



ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
BEOGRAD

SEMESTRALNI RAD
IZ ELEKTRIČNIH VOZILA

KONTAKTNE MREŽE JEDNOSMERNE STRUJE

Beograd, januar 2008.

Vladimirov Vladimir 204/03
Bojan Lazić 35/03

S A D R Ž A J:

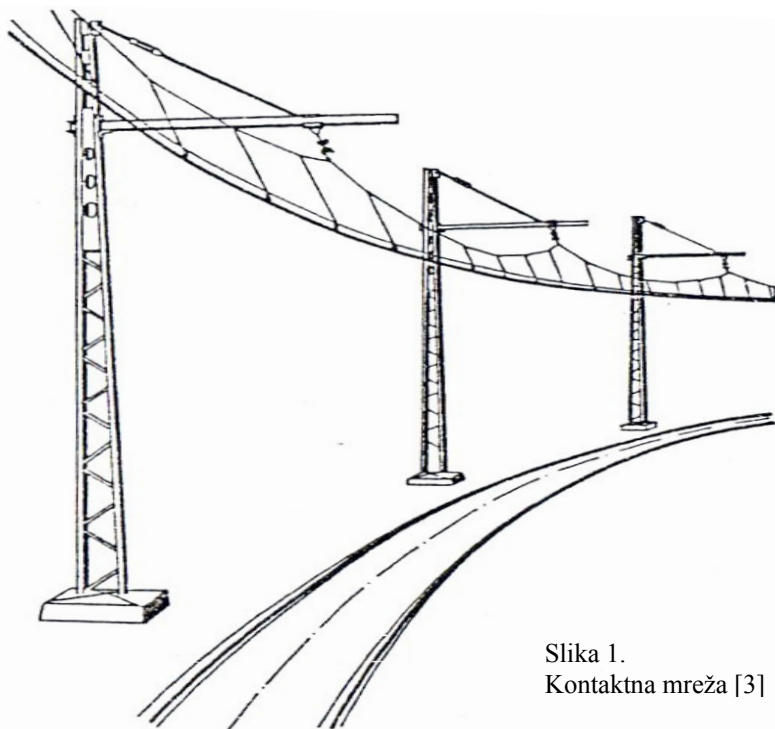
1. KONTAKTNE MREŽE	2
2. OSNOVNA OPREMA KONTAKTNE MREŽE	3
2.1 KONTAKTNI PROVODNIK	3
2.2 VOZNI VOD	4
2.3 POVRATNI VOD	4
2.4 NOSEĆA KONSTRUKCIJA	5
2.5 PANTOGRAF	7
3. PODELA KONTAKTNIH MREŽA	8
3.1 OBIČNA (PROSTA) KONTAKTNA MREŽA	8
3.2 LANČASTA MREŽA	9
4. POLIGONACIJA	12
5. PRINCIPI VEŠANJA KONTAKTNE MREŽE NA OTVORENOJ PRUZI	13
6. KONTAKTNA MREŽA U TUNELIMA	13
7. NAPAJANJE POMOĆU TREĆE ŠINE	14
8. PAD NAPONA	15
8.1 POVRATNI VOD I ŠINSKI SASTAVI	17
8.2 GUBITAK SNAGE I STEPEN ISKORIŠĆENJA	17
LITERATURA	18

1. Kontaktna mreža

Kontaktna mreža predstavlja stabilno postrojenje električne vuče namenjeno za neprekidno i kvalitetno napajanje električnih vučnih vozila električnom energijom pri svim brzinama i u svim vremenskim uslovima. Veza kontaktne mreže sa elektrovučnim podstanicama ostvaruje se napojnim vodovima. Kontaktna mreža je relativno složen i skup objekat. Najveći deo svih investicija za izgradnju stabilnih postrojenja se odnosi upravo na izgradnju kontaktne mreže. Kontaktna mreža je postrojenje koje nema nikakvu rezervu u pogledu instalacija pa se zato ona mora pažljivo projektovati, izgraditi i održavati da bi njena eksploatacija mogla da se bezbedno obavlja.

Kod projektovanja vazdušne kontaktne mreže, treba ispuniti i određene norme. Pogonska sigurnost i mere tehničke zaštite zahtevaju, pored odgovarajućih konstrukcionih rešenja za nošenje, zatezanje i izolovanje kontaktnog provodnika, takođe i obezbeđivanje minimalnih sigurnosnih razmaka delova mreže pod naponom. Nasuprot tome, prostor za smeštaj radnih i nosećih elemenata mreže ograničen je slobodnim i tovarnim profilom. Da bi se obezbedilo kretanje tovarnom profilu po koloseku u svim uslovima saobraćaja, uz ugradnju elemenata kontaktne mreže i osiguranje njenih izolacionih razmaka, mora se u određenoj meri povećati slobodni profil. Ovaj dodatak uslovljen je elektrifikacijom pruge i može znatno da oteža i poskupi građevinske radove, naročito pri rekonstrukciji već eksploatisanih objekata.

Napajanje vozila može se ostvariti preko provodnika koji se nalaze iznad koloseka, u osi koloseka, ili preko provodnika koji se nalaze pored šina na kojima se vozilo kreće. U prvom slučaju, radi se o vazдушnim provodnicima, obešenim na određenim rastojanjima za utvrđene nosače. U drugom slučaju, reč je o tzv. trećoj šini, provodniku od profilisanog gvozda po kome klizi specijalni klizač koji služi za prihvatanje struje.



Slika 1.
Kontaktna mreža [3]

Da bi kontaktne mreže omogućila sigurno i kvalitetno napajanje vozila električnom energijom, od presudnog je značaja ostvariti funkcionalnu celinu kontaktne mreže – pantograf. Radne karakteristike ovih sklopova moraju biti dobro usaglašene i konstrukcijski da ispunjavaju zadate vučne zahteve.

Od sistema napajanja, lokacije objekata i vrste vuče zavisi i rastojanje delova kontaktne mreže pod naponom i mase veštačkih objekata na pruzi. Kod mešovite vuče (električna, dizel i parna vuča) ova rastojanja su veća. Za sistem jednosmerne struje 1500 V, izolaciona rastojanja između delova kontaktne mreže pod naponom i veštačkih objekata su 150 mm (za monofazni sistem 25 kV, 50 Hz, minimalno rastojanje najniže tačke kontaktnog provodnika i gornje ivice tovarnog profila je 340 mm, a izolaciono rastojanje u vertikalnom pravcu 220-320 mm i u horizontalnom pravcu 170-270mm). Pogodnom konstrukcijom kontaktne mreže i pantografa mogu se u određenoj meri smanjiti veličine slobodnog profila. Jedno od ovih rešenja je u izolovanju rogova pantografa, što je slučaj u našim železnicama.

