figure 2. Range-extended electric vehicle (REEV) drive train...”, *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Range-extended-electric-vehicle-REEV-drive-train-configuration_fig2_306475793 (elérés 2022. november 20.).
- [22] „What is a range extender hybrid?”, *evo*.
<https://www.evo.co.uk/technology/202558/what-is-a-hybrid-hybrid-tech-and-how-its-used-in-performance-cars/range-extender-hybrids> (elérés 2022. november 14.).
- [23] „Fedezze fel az üzemanyagcellás elektromos autót! | Toyota Buda | Toyota Halásztelek”. <https://toyotabuda.hu/fedezze-fel-az-uzemanyagcellas-elektromos-autot/> (elérés 2022. november 14.).
- [24] Ocskay I. és Végvári Z., „A hidrogén üzemanyagcellák katonai célú felhasználásának lehetőségei”, *Haditechnika*, köt. 53, sz. 2, o. 14–19, 2019, doi: 10.23713/HT.53.2.03.
- [25] „Mobiliti”. <https://www.mobiliti.hu/emobilitas/elektromobilitas/elektromos-autok-fajtai> (elérés 2022. november 14.).
- [26] „Alternative Fuels Data Center: How Do All-Electric Cars Work?”
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> (elérés 2022. november 14.).
- [27] „Akkumulátor: új fejlesztések a láthatáron”, *EuroFleet*, 2022. június 10.
<https://www.eurofleet.hu/magazin-hirek/akkumulator-uj-fejlesztések-a-lathataron> (elérés 2022. november 14.).
- [28] „Výroba a renovace baterií”, *Akupower.cz - elektrické skútry, koloběžky a hoverboardy*. <http://www.akupower.cz/vyroba-renovace-baterii/> (elérés 2022. november 14.).
- [29] „Meglepő anyagból készülhet az elektromos autók tartósabb akkumulátora”, *Zoldpalya*. <https://www.zoldpalya.hu/uton/meglepo-anyagbol-keszulhet-az-elektromos-autok-tartosabb-akkumulatora-305091.html> (elérés 2022. november 14.).
- [30] Laserax, „Electric Vehicle Battery Cells Explained”, *Laserax*, 2022. május 6.
<http://www.laserax.com/blog/ev-battery-cell-types> (elérés 2022. november 14.).
- [31] „Li NMC akkumulátor: Jellemzők, előnyök és hátrányok”.
<https://technoluxpro.com/hu/akkumulatory/batarei/li-nmc.html> (elérés 2022. november 14.).

- [32] „Ni-Cd, Ni-MH és a Li-ion akkumulátorok közötti különbségek – akkuk.hu Magazin”. <https://www.akkuk.hu/magazin/index.php/2017/03/24/ni-cd-ni-mh-es-a-li-ion-akkumulatorok-kozotti-kulonbsegek/> (elérés 2022. november 14.).
- [33] Péter M., „Akkumulátor technológia: nikkal alapú akkumulátorok”, *Villanyautósok*, 2018. május 23. <https://villanyautosok.hu/2018/05/23/akkumulator-technologia-nikkel-alapu-akkumulatorok/> (elérés 2022. november 14.).
- [34] „14 Akkumulátorok (Műszaki Katonai Közlöny 2016_2).pdf”.
- [35] „Lítium-kén akkumulátorokról röviden - Laptopakkumulator.eu”. <https://laptopakkumulator.eu/litium-ken-akkumulatorokrol-roviden> (elérés 2022. november 14.).
- [36] Péter M., „Akkumulátor technológia: savas ólomakkumulátorok”, *Villanyautósok*, 2018. május 16. <https://villanyautosok.hu/2018/05/16/akkumulator-technologia-savas-olomakkumulatorok/> (elérés 2022. november 14.).
- [37] „A szilárdtest akkumulátor és működése: küszöbön a forradalom?”, *Schiller Autó Család*. <https://schiller.hu/blog/szilardtest-akkumulator/> (elérés 2022. november 14.).
- [38] „Nio produces first battery swapping station in Hungary”, *electrive.com*, 2022. szeptember 19. <https://www.electrive.com/2022/09/19/nio-produces-first-battery-swapping-station-in-hungary/> (elérés 2022. november 14.).
- [39] Tibor A., „Megnéztük a NIO első biatorbágyi akkucsere állomását”, *Villanyautósok*, 2022. szeptember 16. <https://villanyautosok.hu/2022/09/16/elkeszult-az-első-nio-akkucsere-allomas-biatorbagyon/> (elérés 2022. november 16.).
- [40] H. Taira, T. Yoshikawa, és K. Jumonji, „Development of Tracked Combat Hybrid-Electric Vehicle”, o. 4.
