Željeznička vučna vozila s hibridnim pogonom i pogonom na alternativna goriva

Badrov, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:119:624770

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



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

Predmetni nastavnik: dr.sc. Mladen Nikšić

Studenti: Tomislav Badrov 0135243119

Zagreb, 2018. godine

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, 14.09.2018.

Student/ica:

Tomislav Badgor

(potpis)

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 30. ožujka 2018.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4777

Pristupnik: **Tomislav Badrov (0135243119)**
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:

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Vučna vozila s hibridnim pogonom 2
3. Spremnici energije za pogon hibridnih željezničkih vozila 6
3.1. Baterije 6
3.1.1. Olovno-kiselinske baterije 7
3.1.2. Nikal-kadmijeve baterije 8
3.1.3. Nikal-metalhidridne baterije 9
3.1.4. Litijsko-ionske baterije 10
3.2. Kondenzator velikog učinka 11
3.3. Zamašnjak 12
4. Varijacije izvedbi vučnih vozila s pogonom na alternativna goriva 13
4.1. Zemni plin 14
4.2. Vodik 15
4.3. Biodizel (repičin metil ester) 16
4.4. Bioetanol (alkohol) 17
5. Prednosti i nedostaci vučnih vozila s ekološkog gledišta 19
5.1. Ekološke i ekonomske prednosti željezničkih vučnih vozila 19
5.2. Ekološki i ekonomski nedostaci željezničkih vučnih vozila 22
6. Zaključak 25
7. Literatura 26

1. Uvod

Napredovanjem tehnologije se isto tako sve brže razvijaju i istražuju hibridna vozila i alternativne goriva i izvori energije za pogon u željezničkom prometu. Takvim razvojem će se ubrzo postići rezultati koji obuhvaćaju manju potrošnju goriva, korištenje alternativnih goriva i smanjenje emisija štetnih plinova te povećano očuvanje i zaštita okoliša. Zato se razvijaju vučna vozila s hibridnim pogonom koja sadrže dvije vrste pogona kojima se pokreće vučno vozilo, većinom koristeći kombinaciju električnog i dizelskog motora. Potrebno je i zamijeniti tradicionalna fosilna goriva jer ne uspijevaju zadovoljiti ekološke uvjete postavljene u modernom vremenu koji su postavljeni zbog očuvanja okoliša. Kako bi se smanjilo onečišćenje razvijaju se goriva na bazi zemnog plina, vodika, repičin metil estera i bioetanola, to jest alkohola. Nažalost ti izvori energije još uvijek nisu dostupni za učinkovitu uporabu i izgradnju funkcionalne infrastrukture. Ekološka zaštita u željezničkom prometu ne obuhvaća samo problematiku vezanu uz pogon i goriva nego obuhvaća druge bitne promjene na željezničkom vozilu i infrastrukturi kojoj pripada. Jakosti željezničkog prometa su ušteda na prostoru, ekološki i ekonomski prihvatljiviji prijevoz, veća sigurnost te relativno mali eksterni troškovi. Izuzećem problematike ekološki prihvatljivijeg pogona i goriva, najveći problem u željezničkom prometu predstavlja buka.

2. Vučna vozila s hibridnim pogonom

S razvojem tehnologije i sve učestalijim tehnološkim inovacijama s kombinacijom korištenja standardnih fosilnih goriva porastao je i intenzitet zagađenja okoliša . Kako je problem postao jasan dolazi do istraživanja ekološki, tako i ekonomski, prihvatljivijih pogonskih goriva koji mogu postati novi standard u bliskoj budućnosti. Istraživanjima se razvijaju hibridna vozila koja se u samim počecima koristila samo u autoindustriji, to jest, osobnim vozilima. Razvojem tehnologije, počinju inovacije i na željezničkim vozilima. Projekt uvođenja hibridnih lokomotiva nije lagan zbog potrebnog dugoročnog planiranja investicija za prenamjenu. Hibridna vozila imaju kombinirani pogon, u većini slučajeva iz dvije vrste pogona. Najčešći odabir je kombinacija električnog i dizelskog pogona. Mogućnost spajanja elektromotora i dizelskog motora se vrši serijski, serijsko-paralelno i paralelno. Serijska veza je najčešće korištena jer je jednostavnija od serijsko-paralelne i paralelne, pogonski kotači pokretani su isključivo elektromotorom, a energija za rad dobiva se iz generatora kojeg pokreće manji dizelov motor, koji energiju kod većih opterećenja dobiva iz izvora električne energije. U paralelnoj vezi motor i izvor električne energije zajednički pokreću vučno vozilo. Kod tog slučaja električni pogon se puni pri kočenju i usporavanju što se događa pri pretvaranju kinetičke energije u električnu, a električni pogon se koristi samo u režimima rada s lošijom korisnošću diesel motora. Serijsko-paralelna veza je kombinacija serijske i paralelne te sustav kao takav može tijekom vožnje mijenjati konfiguraciju pogona ovisno o režimu vožnje. 2003. godine tvrtka General Electric počinje s proizvodnjom „Evolution" serije hibridnih lokomotiva na kojoj se vidi princip spremanja energije u ugrađene baterije i mogućnost uporabe preko tri navedene veze. Konvencionalna lokomotiva generira energiju vučom motora, neupotrjebljena energija se raspršti u okolinu, ali kod hibridne lokomotive taj višak se sprema u baterije.[6]



Slika 1. Shema GE hibridne lokomotive

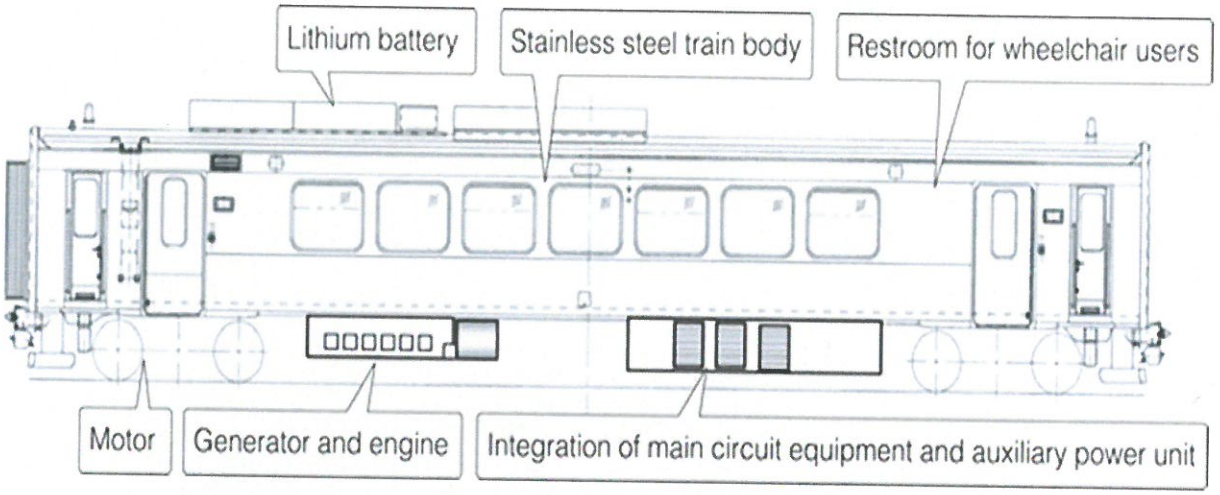
Klasični pogon dizelske lokomotive je jednostavniji od hibridnog. Klasičan pogon pokreće dizelov motor te preko hidrauličkih pretvarača prenosi energiju na osovinski prijenosnik, a on okreće osovine i pokreće vozilo. Vidi se veliki gubitak korisne energije koja odlaskom u prirodu ostaje neiskorištena. Gubitak energije najviše se očituje kod usporavanja, stajanja ili kad dolazi do naglog zaustavljanja, odnosno naglog kočenja kada se stvara neiskorištena toplinska energija.