2. Osnovna oprema kontaktne mreže

Oprema železničke kontaktne mreže deli se prema osnovnoj ulozi u sistemu na:

- provodnike voznog voda (kontaktne vod, noseće uže, napojni vod, vodovi za pojačanje i povratni vod);
- spojne elemente za međusobnu vezu kontaktnog provodnika i nosećeg užeta;
- delove za nošenje i poligoniranje;
- delovi za zatezanje i regulisanje naprezanja voznog voda;
- elementi za podužno i poprečno sekcionisanje

Primarno vešanje kontaktnog provodnika izvodi se stezaljkama. One su obično dvodelne, sa čeljustima koja ulaze u bočne žlebove provodnika. Po nameni i obliku razlikuju se stezaljke za nošenje, za nastavak provodnika, za zatezanje krajeva... Izrađuju se od materijala koji neće obrazovati elektrohemijske sprege i otpornog na atmosferske uticaje, vibracije, udare.

Vertikalne veze kontaktnog provodnika i nosećeg užeta su sa vešalicama od bakarnog užeta, ili punog provodnika, sa omčama i stezaljkama na oba kraja. Kod polukompenzovane mreže vešaljke su sa kliznim mostićem koji omogućava određeno podužno pomeranje provodnika.

Osnovni delovi za nošenje voznog voda su konzole, učvršćene za stubove i portale. Konstrukcija i sklopni elementi konzole zavise od tipa voznog voda, načina regulisanja naprezanja u njegovim provodnicima, broja voznih vodova i stepena izolacije prema masi.

Kontaktne mreže se između tačaka napajanja deli, odnosno sekcioniše. Ovo sekcionisanje može biti podužno i poprečno. Podužno se izvodi na otvorenoj pruzi i služi za električno razdvajanje rednih deonica. Ostvaruje se izolovanim preklopom, ili umetanjem neutralnog voda. Izolovani preklopi su sa istim kinematskim karakteristikama kao i vozni vod, pa ih vučna vozila prelaze bez smanjenja brzine, ali po pravilu u zaletu sa isključenom vučom.

2.1 Kontaktne provodnik

Veza kontaktne mreže sa elektrovučnim podstanicama ostvaruje se napojnim vodovima. Deo kontaktne mreže koji služi za vezu sa lokomotivom jeste kontaktne provodnik. Kontaktne

provodnik se postavlja na određenoj visini iznad koloseka i iznad vozila. On mora da ostvari sigurno napajanje vozila električnom energijom u složenim uslovima koje mogu da se jave u saobraćaju. Primenjuje se u železničkim elektrificiranim prugama i u gradskom saobraćaju kod tramvaja. Za trolejbuse primenjuje se kontaktna mreža posebne konstrukcije.

Kontaktni provodnik je puna ožlebljena zica, sa glatkom donjom površinom po kojoj se kreće klizač pantografa. Ona je od hladno vučenog elektrolitičkog bakra. Prema standardima za železničku električnu vuču koriste se kontaktni provodnici nominalnih preseka 80,100, 120 i 150mm². U upotrebi su i bimetalni kontaktni provodnici, sa jezgrom od čelika i bakarnim plaštom. Kod njih su moguće veće sile zatezanja, ali im je zato smanjen ekvivalentan presek. Njihova namena je uglavnom za deonice sa manjim strujnim opterećenjima i većim mehaničkim naprezanjem provodnika. Trošenje kontaktnog provodnika ostvaruje se po donjoj, kliznoj površini, sa stepenom habanja zavisnim od materijala i stanja površine klizača, kvaliteta mreže, gustine saobraćaja, snage vučnih vozila. Zato se mora, u odnosu na stvarna i mehanička naprezanja, vršiti njegova blagovremena zamena.

2.2 Vozni vod

Vozni vod se sastoji od nosećeg užeta, vešaljki i dva kontaktna provodnika. Za sistem napona 3 kV noseće uže sačinjeno je od 19 bakarnih provodnika prečnika 2,8 mm, preseka užeta 120 mm². Kontaktne provodnici od tvrdog elektrolitskog bakra imaju presek 100 mm². Vešaljke su od okrugle bakarne žice prečnika 5 mm. Za ostvarivanje dobre električne veze između nosećeg užeta i kontaktnih provodnika koriste se, pored vešaljki, i užad koja se postavljaju na svakih 80 m. Kod železničkih jednosmernih sistema 1500 V i 3000 V potrebna su dva kontaktne provodnika. Vozni vod zategnut je u okviru zateznog polja. Kontaktne provodnik održava se kod svakog stuba u jednom tačno određenom položaju pomoću poligonatora. Rastojanje između nosećeg užeta i kontaktnog provodnika kod tačke vešanja je sistemaska visina.

Vozni vod sa „Y“ užetom:

Pantograf deluje silom pritiska na kontaktne provodnik i izaziva njegovo izdizanje koje nije isto na celoj dužini raspona između dva stuba (najveće je na sredini a najmanje u tačkama vešanja). Zbog ovoga se pri većim brzinama pogoršava prihvatanje struje. Da bi se smanjila ta razlika postavlja se u tačkama vešanja „Y“ uže. To je pomoćno bakarno uže pričvršćeno za noseće uže i nosi dve vešaljke.

2.3 Povratni vod

Povratnim vodom zatvara se strujno kolo za napajanje električnih vučnih vozila električnom energijom. Sastoji se od povratnog voda elektrovučnih podstanica i povratnog voda kontaktne mreže. Priključak povratnog voda podstanica na povratni vod mreža izvodi se kablovski. Povratni vod kontaktne mreže može biti vazdušni i šinski.

Vazdušni ima određene prednosti u pogledu uticaja struje vuče na različite instalacije u zemlji pa se zato primenjuje na određenim deonicama elektrificiranih pruga. Šira primena vazdušnog povratnog voda ograničena je troškovima (za poseban vazdušni vod, za usisne transformatore, za opremu za vešanje...).

