

UNIVERZITET U BEOGRADU  
SAOBRAĆAJNI FAKULTET



**ZAVRŠNI RAD**

**VIŠESISTEMSKE ELEKTRIČNE  
LOKOMOTIVE**

Mentor:

Prof. dr Dragutin Kostić

Student:

Jovan V. Mičić

Beograd, 2020. godine



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ**  
Војводе Степе 305, Београд

број

--	--	--	--	--

**П Р И Ј А В А Т Е М Е**  
**ЗАВРШНОГ РАДА**

**СТУДИЈСКИ ПРОГРАМ:**

**САОБРАЋАЈ**

**МОДУЛ СТУДИЈСКОГ ПРОГРАМА**

Тема:

---

Тезе рада:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Задатак примио: \_\_\_\_\_, број индекса:

\_\_\_\_\_  
*име и презиме студента*

Задатак издао: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*име и презиме ментора потпис ментора*

Сагласан: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*име и презиме шефа катедре потпис шефа катедре*

Датум пријаве: \_\_\_\_\_

## *REZIME*

Glavne i pomoćne motore modernih vučnih vozila napajaju pomoćni konvertori snage koji pokreću kontrolni sistem sa mikroprocesorima. Ovakva arhitektura pruža bitne prednosti napsram tradicionalnih elektromehaničkih vučnih vozila po pitanju efikasnosti, smanjenja težine, pouzdanosti i lakoće održavanja. Svestranost elektronskih konvertera je jedan od glavnih preduslova za razvoj multisistemskih lokomotiva. To je direktno dovelo do prevazilaženja problema koji su se javljali usled različitih sistema napajanja i omogućilo je uvođenje interoperabilosti železničkih sistema. Zbog različitosti železničkih sistema, vučna vozila se moraju adaptirati na različite vrednosti napona i frekvencija kontaktne mreže napajanja, dok se u isto vreme mora održati maksimalna iskorišćenost za svaki sistem.

*ključne reči: železnica, višesistemske lokomotive, Siemens Vectron, električne lokomotive, vuča vozova, 4Q konverter, sistemi napajanja*

## *ABSTRACT*

The services and auxiliary motors of modern traction vehicles are powered by auxiliary power converters driven by microprocessor control systems. This architecture allows important advantages to be obtained compared with traditional electromechanical traction vehicles in terms of efficiency, the reduction of weight and volume, reliability, and maintainability. The versatility of electronic converters has also made the economic development of multisystem rolling stock possible, which allows overcoming the obstacle of different power supply systems and thus the implementation of the railway interoperability. Achievements in relation to rolling stock differ not only because of the different construction traditions of different countries but also as a result of the different socioeconomic and environmental situations they must adapt to. Due to the particularities of the rail system, the vehicles must be adapted to different voltage levels and frequencies of the power supply network while seeking to maintain the maximum allowable performance for each system as much as possible.

*key words: railway, multi-system rolling stock, Siemens Vectron, electric locomotives, train traction, 4Q converter, power supply systems*

# SADRŽAJ

## **SPISAK TABELA**

## **SPISAK SLIKA**

## UVOD

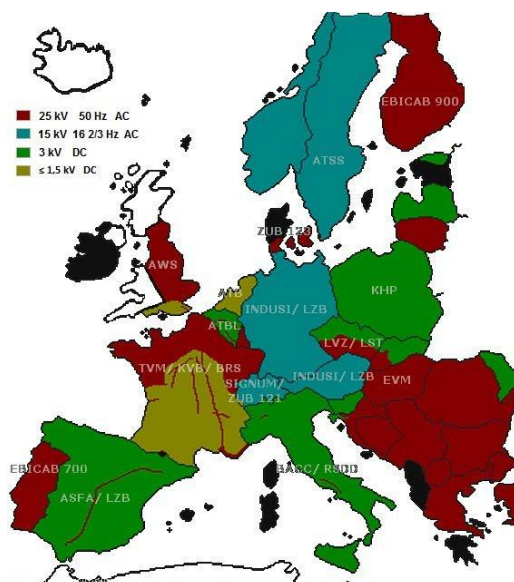
Trenutno u svetu postoje različite orijentacije nacionalnih železnica po pitanju pogonskih sistema. U SAD i Kanadi prisutan je intenzivan razvoj dizel vučnih vozila, dok se u većini zemalja Evrope zapaža stagnacija dizel vuče, i elektrifikacija pruge i razvoj savremenih električnih vučnih vozila.

Različitost sistema već elektrificiranih pruga u Evropi potiče od vremenskog trenutka kada su one izgrađene. Prve električne vuče (kraj XIX veka) bile su sprovodive za kraće relacije s manjim opterećenjima, tada za tramvaje. Sistem napajanja bio je 150 [V] jednosmerne struje, a ukupna je snaga vučnog vozila iznosila do 7,5 [KS]. Nakon 1888.g napon se povećao na 600 [V], a najveća snaga je bila oko 40 [KS], što je omogućilo elektrifikaciju prigradskih vozova i podzemnih železnica. Elektromotori su bili na početku razvoja, tako da oko 1900. godine još uvek nije bilo jednosmernog motora veće snage, što je kasnije omogućilo naizmjenični trofazni asinhroni motor.

Sistem od 750 [V], sa sniženom frekvencijom (40 [Hz]), predstavlja prvi pravi sistem elektrifikacije železnice. Prvo je primenjen u Švajcarskoj, zatim se trofazni sistem napona 3,3 [kV] i 15 [Hz] postavljao na severu Italije do 1928. Lokomotive su imale indukcijske asinhronne motore. Prva lokomotiva koja se napajala na 15 [kV],  $\sim 16 \frac{2}{3}$  [Hz] izgrađena je 1905.g u Švajcarskoj, što je prihvatila i Nemačka 1909. godine, iduće godine Švedska, 1914. godine Austrija, a 1922.g Norveška. Do 1928. godine bilo je oko 10.000 km pruge u celom svetu elektrificirane strujom od 15 [kV],  $\sim 16 \frac{2}{3}$  [Hz]. Sa istim naponom monofazni sistem normalne frekvencije 50 [Hz], prvi put je postavljen u Mađarskoj 1931. godine. U Francuskoj su od 1950.g do 1952. godine izvođene probe sa naizmjeničnom strujom od 50 [Hz]. Konačni izbor je pao na 25 [kV],  $\sim 50$  [Hz], što se primenilo u Francuskoj 1955.g, nakon toga u Mađarskoj, Rusiji, Engleskoj, Portugaliji, Jugoslaviji, Bugarskoj, Rumuniji i u Turskoj.

Tako, trenutna međusobna neusklađenost različitih sistema napajanja (slika 1), dovodi do zahteva za vučnim vozilom - lokomotivom koja može saobraćati na prugama sa različitim sistemima napajanja.

Slika 1: sistemi elektrificiranih pruga u Evropi





Višesistemske električne lokomotive su predstavnici savremene železnice Evrope zbog multifunkcionalnih performansi koje poseduju. Takvo vozilo u stanju je da racionalno zadovolji potrebe, na bilo kojem delu pruge. Poseduju vrlo pouzdane sigurnosne sisteme koji se primenjuju na savremenim šinskim vozilima danas.

# GLAVA I: TEHNIČKE I EKSPLOATAZIONE KARAKTERISTIKE VIŠESISTEMSKIH ELEKTRIČNIH LOKOMOTIVA

## 1. TEHNIČKI OPIS VIŠESISTEMSKE ELEKTRIČNE LOKOMOTIVE NA PRIMERU SIEMENS VECTRON

Siemens Vectron (slika 2) je višesistemska lokomotiva najnovije generacije koja ispunjava sadašnje i buduće standarde po pitanju prilagodljivosti nizu specifično konfigurisanih železničkih sistema karakterističnih za određenu zemlju. Ova lokomotiva ispunjava sve rigorozne ekološke standarde iz oblasti zaštite životne sredine, nivo buke je u okvirima prihvatljivog, a odlikuje je racionalna potrošnja energije koja za posledicu ima značajne uštede pri eksploataciji.

*Slika 2: višesistemska Siemens Vectron lokomotiva*



### 1.1. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ELEKTRIČNIH LOKOMOTIVA SIEMENS VECTRON

U tabeli su prikazane tehničke karakteristike pojedinačnih verzija Siemens Vectron električnih lokomotiva (DC) i višesistemske električne lokomotiva (MS i AC). Svaki od dole navedenih tipova lokomotiva je opremljen najsavremenijim Evropskim sistemima za kontrolu vozova (ETCS), o čemu će biti reči u narednim poglavljima ovog rada.

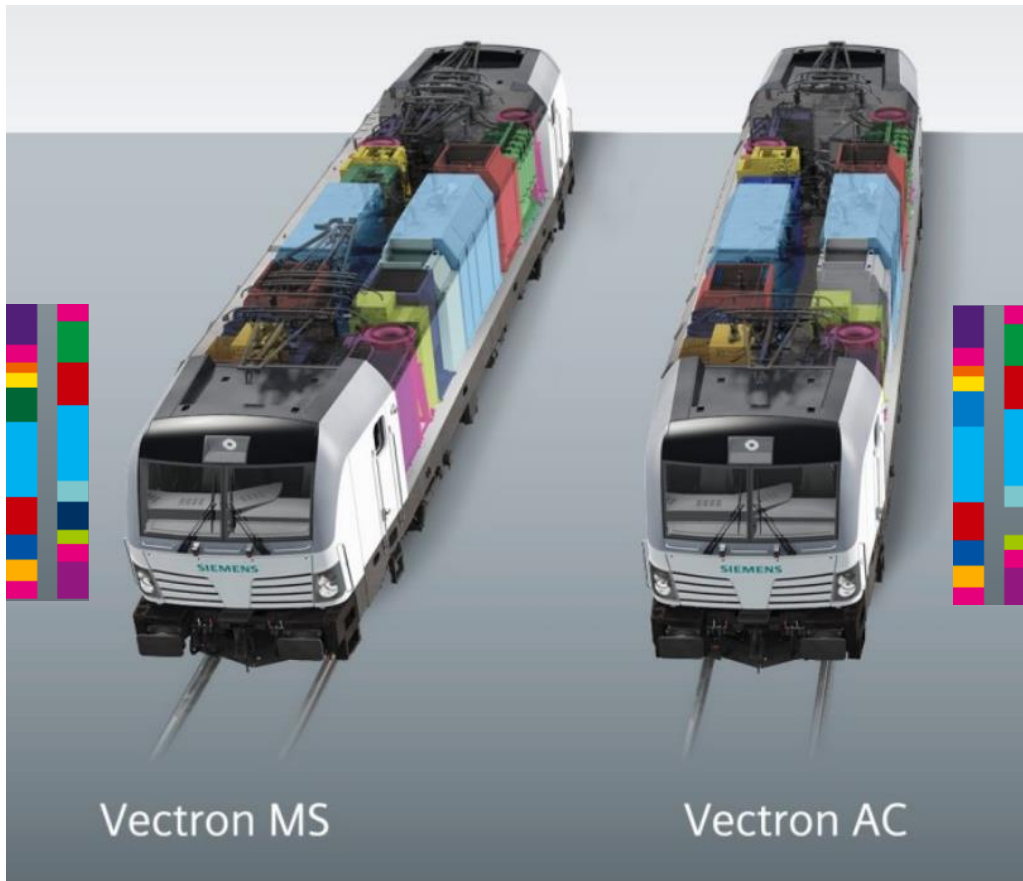
*Tabela 1: Usporedne karakteristike*















	<b>Vectron MS</b>	<b>Vectron AC</b>	<b>Vectron DC</b>
<b>Napon kontaktne mreže</b>	AC 25 kV, 50Hz AC 15 kV, 16,67 Hz DC 3 kV DC 1.5 kV	AC 25 kV, 50Hz AC 15 kV, 16,67 Hz	DC 3 kV
<b>Raspored osovina</b>	Bo'Bo'	Bo'Bo'	Bo'Bo'
<b>Širina koloseka (mm)</b>	1,435/ 1,520 / 1,668	1,435/ 1,520 / 1,668	1,435/ 1,520 / 1,668
<b>Masa lokomotive (t)</b>	88-90	85-87	80
<b>Dužina lokomotive preko odbojnika (mm)</b>	18,980	18,980	18,980
<b>Prečnik točka (novi/istrošeni)</b>	1,250 /1,160	1,250 /1,160	1,250 /1,160
<b>Vučna sila pokretanja</b>	300/320	300/320	300/320
<b>Maksimalna snaga (kW)</b>	6,400 (AC) 6,000 (DC 3 kV) 3,500 (DC 1,5 kV)	6,400	5,200/6,000
<b>Maksimalna brzina (km/h)</b>	160/200	160/200	160
<b>Snaga reostatske kočnice na obodu točka (kW)</b>	2,600 (DC 3 kV) 2,600 (DC 1,5 kV)	-	2,600
<b>Električna sila kočenja (max)</b>	240 kN	240 kN	240 kN
<b>Temperaturno područje rada (°C)</b>	-25 do +40	-25 do +40	-25 do +40
<b>Srednji razmak između obrtnih postolja (mm)</b>	9,500	9,500	9,500
<b>Razmak osovina u obrtnom postolju (mm)</b>	3,000	3,000	3,000

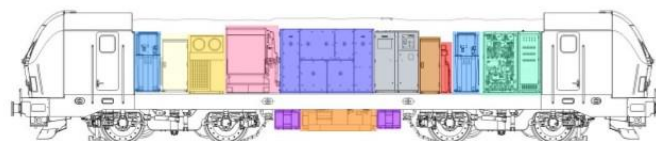
*Izvor: Samostalna interpretacija autora*

## 1.2. RASPORED OPREME NA PRIMERU SIEMENS VECTRON VS LOKOMOTIVA

Slika 3: Grafički prikaz rasporeda opreme



Komponente lokomotive:			
	Orman sa opremom vazdušne kočnice		Orman pomoćnog transformatora
	Vazdušni kompresor		Glavni vučni pretvarač
	Protivpožarni sistem		Orman sa opremom za regulaciju parametara komprimovanog vazduha
	Orman sa pomoćnom opremom		Visokonaponski AC modul
	Odeljak sa niskonaponskom opremom		Visokonaponski DC modul
	Otpornik dinamičke kočnice		Sigurnosni sistem 3
	Rashladni uređaj		Sigurnosni sistemi 1,2



### 1.3. MEHANIČKI DEO VIŠESISTEMSKE LOKOMOTIVE NA PRIMERU SIEMENS VECTRON

Slika 4: noseća struktura sanduka



Noseću strukturu sanduka (*engl. underframe*) čine dva spoljašnja i jedan središnji uzdužni nosač (greda). Oni su ojačani poprečnim profilima zarad dodatne čvrstoće. Sanduk lokomotive se nakon spuštanja zavaruje za ovaj deo i zajedno sa njim čini jednu kompaktnu celinu. Kao što je već navedeno, dužina preko odbojnika je 18,980 mm.

