

Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet

Goran Simić  
Dragan Milković  
Saša Radulović

# Kočnice šinskih vozila

Beograd, 2022.

Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet

Dr Goran Simić, redovni profesor, u penziji

Dr Dragan Milković, vanredni profesor

Mr Saša Radulović, istraživač saradnik

### **Kočnice šinskih vozila**

Recenzenti:

Dr Vojkan Lučanin, redovni profesor Univerziteta u Beogradu

Dr Dragan Petrović, redovni profesor Univerziteta u Kragujevcu

Izdavač:

Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet

Ul. Kraljice Marije br.16, Beograd

tel. (011) 3370-760, fax. (011) 3370-364

[www.mas.bg.ac.rs](http://www.mas.bg.ac.rs)

Za izdavača:

Dekan dr Vladimir Popović, redovni profesor

Urednik:

dr Milan Lečić, redovni profesor

Predsednik komisije za izdavačku delatnost Mašinskog fakulteta u Beogradu

Tiraž: 100 primeraka

Štampanje odobrila Komisija za izdavačku delatnost Mašinskog fakulteta u Beogradu i

Dekan Mašinskog fakulteta odlukom br. 14/22 od 21.06.2022. godine

Štampa: „Planeta print“, 11000 Beograd, [www.planeta-print.rs](http://www.planeta-print.rs)

Beograd, 2022. godine

ISBN 978-86-6060-125-6

© Sva prava zadržavaju autori. Nije dozvoljeno da, bez prethodne pismene dozvole autora, bilo koji deo ovog udžbenika bude snimljen, emitovan ili reprodukovano, uključujući ali ne i ograničavajući se na fotokopiranje, fotografiju, magnetni ili bilo koji drugi vid zapisa.

## Sadržaj

Sadržaj.....	4
Predgovor .....	7
1. Osnovi pneumatskih kočnica na železnici .....	1
1.1 Zadaci kočnice.....	1
1.2 Podela kočnica .....	2
1.3 Sistem kočnice.....	2
1.4 Direktna neautomatska pneumatska kočnica.....	4
1.5 Dvokomorna indirektna automatska kočnica.....	7
1.6 Jednocomorna indirektna automatska kočnica .....	8
1.6.1 Rasporednik sa dva rasporedna pritiska .....	9
1.6.2 Rasporednik sa tri rasporedna pritiska .....	12
1.6.3 Rasporednik sa ograničivačem maksimalnog pritiska.....	15
1.6.4 Osnovna funkcija rele ventila.....	17
1.7 Upravljanje kočnicom.....	18
2. Realizacija i razvoj kočne sile pneumatske kočnice.....	23
2.1 Sile na točku prilikom kočenja .....	23
2.2 Razvoj kočne sile.....	24
2.3 Probojna brzina.....	26
2.4 Realizacija kočne sile kod kočnice sa papučama .....	29
2.5 Papuče od sivog liva.....	31
2.6 Kočne papuče od kompozitnih materijala.....	34
3. Kočno polužje kočnice sa papučama .....	42
3.1 Plan pomeranja i prenosni odnos .....	43
3.2 Vešanje kočnih papuča .....	45
3.3 Kočni trougao i kočne poluge .....	46
3.4 Prilagođavanje kočne sile težini .....	48
3.4.1 Ručna promena prenosnog odnosa .....	49
3.4.2 Automatska promena prenosnog odnosa .....	51
3.4.3 Dvostepena promena maksimalnog pritiska u kočnom cilindru .....	55
3.4.4 Kontinualno prilagođavanje kočne sile težini.....	55
3.4.4.1 Proporcionalni merni ventil .....	57
3.4.4.2 Ventil srednjeg pritiska .....	58

3.4.4.3 Rele ventil sa pritiskom proporcionalanim opterećenju.....	61
3.5 Regulatori kočnog polužja .....	63
3.6 Kompaktne kočnice sa papučama .....	67
3.7 Detektor iskliznuća .....	71
4. Disk-kočnica .....	74
4.1 Konstrukcija disk-kočnice .....	74
4.2 Termičko opterećenje diska.....	79
4.3 Prednosti i nedostaci disk-kočnice .....	81
4.4 Kočni umeci za disk-kočnice .....	81
5. Zahtevi iz propisa za "EN-UIC" pneumatsku kočnicu .....	87
6. Glavni uređaji pneumatske kočnice.....	94
6.1 Kočnik Erlikon FV4a .....	94
6.2 Rasporednik Erlikon ESH2.....	98
7. Kočne karakteristike .....	104
7.1 Kočna masa i procenat kočne mase .....	104
7.2 Zahtevi za procenat kočne mase .....	107
7.3 Knik ventil .....	112
7.4 Određivanje kočne mase za putničke vagona do $v_{max} = 200\text{km/h}$ .....	114
7.4.1 Korekcije srednjeg zaustavnog puta .....	119
7.5 Određivanje kočne mase za teretne vagona.....	121
7.5.1 Kočna masa vagona sa papučama P10.....	122
7.5.2 Proračun kočnice za osiguranje od samopokretanja .....	126
7.6 Kočna masa lokomotiva .....	130
7.7 Određivanje efikasnosti kočnice putničkih vagona za brzine preko 200 km/h ...	131
8. Kočnica putničkih vagona.....	137
8.1 Kočnice sa električnim upravljanjem .....	137
8.1.1 Elektropneumatska kočnica vozova sa UIC kočnicom.....	138
8.1.2 Direktna elektropneumatska kočnica zatvorenih kompozicija.....	141
8.3 Alarmni sistem za putnike u slučaju opasnosti.....	144
8.4 Protivklizna zaštita .....	148
9. Šinske kočnice.....	151
9.1 Magnetna šinska kočnica .....	151
9.2 Ugradnja magnetne šinske kočnice .....	155
9.3 Kočnice na bazi vrtložnih struja.....	157
9.4 Šinske kočnice sa permanentnim magnetima.....	161

9.5 Brzač pražnjenja glavnog vazdušnog voda .....	163
9.6 Kočna masa vagona sa magnetnom šinskom kočnicom .....	164
10. Snabdevanje sistema kočnice vazduhom .....	165
11. Kočenje kompozicije u eksploataciji .....	174
11.1 Uslovi za kočenje vozova u međunarodnom saobraćaju .....	174
11.2 Proba kočnica .....	177

## Predgovor

Ovaj udžbenik je nastao s jedne strane kao plod iskustva u dugogodišnjem radu autora u univerzitetskoj nastavi iz oblasti kočnica šinskih vozila, a sa druge strane je zasnovan na radu vezanom za prototipska ispitivanja kočnica u okviru akreditovane Laboratorije za šinska vozila. Udžbenik je namenjen pre svega studentima Modula za šinska vozila na Mašinskom fakultetu u Beogradu, ali se autori nadaju da može korisno poslužiti i svima koji se bave šinskim vozilima.

Pri radu na udžbeniku autori su pošli od postojeće tradicionalne stručne literature na srpskom jeziku [1, 2, 3, 4, 5]<sup>1</sup>, zatim od prethodnih univerzitetskih udžbenika naših profesora iz ove oblasti [6, 7], a poučeni iskustvom iz praktičnih ispitivanja, velika baza su bile i desetine novijih evropskih standarda iz oblasti kočnica šinskih vozila, kao i UIC objave i njihovi naslednici - IRS dokumenti.