Šinski povratni vod sačinjavaju jedna ili obe šine koloseka, šinski prespoji i međušinski i međukolosečni prevezi. Ovo je najjednostavniji i najjeftiniji povratni vod. Povratni vod mora da ima što manju otpornost. Električni kontakt između vučnih motora lokomotive i šina ostvaruje se

preko točka i posebnih veza sa kliznim kontaktom. Nedostaci šinskog povratnog voda su stalno obezbeđenje kontinuiteta voda i pojava lutajućih struja. Lutajuće struje imaju štetno dejstvo na metalna postrojenja, instalacije i električne vodove na koje naiđu. Postoje 3 vrste:

- od bakarnih lamela sa priključcima na krajevima;
 - od bakarnog užeta koji ima specijalne krajeve da bi se pričvrstilo na šinu;
 - od bakarnog užeta koje se svojim krajevima zavaruje za dve susedne šine.
- Najčešće se primenjuje treća vrsta.

2.4 Noseće konstrukcije

Noseće konstrukcije kontaktne mreže jesu stubovi i portali. Oni služe prvenstveno za nošenje opreme za vešanje, a po potrebi i za nošenje obilaznog voda ili rastavljača. Stubovi i portali dele se na različite načine:

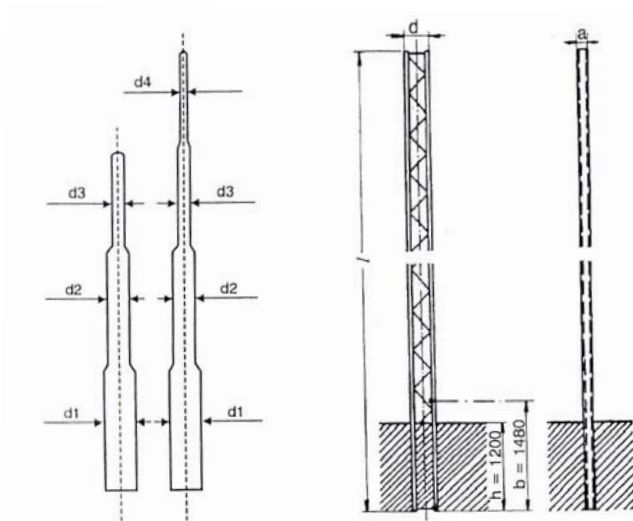
- prema konstrukciji: cevni stubovi i rešetkasti stubovi;
 - prema vrsti materijala: čelični stubovi, betonski stubovi i stubovi od legura;
 - prema mestu postavljanja: stubovi za pravac i stubovi za krivine;
 - prema nameni: konzolni stubovi, preklopni stubovi, zatezni stubovi i specijalni stubovi.
- Portali mogu biti gipki ili kruti.

Stubovi

Cevni stubovi izrađuju se u različitim tipovima. Po dužini stuba prečnik je promenljiv. Dužina stubova je od 8700 mm do 11150 mm. Dubina ukopavanja je od 900 mm do 1400 mm.

Rešetkasti stubovi izrađuju se od čeličnih profila. Dužina stubova je od 9100 mm do 11000 mm. Dubina ukopavanja je 1200 mm. Ako izrada temelja nije moguća (kamenito tlo, mostovi, vijadukti) rešetkasti stubovi izrađuju se sa stopalom pa se direktno, zavrtnjima, pričvršćuju za podlogu.

Konzolni stubovi namenjeni su za nošenje voznog voda. Preklopni stubovi namenjeni su za nošenje dva vozna voda na preklopima. Zatezni stubovi namenjeni su za nošenje i zatezanje voznog voda. Specijalni stubovi namenjeni su za nošenje voznog voda i rastavljača.

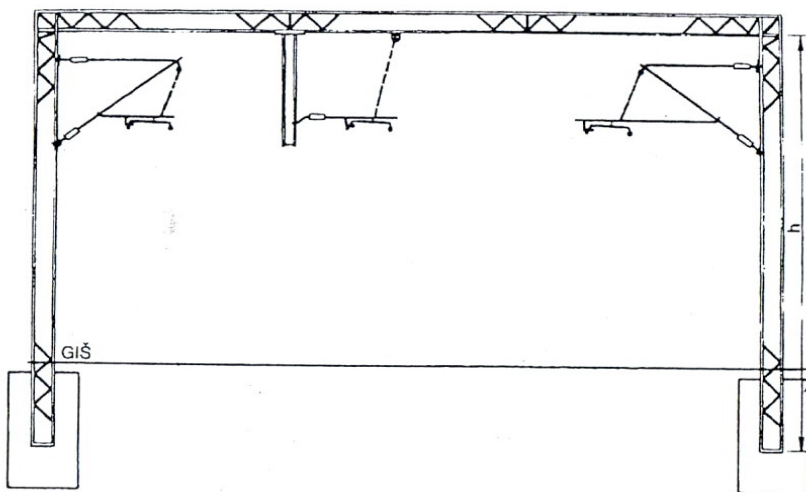


Slika 2.
Cevni (levo) i rešetkasti
stubovi (desno) [2]

Portali

Portali se primenjuju u stanicama za premošćenje tri ili više elektrificiranih koloseka. Prema tome, oni nose tri ili više voznih vodova.

Kruti portal sačinjavaju dve noge i prečka.

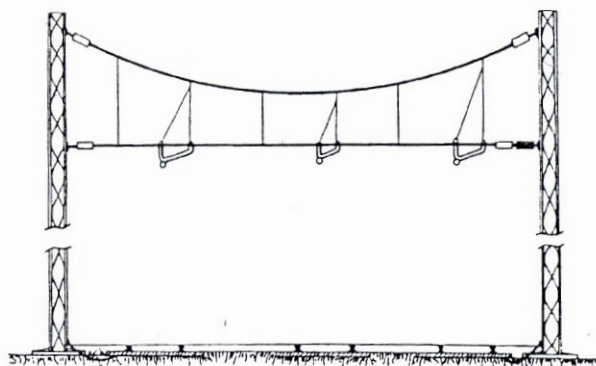


Slika 3.
Kruti portal [2]

Stubovi i noge portala postavljeni su u temelje. Osnovni je zadatak temelja da održava noseće konstrukcije u stabilnom i vertikalnom položaju. Na taj način obezbeđuje se mehanička sigurnost kontaknte mreže. Temelj se dimenzioniše prema opterećenju koje treba da nosi, odnosno prema vrsti stuba koji treba da drži.

Temelji se izrađuju češće od nearmiranog, a retko od armiranog betona. Pored opterećenja, dimenzionisanje temelja zavisi i od vrste tla i opšte konfiguracije zemljišta (terena). Prema tome, temelji mogu biti različitih oblika i dimenzija. Zapremina temelja kreće se od 2.9 m^3 do 10.6 m^3 .

Gipki portal sačinjavaju dve noge, lančanica, gornje poprečno uže i donje poprečno uže.



