

# ДОПРИНОС ДОБРИВОЈА С. БОЖИЋА РАЗВОЈУ КОЧНИЦА ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ВОЗИЛА

Драган Петровић<sup>1</sup>, Милан Бижић<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу,  
Доситејева 19, 36000 Краљево, petrovic.d@mfkv.kg.ac.rs

<sup>2</sup> Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу,  
Доситејева 19, 36000 Краљево, bizic.m@mfkv.kg.ac.rs

**Резиме:** У раду је дат кратак приказ развоја железничког саобраћаја у свету и код нас. Посебна пажња је посвећена кочењу железничких возила. Наведени су проблеми који су постојали у кочењу железничких возила до појаве иновација Добривоја Божића. Описано је Божићево решење, као и његов значај и утицај на развој пнеуматских система кочења железничких возила. Божић је први у свету на посве новој основици применио тропритисни распоредник у кочном систему железничких возила чија је главна карактеристика могућност постепеног откочивања. Тиме је допринео бржем, сигурнијем и квалитетнијем развоју и железничких возила и целокупног железничког саобраћаја. Дуго година о овом научнику није било говора, тако да је наша а и светска јавност била ускраћена за спознају праве вредности његовог дела. Циљ овог рада је да бар домаћој научно-стручној јавности приближи генијална техничка остварења инжењера Добривоја Божића из области кочења железничких возила.

**Кључне речи:** Железница, развој, кочница.

## 1. УВОД

Почетак и развој железничког саобраћаја уско је везан са највећим техничким достигнућима човечанства. Од свога настанка човек је настојао да на што лакши и бржи начин савлада удаљеност између два места. У почетку, терет се преносио снагом мишића, на рукама и леђима, а касније на носилима или коришћењем запрежне вуче. Тешки предмети су преношени котрљањем преко дрвених ваљака (балвана) (слика 1). Ваљак је у ствари претеча точка.

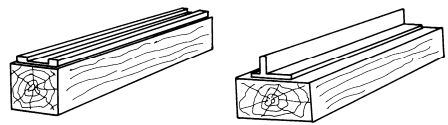


Слика 1. Транспорт терета помоћу балвана

Даљим развојем увидело се да је непотребно користити површину котрљања по целој дужини ваљка, већ је треба заменити са два точка која су међусобно повезана осовином. Проналазак точка доводи до револуционарног преображаја копног саобраћаја. Грађени су макадамски путеви који су омогућавали лакше кретање дрвених кола са точковима и запрежном вучом. Развоју технике у том периоду највише је допринела експлоатација руде. Дрвена кола (слика 2а) натоварена рудом лакше су се кретала по дрвеним шинама (слика 2б) него по макадамским путевима.



Слика 2а. Дрвена кола за превоз руде из XVII века



Слика 2б. Разни облици дрвених шина

Касније су дрвени точкови и шине због смањења хабања, облагани металним оплатама (слика 3а), све док их у потпуности нису замениле челичне конструкције (слика 3б).



Слика 3а. Дрвени точкови обложени металним оплатама



Слика 3б. Метална кола за превоз руде

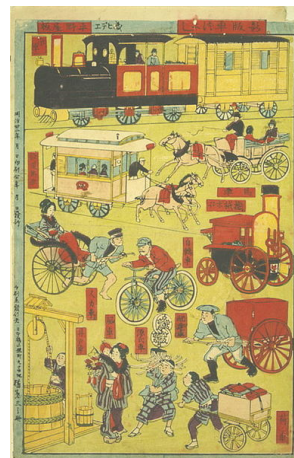
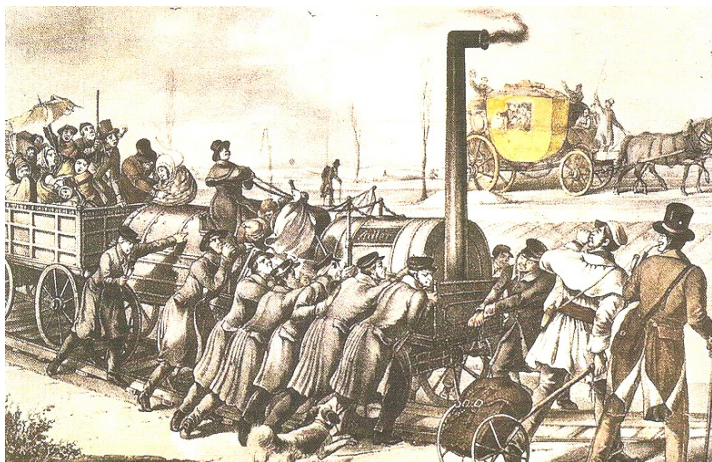
Године 1602. француски инжењер Бомон, који је радио у енглеским рудницама, конструисао је нови тип кола која су имала и примитиван уређај за кочење. Ова кола је назвао “Вагон“. Изумом парне машине 1782. године, шкотски изумитељ Џејмс Ват (James Watt) је покренуо нову еру у индустријализацији, посебно у

развоју саобраћаја. XIX век је донео велике промене међу којима и појаву парних возила на друму. Развој железничког саобраћаја не може се одвојити од успеха првог парног возила на шинама које се појавило 1804. године, конструкције Ричарда Тревитика (Richard Trevithick) (слика 4). Ово возило је вукло вагоне натоварене теретом масе од 10 тона и 60 људи, а кретало се брзином од око 10 km/h, при чему га је Тревитик назвао „Invicta” (Непобедива).



Слика 4. Прво парно возило на шинама „Invicta”- (Непобедива), које је конструисао Р. Тревитик 1804. године

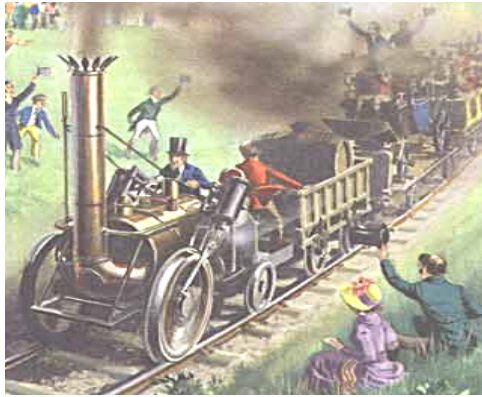
Током деветнаестог века, у скоро целом свету, железнице брзо мењају постојеће мреже дилижанси (слика 5). Железнички саобраћај, у том периоду великих географских открића и индустријских револуција, постаје пресудан за развој привреде и друштва целог света.



Слика 5. Дилижансе и железница на сликама из деветнаестог века

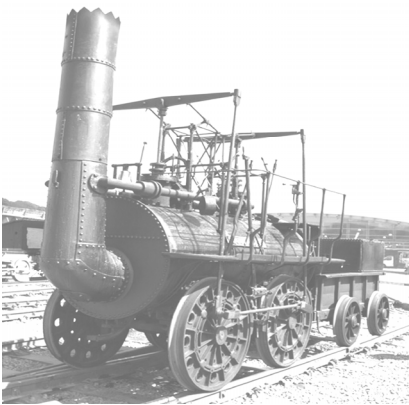
Прва пруга намењена јавном железничком саобраћају саграђена је 1825. у Енглеској на релацији од угљенокопа Дарлингтон до пристаништа Стоктон.

Џорџ Стивенсон (George Stephenson) је, сем учешћа у изградњи пруге, исте године изградио парну машину која је вукла 22 путничка и 12 теретних вагона и кретала се просечном брзином од 15 km/h, коју је назвао „Locomotion“ (слика 7а). Стивенсон је лично возио ову машину која није била опремљена ни кабином ни местом за машиновођу (слика 6). Стивенсон је био неписмен до своје деветнаесте године, а што се тиче технике био је самоук [1]. Због великих успеха у развоју, 1825. година се сматра као почетак организованог железничког саобраћаја, а назив „Локомотива“ ушао је у званичну употребу [4].