Slika 5: sanduk lokomotive



Višesistemska lokomotiva Vectron poseduje sanduk sa upravljačnicama na oba kraja. Upravljačnice su konstruisane na savremen način, sa odličnom zvučnom i termičkom izolacijom. Zbog visokih zahteva u pogledu čvrstoće (definisani po normama UIC-a), sanduk je izveden kao noseća konstrukcija koja se može podeliti na: donje postolje, upravljačnice i bočne zidove mašinskog dela. Za izgradnju sanduka lokomotive su u potpunosti

korišćeni materijali otporni na koroziju.

Slika 6: odbojnici



Prednji odbojnici se prema UIC-propisima 526-1, 527 i 827 mogu opteretiti sa 70 kJ po odbojniku. Pri eventualnom sudaru, sile se prenose na gredu i dalje na bočne nosače preko odbojnika i elemenata za ublažavanje sile sudara (absorberi udara) koji se nalaze neposredno iza odbojnika. U slučaju prekoračenja granice udarne sile koja je okvirno 2.000 kN – deformišu se kontrolisanim „nabiranjem“ u za to predviđenim zonama, pre nego što se na sanduku pojave deformacije.

Proračuni i ispitivanja su pokazali da sudar pri brzini manjoj od 40 [km/h] neće dovesti do znatnijih oštećenja na vučnom vozilu.

Kao oprema za vuču na svakom kraju lokomotive su predviđena kvačila i kuke za vuču u skladu sa UIC 520, 521, 825 i 826.

## 1.4. MAŠINSKI DEO VIŠESISTEMSKE LOKOMOTIVE SIEMENS VECTRON

*Slika 7: sanduk lokomotive*



mašinskom prostoru, što omogućava zamenu bilo kog elementa sa jednim kranom.

Sanduk višesistemskih lokomotiva Vectron je otvoren ka gornjoj strani radi jednostavnog pristupa mašinskom prostoru. Za pokrivanje lokomotive koriste se elementi krova koji su dizajnirani tako da budu modularni i laki za demontažu, a da se istovremeno na njih montira električna opremu koja se nalazi na krovu. Jednostavnim uklanjanjem dva modularna poklopca ostvaruje se pristup celokupnom

*Slika 8: mašinski prostor*



U mašinskom prostoru, ormani sa opremom nalaze se sa obe strane središnjeg prolaza. Kablovi i cevi za vazduh su najvećim delom smešteni u posebnom kanalu ispod središnjeg prolaza, a pristupa im se sa gornje strane. Glavni transformator smešten je i zaštićen ispod poda, u prostoru između obrtnih postolja. Lokomotiva ima četiri vučna motora koji su u parovima postavljeni iznad obrtnih postolja. Njima se pristupa sa donje strane lokomotive.

## 1.5. OBRITNO POSTOLJE VIŠESISTEMSKIH ELEKTRIČNIH LOKOMOTIVA SIEMENS VECTRON

Obrtno postolje koje se koristi kod svih električnih Siemens Vectron lokomotiva nosi oznaku SF4 i konstruisano je posebno za ove tipove lokomotiva. Obrtna postolja ovog tipa imaju mogućnost konfigurisanja prema zahtevu operatora za određeno operativno područje. Podmazivanje i peskarenje je omogućeno za svaki točak obrtnog postolja.

Prilikom isporuke, obrtna postolja su u potpunosti pripremljena za ugradnju komponenti potrebnih za funkcionisanje Evropskog sistema za kontrolu vozova i kompatibilna su za ugradnju svih kočionih elemenata, bez obzira na tip kočnice.

Oba osovinska sklopa obrtnog postolja pokreću se preko kardanski postavljenog šupljeg vratila koje je na drugoj strani povezano sa vučnim motorom preko podmazivanog velikog/malog pogonskog zupčanika. Vučni motor je elastično ogibljen na ramu obrtnog postolja.

Jedan od ciljeva pri konstrukciji SF4 obrtnog postolja bio je dostupnost onih mesta koje je potrebno pregledati tokom redovnog održavanja i što lakši pristup onim komponentama koje se troše tokom rada. Svi sastavni delovi su pričvršćeni spojnim elementima koji se po potrebi mogu odvojiti/skinuti, čime je omogućena jednostavna demontaža u slučaju zamene nekog od delova obrtnog postolja. SF4 obrtno postolje teži oko 18 tona, maksimalna vučna sila pri pokretanju po osovinskom slogu iznosi 75 kN dok je maksimalno osovinsko opterećenje 22,5t.

*Slika 9: obrtno postolje SF4*



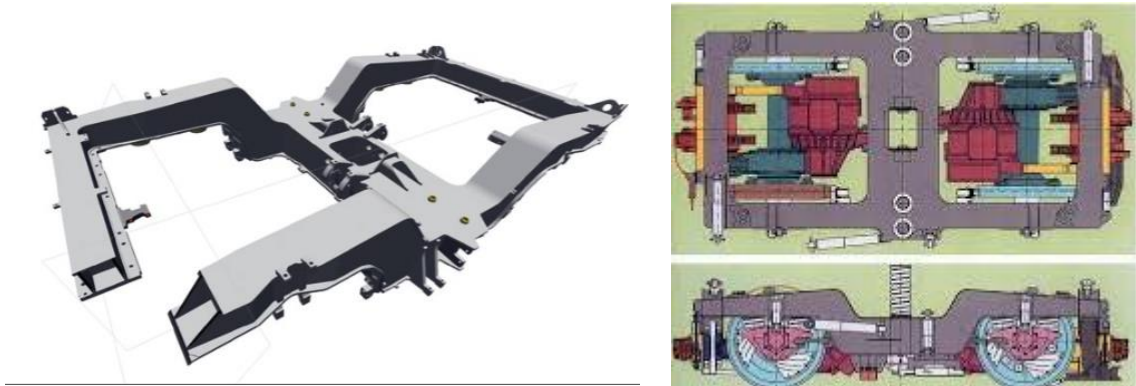
### **Ram obrtnog postolja**

Ram obrtnog postolja je zatvoreni zavareni nosač profila sanduka. Sastoji se od uzdužnih i poprečnih nosača: srednjeg poprečnog nosača i čeonog poprečnog nosača, izradjenih od nerđajućeg čelika. Oba čeonog poprečna nosača spajaju uzdužne krajeve uzdužnih nosača. Na čeonim poprečnim nosačima pričvršćeni su elastični oslonci pogonskog bloka.

Kontaktne površine vodjica kućišta osovinskih sklopova i vešanje vučnih motora su čelični elementi koji su zavareni na konstrukciju i koji su mehanički obrađeni za prihvatanje osovinskih sklopova i ležajeva vučnih motora.

U središnjem delu obrtnog postolja, na mestu spoja središnjeg poprečnog sa dva uzdužna nosača, nalaze se paralelno postavljene sekundarne ogibljene postavljene poprečno na lokomotivu. Na njegovom središnjem delu je otvor u koji ulazi obrtni nastavak tj. rukavac. Obrtni nastavak se na donjoj strani spaja sa središnjim poprečnim nosačem preko upravljača u obliku položene osmice (*engl. lemniscate*). Taj spoj prenosi vučne sile i sile kočnja sa obrtnog postolja na sanduk lokomotive. Na središnjem poprečnom nosaču se nalazi i mesto pričvršćenja vučnog motora. Životni vek rama postolja iznosi 35 godina, odnosno  $10^6$  km.

Slika 10: ram obrtnog postolja SF4



### Elastično ogibljenje obrtnog postolja

Oslanjane sanduka na obrtna postolja je konstruktivno rešeno pomoću četiri zavojne opruge dok su radi smanjenja vibracija i buke ugrađeni gumeni elementi ispod oslonaca zavojnih opruga. Ova oprema sekundarnog ogibljenja obezbeđuje vertikalnu i poprečnu elastičnost sanduka lokomotive. Hidraulički amortizeri između sanduka lokomotive i obrtnog postolja omogućavaju prigušenje vertikalnih i poprečnih pomeranja i ljuljanje.

Slika 11: prikaz elastično ogibljenog obrtnog postolja SF4



Osovinski sklop se sastoji od dva valjana monobloka (točka) i jedne kovane osovine sklopa. Novi monoblok ima prečnik od 1.250 mm i može se koristiti sve dok se prečnik usled istrošenosti ne smanji do 1.160 mm. Na osovini osovinskog sklopa je pri procesu izrade, na unapred definisanom mestu, ostavljena šupljina za ultrazvučno ispitivanje.



*Slika 12: Osovinski sklop*



### **Ležajevi osovinskog sklopa i kućište ležajeva**

Ram obrtnog postolja se pomoću dve zavojne opruge oslanja na kućišta ležajeva osovinskog sklopa. Radi prigušenja vibracija tog primarnog vertikalnog ogibljenja predviđen je jedan hidraulički amortizer za svako kućište ležaja osovinskog sklopa.

**Ležajevi** osovinskog sklopa su valjkasti sa gusto raspoređenim valjcima koje je proizvođač u procesu proizvodnje podešio, podmazao i hermetički zatvorio. Zamena ili servisiranje ležajeva se eventualno vrši pri rastavljanju celog sklopa na glavnom pregledu vozila.

**Kućišta** ležaja osovinskog sklopa izrađeno je kao odlivak, optimizovan za određenu masu i koji ima uređaj za dodatno fino podešavanje osovinskih sklopova. Poklopci za ležajeve osovinskih sklopova su, u zavisnosti od potreba, izrađeni tako da sadrže kontakte za uzemljenje i tahogenerator.

### **Prenos vučne sile i sile kočenja kod električnih višesistemskih lokomotiva Siemens Vectron**

Ležajevi osovinskih sklopova prenose vučne sile i sile kočenja preko oslonaca koji su na ram obrtnog postolja postavljeni horizontalno, u sredinu osovine osovinskog sklopa. Dok su osovinski sklopovi kod uobičajnih rešenja izvedeni relativno kruto, ovako izvedeno upravljanje osovinskim sklopovima omogućava u određenoj meri radijalno postavljanje osovinskih sklopova. Na ovaj način se u krivinama sprečavaju velike bočne sile i povećano trošenje tj. habanje točkova.

Prenos obrtnog momenta vučnog motora na osovinski sklop odvija se preko potpuno elastičnog, jednostepenog prenosnika sa zupčanicima sa kosim zupcima, i dalje preko šupljeg vratila i zvezdastog prenosnika na pogonski točak. Uležištenje jedinice vučnog motora i prenosnika je izvedeno sa jednim pričvrstnim mestom na poprečnom nosaču obrtnog postolja i pomoću dva nosača na čeonom nosaču obrtnog postolja. Radi prigušenja poprečnih pomeranja ugrađen je amortizer vučnog motora. Zavrnuti graničnici ograničavaju bočno pomeranje pogonskog dela.

## **Prenos vučne sile/sile kočenja sa obrtnog postolja na sanduk lokomotive**

Sekundarni prenos vučne sile/sile kočenja sa obrtnog postolja na ram lokomotive odvija se preko uležištenja obrtnog nastavka pomoću upravljača u obliku položene osmice (engl. lemniscate). Da bi se umanjilo opterećenje osovinskog sklopa, obrtni nastavak duboko zadire u poprečni nosač obrtnog postolja. Na taj način se postiže povećanje sekundarnog prenosa vučne sile/sile kočenja na gornje ivice šina.