Slika 4.
Gipki portal [2]

2.5 Pantograf

Prihvatanje struje sa kontaktne mreže vozilo vrši preko naprave sa kliznim kontaktom koja se naziva pantograf. U slučaju gradskog saobraćaja upotrebljavaju se u tom cilju i trole sa klizačem ili koturom.

Prema osnovnom obliku i konstrukciji polužnog sistema, razlikujemo pantografe sa dvostranim ramom (simetrične) i sa jednostranim ramom (asimetrične). Asimetrični su lakši i manjih gabaritnih dimenzija.

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.

Konstrukcija tela pantografa i usaglašen raspored njegovih masa sa dejstvjućim silama opruge, treba da obezbede povoljnu radnu karakteristiku i odgovarajući pritisak kliznih traka na kontaktni provodnik.

3. Podela kontaktnih mreža

Podela kontaktnih mreža obavlja se prema sledećim kriterijumima:

- prema vrsti sistema električne vuče na kontaktne mreže za jednosmerne sisteme i kontaktne mreže za jednofazne sisteme;
- prema konstrukciji na običnu kontaktnu mrežu i lančastu kontaktnu mrežu;
- prema načinu zatezanja na nekompenzovanu, polukompenzovanu i kompenzovanu;

3.1 Obična (prosta, tramvajska) kontaktna mreža

Ova kontaktna mreža predstavlja najjednostavniji tip kontaktne mreže. Upotrebljava se u gradskom saobraćaju, za tramvajske linije, kao i za sporedne koloseke kod staničnih koloseka i ranžirnih stanica u železničkom saobraćaju, uglavnom tamo gde su brzine male. To je, u stvari, jedan kontaktni provodnik obešen za nosače preko odgovarajućih izolatora.

Kontaktni provodnik je specijalnog preseka. Uklešten je pomoću stezaljki i obešen preko izolatora na noseće konstrukcije. Noseće konstrukcije jesu stubovi i gipki portali. Stubovi i noge portala postavljene su na betonske temelje. Kontaktni provodnik zbog ovakvog načina vešanja ima ugib. Sa povećanjem rastojanja između stubova, odnosno rastojanja između tačaka vešanja ugib se povećava. Usled toga, pri prolasku vozila, nastaju jake oscilacije voda i pantografa. Na mestu vešanja pritisak pantografa je najmanji, pa se pantograf odvajava od kontaktnog voda što dovodi do prekida struje i stvaranja električnog luka. Nestalnost kontakta između pantografa i kontaktnog voda, pored električnog luka, ima za posledicu loš rad vučnih motora. Kako ugib raste sa povećanjem rastojanja između stubova, bilo bi potrebno smanjiti rastojanje između stubova da bi se ostvario zadovoljavajući kontakt. To bi značilo povećanje broja stubova te, prema tome, povećanje investicionih troškova. Zato je ovaj način vešanja ograničen na tramvajski saobraćaj i na sporedne koloseke u železničkom saobraćaju.

Između tačaka vešanja kontaktni provodnik i njegove stezaljke mogu ležati u jednoj vertikalnoj ravni ili se provodnik prema osi provodnika vodi koso, naizmenično na jednu i drugu stranu. Razmak ose koloseka i tačke vešanja bočno izvučenog provodnika je poligonacija mreže. Prvi slučaj je primer za prostu vertikalnu a drugi za prostu kosu mrežu. Stezaljke i izolatori u tačkama vešanja su na konzolama stuba, ili na poprečnom nosećem užetu, pa se ovaj način vešanja naziva i poprečno vešanje.

Nejednaka visina provodnika, veliki ugib i neravnomerna elastičnost voda sa krutim tačkama vešanja su nedostaci ove mreže koja pruža prihvatljive uslove samo za vučna vozila manjih snaga i brzina do 40 km/h. Rasponi polja, razmaci stubova su do 35 m, a regulisanje naprezanja vrši se sezonski na zateznim spojnicama, sa promenom temperature menjaju se dužina, ugib i naprezanje kontaktnog provodnika.

Povratni vod kod obične kontaktne mreže čine šine. Uzemljenje kontaktne mreže predstavlja vezu nosećih konstrukcija sa uzemljivačem.

3.2 Lančasta mreža

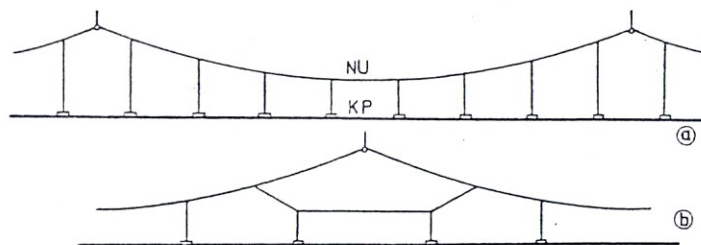
Ovaj tip kontaktne mreže se koristi pri elektrifikaciji železničkih pruga i to za glavne koloseke i veće brzine. Lančasto vešanje se sastoji u tome što se kontaktni vod, po kome klizi klizač pantografa, elastično veša o jedan drugi vod koji je obešen za nosače, tzv. noseće uže.



Slika 5. Lančasta mreža [2]

Površina dodira između kontaktnog voda i pantografa je mala, reda 20mm^2 . Sa druge strane, strujna opterećenja su velika. Praksa pokazuje da klizni kontakt, suprotno fiksnom kontaktu nema potrebe za velikom površinom da bi se prihvatile struje velikog intenziteta. Ono što je najvažnije jeste da kontakt bude stalan, tj. da pritisak klizača pantografa na kontaktni vod bude stalan. Pantograf pritiska vod vertikalnom silom koja se mora održavati na stalnoj vrednosti bez obzira na visinu voda, brzinu i položaj pantografa. Da bi se to postiglo prvenstveno je potrebno da se kontaktni vod održava u horizontalnoj ravni i da se postigne što je moguće veća elastičnost celine. Iz ovih razloga se koristi lančasto vešanje.

Lančasto, ili tzv. podužno vešanje izvodi se pomoću nosećeg užeta, za koje je stezaljkama i vešaljka pričvršćen kontaktni provodnik. Noseće uže poduzno prati kontaktni provodnik. U rasponu tačkaka vešanja užeta ostvorena su polja stezaljki, sa međusobnim razmacima 6-9 m. Ugib nosećeg užeta kompenzovan je različitom dužinom vešaljki. Na ovaj način ostvorena je pogodnija raspodela masa po dužini voda, smanjene su razlike u gipkosti pojedinih tačkaka i linije kontaktnog provodnika je bliža horizontalnoj ravni. Kontakti provodnik, po kome klizi pantograf, praktično nema ugib, podjednako je elastičan na celoj svojoj dužini. Zbog toga je kontakt pantografa i voda dobar u svim tačkama, pa i u tački vešanja. Na taj način postiže se kontinuitet klizanja pantografa bez ikakvih većih deformacija kontaktnog provodnika. Ovako se omogućuje da se mnogo smanje oscilacije pantografa sa velikom amplitudom i izbegava se odvajanje pantografa. Ovaj način vešanja omogućuje korišćenje velikih brzina.