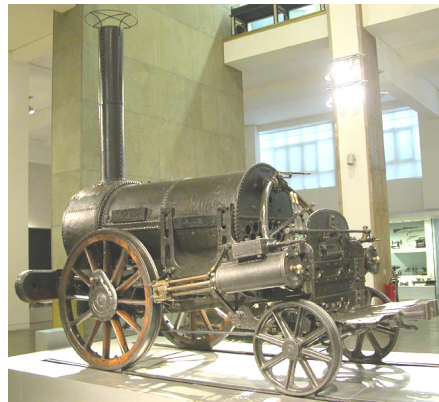


Слика 6. Почетак железничког саобраћаја 1825. (уметничка слика)

Многобројни недостаци и технолошки развој учинио је да се „Locomotion“ убрзо претвори у застарелу и несигурну конструкцију. Наиме, прва железничка несрећа догодила се 1828. када је експлодирао котло „Locomotion“-а, при чему је погинуо машиновођа.



а) „Locomotion“



б) „Rocket“

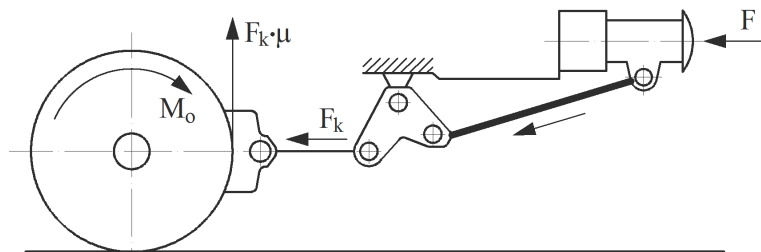
Слика 7. Музејски експонати Стивенсонових локомотива

Знатан напредак постигао је 1827. године, француз М. Сеген проналаском котла са цевима. Две године касније (1829.) Џ. Стивенсон је применио тај поступак у својој чувеној локомотиви „Rocket“ (слика 7б), која се кретала, за то време невероватном брзином од 47 km/h.

Прва редовна железничка линија Ливерпул – Манчестер за превоз путника отворена је 1830. године. Од тада се железнички саобраћај ширио великом брзином свуда у свету.

Ограничавајући фактор за даљи, још бржи, развој железничког саобраћаја представљао је нерешени проблем кочења. То је био главни разлог за немогућност постизања већих брзина и већих маса терета и броја путника који би могао да се превезе железницом. И поред великих напора, на задовољавајуће решење кочења железничких возила, чекало се још наредних сто година.

У почетку се кочење на железници обављало ручно. Ручним кочницама називамо оне код којих кочну силу производи снага мишића кочничара посредством ручице, точка или полуге. Чак се и Стивенсон није задовољавао ручним кочењем и од почетка железничког саобраћаја сво знање и време је утрошио на стварање аутоматског система кочења. Зато је кочно полужје спојио са одбојним уређајима (слика 8). При сабијању одбојника кочно полужје би притискивало кочне папуче на тачкове вагона. Иако интересантно и једноставно решење, ову кочницу није било могуће аутоматизовати, тако да се одустало од даљег развоја ове идеје и настао је период у коме су се јављала многа решења, али ниједно није било значајно боље од постојећег, па се није могло одржати.



Слика 8. Принциуска схема Стивенсовог система кочења

Упркос још увек нерешеном проблему кочења, пола века после појаве парних локомотива почео је развој електричних локомотива, а нешто касније и локомотива погоњених моторима са унутрашњим сагоревањем. Прве електричне локомотиве направљене су у Немачкој 1879. и Америци 1880. године. Појавом дизел мотора 1897. године, кога је конструисао немац Рудолф Дизел (Rudolf Christian Karl Diesel), почео је развој дизел локомотива. Већ од тада почиње бескомпромисна трка парне, дизел и електро вуче (слика 9). Иако конструисане пре дизел, електричне локомотиве су имале спорији развој све до краја другог светског рата. У односу на дизел, електро вуча је еколошки прихватљивија, зато што мање загађује животну средину и у погледу издувних гасова и у погледу буке. Због тога је крајем двадесетог и почетком двадесет првог века све веће финансијско улагање у изградњу и електрификацију железнице. Данас је електро-вуча најраспрострањенија, нарочито када се ради о возовима великих брзина.

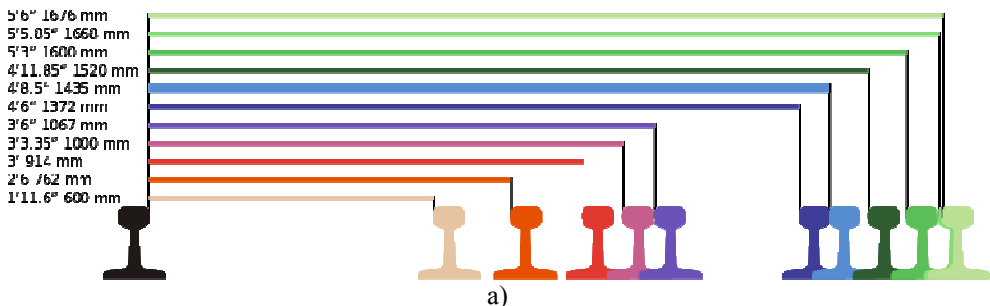
Постигнуто повећање снаге и брзине локомотива, почетком двадесетог века, није могло да омогући видљивији резултат без решења ефикаснијег кочења железничких возила.

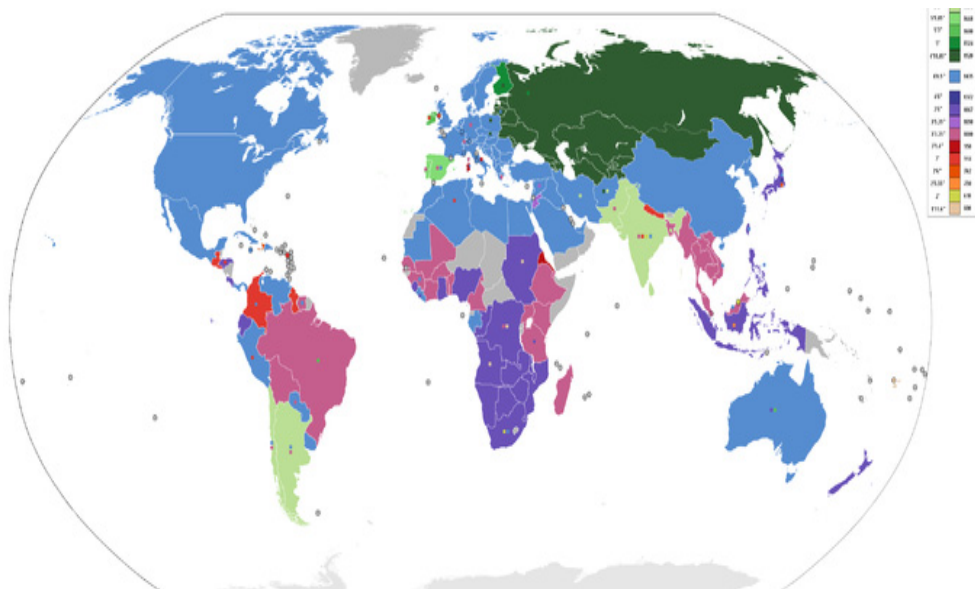


Слика 9. Трка локомотива различитих погона (поштанска марка из Сједињених Америчких Држава с краја 19. века)

Упоредо са развојем и усавршавањем конструкција железничке технике текла је и стандардизација како техничких решења возила, тако и инфраструктуре, али и целокупног железничког саобраћаја. Ово је било неопходно зато што железнички саобраћај повезује удаљене градове и државе, па чак и континенте. Поред много добрих и корисних карактеристика, железнички саобраћај је омогућавао и експлоатацију и окупацију до тада незамисливих размера. Зато су неке државе, сходно својим интересима, намерно отежавале слободан проток железничког саобраћаја и одступиле од неких стандардних димензија, као што је нпр. ширина колосека. Под ширином колосека подразумева се нормално растојање између унутрашњих страна глава шина (слика 10а). Уместо као у скоро целој Европи, стандардне ширине колосека 1435 mm, усвојене су неке друге ширине колосека, нпр:

- уски колосек – ширине 600 mm, 610 mm, 750 mm, 760 mm, 1000 mm, 1067 mm (Јапан, Индонезија, Јужна Африка)
- нормални колосек – 1435 mm (Србија и већи део светских колосека - слика 10б), 1445 mm, 1448 mm
- широки колосек – 1524 mm (државе бившег СССР-а, Финска), 1600 mm (Ирска, Бразил), 1667 mm (Индија, Пакистан, Малезија), 1676 mm (Шпанија, Португалија, Аргентина, Чиле итд.)