- [41] Pgfritz R., „A harckocsi – a harc alapvető eszköze”, *WT Info*, 2017. december 23. <https://wtinfo.hu/2017/12/23/a-harckocsi-a-harc-alapveto-eszkoze/> (elérés 2022. november 14.).
- [42] „Gépjárművek erőátviteli berendezései - A sebességváltó”, *Techmonitor.hu*. http://www.techmonitor.hu/termek-megoldas/cad-cam-plm/gepjarmuvek-eroatviteli-berendezesei-a-sebessegvalto-20150102?fbclid=IwAR3Aoh-ECP-vbcl1d2mo3LvfoiA8pKZjbNqdDDK-2_-yPuuuFHCBZ-iWmiY (elérés 2022. november 14.).
- [43] „Lézo: Oktatási segédletek”. <http://www.lezo.hu/szerkezettan/hajtas/eroatvitel/sebvalto/nyomatekvalto/nyomatekvalto.html> (elérés 2022. november 14.).
- [44] Főiskola K., „A projekt címe: »Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés«”, o. 102.
- [45] „Automata váltó olajszivattyú - Autoblog Hungarian”. <https://nataros.ru/mozgas/automata-valto-olajszivattyu/> (elérés 2022. november 14.).
- [46] P. Dalsjø, „Hybrid electric propulsion for military vehicles”, o. 84.
- [47] „RTO Applied Vehicle Technology Panel (AVT), »All Electric Combat Vehicles (AECV) for Future Applications,«”. [Online]. Elérhető: [\[https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-AVT-047/TR-AVT-047-\\$\\$ALL.pdf\]](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-AVT-047/TR-AVT-047-$$ALL.pdf)([https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-AVT-047/TR-AVT-047-\\$\\$ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-AVT-047/TR-AVT-047-$$ALL.pdf))

- [48] Hegedűs E., „Tudományos konferencia a haditechnikai kutatók és fejlesztők napján”, *Haditechnika*, köt. 52, sz. 3, o. 43–45, 2018, doi: 10.23713/HT.52.3.10.
- [49] „HEV.pdf”. Elérés: 2022. november 18. [Online]. Elérhető: <https://www.esat.kuleuven.be/electa/docs/athens/HEV>
- [50] admin, „GEFAS - Modular Multi-Purpose Protected Vehicle”, *Defense Update*., 2006. július 25. https://defense-update.com/20060725_gefas.html (elérés 2022. november 15.).
- [51] Végvári Z., „A szuperkondenzátorok és katonai alkalmazhatóságuk”, *Haditechnika*, köt. 53, sz. 5, o. 20–25, 2019, doi: 10.23713/HT.53.5.05.
- [52] M. Ehsani, Szerk., *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [53] J. Thomas, Mariem Yassa, A. K. Ahmed, és E. Shehata, „ENERGY REGENERATIVE BRAKING SYSTEM OF HYBRID ELECTRIC VEHICLE MASTER OF SCIENCE In Electrical Engineering SUPERVISED BY”, 2016, doi: 10.13140/RG.2.2.13958.73280.
- [54] H. Laitinen, A. Lajunen, és K. Tammi, „Improving Electric Vehicle Energy Efficiency with Two-Speed Gearbox”, in *2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Belfort, dec. 2017, o. 1–5. doi: 10.1109/VPPC.2017.8330889.
- [55] „How electric propulsion will shape the next generation of military vehicles”. <https://www.qinetiq.com/de-de/insights/how-electric-propulsion-will-shape-the-next-generation-of-military-vehicles> (elérés 2022. november 22.).
- [56] József G. és Péter Z., „ELEKTROMOS GÉPJÁRMŰVEK SZERKEZETI KIALAKÍTÁSA ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA A HAGYOMÁNYOS GÉPJÁRMŰVEKKEL”, o. 17, 2017.
- [57] Végvári Z., „A hidrogén lehetséges honvédelmi (katonai) alkalmazása”, *Haditechnika*, köt. 55, sz. 1, o. 20–25, 2021, doi: 10.23713/HT.55.1.04.
- [58] „NexantECA - Fuel Volumetric Energy Density”, *NexantECA*. <https://www.nexanteca.com/file/nexanteca-fuel-volumetric-energy-density> (elérés 2022. november 26.).
- [59] „Tesla Model S Plaid specs, 0-60, quarter mile, lap times”, *FastestLaps.com*. <https://fastestlaps.com/models/tesla-model-s-plaid> (elérés 2022. november 26.).
- [60] P. Verma, „The next U.S. battle tank could use AI to identify targets”, *Washington Post*, 2022. október 15. Elérés: 2022. november 27. [Online]. Elérhető: <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/10/12/abramsx-ai-hybrid-military-battle-tank/>
- [61] J. Furch, V. Konečný, és Z. Krobot, „Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles”, *Sci. Rep.*, köt. 12, sz. 1, Art. sz. 1, jún. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-14715-8.