### **Dodatna obavezna oprema**

Lokomotiva poseduje ralice/plug za odbijanje snežnih nanosa, uređaj za podmazivanje venaca točkova, uređaj za posipanje peska i čistač šina.

## **1.6. TRANSFORMATOR**

Elektromehaničke komponente unutar višesistemskih vučnih vozila karakterišu znatna težina i gabarit. Zbog toga njihova primena treba samo da bude u izuzetnim slučajevima a njihova instalacija se mora pažljivo razmotriti u odnosu na slobodan prostor i ravnomerno raspoređivanje opterećenja po osovinama vučnog vozila. Iz ovih razloga, kad god je moguće, preferira se ugradnja u zoni podvozja, na centralnom delu vučnog vozila. U višesistemskim vučnim vozilima je teško, ako ne i nemoguće u određenim slučajevima, koristiti namenske komponente za svaki sistem napajanja, posebno ako se koriste elektromehanički uređaji. Iz tog razloga neophodno je pobuditi glavni transformator sa različitim vrednostima ulaznih napona napajanja kontaktne mreže i frekvencijama kao i korišćenje transformatora kao induktora sistema. U kućište transformatora ugrađen je aktivni deo, tj. gvozdeno jezgro sa primarnim i sekundarnim kalemovima, kao i prigušnica dva vučna međukola. Pravougaono jezgro koje je postavljeno uzdužno smeru vožnje, izrađeno je u dve celine, pri čemu je svaka celina električno podeljena na dva dela, kako bi se simetrično smestila četiri odvojena kalema za vuču i koncentrično iznad njih četiri visokonaponska kalema koji se uključuju paralelno. U spoljašnjem delu je smešten kalem za vučnu sabirnicu.

*Slika 13: transformator*



## Višenaponske i višefrekvencijske operacije transformatora

Pretpostavimo da glavni transformator treba da bude operativan sa dva sistema koja karakterišu naponi na primaru i frekvencije  $(V_1', f_1')$  i  $(V_1'', f_1'')$  i da u oba sistema dobijamo nominalnu snagu  $S_n$ .

Prema tome, struja na primaru transformatora će biti jednaka količniku nominalne snage  $S_n$  i ulazne vrednosti napona  $V_1'$  odnosno  $V_1''$ . Ovi transformatori imaju jedan primarni namotaj, te broj namotaja  $N_1$  ostaje konstantan za svaki sistem napajanja. Ovo utiče na procenu magnetnog jezgra koje mora da izdrži maksimalnu vrednost fluksa između dva sistema. Magnetni fluks  $\Phi$  je povezan sa indukovanom elektromotornom silom  $e$  jednačinom:

$$e = \sqrt{2}\pi \cdot f \cdot \Phi$$

Elektromotorna sila se može dobiti iz odnosa napona napajanja i broja namotaja na primaru.

$$e' = \frac{V_1'}{N_1} \Rightarrow \Phi' = \frac{e'}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f'} = \frac{V_1'}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot N_1 \cdot f'}$$
$$e'' = \frac{V_1''}{N_1} \Rightarrow \Phi'' = \frac{e''}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f''} = \frac{V_1''}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot N_1 \cdot f''}$$

Sa druge strane, na izlazu sekundara transformatora će morati da bude ista vrednost napona ( $E_2$ ) i struje za oba sistema. Iz tog razloga, pri prelasku sa jednog sistema napajanja  $(V_1', f_1')$  na drugi sistem napajanja  $(V_1'', f_1'')$ , broj namotaja se mora menjati prema sledećem odnosu:

$$N_2' = \frac{E_2}{e'}, \quad N_2'' = \frac{E_2}{e''}$$

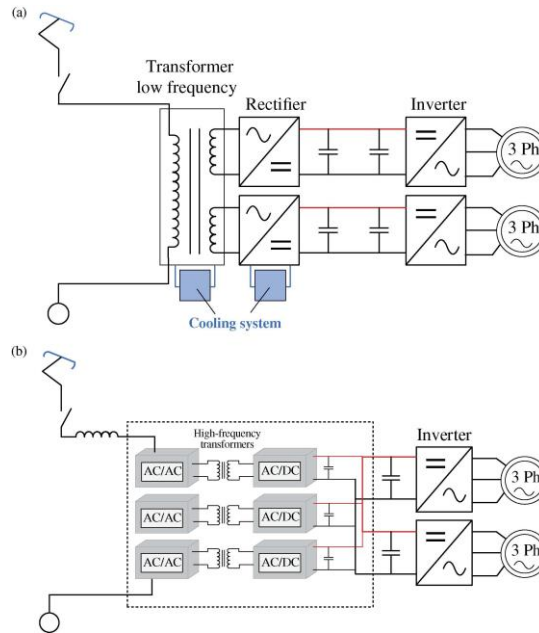
Na primer, kada se prelazi sa sistema napajanja od 25 kV, 50 Hz na sistem od 15 kV, 16,7 Hz, na primaru će doći do uvećanja od 67% zbog povećanjem struje usled smanjenja napona napajanja i 80% magnetnog jezgra usled smanjenja frekvencije. Na sekundaru će broj namotaja kalema morati da se poveća za 67%.

## Transformator snage električne vuče PETT

Trenutno, AC i višesistemska vučna vozila koriste tradicionalnu konfiguraciju za ulaznu fazu, koja se zasniva na transformatoru frekvencije naponske mreže i četvorokvadrantnim konverterima podešenim tako da se pridržavaju elektromagnetnim standardima kompatibilnosti (Slika a). Uopšteno, ovaj transformator je glomazna i teška mašina koja može da funkcioniše na niskim železničkim frekvencijama kao što su 16,7 Hz ili 25 Hz. Novi tip transformatora zasnovan na elektronskim uređajima se uvodi u železnički sistem koji postiže transformaciju napona, galvansku izolaciju i poboljšanje kvaliteta napajanja

korišćenjem jedne komponente, (slika 14) umesto tradicionalnog glomaznog transformatora koji radi na frekvenciji kontaktne mreže. Trenutno se razvija i testira nekoliko prototipova transformatora od strane vodećih proizvođača vučnih vozila.

Slika 14: PETT transformator

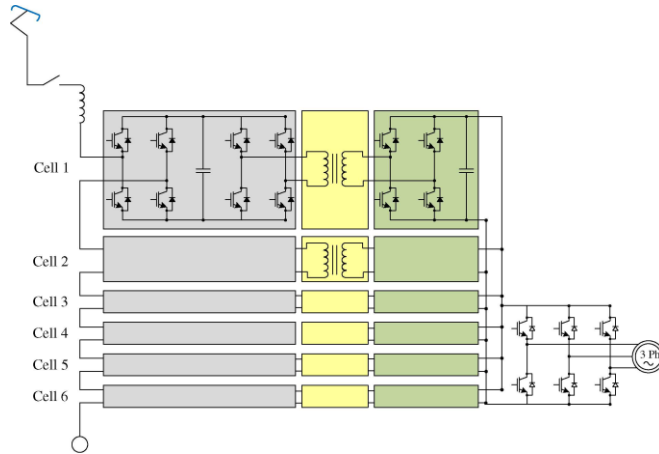


Istraživanje i razvoj PETT transformatora je ohrabrivano zbog pojave silicijum karbid modula napajanja (SiC). Dodatno, zahvaljujući njihovim odlikama, koje dozvoljavaju prebacivanje frekvencija na veličinu od nekoliko desetina kiloherca biće moguće smanjiti gabarite vučnog transformatora na lakši transformator srednje frekvencije, što će, dodatno, poboljšati efikasnost sistema. Sa druge strane, visokonaponski uređaji nisu još uvek u potpunosti unapređeni i njihova komercijalna primena će biti potpuno dostupna kada SiC 10 kV komponente budu spremne.

U međuvremenu, nekoliko studija i patenata je objavljeno na ovu temu, sa glavnim fokusom na realizaciju visoke konverzije izolacije AC/AC (slika 14b). Kao opšta napomena, dva različita rešenja su predložena:

- Direktna struktura, koja uzima u obzir konvertore matrica koji mogu da ispune AC/AC konverziju iz niske (16,67 Hz, 25 Hz ili 50-60 Hz) u frekvenciju srednje visine (5-10 kHz).
- Indirektna struktura (slika 15) koja na prvom mestu uzima u obzir AC/DC konverziju, a zatim DC/AC konverter pruža naizmeničnu struju na frekvenciji srednje visine.

Slika 15: Indirektna struktura



U oba rešenja, radna frekvencija različitih transformatora je uvek jednaka frekvenciji prebacivanja modula za napajanje, tako da je nezavisna od ulazne frekvencije kontaktne mreže. Na ovaj način frekvencija kontaktne mreže ne utiče na veličinu svakog transformatora.

Transformatori frekvencije srednje visine su povezani sa AC stranom takvih konvertera kako bi se smanjio napon i pružila galvanska izolacija. Poslednja veza sa četvorokvadrantnim konverterom snabdeva DC vezu koja je povezana sa standardnim trofaznim inverterom snage.

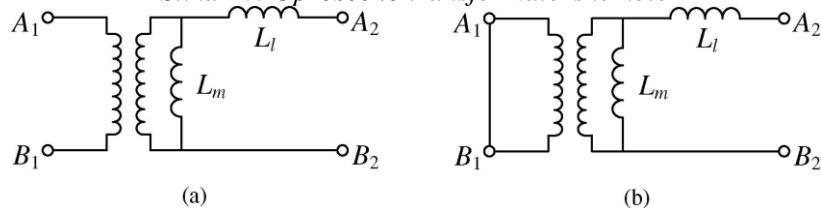
Poseban interes za takav razvoj danas je vezan za AC sistem od 15 kV gde frekvencija od 16,7 Hz uslovljava da voz poseduje transformator od nekoliko desetina tona. Sveukupno, smanjenje težine od 50% dovodi do povećanja efikasnost od skoro 7% kroz primenu klasičnih rešenja.

### Upotreba kao induktor

Transformator se takođe može koristiti kao jednostavan induktor tako što se kolo mora prepraviti na odgovarajući način. (slika 16)

Analizirajući sliku 16a, ekvivalentno L kolo transformatora sa serijskim elementima prikazanim na sekundarnoj strani, može se primetiti da bi se priključenjem dipola A2B2 na kolo ono ponašalo kao veza između induktivnosti curenja  $L_1$  i magnetne indukcije  $L_m$ . Takvo ponašanje nije prihvatljivo jer  $L_m$  ima feromagnetno jezgro i okarakterisano je veoma malim vrednostima struja koje bi vremenom izazvale zasićenje pri normalnim operativnim strujama.

Slika 16: Uprošćeno transformatorsko kolo

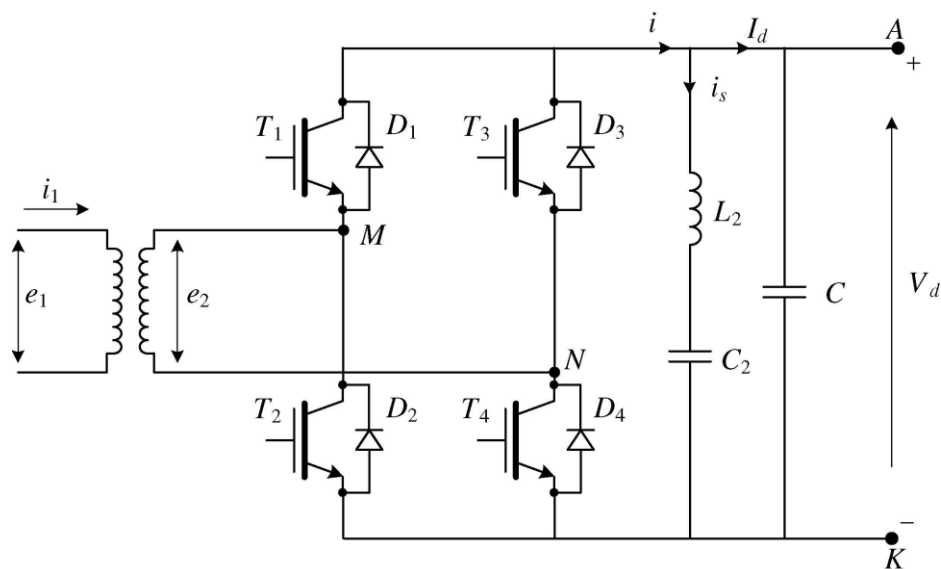


Suprotno tome, induktivnost curenja  $L_1$  već ima dovoljnu vrednost indukcije i vrednost struje upotrebljive za prebacivanje konvertera, i sa uključivanjem magnetnog strujnog kola ostvaruje svoje standardne karakteristike kada se menjaju vrednosti struje. Zbog toga je neophodno eliminisati induktansu  $L_m$  u transformatoru kroz izazivanje kratkog spoja kod A1B1sa primarne strane. Na ovaj način, dipol A2B2 će preuzeti karakteristike induktora  $L_1$  slika (16b).

