

Marin Dokoza, mag. ing. traff.
Timo Schmidt, M. Sc. Tech.

NOVE VRSTE POGONA PUTNIČKIH VLAKOVA

1. Uvod

Smanjenje emisije stakleničkih plinova u današnje je vrijeme važnije nego ikad. Većina država svijeta, pa tako i Europe, ima strategije za smanjenje emisije stakleničkih plinova. Takve strategije uključuju i smanjenje emisija koje stvara prometni sustav. Prema podacima Europske agencije za okoliš, u 2017. godini 27 posto svih stakleničkih plinova u EU-u proizveo je prometni sustav uz povećanje od 2,2 posto u odnosu na 2016. [1]. Željeznički promet zastupljen je sa samo 0,5 posto stakleničkih plinova, dok cestovni promet ima najveći udio od 71,7 posto. Uspoređujući te podatke s podacima iz 1990., u Republici Hrvatskoj emisija stakleničkih plinova povećana je 62 posto.

Kako bi se znatno smanjile spomenute emisije, mnoge industrije razvijaju tehnologiju koja će to omogućiti. U tome smjeru razvija se i željeznička industrija koja je u zadnjih 10 godina postigla znatan napredak u razvoju pogona koji kao energent koristi vodik. Osim toga razvijene su druge varijante pogona kao što su baterijski pogon i razne vrste hibridnih pogona. U ovome radu analizirane su sve tehnologije dostupne na tržištu te su uspoređene kako bi se prikazale prednosti i mane svake od njih. Uz to izrađen je prijedlog dvaju scenarija korištenja vlakova s baterijama i vlakova pogonjenih vodikom na hrvatskoj željezničkoj mreži.

2. Trenutačno stanje putničkoga voznog parka na hrvatskoj željezničkoj mreži

Trenutačni putnički vozni park u Hrvatskoj sastoji se od električnih i dizelskih lokomotiva, elektromotornih vlakova (u daljnjem tekstu: EMV), dizel-motornih vlakova (u daljnjem tekstu DMV) i vagona. HŽ Putnički prijevoz, jedini putnički prijevoznik u Hrvatskoj, posjeduje sljedeća željeznička vozila [2]:

- 59 lokomotiva
 - 34 električne lokomotive
 - 19 lokomotiva serije 1141
 - 15 lokomotiva serije 1142

- 25 dizelskih lokomotiva
 - 15 lokomotiva serije 2044
 - 10 lokomotiva serije 2132
- 110 vlakova
 - 38 EMV-ova
 - 16 EMV-ova serije 6111
 - 22 EMV-ova serije 6112
 - 72 DMV-a
 - 28 DMV-ova serije 7121
 - 32 DMV-a serije 7122
 - 6 DMV-ova serije 7123
 - 1 DMV serije 7022
 - 5 DMV-ova serije 7023

HŽPP trenutačno očekuje uvođenje u promet dodatnih EMV-ova i DMV-ova. U sljedeće tri godine planira se početak korištenja 33 nova EMV-a i sedam novih DMV-ova. Novi vlakovi zamijenit će stare vlakove serija 6111 i 7121/7122. Nakon što budu nabavljeni novi DMV-ovi, HŽPP će morati nabaviti još vlakova za neelektrificirane pruge te će trebati istražiti nove vrste pogona kako bi se povećala održivost i smanjila emisija stakleničkih plinova. Trenutačni dizelski vozni park ima visoku prosječnu starost. DMV-ovi serije 7121 proizvedeni su 1981., dok je serija 7122 proizvedena 1979. Te dvije serije čine gotovo 85 posto cjelokupnoga voznog parka DMV-ova.

3. Vrste pogona

U ovoj analizi razmatrane su razne vrste pogona za vlakove koji su dostupni na tržištu. Glavni je cilj prikazati način na koji radi svaka vrsta pogona i osnovne tehničke karakteristike analiziranih modela vlakova na tržištu. Analizirani su pogoni sljedećih vrsta putničkih vlakova:

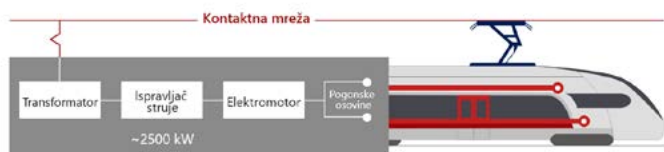
- elektromotornih vlakova (EMV),
- dizel-motornih vlakova, uključujući dizel-električne, dizel-mehaničke i dizel-hibridne motorne vlakove (DEMV, DMMV i DHMV),
- vlakova pogonjenih vodikom i
- baterijskih elektromotornih vlakova (BEMV).

Na kraju ovog poglavlja uspoređeni su opisane vrste pogona.

