

Glava 1

Opšte karakteristike vozila

1.1 Podela i glavni sklopovi

Elektrovočna vozila za železnički saobraćaj i transport su ona šinska vozila koja realizuju vuču pomoću električnih motora nezavisno od primarnog energetskog izvora.

Prema ovoj definiciji elektrovočna vozila su električne lokomotive i elektromotorni vozovi čiji je primarni energetski izvor kontaktna mreža, vozila metroa koja električnu energiju obezbeđuju iz treće šine postavljene uz kolosek, ali i dizel električne lokomotive koje koriste dizel motor kao primarni energetski izvor a električne motore kao pogonsku jedinicu za realizaciju vučne sile. Kod električne lokomotive sva vučna oprema je smeštena na lokomotivi, u mašinskom prostoru. Lokomotiva je preko vučnog kvačila povezana sa garniturom putničkih ili teretnih vagona. Fleksibilnost u formiranju voza predstavlja prednost ove kategorije vuče. Međutim ograničenja u broju pogonskih osovina prikazanih na slici (2.2), koje su složene u motorna obrtna postolja, slika (2.3), dovode do ograničenja u pogledu maksimalnih ubrzanja koja se postižu pri pokretanju do dostizanja nominalne brzine lokomotive. Prema tome lokomotivska vuča ima vidljive prednosti u teretnom transportu kao i u transportu daljinskih putničkih vozova, iako u ovom delu transporta upotreba elektromotornih garnitura dobija sve više na značaju.

Elektromotorne garniture se sastoje se od više jedinica sa sopstvenim pogonom što znači da su , motorna obrtna postolja raspoređena na različitim kolima garniture. Ovo dovodi do drastične redukcije aksijalnih sila koje deluju na šine, odnosno smanjenja mehaničkih naprezanja železničke infrastrukture, naročito kad su u pitanju vozovi velikih brzina. Distribuirana vuča takodje ima povoljan uticaj na adheziju i performanse ubrzanja u vuči, kao i rekuperaciju energije u režimu kočenja.

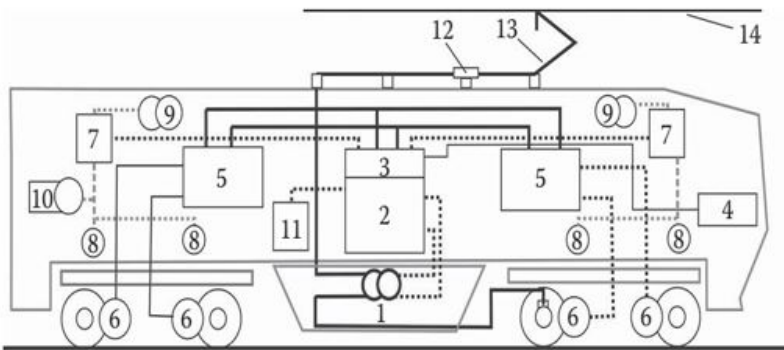
Jedan od nedostataka elektromotornih garnitura u odnosu na klasičnu lokomotivsku vuču je to što je kompozicija stalnog i nepromenljivog sastava. Karakteristike elektromotornih garnitura su projektno podešene tako da se optimizuju određeni kvalitativni pokazatelji, kao što su ubrzanje, kočenje i kapacitet putnikog prostora. Elektromotorne garniture se dele u dve kategorije prema konstruktivnim rešenjima. Prva kategorija su klasični elektromotorni vozovi koji su konstruisani tako da svaka kola u sastavu imaju dva obrtna postolja, slika (2.5). Kola su u mehaničkom smislu nezavisana jedna od drugih i to može biti pretpostavka jednostavnijih postupaka održavanja, jer se kola mogu izuzeti iz garniture radi opravke i na taj način bolje iskoristiti prostor u depou.