б)

Слика 10. Ширине колосека у свету

## 2. ПОЧЕТАК РАЗВОЈА ЖЕЛЕЗНИЧКОГ САОБРАЋАЈА У СРБИЈИ

Потписивањем Берлинске конвенције 1878. године, Србија се обавезала да ће изградити железничку пругу на релацији Београд – Ниш – Врање, што је практично представљало спајање два царства, турског и аустроугарског. Међутим, оно што је још значајније је да је пруга Београд – Ниш представљала деоницу планиране пруге Берлин – Беч – Будимпешта – Београд – Ниш – Софија – Истанбул – Багдад. Ово би омогућило Немачкој приступ значајним налазиштима нафте, што није одговарало другим великим силама. Завршетак те деонице означава и почетак постојања српских железница. Свечани воз прошао је првом српском пругом 4. октобра 1884. године, а након једанаест дана почео је и званичан редован саобраћај на релацији Београд – Ниш.

За изградњу пруге Београд – Ниш, уговорена је (без јавног позива!) такозвана Бонтуова концесија, из које се већ у првом додиру са крупним западним капиталом изродила једна од највећих новчаних афера у српској историји. Инспирисан догађајима пада Бонтуове (Pol Ežen Bontu) Генералне уније за грађење и експлоатацију железнице, чак је и Емил Зола написао роман Сребро. Пропаст Бонтуове Генералне уније повукла је за собом и пад француске владе. У вези ове концесије проф. Слободан Јовановић је написао: “Кварење наших политичких нарави почело је одмах под утицајем страног злата” [3].

Локомотива „Милан“ је прва локомотива на Балкану (слика 11) која је ручно израђена 1882. године. Име је добила по тадашњем краљу Србије Милану Обреновићу [2]. Локомотива „Милан“ или „N<sup>o</sup>1“, произведена је у руднику „Мајданпек“. Најстарија парна локомотива саграђена за пругу ширине 600 mm, радила је на индустријској прузи у Мајданпеку. Кретала се брзином од 20 km/h. Сачувана је и налази се у железничком музеју у Пожеги.



Слика 11. Парна локомотива „Милан“

### 3. КОЧЕЊЕ ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ВОЗИЛА

Кочни систем железничких возила врши регулисање брзине кретања, успоравање и заустављање воза. Чињеница да је одавно позната шала да железничке композиције „могу брже да се крећу узбрдо него низбрдо“ говори о величини техничког проблема безбедног кочења променљиве масе (празан – товарен) од неколико хиљада тона. Као и код конструкција локомотива, вагона и колосека, још крајем деветнаестог века, настала је трка и у конструкцији кочнице железничких возила.

У почетку развоја железничких возила, сила кочења се мењала ручно, а након тога је Американац Џорџ Вестингхаус крајем деветнаестог века конструисао ваздушну (пнеуматску) кочницу. Била је то кочница са директним дејством. Приликом кочења ваздух се пуштао у главни вод, док је при откоченом положају у воду владао атмосферски притисак. При раскидању воза није могло наступити аутоматско кочење, те уз друге недостатке ова кочница није одговарала основним захтевима добре и сигурне кочнице. Уз Вестингхаусову кочницу, у Америци су се такмичила још четири техничка решења кочнице. Ова конкуренција омогућила је добијање савршеније форме и распрострањање Вестингхаусове кочнице како у Америци тако и у Европи. У Европи се кочница Вестингхаус употребљавала једино за путничке возове. До првог светског рата теретни возови у Европи били су кочени ручно.

Поред Вестингхауса у Америци су Смит, а у Европи Харди (Hardy) пројектовали кочнице са разређеним ваздухом (вакуумске кочнице). Након Вестингхаусове кочнице, у Немачкој се појавило неколико варијанти кочнице као што су: Кунце-Кнор, Хилдебранд-Кнор, а у Швајцарској Шармиј, Drolshamer, итд. Све те кочнице су радиле на принципу стандардног распоредника са два притиска и нису на задовољавајући начин решавале уочене недостатке.

Идеју о кочницама са три распоредна притиска патентирао је 1892. године Енглеz Хамфри (Humpfrey). Идеја је остала само на папиру и никада није практично остварена.

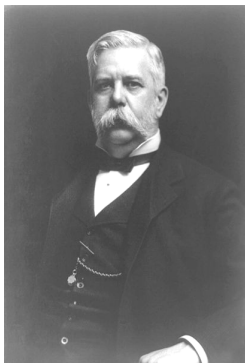
Док су Watt, Trevithick, Stephenson, Diesel и остали изумитељи, својим проналасцима ставили возове у покрет, дотле су Westinghouse, Smith, Hardy,



Kunce, Knorr (слика 12), а и многи други, развијали кочнице железничких возила, које су до појаве Добривоја Божића имале огромне недостатке.



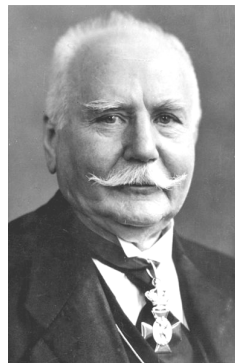
George Stephenson



George Westinghouse



Georg Knorr



Bruno Kuncce

Слика 12. Заслужни изумитељи за развој железнице

Главни недостаци тадашњих кочница железничких возила су се огледали у следећем:

- При раскидању воза није наступало аутоматско кочење оба дела воза.
- Долазило је до исцрпљивања кочнице на дужим падовима колосека, односно кочница је губила своју снагу.
- Није постојала аутоматизација силе кочења у зависности од степена товарења воза.
- Није постојала аутоматизација силе кочења у зависности од брзине кретања воза.
- Пробојна брзина кочног система воза је била недопустиво мала (максимално 80 m/s).
- Блокирање точкова је била честа појава.

Ови недостаци ограничавали су брзину кретања и отежавали коришћење железнице у већем обиму. Услед несавршености кочница долазило је до честих удеса и застоја железничког саобраћаја. Због блокирања точкова при кочењу, нарочито је било изражено често клизање точкова по колосеку, продужетак зауставног пута и настајање „равних места“ на точковима возила, а самим тим и оштећење и возила и колосека.

### 3.1. Кретање железничких возила

У циљу што јаснијег објашњења значаја Божићевог решења, потребно је анализирати основне ставке кретања воза. Осим геометријско – конструкционих карактеристика возила и колосека, на кретање железничке композиције – воза (слика 13), утичу:

- укупна маса воза,
- силе (вучне силе, силе отпора, кочне силе) које током кретања делују на воз.



Слика 13. Железничка композиција – воз

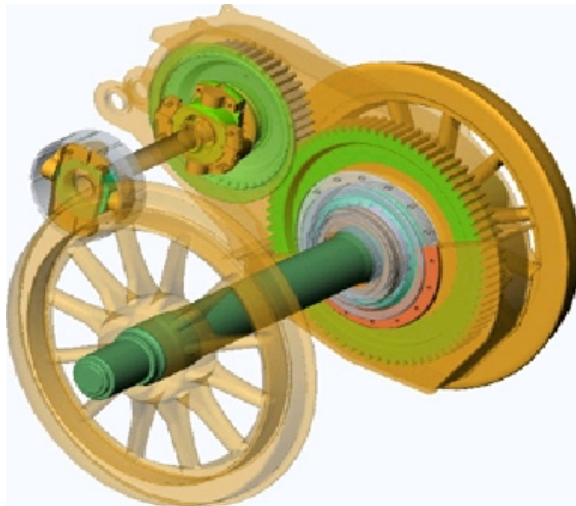
За покретање воза, за промену брзине његовог кретања и за заустављање неопходне су следеће спољашње силе:

- $F_V$  - вучна сила,
- $F_K$  - кочна сила и
- $W$  - силе отпора.