Slika 2. GE hibridna lokomotive

Zbog količine energije koja je potrebna za pokretanje velikih dimenzija i masa, nestaje mogućnost korištenja hibridne lokomotive za pogon teških teretnih vlakova. Zato su vrlo pogodne za pogon manevarskih lokomotiva i lakih prigradskih motornih vlakova. Razvijanjem spremnika energije u bližoj budućnosti mogu se očekivati i teški teretni vlakovi na hibridni pogon. Kako bi se to ostvarilo najvažnija je mogućnost brzog punjenja i pražnjenja spremnika energije u vrlo kratkim rokovima te velik broj ciklusa. JR East iz Japana, 2003. godine razvija laki motorni vlak KiHa E200 na hibridni pogon. Hibridni sustav omogućuje smanjenje potrošnje goriva za

10%, iskorištavajući energiju prikupljenu kočenjem. Buka na stanicama smanjena je za 20 dB vožnjom u praznom hodu i do 30 dB kod ubrzavanja vlaka iz stanja mirovanja. Emisije NO_x smanjene su 60% kao što su smanjene potrebe održavanja.



Slika 3. Shema KiHa E200



Slika 4. KiHa E200 hibridni vlak

Kapacitet lakog motora od nehrđajućeg čelika KiHa E200 iznosi 117 putnika, dok je maksimalna brzina 100 km/h. Prikazan je rad hibridnog motora vlaka KiHa E200. Također, vidljivo je da se motor koristi kao generator prilikom kočenja te puni baterije. Aparat za kontrolu vozi na isti način kao i električni vlak, koristeći energiju iz generatora i baterija. Prvi lako motorni hibridni vlak u Njemačkoj je počeo voziti između Aschaffenburga i Miltenberga. Vlak ima 14 zaustavljanja na samo 37 km pruge, tako se nudi česta mogućnost punjenja baterija energijom kočenja. U tu svrhu lokomotiva Siemens Desiro Classic VT 642 preuređena je u hibridnu s baterijama kao

spremnicima energije. Umjesto dva 275 kW dizel motora ugrađena su dva 315 kW hibridna motora koji pokreću vlak. Litij-ionske baterije smještene su na krovu gdje struji zrak dok je vlak u pokretu . Isti zrak tako hladi spremnike.[8]



Slika 5. Desiro Classic 642 sa natpisom koji prevodi: „Moja Misija: Manje Emisija!"

3. Spremnici energije za pogon hibridnih željezničkih vozila

U pogonu hibridnih vozila kombiniranih električnih i dizelovih motora je najvažnija kvaliteta uporabe električne energije kao pogonske. U tu svrhu se koriste baterije, generatori električne energije, kontaktni vodovi, gorive ćelije, kondenzatori velikog učinka i zamašnjaci. Pokušavaju se pritom poboljšati prednosti i smanjiti nedostaci na najmanje moguće razine istraživanjima.

3.1. Baterije

Baterije moraju zadovoljavati određene uvjete kako bi se mogle koristiti kao izvor energije u hibridnom vozilu. Postoje različite izvedbe, dimenzije, kapaciteti i vijek trajanja pojedinih baterija te je na proizvođaču uređaja odluka o najpogodnijoj bateriji za određeni uređaj. Baterija treba imati toleranciju na učestala punjenja i nagla, jaka pražnjenja u kratkim rokovima, pri čemu moraju osigurati dug vijek trajanja baterija. Potrebno je za bateriju imati svojstvo spremanja toliko energije koliko je potrebno s obzirom na težinu vozila dovoljnu snagu za pokretanje i ubrzanje istog vozila. Jedan od najvažnijih uvjeta je mogućnost preuzimanja dovoljne količine energije pri kočenju. Prije su koristile samo baterije poput olovno-kiselinske i nikal-kadmijeve, dok se u sadašnjem vremenu zapaža odstupanje od takvih zastarjelih tipova baterija, većinom zbog nemogućnosti njihove serijske proizvodnje, pogotovo za teža željeznička vozila. Sada su najkorištenije baterije na bazi nikal-metalhidrida i litijsko-ionske baterije, iako se litijsko-ionske koriste u manjoj mjeri od prije navedenih zbog znatno većih cijena u odnosu na druge vrste. Zato se očekuje smanjenje njihove cijene kako bi se povećala i njihova primjena.

3.1.1. Olovno-kiselinske baterije

Olovne baterije se smatraju najstarijom vrstom sekundarnih baterija. Izumio ih je francuski fizičar Gaston Plante 1859. godine. Napon članka je 2V, a ima mogućnost davanja jakih struja u kratkom vremenu. Zbog toga su te baterije našle vrlo široku primjenu u automobilskoj industriji kao primarni izvor električne energije za rad potrošača i pokretanje automobila. Svaka ćelija sadrži olovo, to jest olovni dioksid, uronjen u otopinu sulfatne kiseline koncentracije oko 37%. U ispražnjenom stanju se elektrode prevuku olovo(II)-sulfatom. Puštanjem istosmjerne struje kroz elektrode dolazi do kemijske reakcije, čiji je rezultat presvlačenje pozitivne elektrode olovo(IV)-oksidom, dok negativna elektroda prelazi u olovo. Radi velikog kapaciteta, potrebna je i velika površina elektroda između kojih se nalazi separator (najčešće drvo, razni materijali, guma ili porozni PVC). Napunjenost olovnog akumulatora moguće je kontrolirati gustoćom elektrolita, koja kod punog članka iznosi oko 1,28 g/cm^3, dok taj podatak za prazan akumulator iznosi oko 1,10 g/cm^3. Pražnjenjem akumulatora obje elektrode se presvlače olovo(II)-sulfatom, a razlika potencijala se smanjuje. Nedostaci olovnog akumulatora su dubinsko pražnjene ispod 1,8V po članku, pri čemu se elektrode nepovratno sulfatiziraju, relativno velika masa po jedinici kapaciteta i nužno održavanje zbog izraženog samopražnjenja te mogućnost stvaranja eksplozivne smjese vodika i kisika uslijed elektrolize elektrolita. Na hibridnim vozilima baterije se pune i prazne, često i snažno te se u većini slučajeva koriste u djelomično napunjenom stanju. Zbog toga olovno-kiselinske baterije mogu biti korištene samo na malim lokomotivama pri pokretanju i zaustavljanju kad su potrebne velike snage u kratkim ciklusima. Pri zaustavljanu baterija ima veliko opterećenje kada preuzima veliku količinu energije te je moguće prepunjenje baterije, ako nedostaje spojen kondenzator velikog učinka koji to onemogućava. Zbog padova napona koji su posljedica čestog punjenja i pražnjenja dolazi do neravnomjernog nanošenja aktivnog materijala i baterije u konačnici prestaju sa svojim radom.[2]