U pisanju udžbenika glavno težište je stavljeno na postepeno objašnjavanje ključnih principa funkcionisanja komponenata kočnice, kako bi čitaoci iza toga lakše mogli da te principe prepoznaju u složenim sistemima savremenih kočnica šinskih vozila. Zbog toga su u ovom udžbeniku konkretna tehnička rešenja predstavljena samo u egzemplarnoj formi. Obimne prikaze raznovrsnih konkretnih konstrukcija ključnih komponenti kočnica primenjenih u vozilima na železnicama Srbije zainteresovani čitaoci mogu dalje pronaći u citiranoj domaćoj literaturi.

Zahvaljujemo se recenzentima prof. dr Vojkanu Lučaninu i prof. dr Draganu Petroviću na korisnim i dobronamernim sugestijama, datim tokom pregleda rukopisa.

U Beogradu, juna 2022.

Autori

---

<sup>1</sup> Oznake u uglastim zagradama se odnose na spisak literature na kraju knjige

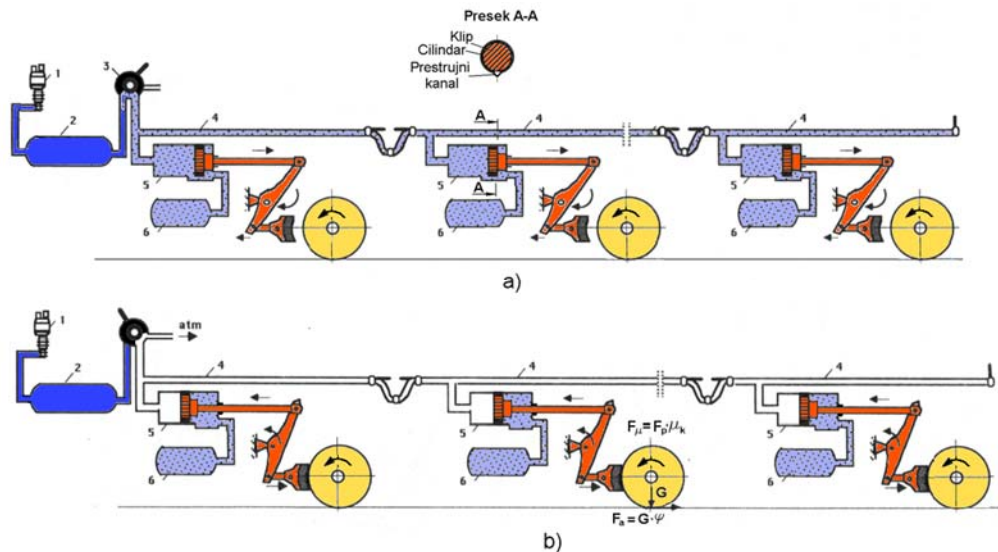
Glavni nedostatak ove kočnice je ponašanje pri eventualnom raskidanju kompozicije. Ukoliko se kompozicija raskine, kida se i glavni vazdušni vod, što izaziva pražnjenje kočne instalacije i oba dela kompozicije ostaju nekočena. To je vrlo opasna situacija koja vodi katastrofalnim posledicama. Na isti način veća nezaptivenost instalacije kočnice bilo gde duž kompozicije takođe može da onespobi kočnicu voza.

Kočnice kod kojih kidanjem glavnog vazdušnog voda ne nastane kočenje, nazivaju se **neautomatske kočnice**. Zbog ovog nedostatka, direktna pneumatska kočnica se danas koristi samo kao pomoćna kočnica na lokomotivama pri manevrisanju malim brzinama radi sastavljanja kompozicije, kada dolazi do izražaja laka kontrola sile kočenja.

Još jedan nedostatak direktne kočnice je velika potrošnja vazduha, pošto se pri potpunom otkočivanju sav zbijeni vazduh iz kočnih cilindara i glavnog vazdušnog voda ispušta u atmosferu.

### 1.5 Dvokomorna indirektna automatska kočnica

Osnovni nedostatak direktne kočnice, što je neautomatska, bio je otklonjen konstrukcijom dvokomorne indirektna kočnice (šema na slici 1.3). U ovom slučaju kočni cilindar nema povratnu oprugu, a vazduh pod pritiskom može da deluje sa obe strane klipa. Na svakom vagonu mora da postoji i pomoćni rezervoar vazduha.



Slika 1.3 Dvokomorna indirektna kočnica

Na slici 1.3a je prikazan položaj otkočivanja i punjenja pomoćnog rezervoara, kada se vazduh iz glavnog rezervoara na lokomotivi - 2, pomoću kočnika - 3, pušta preko glavnog vazdušnog voda - 4 da uđe u kočne cilindre - 5 i potisne klip na desnu stranu. U tom položaju u cilindru postoji prestrujni kanal malog preseka, prikazan u preseku A-A, kroz koji vazduh sporo struji u pomoćni rezervoar - 6 i lagano ga puni. Lagano punjenje je neophodno kako bi se pomoćni rezervoari duž kompozicije što ravnomernije punili. U protivnom bi rezervoar na prvom vagonu, zbog izrazito manjih strujnih otpora do njega, bio znatno brže napunjen od poslednjeg. Ako se u takvom stanju zavede

kočenje, nastali bi trzaji u kompoziciji zbog nejednakog kočenja prednjeg i zadnjeg dela kompozicije.

Kada su svi pomoćni rezervoari napunjeni, kočnica je spremna za dejstvo. Postavljanjem kočnika u položaj kočenja (slika 1.3b) vazduh se iz glavnog vazdušnog voda ispušta u atmosferu. Tada se zbog malog poprečnog preseka prestrujnog kanala pritisak sa leve strane klipa znatno brže obara, zbog čega se klip pod dejstvom višeg pritiska iz pomoćnog rezervoara pomera ulevo, brzo zatvara prestrujni otvor, a kočna papučica naleže na točak. U tom položaju se na klipu formira sila:

$$F_c = p_R \cdot (A_c - A_p) - p_L \cdot A_c$$

Ovde je:

$p_L$  - natpritisak u glavnom vazdušnom vodu

$p_R$  - natpritisak u pomoćnom rezervoaru

$A_c$  - površina klipa

$A_p$  - površina preseka klipne poluge

Zbog dejstva sabijenog vazduha na obe strane klipa (u dve komore), ovakva kočnica se naziva **dvokomorna kočnica**. Pri pomeranju klipa tokom kočenja pritisak u pomoćnom rezervoaru blago opada jer se zapremina rezervoara bira da bude znatno veća od desne radne komore cilindra. Intenzitet kočenja tada zavisi od toga koliko je natpritisak  $p_L$  u odnosu na početni nivo smanjen. Većim ili manjim obaranjem pritiska u glavnom vazdušnom vodu postiže se regulacija sile kočenja, odnosno, može da se vrši postepeno kočenje. Maksimalno kočenje se postiže potpunim pražnjenjem glavnog vazdušnog voda kada je u njemu natpritisak  $p_L = 0$ .