Резултујућа сила кретања воза  $F_r$  зависи од односа вучне силе  $F_V$ , кочне силе  $F_K$  и отпора кретању  $W$ . У зависности од тих односа кретање воза остварује се у три режима:

- $F_r = F_V - W$  - кретање са вучном силом,
- $F_r = -W$  - кретање без вучне силе,
- $F_r = -F_K - W$  - кретање са кочном силом.

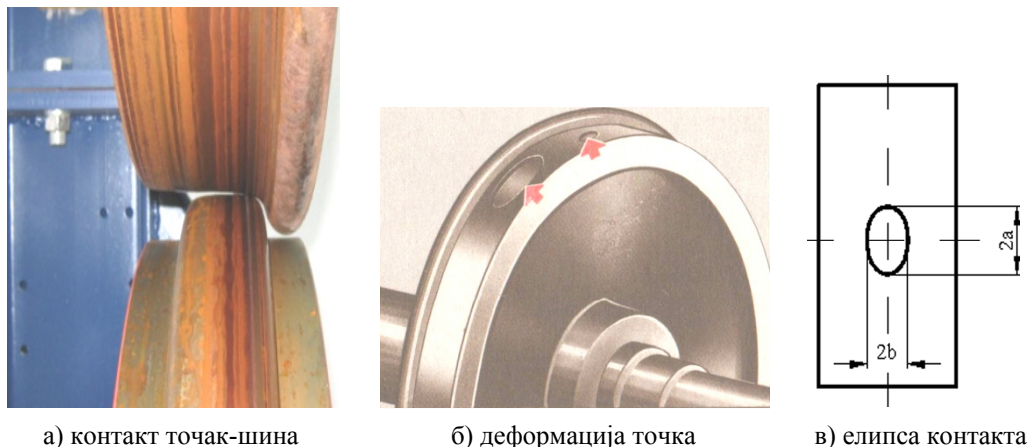
Основни и најчешћи начин преноса вучних сила код железничких возила остварује се адхезијом. Адхезиона сила се јавља на месту контакта точка и шине. У погонском мотору вучног возила настаје момент који преко осовинског преносника снаге погони точкове на обртање (слика 14).



Слика 14. Осовински преносник снаге (обртног момента)

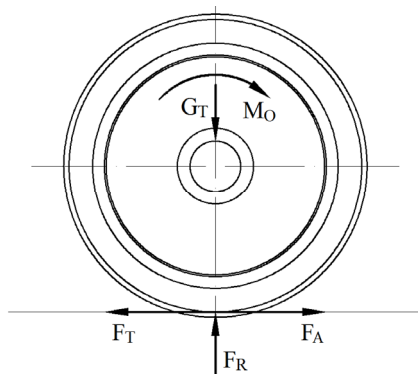
Точкови у контакту са шином (слика 15а) стварају адхезиону силу која омогућава возу да се креће. Адхезија је физичка појава којом се објашњавају процеси на контактної површини два ваљкаста тела. Теоријске основе ове појаве

је поставио Херц. По овој теорији шина и точак нису идеално крута тела, а њихов међусобни додир није ни тачка ни линија. Под вертикалним дејством тежине долази до еластичне деформације (слика 15б), тако да се контакт између шине и точка врши по елиптичној, такозваној Херцовој површини (слика 15в).



Слика 15. Контактна површина точка и шине

Када погонски мотор локомотиве преко осовинског преносника снаге (слика 14) делује на точак обртним моментом  $M_o$ , на ободу точка настаје тангенцијална сила  $F_T$ . Услед дејства тангенцијалне силе, настаје на контактної површини точка и шине сила реакције која се назива адхезиона сила  $F_A$  која је, у односу на тангенцијалну силу  $F_T$ , истог правца, а супротног смера (слика 16).



Слика 16. Обртни момент и силе на погонском точку

Проклизавање точка железничког возила у односу на шину настаје у случају прекомерног повећања обртног момента погонских мотора тј. вучне силе, или при погоршању адхезионих услова, односно код смањења коефицијента адхезије. Појава проклизавања се спречава смањењем обртног момента погонских мотора и/или посипањем песка испред погонских точкова.

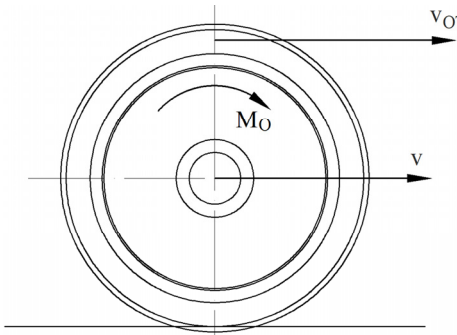
Кретање, проклизавање и клизање точка у односу на шину може да се дефинише преко односа обимне  $v_{oT}$  и подужне брзине точка  $v$  (слика 17). У зависности од

вредности разлике  $\Delta v_T$  обимне брзине точка  $v_{oT}$  и подужне брзине точка  $v$ , имамо различите режиме кретања железничког возила:

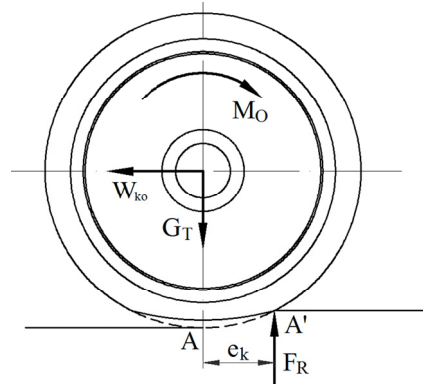
- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| а) мировање                  | $v_{oT} = v = 0$            |
| б) котрљање без проклизавања | $v_{oT} = v$                |
| в) котрљање са проклизавањем | $v_{oT} = v \pm \Delta v_T$ |
| г) клизање блокираног точка  | $v_{oT} = 0$ и $v > 0$      |

Проклизавање точка може бити:

- $\Delta v_T > 0 \rightarrow$  у режиму вуче  
 $\Delta v_T < 0 \rightarrow$  у режиму кочења



Слика 17. Брзине точка



Слика 18. Еластична деформација точка и шине

Осим тога, при котрљању точка по шини долази до еластичног деформисања додирне површине точка са шином (слика 18). Деформација шине и точка претвара се у талас који се креће испред точка. Реакција подлоге  $F_R$  померена је у односу на осу точка за величину  $e_k$  која се назива крак отпора котрљања. Дужина крака  $e_k$  зависи од материјала точка и шине. Коefицијент адхезије  $\psi$  дефинише се као количник адхезионе силе  $F_A$  и вертикалне силе притиска по точку  $G_T$ :

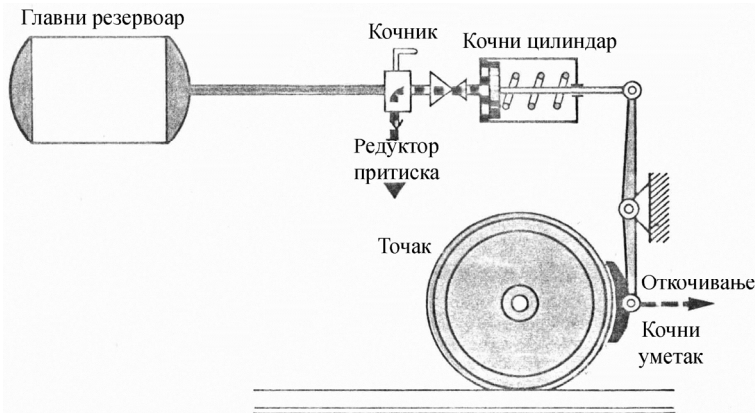
$$\psi = \frac{F_A}{G_T} \quad (1)$$

Значајан утицај на вредност коefицијента адхезије имају геометрија и материјал точка и шине, континуалност повећања и смањења брзине возила, запрљаност контактних површина, атмосферски утицаји и др. Поред ових услова, на вредност коefицијента адхезије, односно вучну силу, утичу још и конструкционо–вучне карактеристике железничког возила као што су размештај адхезионе тежине као и положај и распоред погонских мотора. Адхезиона тежина је онај део тежине вучног возила који оптерећује погонске точкове.