3.1. Elektromotorni vlakovi (EMV)

Elektromotorni vlakovi električnu energiju dobivaju preko kontaktne mreže koja se u većini slučajeva nalazi iznad vlaka. Preko oduzimača struje (u nastavku:

pantograf) vlak dobiva struju koja je u većini slučajeva napona 25 kV/50 Hz. Tračnice se obično koriste i kao uzemljenje vlaka kako bi se zatvorio strujni krug. Transformator u vlaku pretvara električnu struju većega napona na odgovarajuću struju manjega napona. Elektromotori koji se nalaze na osovinama u okretnim postoljima zahtijevaju trofaznu izmjeničnu struju pa se struja kroz odgovarajuće uređaje mijenja kako bi je elektromotor mogao koristiti. Elektromotori koji se koriste za pogon koriste se i za kočenje vlakova pa se tako električna energija dobivena kočenjem može vratiti u električnu mrežu. Na slici 1. prikazana je ilustracija pogona u elektromotornim vlakovima.



Slika 1. Ilustracija pogonskoga sustava za elektromotorne vlakove

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / obrada autora)

U tablici 1. prikazan je pregled najčešćih EMV-ova na tržištu.

Tablica 1. Modeli elektromotornih vlakova na tržištu

Model	Talent 2	FLIRT 3	(S-Bahn)	Desiro ML	Coradia Continental
Proizvođač	Bombardier	Stadler	Alstom/Bombardier	Siemens	Alstom
Broj vlakova u prometu	400	1.694	188	786	218
Broj dijelova vlaka	4	4	4	3	4
Duljina	72,7 m	74,7 m	68,3 m	75,2 m	73,3 m
Broj sjedećih/stajaličnih mjesta	225/N/A	219/N/A	184/296	259/N/A	240/186
Snaga	3.030 kW	2.720 kW	2.350 kW	2.600 kW	2.880 kW
Masa praznog vozila	150 t	120 t	119 t	120 t	140 t
Snaga/masa	20,2 kW/t	22,7 kW/t	19,7 kW/t	21,7 kW/t	20,6 kW/t
Ubrzanje	≤ 1,2 m/s ²	≤ 1,2 m/s ²	≤ 1,2 m/s ²	≤ 1,2 m/s ²	≤ 1,2 m/s ²
Maksimalna brzina	160 km/h	120-200 km/h	140 km/h	160 km/h	160 km/h

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019) [3] / Obrada autora)

3.2. Dizel-motorni vlakovi (DMV)

Dizel-motorni vlakovi (DMV) najčešća su vrsta putničkih vlakova koji prometuju na dijelovima pruga koje nisu elektrificirane. Mogu se razlikovati tri glavna načina prijenosa snage između dizelskoga motora i pogonske osovine:

- dizel-mehanički pogon,
- dizel-električni pogon i
- hibridni dizel-baterijski pogon.

3.3. Dizel-mehanički pogon

Većina DMV-ova pokretana je dizel-mehaničkim pogonom, pri čemu se snaga iz dizelskoga motora prenosi preko mjenjača i osovine izravno na pogonsku osovinu. Danas se brzine mijenjaju automatski. Druga varijanta dizel-mehaničkoga pogona jest dizel-hidraulični pogon. Energija iz dizelskoga motora prenosi se na pogonsku osovinu preko hidrauličkoga prijenosnika koji kao medij koristi ulje. Na slici 2. prikazan je način rada vlakova s dizel-mehaničkim pogonom.



Slika 2. Ilustracija dizel-mehaničkoga pogona

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019) / Obrada autora)

S obzirom na to da se dizel-mehanički pogon može opisati kao najčešći, nekoliko primjera najčešćih modela vlakova i njihove tehničke specifikacije prikazano je u tablici 2.

Tablica 2. Modeli vlakova na dizel-mehanički pogon na tržištu

Model	Link II	Desiro Classic	Talent	LINT 41	Regio Shuttle
Proizvođač	Pesa	Siemens	Bombardier	Alstom	Stadler/Adtranz
Broj vlakova u prometu	N/A	320	780	429	497
Broj dijelova vlaka	2	2	3	2	1
Duljina	43,7 m	41,2 m	48,4 m	41,8 m	25,5 m
Broj sjedećih/stajaličnih mjesta	126/112	110/110	137/160	129/120	71/94
Snaga	2x390 kW	2x275 kW	2x315 kW	2x315 kW	2x265 kW
Masa praznog vozila	65,0 t	68,2 t	57,0 t	63,5 t	37,7 t
Snaga/masa	12,9 kW/t	8,1 kW/t	11,1 kW/t	9,9 kW/t	12,9 kW/t
Ubrzanje	≤ 0,8 m/s ²	≤ 1,1 m/s ²	≤ 1,0 m/s ²	≤ 0,6 m/s ²	≤ 1,2 m/s ²
Maksimalna brzina	120-140 km/h	120 km/h	100-140 km/h	120-140 km/h	120 km/h
Kapacitet spremnika	N/A	2x600 l	2x800 l	2x800 l	2x770 l
Doseg	N/A	N/A	800-1.500 km	N/A	N/A
Standard emisije motora	Euro IIIB	Euro II	Euro II	Euro IIIB	Euro II
Proizvođač dizel motora	MTU	MAN/MTU	N/A	N/A	Iveco/MAN

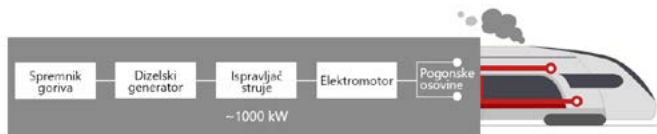
(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / obrada autora)

3.3.1. Dizel-električni pogon

Druga vrsta pogona DMV-a jest dizel-električni pogon. Dizelski motor pogoni generator koji proizvodi električnu energiju. Dobivena električna energija napaja vučne motore na pogonskim osovima.