Ukoliko se posle kočenja kočnik postavi u položaj otkočivanja, sa delimičnim porastom pritiska  $p_L$  se smanjuje sila kočenja, tako da je moguće i postepeno otkočivanje. Ako se pritisak  $p_L$  vrati na početni nivo, klip se vraća u krajnji desni položaj, papučica se odvajaju od točka i kočnica je otkočena.

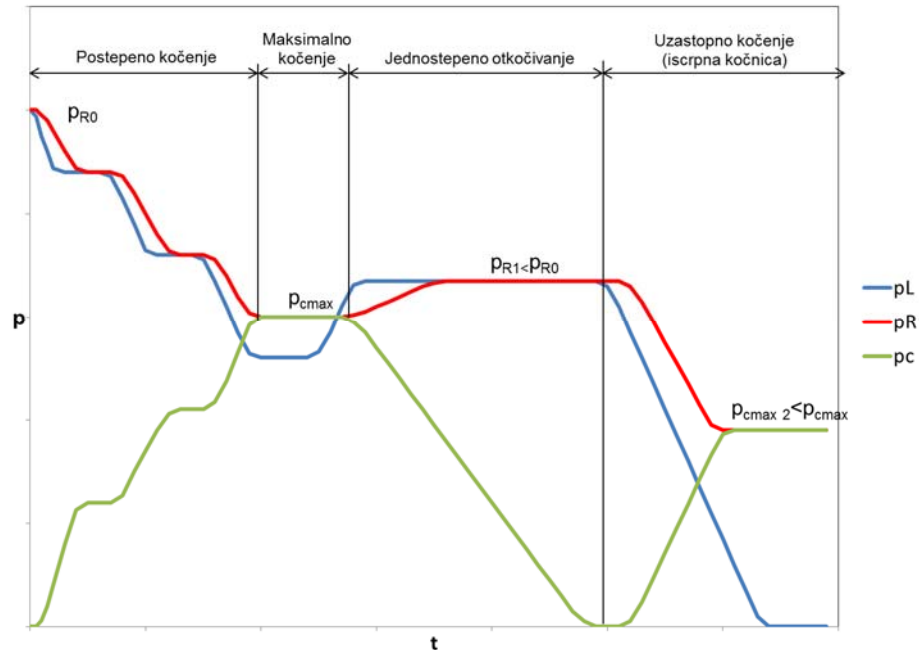
Pošto se u ovom slučaju kočenje vrši pražnjenjem, a otkočivanje dopunjavanjem vazduha u glavnom vazdušnom vodu, kaže se da je ovo **kočnica indirektnog dejstva**. Glavna prednost indirektnog dejstva je da se u slučaju raskidanja kompozicije obara pritisak u glavnom vazdušnom vodu oba dela raskinutog voza, a pomoću vazduha iz pomoćnih rezervoara automatski nastupa maksimalno kočenje, pa je **kočnica automatska**. Dalja prednost dvokomorne kočnice je jednostavna konstrukcija sistema.

Ovakva kočnica ima i nekoliko nedostataka. Za maksimalno kočenje se mora potpuno isprazniti glavni vazdušni vod, pa je potrošnja vazduha velika. Pošto se iz cele kompozicije vazduh ispušta i dopunjava preko kočnika lokomotive, vreme kočenja i otkočivanja je relativno dugačko, pa je kočnica dosta inertna. Iz istog razloga se poremećaj pritiska duž kompozicije sporije prostire, pa je i probojna brzina mala. Zbog ovih nedostataka se ovakva kočnica danas više gotovo ne koristi, odnosno primenljiva je samo za kratke kompozicije ili motorna kola.

## 1.6 Jednkomorna indirektna automatska kočnica

Današnje pneumatske kočnice železničkih vozila su zasnovane na principu jednkomorne, indirektno, automatske kočnice, čija je šema prikazana na slici 1.4.





Slika 1.6 Karakteristični pritisci - rasporednik sa dva rasporedna pritiska

Standard [11] međutim propisuje da pri postizanju maksimalnog pritiska u kočnom cilindru, u pomoćnom rezervoaru mora da ostane pritisak najmanje 0,3 bara iznad  $p_{cmax}$ , računajući sa kočnim cilindrom prečnika 16 cola i maksimalnim hodom cilindra od 150mm, odnosno najnepovoljnijim uslovima za konkretnu kočnicu vagona.

Za taj slučaj, na bazi Bojl-Mariotovog zakona može se postaviti sledeća jednačina:

$$(p_{R0} + p_a) \cdot V_R = (p_{cmax} + p_a) \cdot V_c + (p_{cmax} + 0,3bar + p_a) \cdot V_R,$$

UIC i EN standardi [11, 12] propisuju da maksimalni pritisak u kočnom cilindru treba da bude  $p_{cmax} = 3,8$  bara. Tada se iz prethodne jednačine može odrediti minimalna potrebna zapremina pomoćnog rezervoara:

$$V_{Rmin} = V_c \frac{p_{cmax} + p_a}{p_{R0} - p_{cmax} - 0,3bar} = V_c \frac{3,8 + 1}{5 - 3,8 - 0,3} = V_c \cdot 5,33$$

Zapremina cilindra od 16 cola pri hodu od 150mm iznosi 19,2 l, pa sledi:

$$V_{Rmin} = V_c \cdot 5,33 = 19,2 \cdot 5,33 = 102,3 \text{ l}$$

Na osnovu toga četvooroosovinski vagoni imaju pomoćni rezervoar najčešće od 100 ili 120 litara.

Otkočivanje se postiže povećanjem pritiska u glavnom vazdušnom vodu iznad pritiska u pomoćnom rezervoaru, tako da se zbog uspostavljene razlike pritisaka na klip u pomera naniže u položaj sa slike 1.5 a. U ovom položaju se ispušta vazduh iz kočnog cilindra i kroz prestrujni kanal se lagano dopunjava pomoćni rezervoar. Uočimo da se kod ovog rasporednika proces otkočivanja ne može automatski regulisati pošto po

izjednačenju pritisa  $p_L$  i  $p_R$  nema sile koja bi vratila klip u prekidni (ravnotežni) položaj, pa se isticanje vazduha iz kočnog cilindra ne prekida sve do njegovog potpunog pražnjenja. Ovakva kočnica se zbog toga naziva **kočnica sa jednostepenim otkočivanjem**.

Ako mašinovođa ima potrebu da ponovo zakoči pre nego što su se pomoćni rezervoari ponovo napunili, može da postavi kočnik u položaj „kočenje“ i obori pritisak u glavnom vazдушnom vodu toliko da klip krene naviše. Tada će biti ponovo zavedeno kočenje, ali pošto je natpritisak u pomoćnom rezervoaru  $p_{R1}$  niži od početnog natpritiska  $p_{R0}$ , biće, prema jednačini (1.1) i maksimalni pritisak u kočnom cilindru  $p_{cmax2}$  niži od  $p_{cmax}$ . Ako se više puta uzastopno ponovi postupak otkočivanja i ponovnog kočenja ovakva kočnica će svaki put sve slabije kočiti. Za takvu kočnicu kažemo da je **iscrpnna**. Pri kočenju na dugim padovima ovakva kočnica, koja je korišćena u ranom periodu razvoja železnice, može dovesti do katastrofalnih posledica. Zbog toga primena iscrpnih kočnica i kočnica sa jednostepenim otkočivanjem više nije dozvoljena na železničkim vozilima.