Zglobni elektromotorni vozovi su druga kategorija. Po ovom rešenju dva kolska sanduka su oslonjena na jedno obrtno postolje, kao što je prikazano na slici (2.5), koje se po svom pronalazaču naziva Jakobsovo postolje. Osnovna prednost ovakvog rasporeda obrtnih postolja se ogleda u redukciji njihovog broja u odnosu na prethodno rešenje. Druga prednost je smanjenje lateralnih oscilacija pri velikim brzinama, što znatno utiče na poboljšanja komfora putnika i bezbednosti, jer su vozovi manje skloni da se nanižu jedan preko drugog posle iskakanja iz šina. Evidentirano je, da je voz Eurostar iskočio iz šina pri brzini blizu 300 km/h bez gubitka života ili teških povreda među putnicima. Ovakva rešenja, međutim, dovode do skraćenih dužine kola, pa prema tome i smanjenje prostora za vrata, odnosno prostora za ukrcavanje i izlazak putnika.

Električna oprema na električnim lokomotivama i elektromotornim vozovima može se grubo razvrstati u tri grupe. Prvoj grupi pripadaju uređaji i sistemi koji su direktno u funkciji vuče, drugu grupu čine pomoćni pogoni dok trećoj grupi pripadaju sistemi za upravljanje, nadzor i dijagnostiku rada vučnog vozila i kola u sastavu voza. Sastav vučne opreme u vozilu zavisi od tipa primarnog energetskog izvora i tipa primenjenih vučnih motora.

Vučnu opremu vozila sa naizmeničnim sistemima napajanja iz kontaktne mreže i asinhronim vučnim motorima čine glavni transformator snage sa razdvojenim izvodima za vuču i izvodima za pomoćne pogone i uređaje, AC/DC konvertor ili glavni ispravljač, vučni invertori ili DC/AC konvertori i vučni asinhroni motori. Opremu pomoćnih pogona čine trofazni asinhroni motori koji se koriste kao ventilatori za odvođenje toplote sa uređaja vučnog pogona (ventilatori vučnih motora, vučnih invertora, glavnog ispravljača), motor glavnog kompresora, motori za klimatizaciju kabine mašinovođa i putničkog prostora. Energija za pomoćni pogon je obezbeđena sa izlaza sistema za AC/DC konverziju. Za napajanje mašina pomoćnih pogona neophodna je konverzija jednosmernog napona u trofazni naizmenični napon standardnih

linijskih napona i industrijske učestanosti. Treću grupu opreme čine uređaji čiji je primarni izvor jednosmerni napon, kao što su blokovi elektronskih uređaja za upravljanje, dijagnostiku i nadzor vučnog i pomoćnog pogona. Zbog neophodnosti da elektrovučno vozilo ima neprekidno i pouzdano napajanje upravljačkih, kontrolnih i dijagnostičkih uređaja, kao i energiju za uređaje koji služe da se vozilo priključi na kontaktnu mrežu, svako vozilo je opremljeno akumulatorskim baterijama koje ovu energiju obezbeđuju. Elektrovučna oprema, oprema pomoćnih pogona i oprema sistema za upravljanje je kod lokomotiva koncentrisana u mašinskom prostoru i upravljačnici lokomotive dok je na elektromotornim garniturama oprema raspodeljena ispod poda kola i na krovu pojedinih kola. Inače u funkcionalnom smislu nema razlike u pogonima lokomotive i elektromotornih garnitura pa iz tog razloga u daljem tekstu nećemo posebno isticati pogone elektromotornih garnitura.

