

Teljesen elektromos legyen az autóbusz avagy elég a hibrid model is?

Fully electric bus or enough the hybrid?

dr. CSUZI István

City Transport LLC, Abu Dhabi,
Egyesült Arab Emírátságok, istvancsuzi@yahoo.com

Abstract

The future of public transport lies in increasing the number of electric vehicles (trams, trolleys, electric buses) and the coverage of metropolitan mobility by quality public transport. The appreciation of energy efficiency indicators, the efficiency of electrical charging, and the use of new technologies are vital to the development and maintenance of viable urban environments. Presentation of vehicle and charging types, conclusions of case studies can help decision-makers work (authorities, operators).

Keywords: Diesel, electric bus and Hybrid bus types, power consumption, benchmarks, case studies, and efficiency analyzes (Key Performance Indicators)

Kivonat

A közösségi közlekedés jövője az elektromos járművek (villamos, trolis, elektromos autóbusz) számarányának növelésében, a nagyvárosi mobilitás minőségi közösségi közlekedéssel való lefedésében rejlik. Az energiafogyasztás hatékonysági mutatóinak felértékelődése, az elektromos töltés hatékonysága, az új technológiák alkalmazása létfontosságú a fejlődésben, az elérhető városi környezet megtartásában fontos a döntés: dízel, elektromos, avagy hibrid autóbuszoké-e a jövő?. Jármű típusok bemutatása, következtetések segíthetik a döntéshozók (hatóságok, szolgáltatók) munkáját.

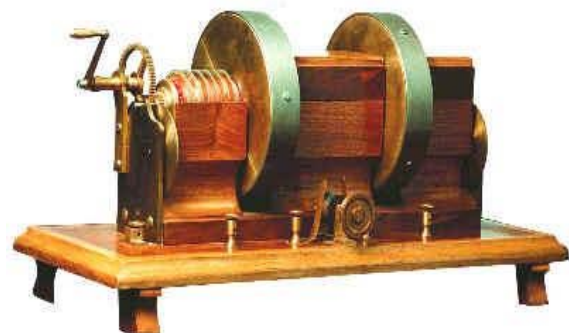
Kulcsszavak: Dízel, elektromos és hibrid autóbusz típusok, energiafogyasztás, piacu megmértetés, esettanulmányok, hatékonysági paraméter elemzések

1. Bevezetés

Talán nem csokáldozik senki amikor azt mondjuk, hogy mi magyarok is hozzájárultunk az autós, de egyáltalán a közlekedés elektromosításához. Az bizonyos, hogy 1828-ban Jedlik Ányos magyar feltaláló, természettudós, bencés szerzetes megtervezte és elkészítette az első elektromos autó modelljét!



1. kép „Villamderejes forgony”



2. kép Jedlik Ányos által készített dinamó

Jedlik munkássága korszakalkotó volt, úttörő feltaláló volt. Az 1. ábra egy „villamdelejes forgony” képe ami lényegében egy egyenáramú gép, a külső tekerics egyenárammal van táplálva. A 2. ábra pedig a Jedlik által 1861-ben kigondolt dinamó látható. Jedlik következményeiben korszakalkotó jellegű szellemi terméke az ún. dinamó-villamos elv felfedezése volt. A dinamó elvét már 1856-ban lefektette, és 1859-ben működött egy egysarki villanyindító, ami a dinamó elvet hasznosította. Aztán a külhoniak is tevékenykedtek, a következő fontos momentum már a franciákhoz köthető. Gaston Planté fizikus 1859-ben találta fel az újratölthető, savat tartalmazó ólomakkumulátort. Ennek köszönhetően több gyártó is kihozta saját elektromos prototípusát, ilyen volt az 1888-as Flocken Elektrowagen.



3. kép *Flocken Elektrowagen, az egyik első villanyautó*

1884-ben az angol Thomas Parker tömegtermelésre alkalmas elektromos autóval rukkolt elő, ám a bátor terveit nem sikerült megvalósítani. Végül 1899-ben Thomas Edison vette gondozásba elődei találmányait, újragondolva és továbbfejlesztve azokat kivitelezhető verziókat ajánlott. Ezek után mindenki számára nyilvánvaló, hogy ennek alapján az amerikaiak saját maguknak tudják be az elektromos autó feltalálását...



4. kép *1916- Detroit electric car*



5. kép *2019- TESLA Model-S*

Az emberiség világszerte a villamos hajtás bővítésével próbálja csökkenteni a városi és a természeti környezet terhelését. Ebben ugyanis csak a villamos hajtásmód kínál egyértelmű előnyöket. Tény: a hosszabb villamos üzemidejű járművek gazdaságosabbak és környezetkímélőbbek is egyben. A „dízel meghajtás már a múlté” mondják egyesek, az új buszmeghajtási technológiák teret hódítanak. A hibrid-elektromos buszokat költségghatékonyabbnak hirdetik, megbízhatóbbak, energiatakarékosabbak, mint a hagyományos dízel, és akár felülmúlják az alternatív üzemanyag-választási lehetőségeket (pl. sűrített földgáz, cseppfolyósított földgáz, propán), nem utolsó sorban környezetbarátabbak. A komplex alternatívák alapján szükség van a feltörekvő meghajtási technológiák áttekintésére, elemzésére, hogy valós segítség legyen a döntéshozóknak a hibrid-elektromos buszok mérlegelésében. A teljesen elektromos buszoknak megvan a maguk előnye és hátránya is.

Ezen tanulmány ezt a nem egyszerű összehasonlítást segítené, legfőképpen energetikai és környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve, ugyanakkor nem elhanyagolva az anyagi vonzatokat is, a piaci számításokat is. A kutatási munka több szakaszban zajlott, és folytatódik tovább:

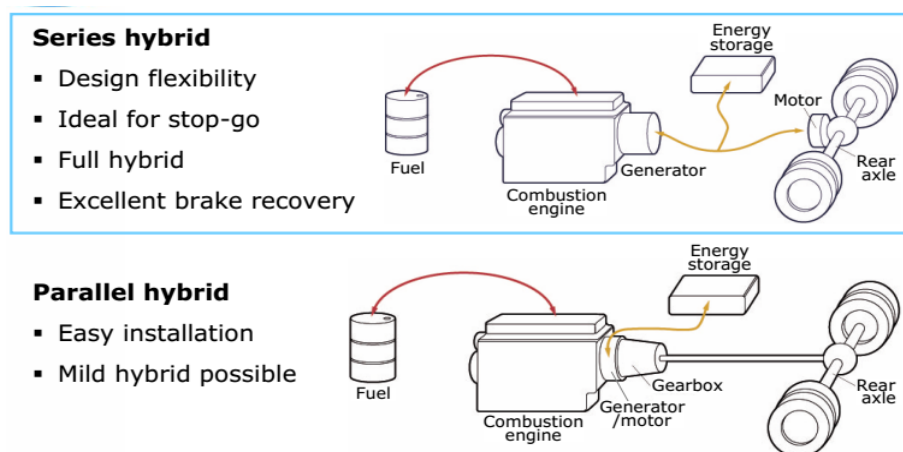
- Összefoglaló az szakirodalomban rendelkezésre álló információkról, az üzemanyag típusok alapján új buszflottákról;
- Összefoglaló a gyártók által forgalmazott hibrid és elektromos buszokról;

- Módszertan a befektetési és üzemeltetési költségeinek, karbantartási adatainak összegyűjtése;
- Adatgyűjtési munkaterv készítése a teljeskörű felmérésekhez;
- Életciklus költség (LCC- Life Cycle Cost) és teljes bekerülési költség (TCO - Total Cost of Ownership) számítások;
- Projektpanel jóváhagyása, kritériumok leszögezése;
- Számítási, összehasonlítási modell kidolgozása;
- Eredmények, következtetések ismertetése, terjesztése.

