Analiza pouzdanosti kočionog sustava kao element tehničke logistike

Trošelj, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:151961

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Vedran Trošelj

ANALIZA POUZDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA KAO ELEMENT TEHNIČKE LOGISTIKE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA POUDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA KAO ELEMENT TEHNIČKE LOGISTIKE

RELIABILITY ANALYSIS OF THE BRAKE SYSTEM AS AN ELEMENT OF TECHNICAL LOGISTICS

Mentor: prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Student: Vedran Trošelj

JMBAG: 013521167

Zagreb, rujan 2017.

SAŽETAK

ANALIZA POUZDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA KAO ELEMENT TEHNIČKE LOGISTIKE

Tema završnog rada je Analiza pouzdanosti kočionog sustava. Pouzdanost je znanstvena disciplina koja se bavi svim problemima u toku ukupnog životnog ciklusa tehničkog sustava te je teorijski aspekt pouzdanosti objašnjen u radu. Kočioni sustav je jedan od najvažnijih sustava automobila te kao takav mora imati veliku pouzdanost. Glavni cilj kočionog sustava je zaustavljanje automobila jer njegov kvar može imati katastrofalni učinak po ljudski život. Iz tog razloga je veoma važno analizirati pouzdanost kočionog sustava. U ovom će se radu pouzdanost kočionog sustava analizirati na primjeru kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom i kočionog sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom.

Ključne riječi: pouzdanost; kočioni sustav; shema pouzdanosti; kvar

SUMMARY

RELIABILITY ANALYSIS OF THE BRAKE SYSTEM AS AN ELEMENT OF TECHNICAL LOGISTICS

The theme of the dissertation is a Reliability Analysis of the Brake System. Reliability is a scientific discipline that deals with all the problems during the total life cycle of the technical system and the theoretical aspect of reliability is explained in the paper. The brake system is one of the most important systems of cars and as such must have high reliability. The main objective of the brake system is to stop the car because its failure could have a catastrophic effect on human life. For this reason it is very important to analyze the reliability of the brake system. In this paper the reliability of the braking system will be analyzed on the example of a brake system with a single-lever transmission mechanism and a brake system with a two-lever transmission mechanism.