### 1.6.2 Rasporednik sa tri rasporedna pritiska

Otklanjanje nedostatka rasporednika sa dva rasporedna pritiska je moguće korišćenjem rasporednika sa tri rasporedna pritiska. Ovaj princip je 1892 godine patentirao Englez Hamfri (Humphrey). Međutim, na prvu praktičnu realizaciju ove ideje se čekalo sve do 1928 godine kada je gotovo paralelno od strane Međunarodne železničke unije na tom principu priznata kočnica Drolshamer i kočnica Božić<sup>3</sup> [13]. Bez obzira što obe kočnice rade na principu rasporednika sa tri rasporedna pritiska, njihova tehnička rešenja su bila različita. Svi kasniji do danas razvijeni pneumatski rasporednici rade na istom osnovnom principu.

Na slici 1.7 je šematski prikazan osnovni princip rada rasporednika sa tri rasporedna pritiska. U položaju otkočivanja i punjenja, rasporedni sklop koji se sastoji od velikog klipa, klipne poluge, klizača i malog klipa, se pomoću jedne opruge drži u donjem položaju. Opruga je tako dimenzionisana da ostvaruje silu  $F_0$  koja je malo veća od otpora trenja pri pomeranju rasporednog sklopa.

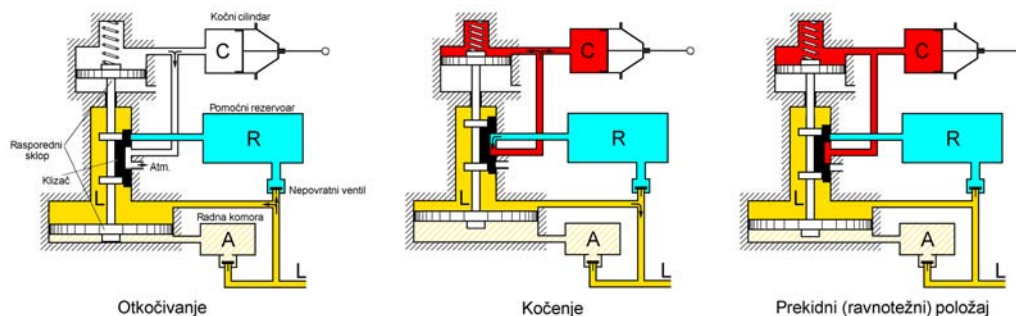
U tom položaju vazduh iz glavnog vazdušnog voda puni preko nepovratnog ventila radnu komoru - A koja je povezana sa jednom stranom velikog klipa. Zapremina radne komore je znatno veća od zapremine ispod velikog klipa pa se pritisak u tom prostoru praktično ne menja nezavisno od malog pomeranja klipa (na slici 1.7 ovaj odnos nije predstavljen realno). Istovremeno vazduh puni i prostor sa druge strane velikog klipa i preko nepovratnog ventila pomoćni rezervoar - R.

Kada je kočnica spremna za rad u ova tri prostora vlada nominalni natpritisak, koji po UIC propisima iznosi  $p_{Lo} = 5$  bara. Istovremeno je u ovom položaju kočni cilindar

---

<sup>3</sup> **Dobrivoje Božić** (1885 Raška - 1967 Beograd) je najistaknutiji pronalazač i inženjer na polju železničkog mašinstva u Srbiji. U oblasti železničkih kočnica je imao najmanje 60 priznatih međunarodnih patenata i po tome je iza Nikole Tesle i Mihajla Pupina na trećem mestu među srpskim pronalazačima. Za razliku od njih dvojice, Božić je svoje patente realizovao u zemlji, radeći i sprovodeći svoje ideje isključivo na Železnicama Kraljevine SHS. Mnoge ideje koje je razvio Božić su prvi put na železničkim kočnicama primenjene na njegovoj kočnici i mnoge od njih su postale sastavni deo svih kasnijih modernih pneumatskih železničkih kočnica.

povezan sa atmosferom, pa ako je prethodno bio napunjen, vrši se otkočivanje (slika 1.7a).



Slika 1.7 Rasporednik sa tri rasporedna pritiska

Kada se u glavnom vodu obori pritisak za  $\Delta p_L$ , poremeti se ravnoteža sila na rasporednom sklopu, pošto u radnoj komori i dalje vlada pritisak od 5 bara. Rasporedni sklop se pomera naviše, savlađujući malu silu u opruzi (slika 1.7b). Klizač u tom položaju otvara vezu od pomoćnog rezervoara - R ka kočnom cilindru - C. Pritisak  $p_c$  raste, pomera klip u kočnom cilindru, a istovremeno deluje i sa gornje strane na mali klip rasporednog sklopa. Kada taj pritisak dovoljno naraste, rasporedni sklop se vraća naniže i klizačem prekida vezu pomoćnog rezervoara i kočnog cilindra (slika 1.7c) i zaustavlja se u tom položaju. U tom trenutku je uspostavljena ravnoteža sila na rasporednom sklopu prema jednačini:

$$\Sigma F = (p_A - p_L) \cdot A_1 - p_c \cdot A_2 - F_o = 0 \text{ , odnosno:}$$

$$p_c = \frac{(p_A - p_L) \cdot A_1 - F_o}{A_2} \approx (p_A - p_L) \cdot \frac{A_1}{A_2} = \Delta p_L \cdot \frac{A_1}{A_2} \quad (1.2)$$

Ovde je:

$A_1$  - površina velikog klipa

$A_2$  - površina malog klipa

$p_A = p_{L0} = \text{const.}$

$\Delta p_L = p_{L0} - p_L$

Uticaj površine klipne poluge je u jednačini (1.2) zanemaren, pa je ona približna.

Iz jednačine (1.2) se vidi da je pritisak u kočnom cilindru približno proporcionalan padu pritiska u glavnom vazdušnom vodu, pošto je sila u povratnoj opruzi relativno mala. Izborom odnosa površina malog i velikog klipa  $A_1/A_2$  određen je koeficijent proporcionalnosti. Pošto UIC propisuje da se maksimalna sila (što znači maksimalni pritisak u cilindru) mora ostvariti obaranjem pritiska u glavnom vazdušnom vodu za 1,5 bara (sa 5 na 3,5 bara), iz jednačine (1.2) sledi da treba da bude:

$$\frac{A_1}{A_2} \approx \frac{p_{Cmax}}{\Delta p_L} = \frac{3,8}{1,5} = 2,53$$

Ako mašinovođa želi da smanji kočnu silu, dopuniće malo glavni vazdušni vod pa će biti:

$$\Sigma F = (p_A - p_L) \cdot A_1 - p_c \cdot A_2 - F_o < 0 \text{ ,}$$

## 2. Realizacija i razvoj kočne sile pneumatske kočnice

Sila kočenja pneumatske kočnice se realizuje na osovinskom sklopu, odnosno na točku na dva osnovna načina:

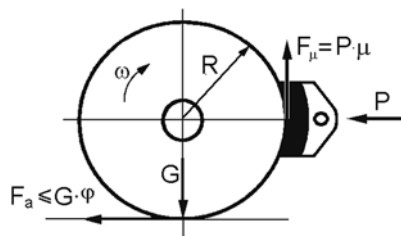
- pritiskivanjem kočne papuče na površinu kotrljanja točka
- pritiskivanjem kočnih umetaka na kočni disk smešten na osovini ili na samom točku.