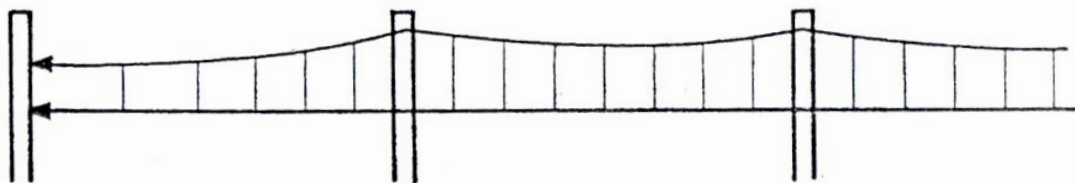
Slika 6. Primer lančaste mreže sa "Y" užetom [3]

Promena visine kontaktne ravni uzrokovana je promenom unutrašnjih napreznja u provodnicima voznog voda. Smanjenje ugiba i kompenzovanje težine provodnika ostvaruje se

silama zatezanja. Vozni vod deli se u ovom pogledu na mehanički nezavisne deonice, zatezna polja dužine 1000-1200 m.

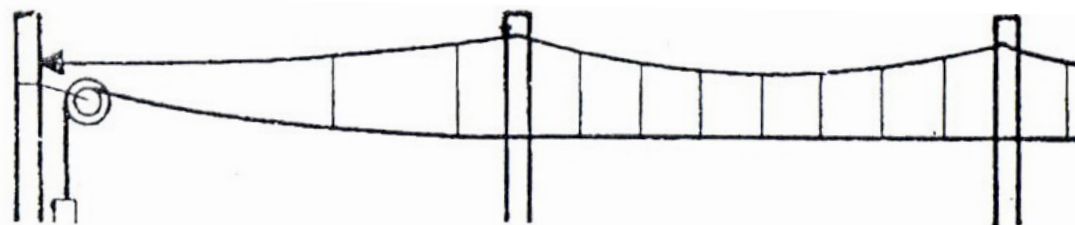
Prema načinu regulisanja naprezanja kontaktne mreža može biti nekompenzovana, polukompenzovana i kompenzovana.

Kod nekompenzovane kontaktne mreže oba kraja u zateznom polju pričvršćena su za zatezne stubove. Kontaktne provodnike veša se o noseće uže tako da pri određenoj srednjoj temperaturi kontaktnog provodnika nema ugiba. Pri višim temperaturama od srednje povećava se ugib nosećeg užeta i kontaktnog provodnika. Pri nižim temperaturama od srednje ugib se smanjuje pa noseće uže preko vešaljki izdiže kontaktne provodnike. Kod ovih mreža promene dužine utiču u velikoj meri na naprezanje provodnika. Zbog toga je primena ovih mreža ograničena manje brzine. Deo kontaktne mreže u železničkim stanicama i na sporednim kolosecima može biti nekompenzovan. Eventualno regulisanje naprezanja zbog dilatacije nastalih sezonskim temperaturnim pojavama vrši se zateznim spojnicama.



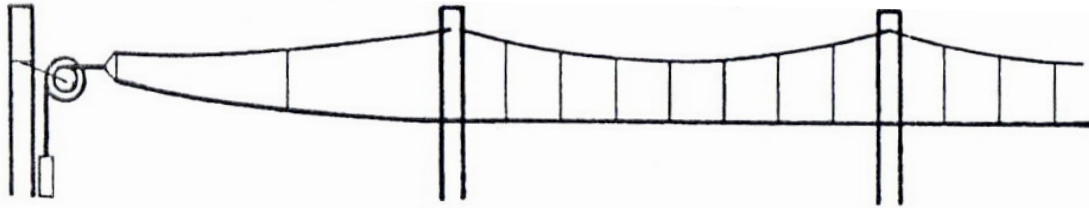
Slika 7. Nekompenzovana mreža [2]

Polukompenzovana kontaktne mreža je mreža kod koje se samo kontaktne vod zateže automatski na krajevima zateznog polja dok je noseće uže čvrsto zategnuto. Vešaljke kojima je kontaktne provodnik obešen na noseće uže postavljaju se tako da se pri određenoj srednjoj temperaturi nalaze u vertikalnom položaju. Ipak postoje teškoće prihvatanja struje u zimskom periodu, kada kontaktne provodnik dobija negativan ugib. Dobro preuzimanje struje ostvaruje se kod ovih mreža sa brzinom do 80 km/h.



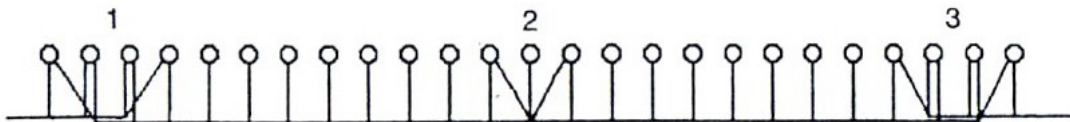
Slika 8. Polukompenzovana mreža [2]

Kod kompenzovanih mreža automatski se reguliše naprezanje i u nosećem užetu i u kontaktnom provodniku i to pomoću zateznog uređaja sa koturačama i tegovima. Uređaji za zatezanje omogućuju konstantnu silu zatezanja kontaktnog provodnika bez obzira na temperaturu, tj. ugib je isti bez obzira na promene temperature. Promena ugiba može da bude posledica nekog dodatnog opterećenja, kao na primer leda.



Slika 9. Kompenzovana mreža [2]

Rastojanje između dva stuba kontaktne mreže na kojima se nalaze uređaji za automatsko zatezanje predstavlja zatezno polje. U sredini zateznog polja noseće uže je pričvršćeno u čvrstoj tački, a kontaktni vod je pričvršćen za noseće uže. Prema tome, hod kontaktnog voda i nosećeg užeta jednak je nuli u čvrstoj tački, a maksimalan je kod uređaja za zatezanje. Da bi se obezbedio prolaz sa jednog zateznog polja na drugo, a pri tome održao kontinuitet preuzimanja struja, krajevi susednih zateznih polja preklapaju se i njihov zajednički deo naziva se neizolovani preklop. Preklop se ostvaruje sa 4 stuba: dva krajnja koji su zatezni i dva u sredini koji su preklopni. Da bi se sprečilo pomeranje voznog voda, kod kompenzovane mreže postavlja se čvrsta tačka u sredini zateznog polja.