Key words: reliability; brake system; scheme reliability; failure

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

2. TEORIJSKE OSNOVE O POUZDANOSTI 2

2.1. DEFINICIJA POZDANOSTI 2

2.2. FUNKCIJA POUZDANOSTI, FUNKCIJA INTENZITETA OTKAZA I GUSTOĆE OTKAZA 4

2.3. FUNKCIJE DISTRIBUCIJE KORIŠTENE U TEORIJI POUZDANOSTI 5

2.4. POUZDANOST SLOŽENIH TEHNIČKIH SUSTAVA 7

2.5. POUZDANOST SUSTAVA SA SERIJSKI POVEZANIM ELEMENTIMA 8

2.6. POUZDANOST SUSTAVA SA PARALELNO POVEZANIM ELEMENTIMA .. 10

2.7. POUZDANOST SUSTAVA SA SPECIFIČNIM VEZAMA 14

3. PREGLED PROPISA KOJI REGULIRAJU POUZDANOST KOČIONOG SUSTAVA 16

3.1. ECE PRAVILNICI U POGLEDU KOČENJA 17

3.2. OPĆE SPECIFIKACIJE PRAVILNIIKA ECE 13H 19

3.3. ZNAČAJKE KOČIONIH SUSTAVA 19

3.4. HOMOLGOCIJSKE OZNAKE 21

3.5. ISPITIVANJE KOČNICA I PERFORMANSE KOČIONOG SUSATVA 22

4. SHEMA POZDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA 25

4.1. KOČIONI SUSTAV 25

4.2. MEHANIČKI PRIJENOSNI MEHANIZAM 26

4.3. HIDRAULIČNI PRIJENOSNI MEHANIZAM 27

4.4. SHEMA POUZDANOSTI JEDNOKRUŽNOG I DVOKRUŽNOG KOČIONOG SUSTAVA 30

5. ANALIZA POUZDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA 32

5.1. POUZDANOST KOČIONOG SUSTAVA SA JEDNOKRUŽNIM PRIJENOSNIM MEHANIZMOM 32

5.2. POUZDANOST KOČIONOG SUSTAVA SA DVOKRUŽNIM PRIJENOSNIM MEHANIZMOM 35

6. ZAKLJUČAK 40

LITERATURA 41

POPIS SLIKA 42

1. UVOD

Veliki tehničko-tehnološki napredak u dvadesetom stoljeću rezultirao je razvojem teorije pouzdanosti. Teorija pouzdanosti, kao znanstvena disciplina, bavi se svim problemima u toku ukupnog životnog ciklusa tehničkog sustava. Osnovni cilj teorije pouzdanosti je stvaranje uvjeta za povećanje raspoloživosti, pouzdanosti, ekonomičnosti i produženje radnog vijeka tehničkog sustava u eksploataciji. Pouzdanost je sposobnost objekta (komponente, uređaja, sustava) da uspješno obavlja zadanu funkciju u određenim uvjetima i u zadanom vremenskom intervalu. Ona je jednako važna kao i radne karakteristike tehničkog sustava te se analizira kao poseban projektni zadatak. Analiza pouzdanosti provodi se kroz sve faze životnog ciklusa tehničkog sustava počevši od početne specifikacije, dizajna, rada, održavanja, promjena i konačno do povlačenja sustava iz uporabe. Pouzdanost procjenjuje i predviđa vjerojatnost kvara pri čemu korištene metode za izračun kvantificiraju pouzdanost koristeći vjerojatnost i statistiku za predviđanje, mjerenje i analizu podataka pouzdanosti. Iz tog razloga je potrebno razumijevanje zakona vjerojatnosti za stvaranje pouzdanog sustava i rješavanja problema nepouzdanosti.

Današnji tehnički sustavi su veoma složeni. Složeni tehnički sustavi sastoje se od manjeg ili većeg broja sastavnih cjelina (dijelova, podsklopova, sklopova sustava) te se njihova pouzdanost određuje na bazi analiza i analitičkog razmatranja pouzdanosti svake od cjelina. Cilj same analize je određivanje pouzdanosti karakterističnih načina povezivanja pojedinih elemenata unutar tehničkih sustava u okviru složenije cjeline. Najčešći oblici povezivanja elemenata koji se razmatraju u složenom tehničkom sustavu su serijski, paralelni i kompleksni oblici povezivanja elemenata. Radna sposobnost tehničkog sustava zavisi o radu svakog pojedinog elementa u shemi pouzdanosti sustava.

U ovom radu analizira se pouzdanost kočionog sustava na automobilu. Kočioni sustav automobila predstavlja složeni tehnički sustav sa kvazi-paralelnom vezom elemenata. Za analizu sustava koristi se zakon o vjerojatnosti događaja te shema funkcionalne povezanosti pojedinih elemenata unutar kočionog sustava.

2. TEORIJSKE OSNOVE O POUZDANOSTI

2.1. DEFINICIJA POZDANOSTI

Teorija pouzdanosti se intenzivno razvija posljednjih pedesetak godina. Tijekom razvoja teorije mijenjale su se i definicije o pouzdanosti, od jednostavnih prema sve složenijima.

Pouzdanost se do 1960-ih godina definirala kao „vjerojatnost da će element izvršiti zadanu funkciju pod utvrđenim uvjetima za utvrđeni period vremena“. Općenitija definicija pouzdanosti definirana je ISO 8402 standardom te glasi „sposobnost elementa da obavi zahtijevanu funkciju, pod zadanim okolišnim i radnim uvjetima i za utvrđeni period vremena“. U definiciji izraz „element“ označava svaku komponentu, podsustav ili sustav koji se može smatrati kao objekt. Zahtijevana funkcija može biti jedna ili kombinacija funkcija, a koja je potrebna za pružanje određene aktivnosti. Svi tehnički elementi (komponente, podsustavi, sustavi) dizajnirani su za obavljanje jedne ili više potrebnih funkcija. Kompleksni sustavi, na primjer automobil, obično imaju širok raspon potrebnih funkcija. Za procjenu pouzdanosti automobila prvo moramo odrediti traženu funkciju koju ćemo razmatrati. Tehnički elementi u sustavu moraju zadovoljavajuće raditi u određenom periodu vremena tokom stvarne primjene za koju su namijenjeni.[1]

Definicija koja najpotpunije objašnjava što je pouzdanost te je opće prihvaćena glasi: „Pouzdanost je vjerojatnost na određenom nivou povjerenja, da će sustav uspješno obaviti zahtijevanu funkciju za koju je namijenjen, bez otkaza i unutar granica dozvoljenih odstupanja, u projektnom ili zadanom vremenu trajanja i zadanim uvjetima okoline tj. kada se koristi na propisani način i pod specificiranim nivoima opterećenja. “Pouzdanost u svojoj definiciji ima četiri osnovna elementa[2]:

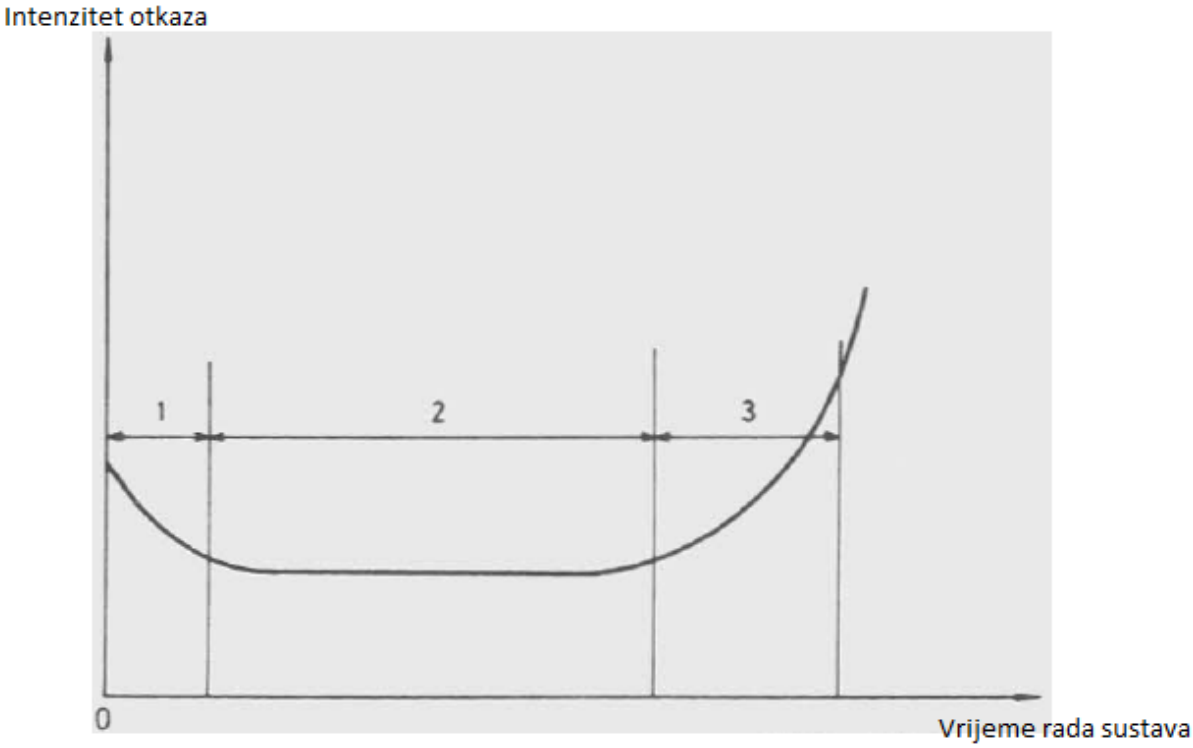
- nivo povjerenja
- zahtijevana funkcija, funkcija namjene
- zadani uvjeti okoline
- zadano vrijeme trajanja

Nivo povjerenja se uvodi zbog odstupanja procjene pouzdanosti od stvarne vrijednosti. To je vjerojatnost da je neki parametar u granicama dozvoljenih odstupanja, u nekom intervalu. Na primjer, ako je pouzdanost nekog sustava jednaka 0,95 na nivou povjerenja 90% onda znači da postoji rizik od 10% da je pouzdanost tog sustava manja od 0,95. Tokom konstruiranja nekog sustava nije dovoljno samo postaviti vrijednost pouzdanosti koju sustav mora zadovoljiti, već je potrebno dodati nivo povjerenja kako bi se znao rizik postizanja te pouzdanosti.

[1] Izvor: Rausand M., Hoyland A.:SystemReliabilityTheory: Models, StatisticalMethodsandApplications, SecondEdition, JohnWiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004. str. 5

[2] Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 47

Zahtijevana funkcija odnosno namjenska funkcija uključuje vrijeme rada i definiciju otkaza. Otkazi sustava mogu biti katastrofalni (kada sustav iznenada otkaže), povremeni (otkazi koji se povremeno javljaju pa nestanu), degradirajući (otkazi koji prouzrokuju rad ispod mogućnosti sustava) i promjenjivi (kada sustav radi malo ispod pa malo iznad dozvoljenih granica). U idealnom slučaju otkazi sustava se mogu prikazati na tzv. krivulji života (slika 1).