### 2.1 Sile na točku prilikom kočenja

Kada se pri kočenju vazduh pusti u kočni cilindar, proizvedena sila na klipnoj poluzi se preko kočnog polužja prenosi do izvršnih organa - kočnih papuča, koje se pritiskuju direktno na oba točka osovinskog sklopa ili preko kočnih umetaka deluje na dve bočne strane kočnog diska.

Papuče mogu biti postavljene tako da na točak deluju samo sa jedne ili sa dve suprotne strane. Na slici 2.1 je predstavljen točak na koji je silom  $P$  jednostrano pritisnuta kočna papuča. Između papuče i točka pri kretanju postoji klizanje i razvija se sila trenja:

$$F_{\mu} = P \cdot \mu$$



Slika 2.1 Dejstvo kočnice sa papučom na točak

$\mu$  - je koeficijent trenja između kočne papuče i točka

U dodiru točka sa šinom deluje normalna sila oslonjene težine  $G$  i odgovarajuća sila prijanjanja (adhezije):

$$F_a \leq G \cdot \varphi \quad (2.1)$$

$\varphi$  - je koeficijent prijanjanja između točka i šine

Dokle god se točak kotrlja po šini znači da nije dostignuta granična sila prijanjanja, što je izraženo nejednačinom (2.1).

Suma momenata za osu točka daje:

$$F_{\mu} \cdot R = F_a \cdot R, \text{ tj.:}$$

$$F_{\mu} = P \cdot \mu = F_a \leq G \cdot \varphi \quad (2.2)$$

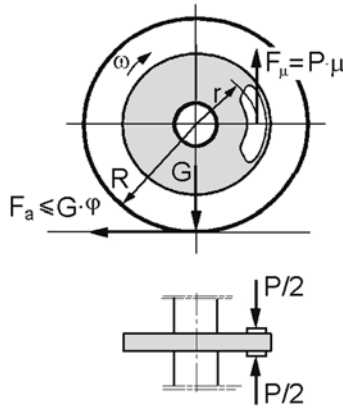
Jednačina (2.2) predstavlja uslov da ne dođe do klizanja točka po šini i ona se sa sigurnošću pri kočenju mora održavati. Ako dođe do blokiranja točka i klizanja po šini, između točka i šine deluje koeficijent trenja klizanja koji je manji od koeficijenta

prianjanja, pa je sila kočenja manja i zaustavni put duži. Istovremeno se na blokiranom točku zbog klizanja po šini napravi ravno mesto, koje po otkočivanju može izazvati veoma visoke udare točka po šini.

Iz jednačine (2.2) se može dalje definisati odnos:

$$K = \frac{P}{G} \leq \frac{\varphi}{\mu}$$

Odnos  $K$  sile pritiska na papuču  $P$  i vertikalne sile  $G$  u dodiru točak-šina se naziva kočenost. Da ne bi ni pri lošim uslovima prianjanja došlo do blokiranja točka, kod kočnice sa papučom od sivog liva se preporučuje da kočenost ne pređe 0,75.



Slika 2.2 Dejstvo disk- kočnice na osovinski sklop

U slučaju kočenja sa disk-kočnicom, sile na osovinskom sklopu su prikazane na slici 2.2. Sila kočenja se ostvaruje pritiskom kočnih umetaka na disk montiran na osovini i deluje na radijusu  $r < R$ , pa uslov da ne dođe do blokiranja točkova glasi:

$$P \cdot \mu \cdot r \leq G \cdot \varphi \cdot R$$

Kočenost se u ovom slučaju definiše kao:

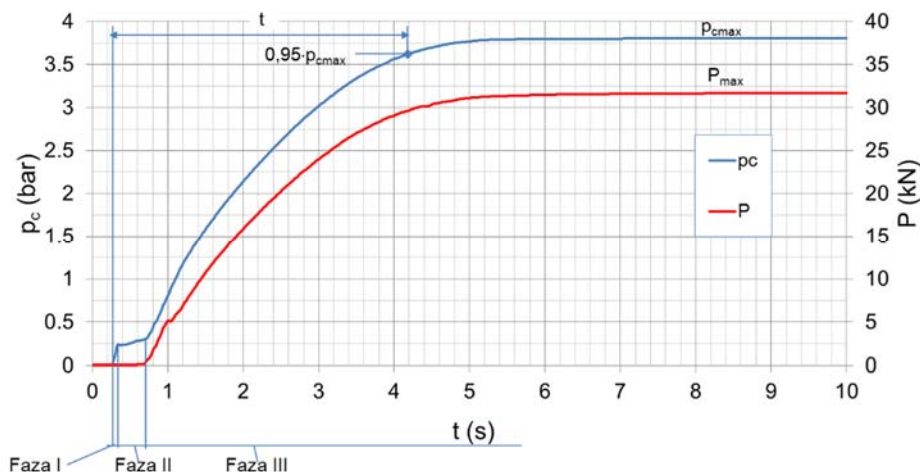
$$K = \frac{P \cdot r}{G \cdot R} \leq \frac{\varphi}{\mu}$$

Za slučaj standardne disk kočnice kod putničkih vagona kočenost ne treba da pređe vrednost 0,4.

## 2.2 Razvoj kočne sile

Kada počne punjenje kočnog cilindra kočna papuča je odmaknuta od točka za  $\delta = 5 \div 10$  mm. Kod disk kočnice je to rastojanje manje,  $3 \div 5$  mm. Na slici 2.3 je prikazan porast pritiska u kočnom cilindru -  $p_c$  i porast sile pritiska na kočnu papuču  $P$  izmeren pri zavođenju brzog kočenja [17]. Na slici su označene i karakteristične faze. U prvoj fazi je potrebno porastom pritiska u kočnom cilindru savladati trenje klipa o cilindar, silu povratne opruge i trenje u zglobovima kočnog polužja. Kod kočnice sa papučom za to

je tipično potreban natpritisak u kočnom cilindru 0,2 ÷ 0,5 bara, a u konkretnom slučaju predstavljenom na slici je to oko 0,25 bara.