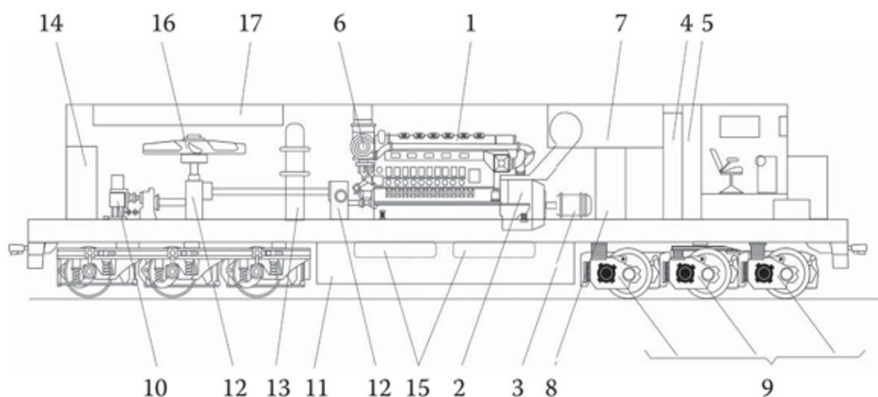


Slika 1.1: Glavni transformator, 2-AC/DC konvertor, glavni ispravljač, 3-Blok za upravljanje pogona vuče/kočenja, 4-Blok za upravljanje vožnjom sa podsystemima za dijagnostiku i nadzor, 5- DC/AC 3f konvertori ,vučni invertori, 6- Vučni motori u obrtnom postolju, 7-DC/AC 3f konvertor za pomoćne pogonske mašine, 8-Ventilatori vučnih motora, 9-Rashladni elementi vučnih konvertora i sistemi za klimatizaciju upravljačnice, 10-Glavni kompresor, 11.Baterija akumulatora, 12-Visokonaponska oprema na krovu lokomotive, 13-Pantograf, 14-Kontaktni provodnik

Glavni podsystemi dizel električne lokomotive prikazani na slici (1.2) uključuju:

- Dizel agregat sa rezervoarom, turbopunjačem, centralnim vazдушnim usisnim sistemom, blokom hlađenja dizel agregata sa ventilatorom i radiatorom.

- Vučni podsistem koji čine vučni generator sa sistemom konvertora, vučnim motorima i blokovima sistema za upravljanje vučom.
- Podsistem pomoćnog pogona sa alternatorom, konvertorima za generisanje napajanja za ventilatore vučnih motora i druge pomoćne mašine, konvertorima za napajanje akumulatorske baterije i elektronike sistema za upravljanje radom lokomotive.
- Podsistem za proizvodnju sabijenog vazduha, koga čine glavni kompresor sa rezervoarima za sabijeni vazduh pneumatske instalacije i sistem peskara

