Željeznička vučna vozila s hibridnim pogonom i pogonom na alternativna goriva

Milić, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:488803

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ŽELJEZNIČKA VUČNA VOZILA S HIBRIDNIM POGONOM I POGONOM NA ALTERNATIVNA GORIVA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Mladen Nikšić

Student: Mario Milić 0135252723

Zagreb,2021. godine

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 7. rujna 2021.

Zavod: **Zavod za željeznički promet**
Predmet: **Željeznička vozila**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6490

Pristupnik: **Mario Milić (0135252723)**
Studij: Promet
Smjer: Željeznički promet

Zadatak: **Željeznička vučna vozila s hibridnim pogonom i pogonom na alternativna goriva**

Opis zadatka:

U završnom radu potrebno je obraditi željeznička vučna vozila koja ne koriste konvencionalne sustave za pogon i kretanje vlakova. S jedne strane potrebno je dati pregled, vrste i izvedbe hibridnih vozila, a s druge strane obraditi vučna vozila koja za pogon koriste alternativna goriva. Na kraju rada potrebno je navesti prednosti i nedostatke pojedinih pogona s ekološkog motrišta.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mladen Nikšić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

SAŽETAK

Smanjivanje zaliha fosilnih goriva i negativan utjecaj plinova koji nastaju njihovim izgaranjem potaknuli su ljude da potraže neke alternativne načine prijevoza.

Hibridna željeznička vozila uspjevaju smanjiti potrošnju goriva na način da se energija koja bi se inače izgubila u okolini, uspijeva vratiti u spremnike energije koji su ugrađeni u vozilo. Uskladištena energija se može koristiti u različitim režimima rada ovisno o tome kada je potrebna. Smanjena potrošnja goriva utječe i na razinu emisije štetnih plinova i čestica.

Jedan od načina smanjenja upotrebe konvencionalnih goriva je njihovo miješanje sa biogorivima, koja se proizvode iz različitih biljaka. Postoje željeznička vozila koj su pokrenuta isključivo na biogoriva bez dodataka konvencionalnih goriva. Iskustva upotrebe biogoriva u usporedni s konvencionalnim gorivima pokazala su da biogoriva utječu na neke karakteristike motora vozila, ali uspjevaju samanjiti emisiju stakleničkih plinova.

KLJUČNE RIJEČI: hibridna vučna vozila, baterije, regenerativno kočenje, emisjski standardi.

SUMMARY

Reducing fossil fuel stocks and the negative impact of combustion gases have prompted people to look for some alternative modes of transport.

Hybrid railway vehicles manage to reduce fuel consumption because the energy that would otherwise be lost in the environment manages to be returned in the energy tanks built into the vehicle. The stored energy can be used in different operating modes depending on when it is needed. Reduced fuel consumption also affects the level of emissions of harmful gases and particles.

One way to reduce the use of conventional fuels is to mix them with biofuels, which are produced from different plants. Some railway vehicles can use exclusively biofuels without the addition of conventional fuels. Experience of using biofuels compared to conventional fuels shows that biofuels affect some characteristics of engines, but manage to reduce greenhouse gas emissions.

KEY WORDS: hybrid drive vehicles, batteries, regenerative braking, , emission standards.

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Vučna vozila s hibridnim pogonom 2
   2.1. Princip hibridnog pogonskog sustava 3
   2.2. Spremnici energije 9
3. Vučna vozila s pogonom na alternativna goriva 12
   3.1. Biodizel 13
   3.2. Ostala biogoriva 17
4. Prednosti i nedostatci vučnih vozila s ekološkog motrišta 21
5. Standardi za ispušne plinove željezničkih vozila 23
6. Zaključak 25
7. Literatura 26

1. Uvod

Željeznički prijevoz u odnosu na druge oblike prijevoza možemo smatrati najprihvatljivijim s ekološkog stajališta. Zahvaljući relativno maloj površini koju zauzima željeznička infrastruktura smanjuje se utjecaj na krajolik i na životni prostor životinja. Na smanjenje emisije stakleničkih plinova utječe veliki broj elektrificiranih dionica. Upotreba dizel goriva na neelektrificiranim dionicama pokušava se smanjiti upotrebom hibridnih vučnih vozila i alternativnih goriva. Provođeni su različiti testovi i ostvareni različiti rezultati u mnogim državma svijeta, neki primjeri su opisani u ovom radu.

Ovaj završni rad se sastoji od šest poglavlja.

U prvom poglavlju Vučna vozila s hibridnim pogonom ovaj rad se bavi konceptom hibridnih vozila. Navedeno je i par primjera hibridnih željezničkih vozila koja su upotrebljavana za prijevoz, te opisani rezultati koje su ta vozila ostvarila usporedno s konvencionalnim pogonom.

Poglavlje Vučna vozila s pogonom na alternativna goriva također navodi primjere iz različitih djelova svijeta gdje su alternativana goriva upotrebljivana na željeznici. Biogoriva imaju svoje korisne, ali i neke negativne aspekte koji su navedeni u radu za svaka biogoriva koja imaju potencijalnu upotrebu na željeznici.

U četvrtom poglavlju govori se o ekološkim pogodnostima koje bi u budućnosti mogle biti ostvarene upotrebom ovih alternativnih ideja, ali također se ukazuje i na neke negativne ekološke posljedice do kojih bi došlo intezivnom proizvodnjom sirovina od kojih se proizvode biogoriva i neodgovornim ponašanjem prema dotrajalim baterijama iz hibridnih vozila.

U petom poglavlju su navedeni emisijski standardi za željeznička vozila koje su definirali Svjetska željeznička organizacij (UIC) i europske direktive koje se odnose na zaštitu okoliša.

Za izradu rada su korišteni članci, znanstveni radovi, rezultati različitih ispitivanja te podaci sa interneta.

2. Vučna vozila s hibridnim pogonom

Hibridna vozila su vozila koja koriste ugrađeni sustav za skladištenje energije (*rechargeable energy storage system - RESS*) koji se može puniti, smješten između izvora energije (često pokretača dizelskog motora) i sustava prijenosa vuče spojenog na kotače.[4] Implementacija hibridnog pogona na vozilima predstavlja dodatni doprinos u uštedi goriva i smanjenje štetnih emisija. To se odnosi na napredni oblik pogona koji je već neko vrijeme ima komercijalnu primjenu na osobnim motornim vozilima, a u novije vrijeme počeo se primjenjivati i na većim prijevoznim sredstvima kao što su željeznička vozila.

Hibridni pogon u osnovi predstavlja kombinirani pogon najčešće sa dva izvora energije. Fokus je na primjeni električne energije kao pogona, koja se napaja iz određenog izvora. To mogu biti baterije, generator električne energije, kontaktni kabel, gorivne ćelije i slično. Drugi izvor energije obično je dizel motor koji je manje snage u odnosu na samostalni pogon. Uređaj za skladištenje energije ima istaknutu ulogu u implementaciji hibridnog pogona. To se prvenstveno odnosi na uređaje za skladištenje električne energije. Stoga je u posljednje vrijeme fokus najviše bio na razvoju različitih oblika skladištenja električne energije . Dostupne su poznate olovne i nikal-kadmijeve (Ni-Cd) baterije 1990 -ih, ali nisu bili zadovoljavajući za serijsku primjenu u hibridnom pogonu na vozilima, osobito za veća vozila. Danas dostupne su baterije na bazi nikal-metal-hidridne (Ni-MH) i litij-ionske (Li-ionske) baterije, koje se mogu koristiti i za motorna vozila i za željeznička vozila.[1] Pogonski sklop vozila uključuje sve komponente koje se koriste za transformaciju pohranjene potencijalne energije. Pogonski agregati mogu koristiti kemijsku, solarnu, nuklearnu ili kinetičku energiju i učiniti je korisnima za pogon. Najstariji primjer je parna lokomotiva. Uobičajni moderani primjer je električni bicikl. Drugi hibridni pogoni koriste zamašnjake za skladištenje energije.[5]

Hibridi dolaze u mnogim konfiguracijama. Među različitim tipovima hibridnih vozila, samo kombinacija električnog pogona i motora s unutrašnjim izgranjem bila je komercijalno dostupna od 2016. Jedan od najranijih oblika hibridnih kopnenih vozila bio je trolejbusni eksperiment "bez tragova" u Sjedinjenim Državama (New Jersey) koji je trajao od 1935. do 1948. godine, a koji je obično koristio vučnu struju isporučenu žicom. Trolejbus je bio opremljen motorom s unutarnjim izgaranjem (ICE) za izravno napajanje mehaničkog pogona, a ne za proizvodnju električne energije za vučni motor. To je omogućilo da se vozilo koristi tamo gdje nije bilo kontaktne žice.[5]

2.1. Princip hibridnog pogonskog sustava

Izbor hibridne arhitekture i konfiguracije sustava ovisi o radnom ciklusu vozila, kao i o pitanjima kao što su troškovi cijelog životnog ciklusa i održavanje. Za sustave s dva izvora napajanja, primarni pokretač obično je motor s unutarnjim izgaranjem, koji je podržan od drugog izvora energije, poput akumulatorskog sustava u razdobljima velikih potreba za energijom (na primjer, pri ubrzanju). Put snage od primarnog pogona do kotača vozila također ima mnoge tehnički izvedive mogućnosti. Željeznička vozila trenutačno koriste brojne sustave, uključujući dizel - električni prijenos, koji je uobičajen u mnogim lokomotivama. Dizelsko-električni pogonski sklop ne uspijeva definirati hibrid jer električni pogon izravno zamjenjuje mehanički prijenos, a ne služi kao dodatni izvor pogonske snage. U načelu, potrebne su samo manje izmjene pogonskog sustava za pretvaranje postojećeg električnog prijenosnog sustava u onaj koji može primiti skladištenje električne energije između vučnih pogona i primarnog pogona.[2]