Kao svi motori s unutarnjim izgaranjem, dizel-motori također imaju svojstvo dostizanja njihove maksimalne učinkovitosti u uskome rasponu broja okretaja u minuti. Kako bi se mogli pokrenuti za vrijeme opterećenja, potreban je mjenjač s mehaničkim kvačilom. S višim potrebama opterećenja, kao što je to kod teških loko-

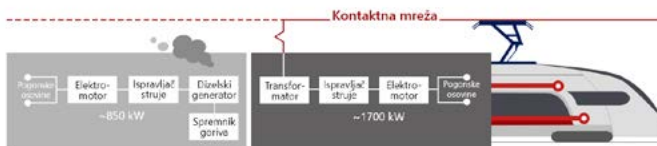
motiva, uobičajeno je koristiti dizel-motor kao generator koji proizvodi električnu energiju za elektromotore koji ga dalje pokreću. Na taj se način dizel-motor uvijek može koristiti u optimalnome rasponu, što povećava njegovu učinkovitost u pogledu potrošnje goriva. Na slici 3. prikazan je način rada dizel-električnoga pogona.



Slika 3. Ilustracija klasičnoga dizelskog pogona

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / obrada)

Za dizel-električne vlakove na tržištu također se mogu naći *dual-mode* motori. Općenito je to kombinacija dizelskoga generatora i jedinice za električni pogon s dodatkom jednog ili dva pantografa (s tzv. *opportunite converters* [4], ako je to potrebno) i povezanim modifikacijama električnoga sustava. Na dijelovima pruga koje su neelektrificirane snaga se dobiva kroz dizel-električni pogon. Dizelski generator proizvodi električnu struju za pogon elektromotora. Kada se vozilo vrati na elektrificiranu prugu, može se prebaciti na električni način rada te sustav radi kao EMV. Shematski prikaz pogona prikazan je na slici 4.

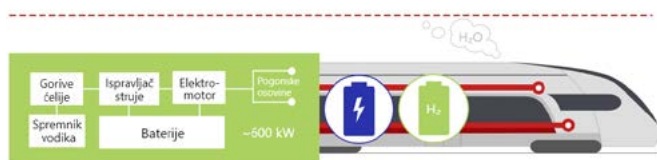


Slika 4. Ilustracija dizel-električnog pogona

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / obrada autora)

3.3.2. Hibridni dizel-baterijski pogon

Hibridni pogon jest onaj pogon koji koristi dva načina rada. Čest primjer hibridnoga pogona jest dizelski pogon s litij-ionskim baterijama koje se pune energijom dobivenom kočenjem vlaka. Takva pohranjena energija koristi se kako bi se rasteretio dizelski motor koji se u pojedinim trenucima gasi, a vozilo se kreće koristeći isključivo električnu energiju. Takve vrste pogona koriste se na kraćim neelektrificiranim pružnim dionicama. Shematski prikaz pogona prikazan je na slici 5.



Slika 5. Ilustracija dizel-baterijskog pogona (Izvor: autori)

S obzirom na to da se uglavnom koristi motor s unutarnjim izgaranjem, ispuštaju se štetni plinovi i stvara buka. Dizelski motori imaju približno iste karakteristike kao i kamioni i autobusi. Glavni proizvođači motora su tvrtke kao što su MAN, Iveco i MTU. U tablici 3. prikazane su karakteristike dvaju modela hibridnih vlakova s dizel-baterijskim pogonom.

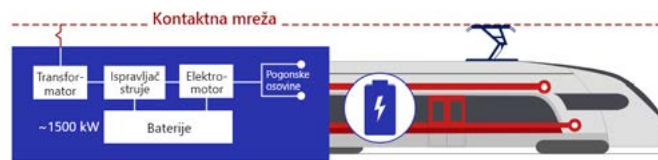
Tablica 3. Modeli vlakova na dizel-hibridni pogon na tržištu

Model	B 82500	Impuls 2 36WEh
Proizvođač	Bombardier	Newag
Broj dijelova vlaka	4	3
Duljina	72,8 m	59,3
Broj sjedećih /stajaci mjesta	220/N/A	150/170
Snaga	Dizel: 2x 588 kW Električni: 1.324 kW	Dizel: 780 kW Električni: 1.600 kW
Ubrzanje	Dizel: 0.47 m/s ² 1.5 kV : 0.66 m/s ² 25 kV : 0.67 m/s ²	Dizel: 0.4 m/s ² Električni : 1,1 m/s ²
Maksimalna brzina	160 km/h	160 km/h
Doseg	N/A	1.000 km

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.)