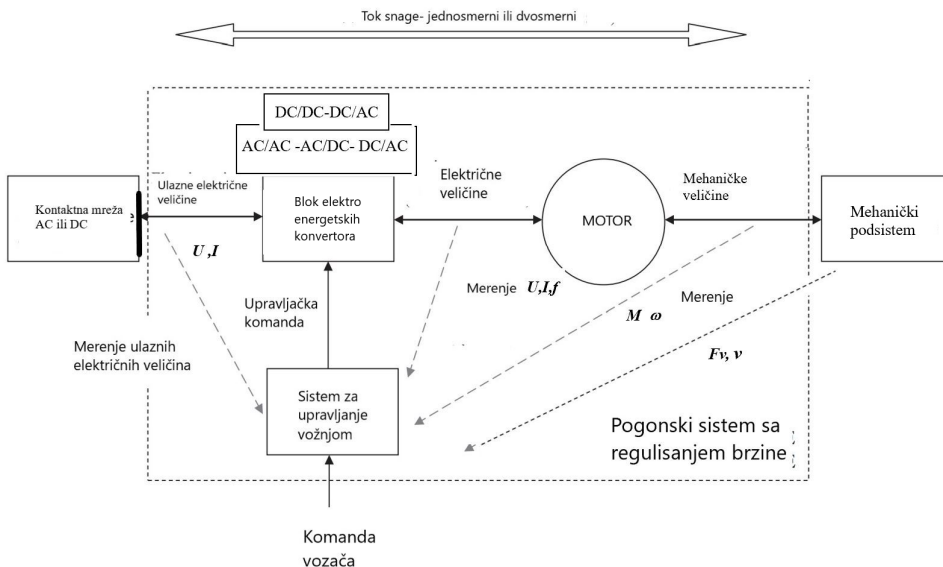


Slika 1.2: 1.Dizel agregat,2.Glavni generator,3.Pomoćni generator,4.Blok elektroenergetskih konvertora,5.Blok elektronike za upravljanje radom lokomotive,6.Turbopunjač gorivom,7.Centralni vazdušno usisni sistem,8.Ventilatori za vazdušno hlađenje vučnih motora i konvertora,9.Vučni motori u obrtnom postolju,10.Glavni kompresor,11.Rezervoar goriva,12. Blok prenosioca snage sa reduktorom brzine,13. Blok hlađenja dizel agregata,14 Blok peskara,15.Rezervoar sabijenog vazduha,16. Ventilator,17.Radijator

Funkcionalni sklopovi koji čine pogonski sistem vozila sa kontaktnom mrežom kao primarnim energetske izvorom uključuju i visokonaponsku opremu na krovu za vezu vozila sa spoljnim napajanjem, čiji su glavni predstavnici pantograf i visokonaponski ultrabrzi prekidač. Svim nabrojanim sklopovima upravlja se centralno preko sistema za upravljanje vožnjom vrši se uključivanje lokomotive na mrežu, upravlja se sistemima elektroenergetske konverzije i napajanja vučnih motora sa ciljem realizovanja potrebnih mehaničkih izlaznih veličina,vučne sile i brzine. Sa slike (1.3) se uočava da

je generisanje izlazne funkcije upravljanja bazirano na realizovanju komande vozača uz povratnu spregu podataka dobijenih sa senzora, postavljenih u različitim delovima elektrovučnog vozila, kojima se prati radno stanje vučnog sistema.

Veoma važna karakteristika elektrovučnog vozila ogleda se u sposobnosti dvosmernog toka i konverzije snage. U režimu vuče tok snage podrazumeva konverziju električne ulazne snage koju vozilo obezbeđuje iz kontaktne mreže u mehaničku izlaznu snagu koja je određena vučnom silom i brzinom kretanja. Mehanička energija u režimu kočenja voza se konvertuje u električnu energiju koja se potom vraća u kontaktnu mrežu i koriste je druga vozila koja su u režimu vuče. Ova osobina poznata je pod nazivom rekuperativno kočenje. Savremena elektrovučna vozila imaju ugrađenu sposobnost rekuperacije, dok se kod starijih tipova elektrovučnih vozila električna energija dobijena konverzijom iz mehaničke u procesu kočenja pretvara u toplotu u specijalnim kočnim otpornicima. Dva osnovna režima rada elektrovučnog



Slika 1.3

vozila su režim vuče i režim kočenja. U vučnom režimu, povećanjem brzine u procesu ubrzavanja akumulira se kinetička energija voza. Kretanjem voza uz uspon dolazi do akumulacije potencijalne energije voza. Zbirno, kinetička i potencijalna energija određuju mehaničku energiju voza. U procesu kočenja električni vučni motori prelaze u generatorski režim rada tako da se veliki deo mehaničke energije voza konvertuje u električnu energiju koja se dalje

nakon višestrukih konverzija, prilagođena po svojim karakteristikama, vraća u kontaktnu mrežu. Vozilo u ovom režimu se ponaša kao generator.