## 1.7. ČETVOROKVADRATNI KONVERTER

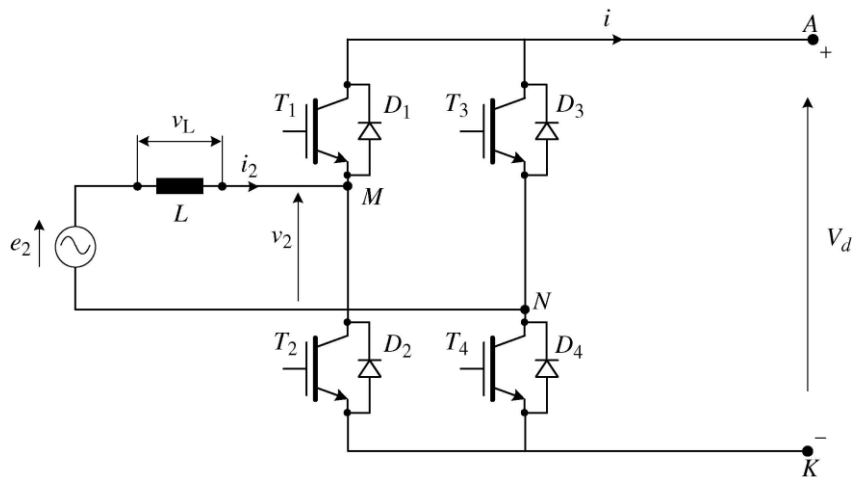
Kako bi se procenio uticaj vučnih vozila na infrastrukturu, ulazne vrednosti AC/DC konverzije se uzimaju u obzir i sastoje se od 4Q i IGBT konvertera. Četvorokvadrantni konverter podrazumeva prisilno prebacivanje dvosmernog konvertera sa pulsnom regulacijom koji se može smatrati sličnim po strukturi kao monofazni pretvarač napona, sa mostom u obliku slova H. Jednosmerni napon (DC) ima maksimalno ograničenje uslovljeno prisutvom poluprovodnika i kondenzatora.

Slika 17: Osnovna shema 4Q konvertera



Sistem (slika 17) se u osnovi sastoji od sekundara transformatora, 4 GTO ili IGBT poluprovodnika i četiri flajbek (*engl. flyback*) diode povezane paralelno, sa obrnutim polaritetima, tako da struja može da kruži u oba smera. Svaki par naspramnih prekidača ciklično povezuje dva ulazna terminala sa pozitivnim ili negativnim polom DC veze.

Slika 18: konverter ekvivalentan 4Q konverteru

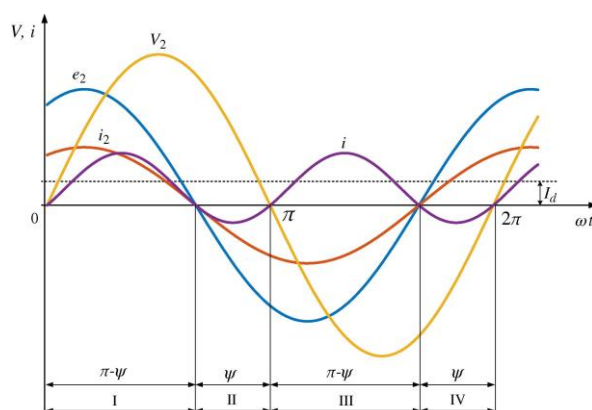


Na osnovu slike, 4Q konverter se sastoji od sledećih elemenata:

- Sekundara glavnog transformatora koji smanjuje napon mreže na nivo koji je pogodan za funkcionisanje konvertera
- Konvertera sa mostom u obliku slova H koji uključuje 4 prekidača T1-T4 i četiri recirkulacione diode D1-D4.
- Rezonantnog filtera
- Kondenzatora koji je uvek povezan na napon  $V_d$

Pri proučavanju funkcija 4Q konvertera, sekundarna strana transformatora se zamenjuje Thevenenovim ekvivalentnim kolom koje podrazumeva napon kola bez opterećenja vrednosti  $e_2 = e_1/k$  i reaktanse  $X = \omega_1 L$ . Smatra se da je u DC vezi napon  $V_d$  konstantne vrednosti a opseg AC strane sinusoidni, zanemarujući talasni napon i struju, jer 4Q konverter koristi PWM modulaciju.

Pad napona na reaktansi curenja je takav da izaziva fazni pomeraj između napona  $e_2$  sa izlaza transformatora i napona  $V_2$  sa 4Q konvertera kroz PWM modulaciju. Ovaj fazni pomeraj mora biti jednak uglu  $\delta$  na grafikonu kako bi imao relaciju sa faktorom snage. Ovaj konverter se može smatrati monofaznim inverterom koji je pod naponom  $V_d$ .



$$i_2 = \sqrt{2} \cdot I_2 \cdot \sin(\omega_1 t)$$

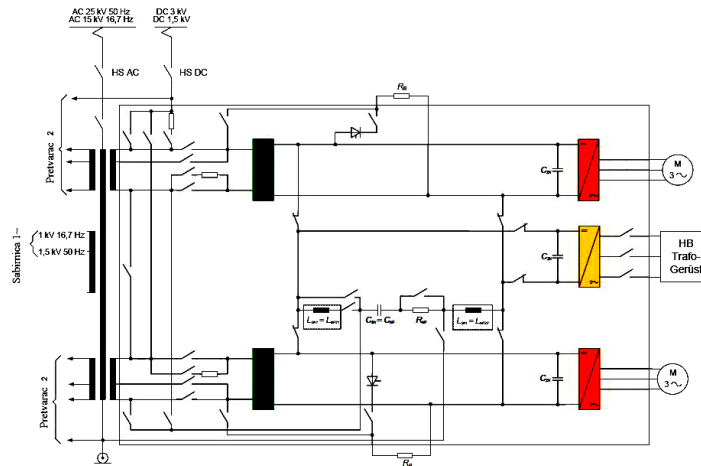
$$e_2 = \sqrt{2} \cdot E_2 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$$

$$v_2 = \sqrt{2} \cdot I_2 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t - \delta)$$

## 1.8. IGBT MODUL

Lokomotivu pogone dva strujna pretvarača sa IGBT- poluprovodnicima i odgovarajuće priključeni asinhroni vučni motori. Svaki strujni pretvarač je namenjen za jedno obrtno postolje i napaja po dva vučna motora. Svaki motor se napaja iz jednog impulsnog pretvarača promenljivog napona i frekvencije. Dva međukola obrtnog postolja su povezana rastavljačima. Šema na slici 19:

Slika 19: Električna shema (za jednu polovinu lokomotive)



Pri napajanja jednosmernom strujom, međukola se napajaju preko mrežnog dvostepenog filtera direktno iz mreže kontaktnog voda. Sekundarni namotaji transformatora, kao i međufazne prigušnice se koriste kao prigušnice mrežnog filtera, a kondenzator ulaznog kola služi kao kondenzator mrežnog filtera.

U zavisnosti od kapaciteta mreže, kod kočenja elektrodinamičkom kočnicom struja se – koju tada generiše vučni motori - vraća natrag u mrežu kontaktnog voda (rekuperativno kočenje). Kod napajanja jednosmernom strujom moguće je i električno (reostatično/promenljivo) kočenje preko kočnog pretvarača i otpornika elektrodinamičke kočnice.

U slučaju nepravilnosti rada poluprovodnika strujnih pretvarača ili jednog od vučnih motora, posebni sistemi lokomotive omogućavaju nastavak rada uz smanjenu pogonsku snagu, izolovanjem dela opreme koji je u otkazu. Sa delovima koji su ostali u radu, lokomotiva može da obezbedi još najmanje 75% svoje maksimalne vučne sile za pokretanje i pogonsku snagu. Svaki od dva strujna pretvarača poseduje nezavisnu pogonsku regulaciju. U slučaju greške na uređaju za regulaciju pogona (ASG), ispravni strujni pretvarač i pripadajuće obrtno postolje ostaju u funkciji, a strujni pretvarač koji je u otkazu se automatski isključuje.

Međukola jednog strujnog IGBT-pretvarača napajaju preko dodatnog impulsnog pretvarača mrežu pomoćnih pogona, čija se frekvencija može regulisati u rasponu 10 do 60 [Hz]. Obzirom da lokomotiva ima dva strujna pretvarača, raspolaže i sa ukupno dve mreže pomoćnih pogona. Jedno strujno kolo pomoćnih pogona koristi se za napajanje



potrošača koji koriste stalnu frekvenciju, kao što su npr. klima uređaj, kompresor, pumpe ili punjač baterije. Drugo strujno kolo sa varijabilnom frekvencijom napaja uređaje za ventilaciju sa prilagođenom, i po mogućnosti niskom frekvencijom, odnosno snagom koja umanjuje spoljašnju buku i potrošnju energije u pomoćnim pogonima. Ukoliko u napajanju pomoćnih pogona dođe do smetnje, onda se izoluje impulsni pretvarač u kome je došlo do smetnje. U tom slučaju dolazi do spajanja obe mreže pomoćnih pogona, koje impulsni pretvarač u funkciji napaja sa 60 [Hz], i to na stalnoj frekvenciji.

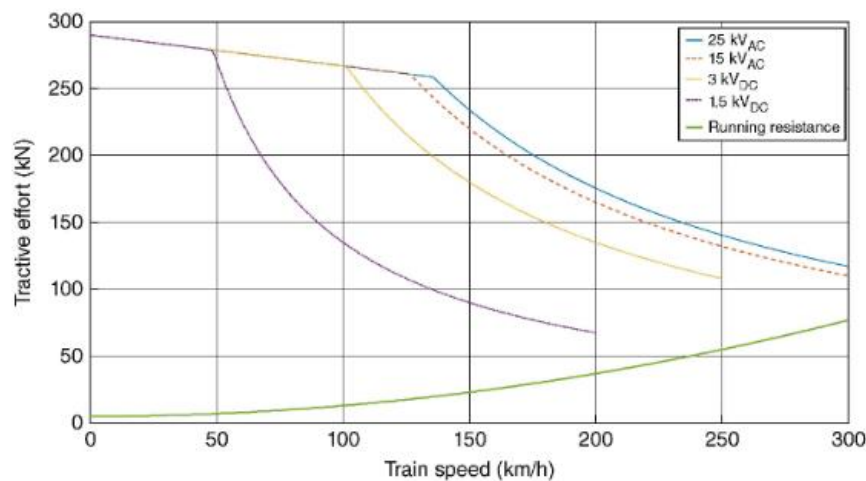
## 1.9. REKONFIGURACIJA VUČNOG KOLA TOKOM PROMENE SISTEMA NAPAJANJA

Pri prelasku sa jednog sistema napajanja na drugi, vrednost napona DC veze mora ostati konstantna kako se ne bi poremetila konfiguracija elemenata vuče i konvertora za napajanje pomoćnih sistema. Umesto toga, pažnju treba usmeriti ka maksimalno dostupnoj snazi koju je svaki sistem sposoban da obezbedi kako se ne bi prekoračila maksimalna vrednost struje koju trpe pantografi. U svakom slučaju, da bi se izbegao gubitak performansi u smislu ubrzanja, maksimalna vučna sila se mora održati u prvobitnim vrednostima. Iz tog razloga se vučna sila menja kao što je prikazano na slici 20.

### Primer promene napona napajanja sa 25 kV AC na 3 kV DC

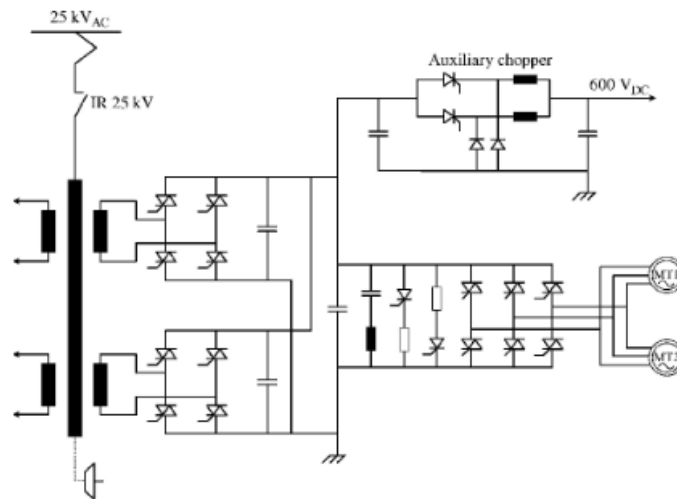
Kao što smo već obrazložili, svaki sistem napajanja zahteva odgovarajuć tip pantografa. U hitnim slučajevima, pantografi namenjeni za rad pod višim vrednostima napona se mogu koristiti u sistemima sa nižim naponom u uslovima smanjene snage ali se to izbegava. Iz tog razloga, na vučnim vozilima je gotovo uvek instalirano više različitih pantografa.