3.1.2. Nikal-kadmijeve baterije

Nikal-kadmijevu bateriju je izumio Waldmar Jungner 1899. godine, ali je materijal za njihovu izradu bio poprilično skup što je onemogućavalo masovniju proizvodnju. Godine 1947. su započela istraživanja na zatvorenoj nikal-kadmij bateriji koja je imala sposobnost ponovnog vraćanja unutrašnjih plinova. Takve se baterije koriste i danas, a one se sastoje od nikal-oksid-hidroksida koji predstavlja pozitivnu elektrodu i kadmija koji predstavlja negativnu elektrodu. Elektrode su uronjene u otopinu kalija i hidroksida, a naziva se elektrolit, nominalnog napona od 1,2V. Preporuka kod korištenja nikal-kadmijevih baterija je da se isprazne do kraja prije punjenja jer će u protivnom baterija izgubiti dio svog kapaciteta stvaranjem velikih kristala na pločama ćelija. Njihova upotreba je veća za razliku od ostalih, ali ih nove tehnologije većim kapacitetom s manje otrovnim metalima polako potiskuju iz uporabe. Prednosti nikal-kadmijevih baterija su jednostavno i brzo punjenje, čak i nakon dugog skladištenja, veliki ciklus punjenja i pražnjenja, stanje napunjenosti koje nije važno pri skladištenju, jednostavnost skladištenja i transporta, cijena baterije gledana na jedan ciklus, dobre karakteristike pri niskim temperaturama te znatno veća gustoća u odnosu na olovni-kiselinske baterije. Nedostaci su mali kapacitet u usporedbi s novijim baterijama, primjena toksičnih materijala, relativno veliko samopražnjenje te potrebna za punjenjem nakon skladištenja. Značajka punjena i pražnjenja pokazuje kako s vremenom punjenja napon naglo raste, dok pri kraju pražnjenja naglo pada što se ograničava elektronskim kontrolnim uređajem. Nikal-kadmijeve baterije prati takozvani memorijski efekt. Pri stalnom pražnjenju baterije do nekog određenog kapaciteta, npr. 40% nakon određenog vremena kad će biti potreban veći postotak, baterija to neće moći podržati. Postoji mogućnost micanja tog efekta pražnjenjem baterije tako da se prazni do IV? po ćeliji i zatim se napuni do kraja. Postupak se ponavlja nekoliko puta dok se ne vrati nominalni kapacitet, a ne onaj zapamćeni. Francuska tvrtka SAFT je razvila nikal-kadmijeve baterije za današnje potrebe visoke gustoće energije, dugog vijeka trajanja uz 80% pražnjenja, visokih i stabilnih specifičnih snaga. Zbog veoma zahtjevne primjene baterija kod hibridnih vozila je razvijena tehnologija sintetiranih, plastičnih, vezanih elektroda koje su obložene umjetnim materijalom (S/PBE-tehnologija). Ova tehnologija omogućava bateriji podnijeti veliki broj ciklusa punjenja i pražnjenja, uz nizak postotak pražnjenja. [2]

3.1.3. Nikal-metalhidridne baterije

Nikal-metalhidridne baterije pripadaju sekundarnim izvorima energije. Po karakteristikama su vrlo slični nikal-kadmijevim baterijama samo što im je kapacitet 40% veći. Oni koriste pozitivne elektrode od nikal-oksid-hidroksida kao i nikal-kadmijeve baterije, ali se zato koriste metalni hibridi kao negativna elektroda jer su prihvatljiviji od otrovnog kadmija. Prvi modeli se pojavljuju početkom 21. stoljeća. Nikal-metalhidridne baterije mogu podnijeti velike struje pražnjenja i punjenja, ali im izrazito smeta vremenski duže punjenje od potrebnog. Nikal-metalhidridne baterije nemaju probleme memorijskog efekta kao nikal-kadmijeve, ali je samopražnjenje čak 10% izraženije. Nedavno su se pojavile baterije sa znatno umanjenim samopražnjenjem i mogućnošću održavanja naboja članka tijekom cijele godine, za razliku od ostalih vrsta kod kojih se to događa već nakon tri tjedna.[10]

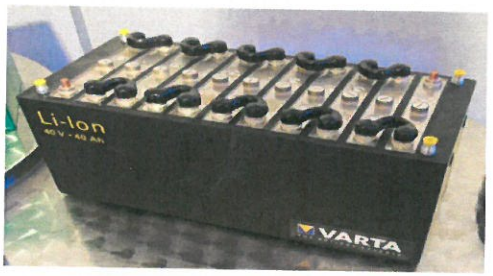


Slika 6. Panasonic EV-95 baterija

Tvrtke Panasonic EV Energy i SAFT razvijaju baterije za ugradnju u hibridna vozila. Panasonic EV Energy proizvodi nikal-metalhidridne baterije za vozila, najpoznatija je Toyota Prius, dok SAFT radi na baterijama koje su prikladne za ugradnju u željeznička vučna vozila. Tvrtka Sanyo preusmjerila je samopražnjenje na mjesečni period u seriji Eneloop, čime je postignuto zadržavanje od 85% do 90% nazivnog kapaciteta baterije tijekom jedne godine, to jest 70% kapaciteta tijekom dvije godine na sobnoj temperaturi. Novim, tanjim separatorima između elektroda nikal-metalhidridne baterije zasićene demineraliziranom vodom je postignuto poboljšanje, tako što su im rešetkaste katode izrađene novim vrstama legura te je elektrolit unaprijeđen. Upotreba novih tehničkih rješenja još onemogućuje postizanje većih kapaciteta od 2600 mAh, ali će se ti kapaciteti povećati u bližoj budućnosti. Nikal-metalhidridne baterije su, u krakom vijeku, skuplje od nikal-kadmijevih baterija, ali su puno isplativije u dugom roku jer imaju duži vremenski period rada te time otklanjaju nedostatak početne cijene.

3.1.4. Litijsko-ionske baterije

Godine 1912. je započeto istraživanje litijsko-ionskih baterija, koje postaju komercijalno dostupne 1970. godine kao baterija koja se ne puni. Tijekom 80-ih godina prošlog stoljeća bezuspješno se nastavlja razvoj sekundarne baterije. Nakon brojnih istraživanja na punjivim litijskim baterijama 80-ih, otkriveno je stvaranje promjena na litijskoj elektrodi ciklusima. Pojave koje se događaju uslijed rada i trošenja smanjuju temperaturnu stabilnost uzrokujući sigurnosne probleme. Povodom toga se temperatura poveća na točku topljenja rezultirajući eksplozivnom reakcijom. Zbog nestabilnosti litija, posebice za vrijeme punjenja, ubrzo su se istraživanja prebacila na litij-ionske baterije te je Sony 1991. godine komercijalizirao prvu litijsko-ionsku bateriju. Litij kao najlakši metal s odličnim elektrokemijskim potencijalom omogućava najveći kapacitet po težini. Punjive baterije koje koriste litijsku anodu omogućuju veliki radni napon i odličan kapacitet nadmašujući sve ostale baterije.