Međutim dinamičkim kočenjem energija se ne mora nužno vraćati u kontaktnu mrežu. Dizel električne lokomotive i električne lokomotive starije generacije, obnovljenu električnu energiju u procesu kočenja rasipaju u toplotu na kočnim otpornicima a jedan od benefita je produženje radnog veka potrošnih elemenata frikcionne kočnice. Rekuperativno kočenje ima najveći potencijal u pogledu uštede energije u lokalnom i regionalnom saobraćaju sa izraženim brojem zaustavljanja. Iako je zastupljenost i primena tehnika rekuperativnog kočenja značajna postoje i određeni problemi koje je neophodno rešavati. Neki od takvih problema su:

1. Ograničena receptivnost, odnosno sposobnost mreže da prihvati energiju dobijenu rekuperacijom. Idealan slučaj je da na napojnom sektoru postoji bar jedno elektrovučno vozilo koje je u režimu vuče. To vozilo može preuzeti energiju ostvarenu rekuperacijom. Dakle, učinkovitost rekuperacije zavisi od gustine saobraćaja i dužine deonice napojnog sektora.
2. Zastareli vozni park, čija vozila sa električnom vučom nisu opremljena električnom kočnicom.
3. Arhitektura pogonskog vučnog sistema na vozilu koja daje prednost drugim sistemima kočenja.
4. Nedovoljnost snage rekuperativnog kočenja i neophodnost dopune nekom vrstom frikcionih kočnica, što je manje izraženo kod elektromotornih vozova sa pogonskim osovinama raspodeljenim po celoj dužini voza, a više kod lokomotivske vuče.

1.2 Tehnički podaci o vozilu

Prema Evropskim standardima tehničko eksploatacione karakteristike vozila se sagledavaju polazeći od sledećih pet celina :

- Opšti podaci o vozilu.
- Primenjeni standardi i norme.
- Glavni sistemi i sklopovi.
- Podsistemi u okviru glavnih sistema-Pomoćni sistemi.

Tabela 1.1

1.Opšti podaci o vozilu		dimenzija
Dimenzije vozila	Dužina preko kvačila	
	Visina	
	Širina	
	Ulazna širina	
Visina stajnog dela	Spušteni pod	
	Visoki pod	
Težina	Radna (tara) težina	
Šasija	Raspored osovina na vozilu	
	Osovinsko rastojanje motornog obrtnog postolja	
	Tip i osovinsko rastojanje nemotornog obrtnog postolja	
Prečnik novog točka	Motorna osovina	
	Nemotorna osovina	
Kapacitet (broj putnika)	Broj mesta za sedenje	
	Broj pomoćnih sedišta	
	Broj mesta za stajanje	
Maksimalna brzina	$v_{max} \left[\frac{km}{h} \right]$	
Maksimalna vučna sila pri polasku i bazna brzina	$F_{vmax} [kN]$	
	$v_b \left[\frac{km}{h} \right]$	
Vučna sila u kontinualnom režimu	$F_{cv} [kN]$	
Maksimalno polazno ubrzanje	$a_u \left[\frac{m}{s^2} \right]$	
Maksimalna snaga vozila	$P_{max} [kW]$	
Kontinualna snaga vozila	$P_c [kW]$	

- Dokumentacija o vozilu.

Najvažniji opšti podaci koji su neophodni da bi se razmatrala pitanja eksploatacije vozila su prikazani u tabeli (1.1). U trećoj koloni tabele nedostaju stvarne vrednosti karakterističnih veličina koje dostavlja proizvođač.

Železnički standardi predstavljaju skup smernica, specifikacija i propisa koji regulišu projektovanje izgradnju, rad i održavanje železničkih sistema. Ovi standardi regulišu bezbednost interoperabilnost i efikasnost železnice. Postoje različiti železnički standardi koje su razvile i implementirale organizacije i regulatorna tela širom sveta.

Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) razvija standarde za primenu na železnici, posebno u oblasti električnih i elektronskih sistema. Ovi

standardi pokrivaju oblasti napojnih sistema električne vuče, sistema signalizacije i upravljanja, komunikacione mreže i voznih sredstva.

Međunarodna železnička unija (UIC) je organizacija koja uspostavlja tehničke standarde i promoviše saradnju među železničkim kompanijama širom sveta. UIC standardi pokrivaju širok spektar tema, uključujući infrastrukturu koloseka, vozni park, bezbednost, energetska efikasnost i uticaj na životnu sredinu.