U hibridnim vučnim vozilima metode spajanja generatora u odnosu na baterije i vučne elektromotore su različite. Različite konfiguracije mogu biti: serijski, serijsko paralelni i paralelni sustavi. Paralelni i serijsko paralelni sustavi predstavljaju nešto složeniji dizajn u odnosu na serijski sustav s relativno približno istim efektima, zbog čega se serijska konfiguracija češće provodi u praksi. U serijskom hibridnom pogonskom sustavu mehanička energija Dizelskog motora pretvara se u električnu energiju koja pokreće vozilo. U paralelnom sustavu vozilo prvenstveno pokreće dizel motor. Elektromotori se koriste u radnim režimima kod nižih preformansi dizelskog motora. Ovdje se baterije stalno drže u stanju punjenja. Energija za punjenje baterije dobiva se iz dizelskog motora, iz kinetičke energije vozila, t.j. tijekom usporavanja i kočenja. U osnovi, postoji niz varijanti dizajna hibridnog pogona ovisno o potrebama, koje je potrebno uzeti u obzir posebne karakteristike u odnosu na potrebnu snagu i vrstu i veličini vozila. Ovdje se , veličina i vrsta baterija koje mogu ispuniti postavljene zahtjeve mora uzeti u obzir. Za sada se hibridni pogon počinje ugrađivati na manje željeznička vučna vozila, kao što su motorni vlakovi i manevarske lokomotive. Konvencionalni pogon vagona u osnovi sastoji se od Dizelskog motora s prijenosom snage uglavnom hidrauličkog tipa (Slika 1). Za takav pogon potreban je stalni dizelski motor pogon tijekom vuče. Pri usporavanju, kočenju ili vožnji uzbrdo energija se kočenjem obično pretvara u toplinu i oslobađa u okoliš koji se ne koristi za vuču.[1]

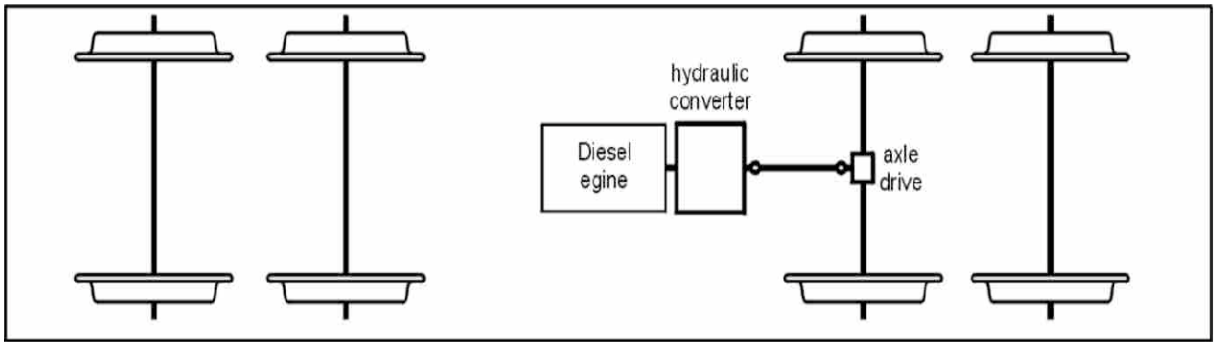


Figure 1: Classical propulsion with hydraulic power transmission

Slika 1 Konvencionalni pogon s hidrauličnim prijenosom[1]

Serijski hibridni pogon znači pretvaranje mehaničke energije dizelskog motora u električnu energiju pomoću generatora. Generirana električna energija se, ovisno o režimu rada, koristi za vuču putem statičkog pretvarača i vučnog elektromotora, obično trofaznog asinkronog motora i za punjenje baterije (slika 2).[1]

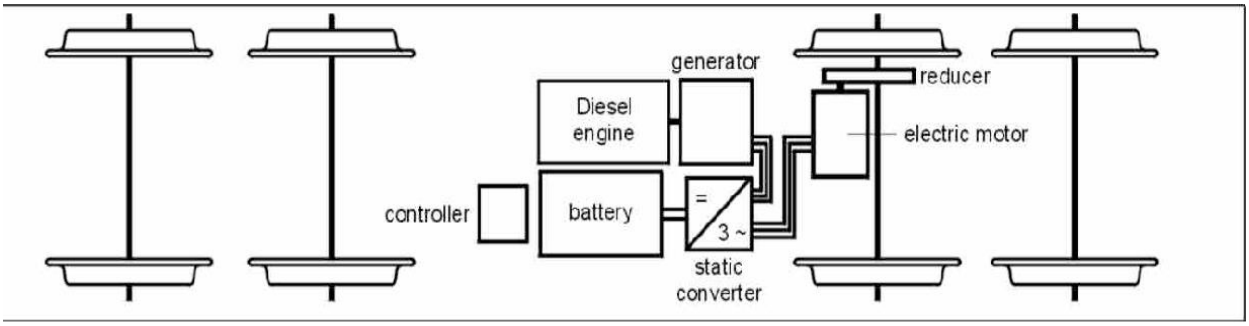


Figure 2: Series hybrid propulsion

Slika 2 Serijski hibridni pogon[1]

Postoje različiti primjeri razvoja hibridnih vučnih vozila u svijetu. Primjere izvedbi hibridnih lokomotiva imamo u: bivšoj Čehoslovačkoj, Rusiji, SAD-u , Ujedinjenom Kraljevstvu i Japanu. U daljnjem radu objasnit cemo pricip rada nekih primjera koji se danas koriste.[4]

Jedan od specifičnih dizajna hibridnog pogona, "Hibridni vučni sustav s pomoćnim motorom (MA)" razvio je Hokkaido Railway Company (JR Hokkaido) kao inovativno tehnološki vlak (slika 3) čija je pogonska shema prikazana na slici 4. Vozilo ne koristi dizelski motor pri malim brzinama rada što smanjuje razinu buke iz vozila tijekom boravka u postajama i pri napuštanju postaja. Provedba specifičnog prijenosa (prijenos s mehaničkim pomakom) povećava vučne performanse i omogućuje pretvorbu mehaničkih energije pri usporavanju i kočenju u električnu energiju koja se može kasnije ponovno upotrijebiti. Modularni dizajn cijelog pogonskog sustava smanjuje troškove životnog ciklusa.[1]

Figure 3: Innovative Technology Train of Hokkaido Railway Company (JR)

Slika 3 Inovativno tehnološki vlak Hokkaido Railway kompanije[1]

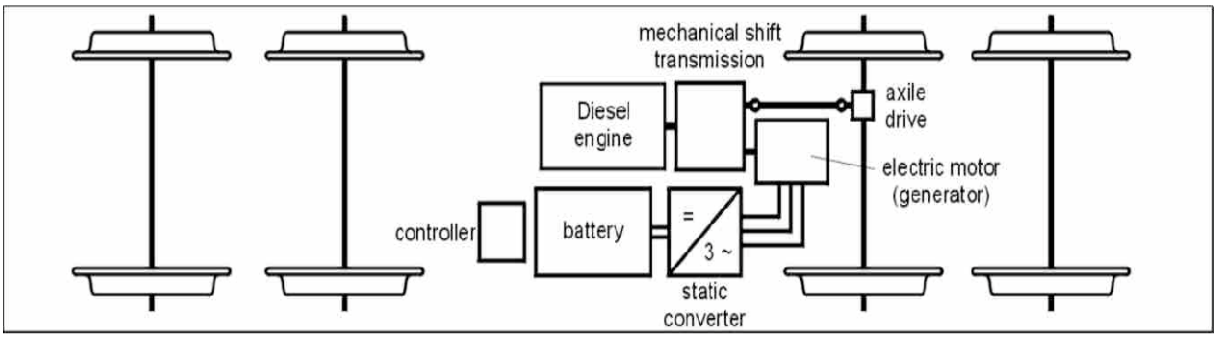


Figure 4: Motor-Assisted (MA) Hybrid Traction System

Slika4 Pogonska shema inovativno tehnološkog vlaka (INT)[i][1]

Tijekom pogona električnim motorom udobnost vožnje je poboljšana jer skokove pogonskog momenta apsorbira električni motor. Vozilo je ekološki prihvatljivo jer smanjiva potrošnju goriva i emisije CO, NOx i čestica . MA hibridni pogon u osnovi se sastoji od dizelskog motora i takozvanog aktivnog prijenosa koji uključuje mehanički prijenos, vučni elektromotor, statički pretvarač, baterija i kontrolera. Pogon se može ostvariti dizelskim motorom s mehanički prijensnim mjenjačem, vučnim elektromotorom s mehaničkim mjenjačem i kombinacijom dizela motora i vučnog elektromotora. Pri kočenju vučni elektromotor radi kao generator, a generirana električna energija služi za punjenje baterija.