3.4. Vlakovi pogonjeni vodikom

Iako nedavno predstavljeni vlakovi pogonjeni vodikom predstavljaju „hibridizaciju“ postojećih elektromotornih vlakova, način rada vlakova pogonjenih vodikom sličniji je radu dizel-motornih vlakova. Dizelski generator zamijenjen je gorivim ćelijama, koje plinoviti vodik pohranjen u stlačenim spremnicima pretvaraju u vodenu paru. U kontroliranoj kemijskoj reakciji s atmosferskim kisikom oslobođena energija stvara električnu energiju. Ona se koristi za pokretanje elektromotora na pogonskim osovinama. Kako bi elektromotori imali dovoljno energije za ubrzanje (kada vlak treba najviše električne energije), koristi se električna energija iz litij-ionskih baterija koje se mogu puniti i električnom energijom generiranom tijekom kočenja vlaka [5]. Shematski prikaz ilustriran je na slici 6.



Slika 6. Ilustracija vlaka na vodik

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / Obrada autora)

Trenutačno je na tržištu dostupan prilično mali broj vlakova na vodik. U tablici 4. prikazana su dva primjera vlakova s pogonom na vodik te njihove tehničke karakteristike.

Tablica 4. Modeli vlakova na vodik na tržištu

Model	Coradia iLINT	Mireo Plus H
Proizvođač	Alstom	Siemens Mobility
Broj vlakova u prometu	2	N/A
Broj dijelova vlaka	2	2-3
Duljina	54,3 m	47 ili 63 m
Broj sjedećih / stajućih mjesta	N/A	120-160/N/A
Snaga	544 kW	1.700 kW
Ubrzanje	≤ 1,0 m/s ²	≤ 1,1 m/s ²
Maksimalna brzina	140 km/h	160 km/h
Doseg	600 - 1.000 km	600 - 1.000 km

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / obrada autora)

3.5. Baterijski elektromotorni vlakovi (BEMV)

Baterijski elektromotorni vlakovi u osnovi rade kao i elektromotorni vlakovi, čiji je pogon proširen kako bi se ugradila velika litij-ionska baterija.

Navedena baterija omogućuje kretanje vlaka na prugama koje nisu elektrificirane, dok najveća udaljenost koju vlakovi mogu prijeći ovisi o kapacitetu same baterije, karakteristikama pruge, broju putnika i broju stanica.

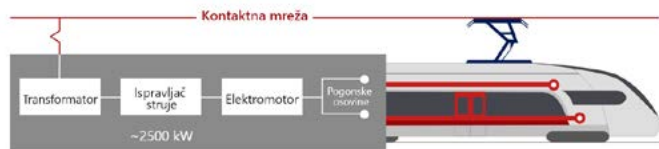
Baterija se puni preko pantografa na vlaku. Vlak se puni kada stoji na elektrificiranim stanicama ili kada se vozi na dijelovima pruge koji su elektrificirani.

Sve dok se vlak kreće u dodiru s kontaktnom mrežom, dobivena energija može se koristiti za punjenje baterije i za izravan pogon elektromotornoga vlaka.

Energija dobivena kočenjem vlaka može se vratiti u mrežu ili se njome mogu puniti baterije.

Mogućnost pohrane energije kočenja čini sustav električne vuče najučinkovitijim vučnim sustavom na željeznici [6].

Shematski prikaz pogona prikazan je na slici 7.



Slika 7. Ilustracija baterijskoga elektromotornog vlaka

(Izvor: VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / Obrada autora)

Vlakovi koji su dostupni na tržištu i njihove tehničke karakteristike prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Modeli baterijskih elektromotornih vlakova na tržištu

Model	Talent 3 BEMU	Mireo Plus B	FLIRT 3 AKKU
Proizvođač	Bombardier	Siemens Mobility	Stadler
Broj vlakova u prometu	1*	1*	N/A
Broj vagona	3	2-3	3
Duljina	56,2 m	47 ili 63m	58,6 m
Broj sjedećih / stojećih mjesta	169/N/A	120/N/A	154/166
Snaga	1.520 kW	1.700 kW	1.500 kW
Doseg	40-60 km	80-100 km	80 km
Ubrzanje	≤ 1,0 m/s ²	≤ 1,1 m/s ²	≤ 1,0 m/s ²
Maksimalna brzina	140 km/h	160 km/h	140 km/h

* Testni vlak u upotrebi od 2019.

(Izvor: Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt na Majni (2019.) / obrada autora [7])

4. Usporedna analiza pogona

Na temelju usporedbe svake od opisanih vrsta pogona moguće je zaključiti to kako svaka vrsta pogona ima svoje prednosti i nedostatke. Međutim, iz tablice 6. moguće je zaključiti to kako pogon na vodik ima najbolji omjer prednosti i nedostataka te se može očekivati kako će se u idućim godinama tehnologija punjenja vlakova vodikom i sama industrija proizvodnje vodika znatno razvijati s rastom potrebe za tim energentom. Detaljniji opis osnovnih karakteristika, prednosti i mana svake vrste pogona prikazan je u tablici 6.