2. Technikai áttekintés: dízel, hibrid és teljesen elektromos

Bármely jármű, amelynek két vagy több különböző energiaforrása van a hajtóerő biztosítására, hibrid járműnek tekinthető. A hibrid hajtás jellegzetesen a városi gépkocsik hajtásmódja, előnye, hogy a járművet villamos hajtással indítja el a nagyobb forgatónyomaték előnyeit felhasználva. A villanymotort az akkumulátorban tárolt villamos energia hajtja, míg a belső égésű motor nem indul, így károsanyag-kibocsátása sincs. Ez a forgalmi helyzet az akadályoztatott városi forgalom leggyakoribb üzemiállapota. Minél gyakoribb ez az üzemiállapot, annál tisztább a buszvonalon menti levegő, és kevesebb a jármű gázolaj-fogyasztása. Lassításkor a lendületben lévő hibrid busz mozgási energiájának egy részét a villanymotor, generátor üzemben hasznosítja: áramot fejleszt az akkumulátor töltésére.

Az áramfejlesztés fékezés nélkül is lassítja a járművet. A lassítás és a fékezés villamos energiát, gázolajat és a ritkább fékezés miatt, fékbetétet takarít meg.

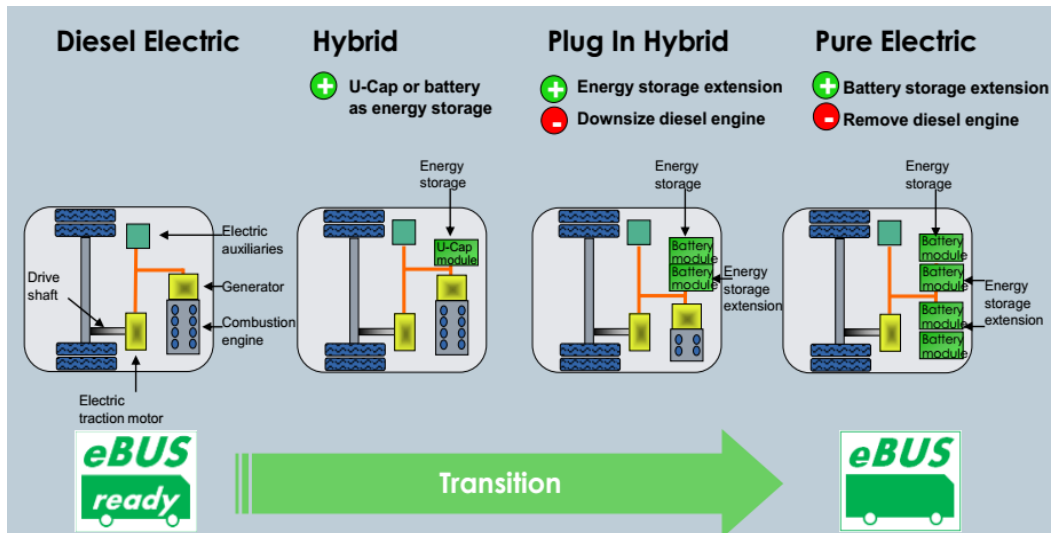


6. ábra

Párhuzamos és soros meghajtási elvű autóbuzsmeghajtások konceptrajza

A hibrid buszok e két üzemmód miatt tudnak környezetkímélőek és takarékosak lenni. Adott útvonalon a megtakarítás nagyobb akkumulátorok használatával növelhető, ami hálózati (plug-in) hibrid hajtással, illetőleg tisztán villamos hajtással érhető el. A plug-in-ekkel úgy, hogy a korabbinál nagyobb akkumulátorukat a városi villamos hálózatról töltik. Az utóbbiak hajtási energiaigényét teljes egészében a fedélzeti akkumulátorok fedezik. A 6. ábra összegzi a különböző hibrid-elektromos autóbuzsok meghajtási láncának típusait. A párhuzamos (parallel hybrid) azt jelenti, hogy direkt meghajtást is használ a dízelmotorról és a sebességváltószervezet villanymotoros üzemmódba is át tud kapcsolni energia igény szerinti központi vezérléssel. Előnye, hogy adaptálhatósága a hagyományoshoz kisebb módosítással járt. A soros kapcsolás (series hybrid) már a dízel üzemmódot csak elektromos energia termelésre használja, generátor meghajtóként illetve az energiatárház feltöltésére.

A 7. ábrán nyomon követhető a dízel elektromos meghajtás különböző fokozatú átalakulása teljesen elektromos meghajtássá. A dízel generátor teljesítménye jelentős volt első megközelítésben, mert direktben hajtotta meg az elektromotort.

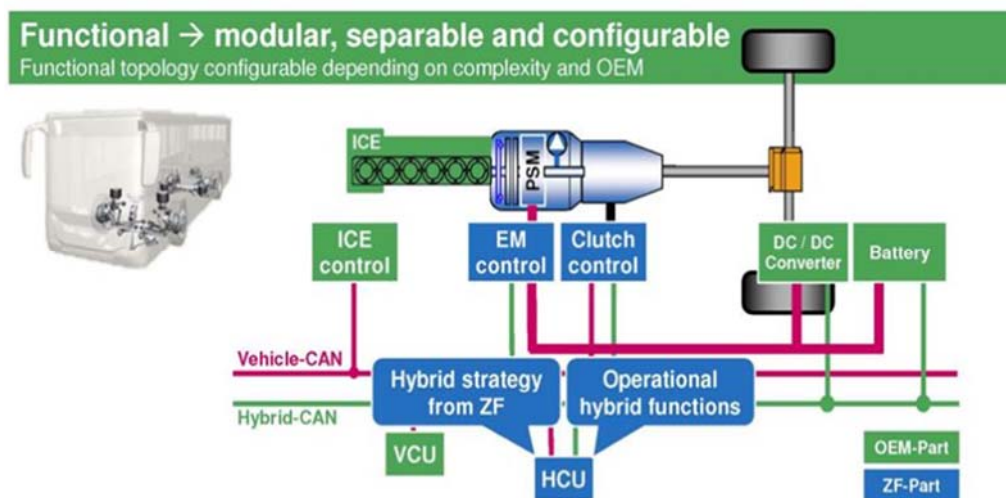


7. ábra

Elektromos-Hibrid autóbusz konceptek: dízel-elektromostól a teljesen elektromosig

A következő verzióban is szintén erős dízel generátor szükségeltetik mert a direkt meghajtás mellett már akkumulátoros vagy szuperkondenzátor cellás energiatartalék képzésére is erőt fejt ki. A külső elektromos energia töltéssel nagyobb szerepet kap a tároló kapacitás a meghajtásban, egy kisebb dízel generátor is képes a visszatöltési feladatokra. Innen már csak egy lépés és megérkeztünk a teljesen elektromos meghajtáshoz, nincs hibrid üzemmód, nincs dízel generátor, csak külső töltés és energia tároló kapacitás.