Spomenuti hibridni pogon programiran je tako da radi na sljedeći način (slika 5):

- Pogon vučnim elektromotorom pri ubrzanju kada vozilo napušta stanicu do brzine vožnje od 45 km / h kako bi se smanjila buka. Tijekom dužeg zadržavanja kontroler zaustavlja Dizelski motor što također smanjuje buku.
- Pri brzini od 45 km / h uključuje se dizelski motor i njegova snaga se koristi za daljnje ubrzanje vozila. Manjak napajanja se nadopunjuje električnom energijom iz baterija.
- U vožnji uzbrdo dizelski motor pokreće vuču elektromotora pri tome se mijenja rad generatora i dobivena električna energija koristi se za punjenje baterije.
- Prilikom kočenja koristi se kinetička energija vozila za pogon generatora, a proizvedena električna energija se koristi za punjenje akumulatora koja se kasnije može koristiti u vozilu za pogon preko vučnog elektromotora.[1]

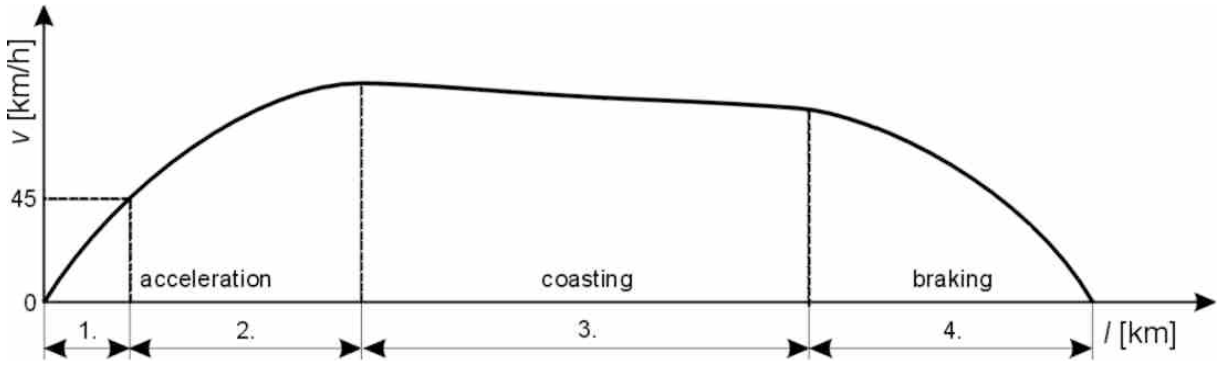


Figure 5: MA hybrid propulsion operating modes

Slika 5 Operativni modovi INT vlaka

U usporedbi sa konvencionalnim pogonom, spomenuti dizajn smanjuje potrošnju goriva za 15 do 20%, tj. postiže odgovarajuće smanjenje CO2 emisije. To je rezultat činjenice da je u pogon uključen dizelski motor u optimalnom režimu s aspekta potrošnje goriva i nižim gubicima u prijenosu s mehaničkim prijenosom u odnosu na hidraulički ili električni prijenos snage. Niži NOx i emisije čestica postižu se sofisticiranim izvedbom dizelskog motora, kao što je npr. primjena common-rail sustav opskrbe gorivom. Daljnje smanjenje dimenzija i težine takvog hibridnog pogona smanjile bi također i cijenu baterija, statičkog pretvarača čak i na postojećim vagonima s odgovarajućom rekonstrukcijom.

Primjer hibridnog pogona motornog vagona je prototip pod nazivom Novi energetski vlak koji je razvila Istočnojapanska željeznica Tvrtka (JR EAST) i Hitachi Ltd. (Slika 6) . Razvoj koji je uslijedio imao je za cilj smanjenje potrošnje goriva, štetnih emisija i buke. Vlak je bio dizajniran s dizel-električnim hibridnim pogonom serijske konfiguracije (slika 7). Dizelski motor ima najveću snagu od 330 kW pri 2100 o / min koji pokreće trofazni asinkroni generator snage 230kW. Proizvedena električna energija je pretvara u AC / DC pretvaraču iz trofaznog sustava u sustav istosmjerne struje, a ta se istosmjerna struja može se koristiti za pogon vučnih elektromotora ili za punjenje akumulatora. Vlak ima dva trofazna vučna elektromotora od 95 kW svaki za istosmjernu struju tako da za njihovo napajanje mora biti pretvarnje u DC / AC pretvaraču u trofaznu alternativnu struju s podesivom frekvencijom za regulaciju brzine vožnje.[1]

Slika 6 Novi energetski vlak[1]

Baterija se može puniti iz generatora u isto vrijeme dok pokreće pogon vučnih elektromotora i tijekom kočenja pomoću električne energije proizvedene iz elektromotora koji djeluju kao generatori tijekom kočenja pretvarajući kinteičku energiju vlaka u električnu. Harmoniziran rad cijelog sustava osigurava kontroler s ciljem ostvarivanja maksimalne energetske učinkovitosti. Baterija je litij-ionska baterija velikog kapaciteta 10k Wh i izlazna snaga 250 kW. Baterija radi u međupodručju između pretvarača i pretvarača statičkog pretvarača i može se puniti iz generatora ili

elektromotora u regenerativnom smjeru kočenja i služi za opskrbu vučnih elektromotora pri vuči u planiranom režimu.

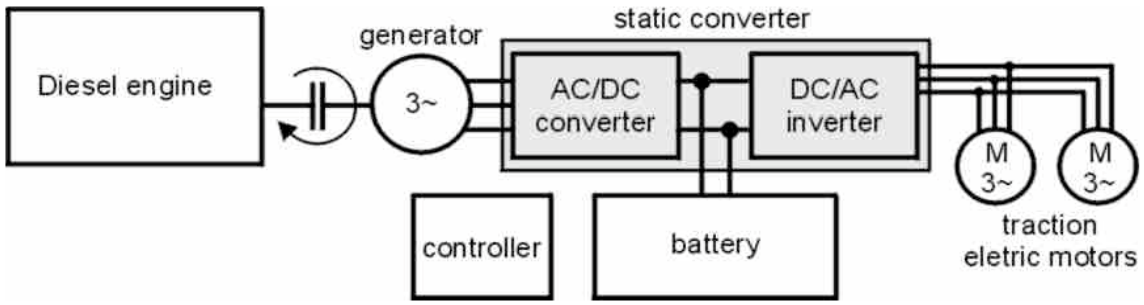


Figure 7: NE train (New Energy Train) series hybrid propulsion

Slika 7 Pogonska shema Novog energetskog vlaka (nev) [1]

Radni režimi serijskog hibridnog pogona prikazani su u Slici 8. Ovo je ubrzanje ako se koristi samo električna energija iz baterija (1), nastavak ubrzanja odvija se korištenjem električne energije iz baterije i iz generatora pogonjenog dizelskim motorom (2), uspinjanje (3) i kočenje (4).

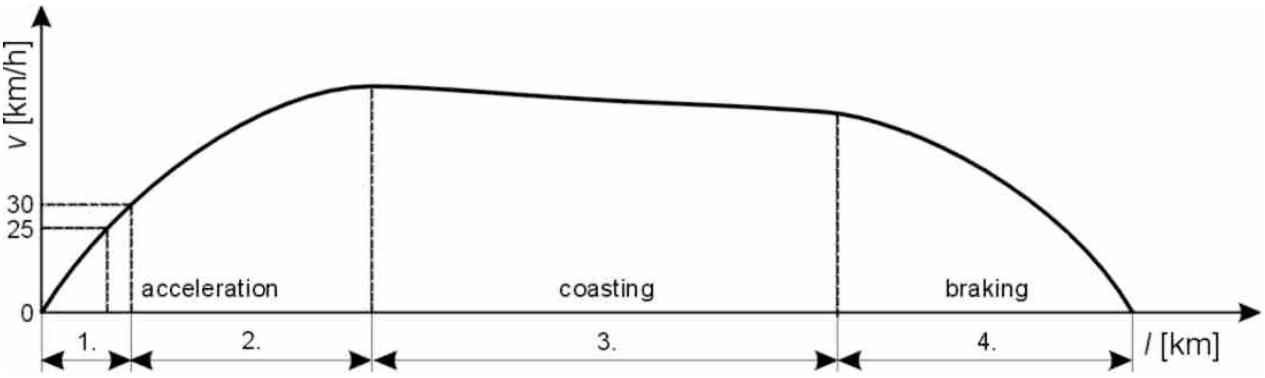


Figure 8: Operating regimes of NE train series hybrid propulsion

Slika 8 Operativni modovi rada NET-a [1]

Pokretanje vozila i ubrzanje do 25 km / h ostvaruje se vučnim elektromotorima na baterije. Kad je ova brzina dosegnuta, dizelski motor se pokreće i radi u praznom hodu do brzine kretanja vozila 30 km / h. Nakon toga, dizelski motor povećava brzinu vrtnje i snagu i počinje napajati generator. Do kraja ubrzanja elektromotori se napajaju iz generatora i baterije. U slučaju da dizelski motor generira preko generatora više energije nego što je potrebno za opskrbu vučnih elektromotora, višak snage koristi se za punjenje baterija. Kod uspinjanja, dizelski motor nastavlja isporučivati energiju generatoru na neko vrijeme, a generirana električna energija koristi se za punjenje baterija. Nakon toga se dizelski motor okreće u praznom hodu i isključuje generator. Kod kočenja dizelski motor nastavlja raditi u praznom hodu do brzine blizu zaustavljanja tada se motor isključuje. Kočenje je regenerativno, tj. kinetička energija vlaka pri kočenju koristi se za pogon elektromotora koji rade kao generatori, i proizvedena električna energija koristi se za punjenje baterija. Tendencija u korištenju dizelskog motora je osigurati njegov rad s minimalnom specifičnom potrošnjom goriva,

čime se smanjuje ukupna potrošnja goriva. Kako bi se smanjila buka i štetnost emisije, dizelski motor je isključen na postajama, i uključuje se tek kad se postigne brzina od 25 km / h. Predstavljeni hibridni pogon omogućuje uštedu u potrošnji goriva do 20% u usporedbi s konvencionalnim dizelskim pogonom, i štetne emisije ispušnih plinova (NOx, HC, CO i čestice tvari) smanjene su do 50%.[1]