Evropski komitet za standardizaciju razvija evropske standarde za železnicu. Standardi uključuju konstrukciju koloseka, bezbednosne zahteve i interoperabilnost. Važan standard koji je razvio CEN je serija propisa EN 50126, koja definiše proces upravljanja bezbednošću železničkog sistema.

Američko udruženje za železnički inženjering i održavanje puteva (AREMA) je profesionalno udruženje koje razvija standarde za inženjering i održavanje železnica u Severnoj Americi. Njihovi standardi pokrivaju oblasti kao što su projektovanje koloseka, izgradnja, održavanje i inženjering mostova.

Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO): ISO razvija međunarodne standarde u različitim industrijama, uključujući železnicu. ISO standardi u vezi sa železnicom pokrivaju teme kao što su sistemi upravljanja kvalitetom, upravljanje životnom sredinom i voznim parkom. Važno je napomenuti da svaka zemlja ili region može imati svoje specifične standarde i propise za železnicu, koji su po pravilu zasnovani ili usklađeni sa međunarodnim standardima. Ovi standardi obezbeđuju uniformnost i kompatibilnost između različitih železničkih sistema, olakšavajući bezbedan i efikasan transport putnika i robe.

Okvirni prikaz glavnih sistema i podsistemskih sklopova elektrovojnog vozila dat je u tabeli (1.2).

Uspešnost eksploatacije i servisiranja vozila nije moguća bez obučenog osoblja, koje rukuje vozilom, upravlja i organizuje vuču i održava vozila. Neophodan preduslov za to je dokumentacija koja treba da postoji uz svako vozilo i koja sadrži uputstva, planove i postupke održavanja, funkcionalne i montažne šeme elektro i mehaničke opreme i sklopova, katalog rezervnih delova, postupke ispitivanja i testiranja opreme na vozilu i vozila tokom vožnje.

Tabela 1.2

Glavni sistemi i podsistemi na elektrovučnom vozilu	
Vučni sistem, pogonska jedinica	Naponski sistem kontaktne mreže.
	Pantograf
	Glavni visokonaponski prekidač
	Odvodnik prenapona
	Glavni transformator
	Elektroenergetski konvertori
	Vučni motori
	Elektro mehanički prenosnici snage
Pomoćni sistemi i oprema	Konvertori pomoćnih pogona i upravljačkih sistema
	Baterije
	Sistemi za hlađenje elektroenergetskih konvertora i vučnih motora
	Sistemi za proizvodnju komprimovanog vazduha sa instalacijama
	Hidraulična oprema i instalacije
	Oprema za protivkliznu zaštitu i podmazivanje venca točka
Vrata i prolazi	Spoljna, unutrašnja, stepenice
Primenjeni sistemi kočenja	Rekuperativna kočnica sa vraćanjem regenerisane energije u kontaktnu mrežu
	Elektrodinamička otpornička kočnica
	Pneumatska kočnica sa električnim upravljanjem
	Sigurnosn i zaustavna kočnica
Uređaji za upravljanje vožnjom	Napajanje el. energijom sistema za upravljanje vućom i kočenjem
Oprema za nadzor i bezbednost	Sistemi budnosti i automatskog zaustavljanja
Osvetljenje	Oprema spoljnog i unutrašnjeg osvetljenja
Klimatizacija i grejanje	Oprema kabine mašinovođe i putničkog prostora
Električne instalacije u vozilu	Kablovi sa prostornim rasporedom kanala za razvod, konektori i sabirnice
Sistemi za informisanje i obaveštavanje	Vizuelni; Audio

Glava 2

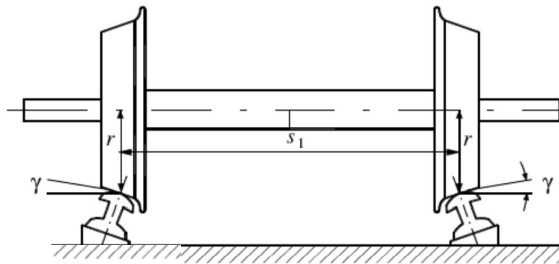
Mehanički podsistem vozila i vučne karakteristike

2.1 Elementi i osnovna funkcija

Ključni element mehaničkog podsistema svakog železničkog vozila je osovinski slog koji ima funkcije:

- oslanjanje težine vozila na šine,
- prenos vučne snage sa vučne jedinice na šine,
- kretanje uz ograničenje bočnog pomeranja vozila u odnosu na pravac kretanja.