Због тешкоћа аналитичког дефинисања коefицијента адхезије, најчешће се прибегава његовом експерименталном одређивању. Анализом експерименталних резултата недвосмислено је утврђено да чим наступи клизање блокираног точка, отпор (коefицијент трења) између шине и точка падне на

најмању вредност [5]. Тиме се значајно продужава зауставни пут железничког возила, тако да је најефикасније кочење увек на граници котрљања, односно при потпуном обртању точка.

До појаве Божићевог изума кочење железничких возила обављало се у почетку ручно, а касније пнеуматски али неаутоматски (директно) према схеми датој на слици 19. Иако је овај начин кочења имао велике недостатке, и иако су на решавању тог проблема радили многи истраживачи света, и после више деценија неуспешних покушаја није се успео развити неки бољи систем кочења. Утисак је да није било изласка из тог зачараног круга. Главна тема расправе у круговима научника и инжењера који су развијали кочницу, била је да ли кочење железничких возила треба вршити са разређеним или ваздухом под притиском. После много проба са разређеним ваздухом није долазило до значајнијег напретка.



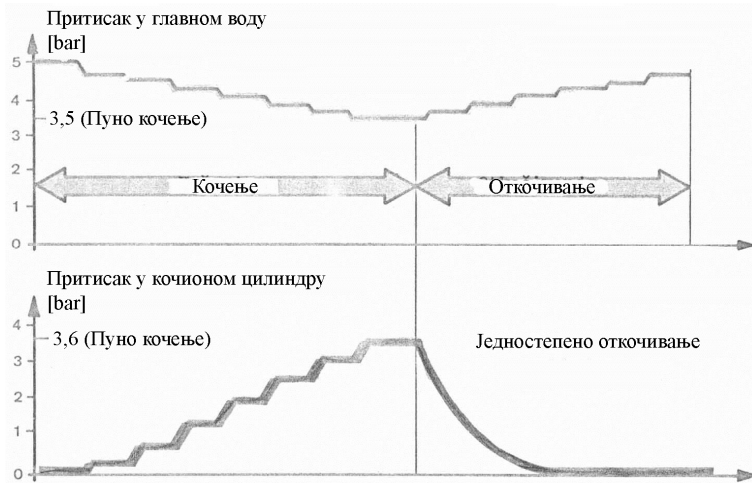
Слика 19. Принципа рада директне (неаутоматске, исцрпне) кочнице

Код директних – неаутоматских – исцрпних кочница ваздух се из главног резервоара преко ваздушног вода директно упушта у кочни цилиндар. Велики недостатак ових кочница је тај што у случају раскида воза неће доћи до аутоматског кочења ниједног растављеног дела.

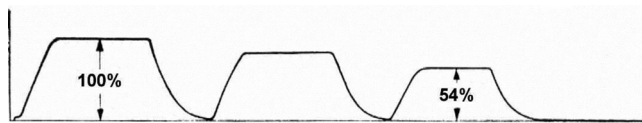
Исцрпне кочнице имају једностепено откочивање, односно једном започето откочивање не може се прекинути (слика 20). У овом случају је распоредник кочнице са два распоредна притиска: главни вод – кочни цилиндар. Код ових исцрпних кочница, ако је воз закочен до било ког степена, чим се главни вод мало допуни, кочнице ће потпуно откочити. Притом се кочни цилиндар неће потпуно допунити јер и притисак у главном воду није достигао своју максималну вредност. Ако се процес кочење – откочивање понови неколико пута узастопно, притисак у кочном цилиндру ће се све више смањивати, тј. количина сабијеног ваздуха се исцрпљује (слика 21), а самим тим и кочна сила ће се све више смањивати.

Дакле, велики недостаци ових кочница су што у случају раскида воза неће доћи до аутоматског кочења и што се при кретању на дугим падовима нагиба колосека може десити да кочница неће моћи да оствари довољну силу кочења.

Поред тога, огромни недостаци ових кочница су што немају регулацију величине силе кочења у зависности од масе возила (са и без терета) и брзине кретања, немају синхронизацију кочења (мала пробојна брзина) од локомотиве до задњег вагона, тако да се често дешавало да при промени режима кретања (полазак, убрзање, успорење) долази до судара између појединих возила композиције или до раскидања веза између возила.



Слика 20. Промена притиска у главном воду код кочења и откочивања исцрпних кочница



Слика 21. Промена притиска ваздуха у кочном цилиндру код исцрпних кочница

У немогућности да нађу адекватно решење, поједини истраживачи су предлагали да се кочење празних железничких возила врши са једним, а товарених са два кочна цилиндра.

#### 4. ДОПРИНОС ДОБРИВОЈА БОЖИЋА РАЗВОЈУ КОЧНИЦА ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ВОЗИЛА

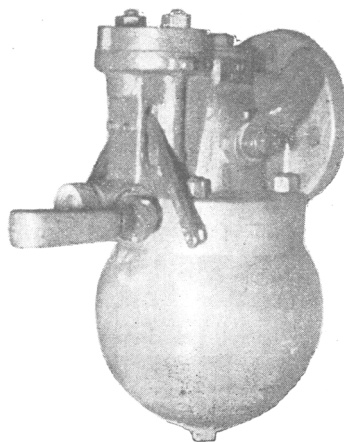
Видели смо да су у почетку, развоју железнице допринели енглески, француски, немачки, и амерички инжењери. Ипак, кочење железничких возила није било решено на одговарајући начин. Даљи развој железнице (повећање брзине возила и масе превезеног терета) није био могућ без квалитетног решавања свих наведених проблема.

Добривоје Божић (слика 22) рођен је, према тада важећем календару, 23. децембра 1885. године у Рашки. Због каснијег државног преласка на нови календар у неким изворима се води да је рођен почетком 1886. године. Након завршетка основне и средње школе у Краљеву и Крагујевцу, студије наставља на

Високој техничкој школи у Карлсруеу и Дрездену – Немачка, где му је један од професора био и Рудолф Дизел. После завршених студија, враћа се у Србију и 1911. године запошљава у државној железничкој радионици у Нишу, где се сусреће са проблемима кочења железничких возила. До свог изума дошао је у периоду од 1911. до 1914. године. Конструисао је и патентирао кочни систем железничких возила у коме је први пут примењен распоредник са три притиска (слика 23). Распоредник је најодговорнији уређај кочног система. По Божићевом решењу његова улога је да распоређује ваздух не у два, већ у три дела кочног система: главни ваздушни вод, кочни цилиндар и помоћни резервоар [6].



Слика 22. Добривоје Божић



Слика 23. Спољашњи изглед Божићевог распоредника са три притиска - тип Ц

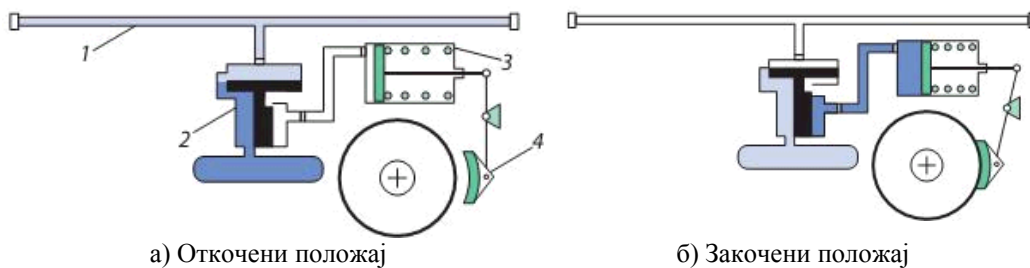
Право је чудо да након вишевековног ропства у непотпуно ослобођеној Србији, коју је тих година задесио Први балкански рат (1912.), Други балкански рат (1913.) и Први светски рат (1914.) дође до једног таквог епохалног открића. Како је у Нишу радионица у којој је радио Божић услед ратних дејстава била уништена, он је своја истраживања наставио у Краљеву, Београду и Загребу. Године 1922. у америчком патентном заводу је прихваћено његово решење кочног система под називом "Систем континуираног кочења путничких и теретних возова компримованим ваздухом". То је био тек почетак, а преостао је још велики пут да Божићев патент буде одобрен и препоручен за употребу на железничким возилима од стране Међународне железничке уније (УИЦ-а).