Hibridni pogon željezničkih vozila još je u razvojnoj fazi. U pokušaju su da se osmisle različita tehnička rješenja koja će postići optimalne rezultate u pogledu potrošnje goriva i štetnih emisije ispušnih plinova dizelskih motora. Osim hibridnog pogona koji se u osnovi sastoji od dizelskog motora, baterija za opskrbu energijom i elektromotora za vuču, hibridni pogon može uključivati i gorivne ćelije kao izvor električne energije umjesto dizel motora kao generatora agregata. [1]

2.2. Spremnici energije

Ušteda energije iz sustava koji sadrži spremnike energije može se ostvariti putem smanjenja i optimizacije rada primarnog motora, a kroz hvatanje i oslobađanje energije kočenja. Željeznički operateri također favoriziraju daljnje potencijalne mogućnosti za uštedu energije optimiziranjem stila vožnje kako bi se povećala upotreba regenerirane energije i pažljivo upravljanjalo uređajem za pohranu energije. Odabir medija za skladištenje energije složen je proces: uređaji za skladištenje energije mogu imati bitno različite karakteristike, što znači u konačnici da će se sustavi značajno razlikovati. Skladištenje energije može biti električno ili mehaničko. Električni mediji za pohranu pogodni za vozila uključuju superkondenzatore i baterije. Obje ove tehnologije imaju različita operativna ograničenja. Mehaničko skladištenje uključuje komprimirane sustave za skladištenje i sustave zamašnjaka. [2]

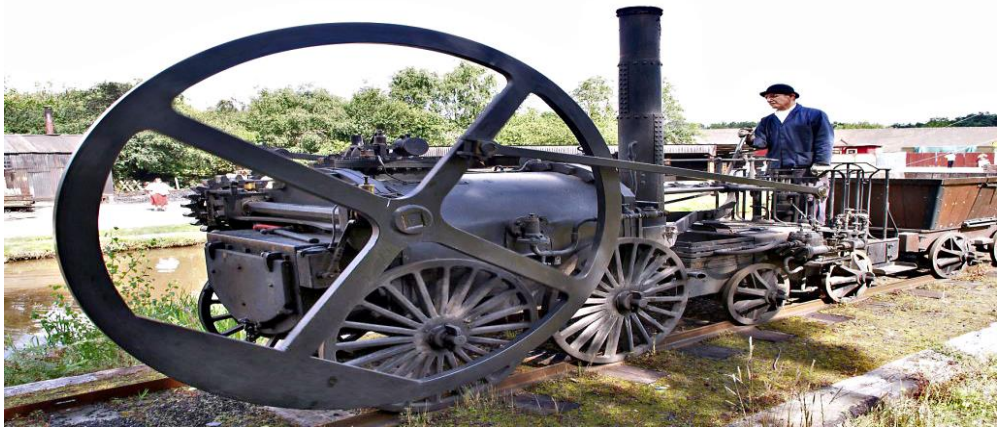
Starije generacije baterija poput olovne i nikal-kadmijeve danas se ne koriste u izradi hibridnih vozila zbog svoje težine. Ove baterije također imaju i ekološke nedostatke jer su jako toksične. Kod hibridnih željezničkih vozila i drugih hibridnih vozila uglavnom se koriste nikal-metal-hidrid baterija (NiMH, Ni-MH) koja pripada skupini punjivih baterija na bazi nikla. Spada u drugu generaciju takve vrste baterija, u sekundarne elektrokemijske baterije. Tehnološki predstavlja generaciju baterija koje su naslijedile nikal-kadmijevu bateriju. U ovoj generaciji niklovih baterija riješena je jedna od velikih mana, a to je toksičnost, jer su nikal-kadmijeve baterije sadržavale toksični kadmij. Kadmij je nadomješten hidridom koji je slitinu koja nije toksična s vodikom, a taj hidrid je negativna elektroda. Osim što je ekološki bolji, novi element u bateriji pridonio je energijskom poboljšanju. Gustoće je energije do 50% veća nego kod nikal-kadmijevih prethodnika, odnosno kapacitet im je veći od 2 do 3 puta. Time se riješila i druga glavna mana Ni-Cd baterije. NiMH baterije su većeg kapaciteta i u usporedbi s naprednijom generacijom baterija, litij-ionskih baterija. Mana ove baterije je dvostruko kraći životni vijek, no zbog mogućnosti česte uporabe i mnoštva ciklusa, ova slabost nije uočljiva. Druga slabost ove baterije je snažnije samopražnjenje baterije.[6]

Litij - ionske baterije (Slika 9) pripadaju skupini punjivih baterija. U ovoj vrsti baterija tijekom pražnjenja litijevi ioni kreću se od negativne elektrode ka pozitivnoj. Suprotan se proces zbiva prigodom punjenja baterije. Budući da je osnovna tvar vrlo lagana kovina litij, sama baterija vrlo je lagana. Prednost ovakve vrste baterije je vrlo velika gustoća energije koja je skoro dvostruko veća od obične NiMH baterije. Sljedeća prednost je triput veći nazivni napon od napona koji je u baterijama na bazi nikla (3,6 V prema 1,2V). Treća velika prednost u odnosu na niklove baterije je što ju nije nuždno održavati, jer nije podložna nikakvim štetnim efektima poput memorijskog kad ju se ne koristi niti kristalizacijskog. Zbog toga nema potrebe za periodičnim pražnjenjem, a može ju se puniti u bilo kojem vremenu. Četvrta prednost litij-ionske baterije je dug životni vijek koji može biti od 500 do 1000 ciklusa. Veliki je kapacitet. Ove su baterije popularne u potrošačkoj elektronici, osobito kod mobilnih telefonskih uređaja. Osim kod te vrste elektronike, veliki kapacitet ovih baterija iskoristila je vojska za električna vozila i za letjelice.[6]

Slika 9 Rolls-Royce „The MTU EnergyPack”, novi hibridni agregat za željezničke sustave, sastoji se od 180 pojedinačnih Li-ionskih ćelija, ima kapacitet 30,6 kWh i 350 kilograma.[7]

Superkondenzator (SC), koji se naziva i ultrakondenzator, je kondenzator velikog kapaciteta s kapacitetom mnogo većim od ostalih kondenzatora, ali s nižim granicama napona, koji premošćuje jaz između elektrolitskih kondenzatora i punjivih baterija. Obično pohranjuje 10 do 100 puta više energije po jedinici volumena ili mase od elektrolitskih kondenzatora, može prihvatiti i isporučiti punjenje mnogo brže od baterija te podnosi mnogo više ciklusa punjenja i pražnjenja od punjivih baterija. Superkondenzatori se koriste u projektima koji zahtijevaju mnogo brzih ciklusa punjenja i pražnjenja, umjesto dugotrajnog kompaktnog skladištenja energije. Koriste se u automobilima, autobusima, vlakovima, dizalicama i liftovima, gdje se koriste za regenerativno kočenje, kratkotrajno skladištenje energije ili za dodatnu isporukku energije. [8]

Zamašnjak je teški kotač koji, kada se zavrti, velikim momentom tromosti ili inercije ublažuje nemirni rad stroja, zbog udarnih opterećenja kod drobilica, alatnih ili valjaoničkih strojeva i drugo. Nakupljenom kinetičkom energijom svladava mrtve točke strojeva (na primjer parnoga stroja), ili služi za stabilizaciju gibanja vozila, satelita, projektila i drugo . Obično je to željezni ili čelični puni kotač. [9]



Slika 10 Zamašnjak na parnoj lokomotivi iz 1802[9]

Budući da se koncept hibridnih vozila zasniva na skladištenju energije u spremnike koja će se kasnije koristiti u različitim režimima ovisno kad bude potrebna i na taj način utjecati na potrošnju goriva i emisiju ispušnih plinova. Glavni cilj je spriječiti gubljenje energije i vratiti je u sustav. Jedan od načina na koji se to postiže je regenerativno kočenje. Regenerativno kočenje je mehanizam za oporavak energije (slika 11) koji usporava vozilo ili objekt u pokretu pretvarajući njegovu kinetičku energiju u oblik koji se može odmah upotrijebiti ili pohraniti do potrebe. U ovom mehanizmu električni vučni motor koristi kretanje vozila za oporavak energije koja bi se inače izgubila na kočionim diskovima kao toplina. To je u suprotnosti s konvencionalnim kočnim sustavima, gdje se višak kinetičke energije pretvara u neželjenu i uzalud potrošenu toplinu zbog trenja u kočnicama. Osim što poboljšava ukupnu učinkovitost vozila, regeneracija može značajno produljiti vijek trajanja kočionog sustava jer se mehanički dijelovi neće brzo istrošiti. [10]

Slika 11 Mehanizam za regenerativno kočenje na krovu tramvaja Škoda [10]

3. Vučna vozila s pogonom na alternativna goriva

Biogoriva se proizvode iz organskih izvora, obično iz biljne biomase (iz usjeva ili otpadnih materijala ili ulja). Njihova uporaba općenito može rezultirati neto smanjenjem stakleničkih plinova emisije u usporedbi s konvencionalnim fosilnim gorivima. Najvjerojatnije glavna vrsta biogoriva relevantana za uporabu na željeznici je biodizel, no mogu i druge vrste biogoriva pronaći svoju primjenu na željeznici, uključujući bioetanol (i srodni biobutanol), bioplin i zemni plin.