Na slici 2.1 prikazana su osnovna geometrijska svojstva sistema osovinski slog-šine.



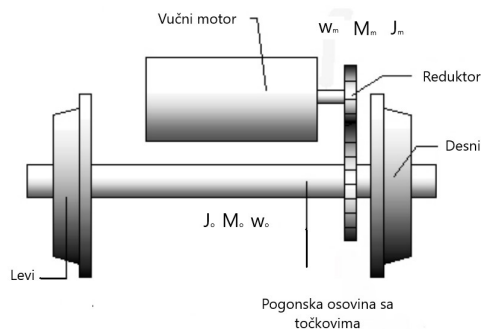
- s_1 : Rastojanje između kontaktnih tačaka točkova sa šinama
- r : Srednji poluprečnik točka
- γ : Ugao inklinacije točka prema šini

Slika 2.1

Kada se osovinski slog kreće u krivini dolazi do pomeranja tačke dodira spoljnjeg točka ka unutrašnjem, većem poluprečniku, obrnuto od unutrašnjeg točka gde se tačka dodira pomera ka spoljnjem manjem poluprečniku. Na ovaj način ostvaruje se da pređeni putevi spoljnjeg i unutrašnjeg točka budu isti bez proklizavanja i habanja dodirnih površina točka i šine.

Kod železničkih vozila osovinski slogovi najčešće formiraju obrtna postolja.

Obrtna postolja čine dva ili tri osovinska sloga. Obrtna postolja čiji su osovinski slogovi povezani preko prenosnog sistema sa vučnim motorima nazivaju se obrtna motorna postolja. Uprošćena slika motornog osovinskog sloga prikazana je na slici (2.2). Na slici (2.2) su naznačeni obrtni momenti na



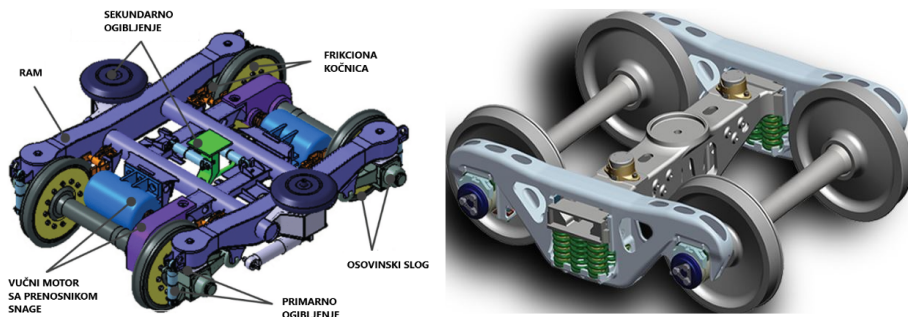
Slika 2.2

osovini motora M_m i osovini osovinskog sloga M_o , momenti inercije rotora vučnog motora, J_m i osovinskog sloga J_o , ugaone brzine na osovini vučnog motora ω_m i točka osovinskog sloga ω_o . Obrtna postolja koja su bez direktne veze sa vučnim motorima se nazivaju trčea obrtna postolja i karakteristična su za vagonne.