A hibrid autóbuszokat úgy is meg lehet határozni, mint töltést fenntartó vagy töltést nem fenntartó (azaz töltéscsökkentő) járművek. Töltést fenntartó hibridben a jármű a tárolóeszköztől (például fedélzeti akkumulátoroktól) függetlenül működhet. A motor elegendő energiával és energiával rendelkezik ahhoz, hogy a jármű ésszerű útvonalon haladjon. Ily módon az elemek nem merülnek ki folyamatosan egy hosszabb használat során. Töltéscsökkentő hibridben a jármű nem képes függetlenül működni a tárolóeszköztől, amelynek energiát kell szolgáltatnia a meghajtáshoz. Mivel a töltéscsökkentő rendszert általában a vezetési tartomány kiterjesztésére szánják, gyakran hatótávolság-kiterjesztőként emlegetik. Az energiatároló eszközt általában időszakosan töltik fel egy másiktól forrás. Ezt gyakran plug-in hibridnek nevezik.



8. ábra

A német ZF gyártotta sebességváltó adatforgalmi szerkezete

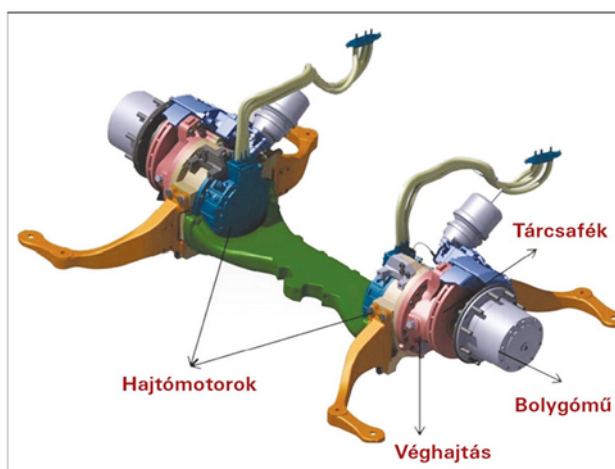
A meghajtási lánc legfontosabb elemei a dízel generátor és a sebességváltó berendezés (kuplungostól). A nagy gyártók ZF, Voith és Allison különböző fejlesztéseket propagálnak, az egyik legelterjedtebb a ZF termékjavaslata. A 8. ábrán az adatforgalom útját is jelképezik, a vezérlés teljes digitalizációja teljesen új karbantartási és monitorizálási lehetőségeket nyit meg a felhasználóknak.



9. kép
A BYD Európában hódító autóbussa

A teljesen villamos hajtás egyik legnagyobb úttörője a kínai BYD (Build Your Dream). A cég „súlyát” bár nem a 12 m-es városi busszal mérik, de érdemes megjegyezni a 20 tonnás jármű alumíniumötvözetű vázát az amerikai ALCOA fejlesztette, a 3 tonnányi akkumulátortömeg ellensúlyozása céljából.

A hajtás kerékgymotorjai a Citaro hibridjéhez hasonlóak, a ZF-el közös fejlesztés. Az 540 voltos lítium-vas (LiFePO₄) akkumulátor, 504 darab, 3,2 V névleges feszültségű egyedi cellából épül fel. Energiájuk hatótávolsága 250–290 kilométer megtételére elegendő. Ez után körülbelül 4 óra alatt újratölthetők. A villamos busz végsebessége 70 km/h.



10. ábra BYD meghajtás elemei



11. kép Utcai töltőállomás Shenzenben (BYD)

A teljes elektromos buszok egyre elterjedtebbek, már szinte minden nagyvárosban projekt jelleggel már rendszeresen működnek. Szennyező gáz kibocsátásuk nulla (a használat helyén mert az elektromos energia viszont nem mindig zöld!), és a zajkibocsátás is alacsonyabb, mint a dízel buszoké. Számos tényező jelentősen befolyásolhatja a működési költségeket, ezáltal a teljes bekerülési költségeket. Ez olyan megoldásokat igényel, amelyek speciális (mind műszaki, működési, mind gazdasági) kompromisszumokra készítenek, mint például az utasszállítási kapacitás, az akkumulátor önsúlya, az gyengeáramú éjszakai töltés vagy a nagyáramú napi működési ütemek közötti töltések.

3. Hibrid busztechnika, összehasonlítások

Hibrid-elektromos hajtás konfigurációja nem univerzális jellegű, egyetlen hajtáslánc-konfiguráció sem alkalmas minden hibrid jármű minden alkalmazásában. Számos architektúra van kereskedelmi forgalomban, és a bemutatottakon kívül más konfigurációk is léteznek.

A soros hibrid koncepció egy motorból áll, amelyet közvetlenül egy elektromos generátorhoz (vagy generátorhoz) csatlakoztatnak. A generátor áramát a meghajtómotor és / vagy az energiatároló akkumulátorok igényeik szerint továbbítják. A motor és a meghajtó kerekek között nincs mechanikus összekapcsolás. Az elektromos hajtómotor biztosítja a teljes hajtóerőt az energiatároló eszközökből és / vagy a motorból (amely lehet üzemanyagcella), vagy mindkettőből.

Párhuzamos hibrid-elektromos hajtásrendszerben mindkét áramforrás (motor és villanymotor) mechanikusan kapcsolódik a jármű kerekeihez. Különböző elrendezésekben a motor összekapcsolható a kerekkel akár a sebességváltóval (az áttétel előtti párhuzamos kialakítás), akár közvetlenül az áttétel utáni kerekkel (az áttétel utáni párhuzamos kialakítás). Ezek mindegyikének megvannak a maga előnyei. Az előváltó motorjának kisebb sebességtartományban kell működnie, mint az utáni sebességváltó motorjának, és alacsony fordulatszámon hatékonyan nagyobb nyomatékot képes szállítani a hátsó kerekhez. Az utóátviteli motor azonban nagyobb hatékonyságot kínál a hajtó kerekek teljesítményének továbbításában, és nagyobb hatékonyságot a regeneratív fékenergia visszaszerzésében. A kialakítás akkor lehetséges, ha az átviteli előtti és utáni motorok egyaránt jelen vannak. Ebben az esetben akár a tervezést sorozat-párhuzamos kombinációnak is tekinthetjük.

Bonyolultabb hibrid architektúrák vannak - mint sorosak és párhuzamosak -, amelyeket már használnak. Két motor használatával, egy vagy több bolygókeres elrendezéssel, folyamatosan változtatható sebességváltó rendszer lehetséges. A forgó mechanikus alkatrészek közül kettőt elektromosan kapcsolnak össze a motorok/generátorok. Egy ilyen rendszer vezérlése összetettebb, mint egy egyszerű sorozatú vagy párhuzamos rendszer esetében, de egy összetett rendszer szabadságot biztosít a motor fordulatszámának és nyomatékának a jármű sebességéhez és teljesítmény igényéhez viszonyított kezelésében. A könnyű haszongépjárművek piacán a Toyota Prius mutatott be hasonló bolygórendszerrel működő típust. A jelenleg forgalomban lévő Allison sebességváltós buszok távolsági eltolódású bolygórendszert alkalmaznak, amelyet szakzsargonban hasított párhuzamosnak neveztek. A következő táblázat összefoglalja a komplex hibrid rendszerarchitektúrák előnyeit és hátrányait.