Tablica 6. Usporedna analiza opisanih vrsta pogona

Vrsta pogona	EMV	DMV	DMV-hibrid	Vodik	BEMV
Doseg*	Prometovanje isključivo elektrificiranim prugama bez ograničenja	800-1.500 km	≈ 1.000 km	600 – 1.000 km	40 – 100 km
CO2 (izravno)	Nema emisije CO2	DA	Smanjena emisija CO2 u odnosu na klasični DMV	Nema emisije CO2	Nema emisije CO2
Maksimalna brzina	≈ 350 km/h	271 km/h	160 km/h	160 km/h	160 km/h
Potreba za manevriranjem**	DA, samo u pogonu za održavanje	NE	NE	NE	NE
Prednosti	Veliko tržište Najčešće se koriste od svih ostalih vrsta vlakova	Mogućnost prometovanja neelektrificiranim prugama	Mogućnost prometovanja i neelektrificiranim prugama uz smanjenje emisije štetnih plinova u odnosu na klasičan DMV	Može prometovati po svim prugama Nema emisije štetnih plinova Moguća proizvodnja vodika iz obnovljivih izvora energije	Optimizirano korištenje električnog pogona Mogućnost prometovanja po neelektrificiranim prugama
Nedostaci	Nemogućnost prometovanja neelektrificiranim prugama	Visoka razina emisije štetnih plinova i uz najnovije generacije motora	Na neelektrificiranom dijelu pruge visoka emisija štetnih plinova	Ne postoji spremna infrastruktura punionica i proizvodnje vodika Potrebne velike količine električne energije za proizvodnju vodika	Mali doseg, u pojedinim slučajevima može zahtijevati infrastrukturne zahvate u kolodvorima

*u kontekstu usporedbe vrsta pogona doseg se odnosi samo na primarni pogon i ne uključuje ograničenja pratećih sustava (pjeskare, spremnici vode, spremnici fekalija i sl.). Stvarni doseg ovisi o karakteristikama prijevoznoga puta (karakteristika pruge), broju putnika i broju stanica.

**manevriranje se odnosi na manevarski rad u početnome i obrtnome kolodvoru, što uključuje i radnje u pogonima za održavanje

5. Studija slučaja

Kako bi se prikazao potencijal novih vrsta pogona u Hrvatskoj, izrađena su dva scenarija na primjeru putničkoga prijevoza u RH. U ovome poglavlju prikazani su scenariji s vlakovima na baterijski pogon i s vlakovima pogonjenima vodikom. Prvi scenarij uključuje elektromotorne vlakove na baterijski pogon (BEMV) na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Osijek, a drugi upotrebu vlakova pogonjenih vodikom na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Split.

5.1. Upotreba BEMV vlakova na hrvatskoj željezničkoj mreži – relacija Zagreb Glavni kolodvor – Osijek

Prvi scenarij uključuje uvođenje BEMV vlakova na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Vinkovci – Osijek. Taj scenarij povezuje dva velika hrvatska grada Zagreb i Osijek preko Vinkovaca.

Osijek je važno željezničko čvorište i dio neelektrificirane mreže. U postojećemu stanju vlakovi na relaciji Zagreb – Osijek voze prijevoznim putem preko Koprivnice ili preko kolodvora Strizivojna-Vrpolje i u oba slučaja željeznička pruga nije u cijelosti elektrificirana. U slučaju kada vlakovi koriste prijevozni put preko Koprivnice, vlak vozi elektrificiranom prugom od zagrebačkoga Glavnog kolodvora preko Dugog Sela do Koprivnice. Ta dionica elektrificirana je sustavom vuče 25kV/50Hz. Na drugome dijelu prijevoznoga puta vlak vozi po neelektrificiranoj pruzi od Koprivnice do Osijeka.

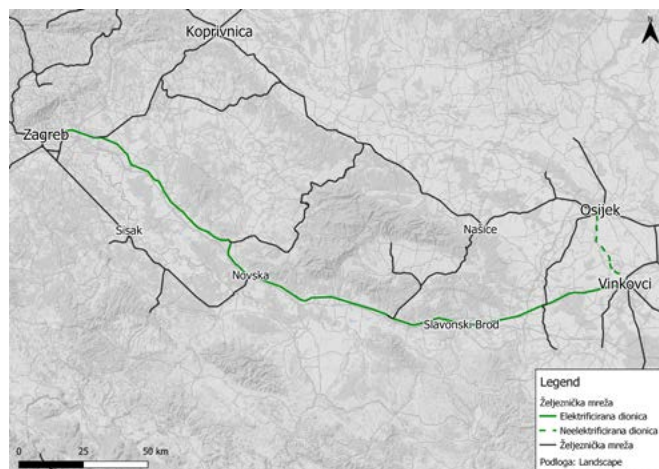
U drugome slučaju, kada vlak vozi preko kolodvora Strizivojna-Vrpolje, veći dio mreže elektrificiran je sustavom 25kV/50Hz i to do kolodvora Strizivojna-Vrpolje (kada vlak vozi od zagrebačkoga Glavnog kolodvora preko Dugog Sela i Novske). Drugi dio prijevoznoga puta od kolodvora Strizivojna-Vrpolje do Osijeka nije elektrificiran (M302 Strizivojna-Vrpolje – Osijek).