Na elektrovučnim vozilima su identična obrtna postolja koje prema broju motora i tipu obrtnog postolja možemo klasifikovati kao:

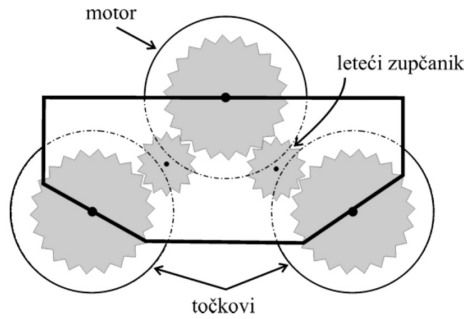
- monomotorno
- dvomotorno
- tromotorno

Ako jedan motor pogoni više osovina, kao na slici (2.4), onda je to monomotorno obrtno postolje, a ako svaki motor pogoni svoju osovину onda je to višemotorno obrtno postolje. Uprošćen prikaz dvomotornog obrtnog postolja tipa B'_o prikazan je na slici (2.3). Vučni motor je preko sistema za transmisiju TS povezan sa odgovarajućom osovinom. Monomotorno posto-



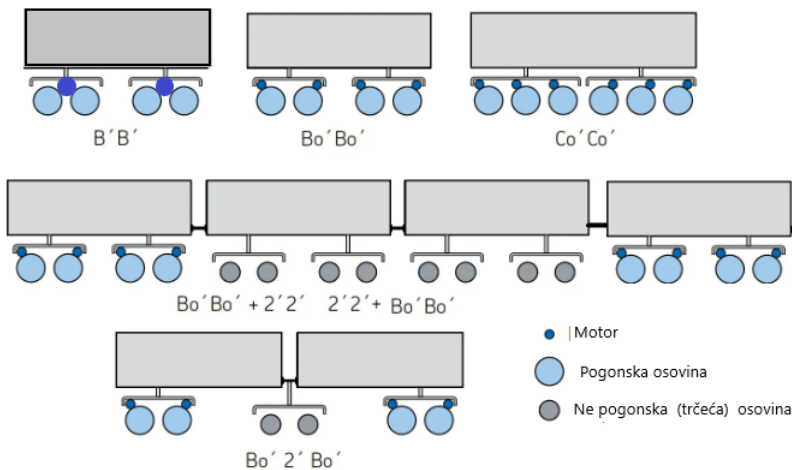
Slika 2.3: Motorno obrtno postolje B'_o i nemotorno obrtno postolje $2'$

lje ima prednost u pogledu boljeg iskorišćenja adhezije. Prema međunarodno usvojenom sistemu označavanja UIC-650 broj motornih osovina se označava velikim slovima latinice (A, B, C), dok se broj trčea osovina označava arapskim brojevima. Ako su osovine složene u obrtna postolja onda se uz slovnu ili brojnu oznaku postavlja apostrof. Ako svaka osovina motornih obrtnih postolja ima sopstveni vučni motor onda se uz slovnu oznaku dodaje indeks o . Na primer B'_o označava obrtno motorno postolje koga čine dve osovine, od kojih svaka ima sopstveni pogonski vučni motor. Oznaka $B'_o B'_o$ odgovara lokomotivi koja ima četiri pogonske osovine složene u dva obrtna postolja,



Slika 2.4

svaka osovina je preko prenosnog sistema vezana za svoj pogonski motor. B' B' označava da lokomotiva sadrži dva monomotorna obrtna postolja, dok C'_o C'_o znači da lokomotiva sadrži dva troosovinska pogonska obrtna postolja gde svaka osovina ima sopstveni motorni pogon. Na slici (2.5) prikazani su rasporedi osovina lokomotiva i elektromotornih vozova. Raspored osovina četvorodelne garniture elektromotornog voza $B'_oB'_o + 2'2' + 2'2' + B'_oB'_o$ odgovara elektromotornom vozu 412/416- Beovoz. Elektromotorni voz 413 ima zglobnu vezu između pojedinih kola koja čine trodelnu garnituru tako da je jedno ne pogonsko postolje oslonjeno o dvojica kola. Struktura osovina ovog voza je $B'_o2'2'2'B'_o$.



Slika 2.5