Slika 1: Krivulja života
Izvor: Izvor: dr. N. Vujanović, dipl. inž.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990. str. 12

Na krivulji života prikazana su tri vremenska perioda sustava. Prvi period (1) prikazuje rane otkaze (tzv. period „dječijih bolesti“) koji mogu biti uzrokovani greškama u proizvodnji, propustima u kontroli, oštećenjima u transportu i slično. Drugi period (2) prikazuje period konstantnog intenziteta otkaza te su ovdje otkazi slučajni. Treći period (3) prikazuje otkaze zbog istrošenosti sustava, odnosno ovdje dolazi do otkaza zbog starosti sustava.

Zadani uvjeti okoline, odnosno razina opterećenja sustava, imaju veliki utjecaj na vrijednost pouzdanosti sustava. Ako sustav stalno radi pod povećanom razinom opterećenja povećat će se intenzitet otkaza i smanjiti će se vijek trajanja sustava. Zadani uvjeti okoline su mehanički, električki, termički i slični uvjeti koji rezultiraju vibracijama, udarima, vlagom, temperaturom.

Zadano vrijeme trajanja sustava je obrnuto proporcionalno pouzdanosti sustava. Ono predstavlja vremenski period za koji se želi zahtijevani rad sustava. Ako se želi visoka pouzdanost sustava onda to vrijeme mora biti što kraće.

2.2. FUNKCIJA POUZDANOSTI, FUNKCIJA INTENZITETA OTKAZA I GUSTOĆE OTKAZA

Ako je T slučajna promjenjiva veličina koja označava vrijeme pojave otkaza onda će vjerojatnost otkaza u funkciji od tog vremena t biti: [3]

$$P(T \leq t) = F(t),$$

gdje je R(t) funkcija pouzdanosti. Pouzdanost je vjerojatnost, što znači da je pouzdanost broj između 0 i 1. Ako definiramo pouzdanost kao vjerojatnost bez-otkaznog rada, odnosno kao vjerojatnost da će sustav obaviti funkciju za koju je namijenjen u određenom vremenu t. Ako definiramo pouzdanost kao vjerojatnost rada bez otkaza, odnosno kao vjerojatnost da će sustav obaviti funkciju za koju je namijenjen u određenom vremenu t, može se napisati: [4]

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t),$$

gdje je F(t) funkcija distribucije vjerojatnosti otkaza. Funkcija F(t) može se nazvati funkcijom nepouzdanosti.

Funkcija gustoće otkaza f(t) je gustoća vjerojatnosti bez otkaznog rada sustava do prvog otkaza, a na osnovu osnovnih zakona iz teorije vjerojatnosti može se napisati da je:[5]

$$f(t) = \frac{\mathrm{dF(t)}}{\mathrm{dt}}$$

Funkcija intenziteta otkaza λ(t) dana je izrazom:[6]

$$\lambda(\mathrm{t}) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Značaj funkcije intenziteta otkaza je u tome što ona pokazuje promjenu intenziteta otkaza tijekom vijeka trajanja sustava. Na primjer, u promatranom vremenskom trenutku dva sustava mogu imati jednaku pouzdanost ali se intenziteti otkaza do tog trenutka promatranja mogu razlikovati.[7]

---

[3]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 48
[4]Izvor: dr. N. Vujanović, dipl. inž.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987. str. 28
[55]Izvor: dr. N. Vujanović, dipl. ing.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987. str. 28
[6] [6]Izvor: dr. N. Vujanović, dipl. ing.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987. str. 29
[7]Izvor: dr. N. Vujanović, dipl. ing.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987. str. 29

2.3. FUNKCIJE DISTRIBUCIJE KORIŠTENE U TEORIJI POUZDANOSTI

Kod opisivanja pouzdanosti i intenziteta otkaza koriste se funkcije gustoće otkaza. Kako su funkcija pouzdanosti i funkcija intenziteta otkaza jedinstvene iz toga proizlazi da određenoj funkciji pouzdanosti pripada određena funkcija intenziteta otkaza. Funkcije gustoće otkaza biti će prikazane na osnovu dviju funkcija distribucije koje se najčešće koriste u teoriji pouzdanosti. Funkcije distribucije, odnosno raspodjele, koje se najčešće koriste u praksi i koje najbolje opisuju funkciju gustoće otkaza su eksponencijalna distribucija i Weibull-ova distribucija.