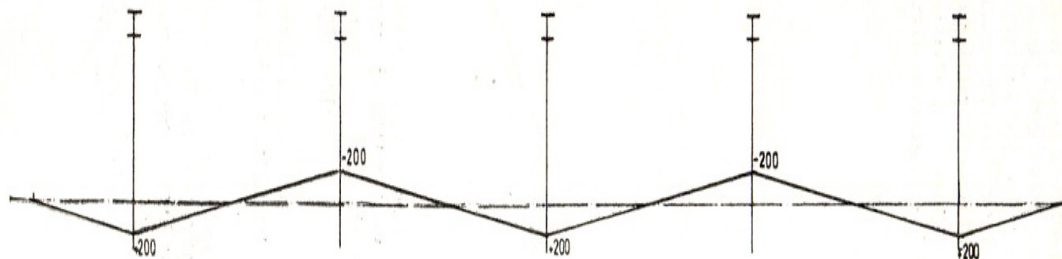
Slika 10. Zatezno polje [2]

Kompenzovana kontaktna mreža omogućuje pouzdano preuzimanje struje za brzine do 120 km/h. Za veće brzine, ona nije dovoljno elastična, pa se primenjuje vozni vod sa „Y“ užetom.

Lančasta kontaktna mreža ima rastojanje između stubova reda 70-80 m. Postoji nekoliko tipova lančaste mreže:

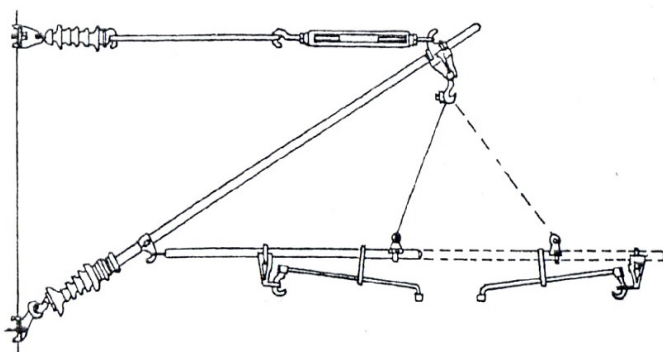
- jednostrana
- jednostrana lančasta sa „Y“ vešanjem
- jednostrana lančasta sa dvostrukim kontaktim provodnikom (kompaund sa dva noseća užeta)
- lančasta sa dva noseća užeta (kompaund sa „Y“ užetom)

4. Poligonacija kontaktne mreže



Slika 11. Poligonacija kontaktne mreže [1]

Poligonacija kontaktne mreže se izvodi da se klizač pantografa ne bi trošio samo na jednom mestu. Ona se sastoji u tome što se kontaktni vod vodi cik-cak. Kontaktni vod je u tačkama vešanja, kod svakog stuba, pomeren u odnosu na osu koloseka tako da je pomeranje izvedeno alternativno sa obe strane ose koloseka, uvek za 200 mm. Poligonacija se izvodi po pravilu samo za kontaktni vod, dok se noseće uže nalazi u vertikalnoj osi koloseka. Poligonacija se izvodi u svakoj tački vešanja, sa izuzetkom tunela ili slučajeva kada je to iz bilo kog razloga nemoguće ili nekorisno. Izvodi se pomoću poligonatora kojeg nosi poseban nosač. Prema tome da li se kontaktni vod nalazi sa jedne ili druge strane ose koloseka, on vrši pritisak na poligonator i njegov nosač i to silom koja je uperena ka stubu ili od stuba, tj. spolja. Poligonator, zbog svoje zglobne veze sa nosačem, ne može da trpi nikakvu silu pritiska već samo silu zatezanja. Zbog toga postoje samo dva načina postavljanja. Imamo kratak držač poligonatora, koji je podvrgnut istezanju i jedan duži poligonator, koji je podvrgnut pritisku. U slučaju duplog koloseka, dva stuba koji se nalaze jedan naspram drugog uvek su opremljeni na suprotan način. Nosač poligonatora je u stvari čelična galvanizirana cev, pričvršćena za kosnik konzole pomoću zgloba. Održava se u horizontalnom položaju pomoću vešaljke od tvrdog bakra prečnika 7 mm, koja je pričvršćena za stezaljku nosećeg užeta. Poligonator je od lake legure i pričvršćen je za svoj nosač zglobno.



Slika 12.
Poligonator [2]

5. Principi vešanja kontaktne mreže na otvorenoj pruzi

Stub koji nosi kontaktnu mrežu izrađen je od bešavne cevi. Konzola nosi potporni izolator koji je postavljen u osi koloseka. On nosi u svom žlebu noseće uže. Kontaktni vod pričvršćen je pomoću poligonatora, preko specijalnog držača i izolatora. Prema tome, kontaktna mreža sastoji se iz jednog nosećeg užeta i dva kontaktna voda koji su postavljeni u istoj horizontalnoj ravni paralelno koloseku. Kod jako opterećenih linija dodaje se još i jedno pomoćno uže. Rastojanje između stubova kontaktne mreže zavisi od toga da li je pruga u pravcu ili u krivini. Maksimalno rastojanje iznosi 60 m. Rastojanje se smanjuje u zonama sa jakim vetrom čija brzina prelazi 100 km/h.

Poluprečnik krivine	Raspon (m)	
	normalna linija	jak vetar
200	21,6	21,6
400	35,8	35
600	43,8	40,1
800	50,1	43,8
1000	53,8	46,6
1200	57,1	49
1400	60	50

Vrši se termička kompenzacija, ovde imamo polukompenzovanu mrežu. Zatezanje se vrši na krajevima zateznih polja čija je dužina 1200 do 1400 m. Na svakom kraju nalaze se zatezni uređaji sa kontrategovima 375/500 kp i sistem koturova koji vod zateže silom 750/1000 kp. Svaki kontaktni vod mora imati mogućnost slobodnog pokretanja u pravcu zateznih stubova, tj. sve njegove veze sa nosećim užetom moraju to da obezbede.