Típusok	Előnyök	Hátrányok
Soros hajtási koncepció	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Motor konfiguráció egyszerűsége ✓ A motor teljesítményleadása és az elektromos ráadás nagyobb nyomatékra képes mint a konvenciók megoldások ✓ Alacsony sebességnél (fordulatonál) nagyobb hatásfok, nagyobb utasszállító kapacitás ✓ Sokrétű optimalizáció lehetséges ✓ Az átmeneti terhelések által keltett intenzív szennyezések csökkentése ✓ Kiváló gyorsuló teljesítmény alacsonyabb fordulatonál is 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Főleg (csak?) városi forgalomra javallott ✓ Energiahatékonysági gondok a motor-generátor láncon ✓ Energiavesztési gondok az akkumulátorok kapacitásában ✓ Jelentős súlyfelesleg a dízel motor, generátor és akkumulátorok súlya által

Típusok	Előnyök	Hátrányok
Párhuzamos meghajtási koncepció	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Energiahatékonyság egyenletes üzemmódban ✓ Kisebb dízel motor önsúlyt csökkenthet ✓ Magas terhelésnél megfelelő erő kifejtést ad ✓ Modellezhetőség az üresjárat (Stop-Go) és menetjellemzők kezelésénél 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A dízel motor direkt kapcsolata a ke-rekkel nem teszi lehetővé a teljes leállását menet közben ✓ Az átmeneti erő kifejtéseknél akár nagyobb szennyezési tényezők lehetnek ✓ A sorozhoz képest komplikáltabb a felépítése ✓ Kevesebb fékezési energiát lehet visszanyerni

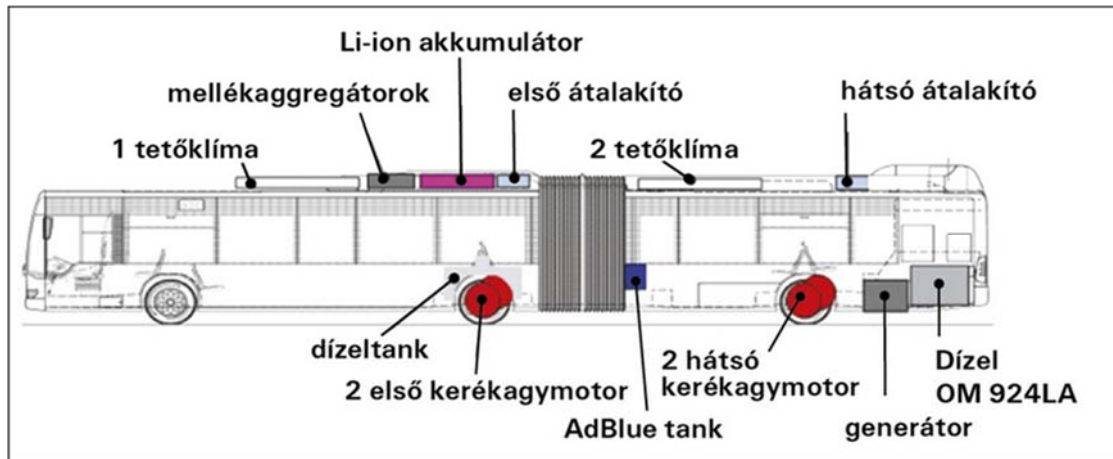
1. Táblázat Összehasonlítások a különböző architektúrájú hibrid autóbuszok közt

4. Európában elterjedtebb hibrid autóbusz típusok

A. MERCEDES-BENZ CITARO G BlueTec Hybrid autóbusz

A CITARO hibrid modell alapfunkciói rendkívül egyszerűek: a korong alakú és robusztus felépítésű elektromos motor a belső égésű motor és az automata sebességváltó közé van beépítve. Többek között az autóbusz lassításakor generátorként működik, és a mozgási energiát árammá alakítja át – fékezéskor és gázelvétel során. Az előállított áramot a rendszer elektromos energia formájában tárolja. Hibrid technika nélkül ez az energia-visszanyerési fázisban nyert energia elveszne – a Citaro hibrid ezt hasznosítja, és megtakarítást ér el vele: amint a busz álló helyzetből elindul, az elektromos motor kiegészítő forgatónyomatékkal segíti a dízel- vagy gázmotort – az úgynevezett indítási fázisban. Így a belső égésű motornak egy ideig kisebb teljesítményt kell leadnia elindulásakor, ezzel üzemanyagot takarít meg. Ezen kívül az elektromotor az alapjáratot is támogatja. Ez javítja a belső égésű motor hatásfokát, és hozzájárul a lényegesen kisebb üzemanyag-fogyasztáshoz, ezáltal pedig a károsanyag-kibocsátás csökkentéséhez.

Az elektromotor nem a legnagyobb teljesítmény növelésére szolgál. Ezért egy tisztán belső égésű meghajtással rendelkező, azonos sorozatú járművel szemben a CITARO hibrid teljesítménye és forgatónyomatéka változatlan marad. A belső égésű motor fordulatszámja az indítási szakaszban nem csökken. Csupán a csúcsteljesítmény mérséklődik észrevehetően mértékben, amelyet az elektromotor kiegészít. Az alapterhelést kiszolgáló belsőégésű motor és a csúcsterheléseket segítő elektromos motor együttműködése gondoskodik a meghajtás magas energia-hatékonyságáról az üzemeltetés során. A gyorsan változó terhelésekre tervezett alkotóelemek igen robusztus kialakításúak. Hosszú élettartamuk összehasonlítható a hagyományos belsőégésű meghajtásokéval. Az elektromos motor vízhűtéses, a teljesítménye mintegy 14 kW is lehet, és akár 220 Nm forgatónyomatékot is képes leadni. A jobb gazdaságossághoz a CITARO hibridben az optimalizált hatásfokú könnyűfutasú tengely is hozzájárul: egyrészt a kisebb gördülési ellenállás miatti üzemanyag-megtakarítás, másrészt az alacsonyabb karbantartási ráfordítások és a 180 000 kilométerről 240 000 kilométerre meghosszabbodott karbantartási időszakok révén. Inverter. Elektronikája az egyenáramként tárolt elektromos energiát váltóárammá alakítja az elektromotor meghajtásához. A magas üzembiztonságról a helytakarékos vízhűtés gondoskodik. Energiatároló. az innovatív kondenzátor-technológiát alkalmazó szuperkondenzátorok nagy teljesítménysűrűségüknek köszönhetően helytakarékosan és biztonságosan tárolják az elektromos motor felől érkező és oda irányuló elektromos energiát. Ezeket a szuperkondenzátorokat a tipikus városi buszközlekedésben jellemző, a töltések és kisülések közötti folyamatos, gyors váltásokra alakították ki, és hosszú élettartammal rendelkeznek.