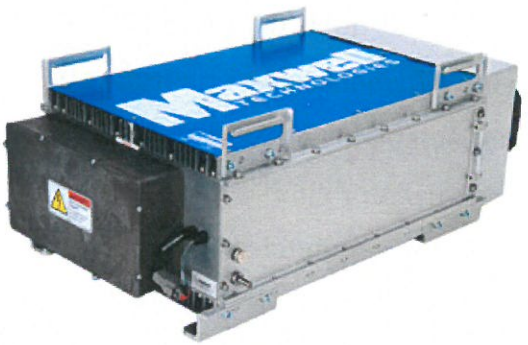


Slika 7. Litijsko-Ionska baterija

Kapacitet litijsko-ionskih baterija duplo je veći od kapaciteta nikal-kadmijevih baterija. Nemaju izražen memorijski efekt te je vlastito pražnjenje manje od nikal-kadmijevih baterija. Tim baterijama je za rad potrebna elektronika koja štiti svaku ćeliju od previsokog ili preniskog napona, prevelikih struja punjenja i pražnjenja te od previsoke temperature. Preporučuje se skladištenje na temperaturama od 15°C. Litij-ionske baterije se konstantno poboljšavaju te se svakih 6 mjeseci pojavljuje nova vrsta. Pošto imaju veći kapacitet, poduzimaju se zaštitne mjere kod korištenja i testiranja. Ne smiju se prepunjavati, trgati, bacati, uništavati, rastavljati niti izlagati visokim temperaturama. Preporučeno je baterije koristiti sa zaštitnom elektronikom upravljanja cijelog sustava, dodatno povećavajući visoku cijenu baterija do granica prihvatljivosti. Imaju jako veliku trajnost od 10 do 20 godina.

3.2. **Kondenzator velikog učinka**

Razvoj kondenzatora velikog učinka je započeo 1957. godine, iako tek kasnije dolazi do šire primjene zbog visoke cijene i nemogućnosti kontroliranja punjenja i pražnjenja. Potrebno je ispuniti određene uvjete kako bi se proizveo konkurentan kondenzator velikog učinka: velika ionska vodljivost elektrolita i separatora, velika elektronska otpornost separatora, velika elektronska vodljivost elektroda, velika površina elektroda i mala debljina separatora i elektroda. Kondenzatori velikog učinka imaju vrlo veliku energetsku gustoću za razliku od običnih kondenzatora. Pri kočenju mogu prihvatiti velike količine električne energije jako brzo i to nekoliko stotina puta brže od baterija. Još jedna znatna razlika između kondenzatora velikog učinka i baterija mogućnost kondenzatora da podnesu mnogo veći broj pražnjenja nego baterije, tako i punjena i vrlo širok raspon radne temperature. To ih dovodi do dužeg vijeka trajanja, čak i od vozila. Napon kondenzatora mora biti kontroliran odgovarajućim elektronskim uređajima zbog njegove ovisnosti o pohranjenoj količini napona.



Slika 8. Kondenzator Maxwell 125V

Kočenjem energija dolazi preko dvosmjernog pretvarača struje na dvosmjerni regulator napona, a preko njega u kondenzator velikog učinka. Primjena energije iz kondenzatora ovisi o načinu rada na kojemu se koristi. Moguće ga je koristiti pri ubrzanju i usporenju vučnog vozila, a dizel motor vozi u promjenjivom režimu ovisno o otporima koji se svladavaju. Drugi način rada je da se dizelov motor koristi za stalnu uporabu, dok se energija iz kondenzatora uključuje kako bi se pokrila odstupanja od potrebne snage za vuču. Pri ugradnji se zbog velike mase smanjuju dimenzije dizel motora i popratnih uređaja. Istraživanja su dokazala kako se najbolji rezultati dobivaju kombinacijom kondenzatora i baterije. Ispred baterije i kondenzatora se stavlja regulator kojim se štiti

baterija od velikih opterećenja pri punjenju i pražnjenju i time se produžuje radni vijek. Maxwell kondenzator velikog učinka omogućuje preko milijun ciklusa punjenja i pražnjenja pri naponu od 125 V. Uz maksimalnu gustoću snage od 3600 W/kg i maksimalnu energetsku gustoću od 2,3 Wh/kg raspolaže spremnikom energije od 140 Wh. Radna temperatura mu je od -40°C do 65°C te sadrži 48 ćelija uz njegovu masu od 61 kg.

3.3. **Zamašnjak**

Pogon vozila uz pomoć zamašnjaka jako je složen proces. Prednosti su dugi vijek trajanja, veliki broj ciklusa punjenja i pražnjenja, visoka gustoća spremljene energije, energetska efikasnost od 90% i minimalno potrebno održavanje. Ubrzavanjem zamašnjaka se određena kinetička energija pohranjuje unutar rotora kao rotacijska energija, dok se usporavanjem energija oslobađa. U željeznici se koriste za pokretanje vozila. Kako bi sustav savršeno funkcionirao potrebno je izbaciti vanjske utjecaje. Motor se ponekad nalazi u vakuumu radi smanjenja otpora. Poznat je sustav KERS koji se koristi u Formuli 1 koji je dodan na mjenjački sklop kako bi se kočenjem ubrzala rotacija zamašnjaka do 64 000 okretaja u minuti i tako skladištila energija. Ta se energija koristi pritiskom na prekidač usporavajući vrtnju i oslobađajući energiju koja se prenosi na pogonske kotače. U željeznici, primjer korištenja zamašnjaka je kod vozila Parry People Mover u Engleskoj. Izrađen je od čeličnih laminata promjera 1 metar i mase 500 kg. Nalazi se ispod prostora za sjedenje i rotira 2500 okretaja u minuti. Spojen je preko hidrostatskog varijabilnog prijenosnog sustava na željezničke kotače. Korištenjem zamašnjaka nema potrebe za velikim motorom nego manjim dizelskim ili motorom na ukapljeni zemni plin.



Slika 9. Perry People Mover

4. Varijacije izvedbi vučnih vozila s pogonom na alternativna goriva

Sve većim trošenjem tradicionalnih fosilnih goriva dolazi do iscrpljenja nalazišta istih. Kako ne bi došlo do iscrpljenja tih izvora dok su i dalje primarni izvori energije, počela su se razvijati alternativna goriva. Također su tradicionalna fosilna goriva štetna i ne zadovoljavaju današnje postavljene ekološke uvjete, koji će se u budućnosti zadovoljiti prelaskom na alternative. Najpoznatija alternativna goriva koja uspješno pokreću vozila su repičin metil ester ili biodizel, zemni plin, vodik i bioetanol, to jest, alkohol. Željeznička industrija trenutno smatra vodik i zemni plin kao glavne kandidate za zamjenu konvencionalnih goriva. Prijelaz na alternativna goriva je spor i stalan proces koji će se odvijati tijekom nekoliko godina istraživanja i razvoja. Tako su i dizelski motori zamijenili parne tek par desetljeća nakon njihove prve uporabe, ali je mala vjerojatnost dominacije neke vrste alternativnog goriva u budućnosti nalik onoj dominaciji dizela. Da bi se upotrebljavala ta goriva, prvo moraju zadovoljavati uvjete i normi glede emisija i stakleničkih plinova te potrošnje goriva. Alternativna goriva se dijele na dvije kategorije: dugoročna i kratkoročna rješenja. Kratkoročno rješenje bio bi ukapljeni prirodni plin dok bi dugoročno rješenje bio vodik.