Kod starih linija visina vodova na otvorenoj pruzi iznosi 5,5 m a u stanicama 5,8 ili 6 m. U oblastima jakih vetrova ova visina se ograničava na 5 m. Dozvoljena minimalna visina je 4,5 m u izuzetnim situacijama. Prelaz iz jednog nivoa u drugi mora se izvesti sa nagibom 2 ‰ za glavne i do 5 ‰ za sporedne koloseke. Broj i raspored vešaljki pomoću kojih se dva kontaktna voda vešaju za noseći vod zavisi od raspona.

Električni kontakt između nosećeg užeta i kontaktnog voda koji se ostvaruje preko vešaljki nije dovoljan. Zbog toga se noseće uže vezuje za oba kontaktna voda užetom od bakra.

6. Kontaktna mreža u tunelima

Kontaktnu mrežu u tunelima čini noseće uže od bakra poprečnog preseka 120 mm^2 za koje su obešena dva kontaktna voda preko vešaljki. Oni su takođe izrađeni od bakra, preseka po 100 mm^2 .

Kod tunela dužine od 1400 m ne vrši se termička kompenzacija kontaktnih vodova zbog malih promena temperature u tunelima. U kraćim tunelima, vrši se zatezanje kontaktnih vodova

na zateznim stubovima koji se nalaze izvan tunela dok je čvrsta tačka unutar tunela. Kontaktna mreža je u tunelima po mogućstvu, na istoj visini kao i na otvorenoj pruži. Ovaj uslov nije uvek moguće ostvariti, s obzirom na profile tunela, pa se kontaktna mreža postavlja nešto niže. U svakom slučaju kontaktni vodovi se ne smeju postavljati na visinu nizu od 4.65 m.

Najmanje rastojanje između delova kontaktne mreže koji su pod naponom i svoda tunela odnosno zidova iznosi 20 cm. Da bi se održalo ovo rastojanje tačke vešanja se mogu postaviti, ako je to potrebno, u nišama koje se kopaju u svodu tunela. Ukoliko se tako dobiju minimalna rastojanja manja od dozvoljenog, tada se skida svod tunela.

Kontaktni vodovi vešaju se za noseće užice pomoću vešaljki od bakra prečnika 5 mm. Takođe, na svakih 100 m vrši se električno povezivanje oba kontaktna voda sa nosećim užetom pomoću užeta od bakra preseka 86.50 mm².

Najveće rastojanje između tačaka vešanja u tunelima je 30 m. Poligonacija se izvodi i u tunelima, samo smanjena u odnosu na otvorenu prugu i iznosi ± 11 cm, najviše 16 cm bilo da se radi o pravcu ili krivini.

7. Napajanje pomoću treće šine

Treća šina je provodnik od profilisanog gvožđa. Postavljena je na specijalnim izolatorima utvrđenim na pragovima koloseka nešto dužim nego obično. Po ovoj šini klizi specijalni pantograf. Ova šina upotrebljava se samo u slučaju jednosmernog sistema sa niskim naponom napajanja. Za otvorene pruge više se ne upotrebljava zbog teškoća izolovanja, ukrštanja i opasnosti od dodira.

Krutost ovog provodnika omogućuje mu da se ne deformiše ni pod uticajem svoje težine a ni zbog prolaza pantografa. Pošto je paralelna sa šinama ona odstranjuje nedostatke lošeg kontakta. Veliki presek nadoknađuje manju provodnost gvožđa u odnosu na bakar. Mada je zbog otpora spojeva šina provodnost smanjena ona je dovoljna da omogućuje znatno smanjenje ili izostavljanje pomoćnih napojnih vodova (fidera).

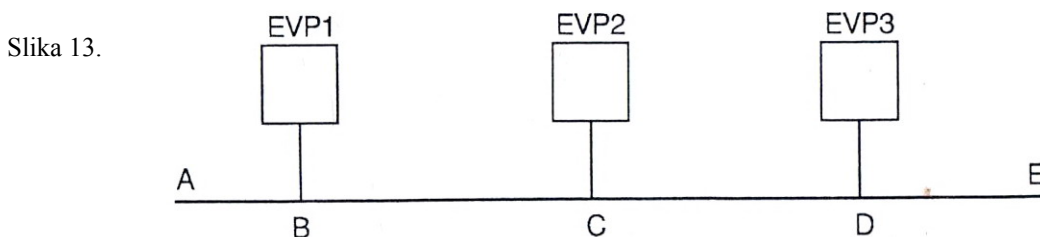
Nedostatak treće šine je malo rastojanje od zemlje što ograničava napon napajanja (najčešće 500-700 V). Osim u nekim izuzetnim slučajevima može se reći da napon napajanja šine nikada ne prelazi 1500 V. U slučaju ukrštanja i prelaza preko puteva mora se vršiti prekidanje šina i spajanje podzemnim kablom, što kod puteva velike širine nije uvek moguće ostvariti. Prekid struje u provodnoj šini može izazvati pojavu luka.

U pogledu konstrukcije treće šine razlikujemo tri slučaja prema kliznom kontaktu koji dodiruje površinu šine odozgo, odozdo i sa strane. Prvi slučaj je najstariji, on je prost i ekonomičan. Loša strana je što tokom zime kontakt pokrije sneg i led što otežava prihvatanje struje, pa je neophodno čišćenje snega i leda. Kod napajanja odozgo prednost je što je treća šina tada dobro zaštićena, čistija je ali su troškovi instalacije veći.

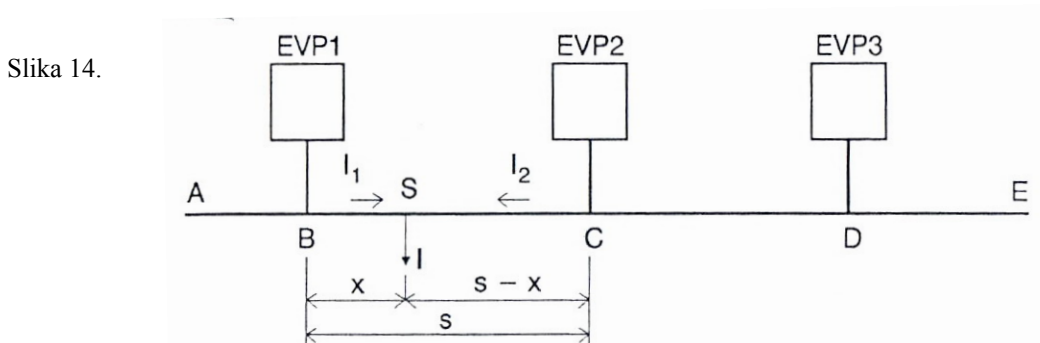
8. Pad napona

Pri proticanju struje vuče kroz vodni vod i kroz povratni vod nastaje pad napona zbog omskog otpora vodova. Otpor vodova izražava se podužnom otpornošću kontaktne mreže r , a izražava se u $[\Omega/\text{km}]$.