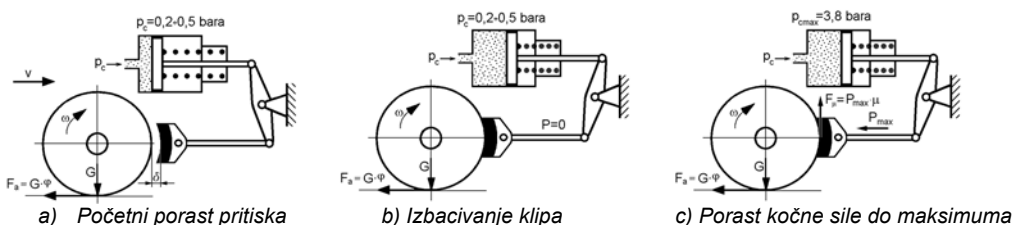


Slika 2.3 Pritisak u kočnom cilindru i sila pritiska na kočnu papuču

Na slici 2.4 a) je šematski predstavljen položaj kočnog polužja u fazi I.

Po savladavanju trenja u fazi II se klip izbacuje do naleganja kočnih papuča na točak (slika 2.4 b), pri čemu pritisak gotovo ne raste. Tek pošto papuča dodirne točak, počinje faza III brzog porasta sile pritiska na papuču pa time i sile kočenja, kako se može videti na slici 2.3. Ekspanzija vazduha pri kočenju iz pomoćnog rezervoara u kočni cilindar ima takav karakter, da se pred kraj sve više usporava porast pritiska, pa je teško ustanoviti tačan trenutak kada je dostignut maksimalni pritisak u kočnom cilindru ( $p_{Cmax}$ ). Prema UIC propisima  $p_{Cmax} = 3,8 \pm 0,1$  bar (videćemo kasnije da u nekim posebnim slučajevima tolerancija može biti i šira).

Kao jedan parametar kočnice se koristi vreme razvoja pritiska u kočnom cilindru, koje se meri od trenutka početka porasta, do trenutka dostizanja 95% od maksimalnog pritiska u kočnom cilindru ( $t$  na slici 2.3). Ovakva definicija je odabrana pošto se trenutak postizanja 95% od  $p_{Cmax}$  može mnogo preciznije odrediti iz snimljenih dijagrama promene pritiska, nego trenutak dostizanja  $p_{Cmax}$ .



Slika 2.4 Faze razvoja kočne sile

Po naleganju papuča na točak, sa porastom sile dolazi do malih elastičnih deformacija kočnog polužja, tako da se klip dalje minimalno pomera, samo koliko odgovara tim deformacijama.

Za kočenje vozova postoje dva osnovna režima:

P - od nemačkog Personenzugbremse - kočnica putničkog voza i

Ako dođe do iskliznuća, na masu  $m_v$  ventila 6 deluje inercijalna sila  $F^{in} = m_v \cdot a$ . Pri vertikalnim udarima sa ubrzanjima između 6,5-g i 11,5-g se savlada sila opruge – 7. Pri horizontalnim udarima sa ubrzanjima između 20-g i 30-g ovaj ventil se na kratko zakrene oko zgloba i delimično otvori. Vazduh tada ulazi u prostor iznad klipa – 6 i pritiskuje ga naniže i odvaja ventil sa sedišta – 8.

Vazduh dalje izlazi u atmosferu preko prigušnice – 9, čime se iznad klipa 10 pritisak obara dovoljno da na njemu usled razlike pritisaka nastane dovoljna sila za savladavanje sile opruge ventila – 4. Otvaranjem tog ventila se glavni vazdušni vod brzo prazni kroz kanala 10 u atmosferu, preko otvora prečnika 19mm. Pokazivač aktiviranosti – 11 se pri tome izbacuje iz kućišta detektora. Vraćanje pokazivača je ručno.

U toku dejstva detektora deo vazduha koji izlazi u atmosferu kroz prigušnicu – 9 se nadoknađuje preko prigušnice - 3 sve dok pritisak u glavnom vazdušnom vodu ne padne ispod 0,4 bara, kada se najpre zatvori ventil - 8 a onda i ventil - 4.

Slika 3.32 prikazuje detektor iskliznuća montiran na grudnoj gredi vagona



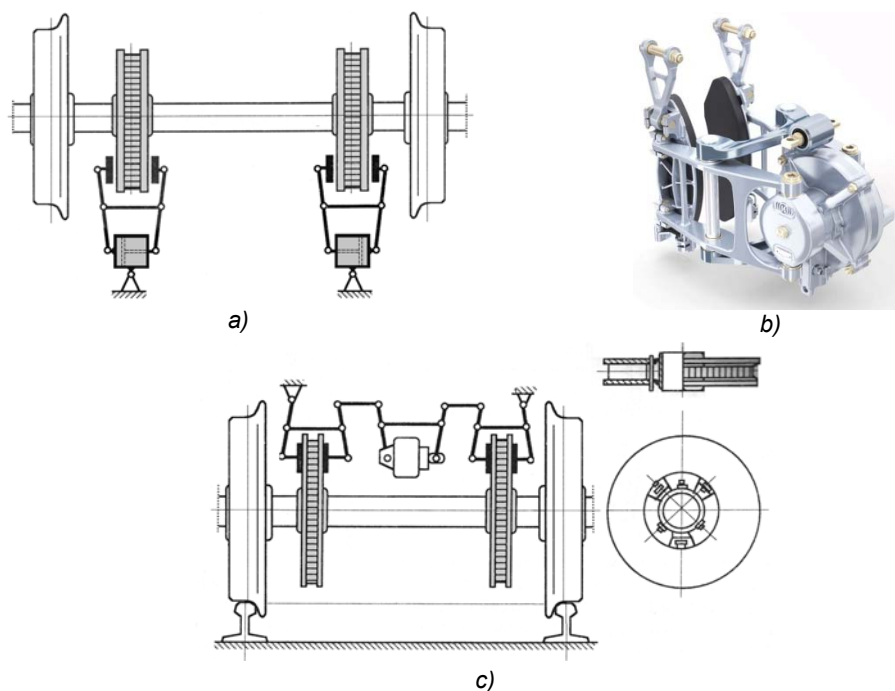
Slika 3.32 Detektor iskliznuća na vagonu

## 4. Disk-kočnica

Primena kočnice sa papučama za putničke vagone je zbog termičkog preopterećenja i opasnosti od pucanja točka ograničena na brzine do 160 km/h. Kod disk kočnice se toplota od kinetičke energije voza više ne pretvara u toplotu na točku nego na disku, što je omogućilo da se tehnički ovlada i kočenjem iz većih brzina. Naravno i disk-kočnica ima svoju granicu termičkog opterećenja ali su eventualna termička oštećenja na disku daleko manje opasna nego pucanje točkova usled zaostalih napona izazvanih termičkim opterećenjem pri kočenju kočnim papučama. Disk kočnica može da se primeni i kod teretnih vagona, posebno za velika osovinska opterećenja i brzine 120km/h ili više. Veća cena disk kočnice je razlog što se one još vrlo malo koriste na teretnim vagonima.

### 4.1 Konstrukcija disk-kočnice

Disk-kočnica je danas standardno rešenje za putničke vagone. Najčešće se dva diska montiraju na osovinu između točkova (šema na slici 4.1). Međutim kod gradskih vozova koji imaju brzine do 100 km/h moguće je i sa jednim diskom po osovini zadovoljiti kočne potrebe. Sa porastom brzine i osovinskog opterećenja broj diskova raste do 4 po osovini. Više od 4 diska fizički nije moguće smestiti između točkova vozila normalnog koloseka, slika 4.2.