4.1. Zemni plin

Zemni plin je pogodan kao alternativno gorivo zbog svojih trenutačnih zaliha i male emisije štetnih plinova u odnosu na dizel. Motori pogonjeni zemnim plinom odgovaraju UIC normama za željeznička vozila zbog znatno manje emisije štetnih komponenata. Motori pogonjeni zemnim plinom imaju 15 puta manju emisiju CO, 3 puta manju emisiju HC, više od 17 puta manju emisiju NO_x, i emisiju SO_2 svedenu na minimum što je pravi gotovo nepostojećom. Kako bi se zemni plin koristio kao pogonsko gorivo motora potrebno ga je komprimirati na oko 200 bara (CNG – komprimirani prirodni plin) ili izvršiti ukapljivanje plina hlađenjem na -162°C (LNG – ukapljeni prirodni plin). To se vrši zbog male jedinične energije zemnog plina u prirodnom stanju. Zemni plin kao gorivo ima znatno veći volumen i znatno veću masu spremnika u odnosu na današnja dizelska goriva, a to se posebno odnosi na komprimirani prirodni plin dok je ukapljeni prihvatljiviji. Najveću zapreku čine troškovi i vrijeme potrebno za postavljanje infrastrukture ukapljenog prirodnog plina na željezničkim dionicama. Daljnja istraživanja pokazuju. da kada bi se željeznička poduzeća odlučila na prelazak na ukapljeni prirodni plin, kapitalni kratkoročni troškovi bi se naglo povećali u velikoj mjeri iako bi to bilo dugoročno isplativije. Prema cijenama prirodnog plina, uštede vezane uz pretvorbu su oko 200 000 dolara po lokomotivi godišnje. Stoga bi na temelju dobi i održivosti lokomotive povrat ulaganja bi bio u narednih dvije do pet godina. Najznačajnije promjene koje bi se morale obaviti na dizelski motorima, kako bi lokomotive mogle biti pogonjene ukapljenim prirodnim plinom, su rad motora na principu četverotaktnog benzinskog motora te paljenje iskrom. Pri korištenju komprimiranog prirodnog plina lokomotive ne zahtijevaju velike prepravke. [3]



Slika 10. Vlak pogonjen ukapljenim prirodnim plinom (LNG)

4.2. **Vodik**

Vodik se smatra dugoročnim rješenjem u željezničkoj industriji, najviše zbog toga što lokomotive na vodik emitiraju samo vodu. Unatoč tomu što je mnogo toga poznato o vodikovim ćelijama, sam vodik kao pogonsko gorivo je i dalje u fazi razvoja i ima samo nekoliko demonstracijskih projekata u svijetu. Princip rada vodikove gorive ćelije je sljedeći: gorivo, većinom stlačeni vodik, se dovodi u gorive ćelije uz kisik ili mješavinu kisika i helija te na principu elektrolita proizvode struju. Prolaskom kroz separatorsku ploču ćelije, molekule vodika se spajaju u anodu, a molekule kisika u katodu. Na anodi platinasti katalizator razdvaja vodik na protone i elektrone pri čemu polimer elektrolitska membrana propušta samo protone prema katodi, dok elektroni putuju vanjskim strujnim krugom stvarajući struju koja pokreće elektromotor te puni baterije. Elektroni i protoni, na katodi, stvaraju vodu, to jest paru, u reakciji s kisikom koja izlazi iz ćelija i iz ispuha. Vodik je jedino gorivo za koje se smatra da bi moglo dominirati poput dizela do sredine ovog stoljeća. Ekološke prednosti vodika su znatne zbog količine stakleničkih plinova koje su toliko male da su zanemarive u odnosu na staklenicke plinove koje emitira dizel motor. Vodikova tehnologija se brzo razvija i postaje sve složenija, isplativija te se usmjerava na tešku željeznicu i željeznicu velikih brzina.



Slika 11. Vlak pogonjen vodikom

4.3. Biodizel (repičin metil ester)

Repičin metil ester je biogorivo dobiveno preradom biomase. Biodizel se smatra čišćim gorivom jer se proizvodi iz prirodnih ulja dobivenih od: algi, životinjske masti, suncokreta, repice i soje. U Europi se za proizvodnju biodizela najviše koristi ulje uljane repice i suncokretovo ulje, dok se u Americi najčešće koristi sojino ulje te se u Aziji najviše koristi palmino ulje. Proizvodnja goriva iz algi nosi mnoge prednosti koje taj postupak čine gotovo savršenim izvorom goriva. Alge rastu 50 do 100 puta brže od tradicionalnih kultura za proizvodnju biogoriva. Velika prednost je to što su alge jednostanični organizmi tako ne zahtijevajući vodu i zemljište kako bi rasle, znatno pojednostavljujući proizvodnju. Istraživanjima se otkrilo kako je proizvodnja goriva iz algi najbolja zamjena za fosilna goriva te se smatra kako bi ta goriva mogla u budućnosti potpuno zamijeniti fosilna goriva. Naziv biodizel je zaštićen patent još 1947. godine kada je belgijski znanstvenik Chavanne patentirao postupak transesterifikacije biljnih ulja koristeći alkohol i natrijev hidroksid za izdvajanje masnih kiselina iz glicerina. Biodizel nije otrovan te je biorazgradiv, što je korisno u slučaju nesreća u kojima goriva odlaze u okolinu. Biodizel ispušta 10% do 50% manje ugljikovog monoksida i do 12% više dušikovog oksida nego fosilna dizel goriva. Emisije ugljikovog monoksida variraju ovisno o ulju iz kojeg se biodizel proizvodi, a ugljikov dioksid koji se također emitira se koristi u procesu fotosinteze. Emisija sumpora je gotovo zanemariva. Biodizel ima viši cetanski broj nego fosilni dizel te je pogonska značajka zbog toga nešto lošija pri hladnom startu. Bez preinaka svaki dizel motor može koristiti dizelsko gorivo s 5% udjela biodizela. Prednosti su mu čišći ispuh i mogućnost kućne proizvodnje. Biodizel je izrazito jako masno gorivo i može začepiti brizgaljke motora, što mu čini najveći nedostatak. Daljnji nedostaci su i niska točka smrzavanja, njegova hidroskopnost čime može uzrokovati zatajenje rada i prijevremenu koroziju, razgrađivanje lakiranih površina, potreba za posebnim materijalima za cjevovode i brtve kako ne bi došlo do njihove razgradnje pri ispuhu kada se zbog emisije aldehida javljaju jaki mirisi ispušnih plinova. Za svaku tonu biodizela se proizvede i 100 kg glicerina. Kao i vodik, ima slabu infrastrukturu te zagašuje okoliš pesticidima biljaka. Zbog tih silnih nedostataka biodizel se smatra teško primjenjivim za željezničku industriju kao pogonsko sredstvo za teška vučna vozila. Još ima jako malo energije u usporedbi sa energijom potrebnom za proizvodnu repičin metil estera. Prvi vlak na biodizel je biovlak, Royal Train koji je prvi

put krenuo 15.9.2007. godine u Velikoj Britaniji pogonjen 100%-tnim biodizelom. Britanska tvrtka Virgin Trains su 2011. pokrenuli vlak na 80% dizela i 20% biodizela dok su u Disneylandu u SAD-u 2007. vlakovi pogonjeni 98% na biodizel proizveden iz otpadnih jestivih ulja. Isto tako Indija pokreće razvoj biodizela u svojoj zemlji istražujući prijelaz sa 5% biodizelskih vlakova na 100%-tne u bližoj budućnosti.[3]