Slika 20 : Dijagram vučne sile za više sistema napajanja



U svakom slučaju, postoji razlika između dva različita AC i DC sistema nizvodno od pantografa koji moraju koristiti različite zaštitne uređaje. Kroz sistem prekidača, senzor napona konfiguriše tačno kolo i omogućava automatsko zatvaranje ili prekidača od 25 kV ili visokobrzinskog prekidača od 3 kV u zavisnosti od prisutnog sistema napajanja, time izbegavajući mogućnost korišćenja neodgovarajućeg pantografa. Nakon podizanja jednog od pantografa, sistem prepoznaje mrežni napon pomoću odgovarajućeg senzora, konfiguriše ulaznu fazu za DC ili AC operaciju i zatvara odgovarajući automatski prekidač. Pri zatvaranju glavnog prekidača, bez obzira na konfiguraciju koju lokomotiva koristi, konverteri prve faze se automatski uključuju a kasnije i pomoćni uređaji i punjač. Ulazna faza sistema konverzije može funkcionisati kao čoper sa DC napajanjem ili kao 4Q konverter sa AC napajanjem. Može se uočiti da u mnogim slučajevima, poluprovodnik ulazne faze može biti identične građe i međusobno zamenljiv sa poluprovodnicima vučnih pretvarača. Ulazna faza sistema konverzije će stvoriti i održavati konstantan napon DC veze (slika 21).

Slika 21 : funkcionisanje sistema 25kV AC

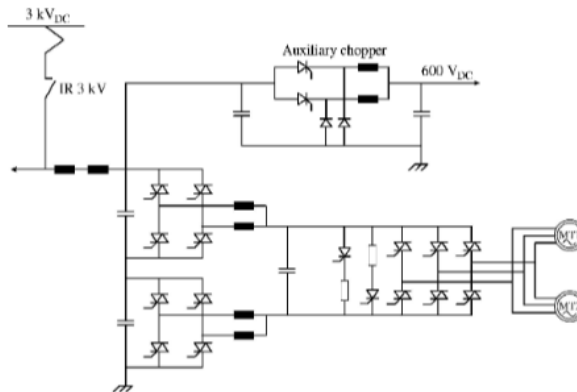


## Funkcionisanje u AC režimu

Konfiguracija AC pogonskog kola je prikazana na slici. Svaka višesistemska lokomotiva poseduje četiri 4Q konvertera koji napajaju DC vezu. Ovi konverteri se pokreću na takav način da se iz kontaktne mreže koristi samo aktivna komponenta snage, dok je faktor snage veoma blizak jedinici. Za 4Q konverter je bitno da je napon DC kola uvek veći od trenutne vrednosti napona sekundara transformatora. Iz ovog razloga, 4Q konverter se posmatra kao reverzibilni inverter čija modulacija je u skladu sa sinusoidnim zakonom, pri čemu se održava konstantnost DC napona u DC vezi. Svaki 4Q konverter koristi induktivnost namotaja iz kog se napaja kao preklopnu induktivnost. Ugradnja mrežnih filtera sprečava konflikt između 4Q konvertera i PWM logičkih kola. Prethodno podešen LC filter je deo DC veze i dele ga dva 4Q konvertera. Ako je vučno vozilo osposobljeno za funkcionisanje u sistemima sa različitim vrednostima frekvencije, takav filter bi se

morao definisati tako da duplira vrednost frekvencije u odnosu na vrednosti frekvencije sistema napajanja. To se postiže adekvatnom promenom parametara elemenata L i C.

Slika 22: funkcionisanje sistema 3kV DC



Funkcionisanje u DC režimu je prikazano na slici gore. U ovom slučaju, strujni poluprovodnički elementi koji su bili povezani u 4Q konverter putem H-mostova se sada koriste kao dvosmerni DC-DC konverteri povezani međusobno paralelno sa pozitivnom i negativnom stranom DC veze.

Izazivanjem kratkog spoja kod primara transformatora, četiri namotaja 4Q konvertera se sada koriste kao preklonpa induktivnost čopera za sniženje napona. Prethodno korišćena induktivnost u LC filteru je sada povezana prethodno kao mrežni filter. Na ovaj način se sve elektromehaničke i elektronske komponente koriste u AC i DC konfiguraciji bez potrebe da se dupliraju neke komponente.

## 1.10. KOČIONI SISTEMI

Zbijanje vazduha obavlja kompresor, kapaciteta oko 2.400 l/min na pritisak od 10 bara. Pogoni ga trofazni elektromotor. Radni pritisak je 8,5 bara i 10 bara, kojim se upravlja pomoću senzora. U cilju zaštite, dva sigurnosna ventila otvaraju se na 10,5 bara, odnosno 12 bara. Zapremina glavnog rezervoara je 800 litara. Većina pneumatskih uređaja smeštena je u mašinskom prostoru. Potrošači vazduha iz glavnog rezervoara su: automatska kočnica, sirene, peskare, mazanje venaca točkova, bočni retrovizori, sedišta mašinovođe, posebni rezervoar za oduzimače struje i glavni prekidač. Radni pritisci sukod direktne kočnice 3,8 bara, a kod parkirne 5,5 bara. Oduzimači struje rade na pritisku od 3,5 bara, a glavni prekidač na 7,5 bara.

Na lokomotivi prvenstveno treba koristiti regenerativno elektro-dinamičko kočenje EDK, zbog pretvaranja kinetičke energije kretanja voza u električnu energiju, koja se vraća natrag u električnu mrežu. Može se koristiti samostalno ali i u kombinaciji sa vazдушnom kočnicom. U slučaju da EDK otkáže onda pri brzini manjoj od 50 [km/h] deluje direktna kočnica sa maksimalnim pritiskom od 3,8 bara.

**Elektrodinamička kočnica** (ED-kočnica) radi bez habanja delova i služi kao primarna radna kočnica na lokomotivi za kontrolisano kočenje. Snaga kočenja elektrodinamičke kočnice dovoljna je za zaustavljanje lokomotive. Da bi se zaustavio celi voz, potrebno je još dodatno uključiti i pneumatsku kočnicu voza. U slučaju potpunog otkaza i nemogućnosti elektronskog kočenja, mašinovođa može u svakom trenutku upotrebiti pneumatsku kočnicu koja nije upravljana elektronski.

**Mehanička kočnica** se nalazi na svakom osovinskom sklopu na obrtnom postolju, nalazi se i kočno vratilo na kojem su dva kočna diska. Kočno vratilo pokreće mali kočni zupčanik koji je uzubljen s velikim zupčanikom. Vratilo leži na kočionoj gredi koja se oslanja na ram obrtnog postolja preko vučnog motora i fiksnog ležišta vučnog motora, kao i dva klatna u ramu obrtnog postolja. Takvim rasporedom iznad primarnog ogibljenja omogućena je potpuna elastičnost kočnog vratila i kočnih diskova. Na kočnoj gredi se nalaze i kočne jedinice sa kočnim cilindrima i nosačima kočnih obloga, pa na taj način kočni disk i kočne obloge imaju istu referentnu tačku. Kočne obloge su na taj način sa gledišta konstrukcije – konstantno prislonjene i omogućavaju da se u potpunosti razvije puna snaga kočenja. Na taj način se neravnomerno trošenje smanjuje na minimum. Kočne obloge su pristupačne sa donje strane, te se mogu vrlo lako i brzo zameniti.

**Sigurnosna ili parkirna kočnica** konstruisana je kao akumulaciona kočnica sa oprugama. Ti elementi pričvršćeni su na kočne cilindre i koriste istu mehaniku radne kočnice. Parkirnom kočnicom se upravlja električno, putem vlastitih magnetnih ventila koji pune odnosno prazne vazduhom akumulacioni cilindar. Istovremena upotreba pneumatske kočnice i parkirne kočnice imala bi za posledicu preopterećenje kočnih jedinica. Dovođenjem pritiska pogonske kočnice preko dvostrukih povratnih ventila u akumulacioni cilindar, dolazi do razdvajanja pa se time uspešno izbegava preopterećenje.

**Automatska, indirektno aktivirajuća pneumatska kočnica** se aktivira promenom pritiska u glavnom vazdušnom vodu. Pritisak u glavnom vazdušnom vodu definiše odgovarajući računar za kočnice, a potom se usklađuje sa priključenim relejnim ventilom preko analognog pretvarača.

Ukoliko elektrodinamička kočnica ispravno funkcioniše, vazdušna kočnica lokomotive se u načelu ne upotrebljava za pogonsko kočenje. U tom slučaju je zatvoren dovod komprimovanog vazduha u kočne cilindre na obrtnom postolju. Indirektnom elektropneumatskom kočnicom bez automatskog upravljanja se upravlja pomoću električne kočne signalizacije. Signali za upravljanje prenose se preko upravljačkog voda na priključene vagone koji - ukoliko su opremljeni ovom kočnicom, a zavisno od određenog zadatog signala - pune ili prazne kočine cilindre komprimovanim vazduhom iz glavnog vazdušnog voda. Direktnom pneumatskom kočnicom lokomotive upravlja mašinovođa pomoću posebne poluge za kočenje, koja se nalazi na upravljačkom pultu. Signali za posluživanje se pretvaraju u električne signale i preko magnetnih ventila direktno podešavaju pritisak koji neposredno deluje na kočine cilindre putem jedne sprave za prevođenje na svakom od obrtnih postolja.

Uređaj za kontrolu blokade točkova kontroliše okretanje točkova tokom kočenja, tako što pretvara impulse sa davača impulsa koji se nalazi direktno na osovini točka u trenutne vrednosti brzine i usporenja. Tako dobijeni podaci o stvarnim obrtajima točka se obrađuju i na osnovu istih proračunavaju potrebne protivmere. Ukoliko usporenje osovine prelazi zadane kriterijume, pritisak kočenja u kočnim cilindrima se reguliše preko ventila za

kontrolu blokade osovine tako da se - saobrazno energetskom kratkom spoju u određenom momentu - mogu i dalje prenositi najveći mogući kočni momenti. Na taj način se na točkovima izbegavaju ravna mesta, a putanja kočenja se optimizuje adekvatno uslovima energetskog kratkog spoja u određenom momentu. Program za kontrolu blokade aktivan je isključivo tokom kočenja. Zaštita od blokade se deaktivira ukoliko je istovremeno uključena vuča.

## 1.11. PANTOGRAFI VIŠESISTEMSKIH ELEKTRIČNIH LOKOMOTIVA SIEMENS

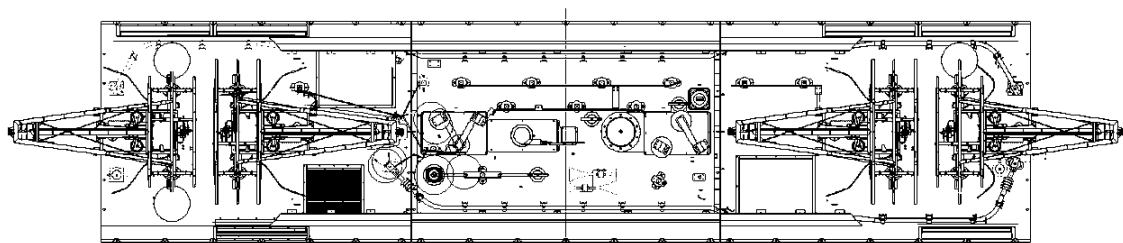
Na krovovima motornog prostora višesistemskih električnih lokomotiva Siemens nalaze se četiri Einholm-pantografa pojedinačne težine 130kg. Osnovni delovi pantografa su:

- postolje sa nosećim izolatorima;
- polužni sklop sa zglobnim vezama, podesnim za lako menjanje visine;
- potplatne limene ploče zaobljenih krajeva (rogovi pantografa), sa kliznim kontaktnim trakama (paletama);
- grupa opruga za razvijanje pantografa i obezbeđenje pritiska na kontaktnim površinama;
- komandni mehanizam za podizanje i spuštanje pantografa.

Na spoljašnjim pozicijama 1. i 4. montirani su pantografi za napajanje naizmničnom strujom, a na unutrašnjim pozicijama 2. i 3. pantografi za napajanje jednosmernom strujom (*slika 23*)

*Slika 23: Pozicije pantografa na krovu mašinskog prostora*

Pozicija 4	Pozicija 3	Pozicija 2	Pozicija 1
Pantograf AC	Pantograf DC	Pantograf DC	Pantograf AC
1600 mm	1450 mm	1450 mm	1950 mm

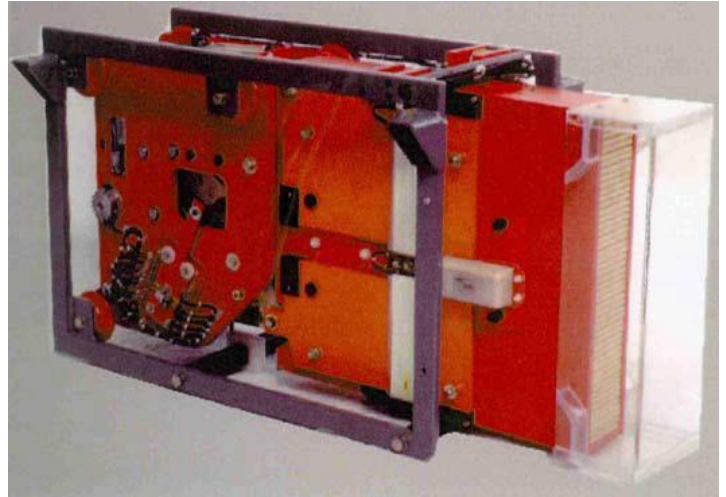


U slučaju loma ugljenog klizača, radi zaštite, ugrađeno je naglo automatsko spuštanje u svim postavljenim pantografima.