S obzirom na važnost povezivanja Zagreba i Osijeka, taj scenarij uzeo je u obzir upravo tu vezu za uvođenje BEMV vlakova. Relacija između Zagreba i Osijeka preko Koprivnice nije prepoznata kao moguća ruta s obzirom na to da je neelektrificirani dio pruge iznimno dug i postojeći BEMV vlakovi nemaju toliki doseg kada se koristi baterija. Kao što je i opisano u prethodnim poglavljima, doseg BEMV vlakova je između 40 i 100 km, ovisno o karakteristikama pruge, broju putnika i broju stanica. Osijek se nalazi u središtu neelektrificirane mreže te je zato važno uzeti u obzir to da vlak mora moći voziti od elektrificirane mreže do Osijeka i natrag do elektrificirane mreže unutar svojega dosega.

U slučaju BEMV vlakova, uzimajući u obzir najveći doseg od 100 km, duljina prometovanja po smjeru ne bi trebala prijeći 50 km (navedene su brojke procijenjene, a za određivanje stvarnoga dosega potrebno je izraditi detaljnije analize i proračune). Na taj je način izbjegnuta investicija u nadogradnju kolodvora Osijek kako bi se u njemu vlakovi mogli puniti. Analizirajući prijevozni put preko kolodvora Strizivojna-Vrpolje, koristeći željezničku prugu M302 Strizivojna-Vrpolje – Osijek, može se zaključiti to kako je duljina neelektrificirane dionice preduga i iznosi 47,6 km [8]. S obzirom na to saznanje, taj prijevozni put nije razmatran kao moguća opcija.

Treći analizirani prijevozni put od Zagreba do Osijeka jest onaj preko kolodvora Vinkovci. Prednost toga prijevoznog puta je što prolazi kroz Vinkovce, važno regionalno čvorište na željezničkoj mreži i grad s 35 tisuća stanovnika. Osim toga neelektrificirana dionica u tom je slučaju duga 33,8 km, što je idealna duljina za upotrebu BEMV vlakova. Ako bi se koristio taj prijevozni put, vlak ne bi trebao vanjski izvor električne energije za punjenje baterija u kolodvoru Osijek, što smanjuje troškove implementacije. Taj scenarij ne zahtijeva izgradnju dodatne infrastrukture.

Realizacija toga scenarija može poboljšati vezu između Zagreba i Osijeka i omogućiti bolju povezanost Vinkovaca. On omogućuje smanjenje emisije stakleničkih plinova na nulu, a dodatna je korist to što za ostvarenje toga cilja nije potrebno graditi dodatnu infrastrukturu. Uvođenje BEMV vlakova također omogućuje smanjenje operativnih troškova jer BEMV vlakovi za razliku od vlakova s klasičnim sastavom koji se trenutačno često koriste za povezivanje Osijeka i Zagreba ne zahtijevaju manevriranje u početnome i obrtnome kolodvoru. S obzirom na to da BEMV vlakovi imaju vlastite baterije, za razliku od elektromotornih vlakova, nemaju potrebu za manevriranjem u centrima za održavanje.



Slika 8. Scenarij 1 – ilustracija rute
(Izvor: autori)

Upotreba vlakova pogonjenih vodikom na hrvatskoj željezničkoj mreži – relacija Zagreb Glavni kolodvor – Split

Drugi analizirani scenarij uključuje uvođenje vlakova pogonjenih vodikom na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Split. Ta je relacija jedna od najvažnijih željezničkih relacija u Hrvatskoj koja povezuje glavni grad Zagreb i jedan od najvećih hrvatskih gradova Split. Split je važno turističko čvorište, a gotovo cijeli prijevozni put između Zagreba i Splita prolazi paralelno s jadranskom obalom (iako dosta udaljeno od obale), što olakšava pristup raznim gradovima na obali te je veliki turistički potencijal za putničke prijevoznike (preko pruge M604 Oštarije – Knin – Split moguće je ostvariti vezu prema Zadru i Šibeniku, a autobusima i prema ostalim gradovima u neposrednoj blizini).

Prijevozni put kreće iz zagrebačkoga Glavnog kolodvora preko elektrificirane željezničke pruge M202 – Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka do kolodvora Oštarije. U Oštarijama prijevozni put nastavlja prugom M604 Oštarije – Knin – Split, koja nije elektrificirana.

U postojećemu stanju na relaciji Zagreb – Split koriste se dvije vrste vlakova, i to vlakovi s klasičnim sastavom i dizel-motorne garniture. Vlakovi klasičnoga sastava koriste električnu lokomotivu serije 1141 koja se zamjenjuje dizel-električnom lokomotivom serije 2044 koju pogone dizelski motori starije generacije. Koriste su

dizel-motorni vlakovi proizvođača Bombardiera (model Regio Swinger) serije 7123, a pogone ih dizelski motori novije generacije.