13. kép A CITARO hibrid autóbusz elhelyezési koncepció rajza

B. VOLVO 7700 Hybrid autóbusz

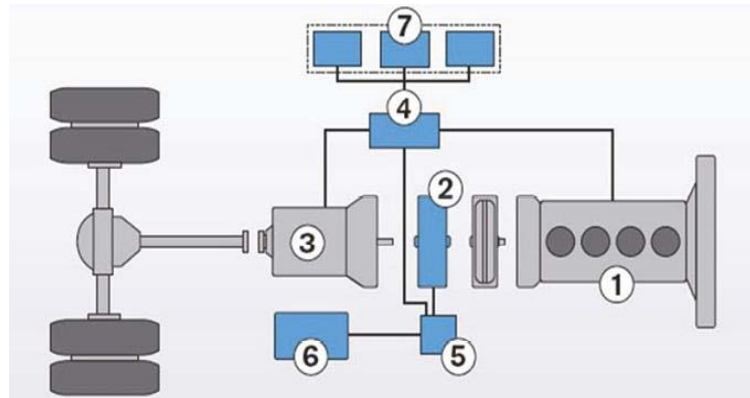
A VOLVO már évek óta sorozatban gyártja a világban jól ismert 7700-as, dízel-elektromos hibrid hajtású autóbuszát, amelyből több mint félezer fut Európa országútjain. A 12 méter hosszú, 18 tonnás tömegű 7700-as, párhuzamos hibrid hajtásrendszerű jármű. Kerekeit 4,7 literes, 215 lóerős dízel és 160 lóerős, 800-800 Nm-es csúcnyomatékú villanymotor hajtja. Tengelykapcsolóval leválasztható villamos hajtása induláskor és lassításkor, a jármű motortól függetlenül működtethető. A jármű indítómotor használata nélkül, villamos hajtással indul, és kerekeit 20 km/h-s tempó eléréséig e károsanyag-kibocsátás nélkül, a jármű villanymotorja hajt. Ezt követően a dízelmotor működteti a járművet.

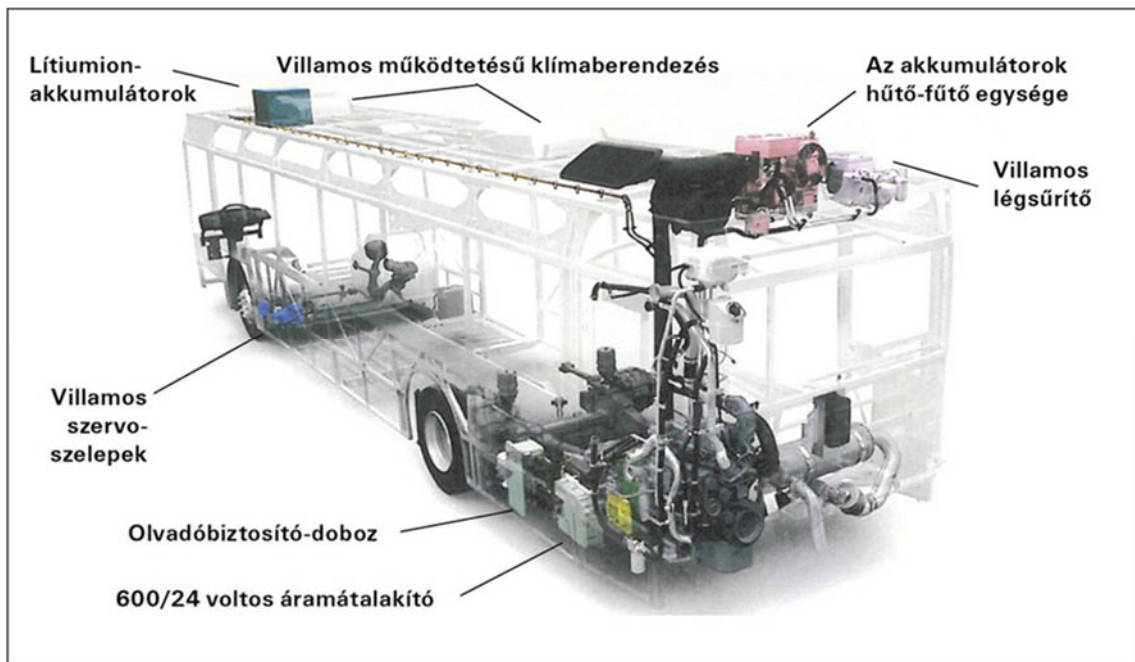
A villanymotor lejtőn és vagy fékezéskor lép ismét működésbe: ekkor generátorként működik és a jármű mozgási energiájának egy részét, villamos energiává alakítva, tölti a jármű 600 voltos akkumulátorát. A jármű 20 km/k-nál nagyobb sebességtartományában a nyomatékmódosítást I-Shift rendszerű automatikus sebességváltó végzi. A gázolajfogyasztás és a káros emissziók csökkentésére e két menetállapotban, továbbá dugóban vagy sorompónál álló jármű motorjának leállításakor tud sor kerülni. Minél gyakrabban fékez, lassul vagy áll meg a jármű, annál nagyobb az elérhető megtakarítás. A tapasztalatok szerint, ennek mértéke meghaladhatja a 25%-ot.

Az új technológiák által már futnak a Plug-in Volvo hibrid változatai is, mellyel tervezik, hogy még jobban feljavitják akár a 7700 Hybrid teljesítményét, csökkentik még a fogyasztását, és növelik így használati értékét. A nagyobb és hálózatról tölthető akkumulátor növeli a villamos hajtás üzemidőn belüli részarányát, és a felére csökkenti a jármű fogyasztását.

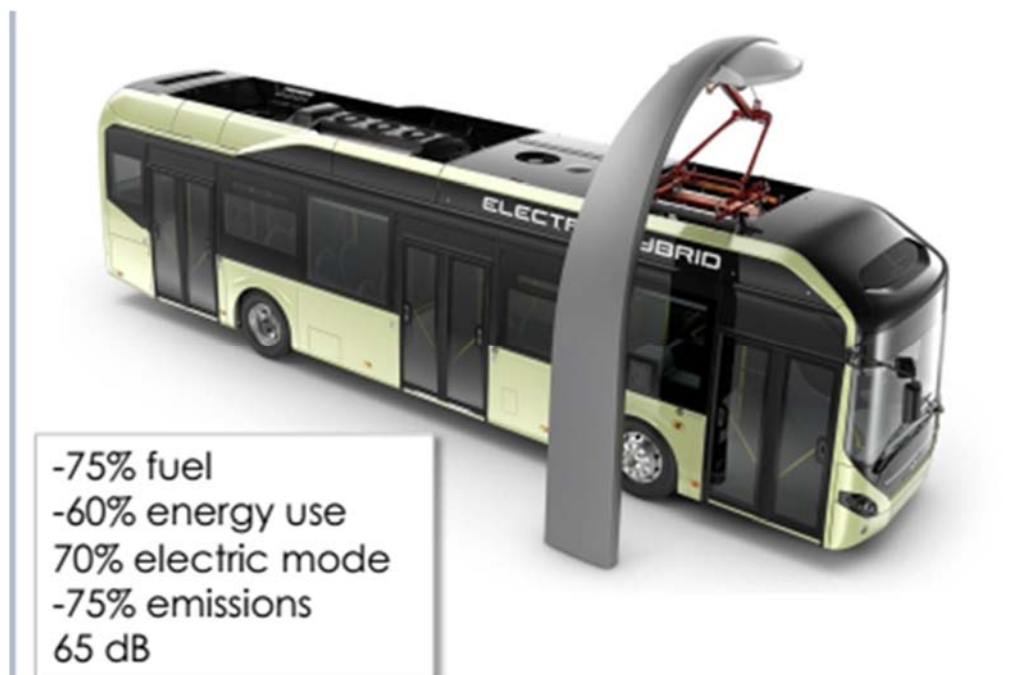
14. kép A VOLVO 7700 H erőátviteli vázlat:

1. Dízelmotor.
2. Villanymotor/generátor egység.
3. Sebességváltó.
4. Hajtásvezérlő egység (PMU).
5. 600/24 voltos áramátalakító.
6. Lítiumion-akkumulátorok.
7. Segédberendezések





15. kép A VOLVO 7700 H röntgenképén jól kivehetők a jármű műszaki főegységei



16. kép VOLVO Plug-In Hybrid hatékonysági jellemzői

5. Környezetvédelem, járulékos-externális költségek

Az Euro 6-os technológia, a kipufogógázban található NO_x és a PM kibocsátás szempontjából egy nagyon környezetbarát szabványt képvisel. Az Euro 6-os járművek dízel és földgáz üzemű változatainak használata egyaránt javítani tudja a helyi levegőminőséget, különösen, ha jelentősebb számú régebbi generációs busz cseréjére kerül sor. Dízelbuszok esetén lehetőség szerint második

generációs biodízel keverékek is használhatók, hogy az alacsony(abb) üvegházhatású gáz kibocsátással járó üzemanyagok részaránya meghaladhassa a keverési határértéket. Hibrid meghajtások alkalmazása dízel vagy gázüzemű motorokkal mintegy 20%-kal tovább csökkentheti az üvegházhatású gázok kibocsátását. Bizonyos típusú hibridek akár zéró-emissziós módban is üzemeltethetők, és nagy előnyük, hogy hosszú autóbusz vonalakon szintén használhatók. Ennek eredményeképpen ez a hibrid típus érdekes megoldás lehet olyan városokban, ahol szükség lenne zéró-emissziós megoldásokra, de a teljesen elektromos buszok nem biztosítanak elegendő kapacitást a napi üzemhez (hatótáv, utasok száma). A városok már elkezdtek az elektromos buszok fokozatos bevezetését. A lokális zéró emisszió előnyeire felül a buszok által kibocsátott zaj is kisebb. A visszatartó tényezők között említendő az a bizonytalanság, amelyet az akkumulátorral (élettartam), vagy az infrastruktúrával kapcsolatosan felmerülő költségek, illetve az elektromos buszok töltésigénye és korlátozott önállósága miatti nehezebb alkalmazhatósága idéz elő. Egy viszonylag nagy akkumulátorral üzemelő elektromos busz, amelyet éjszaka töltenek, rövid és közepesen hosszú autóbusz vonalakon közlekedhet megfelelő megbízhatóság mellett. Olyan alternatív töltési módszerek használatával, mint a végállomásokon biztosított gyorsöltés, csökkenthető a fedélzeti akkumulátorok mérete, mérsékelve így az akkumulátor költségeit is. Ezáltal hosszabb autóbuszvonalak üzemeltetésére nyílik lehetőség, rövidebb követési idővel. Dízel üzemű buszokkal összehasonlítva, ha valahol elektromos buszok alkalmazása mellett döntenek, akkor foglalkozni kell a töltési technológia és az infrastruktúra kihívásaival is, ami megnöveli a rendszer bonyolultságát. Az elektromos buszok üzemelésének alapját képező teljesen optimalizált menetrend kialakításához több tapasztalatra, így több időre van szükség. A legkézenfekvőbb megközelítésnek az autóbusz hálózat fokozatos elektromossá alakítása tűnik. Amikor azonban egy hálózatban először alkalmaznak jelentősebb számban elektromos buszokat, a közönségi közlekedés szervezését is azonnal hozzá kell igazítani az újításhoz. Az elektromos buszok a kisebb utasforgalmú kötőpályás villamos szállítás alternatívájává is kinőheti magát.

A következő táblázat összegzi a járulékos költségek elemzésének fontosságát, kihangsúlyozva az előnyöket és hátrányokat a különböző közlekedési formák közt:

Költségfajta	Közút	Kötőpálya
<i>Torlódás</i>	Az egyéni közlekedés kollektív torlódást okoz, ami leginkább a szűk keresztmetszeteknél, csúcsidőben jelentkezik.	A pálya kötöttsége miatt egy járat hibája a teljes vonalon késedelmet okoz.
<i>Balesetek</i>	Az externalitás abból fakad, hogy az egyéni baleseteknek kollektív következményei is vannak.	A járművezető és a potenciális áldozatok köre különbözik, ebből fakad az externalitás.
<i>Levegőszennyezés</i>	A közutak és lakóházak közelsége okozza az externális költségeket.	A levegőszennyezés nem lokálisan, hanem az elektromos áram előállításának helyén jelentkezik.
<i>Zajterhelés</i>	A közutak és lakóházak közelsége okozza az externális költségeket.	A kötőpálya zaját általában jobban tolerálja a társadalom, de ez napszaktól és járatsűrűségtől is függ.
<i>Klímaváltozás</i>	Minden üvegházhatású gáz.	Az üvegházhatású gázok kibocsátása nem lokálisan, hanem az áram előállításának helyén jelentkezik.
<i>Természet- és tájkárosítás</i>	Különbséget kell tenni a meglévő és új hálózat között.	Különbséget kell tenni a meglévő és új hálózat között.

2. Táblázat Összehasonlítások és elemzések a városi közlekedési típusok között

Az eredmények következtetéseként: hibrid és elektromos buszok használatán alapuló járműkorszerűsítéssel ugyanis nemcsak a villamos üzem előnyei hasznosíthatók, hanem a pálya kötöttségei is kiküszöbölhetők.

6. Esettanulmány, összehasonlítások

Esettanulmányi anyagként elemezzük a Kecskemét városi Közlekedési Vállalat által lezajlott felmérést, a **MERCEDES-BENZ CITARO G-BlueTech Hybrid** autóbuszok üzemeltetési tapasztalatainak bemutatásával (Dél-Alföldi Közlekedési Központ Zrt, 2014.04.01 – 2015.08.31. között).