## 1.12. GLAVNI PREKIDAČ

Glavni vakuumski prekidač za naizmenični sistem napajanja (AC) nalazi se na krovu (*slika a*), dok se glavni brzi prekidač za jednosmerni sistem napajanja (DC) nalazi u mašinskom delu opreme za 3 [kV] (*slika b*).

*Slika 24:a). AC -glavni prekidač sa rastavljačem; b). DC-glavni prekidač*



### Pretvarači i električno brojilo

Lokomotiva raspolaže:

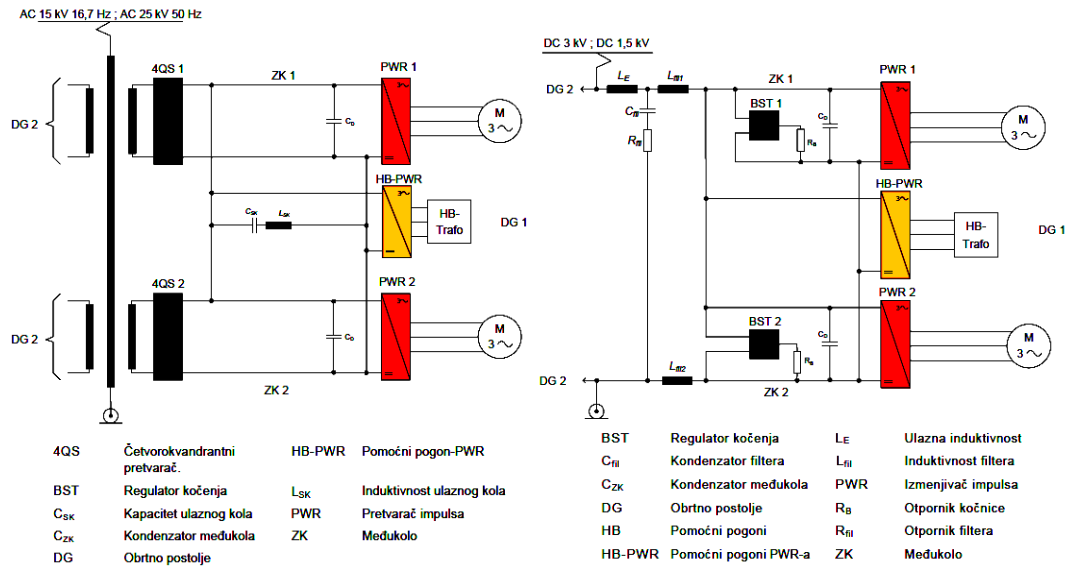
- strujnim pretvaračima (slika 25) viših impulsa i pretvaračima inverzne struje za naizmenični sistem napajanja, i ispravljačima mrežne struje za jednosmerni sistem napajanja;

*Slika 25: strujni pretvarač*



- naponski pretvarač (slika 26) impulsnog napona je postavljen na krovu sa zahvatima/ručicama pretvarača na sekundarnoj strani u mašinskom prostoru. U cilju zaštite osoblja izveden je tako da je osiguran od eksplozije;

Slika 26: Načelni prikaz strujnog pretvarača u AC (a) i DC (b) pogon



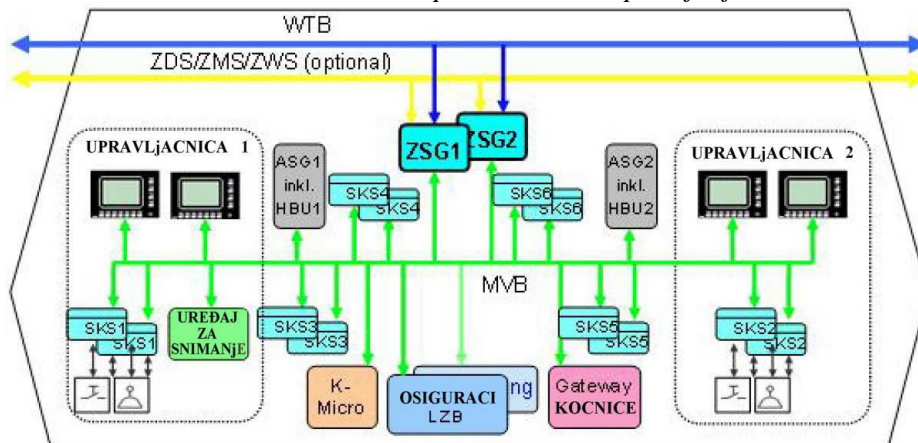
**Električno brojilo** registruje i očitava utrošenu i proizvedenu električnu energiju, za napon DC 3 kV. Pomoću tehnike sa upravljačkim komponentama za lokomotive može se sastaviti bilans energetske potrošnje za sve naponske mreže (AC 15 kV/ 16,7 Hz, AC 25 kV/50 Hz i DC 3 kV).

### 1.13. SISTEM UPRAVLJANJA KOD SAVREMENIH VIŠESISTEMSKIH LOKOMOTIVA NA PRIMERU SIEMENS VECTRON

Glavni uređaji za upravljanje konstruisani su redundantno i rade u 32-bitnoj tehnologiji. Oni prikupljaju i preraduju sve signale i informacije, koji su potrebni za rad lokomotive. Komponente lokomotive sa priključkom na zajedničku sabirnicu podataka, povezane su preko **MVB-a** (*engl. multi-function vehicle bus*) sa centralnim uređajem za upravljanje. Signali sigurnosnih uređaja sa pruge prikupljaju se preko odgovarajućih senzora/antena i prerađuju u centralnim jedinicama sigurnosnih sistema voza, odnosno u upravljačkom ormanu, kako bi izazvale odgovarajuću reakciju upravljanja u slučaju potrebne zaštite. Komunikacija prema vozu odvija se preko sistema **WTB-a** (*engl. wired train bus*) u UIC-kablu. Naredbe i informacije vezane za rad lokomotiva u sprezi (višestruka vuča) odvijaju se preko sistema WTB-a. Sistem za upravljanje lokomotivom ispunjava zahteve u pogledu upravljanja, regulisanja, osiguranja i dijagnostike. Zahtevi mašinovodje se prosleđuju iz upravljačnice u sistem za upravljanje lokomotivom i u odgovarajuće podsisteme, kako bi tamo aktivirali potrebne elemente. S druge strane, sistem za upravljanje lokomotivom prikuplja informacije i dijagnostičke podatke iz podsistema, prerađuje ih i prikazuje na displejima u upravljačnici. Sistem za upravljanje vozilom se deli na sledeće osnovne funkcije:

- upravljanje/regulisanje vučom;
- upravljanje sistemom za kočenje;
- upravljanje pomoćnim pogonom;
- dijagnostika.

Slika 27: Shematski prikaz sistema upravljanja



Osnovni sastavni delovi sistema za upravljanje vozilom prikazani su na slici, a to su centralni upravljački uređaji (**ZGS**) i uređaji za upravljanje vučom (**ASG**). Za ispunjenje tog zadatka koriste se mikrokomputerski upravljački uređaji Siemens-ovog sistema za automatizaciju železnica SIBAS 32 s računarom od 32 bita. Bus-sistem - sabirnički sistem za komunikaciju podataka sastoji se od tzv. Train Communication Network (**TCN**) sa dve sabirnice - vučnom sabirnicom Wire Train Bus (**WTB**) i sabirnicom vozila, tzv. Multifunction Vehicle Bus (**MVB**), što je propisano u IEC 61375-1. MVB preuzima razmenu podataka unutar lokomotive a WTB omogućava razmenu podataka u celom vozu. Na Bus-sistem (sabirni sistem) su u načelu priključene sledeće komponente upravljačke tehnike;

Centralni uređaji za upravljanje (**ZSG**):

- Automatsko upravljanje vožnjom i kočenjem (AFB),
- Unošenje naredbi i zadatih vrednosti za upravljanje vučnim i kočnim sistemom,
- Upravljanje komprimovanim vazduhom,
- Upravljanje pomoćnom vučom
- Automatsko upravljanje vožnjom i kočenjem (AFB),
- Dijagnostika vozila,
- Centralno prikupljanje podataka o putu i brzini kretanja,
- Uključivanje sigurnosne vožnje;
- Pogonski upravljački uređaji (ASG uklj. HBU);
- LCD displeji u boji na upravljačkim stolovima;
- Gateway za upravljanje sistemom za kočenje;
- Uređaj za snimanje/registrovanje (Juridica recorder);



- Kontrola blokade točkova kod mehaničke kočnice /protivklizna zaštita/ (npr. K-Micro);
- Periferno priključenje preko I/O (SIBAS KLIP, SKS);
- Osigurači LZB.

*Slika 28: Sibas 32*



## **1.14. UPRAVLJAČNICE KOD SAVREMENIH VIŠESISTEMSKIH LOKOMOTIVA NA PRIMERU SIEMENS VECTRON**

Identične upravljačnice na oba kraja lokomotive odgovaraju zahtevima UIC651. Po dvoje spoljašnjih vrata i vrata mašinskog prostora sa otvorima, u slučaju potrebe, zatvaraju prostor tako da postaje hermetički zatvoren. Mašinovodja i eventualno njegov pomoćnik mogu sedeti na dva sedišta za upravljačkim pultom, pri čemu sam mašinovodja sedi sa desne strane. Upravljačnice su klimatizovane i opremljene zaštitom od porasta pritiska a mašinska prostorija se hladi dvostruko prečišćenim vazduhom. Pri konstruisanju upravljačnice mnogo je pažnje posvećeno preglednosti i izolovanju od buke. Pri raspoređivanju elemenata na upravljačkom pultu u upravljačnice su uključeni svi ergonomski zahtevi, a raspored je jasno funkcionalan i pregledan kao što se vidi na *slici*. Upravljačnica je dovoljno prostrana. Na upravljačkom stolu nalaze se svi elementi za upravljanje i instrumenti za signalizaciju, koji su potrebni za rad lokomotive.

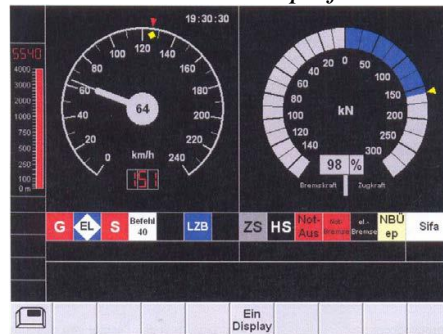
*Slika 29: upravljačnica Siemens Vectron višesistemske električne lokomotive*



U obe upravljačnice postoje po dva glavna LCD displeja za prikaz raznih parametara lokomotive i voza. To su primary i operation/diagnostic terminal.

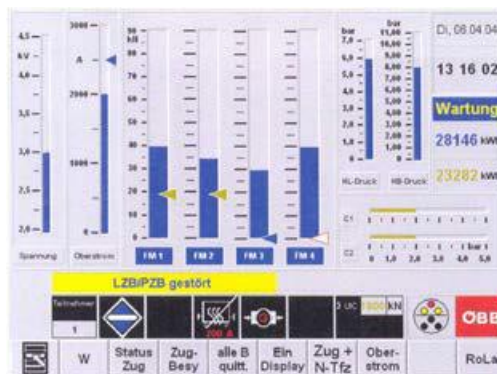
**Primary driving terminal** daje po pravilu višefunkcionalni prikaz. Na tom prikazu su između ostalog dati podaci o trenutnoj brzini kretanja, vučnoj/kočnoj sili lokomotive, a grafički su prikazani i optički indikatori stanja lokomotive/voza i sigurnosnog sistema voza. Teorijski izgled displeja prikazan je na *slici 30*.

*Slika 30: Displej*



**Operation-diagnostic terminal** prikazan je na *slici 31* i sadrži prikaze rukovanja i posmatranja. Osnovni prikaz rukovanja i posmatranja sadrži između ostalog i prikaze napona napajanja, pritiska glavnog voda, pritiska u rezervoaru za vazduh i pritiska u kočnim cilindrima obrtnih postolja lokomotive, kao i pojedine prikaze vučne odnosno kočione sile. Moguće je dobiti uvid u pogonske i dijagnostičke podatke o lokomotivi, kao i podatke o celokupnom vozu ili drugim lokomotiva kompozicije. U slučaju smetnji i kvarova, mašinovodja dobija poruku obaveštenja, te mu se nude mogućnosti otklanjanja, odnosno uputstva o načinu postupanja.