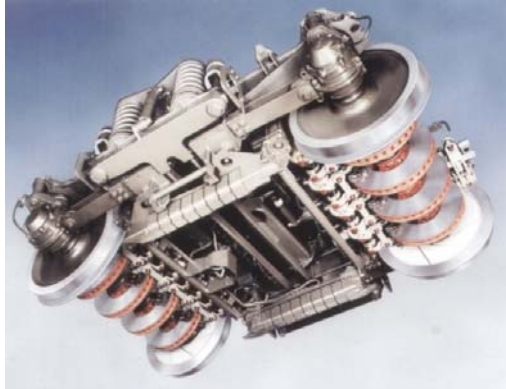


Slika 4.1 Osovina sa dva diska

Pošto je kočno polužje jednostavnije nego kod kočnice sa papučama, zazor između kočnog umetka i diska je 2 do 5 mm. Zahvaljujući tome kočni cilindri za disk kočnicu imaju manji hod i manjih su dimenzija. Danas se najčešće primenjuje jedan mali kočni

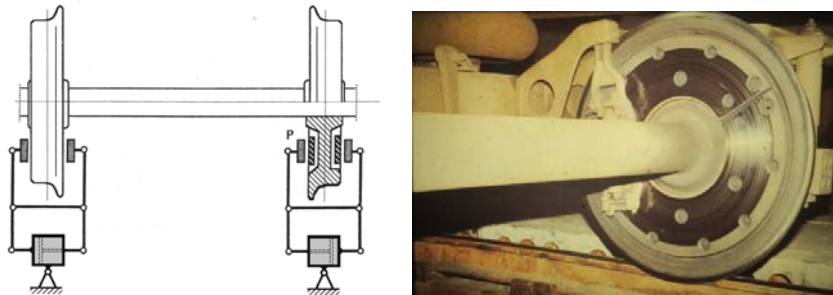


cilindar na svaki disk (slika 4.1a). Slika 4.1b prikazuje izgled jedne kočne jedinice za taj slučaj [33]. Nju čini kočni cilindar, kočno polužje i kočni umeci. Moguće je upotrebiti i jedan kočni cilindar na dva (slike 4.1c i 4.3) ili na sva četiri diska jednog obrtnog postolja. U tom slučaju je potreban veći kočni cilindar.



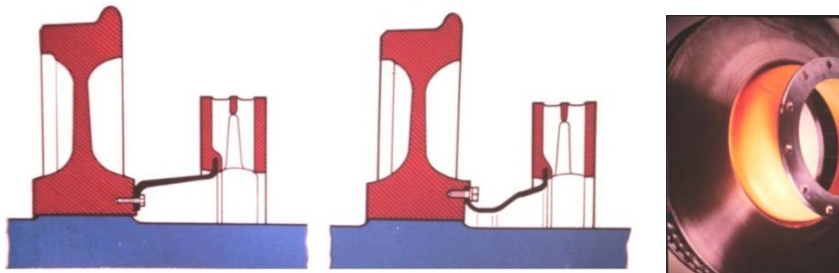
Slika 4.2 Osovina sa četiri diska

Kod vučnih vozila, zbog smeštanja pogonskog motora i pogonskih zupčanika, po pravilu na osovini nema mesta za diskove, pa se oni smeštaju na točku (šema na slici 4.3). Disk se tada sastoji od dve polovine koje se vijcima sastavljaju i montiraju sa obe strane tela točka. Između tela točka i diska postoji vazdušni prostor čime se točak štiti od zagrevanja, a strujanje vazduha hladi disk.



Slika 4.3 Disk montiran na točak

Postoje i druge varijante montiranja diskova, kao što je montiranje preko prirubnice na točak, slika 4.4.



Slika 4.4 Disk sa prirubnicom na točku

## 11. Kočenje kompozicije u eksploataciji

U eksploataciji se moraju izvršiti određene provere i utvrditi da li su ispunjeni potrebni zahtevi u pogledu kočenja voza, posle njegovog sastavljanja, a pre polaska.

### 11.1 Uslovi za kočenje vozova u međunarodnom saobraćaju

Prilikom sastavljanja kompozicije u međunarodnoj eksploataciji u pogledu kočenja se moraju zadovoljiti određeni uslovi prema propisima IRS [65, 18, 66]. Ovi uslovi omogućavaju pouzdanost kočenja i ograničenje uzdužnih dinamičkih sila u kompoziciji na prihvatljiv nivo.

Svi vagoni u kompoziciji moraju biti sposobni za maksimalnu brzinu voza. Prvi i poslednji vagon u kompoziciji uvek moraju imati ispravnu i uključenu kočnicu, kako se u slučaju raskidanja kompozicije ne bi dogodilo da krajni vagoni u kompoziciji ostanu nekočeni. U ostalom delu kompozicije pojedini vagoni mogu biti nekočeni, ali se za celu kompoziciju mora ostvariti najmanje minimalni potreban procenat kočne mase.

Za svaku kompoziciju se određuje stvarni procenat kočne mase koji mora da bude veći od minimalnog procenta kočne mase koji se za svaki voz propisuje u službenom redu vožnje. Minimalni zahtevani procenat kočne mase zavisi pre svega od vrste voza (putnički ili teretni), maksimalne brzine za svaki voz, ali i od specifičnih uslova na određenoj pruzi kao što je dužina postojećih zaustavnih puteva, imajući u vidu i maksimalne nagibe pruge i eventualno druge specifičnosti (često duvanje vetra ili slično).

Železničko osoblje obavlja probu kočnica opisanu u sledećem odeljku i utvrđuje procenat kočne mase. Kao prvo, određivanje procenta kočne mase podrazumeva da se pri prolasku pored kompozicije za svaki vagon utvrdi i zapiše njegova masa. Kod teretnih vagona ona zavisi od stepena natovarenosti i zapisana je na listicama koje se po tovaranju postavljaju na svaki vagon. Kod putničkih vagona se uzima masa vagona + paušalna masa putnika, koja zavisi od vrste vagona (spavaća kola, kušet kola, kola 1. razreda, kola 2. razreda...) iznosi od 2 do 6 t i zajedno sa masom vagona je ispisana na svakom putničkom vagonu.

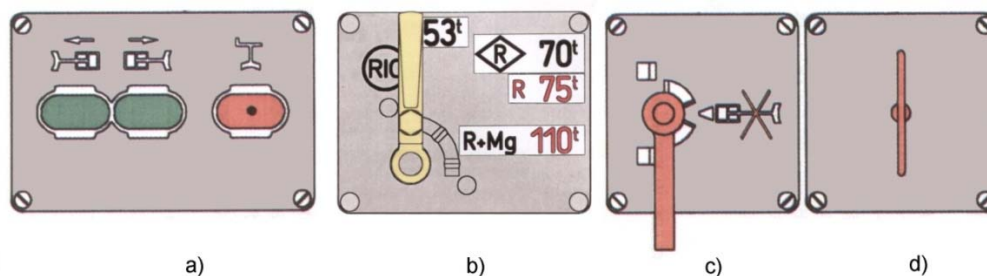
Kao drugo, popisuje se kočna masa ispisana na svakom vagonu zavisno od uključenog režima kočenja (G, P, R...). Kod teretnih vagona sa menjačem "prazno-tovareno" proverava se da li je ručica ispravno postavljena (ispod prekretnice u položaj "prazno", iznad prekretnice u položaj tovareno) i zavisno od položaja se beleži kočna masa koja je ispisana uz taj položaj (vidi slike 3.9 i 11.1).