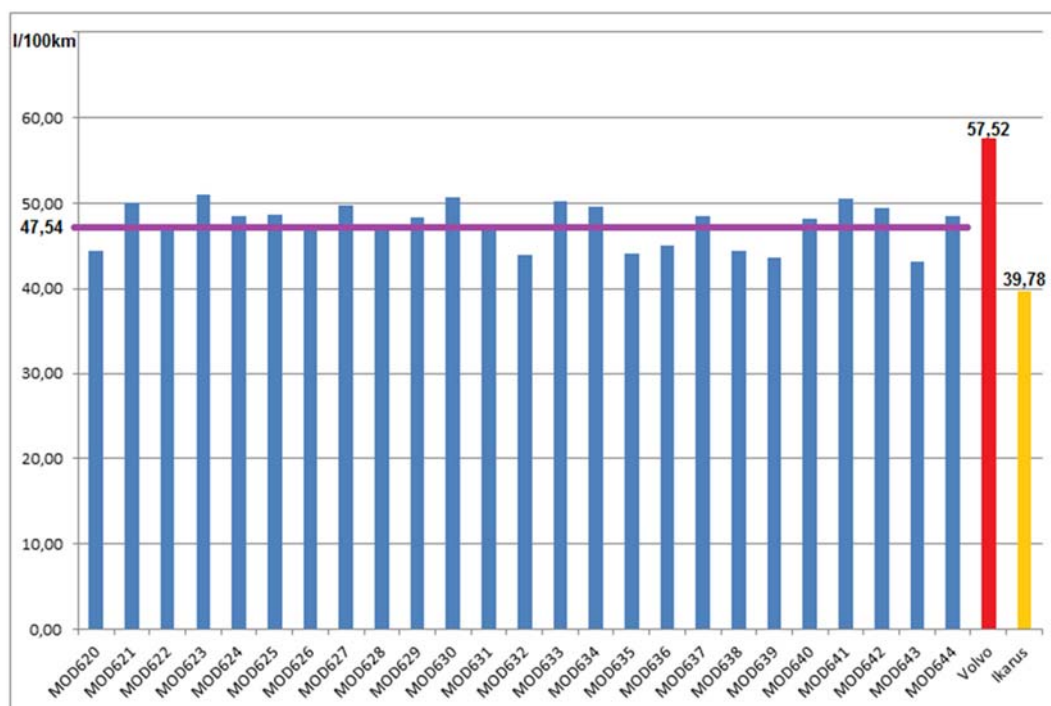
17. kép

MERCEDES-BENZ CITARO G-BlueTech Hybrid, VOLVO B9LA/7700A és IKARUS 280.06

A mérésekben és az összehasonlításban részt vett három autóbusz típus főbb jellemzői a következő táblázatban vannak összefoglalva:

Megnevezés		Mercedes-Benz Citaro hibrid	Volvo B9LA/7700A	Ikarus 280.06
Hosszúság	[mm]	17.940	18.044	16.500
Szélesség	[mm]	2.550	2.550	2.500
Önsúly	[kg]	19.000	16.793	12.200
Összsúly	[kg]	28.000	28.000	22.500
Ülőhely	[fő]	38 + 1	52 + 1	34 + 1
Állóhely	[6 fő/m ²]	94	94	-
Állóhely	[8 fő/m ²]	-	112	112
Férőhely	[fő]	133 (6 fő/m ²)	165 (8 fő/m ²)	147 (8 fő/m ²)
Kerekszék szállítási lehetőség		Van	Van	Nincs
Ajtóképlet		2-2-2-2	2-2-2-0	2-2-2-2
Motor teljesítmény	[kW]	258 (10 mp)	268	133
Belépési magasság	[mm]	320 (1. ajtó)/340	340	370
Padlómagasság	[mm]	370	360	920
Utastéri klímaberendezés		Van	Van	Nincs
Utastéri fűtőberendezés		Van	Van	Nincs
Városi üzemanyag fogyasztás	[liter/100 km]	47,54	57,52	39,78
Környezetvédelmi besorolás		EVV	Euro-IV	Euro-I
Szennyező anyag PM	[g/kWh]	0,02	0,02	0,36
Szennyező anyag NOx	[g/kWh]	2	3,5	8

3. Táblázat A három elemzett autóbusztípus jellemzői



18. ábra Üzemanyagfogyasztási adatok (átlag az adott buszokon az adott periódusban)

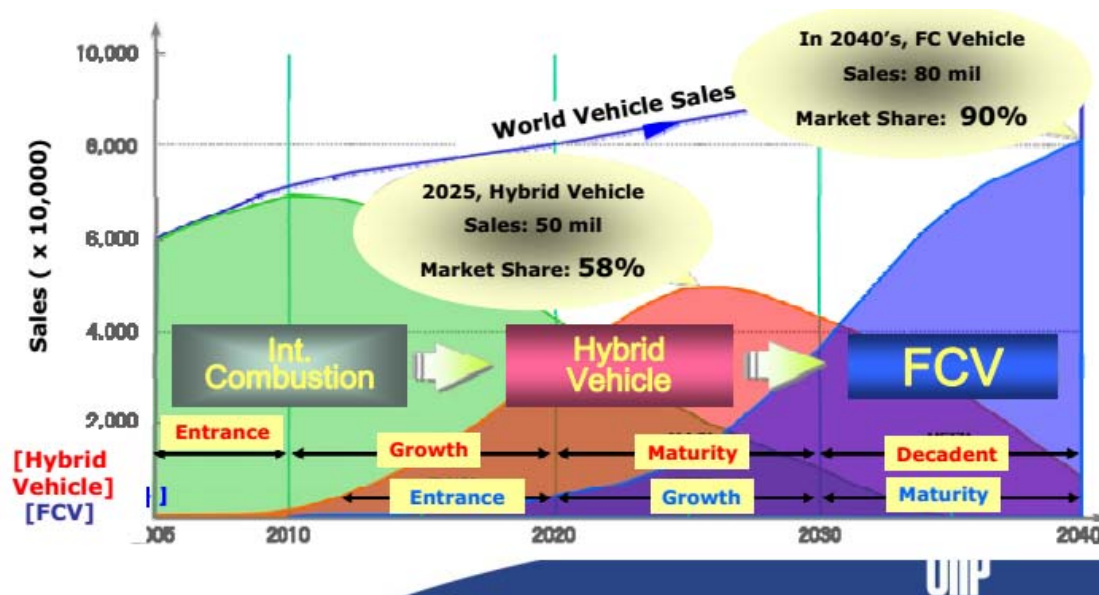
Amint a 3. Táblázat és a 18. ábra ai mutatja, először is tisztázni kell az összehasonlított járművek kompatibilitását. Hasonló méretű (18 m-es) buszokról készült a felmérés, de a koruk és legfőképp technológiájuk különböző. Ez az önsúlyban is megjelenik az IKARUS 12 tonnájához képest a CITARO hibrid 19 tonna súlyú! Utasszám nagyjából közelít (139, 147, 165), a CITARO kisebb utasszáma a komfortossággal (6 utas/nm versus 8 utas/nm) magyarázható. Viszont az üzemanyag fogyasztás és szennyeződés nincsenek összhangban: az IKARUS erősen szennyezve, de kevesebbet fogyaszt mint a kényelmesebb de környezetkímélő CITARO. A karbantartási előnyök és hátrányok is a hibrid fele hajlanak, így viszont a döntés, hogy mivel végzi egy vállalat a szállítást, ha csak gazdaságira hagyatkozunk nem fogja a környezetet kímélni, megnövelve az előző fejezetben már felsorolt járulékos-externális költségeket.