На конференцији држава победница Првог светског рата, 1923., Француска је поднела предлог у којем препоручује употребу директне, исцрпне кочнице Вестингхаус за кочење железничких возила. Пошто је кочница Кнор долазила из земље која је губитница Великог рата, у том периоду није имала велике шансе поред Вестингхаусове кочнице. При томе, Кнорова кочница је била само једна од модификација Вестингхаусове кочнице. Ове кочнице су користиле у то време стандардни распоредник са два притиска. На истој конференцији представник Краљевине Срба, Хрвата и Словенаца препоручио је општи пријем кочнице „Божић“, као боље и савршеније решење. Велики успех наших представника на

тој конференцији је у томе што није аутоматски прихваћен француски предлог, односно кочница Вестингхаус, него је остављен одређени временски период у којем је Божићу, а и другим конструкторима, под тачно дефинисаним правилима, дата шанса да практично докажу Међународној железничкој унији квалитет својих решења. Године 1923. Божић је пријавио и патент под називом „Брзореагујући троструки вентил“ који је признат 1926. Своје решење кочнице железничких возила, Добривоје Божић је пријавио преко железнице Краљевине Срба, Хрвата и Словенаца 1925. године. Трећи патент „Разводник за кочне системе са флуидом под притиском“ усвојен је 1928. године.

Пошто су представљали потпуно ново, револуционарно решење, ови патенти су у почетку имали много отпора, али су после бројних тестирања на прузи Загреб – Ријека прихваћени од Међународне уније железница 1928. године. Комплетно решење је регистровано као кочница „Божић“.

Код Божићеве аутоматске – индиректне – неисцрпне кочнице делују три притиска: стални притисак у радној комори главног резервоара, променљиви притисак у главном воду (1) и променљиви притисак у кочном цилиндру (3). Ваздух се из главног резервоара, преко главног вода (1) индиректно посредством распоредника и помоћног резервоара (2) упушта у кочни цилиндар (3). Обрнуто у односу на директне кочнице, код Божићеве кочнице у откоченом положају главни вод је под притиском а кочне папуче (4) нису у додиру са точком возила (слика 24а). У случају кочења или раскида железничке композиције, празни се главни вод, у њему тада влада атмосферски притисак, па притисак из помоћног резервоара делује на кочни цилиндар и аутоматски наступа кочење (слика 24б).



Слика 24. Упрощена шема рада Божићеве аутоматске – индиректне – неисцрпне кочнице

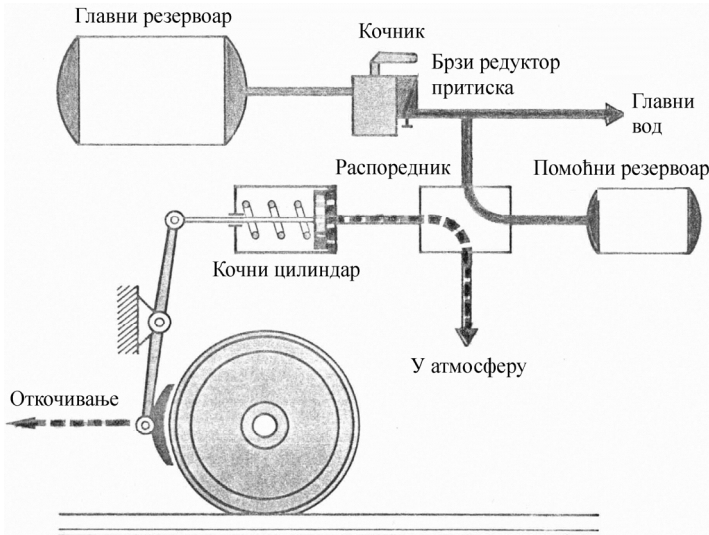
Најодговорнији уређај кочног система је распоредник (слика 23). Његова улога је да распоређује ваздух у делове кочног система као што су: главни ваздушни вод, кочни цилиндар и помоћни резервоар. Божићев тропритисни распоредник био је тако конструисан да је њиме први пут у свету решено питање постепеног откочивања железничких возила. Такође, опасност дотадашњих кочница са два притиска, да се због пражњења односно „исцрпљивања“ помоћног резервоара на дугачким падовима железничког колосека, не оствари потребна сила кочења, отклоњена је Божићевим решењем (слике 25 и 26).

За разлику од вучених, код вучних возила (локомотива) постоји и командни уређај – кочник (слика 27). Кочник је централни уређај кочног система воза. Божићев кочник даје команде за:

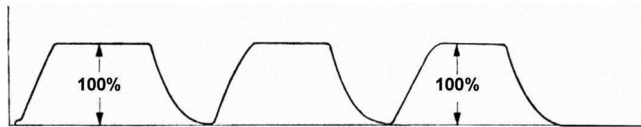
- кочење и откочивање свих кочница у возу,



- пуњење кочног система збијеним ваздухом,
- надокнаду губитака услед незаптивености кочних уређаја тј. одржавање радног притиска у главном воду,
- пражњење главног вода у атмосферу и брзо кочење.



Слика 25. Принцип рада индиректне (аутоматске, неисцрпне) – Божићеве кочнице



Слика 26. Промена притиска ваздуха у кочном цилиндру – Божићеве кочнице



а)

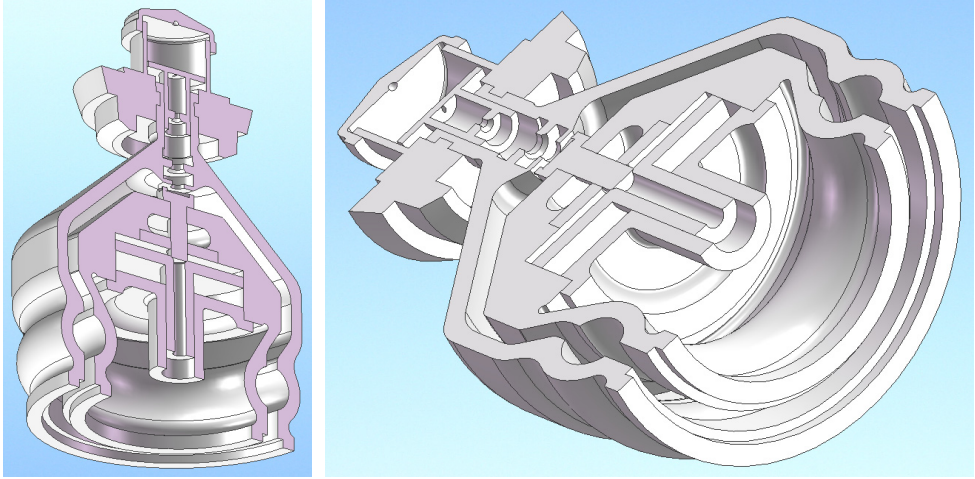


б)

Слика 27. Кочник а) и управљачница локомотиве б)

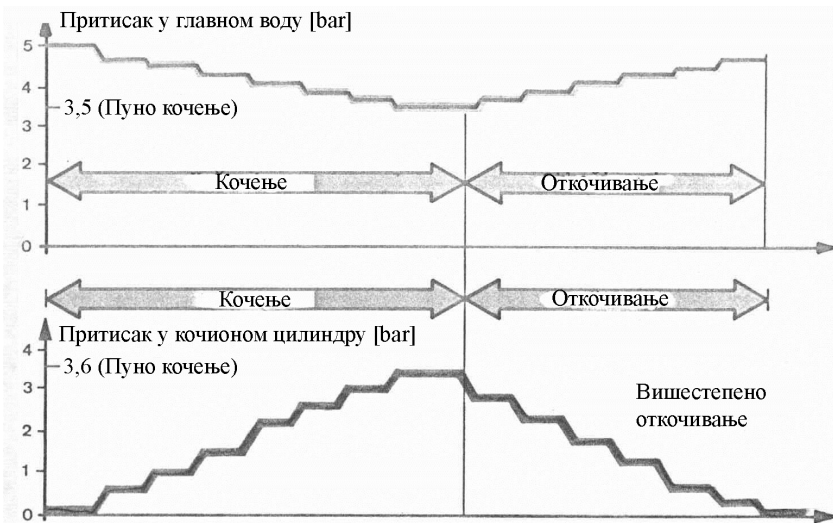
Пре српског конструктора Божића ниједан кочник није могао да аутоматски одржава стални притисак ваздуха у главном воду за време кочења. У односу на раније кочнице, Божић је на оригинални начин осмислио подешавање притиска у комори релеја. Руководећи се истим начелима према којима је и Божић конструисао свој кочник (слика 28), сви савремени кочници имају својство одржавања радног притиска у главном воду за време кочења и откочивања. На овај начин се избегава исцрпљивање кочнице, односно без обзира колико пута кочили, кочна сила ће имати приближно исту вредност.