*Slika 31: Operation – diagnostic terminal*



## **GLAVA II: PREDNOSTI VIŠESISTEMSKE VUČE**

Interoperabilnost predstavlja veoma bitan element efikasnog funkcionisanja sistema u mnogim oblastima, odnosno sistemima. Za svaku oblast postoji definicija interoperabilnosti, koja je u skladu sa njenim specifičnostima. U najopštijem slučaju interoperabilnost može se definisati kao sposobnost sistema ili proizvoda da međusobno deluju i funkcionišu sa drugim proizvodima i sistemima bez ikakvih ograničenja pristupa i implementacije. Interoperabilnost železničkog sistema je sposobnost sistema da omogući bezbedan i neprekinut saobraćaj vozova na način koji se može označiti kao tržišno efikasan. Pored usklađivanja tehničkih kapaciteta između elemenata železničkog sistema, potrebno je uskladiti i eksploatacione i regulatorne uslove.

Pojam interoperabilnosti nastao je u kontekstu liberalizacije železničkog tržišta. Naime, stupanjem na snagu direktive 91/440/EEZ Evropska unija (EU) konačno se opredelila za restrukturiranje železničkog sistema u pravcu otvaranja tržišta i uvođenja konkurencije na železničkoj infrastrukturi. Međutim, nakon nekoliko godina uvidelo se da nije dovoljno samo pravno i ekonomski regulisati liberalizaciju tržišta pa da se pojavi konkurencija. Uočeno je da se u državama tadašnje EU, i pored izvršenog restrukturiranja železničkog sektora i otvaranja tržišta, i dalje ne pojavljuju novi operatori. Nezainteresovanost potencijalnih operatora ležala je prvenstveno u neusklađenosti železničkih sistema sa brojnim elementima u njemu, koji su onemogućavali kontinualni saobraćaj vozova, a time i njihovu efikasnost na transportnom tržištu. Komercijalni saobraćaj vozova na celoj železničkoj mreži EU zahteva izuzetnu usklađenost karakteristika infrastrukture i vozila, kao i efikasno međusobno povezivanje informacionih i komunikacionih sistema pojedinih upravljača infrastrukture i železničkih preduzeća. Od te usklađenosti i međusobne povezanosti zavise efikasnost, bezbednost, kvalitet usluga i troškovi. Iako su „izbrisane” državne granice (carinske i druge vrste državnih kontrola) ostale su „čisto” železničke barijere, kao što su različite širine koloseka, različiti signalno-sigurnosni sistemi, tipovi elektrifikacije, dozvoljena osovinska opterećenja, dopuštene mase i dužine vozova, drugi uslovi eksploatacije, nacionalni propisi itd.

### **UTICAJ INTEROPERABILNOSTI NA AKTERE ŽELEZNIČKOG TRŽIŠTA**

Još jednom, glavni razlog uvođenja koncepta interoperabilnosti u železničkom sistemu EU je omogućavanje veće konkurencije na železničkom tržištu. Pri tome, treba razlikovati tržište železničkih usluga i tržište železničkih proizvoda. U skladu sa novom organizacijskom strukturom železničkog sektora, njega čine sledeći akteri:

- Upravljači infrastrukture;
- Železnički operatori;
- Regulatori železničkog tržišta;
- Korisnici železničkih usluga;
- Industrija železničkih vozila i infrastrukturnih komponenti.

Svi ovi akteri drugačije reaguju na interoperabilnost zbog svojih različitih karakteristika. U narednom delu biće elaborirani efekti dva, za temu ovog rada, najznačajnija aktera: upravljača infrastrukture i železničkih operatora.

## **Upravljači infrastrukture**

Proces uspostavljanja interoperabilnosti ima veliki uticaj na rad upravljača infrastrukture i njegove prioritete u odnosu na prethodni period do uvođenja ovog pojma. Upravljači infrastrukture sada moraju da ulažu velika finansijska sredstva kako bi železničke pruge opremili sa interoperabilnim podsistemima i njihovim činiocima u skladu sa TSI. To je zapravo obaveza, ukoliko se rekonstrukcija, obnova, modernizacija, kao i izgradnja novih pruga finansiraju iz sredstava banaka koje prate EU (EIB, EBRD) ili Svetske banke. Istovremeno, to je i dobra prilika za upravljače infrastrukture da podignu nivo konkurentnosti pruga na koridorima. Dakle, podizanjem nivoa interoperabilnosti povećava se i konkurentnost infrastrukture sada i kroz njenu sposobnost za primenu savremene tehnike u pogledu vozila i vozova. Nakon unapređenja ili obnove nekog podsistema, upravljač infrastrukture mora da pokrene postupak verifikacije tog podsistema posle čega dobija sertifikat od notifikovanog tela. Troškovi sertifikacije procenjuju se od 0.5 do 5% ukupne vrednosti projekta. Pored ovih troškova, upravljač infrastrukture snosi troškove izdavanja dozvole za puštanje u rad tog podsistema. Veličina ovih troškova razlikuje se od države do države i uglavnom zavisi od klase podsistema.

## **Železnički operatori**

Najveću dobit od uvođenja interoperabilnosti ostvariće, očekivano, efikasni i konkurentni železnički operatori jer im omogućuje pristup novim tržištima, što je i bio krajnji cilj. Uspostavljanje interoperabilnosti posebno će smanjiti vreme čekanja na granicama nastalo zbog nekompatibilnosti susednih železničkih sistema, pa tako i troškove saobraćanja vozova. U ovom trenutku, operatori, kako putnički tako i teretni, investiraju značajna sredstva u nabavku vozila koja će moći da saobraćaju na interoperabilnim prugama ili ugrađuju dodatne sisteme na svojim vozovima. Upravo u ovome se ogleda značaj nabavke višesistemskih lokomotiva kojima je ovaj rad posvećen, kako u Srbiji tako i u ostalim zemljama Evrope. Nad vozilima koja se nisu proizvodila u TSI režimu, na osnovu zahteva operatora, sprovodi se postupak verifikacije kako bi se utvrdilo da li ona mogu saobraćati kao interoperabilna vozila. Ukoliko mogu, operator na osnovu sertifikata

o verifikaciji pokreće postupak izdavanja dozvole. Proces uspostavljanja interoperabilnosti u Republici Srbiji je i dalje na početku. Direktiva 2008/57/EC je transponovana u nacionalno zakonodavstvo usvajanjem Zakona o bezbednosti i interoperabilnosti donesenog u novembru 2013. godine kao i donošenjem dva podzakonska akta od strane Direkcije za železnice i nadležnog ministarstva. Direkcija za železnice, kao nacionalno telo za bezbednost železničkog saobraćaja, istovremeno je nadležna i za interoperabilnost. Trenutno na železnicama u Srbiji na snazi su TSI ENE, TSI INF, TSI CCS, TSI PRM I TSI SRT i na osnovu njih se sprovodi ocenjivanje podсистema i njihova sertifikacija. Direkcija za železnice trenutno radi na prevođenju preostalih šest tehničkih specifikacija i donošenju podzakonskih akata koji bliže uređuju ovaj koncept.

## GLAVA III: UPOREDNE KARAKTERISTIKE SAVREMENE VIŠESISTEMSKE ELEKTRIČNE LOKOMOTIVE I POSTOJEĆIH LOKOMOTIVA NA MREŽI PRUGA SRBIJE

*Tabela 1: Pregled brojnog stanja lokomotiva na mreži Železnica Srbije*

Serija	Ispravne	Vanredna opravka	Redovna opravka	Na čekanju za vanrednu opravku	Na čekanju za investicionu opravku	Aktivni inventarki park
412	18	1	1	2	3	25
<b>441</b>	<b>34</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>46</b>
<b>444</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
<b>461</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>53</b>
621	12	1	2	2	0	17
641	7	0	2	2	26	37
642	0	0	0	1	21	22
643	0	0	0	1	10	11
644	3	0	0	1	2	6
645	0	0	0	0	3	3
661	17	0	2	5	13	37
664	0	0	0	0	7	7
666	0	0	0	1	3	4
710	7	0	0	0	3	10
711	10	0	0	0	0	10
712	2	0	1	0	9	12
732	2	0	0	0	0	2
734	0	0	0	0	0	0
812	6	1	1	1	13	22
Parne lok.	1	0	1	0	1	3
<b>UKUPNO</b>	<b>164</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>143</b>	<b>357</b>

*Izvor: prema samostalnoj interpretaciji autora*

### Električna lokomotiva 441

JŽ/ŽS serija 441 je monofazna električna lokomotiva za vuču putničkih i teretnih vozova po ravničarskim i brdskim prugama koja se nalazi u eksploataciji na mreži pruga Železnica Srbije. Konstruktor ovog tipa lokomotive je Švedska firma ASEA dok je licencu za proizvodnju serije 441 kasnije preuzela Zagrebačka fabrika Rade Končar u kooperaciji sa Mašinskom industrijom iz Niša. Mnogobrojnim poboljšanjima osnovne verzije ove lokomotive nastale su brojne nove podserije. Tadašnjim Jugoslovenskim

železnicama su isporučene 284 lokomotive serije Bo'Bo', podeljenih u osam podserija I to: 441-000, 441-100, 441-300, 441-400, 441-400, 441-500, 441-500, 441-600, 441-700, 441-800. Podserije 000,400 i 500 su pripale Srbija Kargu, a 300, 600 i 700 (opremljene reduktorima za 140km/h) su namenjene za putnički prevoz i pripale su Srbija vozu. Isporuka lokomotiva serije 441 je započeta 1967. godine dok je eksploatacija na našim prugama započela 31.05.1970. godine.

*Slika 32: lokomotiva serije 441*



Lokomotive serije 441 su diodne četvoosovinske lokomotive sa pojedinačnim pogonom osovine (Bo'Bo') I pogonskom snagom motora 3.860 kW. Ova lokomotiva za pogon koristi četiri vučna elektromotora jednosmerne struje sa rednom pobudom. Napon kontaktne mreže kompatibilan sa ovom lokomotivom je 25kV, 50Hz.

Glavni transformator transformiše napon sa primara na sekundarne napone za različite potrebe na lokomotivi: vučni elektromotorni pogon, pomoćni pogon i električno grejanje voza. Vučni elektromotori dobijaju električnu struju iz diodnih ispravljača. Promena napona napajanja vučnih motora ostvaruje se stepenastim prekidačem koji se nalazi sa strane primara glavnog transformatora dok za napajanje pomoćnog pogona u glavnom transformatoru postoji poseban sekundarni namotaj. Na obrtnim posteljima ovešani su vučni motori i mehanički deo vazdušne kočnice lokomotive.

Proizvedene lokomotive dobijale su oznake podserije i individualan broj u zavisnosti od toga da li su na njima ugrađene pojedine komponente ili uređaji. Serija 441 ima dve upravljačnice, na obe strane po jednu.

Tabela 2: karakteristike lokomotive serije 441

Parametar	Podaci
Profil prema	UIC 505-1
Raspored osovina	Bo' Bo'
Širina koloseka	1.435 mm
Dužina preko odbojnika	15.470 mm
Najveća visina (sa spuštenim pantografom)	4.650 mm
Razmak osovina u postolju	2.700 mm
Razmak postolja	7.700 mm
Ukupna masa lokomotive	78 t ±2%
Osovinski pritisak	19,5 t ±2%
Prečnik novog točka	1.250 mm
Minimalni prečnik istrošenog točka	1140 mm
Maksimalna brzina	120 km/h
Prenosni odnos osovinskog prenosnika	1 : 3,65
Trajna snaga	3.860 kW
Maksimalna vučna sila	276 kN
Jednočasovna vučna sila	188 kN
Trajna vučna sila	175 kN
Snaga za električno grejanje	800 kVA
Napon kontaktne mreže	25 kV
Maksimalni napon kontaktne mreže	28 kV
Minimalni napon kontaktne mreže	19 kV
Kratkotrajni dozvoljeni najniži napon kontaktne mreže	17,5 kV
Najveća visina kontaktnog voda	6.500 mm
Najmanja visina kontaktnog voda	5.000 mm
Temperaturno područje rada lokomotive	-25 - + 40 °C

Izvor: [www.sr.wikipedia.org](http://www.sr.wikipedia.org)



## Električna lokomotiva 444

Lokomotive serije 444 (slika) su nastale rekonstrukcijom i modernizacijom lokomotiva serije 441 Železnice Srbije saradnjom preduzeća „Rade Končar” iz Zagreba i “Mašinske industrije – Niš”. Sistemske greške koje su se pokazale tokom eksploatacije lokomotive serije 441, otklanjane su modifikacijama ili potpuno novim tehničko-konstruktivnim rešenjima.

*Slika 33: lokomotiva serije 444*



Poboljšanja se ogledaju u primeni tiristorskih pretvarača čime je omogućena kontinualna regulacija struje vučnih motora. Svi glavni energetski elementi, osim diodnih ispravljača i birača napona, zadržani su i na rekonstruisanoj lokomotivi. Pogon je podeljen na dve nezavisne dvomotorne jedinice. Takođe napravljena su i izvesna poboljšanja u funkcionisanju elektrodinamičke (elektrootporničke) kočnice. Novi sistem upravljanja lokomotivom, i regulacija elektromotornog pogona, postignuta je primenom mikroprocesora. Na mašinskom delu uglavnom nije bilo puno modernizacije. Posle izvršene rekonstrukcije i modernizacije 30 lokomotiva, 441 serija je prenumerisana u 444 (od 001 do 030) i u saobraćaj su puštane tokom narednih godina (2004. – 2007. g).