Slika 12. Virgin Trains biodizel vlak

4.4. **Bioetanol (alkohol)**

Etilni etanol uz određeni omjer benzina se počeo koristiti još 70-ih godina prošlog stoljeća za pokretanje vozila u Brazilu. Bioetilni alkohol korišten kao gorivo se dobiva iz suncokreta, šećerne trske, šećerne repe te ostalih biljnih vrsta. Osobina mu je niža ogrjevna vrijednost od bezolovnog benzina tako da je za isti učinak potrebna oko 34% veća količina etilnog alkohola. Bioetanol se dobiva uzajamnim procesima fermentiranja, destilacije, dehidracije, hidrolize i saharifikacije. Tako se iz jednog hektra obradive površine može dobiti oko 2500 litara etilnog alkohola. Zbog većeg oktanskog broja od 111, etanol može uzrokovati povećanje stupnja kompresije i iskorištenosti motora. Najčešće se koristi gorivo oznake E85. Prednost bioetanola je čišći ispuh i veće iskorištenje motora. Nedostaci bioetanola su veća potrošnja, također i potreba za preinakama motora kako bi se mogao koristiti. Izvješća utvrđuju kako korištenje bioetanola zapravo može biti gore za okoliš od standardnih benzinskih proizvoda. Došlo se do zaključka da proizvodnja biogoriva može smanjiti emisije stakleničkih plinova

30% do 90% , dok postoje i mnogi drugi čimbenici vrijedni razmatranja. Godine 2000-te je više od 90% američkih usjeva kukuruza otpadalo na hranjenje ljudi i stoke dok se samo 5% koristilo u proizvodnji bioetanola. U 2013-oj godini se 40% kukuruznih usjeva iskoristilo za proizvodnju bioetanola dok se 45% koristilo za hranjenje stoke, a 15% za prehranu ljudi. SAD inače proizvodi 40% svjetske zalihe kukuruza te je vidljivo kako proizvodnja etanola kao goriva unosi nemire zemljama u razvoju.

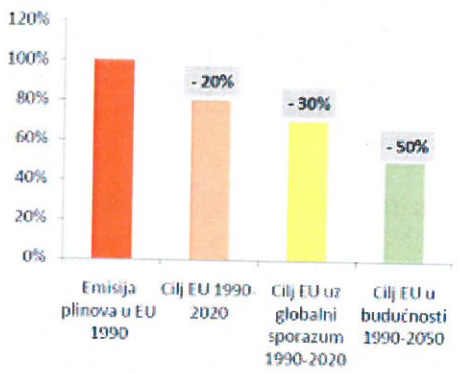
5. Prednosti i nedostaci vučnih vozila s ekološkog gledišta

Kako je došlo do povećanja opsega prometa tako se povećalo štetno djelovanje prometa na okoliš, zbog čega su postale nužne promjene u cilju očuvanja okoliša. Uzeći u obzir da je željeznica najsigurniji oblik prometa te najmanje zagađuje okoliš, potrebno je iskoristiti njene mogućnosti i prebaciti sav mogući promet sa ceste, koja je najveći zagađivač okoliša, na željeznicu. Prebacivanje prometa nije cjelovito rješenje, pošto željeznica treba potpuno iskoristiti svoje prednosti te potpuno eliminirati svoje nedostatke.

5.1. Ekološke i ekonomske prednosti željezničkih vučnih vozila

Osnovne prednosti željezničkog prometa su utrošak energije, ušteda prostora, emisija štetnih i neštetnih tvari i plinova te eksterni troškovi. Potrošnja energije u željezničkom prometu je dva puta manja od potrošnje energije u cestovnom prometu, čak i pet puta manja od potrošnje u cestovnom teretnom prometu. U nekim europskim zemljama, u kojima je razvijena željeznica, je moguće uz kupnju karata, vremena polaska i dolaska, vrste vlaka i trase putovanja prikazati i potrošnju energije i emisije ugljikovog dioksida za određene vrste prijevoza. Kako bi se energetska djelotvornost povećala potrebno je smanjiti masu željezničkih vozila, a pri tom je vrlo važno paziti na aerodinamičnost i najmanje moguće trenje na hibridnim vozilima korištenjem regenerativnih kočnica koje akumuliraju energiju za daljnje korištenje i povećanje korisnog prostora na željezničkim vozilima. Velik utjecaj na potrošnju goriva ima i obučenost strojnog osoblja, poznavanje trase vožnje i prilagodba vožnje po trasi, tehnike vožnje i vučnih osobina lokomotive. Zato mnoge željeznice obučavaju svoje strojovođe kojim načinom vožnje moraju upravljati vučnim vozilima radi manje potrošnje energije. Stoga se ugrađuje uređaj za mjerenje potrošnje energije koji strojovođi prikazuje trenutnu potrošnju i omogućuje korigiranje, odnosno smanjenje potrošnje energije kako bi ostala u parametrima voznog reda. Izmjerene potrošnje se pohranjuju u centralnoj jedinici za praćenje koja daljnjom obradom dobivenih podataka dobiva uvid u potrošnju na pojedinim vrstama vlakova, trasama pruga i načinima vožnje. Organiziraju se i sastanci na kojima se strojovođama iznose analize potrošnje energije i upućuje ih na moguća poboljšanja. [4]

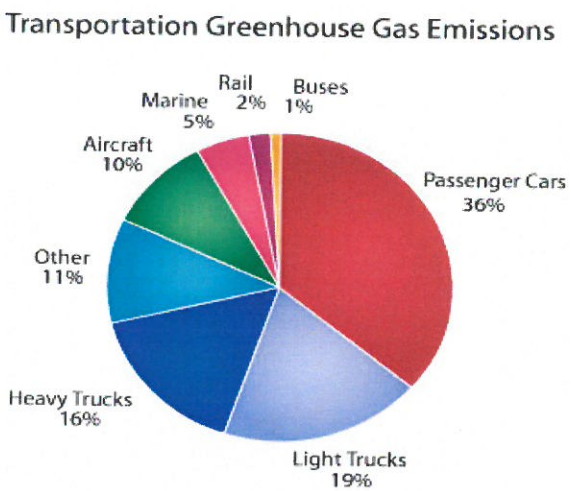
Potrošnja energije tako i ovisi o iskorištavanju ubrzavanja i usporavanja vlaka. Jedan način podrazumijeva ubrzavanje većim ubrzanjem do određene brzine nakon čega se vrši vožnja sa zaletom, to jest vožnja sa isključenom vučom, te se zaustavlja manjim usporenjem. Drugi način podrazumijeva ubrzavanje vlaka manjim ubrzanjem nakon šega slijedi vožnja sa zaletom te završava naglim usporavanjem. Takvim načinima vožnje se pokušava postići isto vrijeme vožnje uz podjednako iskorištenu energiju. U slučaju vožnje po brdu je potrebna prilagodba konfiguraciji trase kako bi se postigla ekonomičnost vožnje. Željeznički promet zauzima tri puta manje prostora od cestovnog prometa za približnu količinu prometnog opterećenja. Prostor koji zauzima željeznička pruga je 3,2 ha/km, dok je autocesti sa četiri prometne trake potrebno 9,1 ha/km. Brza gradska željeznica na površini od 5 m u sat vremena preveze 32 400 putnika na sat dok bi za tu količinu putnika u cestovnom prometu bio potreban autoput sa 16 traka širine 55 m. Željeznica je jedan od najučinkovitijih i ekološki najprihvativijih načina prijevoza ljudi i tereta. Iako ima vrlo nisku emisiju štetnih tvari, željeznice se obvezale tu emisiju smanjiti za 30% do 2020. godine.