Ове кочнице се зову још и неисцрпне, зато што се допуњавање помоћних резервоара врши за све време кочења и откочивања, тако да притисак у кочном цилиндру остаје константан (слика 26). Код Божићевих кочница, смањење силе кочења може се вршити поступно. Поступно откочивање омогућава распоредник са три распоредна притиска: главни ваздушни вод – радна (помоћна) комора (резервоар) – кочни цилиндар.



Слика 28. Пресек Божићевог кочника – просторни модел

Према томе, кочнице код којих је могуће постепено кочење и постепено откочивање, тј. код којих се допуњавање помоћних резервоара врши за све време кочења и откочивања, при чему се одржава максимална вредност кочне силе у сваком тренутку времена без обзира на више пута поновљено кочење, називају се неисцрпним (слика 29).



Слика 29. Промена притиска у главном воду код кочења и откочивања неисцрпних Божићевих кочница

#### 4.1. Побољшање параметара кочења и откочивања

Да би што потпуније сагледали допринос, односно нови концепт кочења, који је успоставио Добривоје Божић, осврнимо се на параметре кочења и откочивања који су овим концептом побољшани, а неки и по први пут успостављени. Захваљујући Божићевом принципу кочења који је касније примењен на свим савременим кочницама железничких возила, међународна железничка унија – УИЦ је као обавезну пробу прописала испитивање неисцрпности кочнице.

Железничка возила се крећу под дејством вучне силе  $F_v$ . По престанку дејства вучне силе, воз ће се, услед постојања отпора кретања  $W$ , после извесног времена зауставити. Пут који пређе воз, без кочења, од тренутка престанка вучне силе до тренутка потпуног заустављања – назива се слободни зауставни пут, и он је дугачак. Рецимо, ако је брзина воза  $V=80$  km/h, од престанка дејства вучне силе до потпуног заустављања (без кочења), односно слободни зауставни пут износиће око 7,5 km. Уколико воз кочимо онда пут, од тренутка почетка кочења (активирања кочница) па до тренутка заустављања воза, називамо зауставни пут, а време које при томе протекне називамо зауставно време [6].

За преношење промене притиска ваздуха од локомотиве кроз главни вод до задњих кола, потребно је извесно време. Због тога ће последње возило закочити са извесним закашњењем у односу на прво. Ово кашњење постоји како у процесу кочења тако и у процесу откочивања. Пробојно време је оно време које протекне од тренутка почетка кочења (активирањем кочника у локомотиви) до тренутка када последње возило у возу почне да кочи. Пробојна брзина је однос дужине воза и пробојног времена. Што је пробојна брзина већа, краћи је зауставни пут железничких возила.

Ако је пробојна брзина мала, возила која још нису закочена налаћу на она већ закочена. Зато је у међународним прописима дефинисана минимална брзина кретања ваздуха у кочном систему (пробојна брзина) и она данас износи минимум 250 m/s. Пре Божићевог проналаска највећа пробојна брзина у свету је била испод 80 m/s. Прво Божићево решење омогућило је скоро два пута већу пробојну брзину од максималне брзине, у то време, најбољег светског решења.

И поред тога што су возила у железничкој композицији повезана међусобно преко еластичних вучних и одбојних уређаја, ипак у току кочења и откочивања долази до низа различитих удара и трзаја [10]. Ово се негативно одражава и на комфор путника и на сигурност терета, па чак може довести и до кидања веза између железничких возила. Да би дугачки возови могли кочити и откочивати без трзаја и удара потребно је да се кочна сила постепено повећава и смањује, тако да кочење и откочивање свих точкова буде синхронизовано. Што је удаљеност последњег возила од вучног возила (локомотиве) већа, то је дуже времена потребно да ваздух под притиском пређе потребно растојање.

Код путничких возова (чија је дужина обично краћа од теретних композиција) примењују се кочнице брзог дејства (ознака Р), а код теретних возова кочнице спорог дејства (ознака G). Уколико би се путничка кочница (брзог дејства) употребила код теретног воза (који је дужи од путничког воза) дошло би до кочења првих возила, а ваздух још не би стигао до задњих возила што би изазвало налетање незакочених (задњих) на закочена (предња) возила.

Очигледно да је, у зависности од тежине и дужине воза, неопходна регулација силе кочења. Регулација може бити ручна или аутоматска. Ручно регулисање се врши променом преносног односа кочног полужја „путнички – теретни“ (слика 30). Аутоматско регулисање се врши, у зависности од степена товарења, мењањем притиска ваздуха у кочном цилиндру [9].



Слика 30. Ручица мењача кочнице „путнички – теретни“

Код откочивања се разлика у брзини откочивања првих и последњих возила још неповољније одражава јер треба не само дати ваздушни сигнал за откочивање, већ уједно треба допунити помоћне резервоаре. Због тога је време откочивања дуже од времена кочења (табела 1). Божићево решење је и овај проблем отклонило.

Табела 1. Времена кочења и откочивања путничких и теретних железничких возила

Врста кочнице	Кочење Време пуњења кочног цилиндра [с]	Откочивање Време пражњења кочног цилиндра [с]
Путничка – R/P	3 – 5	15 – 20
Теретна – G	18– 30	45 – 60

Божићев распоредник је конструисан тако да је за свако оптерећење аутоматски подешавао притисак у кочном цилиндру. То је постигао тзв. „кантарским“ уређајем који је мењао вредност кочне силе у зависности од угиба огибљења возила. На овај начин се празна или слабо натоварена железничка возила коче мањом, а више натоварена већом силом. Друге земље су у то време развијале кочнице са два кочна цилиндра. У случају празног вагона радио би само један кочни цилиндар, а у случају натовареног вагона радила би оба кочна цилиндра. Велике компаније преко својих представника покушале су, због својих интереса, да критикују Божићеве патенте, али све касније конструкције кочног система се заснивају на његовом (једноставнијем, сигурнијем и јефтинијем) решењу. Божићев кочни систем железничких возила се у суштински неизмењеном облику задржао до данас. Овим путем је доказана генијалност и супериорност

Божићевог решења, а све критике су временом „пале у воду“ јер су биле технички неутемељене и подстакнуте једино жељом за профитом и славом. Поред претходно реализованих и међународно прихваћених патената, Божић је осмислио и предложио уређај на принципу центрифугалног регулатора који би, при мањим брзинама кретања воза, сводио притисак у кочном цилиндру на одговарајућу меру и тако смањио силу кочења. Овим би се избегло блокирање точкова возила при кочењу, а самим тим и формирање такозваних „равних места“ (слика 31.) на точковима. На овај начин решава се и проблем промене силе кочења у зависности од брзине кретања железничких возила [7].



Слика 31. Формирање „равног места“ на точку дужине „А“

Иако се Божићевим решењем избегава блокирање точкова, формирање „равног места“ на точку и значајно скраћује зауставни пут железничких возила, његов предлог тада није био прихваћен!?

Овај Божићев став наука и струка је схватила и прихватила тек много година касније и налази се у примени код савремених железничких кочница.

Божић је лиценцу за свој патент продао Чешкој компанији „Шкода“ (Škodovy závody). Од зарађеног новца добар део је уложио у уређење Матарушке Бање (слика 32), а део за изградњу породичне куће у Београду (улица Крунска бр. 69, слика 33) у коју се уселио 1939. године.