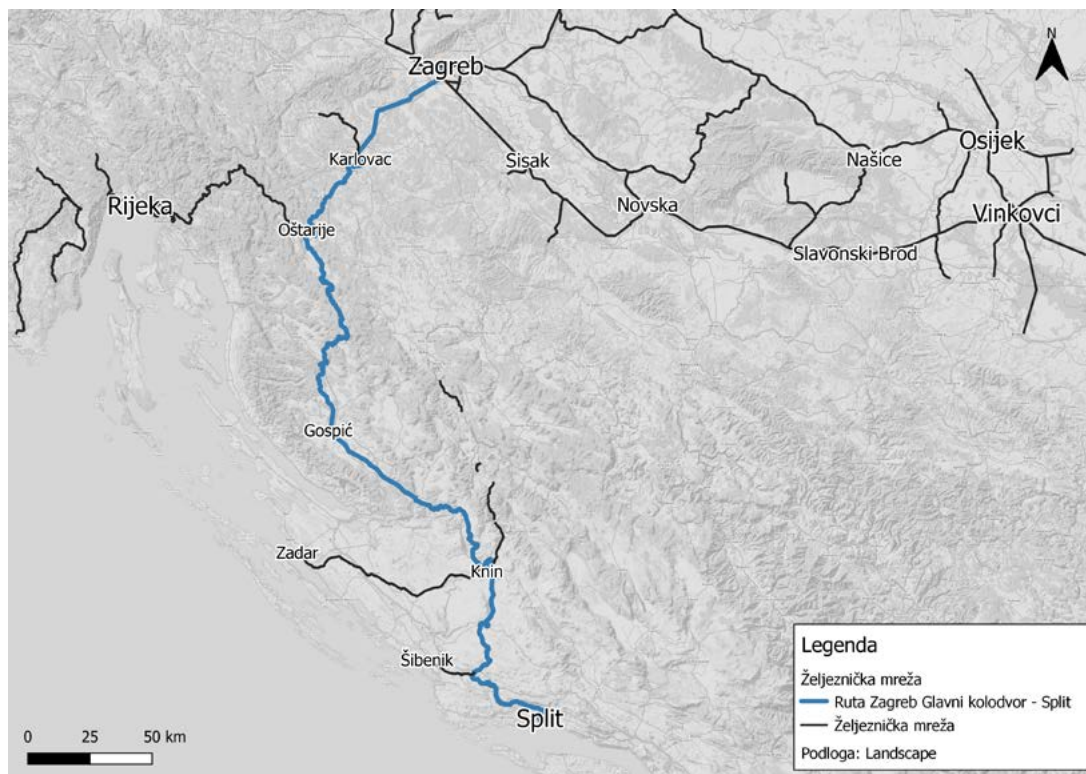
Vlakovi pogonjeni vodikom, kao što je to opisano u prethodnim poglavljima, imaju doseg između 600 i 1000 km, što ovisi o karakteristikama pruge, broju putnika i broju stanica. S obzirom na to da je ukupna duljina prijevoznoga puta 429,2 km, vlakove pogonjene vodikom moguće je koristiti na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Split.

5.2. Punionice za punjenje vodikom

S obzirom na to da su vlakovi pogonjeni vodikom još uvijek nova i inovativna tehnologija na tržištu željezničkih vozila, tehnologija punjenja vlakova mijenja se i potencijalno će se unaprijediti u sljedećim godinama [9]. Vozila se mogu puniti vodikom u punionicama sličnima stanicama za punjenje standardnim gorivom koje mogu biti pokretne (u obliku vozila) i statične (sagrađene punionice). Punionice se mogu postaviti u Splitu (Solin) i Zagrebu (Zagreb Glavni kolodvor) kako bi vlakovi uvijek bili puni vodika. Za punjenje vlakova koristi se čisti vodik koji se može prevoziti kamionom ili vagonima. Trenutačno na tržištu ne postoji certificirani vagon za prijevoz vodika, ali se očekuje kako će željeznička industrija certificirati takvu vrstu vagona za od šest do osam mjeseci [10].

Vodik se može dobiti na više načina, među kojima je najzelenija metoda elektrolize koja koristi električnu energiju iz obnovljivih izvora. Prema podacima Alstoma, dvije vjetroelektrane i jedan elektrolizer od 5 MW mogu proizvesti dovoljno vodika za 14 dvodijelnih vlakova Alstom Coradia iLint za regiju Donju Sasku (Njemačka) [11].

Cijeli proces punjenja vlakova potrebno je dodatno istražiti i analizirati kroz studijsku dokumentaciju kako bi se stvorio točan plan za specifičan slučaj u kolodvorima Zagreb Glavni kolodvor i Split.



Slika 9. Scenarij 2. – ilustracija rute
(Izvor: autori)

6. Zaključak

Na temelju usporedbe raznih vrsta pogona putničkih vlakova može se zaključiti to kako željeznička industrija ide u smjeru razvoja novih tehnologija koje su usmjerene na poboljšanje konvencionalnih motora s unutarnjim izgaranjem i njegovih performansi koristeći dodatne sustave. Razvoj baterija omogućio je njihovu veću upotrebu u željezničkoj industriji te su baterije koje se koriste za pogon danas zastupljene u većini novih vlakova. Veliku ulogu u razvoju održivih pogona ima vodik koji ima velik doseg, nema emisiju štetnih plinova i najveća mu je mana nepostojanje sustava za punjenje vlakova vodikom kao i proizvodnja vodika. Može se očekivati to kako će navedeni problem ubrzo biti riješen s obzirom na to da se trenutačno grade prve punionice vodikom za vlakove [12].