Slika 13. Graf EU direktive

Emisija štetnih plinova je u stalnom padu od 1990. godine u željezničkom prometu. Niti jedna druga grana prometa ne posjeduje energetsku učinkovitost. Od 1990-e godine je željeznički promet smanjio emisije ugljikovog dioksida dok se ta emisija povećala kod svih ostalih grana prometa. Velika većina voznog parka zemalja europske unije koristi električnu energiju oko 80% pri čemu se okolina ne zagađuje. Preostalih 20% dizelskih vučnih vozila proizvodi oko 1%-2% krutih čestica i 1%-3% dušikovog-oksida. 2005.-e godine je željeznički promet pridonio samo 1,6% odjela emisije ugljikovog dioksida na 6% prijevoza putnika i 10,3% prijevoza tereta. U cilju ostvarenja ekoloških prednosti

željeznice, prihvaćen je koncept pod nazivom "Ecoprocurement" proizvođačima željezničkih vozila, operatera, i kreatora prometne politike. Podrazumijeva proizvodnju, nabavu i korištenje vlakova s visokom energetskom učinkovitošću, niskom emisijom štetnih sastojaka u dizelskim vozilima te niskom razinom buke. Nemoguća je realizacija koncepta u kratkom vremenu, s obzirom na vijek trajanja željezničkih vozila, ali je bitno prihvatiti takav koncept i ustrajati na njemu. Koncept je istaknut u objavi UIC-a kao "Enviromental specifications for new rolling stock" 2006. godine nakon široke rasprave sa proizvođačima željezničkih vozila i pripadajućom industrijom. Važna ekološka prednost željezničkog prometa jesu eksterni troškovi. Parametri uzeti za razmatranje o eksternim troškovima se nesreće, zagađenje zraka, klimatske promjene i buka u željezničkom prometu. Iako su eksterni troškovi u porastu, ipak se radi o malim brojkama. Glavni uzročnici porasta eksternih troškova su intenzitet prometa, upotreba sve većih brzina vožnje vlakova, razina buke koja se povećava uslijed tih brzina te buka nastala prelaskom preko mostova, akvadukta i slično. Željeznički promet generira 1,9% ukupnog eksternog troška u prometu, dok cestovni promet generira 87% i zračni 14% ukupnog eksternog troška u prometu. Jedino vodni promet generira manji udio ukupnog eksternog troška sa 0,4%. Taj mali udio u ukupnim eksternim troškovima je glavni argument za preusmjeravanje svog prometa na željeznički.

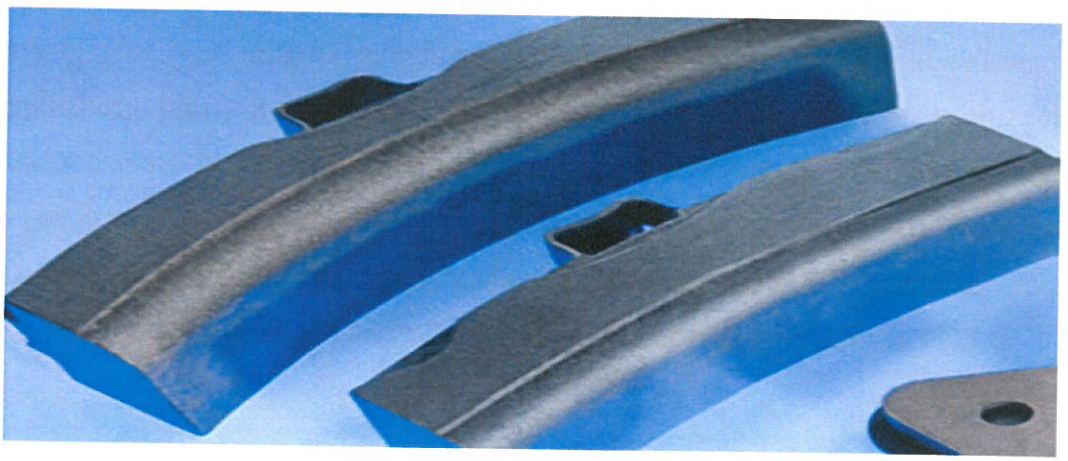


Slika 14. Graf proizvodnje emisija štetnih plinova po grani prometa

5.2. Ekološki i ekonomski nedostaci željezničkih vučnih vozila

Buka koju stvara željeznički promet , prijevoz opasnih štetnih tvari, tretiranje herbicidima i ionizacija zraka kod elektrovuče čine najveće nedostatke željezničkog prometa. Iako je buka u željezničkom prometu manja u odnosu na cestovni, a pogotovo zračni promet, jedan od ciljeva željezničke industrije je smanjenje buke. Buka je glavni nedostatak željezničkog prometa, iako je kratkotrajna, javlja se prema voznom redu i jednake je glasnoće i karaktera. Dokazano je štetna za zdravlje ljudi koji žive uz prugu, naročito tokom prolaska brzih i teretnih vlakova te pri kočenju vlakova opremljenih čeljusnim kočnicama s umecima od lijevanog željeza. U svrhu tog problema se provodi zaštita gradnjom zvučnih barijera u blizini naselja koje znatno smanjuju buku. Zaštitne barijere se izrađuju uz pomoć okoliša, to jest zemlje i stabala, a postavljaju se i aluminijski, drveni, kameni i betonski paneli za redukciju i zaštitu od buke.

Blizu naseljenih mjesta se postavlja zaštita od buke u obliku zvučnih barijera, što čak i nije najučinkovitije rješenje uklanjanja buke. Mnogo učinkovitije rješenje bilo bi smanjenje buke na samom izvoru, odnosno na vlaku. Taj problem je adresiran ugrađivanjem kočnica izrađenih kompozitnim materijalima. To su K-kočni umeci koje smanjuju buku na izvoru za 8-10 dB, što za ljudsko uho ima učinak smanjenja buke za upola.