Potencijalno smanjenje emisije stakleničkih plinova jedan je od glavnih razloga korištenja biogoriva kao alternative konvencionalnim transportnim gorivima, osobito u Europi. U drugim zemljama, npr. u SAD -u, biogoriva su više podržana zbog njihovog potencijala povećanja energetske sigurnosti, tj. smanjenja ovisnosti o uvoznim energentima, nego zbog ekoloških razloga. Biogoriva se mogu miješati s konvencionalnim gorivima ili koristiti u čistom obliku za zamjenu ovih goriva. Biodizel se, dakle, može miješati sa konvencionalnim dizelom ili ga zamijeniti, dok bio-etanol zamjenjuje benzin (tj. benzin). Mješavine biogoriva su označene kombinacijom slova i broja koji označava gorivo i postotak mješavina. Na primjer, dizel pomiješan s 5% biodizela naziva se B5, dok se benzin miješa s 85% bioetanola naziva se E85(slika12).

Glavni mehanizam za poticanje povećanja uporabe biogoriva na cestama je postojanje razlike u pristojbama za gorivo (npr. biodizela u usporedbi s fosilnim dizelom) i obveze prema dobavljačima goriva. Željeznice su u drugačijem položaju od cestovnog prometa, dok su pristojbe na gorivo u cestovnom prometu visoke, željeznica često plaća relativno manje pristojbe za gorivo. Stoga je, uporaba konvencionalnog dizela na željeznici često jeftinija od biodizela. Stoga trenutno postoji malo prostora za uvođenje razlika u pristojbama za poticanje povećane uporabe biodizela bez prethodnog povećanja pristojbina konvencionalni dizel, koji bi, barem kratkoročno, povećao cijenu goriva koji koristi željeznica. Obavezanje opskrbljivača gorivom da koristite određeni udio biodizela u njihovom gorivu također bi povećalo troškove goriva.

Međutim, brojni europski željeznički prijevoznici proveli su vlastita laboratorijska i terenska ispitivanja na tračničkim vozilima i motorima uključuju Francuskog željezničkog operatera SNCF, njemačkog željezničkog operatera DB, češkog CD operatora, mađarski operatera MAV i neki izvan Europe kao naprimjer Indija, Australija USA. Testovi ovih operatera dali su mješovite rezultate. [3]

Slika 12 Različite mješavine biodizela [3]

3.1. Biodizel

Biodizel se može proizvoditi iz biljnih ulja, recikliranog otpadnog jestivog ulja ili životinjske masti, procesom transesterifikacije, pri čemu kao sporedni proizvod nastaje glicerol. Izbor osnovne sirovine za dobivanje biodizela zavisi od odgovarajućih uvjeta i prilika, pa se u Europi za proizvodnju biodizela najviše koristi ulje uljane repice (82,8 %) i ulje suncokreta (12,5 %), dok se u Americi najviše koristi ulje soje, a u azijskim zemljama se koristi i palmino ulje.

Iako postoji značajno iskustvo i razumijevanje utjecaja uporabe biodizela kod cestovnih vozila, iskustvo na željeznici je ograničeno. Podaci o ispitivanjima biodizela koje provode proizvođači motora nije lako dostupan. Zbog relativno manje gustoće energije (sadržaja energije po litri goriva) FAME-a (eng. *fatty acid methyl ester* –masna kiselina metil-estera) biodizela u usporedbi s konvencionalnim fosilnim dizelom potreban je 5% veći volumen biodizela za održavanje performansi i dosega vozila u odnosu na konvencionalni dizel. Mogu postojati i problemi s mirisom povezani s izgaranjem biodizela iz nekih izvora, poput biljnih ulja, međutim to su manje važna razmatranja. Drugi nedostaci nastaju zbog agresivnog ponašanja FAME -a, što rezultira štetom na svim materijalima koji dolaze u kontakt s gorivom, oni moraju biti otporni na FAME. Na primjer, crijeva za gorivo i gumeni spojevi bubre i postanu krhki ako dođu u dodir s FAME -om. Prije nego što vozilo može raditi na čistom FAME -u ili visoko postototnoj mješavini FAME-a s dizelom, potrebno zamijeniti sve komponente „u opasnosti“ s onima koje su otporne na FAME. Istraživanje obavljeno za ATOC (Association of Train Operating Companies) od strane Interfleet-a (2006) daje sljedeći popis parametara koji su identificirani kao posebno važni s obzirom na korištenje FAME – a. Biodizel na željeznici:

Korisni aspekti:

- Smanjenje emisije ispušnih plinova (osim dušikovih oksida) i čestica
- Minimalni sadržaj sumpora (<10 ppm)
- Veći cetanski broj i točka zapaljenja
- Veća gustoća/viskoznost
- Poboljšana mazivost
- Biorazgradivost i niska toksičnost

Štetni aspekti:

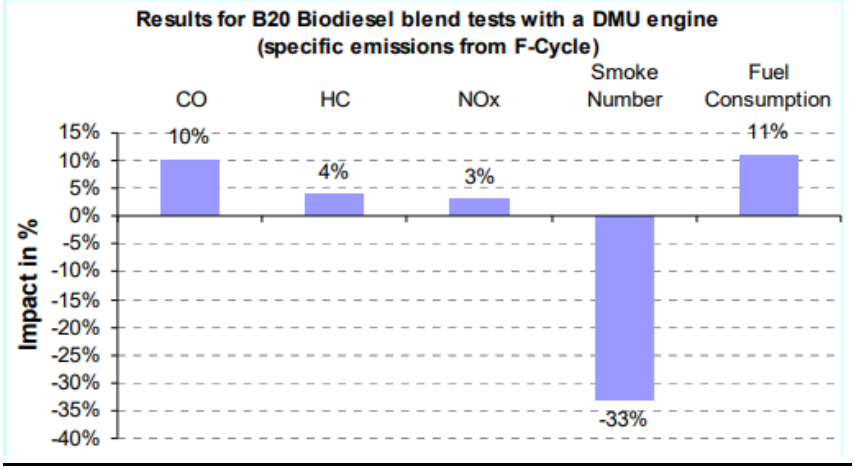
- Smanjen sadržaj energije (za približno 8-10%)
- Povećana potrošnja goriva
- Povećan dušikov oksid
- Loše pokretanje i rad pri niskim temperaturama
- Loša oksidacijska stabilnost i karakteristike absorcije vode
- Nekompatibilnost s određenim elastomerima i prirodnim gumama
- Brže razgrađivanje mazivog ulja
- Razgradnja tijekom dugotrajnog skladištenja[3]

Izvješće Interfleet-a sugerira da za mješavine veće od biodizela B5, kako se omjer mješavine povećava, mogli bi se očekivati pogoršani učinci na performanse i

pouzdanost, iako bi oni mogli biti prihvatljivo mali do B20. Neki od ovih štetnih aspekata za mješavine veće od 5% se mogu smanjiti ili prevladati finim podešavanjem motora ili manjim zamjenama opreme (npr. crijeva za gorivo i gumenih spojeva). Druga pitanja mogu zahtijevati značajnije promjene, ali proizvođači motora (i ulja) mogli bi uvelike nadvladati ako postoji dovoljna potražnja za motore kompatibilne s višim mješavinama.

Vrijedi napomenuti da napredna druga generacija biodizela koja se trenutno razvija ne dijeli ta ograničenja s današnjom generacijom. Međutim, malo je vjerojatno da će ovo gorivo biti široko dostupno u skorijem vremenskom preiodu.

Francuski željeznički operater SNCF je prethodno proveo ispitivanja na biodizelu B20 (20% biodizela pomiješanog s običnim dizelom) s DMU motorima (Slika13). DMU (eng. *Diesel Multiple Unit*) obično obuhvaća jedinice s dizelskim pogonom s dvije vrste prijenosa, mehaničkim (DMMU) i hidrauličkim (DHMU). Ispitivanjem su procijenjene emisije motora u odnosu na ISO 8178 ispitni ciklus F. Rezultati nisu pokazali značajne prednosti u emisiji, a u nekim slučajevima su čak emisije povećane (CO, HC i NOx) i povećana je potrošnja goriva.[3]



Slika 13 Rezultati za B20 mješavinu biodizela kod DMU motora[3]

Čini se da prvi rezultati kod testova na B30 (mjesavina 70% konvencionalnog dizela i 30% bio dizela) pokazuju da nema razloga za posebnu zabrinutost o upotrebi B30 u nepromijenjenim motorima. Negativna strana je ta što prema naftnoj tvrtki Total, proizvodnja B30 bila bi dvostruko skuplja u odnosu na konvencionalni dizel. Proizvodni troškovi Biodizela približno su 0,30 € po litri veći od troškova proizvodnje konvencionalnog goriva.

Unatoč ovim rezultatima, u tijeku su daljnja ispitivanja. To je uvelike posljedica izjave iz siječnja 2006. predsjednika Chiraca koji je rekao da "RATP i SNCF neće morati konzumirati više ni jednu kap ulja u roku od dvadeset godina ", tj. do 2025. godine. Ova su ispitivanja započela u jesen 2006. SNCF -om provodeći ispitivanja biodizela na određenim mjestima diljem Francuske.[3]

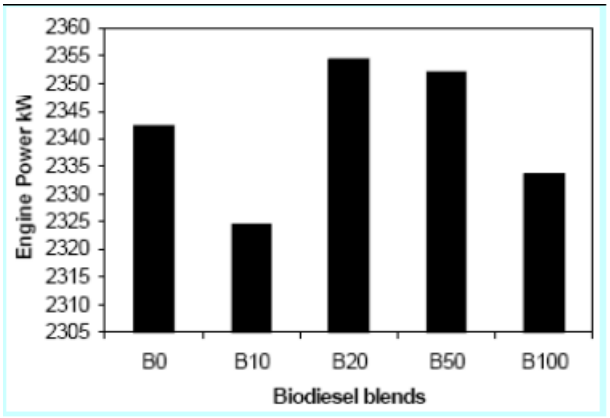
Indijske željeznice (IR), pokretač putničkog i teretnog prometa u Indiji, imaju flotu od oko 4000 dizel električnih lokomotiva koje godišnje troše oko 1,7 milijuna tona goriva. Teški dizelski motori srednje brzine, velikih otvora s razinama snage u rasponu od 560-3000 kW koriste se za te lokomotive. S ciljem smanjenja operativnih troškova,

poboljšanja performansi, povećanja gospodarske konkurentnosti i smanjenja utjecaja dizel lokomotiva na okoliš, indijske željenice aktivno istražuju uporabu biodizela na željeznici.