Слика 32. Тераса у Матарушкој Бањи

После Другог светског рата Божић је од нових власти, неоправдано проглашен за државног непријатеља и ухапшен под оптужбом да је сарађивао са окупатором. Из затвора је пуштен на инсистирање Руса који су знали о каквом се промашају ради. У страху да ће поново бити ухапшен и стрељан, као и због тога што му је онемогућен даљи рад у земљи на усавршавању кочнице железничких возила, он је у тајности са породицом напустио Југославију.



Слика 33. Божићева кућа у Београду

Посебна комисија Генералне дирекције ЈЖ је 1954. разматрала питање типа кочнице које би требала да се одобри за употребу. Већ тада је Металски завод „Тито“ у Скопљу имао откупљену лиценцу од тада мало познате Швајцарске фирме Ерликон и само чекао одлуку комисије па да започне производњу. Наравно, колегијум Генералне дирекције (занемарујући Божићеве резултате?!) усвојио је гледиште комисије да за Југословенске железнице највише одговара тип кочнице Ерликон и донео одлуку да се убудуће искључиво та кочница уграђује на сва возила ЈЖ-а.

Непотребно трошећи паре на лиценцу, уједно је и спречен сваки даљи озбиљнији развој кочнице железничких возила у Србији!

## 5. ЗАКЉУЧАК

Добривоје С. Божић је својим изумима решио до тада нерешиве проблеме кочења железничких возила: први је конструисао и применио распоредник са три радна притиска. Конструисао је најефикаснији кочник (централни уређај кочног система) којим се са локомотиве управља кочним системом воза. Божићеве конструкције кочника и распоредника решиле су проблеме аутоматског одржавања сталног притиска ваздуха у главном ваздушном воду за време кочења и откочивања, уједно је и повећао пробојну брзину ваздуха у главном воду са 80 на 150 m/s. Његов кочник је омогућио постепено кочење и откочивање воза и решио проблем неисцрпности кочнице воза током кочења. За савремене кочнице УИЦ је прописао обавезно испитивање неисцрпности кочнице, која у ранијим прописима није била условљена.

Својим изумима Божић је решио проблем препуњености радне коморе, проблем аутоматске промене силе кочења у зависности од оптерећења железничког возила (мерањем угиба огибљења конструкцијом „кантарског уређаја“ – данас се та иста идеја мерења угиба огибљења користи употребом тзв. мерног вентила). Први је решио и предложио аутоматизацију кочења путничких возова у

функцији брзине и за то конструисао центрифугални регулатор. Иако ово решење у то време није прихваћено, данас се користи код свих (и путничких и теретних) железничких возила.

На потпуно нов начин значајно је повећао степен аутоматизације процеса кочења и избегао често блокирање и формирање равних места на точковима железничких возила. Божићевим проналасцима омогућено је сигурније, квалитетније и економичније кочење железничких возила. Није више било потребно запошљавати велики број кочничара који су поред машиновођа били обавезни учесници у кретању железничких композиција.

После Божићевих проналазака дефинитивно се одустало од кочница са разређеним ваздухом и одлучено је да се користе кочнице са збијеним ваздухом. Такође, решено је и питање двораспоредних и трораспоредних кочница. Усвојена је трораспоредна као савршенија, која омогућава постепено откочивање и обезбеђује неисцрпност кочнице. Повећање пробојне брзине омогућило је мирније и сигурније кочење. Ефикаснијем и безбеднијем кочењу допринела је и аутоматизација кочења у зависности од оптерећења и брзине кретања. Ово је утицало на даљи, још бржи, развој железничког саобраћаја у целом свету. Најбољи судија ових закључака је увек непроменљиво и непристрасно време, зато што су сви други развијани системи кочења железничких возила, одавно ван употребе.

Сва каснија решења ваздушних кочница у свету су само усавршавања Божићевих проналазака. Његов принцип кочења је непревазиђен и основа је за све врсте до данас примењиваних ваздушних кочница.

Из свега изнетог закључујемо да је Божићев допринос развоју кочница железничких возила планетарних размера, а у многим случајевима је био далеко испред времена у коме је стварао [4]. Са потпуним правом можемо рећи да је Добривоје Божић чак био и претеча развоја ABS система кочења (Anti-lock Braking System) којим су данас опремљена друмска возила.

После Другог светског рата Добривоје Божић је неправедно оптужен за сарадњу са непријатељем, одузета му је сва имовина, а он је, плашећи се од даљих још драстичнијих мера, са породицом емигрирао из Југославије на северно-амерички континент. Добривоје Божић је у емиграцији остао све до 1961. године када се, без породице, за стално вратио у Београд са огромном жељом да у нашој земљи покрене производњу најсавршеније кочнице железничких возила у свету. Оставши и без породице и без имовине ову своју жељу, у новом државном систему, изложен огромној опструкцији, није успео да оствари.

Или, власт тога доба, из само њима знаних разлога, није била спремна да тај непроцењиво вредан поклон прихвати?!

Преминуо је у Београду 13. октобра 1967. у осамдесет другој години живота.

Да би илустровали колики је позитиван утицај Добривоје Божић извршио на развој ове области навешћемо речи Јосипа Швагела из Загреба, који у предговору своје чувене књиге "Кочнице на железничким возилима" [5] истиче:

"...посебно пак треба да нагласим благодарност госп. инг. Добривоју Божићу, који ме је пробама својом кочницом и личним утицајем

заинтересовао за ову важну грану железничке технике, те је тиме стварни иницијатор ове књиге".

"Ванредни развитак спроводних кочница у последњем десетлећу, одличан успех на том пољу нашега земљака инг. Божића, траже свога тумача".

На крају закључујемо, да развој железничког саобраћаја није заслуга једног човека, већ је он непрестано усавршавање многих проналазака више генерација инжењера и техничара неколико земаља, између којих Србија, захваљујући машинском инжењеру Добривоју С. Божићу, има значајно место. Проучавајући његов рад и живот, видимо да је Добривоје Божић пример светског проналазача – страдалника, иако је све учинио како би свима омогућио сигурнији, лакши и бољи живот. За то је уложио целог себе.

Животна судбина проналазача попут Добривоја С. Божића не треба да обесхрабри будуће истраживаче. О томе је још 1919. говорио и наш највећи проналазач Никола Тесла, нагласивши:

„То је тежак задатак за проналазача, кога често погрешно тумаче и не награђују. Међутим, он налази огромну компензацију у задовољству које произилази из његових моћи и сазнања да припада класи изузетно привилегованих људи без којих би човечанство већ одавно ишчезло у тешкој борби против немилосрдних сила природе“ [8].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Величковић Д, Стивенсон, Техничка књига, Београд 1949.
- [2] Слободан Јовановић, "Влада Милана Обреновића 1878-1889", књига друга, БИГЗ, Југославија публик, СКЗ, Београд 1990, стр. 119.
- [3] Радован Калабић, Грофовска времена, друго допуњено издање, Графипроф, ИСБН 978-86-903027-1-0, Београд, 2015.
- [4] Драган Петровић, Владимир Александров, Железничка возила - основе, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, ИСБН 978-86-82631-66-8, Краљево 2013. год, стр. 223.
- [5] Швагел Јосип, "Кочнице на железничким возилима", Предузеће за железничку издавачко-новинску делатност, Београд 1962. год.
- [6] Ваинхал Владимир, "Кочнице и кочење возова", Предузеће за железничку издавачко-новинску делатност, Београд, 1991. год.
- [7] Драган Петровић, Милан Бижић, Influence of Bozic brake on development of rail traffic, XVII Scientific-Expert conference on Railways, RAILCON 16, 13-14 October 2016. Niš, Serbia
- [8] Музеј Николе Тесле, Стална изложбена поставка о Николи Тесли, Крунска улица бр. 51, Београд 2016.
- [9] Драган Петровић, Милан Бижић, Improvement of suspension system of Fbd wagons for coal transportation, Engineering Failure Analysis, Volume 25, (2012), 89–96, ISSN 1350-6307, doi:10.1016/j.engfailanal.2012.05.001.
- [10] Драган Петровић, Милан Бижић, Мирко Ђелошевић, Determination of dynamic sizes during the process of impact of railway wagons, Archive of Applied Mechanics, Volume 82, Number 2, (2012), 205-213, ISSN 0939-1533, doi: 10.1007/s00419-011-0549-5.