Slika 15. LL-kočni umeci

Problem pri ugradnji tih kočnica predstavlja modifikacija samih kočnica i veći koeficijent trenja. Kako bi se izbjegla modifikacija, razvijene su LL-kočni umeci izrađene od sintetičkih materijala koje smanjuju buku za 8-9 dB čineći gotovo isti učinak kao K-kočni umeci od lijevanog željeza, a još imaju i manji koeficijent trenja. Kotrljanje kotača po tračnicama predstavlja glavni izvor buke tijekom vožnje vlaka. Buka nastaje zbog hrapavosti kotača i tračnica koje proizvode vibracije i buku. Smanjenje takve buke se postiže smanjenjem hrapavosti kotača i pruge ili primjenom apsorbera. Hrapavost kotača se naročito povećava primjenom kočnih umetaka od lijevanog željeza. Stoga zamjena blokova kočnica od lijevanog željeza K-kočnim umecima ili LL-kočnim umecima daje značajan doprinos smanjenju buke izravno i neizravno. Njemačke željeznice su 2001. godine počele primjenjivati čeljusti od umjetnih materijala, ugrađujući ih na neke teretne vagone vlakova, ali će ta promjena tek biti uočena ugradnjom čeljusti na svim teretnim vagonima nekog vlaka na kojemu se mjeri razina buke. Suvremena okretna postolja su također važan čimbenik u uklanjanju buke u željezničkom prometu. Ugradnja gumenih elemenata u kotače je jako efikasno rješenje za smanjenje buke i vibracija. U bližoj okolici pruge je naglašena buka pogonskih strojeva i aerodinamična buka koja se pojavljuje zbog prolaska vlaka kroz zrak pri velikim brzinama. Zato se prilagođava aerodinamičnijem obliku vlaka čime se buka može smanjiti i do 10 dB.

Prijevoz opasnih tvari u željezničkom prometu je isto znatan nedostatak. Opasnim tvarima se smatraju bilo kakve tvari koje mogu ugroziti tako i štetno utjecati na ljude, životinje i okoliš. Pravilnik o međunarodnom prijevozu opasnih tvari željeznicom o tome piše: sve opasne tvari moguće je uglavnom, podijeliti u devet razreda (klasa) opasnosti: 1. eksplozivne tvari, 2. plinovi, 3. zapaljive tekućine, 4. zapaljive krute tvari, 5. oksidirajuće tvari ili oksidansi, 6. otrovne i gadljive tvari, 7. radioaktivne tvari, 8. korozivne ili nagrizajuće tvari i 9. druge opasne tvari. Pri prijevozu potrebno je koristiti valjanu ambalažu i način prijevoza, također, vrlo je važno obučiti željezničke radnike za rad s opasnim tvarima kako bi se smanjile moguće nesreće i onečišćenja. [17]



Slika 16. Primjer prijevoza nuklearnog otpada

Tretiranje pruge herbicidima se pokazalo vrlo opasno ukoliko se s njima ne postupa stručno i pravilno. Herbicidi su tvari koje suzbijaju rast neželjenih biljaka na pruzi i oko pruge. Pojavljuju se u krutom i tekućem stanju i mogu biti organskog i anorganskog porijekla. Mogu biti totalni koji uništavaju neželjene biljke u potpunosti ili mogu biti selektivni koji uništavaju određenu vrstu biljaka. Po propisima bi se korištenje herbicidima trebalo svesti na najmanje moguće koncentracije, tako učinkovitije uklanjajući neželjeno bilje. Uklanjanje bi se trebalo vršiti samo u apsolutnoj nuždi, primjenom određenih herbicida čije djelovanje nije u prevelikoj mjeri štetno za okoliš. Potrebno je i školovanje osoblja koje će tretirati prugu herbicidima te prugu tretirati u najmanjoj mogućoj mjeri. Jedna nesreća vezana za tretiranje pruge herbicidima se dogodila baš u Hrvatskoj 24.7.2009. pri čemu je poginula pet ljudi te je pedeset i pet ostalo ozlijeđeno. Nesreća je nastala zbog nestručnog rukovanja retardantom.

6. Zaključak

Povećanje efikasnosti prijevoza i optimalna razina emisije štetnih tvari predstavljaju glavne ciljeve u daljnjem razvoju željezničkog prometa. Dobro rješenje predstavljaju hibridno pogonjena željeznička vozila koja uspješno smanjuju emisije štetnih plinova. Smatra se kako će hibridni pogon biti najzastupljeniji u bližoj budućnosti, ali tek kada se riješi problematika spremnika energije i drugih stvari. Spremnici se dalje unaprjeđuju istraživanjem raznih rješenja poput baterija, zamašnjaka i kondenzatora velike snage. Paralelno se razvijaju alternativna goriva od kojih je najobećavajući vodik zbog svog budućeg dugoročnog potencijala. Isto tako je znatna primjena repičin metil estera, zemnog plina i bioetanola. Iako se neke od tih opcija smatraju kratkoročnim rješenjima. Željeznica ima nekoliko istaknutih prednosti nad ostalim prometnim granama što bi moglo rezultirati u prelasku na pretežito željeznički promet. Te prednosti su: veći obujam prijevoza po m^2, manji eksterni troškovi, manja potrebna površina za izgradnju infrastrukture te manje emisije štetnih plinova. Najveće nedostatke predstavljaju buka; koja je manja nego kod zračnog i cestovnog prometa, sposobnost prijevoza štetnih materijala i potreba za tretiranje pruge herbicidima.

7. Literatura

1. Zavada, Josip; Blašković Zavada, Jasna; Pleša, Tihomir. *Hybrid Propulsion of Railway Vehicles* // Trans&MotoAuto `09 : Proceedings, Vol.2: Technics - Technologies. Sea resort Sunny Beach- Bulgaria: Scientific-technical union of mechanical engineering, 2009, 11- 14.
2. Blašković Zavada, Jasna; Zavada, Josip; Abramović, Borna. *Energy Storage Tasks for Hybrid Propulsion of Railway Vehicles* // The role of ITS in the near future/ Anžek, Mario; Hernavs, Boštjan; Kavran, Zvonko; Meše, Pavel; Štern, Andrej (ur.), Ljubljana: Eletrotehnical Assosiation of Slovenia, 2010. W7
3. Zavada, Josip; Blašković Zavada, Jasna; Kavran, Zvonko: Mogućnosti primjene alternativnih goriva za željeznička vozila. // Suvremeni promet. 20 (2000), 3-4; 242-245
4. Zavada, Josip; Blašković Zavada, Jasna; Abramović, Borna: *Possibilities of Reducing CO2 Emissions in Rail Traffic*// ICTS 2009 Transport Science, Profession and Practice/ Peter Jenček, Marina Zanne, Dapa Fabjan (ur.). Portorož, Slovenija: Fakultet za pomorstvo i promet, 2009.
5. Golubić, Jasna: Nastavni materijali iz predmeta Ekologija u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.
6. http://evworld.com/press/ge_Hybridlocomotive_diagram.jpg
7. http://www.jreast.co.jp//press/20051102/
8. http://www.treehugger.com/public-transportation/first-hybrid-train-regenerative-braking.html
9. http://www.evprogress.org
10. http://www.saftbatteries.com
11. http://sustainablemfr.com/energy-efficiency/lowernig-costs-lithium-ion-batteries-ev-power-trains
12. http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/125vmodule_ds_1014696-7.pdf
13. http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/supercapacitor-enhanced-hybrid-storage-could-earn-cash-for-subways
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Parry-People-Mover
15. http://www.railway-technology.com/features/
16. http://nbcnews.com/id/19094382/ns/business-going_green/t/virgin-tests-britains-first-biufueled-train
17. http://www.railway-technology.com/news/newseuropean-rail-closer-silent-braking-technology
18. http://www.vatrogasni-portal.com/articles.php?article_id=95
19. https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:698/preview