Kako bi se ocijenile performanse dizelskih električnih lokomotiva s Biodizelom i njegovim različitim mješavinama kao gorivom, laboratorijska ispitivanja i terenska ispitivanja provedena su na 16 cilindričnom ALCO DLW 251 serijskom motoru (2315 kW). Terenska ispitivanja provedena su na dizelskom motoru Shatadbi Express lokomotive između New Delhija i Amritsara (slika 14). Ispitivanja su provedena s B10, B20, B50 i B100 mješavinama biodizela. Izlazna snaga motora, specifična potrošnja goriva, temperature ispušnih plinova, tlakovi paljenja, emisije i tlakovi ubrizgavanja bili su neki od parametra koji su se pratili tijekom ispitivanja.[3]

Slika 14 Shatadbi Express lokomotiva [3]

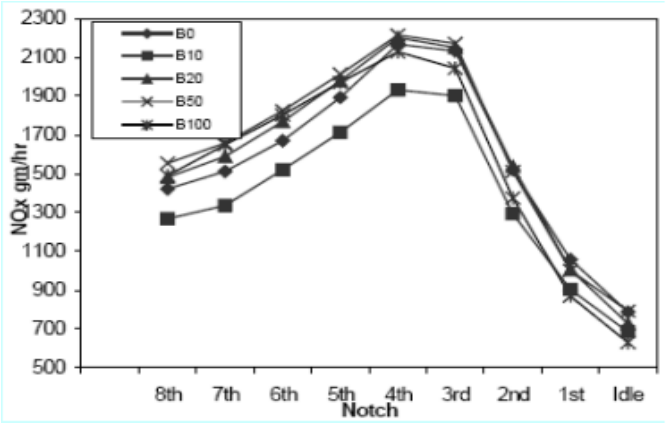
Na sljedećoj slici 15 može se vidjeti da na maksimalnu snagu motora nema značajnog utjecaja prelaskom na mješavine biodizela i snaga motora ostaje unutar ± 1% snage mineralnog dizela (B0).



Sikal 15 [3]

Specifična potrošnja goriva bila je veća s većim mješavinama biodizela: prema očekivanjima, potrošnja goriva je najveća kod B100, slijedi B50, a najniža se dobiva kod konvencionalnog dizela (B0). Međutim, IR ispitivanja također nisu pokazala značajnu razliku u potrošnji goriva s B10 i B20 mješavine u usporedbi s običnim dizelom, što sugerira da je uporaba ovih mješavina možda ograničena u smislu volumetrijske potrošnje goriva. Slika 16 prikazuje rezultate ispitivanja emisije NOx.

Emisije su najnižekod B10 u usporedbi skonvencionalnim dizelom, dok su emisije bile najveće kod B50. IR je primijetio da je prethodno istraživanje pokazalo da na stvaranje NOx kod biodizela i njegovih mješavina ne utječe samo temperatura nego stvaranje ovisi o nizu čimbenika kao što su sastav masnih kiselina, duljina lanca masne kiseline, broj dvostrukih veza, cetanski broj, tip motora i gustoća biodizela. Tako ponašanje emisija NOx kod motora ALCO 251 predmet je daljnjih istraživanja, koristeći različite biodizele na bazi sirovine i njihove mješavine. Emisije ugljikovodika (HC) smanjivale su se tijekom kretanja od B0 do B100 u testovima.[3]



Slika 16[3]

U Ujedinjenom Kraljevstvu testovi su se provodili na više dizel motora pogonjenim različitim mješavinama biodizela. Rezultati su prikazani kao postotne promjene u odnosu na dizel s vrlo niskim udjelom sumpora (ULSD) i uključuju usporedbe isporuke energije, specifične potrošnje goriva i emisije dušikovih oksida (NOx), ugljikovodika (THC), ugljikovog monoksida (CO) i čestica (PM). Ovi rezultati ukazuju na to da se optimalan učinak na performanse motora vjerojatno javlja kod mješavina između B10 i B40/50 s izuzetkom emisija NOx, svi drugi negativni utjecaji značajno se povećavaju za mješavine između B40/50 i B100. [3]

Interfleet Technology Ltd trenutno provodi britanska ispitivanja biodizela za ATOC. Kompanija Virgin također istražujue mogućnost pokretanja svoje flote vlakova klase 22X na mješavini biodizela većoj od 5 vjeruju da će to smanjiti njihov ugljični otisak i povećati njihovu korist za okoliš, Cilj ovoga je potaknuti putnike da koriste vlakove umjesto zračnih ili cestovnih prijevoznih sredstava.

Slika 17 Biodizel vlak kompanije Virgin na biodizel[3]

3.2. Ostala biogoriva

Dizelski motori koji sagorijevaju tekuća goriva (plinsko gorivo, dizelsko gorivo) pružaju najčešći tip pogonskih jedinica koju koriste željeznička vozila za pogon i druge namjene. Mnogo je razloga za to, kao što je visoka točka paljenja koja sprječava paljenje goriva, visok sadržaj energije te lakoća s kojom se može skladištiti i transportirati. Željeznička vozila obično imaju dug vijek trajanja (u usporedbi s cestovnim vozilima) i posljedično tomu zamjena mineralnih s mješavinama biodizela i 100% biodizela obično se smatraju najprikladnijim biogorivom. Međutim, druga su biogoriva dostupna i u razvoju, na primjer u Švedskoj se upravljalo vagonom opremljenim motorom modificiranim za sagorijevanje plinovitog biogoriva. Bioetanol je dostupan i obično se miješa s benzinom u cestovnim vozilima u niskim količinama (5% etanola i 95% volumena benzina, ili E5) i visokim razinama (85% etanola ili E85). Korištenje željezničkih vozila na benzinski pogon nije uobičajeno, ali bi se takvo gorivo od bioetanola moglo koristiti za željeznice, prema potrebi, na primjer u opremi za održavanje i podršku. Tamo je također budući potencijal takozvanih biogoriva druge generacije, kao što je dizel BtL (*Biomass to Liquid*) (poznat i kao sintetički dizel).[3]

BtL (Biomass-to-Liquid) i HTU (Hydrothermal Upgrading) dizel

Gas-to-Liquid (GtL) dizel je tehnologija proizvodnje sintetičkog dizela pomoću Fischer Tropsch sinteze prirodnog plina. Kada se sličan postupak provodi pomoću plina dobivenog od biomase naziva se i dizel Biomass-to-Liquid (BtL) dizel, također poznat kao 'SunFuel', 'SunDiesel'78 ili' druga generacija biodizela '. Proizvodnja biodizela BTL procesom ima značajan potencijal za proizvodnju visokokvalitetnog biodizelskog goriva (superiornog u mnogo aspekata u odnosu na konvencionalno gorivo) sa značajno nižom neto emisijom CO2 (do 90% ili čak i veše) od postojećih biodizel goriva (FAME). Ovo gorivo se općenito može koristiti u svim dizelskim motorima, ako sastav i posebno čistoća sintetičnog plina zadovoljavaju najviše standarde kvalitete. Međutim, BtL tehnologija je u ranoj fazi razvoja u ovom trenutku, u usporedbi s proizvodnjom biodizela/FAME -a.

Fischer-Tropsch proces je koji služi uglavnom u svrhu pretvaranja krutih goriva ugljena u tekuća goriva, u zemljama gdje je domaća opskrba naftom bila vrlo ograničena. Prva faza procesa BtL uključuje pretvaranje sirovine u "sintezni plin", koji je prvenstveno smjesa vodika i ugljičnog monoksida. Ovaj plin se poslje može pretvotiti u tekuće gorivo i koristiti u razne svrhe.

U usporedbi sa konvencionalnim dizelom i običnim biodizelom (FAME) BtL ima sljedeće prednosti:

- Potencijal za vrlo visoka smanjenja neto emisije CO2 (veća od sadašnjih biogoriva)
- Mogućnost značajnog smanjenja neto emisija toksičnih zagađivača zraka u usporedbi s dizelskim gorivom i biodizelom
- Sirovina od travnate ili drvenaste biomase jeftinija je i može se proizvoditi intenzivnije od postojećih uljarica i na širem tipu zemljišta
- BtL dizel može se koristiti u svim mješavinama u postojećim motorima bez preinaka

- Vrhunske razine cetana u odnosu na fosilni dizel
- Proizvodi se gorivo bez sumpora
- Poboljšane performanse u usporedbi s nekim ograničavajućim područjima FAME -a, poput točke zamrzavanja i sadržaja energije

i nedostatke vrlo visokih ukupnih proizvodnih troškova i to što je tehnologija još u razvoju i tek treba dokazati.