## Električna lokomotiva 461

Lokomotiva serije 461 je monofazna diodna šestoosovinska lokomotiva sa pojedinačnim pogonom osovine (Co'Co') i pogonskom snagom motora 5.100kW. Razvijena je po sličnoj koncepciji kao lokomotiva serije 441, u švedskoj fabrici „ASEA” od koje je rumunska fabrika „Electroputere” preuzela licencnu proizvodnju. JŽ je kupila 97 lokomotiva u dve podserije: 45 lokomotiva podserije 461-000 i 52 lokomotive podserije 461-100. Lokomotive podserije 461-000 proizvedene su od 1971. do 1974. godine, a lokomotive podserije 461-100 od 1978. do 1980. godine. Osnovne konstruktivne razlike između lokomotiva podserije 461-000 i 461-100 odnose se na to da su lokomotive podserije 461-000 isporučene sa dva glavna kompresora, a lokomotive podserije 461-100 sa jednim. Postoje i razlike u tipovima ugrađenih aparata i uređaja, razlike u električnim šemama i razlike u šemama pneumatskih sistema. Krajem 2004.g u preduzeću „Rade

Končar” iz Zagreba izvršena je rekonstrukcija i modernizacija dve lokomotive serije 461 Železnice Srbije, čime je dobijena nova podserija 461-200 (slika 34). Modernizacija ove dve lokomotive nije podrazumevala tiristorizaciju.

Slika 34: lokomotiva serije 461



Tabela 3: karakteristike lokomotive 461

Parametar	Podaci
Raspored osovina	Co'Co'
Sistem električne vuče	25 kV, 50Hz
Širina koloseka	1.435 mm
Dužina preko odbojnika	19.800 mm
Širina sanduka	3.000 mm
Najveća visina (sa spuštenim pantografom)	4.650 mm
Prečnik novog točka	1.250 mm
Ukupna masa lokomotive	120 t
Osovinski pritisak	20 t
Masa po dužnom metru	6,1 t/os
Broj vučnih motora	6
Trajna snaga	5.100 kW
Jednočasovna snaga	5.400 kW
Trajna snaga el.kočnice	2.600 kW
Trajna brzina pri punom polju	79 km/h
Trajna brzina pri maksimalnom oslabljenom polju	105 km/h
Jednočasovna brzina pri punom polju	77 km/h
Jednočasovna brzina pri maksimalnom oslabljenom polju	103 km/h
Maksimalna eksploataciona brzina	120 km/h
Trajna vučna sila pri punom polju	260 kN
Trajna vučna sila pri maksimalnom oslabljenom polju	202 kN

Jednočasovna vučna sila pri punom polju	280 kN
Jednočasovna vučna sila pri maksimalnom oslabljenom polju	221 kN
Maksimalna vučna sila	392 kN
Trajna kočna sila el.kočnice	150 kN
Stepen iskorišćenja	0,84
Faktor snage	0,85
Prenosni odnos osovinskog prenosnika	3,65 (73:20)
Broj stepena na stepenastom prekidaču	40
Broj stepena sl.polja	3
Kočiona masa G	60 t
Kočiona masa P	71 t
Kočiona masa R	121 t
Procenat kočione mase G	50 %
Procenat kočione mase P	58 %
Procenat kočione mase R	99 %

Izvor: [www.sr.wikipedia.org](http://www.sr.wikipedia.org)

Pošto je starost ovih lokomotiva na mreži pruga ŽS oko 40 godina, javila se potreba za kupovinom novih vučnih sredstava. Detaljno se razmatralo koje lokomotive bi odgovorile na sve veće tržišne i eksploatacione zahteve sa kojima se Srbija Kargo svakodnevno susreće, i izbor je spao na višesistemske lokomotive renomiranog svetskog proizvođača Siemens i njihov model Vectron MS. Ovaj model se proizvodi u fabrici kompanije Siemens u Minhenu, okrug Alah Untermencing, u Nemačkoj. Prvi kontigent od osam Vectron MS lokomotiva, Srbija Kargo je porucio od Siemens-a u martu 2018. godine uz rok isporuke definisan za februar/mart 2019. godine, dok je u decembru 2018. poručeno još osam ovih lokomotiva. Ukupna vrednost ove kupovine je 64 miliona evra i realizuje se iz kredita EBRD-a. Plan je bio da se ove lokomotive rasporede za saobraćaj na Koridor 10, koji pokriva Austriju, Mađarsku, Sloveniju, Hrvatsku, Srbiju i Bugarsku. Ove lokomotive nose oznaku serije 193.

S obzirom da smo se u prvoj glavi ovog rada detaljno upoznali sa karakteristikama višesistemskih lokomotiva, istim se u ovom poglavlju ponovo nećemo baviti. Na osnovu svega navedenog, izvešćemo određene zaključke: polazeći od pretpostavke da se strategijom države Srbije veoma intenzivno radi na povećanju kvaliteta infrastrukture i približavanju standardima razvijenih evropskih zemalja pogotovu na glavnim koridorima, brzine teretnih vozova se podižu na vrednosti od 80 [km/h] do 100 [km/h] (za nova teretna kola predviđena su za  $V_{max} = 100$  [km/h] i 120 [km/h]), dolazi se do sledećih rezultata:

- Lokomotiva Siemens Vectron po vučenim masama na merodavnim otporima  $i_m(\text{daN/t}) = 1; 7; 12; 20; 24; 26$  i 28; zamenjuje dve elektrolokomotive serije 441.
- Za  $V_{max} = 110$  [km/h] i 120 [km/h], dolaze posebno do izražaja karakteristike lokomotive Siemens Vectron u vučenim masama. Tako da lokomotiva Vectron MS, pri  $V_{max} = 120$  [km/h], zamenjuje po vučnoj masi 3 elektrolokomotive 441, i 2 elektrolokomotive 461, za  $i_m = 1; 7; 12$  (daN/t).

## **GLAVA IV: PRIMERI I ISKUSTVA IZ PRAKSE EVROPSKIH ŽELEZNICA**

Analizirajući prednosti železničkog sistema u transportu robe i putnika, zaključujemo da su prednosti železnice ogromne u odnosu na konkurentne vidove saobraćaja. Najznačajnije prednosti koje ćemo spomenuti se odnose na ekološki aspekt zaštite životne sredine, kapacitete transporta, povoljnosti bilansa utrošene energije po jedinici tereta, itd.

Nagli razvoj drumskog transportnog sistema je doveo do toga da železnica izgubi primat u transportu robe. To je indirektno dovelo do višestrukog povećanja negativnih efekata po životnu sredinu i kvaliteta života ljudi. Usled sve veće potrebe za uslugama transporta u razvijenim zemljama su se javila ogromna zagušenja na glavnim putnim koridorima, te se morao naći neki način da se železnički sistem revitalizuje, tj. da se prevoz robe železnicom učini konkurentnijim na tržištu transportne usluge. Ova strategija je podrazumevala velika ulaganja, što u poprilično zapuštenu infrastrukturu, a tako i u vučna i vučena sredstva. Najrazvijenije zemlje EU su pristupile uzradi strategija kojima bi dokazale da železnica može ponuditi kvalitetnu uslugu prevoza. Pored velikih investicionih ulaganja, neophodno je bilo rešiti strukturne probleme, kako bi železnica mogla prihvatiti veći deo teretnog transporta na srednjim i velikim udaljenostima (kako u okvirima nacionalne mreže, tako i na nivou regiona, pa i celog kontinenta). Strategija EU u novoj transportnoj politici ima za cilj da eksterne troškove transporta koji imaju negativan uticaj na okolinu prebaci na vidove transporta koji te troškove prouzrokuju. To će rezultirati usmeravanjem znatnih novčanih sredstava na vidove transporta koji su ekološki prihvatljivi, tj. sa manjim stepenom zagađenja – što pogoduje razvoju železnice. Inkorporiranjem ovih preduslova, razvijene evropske zemlje su definisale strategije koje će dovesti do liberalizacije transportnog tržišta u Evropi, kako za prevoz robe, tako i za prevoz putnika. Jedan od glavnih problema koji sputava realizaciju ove strategije se odnosio na nemogućnost korišćenja univerzalnih vučnih vozila usled različitih sistema napajanja kontaktne mreže, dok bi zamena vučnih vozila na granicama obesmisllila celu strategiju liberalizacije tržišta. Poznati proizvođači vučnih vozila su prepoznali trenutak u kome se našla železnica kao sistem, pa su samim tim pristupili razvijanju vučnog vozila koje bi moglo da odgovori svim zahtevima koji su se do tada činili nemogućim za rešavanje. Uspešno su proizvedene višesistemske lokomotive, za kupovinu kojih su operateri širom Evrope dobili veoma povoljne subvencije i kredite iz nacionalnih i investicionih fondova. Ako sagledamo situaciju u 2020. godini, operateri koji se bave transportom robe iz gotovo svih evropskih zemalja poseduju multisistemska vučna vozila koja saobraćaju koridorima širom Evrope, bez ograničenja. Ovo nam pokazuje da se njihovo poslovanje ne može zamisliti bez višesistemskih lokomotiva, jer na taj način dolazi do ogromnih ušteda u robnim operacijama. Svakodnevno smo svedoci povećanja broja narudžbina ovog tipa lokomotiva, pa ćemo u prilogu navesti samo neke od trendova za koje posedujemo egzaktnu podatke.

Tabela 4: Broj kupljenih višesistemskih lokomotiva od fabrike Siemens

<b>Nemačka</b>	<i>Deutsch Bahn</i> (kupljeno 100 Vectron MS – 2019.godina; 40 dodatno poručeno)  <i>SudLeasing</i> (kupljeno 20 Vectron MS – 2019. godina; 20 dodatno poručeno)
<b>Švajcarska</b>	<i>Hupac</i> (kupljeno 8 Vectron MS – 2017.godina)  <i>BLS Cargo</i> (kupljeno 15 Vectron MS – 2015.godina)
<b>Češka</b>	<i>Unipetrol Transport</i> (kupljeno 3 Vectron MS – 2017. godina i 4 MS 2020.)  <i>Metrans Rail</i> (kupljeno 10 Vectron MS – 2019. godina)  <i>ČD Cargo</i> (kupljeno 3 Vectron MS – 2017. godina i 4 kom MS 2018.)
<b>Slovačka</b>	<i>ZSSK</i> (kupljeno 10 Vectron MS – 2017. godina)
<b>Austrija</b>	<i>ÖBB</i> (kupljeno 200 Vectron MS/AC – 2017. godina)
<b>Finska</b>	<i>VR Group</i> (kupljeno 177 Vectron AC – 2013. godina)
<b>Luksemburg</b>	<i>TX Logistic</i> (kupljeno 10 Vectron MS – 2016. godina)
<b>Poljska</b>	<i>PKP Cargo</i> (kupljeno 15 Vectron MS – 2015. godina)
<b>Srbija</b>	<i>Srbija Kargo</i> (kupljeno 16 Vectron MS – 2018. godina)

Izvor: [www.en.wikipedia.org/wiki/vectron\\_\(locomotive\)#orders](http://www.en.wikipedia.org/wiki/vectron_(locomotive)#orders)

# ZAKLJUČAK

Međunarodni čvorni značaj Železnice Srbije, koja se mrežom pruga (gde je najopterećeniji Koridor X) povezuje sa ostalim evropskim železnicama sa različitim sistemima napajanja, je ekonomski opravdalo uvođenje višesistemskih lokomotiva Siemens Vectron MS u vozni park Srbija Karga. Vectron je izuzetno fleksibilna generacija lokomotiva koja ispunjava sadašnje i buduće evropske zahteve i transportne potrebe, smišljena tako da se može lako prilagoditi nizu konfiguracija specifičnih za određenu zemlju ili režim rada.

Vectron lokomotive trenutno su sertifikovane za saobraćanje u Austriji, Bugarskoj, Hrvatskoj, Češkoj Republici, Finskoj, Nemačkoj, Mađarskoj, Italiji, Holandiji, Norveškoj, Poljskoj, Rumuniji, Srbiji, Slovačkoj, Sloveniji, Švedskoj, Švajcarskoj i Turskoj.

Činjenica je da najveći svetski proizvođači prelaze na proizvodnju višesistemskih lokomotiva sa obrazloženjem da je železnicama isplativije nabavljati višesistemске lokomotive nego menjati sistem elektrovođe pri prelasku granice. Viziju ovog razvoja su prepoznali i najpoznatiji Evropski operateri koji se bave transportom, te smo trenutno svedoci velike ekspanzije nabavke višesistemskih lokomotiva na prugama Evrope.

Trenutno je u eksploataciji više od 800 Vectron lokomotiva, kupljenih od strane 50 klijenata u 19 evropskih zemalja, a naručeno je još preko 1000 lokomotiva. Vectron flota je do danas prešla preko 300 miliona kilometara opslužujući klijente širom starog kontinenta.

# LITERATURA