Kod jednosmernih sistema električne vuče moguć je paralelan rad elektrovučnih podstanica. To znači da se određeni delovi kontaktne mreže jednosmernih sistema električne vuče napajaju dvostrano, a neki jednostrano. [2]



Deonice AB i DE napajaju se jednostrano, a deonice BC i CD dvostrano. Na deonicama koje imaju dvostrano napajanje lokomotiva koja se nalazi na određenom mestu na pruzi dobija električnu energiju iz dve elektrovučne podstanice. Da bi se izračunao pad napona na mestu napajanja lokomotive, potrebno je da se najpre odredi raspodela struje između podstanica.



Ako se pretpostavi da obe elektrovučne podstanice imaju isti napon na svojim izlazima, padovi napona na delovima kontaktne mreže BS i CS moraju biti jednaki:

$$x \cdot r \cdot I_1 = (s - x) \cdot r \cdot I_2$$

gde su:

r [Ω/km] – podužna otpornost kontaktne mreže;

I_1 – jačina struje EVP1;

I_2 – jačina struje EVP2;

Jačina struje koju lokomotiva uzima iz mreže iznosi:

$$I = I_1 + I_2$$

Sledi da je:

$$I_1 = \frac{s - x_1}{s} I$$

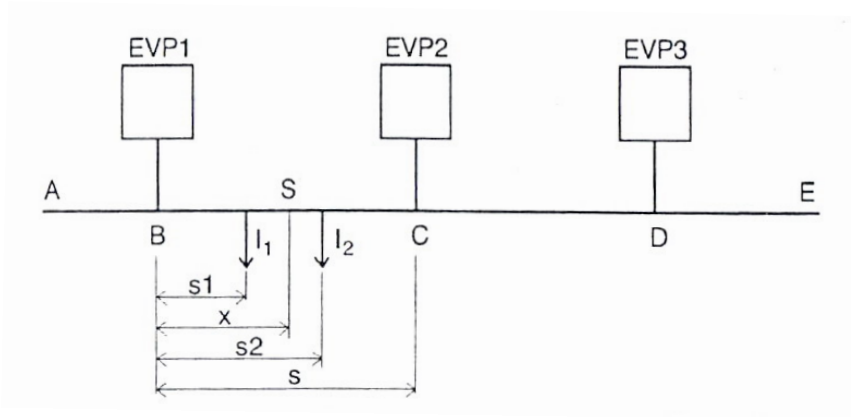
$$I_2 = \frac{x_1}{s} I$$

Pad napona u tački S iznosi:

$$\Delta U = \frac{x \cdot (s - x)}{s} rI$$

U slučaju da se između EVP1 i EVP2 nalaze dve lokomotive, potrebno je takođe da se najpre odredi raspodela struje između podstanica.

Slika 15.



$$I_{11} = \frac{s - s_1}{s} I_1$$

$$I_{12} = \frac{s_1}{s} I_1$$

$$I_{21} = \frac{s - s_2}{s} I_2$$

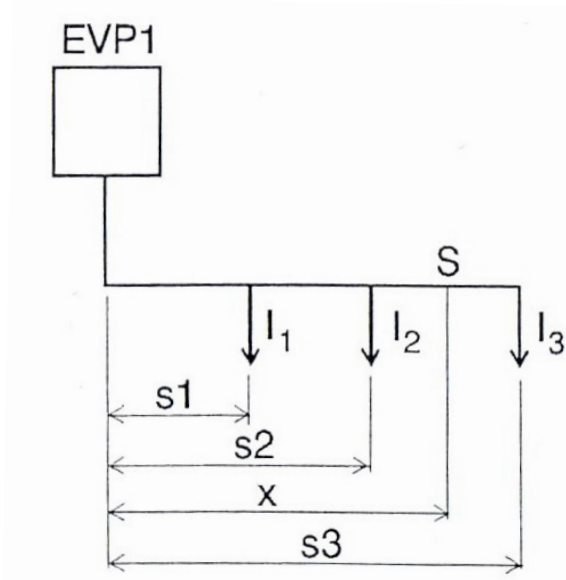
$$I_{22} = \frac{s_2}{s} I_2$$

Pad napona u tački S iznosi:

$$\Delta U = r[s_1 \cdot I_{11} + x \cdot I_{21} - (x - s_1) \cdot I_{12}]$$

Šema jednostranog napajanja prikazana je na sledećoj slici:

Slika 16.



Pad napona u tački S iznosi:

$$\Delta U = r(s_1 I_1 + s_2 I_2 + x I_3)$$

8.1 Povratni vod i šinski sastavi

Šine koloseka elektrificiranih pruga utiču svojim električnim parametrima na funkcionisanje sistema. Razlikujemo stalnu, i promenljivu komponentu omskog otpora šine, otpor šina i otpor šinskih sastava.

Uz usvojene srednje vrednosti za materijal šine: otpor $210 \Omega \text{mm}^2/\text{km}$ i težina $7,65 \text{ g/cm}^2$ dobijamo podužni otpor kolosečne šine po formuli $R_s = 1,65/G_s \Omega/\text{km}$, gde je G_s težina po dužnom metru.

Ukoliko se obe šine koloseka koriste kao deo povratnog voda, opšti izraz otpora za višekolosečne pruge je: $R_s = 1,65/N_s G_s$, gde je N_s broj paralelnih šina u povratnom vodu.

8.2 Gubitak snage i stepen iskorišćenja

Padovi napona na oba napojna kraka jednaki su:

$$\Delta U = \frac{x \cdot (s - x)}{s} r I$$

Gubitak snage u 1. napojnom kraku:

$$\Delta P_1 = \Delta U \cdot I_1$$

Gubitak snage u 2. napojnom kraku:

$$\Delta P_2 = \Delta U \cdot I_2$$

Ukupni gubitak snage:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

Srednja vrednost gubitka snage pri nepromenljivoj jačini struje koju lokomotiva uzima na celoj deonici:

$$\Delta P_{sr} = \frac{1}{s} \int_0^s \Delta P dx$$

Stepen iskorišćenja snage:

$$\eta = \frac{UI - \Delta P_{sr}}{UI}$$

LITERATURA:

- [1] Božidar Radojković, "Električna vuča", Naučna knjiga, 1974.
- [2] Zoran Milićević, "Vuča vozova", Zelind, 2001.
- [3] Dimitrije Dinić, "Železnička električna vozila", Saobraćajni fakultet Beograd, 1996.