Hidrotermalno nadograđen dizel (HTU) se može proizvesti iz zaostale organske hrane s visokim udjelom sadržaja vode, za razliku od suhih ostataka za BtL. Hidrotermalni proces nadogradnje temelji se na depolimerizaciji i deoksigenaciji biomase pomoću hidrolize i razgradnjom. Ovaj proces mora biti praćen katalitičkom hidrodeoksigenizacijom (HDO) za proizvodnju konačnog dizelskog goriva. Postupak se može koristiti suhim ili (jeftinijim) vlažnim biomasama (poput ostataka u šumarstvu, poljoprivredi i iz prerade hrane). Smatra se da potencijal smanjenja emisije stakleničkih plinova iznosi 65-90%. HTU proces je još u relativno ranoj fazi razvoja (više nego BtL dizel), pa je teško napraviti procjene troškova. Jako je zanimljiv zbog mogućnosti korištenja mokre biomase, jer troškovi mogu doseći razine ispod onih sadašnjih konvencionalnih dizela, u suprotnom slučaju se neće koristiti . Trenutni pokazatelji govore da će kvaliteta goriva biti jednaka ili bolja od konvencionalnog dizel goriva.[3]

Bioplin i Biometan

Primjena prirodnog plina na željeznici koristila se uglavnom u demonstracijskim projektima, ali bi mogala imati primjenu u urbanim sredinama gdje bi smanjena emisija i tiši motori imali prednost. Neki su vlakovi voženi na komprimirani prirodni plin (CNG), ali su potrebne velike količine CNG boca za skladištenje dovoljne količine goriva, pa bi ukapljeni prirodni plin (LNG) mogao biti praktičnija solucija za prijevoz na velike udaljenosti.

Iskustva korištenja bioplina u željezničkom prijevozu ograničena su uglavnom na Švedsku. Švedske tvrtke Euromaint i Svensk Biogas razvile su prototip vlaka koji vozi isključivo na bioplin(slika 18) . Pretvorili su vagon s dizelskim motorom Fiat Y1 za pogon na dva bioplin mora iz Volvovih autobusa(Volvo Bussar AB). Vlak je opremljen s jedanaest spremnika plina koji mu omogućuju doseg od 600 kilometara (375 milja), izlaznom snagom od 286 KS i najvećom brzinom od 130 kilometara (80 milja) na sat. Prototip s jednim prijevozom koštao je 1,08 milijuna eura za razvoj i može nositi najviše 54 putnika. Procjenjuje se da je vlak, kada se koristo između Linkopinga i Vastervika, koštao 20% više za vožnju na metan nego na uobičajeni dizel. Bioplin koji koristi je mješavina metana, CO2, CO, Nox, a emisija PM -a je znatno bolja od vuče na dizelski pogon.[3]

Slika 18 Prototip vlaka na bioplin [3]

Postoje i drugi primjeri pretvaranja dizelskih tračničkih vozila u pogon na bioplin:

Peruanska središnja željeznica preuredila je teretni i putnički vlak u pogon na dizel - plin tvrtke General Electric i sada radi na liniji Anda visokoj 4800 metara između Lime i regije Huancayo. Razlozi navedeni za pretvorbu bili su čistije izgaranje i znatno niže cijene plina.

Deutsche Bahn AG pustio je u pogon prvu dizel-hidrauličnu lokomotivu klase 360 koja je pretvorena u pogon na ukapljeni prirodni plin (LNG), a koja svakodnevno pokreće kompletne putničke vlakove na glavnom kolodvoru u Münchenu. Pilot projekt koji vodi DB -ov Münchenski istraživačko-tehnološki centar prvenstveno nastoji istražiti potrošnju energije stroja, raspon, opskrbu gorivom, emisije štetnih tvari i buku te troškove životnog ciklusa. Plinski motor proizvodi 472 kW i to je D 3508 Caterpillar -ov dizelski motor pretvoren u plinski pogon. Sustav spremnika nosi max. 872 litre ukapljenog prirodnog plina pod tlakom od oko četiri bara i temperaturom minus 138 ° C. Prije nego što se plin dovede u motor pri 2,5 bara, izmjenjivač topline zagrijava ga do +20 ° C.

Opći sažetak prednosti i nedostataka bioplina/biometana uključuje sljedeće:

Prednosti:

- Potencijalno najveće neto smanjenje emisije CO2 od bilo kojeg biogoriva
- Značajno smanjenje svih otrovnih zagađivača zraka u odnosu na fosilni dizel
- Motori s nižom bukom mogu se koristiti u urbanim uvjetima

Nedostaci:

- Rad na plin zahtijeva korištenje posebno prilagođenih motora
- Skladištenje bilo kao komprimirani plin ili kao tekućina dodaje težinu (i cijenu) željezničkom vozilu i oduzima prostor na samom vozilu.
- Potrebna je nova infrastruktura za punjenje plina
- Veći operativni troškovi i mogući veći troškovi goriva[3]

Bioetanol i biobutanol

Bioetanol je najprikladniji kao gorivo u motoru sa svjećicom za paljenje jer ima nizak cetanski broj. Etanol se naširoko koristi u Sjedinjenim Državama, a sve više u Europi kao dodatak benzinu. Međutim, bioetanol se uvelike koristio u autobusima u Švedskoj, gdje poboljšači paljenja čine izgaranje etanola praktičnim u dizelskim motorima. 1999. Scandia Corporation izvijestila je da je jedan od šest prodanih autobusa autobus na etanol. Osim prednosti emisije stakleničkih plinova bioetanola (koji su slični konvencionalnom biodizelu), upotreba goriva od bioetanola rezultira vrlo niskim emisijama čestica. Bioetanol se lako transportira, međutim za održavanje dometa vozila potrebno je povećanje rezervoara za gorivo za oko 60%. Moglo bi se očekivati da će modifikacije dizelskih motora biti ograničene upotrebom poboljšivača paljenja, što se može vidjeti kod motora na etanol u autobusima.

Bioetanol se obično koristi u mješavinama s benzinom u postojećim cestovnim vozilima u svijetu, na sličan način kao i biodizel - na primjer kao mješavina od 5% (E5) u Njemačkoj i Francuskoj i 20% mješavina (E20) u Brazilu. Na tim razinama nisu potrebne izmjene motora, iako su mješavine s benzinom za uporabu u konvencionalnim benzinskim vozilima u Europi trenutačno ograničene na 5% (iako su nedavni prijedlozi dopustili odvojene mješavine do 10% u budućnosti). Bioetanol ima veću privlačnost za vozne parkove kod nekih vozila za opskrbu nego za tralčnička vozila.

Biobutanol je napredno biogorivo proizvedeno na sličan način kao i bioetanol, iz istih sirovina i nudi niz prednosti koje mogu pomoći ubrzati usvajanje biogoriva. Može se miješati sa standardnim benzinom ili s benzinom koji sadrži etanol, kompatibilan je s postojećom tehnologijom vozila i ima potencijal za ugradnju u postojeću infrastrukturu opskrbe gorivom. Prednosti u usporedbi sa bioetanolom su:

- Lako se može dodati konvencionalnom benzinu zbog niskog tlaka para.
- Ima energetski sadržaj bliži benzinu od bioetanola (pa se može prijeći veća udaljenost po litri goriva).
- Manje je osjetljiv na odvajanje u prisutnosti vode nego etanol-benzinske mješavine, pa je stoga moguće korištenje postojeće distribucijske infrastrukture u industriji bez potrebe za izmjenama u objektima za miješanje, spremnicima za skladištenje ili crpkama za doziranje.

Biobutanol se također može koristiti u sinergiji s bioetanolom u miješanju s benzinom, a postojeća postrojenja za proizvodnju bioetanola potencijalno se mogu ekonomično pretvoriti u ona za biobutanol.[3]

4. Prednosti i nedostatci vučnih vozila s ekološkog motrišta

Predstavljeni primjeri hibridnog pogona odnose se na motorne vagone čiji je pogon razvijen u Japanu u suradnji željeznica i uglednih tvrtki sposobnih za takva rješenja. Ispitivanje prototipa pokazalo je zadovoljavajuće rezultate potrošnje goriva i emisije štenih plinova. Ovisno o tehničkom rješenju i proizvođaču, s hibridnim pogonom potrošnja goriva se smanjuje do 20 %, a štetne emisije su smanjene do 50 %. [1]

Kod hibridnih vozila postoji problem zbrinjavanja i skladištenja starih baterija, jer se one sastoje od jako otrovnih elemenata. Tvari sadržane u starim baterijama i akumulatorima vrlo su opasne i štetne za okoliš. Stoga ih treba odvajati od 'običnog', 'kućnog' smeća i odlagati u posebne spremnike u reciklažnim dvorištima ili spremnicima predviđenim za tu vrstu opasnog otpada. Nikal-kadmijske (NiCd) baterije su punjive, ali nakon određenog broja ciklusa gube snagu i moraju se zbrinuti. Kadmij je teški metal i njegovo odlaganje u prirodi je štetno zbog mogućnosti zagađivanja podzemnih voda i ekosustava u cijelini. Nikal-metal-hidridne punjive baterije nisu toliko opasne, no nikal i elektrolit koji sadrže ove baterije nisu posve bezopasni. I ove baterije treba odvajati i kada se skupi veći broj odnijeti u reciklažno dvorište. Litijske jednokratne baterije se koriste u fotoaparatima. Ne sadrže visoko toksične komponente, ali prije odlaganja bi ih trebalo potpuno isprazniti (kako bi se potrošio metalni litij u njima). Litij-ionske punjive baterije ne sadrže otrovne tvari pa ne postoji problem odlaganja. To je ohrabrujuća činjenica s obzirom da se koriste u sve većem broju mobilnih uređaja, prijenosnih računala i automobila na električni pogon. [11]

Različite vrste biogoriva utječu na smanjnje korištenja neobnovljivih izvora energije odnosno fosilnih goriva. Međutim nevladine udruge za zaštitu okoliša uviđaju da biogoriva imaju potencijal smanjiti emisije stakleničkih plinova, ali su zabrinuti zbog trenutnog pristupa povećanju uporabe biogoriva jer neće biti ekološki održiva opcija iz mnogih razloga.