Iako u razvoju i korištenju raznih novih vrsta pogona prednjače zemlje kao što su Njemačka i Austrija, i u Hrvatskoj postoji velik potencijal za korištenje raznih vrsta pogona s obzirom na mali udio elektrificirane mreže (37 posto). Iz dva predložena scenarija vidljivo je to kako je moguće koristiti elektromotorne vlakove s dodatnim baterijskim pogonom (BEMV) i vlakove pogonjene vodikom na raznim važnim dionicama u Republici Hrvatskoj. Na dionici Zagreb – Osijek BEMV bi mogao znatno unaprijediti održivost sustava jer bi vlakovi u cijelosti koristili isključivo električnu energiju kao pogon. Na dionici Zagreb – Split povoljnije je koristiti pogon na vodik s obzirom na veći dio neelektrificirane pruge. Na taj bi se način znatno povećala kvaliteta prijevoza i u cijelosti eliminirala emisija štetnih plinova na analiziranim relacijama.

Literatura:

- [1] Europska agencija za okoliš (EEA): EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism, 2017.
- [2] HŽ Putnički prijevoz, Statistika za 2019., Zagreb, 2019.
- [3] VDE Verband der Elektrotechnik (Herausgeber): "Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale", Frankfurt am Main (2019)
- [4] Farnesi, S., Marchesoni, M., Passalacqua, M., Vaccaro, L.: Solid-State Transformers in Locomotives Fed through AC Lines: A Review and Future Developments, Energies, Genova, 2019.
- [5] Andreas Hoffrichter, Stuart Hillmans, Clive Roberts: Conceptual propulsion system design for a hydrogen-powered regional train, Birmingham, UK (2015.)
- [6] Nima Ghaviha, Javier Campillo, Markus Bohlin, Erik Dahlquist, Review of Application of Energy Storage Devices in Railway Transportation, Energy Procedia, Broj 105, 2017.
- [7] Laperrière, Y., Realize your vision with Bombardier TALENT 3 BEMU, The Battery Electric Multiple Unit Train, APTA 2019 Rail Conference
- [8] HŽ Infrastruktura, Izvješće o mreži 2021., Zagreb, 2020.
- [9] Shift2Rail: "Study on the use of fuel cells & hydrogen in the railway environment", Report 3, Overcoming technological and non-technological barriers to widespread use of FCH in rail applications – Recommendations on future R&I (2019.)
- [10] <https://www.pv-magazine.com/2020/08/10/hydrogen-can-be-transported-by-rail-german-railway-company-says/> (pristupljeno 24. studenog 2020.)
- [11] https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train_James_Varney-1.pdf (pristupljeno 24. studenog 2020.)
- [12] <https://electrek.co/2020/07/30/egeb-germany-hydrogen-train-filling-station-north-dakota-oil-plug/> (pristupljeno 25. studenog 2020.)

UDK: 625.2

Autori

Marin Dokoza, mag. ing. traff.
Ernst & Young Savjetovanje d.o.o.
Radnička cesta 50, 10000 Zagreb
marin.dokoza@hr.ey.com

Timo Schmidt, M. Sc. Tech.
DB Engineering & Consulting GmbH
EUREF-Campus Haus 14
Torgauer Straße 12-15, 10829 Berlin, Germany
Timo.To.Schmidt@deutschebahn.com

SAŽETAK

NOVE VRSTE POGONA PUTNIČKIH VLAKOVA

Ciljevi raznih država diljem Europe usmjereni su na smanjenje emisije štetnih plinova pogotovo onih koje nastaju u sektoru prometa. U Republici Hrvatskoj od 1990. godine do 2017. godine emisija stakleničkih plinova porasla je za 62%. Kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova i u željezničkom prometu, željeznička industrija razmatra nove vrste pogona i pogonskih goriva. U radu su analizirane sve vrste pogona putničkih vlakova koje su međusobno uspoređene te su na primjeru Hrvatske željezničke mreže prikazana dva scenarija mogućnosti korištenja elektromotornih vlakova s dodatnim baterijskim pogonom i vlakova pogonjenih vodikom.

Ključne riječi: putnički prijevoz, elektromotorni vlakovi, hibridni vlakovi, vlakovi pogonjeni vodikom, vodik, baterijski vlakovi

Kategorija: stručni članak

SUMMARY

NEW PROPULSION SYSTEMS FOR PASSENGER TRAINS

The targets of various countries across Europe are aimed at reducing emissions of greenhouse gases, especially those generated in the transport sector. In the Republic of Croatia, from 1990 to 2017, greenhouse gas emissions increased by 62%. In order to reduce greenhouse gas emissions and in rail transport, the railway industry is considering new types of propulsion and propellant fuels. The paper analyzes all types of passenger trains that are compared with each other, and on the example of the Croatian Railway Networks, two scenarios of the possibility of using electric trains with additional battery drive and hydrogen-powered train are presented.

Keywords: passenger transport, electric multiple units, hybrid trains, hydrogen trains, hydrogen, battery trains

Category: professional article