Kod vagona sa kontinualnim automatskim prilagođavanjem sile kočenja težini (režim SS ili S2), kočna masa je jednaka stvarnoj masi vozila, što odgovara minimalnom propisanom procentu kočne mase za takve vagone od 100%, sve do maksimalne kočne mase ispisane na vozilu. Ispisana kočna masa je maksimalna kočna masa koju kočnica sa automatskim prilagođavanjem kočne sile težini može da postigne i koja je određena ispitivanjem prototipa vagona. (Kako je objašnjeno u poglavlju 7.2 propisana su određena ograničenja maksimalne kočne mase).

Za teretni voz u režimu G uzimaju se kočne mase ispisane za režim P. Međutim, u slučaju vozova u LL režimu gde se lokomotiva i prvih pet vagona koče u G režimu a

ostatak kompozicije u P režimu, kočna masa lokomotive i vagona u G režimu se umanjuje množenjem sa 0,75.

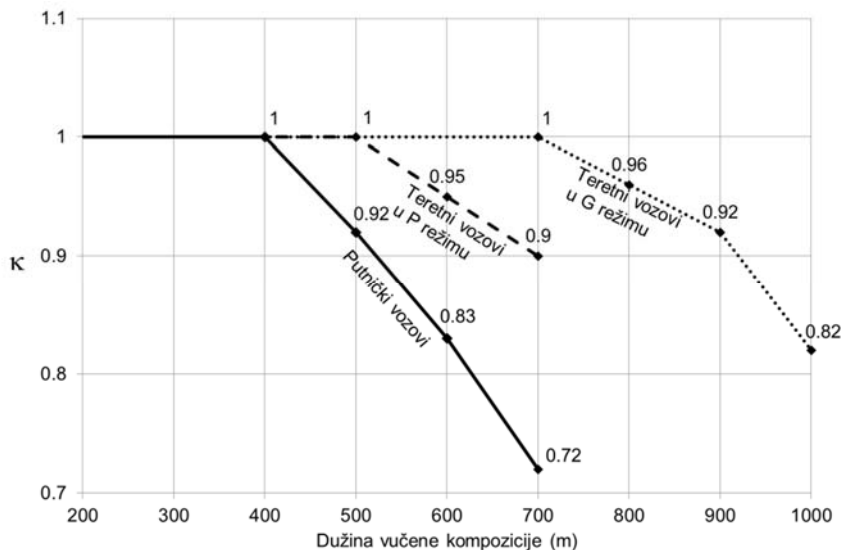
Kod putničkih vagona je kočna masa ispisana uz ručicu menjača režima kočenja. Na slici 11.1b je prikazan izgled menjača koji se nalazi sa obe bočne strane vagona. Položaj RIC je ekvivalentna oznaka za P režim. Uz oznaku R u rombu je kočna masa koja se koristi ako je ručica u tom položaju. Crvena oznaka R daje kočnu masu samo kada je uključen brzač pražnjenja glavnog vazdušnog voda. Ta kočna masa se po pravilu ne koristi, pošto brzač radi samo pri brzom kočenju, koje se u normalnoj eksploataciji ne koristi već samo u slučaju opasnosti. U položaju R+Mg je uključena i Mg kočnica. I ta kočna masa je informativna, pošto se Mg kočnica takođe koristi samo u slučaju brzog kočenja, pa je i u tom položaju za procenat kočne mase merodavna kočna masa uz R u rombu, ispisana crnom bojom.



Slika 11.1 Primer ručica i pokazivača kočnice putničkog vagona

Kočna masa se uzima u obzir samo za vagona na kojima je kočnica uključena.

Ukoliko se u eksploataciji koriste putničke kompozicije duže od 400 m, teretne kompozicije u režimu P duže od 500 m i teretne kompozicije u režimu G duže od 700m, ukupna kočna masa kompozicije, odnosno procenat kočne mase se mora umanjiti množenjem koeficijentom  $\kappa$  (kapa) datim na slici 11.2 .



Slika 11.2 Koeficijent smanjenja procenta kočne mase za izuzetno dugačke kompozicije

Koeficijentom  $\kappa$  se uzima u obzir uticaj probojne brzine na zaustavni put u kompozicijama koje su duže od kompozicija koje se pretpostavljaju u postupku ispitivanja kočnica.

Procenat kočne mase za kompoziciju se na osnovu zbira kočnih masa svih uključenih kočnica i zbira masa svih vozila u kompoziciji (uključujući i masu vozila sa isključenom kočnicom) dobija kao:

$$\lambda_{\text{voza}} = \frac{\sum B_i^{\text{uklj}}}{\sum m_j^{\text{svi}}} \cdot \kappa \cdot 100$$

Da bi kompozicija smela da krene mora da bude:

$$\lambda_{\text{voza}} \geq \lambda_{\text{potrebno}},$$

gde je  $\lambda_{\text{potrebno}}$  minimalni zahtevani procenat kočne mase propisan prema redu vožnje za taj voz.

U tabeli 11.1 su data ograničenja koja važe **za putničke kompoziciju** bez lokomotive. Normalna granica se može primenjivati bez posebnih formalnosti. Maksimalna granica se ne sme prekoračiti, a kompozicije između tih granica zahtevaju dodatna odobrenja.

Tabela 11.1 Ograničenja za putničke kompozicije bez aktivnih lokomotiva

	Normalna granica	Maksimalna granica
Broj vagona	14	16
Broj osovina	56	64
Masa kompozicije (t)	700	800
Dužina kompozicije (m)	370	430

Načelno, UIC propisi određuju minimalni potreban procenat kočne mase putničkih vozova prema tabeli 11.2. Za pojedine pruge upravljači infrastrukture mogu propisati za pojedine vozove po potrebi i veće minimalne procenat kočne mase od onih koje kao minimum definišu UIC propisi i te vrednosti se unose u službene redove vožnje.

Tabela 11.2 Potrebni minimalni procenti kočene mase za putničke vozove

Maksimalna brzina voza (km/h)	Minimalno potreban procenat kočne mase (%)
manje od 100	105
100 do 120	110
121 do 140	130
više od 140	150

Kod **teretnih vozova**, dužina kompozicije bez aktivnih lokomotiva normalno ne sme preći 700m. Kvačila između vagona moraju biti lagano nategnuta, kako bi se izbegao zazor koji je nepovoljan za nastanak uzdužnih trzaja u kompoziciji. Za vozove u SS režimu ( $v_{\text{max}}=120$  km/h) vagoni smeju biti tovareni samo do granice tovarjenja dozvoljene za taj režim.