7. Következtetések, jövőkép

Jelen tanulmány áttekintést ad a jelenlegi piaci helyzetről, technológiai színvonalról, autóbusz vásárlási és üzemelési lehetőségekről. Ezek a gondok univerzálisak, a világ bármely részén hasonló kérdések foglalkoztatják a közlekedési szakembereket, de ugyanakkor a multidiszciplinaritás igénye igazából itt jön elő. Egy autóbusz komplex jármű, nem elég csak az ülőhelyekre, kerekre és kormányra gondolni! Sokrétű összefüggések, legfőképp energiahatékonysági számítások és elvárások, összehasonlítási nehézségek jellemzik a szakmát. Nem kizáró és általános jellegű megállapításokat tehetünk:

- A hibridtechnológia az első lépés volt a modern villamosított mobilitás világában. Hibrid buszokkal közvetlenül leválthatók a flotta idősebb járművei, és a nitrogénoxidok, illetve a koromrészecskék kibocsátása sokszor több mint 50 százalékkal csökkenthető.
- Egy közösségi közlekedési vállalat irányítása egyszerre összetett és bonyolult feladat. Az elektromos hibridek előnye, hogy egy adott viszonylat nagyobb részében képesek ugyanazon követelmények szerint üzemelni, mint a hagyományos és az elektromos buszok.
- Az érzékeny területeken, így például a zsúfolt városközpontokban és a lakóövezetekben, a kipufogógázokat és a zajkibocsátást minimalizálni kell. A villanymotoros hajtáslánc a tökéletes megoldás, hiszen kipufogógázai nincsenek, és ráadásul csendes is. Sőt, a lehetőség szerinti töltésnek és az akkumulátor kompakt méreteinek köszönhetően az utaskapacitás is lassan megegyezik a hagyományos buszokéval.

A jövőképet az üzemanyagcellás autóbuszok fejlődésével lehet még kiegészíteni, a hibrid és az elektromos autóbuszok utáni korszakot ezekre lehetne építeni. Különböző előrejelzések láttak napvilágot, az egyik megbízható forrás a Közösségi Közlekedési Világszervezet Brüsszel-i székhellyel, akinek szakmai előrejelzései szerint 2040-ig ezek a buszok fogják uralni a piacot.



19. ábra

Hibrid, elektromos és üzemanyag-cellás autóbuszok eladási előrejelzései

A címbeli kérdésre nehéz egyértelműen válaszolni: nincs recept, helyzete válogatja, van ahol optimális a teljesen elektromos busz, elfogadható a relatív kis autonómiája, de vannak esetek, amikor a környezetvédelmi előírások betartása és az útvonalak hossza nem enged más lehetőséget mint a hibrid verzió.

Zárógondolatként pedig legyünk optimisták a jövő autóbuszvásárlásait tekintve, mert Európai Unió szintén korlátozva vannak a klasszikus dízel üzemmódú autóbuszok eladásai, szabályozva van a közbeszerzés, az elképzelés szerint 2030 után csak elektromos járművek közlekedhetnek nagyobb városainkban. Ám marad egy bökkenő-bukkanó: megvan a szabályozás, készült törvény is, de a javuló technológiák, az elektromos járművek jóval nagyobb beruházást jelentene a befektető hatóságnak (netán vállalkozónak), de a megtérülésről, az anyagi fedezetről elmaradt az értesítő! A közösségi közlekedésre szánt pénzről pedig gondoskodni a mai helyzetben nem lehet egyszerű feladat sem a városnak, sem a polgármesternek...

Bibliográfia, Irodalmi hivatkozások

1. **István CSUZI:** *Contribuții la evaluarea și optimizarea performanțelor energetice și de disponibilitate ale sistemului de tracțiune electrică urbană (EN- Contributions to the evaluation and optimization of the energy and availability of the urban electric traction system)*, Ph.D. Thesis (prof.dr.ing. Ioan FELEA), 2011, Universitatea Oradea/ ROMANIA,
2. **István CSUZI:** *new series - STUDIES ABOUT PUBLIC TRANSPORTATION, Volume 2- Bus systems efficiency indicators*, LAMBERT Academic Publishing House, 2018, Düsseldorf/ Germany, ISBN13 978-613-7-32919-1
3. **István CSUZI:** *nieuwe serie – Studies over openbaar vervoer, Volume 2- Efficiëntie-indicatoren voor bussystemen indicators*, GlobeEdit, 2020, Rotterdam/ Holland, ISBN13 978-620-0-51584-1
4. **István CSUZI:** *Neu Serie – Studien über den öffentlichen Verkehr, Band 2- Indikatoren für die Effizienz von Bussystemen*, AV Akademikerverlag, 2020, Berlin/ Germany, ISBN13 978-620-0-09664-7

5. **István CSUZI:** *nuova serie – Studi sui trasporti pubblici, volume 2- Indicatori di efficienza dei sistemi bus*, Edizioni Accademiche Italiane, 2020, Roma/ Italy, ISBN13 978-620-0-55266-2
6. **István CSUZI:** *nueva serie – Estudios sobre el transporte público, Volumen 2, Indicadores de eficiencia de los sistemas de bus*, Editorial ACADEMICA Española, 2020, Madrid/ Spain, ISBN13 978-620-0-37334-2
7. **István CSUZI:** *nouvelles séries – Études sur les transports publics, volume 2- Indicateurs d'efficacité des systèmes de bus*, Éditions Universitaires Européennes, 2020, Beau Bassin/ Mauritius, ISBN13 978-613-9-54818-7
8. **István CSUZI:** *nova série – Estudos sobre Transporte Público, volume 2- Indicadores de eficiencia de sistemas bus*, Novas Edicoes Academicas, 2020, Lisbonne/ Portugal, ISBN13 978-613-9-81353-7
9. **István CSUZI:** *Nowa seria – Badania nad transportem publicznym, Objetosc 2- Wskazniki efektywnosci systemow magistralowych*, Wydawnictwo BEZKRESY WIEDZY, 2020, Warsaw/ Poland, ISBN13 978-620-0-54351-6
10. **National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2009:** *Assessment of Hybrid-Electric Transit Bus Technology*. Washington, DC: The National Academies Press.
11. **Kerstin SCAGLIONE:** *Boosting PT with Hybrid Technology and High-Class Service of VOITH Gearboxes*, DUBAI World Expo Forum, 2011
12. **Andreas LASKE:** „E-Bus ready” *concept technology*, UITP World Congress, Milan, 8-10 June 2015
13. **Joachim FOTH, A.GROSSL, F.BITZER:** *Electromobility for City buses-the ZF system approach*, UITP World Congress, Milan, 8-10 June 2015
14. **Edward JOHNSON:** *Global experiences with Hybrid Buses*, UITP World Congress, Milan, 8-10 June 2015
15. **Nicolas POCARD:** *Technical performance and TCO for fuel cell electric buses today*, BUSWORLD International Bus Conference, Brussels, 18-23 October 2019
16. **Szabó Zoltán:** *Mercedes-Benz Citaro G-BlueTech Hybrid autóbuszok üzemeltetési tapasztalatai*, 5. Magyar CIVINET Konferencia, Zalaegerszeg, 2015 szeptember 15-18
17. **Robin Vermeulen, Nina Nesterova és Ruud Verbeek:** *Az alternatív üzemanyaggal hajtott buszokról*, CIVITAS Szakpolitikai összefoglaló, Városkutatás Kft. - Magyar CIVINET Titkárság / Bass Igor, 2016