Emisije stakleničkih plinova povezane s uporabom biogoriva povezane su i sa sagorijevanjem biogoriva, ali i s uzgojem sirovine i proizvodnjom biogoriva. Ugljični dioksid može se emitirati tijekom uzgoja i proizvodnje biogoriva, bilo da se fosilna goriva koriste u procesu ili ako se zemljište koje je prethodno korišteno u druge svrhe (osobito ako je prethodno bilo neobrađeno) pretvori u proizvodnju biogoriva, a dušikov oksid (N2O) emitira se tijekom proizvodnje sirovina. Ravnoteža CO2 bilo kojeg biogoriva također ovisi o upotrijebljenoj sirovini i načinu proizvodnje, uključujući i način na koji se otpadni proizvodi koriste. Dodatno, treba napomenuti da bioplin (npr. Biometan) može biti staklenički plin, pa bi svako curenje koje se dogodi oslobodilo staklenički plin u atmosferu.[3]

Pitanje dostupnosti zemljišta, osobito konkurencija između prehrambenih i energetskih usjeva za poljoprivredno zemljište, te potencijalna pretvorba trenutno netaknutih prirodnih staništa u energetske usjeve potencijalni su razlog za zabrinutost. Trenutno, EU-15, Kanada i SAD imaju 5 milijardi hektara oranica ili zemljišta namijenjenih pašnjacima. Za usjeve biogoriva s najvećim prinosima, tj. šćerne trske i palminog ulja, bilo bi potrebno između 650 i 700 milijuna hektara (tj. oko 13% sadašnjeg ukupnog poljoprivrednog zemljišta) kako bi se zamijenila sva transportna fosilna goriva

biogorivom. Do 2020., s poboljšanim prinosima, može se očekivati da će samo oko 6% postojećeg poljoprivrednog zemljišta biti potrebno za energetske usjeve. Međutim, ako to ne rezultira povećanjem količine zemljišta namijenjenog poljoprivredi, tada će poljoprivreda morati postati intenzivna. Korištenje zemljišta za intenzivnu proizvodnju usjeva biogoriva i za prehrambene kulture također bi moglo imati negativne utjecaje na okoliš. Postoji mogućnost degradacije tla i pritiska na potencijalno oskudne vodne resurse. Upotreba gnojiva i pesticida može zagaditi i tlo i vodene resurse, ako se koristi prekomjerno; a potražnja za zemljištem može povećati pritisak na postojeće prirodno okruženje s nepovoljnim utjecajima na biološku raznolikost.[3]

5. Standardi za ispušne plinove željezničkih vozila

Emisijske standarde za željezničke lokomotive utvrdila je Međunarodna željeznička unija (Union Internationale des Chemins de fer, UIC), udruženje europskih željezničkih kompanija sa sjedištem u Parizu. UIC izdaje tehničke brošure o željezničkoj opremi i komponentama, koje se nazivaju „standardima“ i obvezujuće su za sve članice. Emisijski standardi za željezničke lokomotive navedeni su u UIC -ovoj objavi 624, objavljenoj u travnju 2002. pod naslovom „Ispitivanja ispušnih plinova za dizelske vučne motore“[12]

Standardi emisije UIC -a primjenjuju se na dizelske motore za željezničku vuču, s izuzetkom motora za posebne lokomotive (npr. ranfinerijske ili rudničke lokomotive) i vučne motore snage manje od 100 kW. Standardi se primjenjuju na sve nove motore koji se koriste u novim vozilima ili za napajanje postojećih lokomotiva.

Standardi za emisije lokomotiva UIC-a navedeni su u sljedećoj tablici. Metoda ispitivanja je ISO 8178, ciklus F. Postoje tri stupnja ili stage-a.[12]

Tablica 1. UIC standardi emisije lokomotiva[12]

Stupanj	Datum	Snaga, P	Brzina, n	CO	HC	NOx	PM	Smoke
		kW	o/min	g/kWh				BSN
UIC Stage I	Do 31. 12.2002			3	0.8	12	-	1.6 - 2.5
UIC Stage II	1.1.2003	P ≤ 560		2.5	0.6	6.0	0.25	
		P > 560	n > 1000	3	0.8	9.5	0.25	
			n ≤ 1000	3	0.8	9.9	0.25	

UIC-ova razina 3 odnosno UIC Stage III je usklađen sa europskim standardom EU Stage IIIA za necestovne motore.

Tablica 2. Emisijski standardi A / B stupnja III za vučne motore na tračnicama[13]

Stupanj	Snaga	Datum	CO	HC	HC+NOX	NOx	PM
	Kw		g/kWh				
Stage III A							
RC A	P > 130	2006	3.5	-	4.0	-	0.2
RL A	130 ≤ P ≤ 560	2007	3.5	-	4.0	-	0.2
RH A	P > 560	2009	3.5	0.5	-	6.0	0.2
Stage III B							
RC B	P > 130	2012	3.5	0.19	-	2.0	0.025
RC	P > 130	2012	3.5	-	4.0	-	0.025

Standardi emisije V stupnja primjenjuju se za motore koji se koriste za pogon tračničkih lokomotiva (RLL) i vagona (RLR) bilo koje snage i bilo koje vrste pogona. Ograničenja su prikazana u tablici . Pomoćni motori koji se koriste u lokomotivama ili vagonima trebaju zadovoljavati emisijske standarde za kategorije NRE ili NRS.[13]

Tablica 3 emisijksi standardi V [13].

Kategorija	Snaga	Datum	CO	HC	NOx	PM	PN
	kW		g/kWh				1/kWh
RLL-v/c-1 (Lokomotive)	P > 0	2021	3.5	4.00		0.025	-
RLR-v/c-1 (Vagoni)	P > 0	2021	3.5	0.19	2.00	0.015	$1*10^{12}$

Naravno osim standarda utvrđenih od strane UIC-a i Europske unije neke drzave imaju svoje vlasatite standarde naprimjer SAD, Japan, Švicarska i Rusija. Čak i neke zemlje unutar Europske unije imaju svoje posebne programe poput Švedske.

6. Zaključak

Današnja tehnologija već omogućava proizvodnju različitih izvedbi hibridnih željezničkih vozila koja daju dobre rezultate u smanjenju potrošnje fosilnih goriva i emisije štetnih plinova, ali te se vožnje uglavnom objavljaju u ekonomski razvijenijim zemljama . Daljnjim razvojem tehnologije spremnika energije i infrastrukture postići će se još bolji rezultati i smanjiti cijena proizvodnje hibridnih vozila koje bi mogle prevladati u željezničkom prometu. Također postoji i nekoliko vrsta biogoriva koji su potencijalni kandidati za zamjenu konvencionalnih goriva, među njima za sada biodizel već ima jako veliku primjenu. Korištenje biogoriva trenutačno se promiče jer imaju potencijal smanjiti emisije plinova koji doprinose klimatskim promjenama. Oni također mogu povećati energetsku sigurnost, tj. smanjenjiti ovisnosti jedne zemlje o uvoznim energentima. Naravno porebno je još istraživanja i ulaganja da bi se postojeća infrastruktura opskrbe, proizvodnje i skladištenja biogoriva prilagodila za masovnu proizvodnju, koja bi uspjela zadovoljiti cjelokupnu potražnju za biogorivom. Željeznice već sad imaju ekološku prednost u odnosu na druge oblike zračnog i cestovnog prijevoza što se vidi u raznim ekološkim čimbenicima. Ta se prednost smanjuje zbog brzog napretka u drugim prometnim sektorima. Biogoriva i hibridna vozila nude priliku pomoći željeznici da zadrži ili poboljša svoje zelene prednosti i na taj način promiče ekološki čistiji promet, jer društvo svjesno zaštite okoliša može izabrati željeznicu umjesto drugih načina prijevoza. Ove dvije alternative bi trebale povećati upotrebu željeznice i povećati njezin udio u ukupnom prometu u budućnosti.

7. Literatura

[1] Zavada, Josip; Blašković, Zavada, Jasna; Pleša Tihomir. *Hybrid propulsion of railway vehicles;* Machines, Technologies, Materials (1313-0226) 2009 (2009), 11/12; 11-14

[2] Dr Hillmansen, Stuart ; Dr Roberts, Clive ; Dr McGordon, Andrew; Dr Jennings, Paul; *Final Report: Concept Validation for Hybrid Trains;* Birmingham Research and Development Limited; 2008. CONTRACT REFERENCE NO: DfTRG/0078/2007

[3]Skinner, Ian; Hill, Nik;Kollamthodi, Sujith;Mayhew, John;Donnelly, Bryan; *Railways and Biofuel Railways and Biofuel;* First UIC Report, Final draft; 2007.

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_train (23.8.2021.)

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle_drivetrain (23.8.2021)

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery (23.8.2021)

[7] https://www.rolls-royce.com/products-and-services/electrical/propulsion/hybrid-rail.aspx (23.8.2021)

[8] https://en.wikipedia.org/wiki/Supercapacitor#Transport (23.8.2021)

[9] https://hr.wikipedia.org/wiki/Zama%C5%A1njak (23.8.2021.)

[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Regenerative_brake (23.8.2021)

[11] http://www.prakticanzivot.com/baterije-i-akumulatori-pravilno-zbrinjavanje-i-recikliranje-7451 (23.8.2021.)

[12] https://dieselnet.com/standards/inter/uic_loco.php (23.8.2021.)

[13] https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#rail (23.8.2021)

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Željeznička vučna vozila s hibridnim pogonom i pogonom na alternativna goriva**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 5.9.2021

Student/ica:
Mario Milić
(potpis)