Eksponencijalna distribucija se kao matematički model koristi za aproksimaciju konstantnog intenziteta otkaza. U tom slučaju funkcija gustoće otkaza kod eksponencijalne distribucije iznosi:[8]

$$f(t) = \lambda \times e^{-\lambda t}, t \geq 0, t > 0$$

Funkcija pouzdanosti kod eksponencijalne distribucije iznosi:[9]

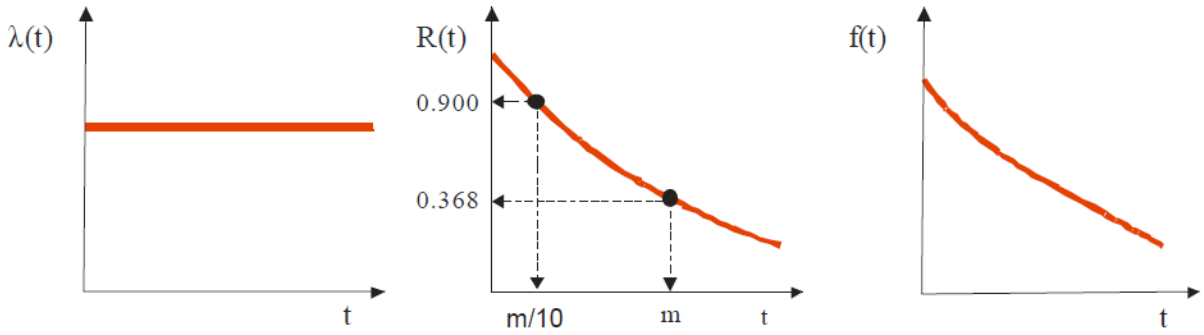
$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt,$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

U slučaju eksponencijalne raspodjele intenzitet otkaza ne ovisi o vremenu t i uvijek ima konstantnu vrijednost. Iz toga proizlazi da se određivanjem parametra λ dobije i vrijednost intenziteta otkaza:[10]

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$

[8]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 53
[9]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 54
[10]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 54



Slika 2: Osnovni pokazatelji pouzdanosti za konstantan intenzitet otkaza
Izvor: Bazijanac E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007, str. 16

Weibull-ova distribucija često se primjenjuje u praksi, odnosno kod prikaza eksperimentalnih rezultata. Mnogi oblici otkaza se mogu veoma dobro aproksimirati Weibull-ovom distribucijom što kod eksponencijalne distribucije nije slučaj zbog pretpostavke da je intenzitet otkaza konstantna vrijednost. S ovom distribucijom se mogu opisati rastuće i padajuće funkcije intenziteta otkaza.

Funkcija gustoće otkaza ima oblik:[11]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}(\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta-1} e^{(\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta}}, t \geq 0, \beta > 0, \eta > 0$$

gdje je: β = parametar oblika, η = parametar mjere, γ =parametar položaj, t = vrijeme otkaza

Weibull-ova distribucija kod određenih vrijednosti svojih parametara prelazi u neke druge distribucije. Oblik f(t) mijenja se s vrijednostima parametara. Sa slike 3 je vidljivo da izborom parametara Weibull-ove distribucije može pokriti širok spektar oblika funkcija pouzdanosti.

Funkcija pouzdanosti kod Webull-ove distribucije glasi:[12]

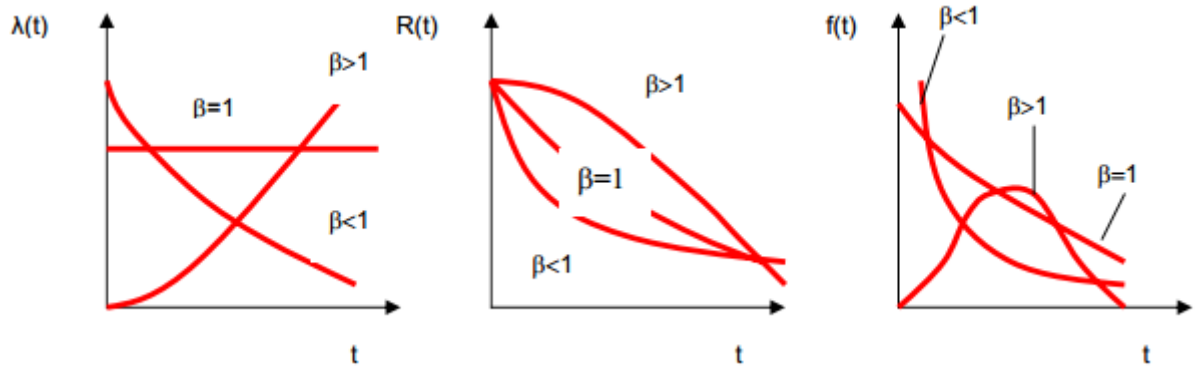
$$R(t) = e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta}},$$

Funkcija intenziteta otkaza glasi:[13]

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta}(\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta-1}$$

[11]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 61
[12]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 62
[13]Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 62

Na slici 3 vidljivo je da intenzitet otkaza je rastuća funkcija ako je $\beta > 1$, a ako je $\beta < 1$ tada je intenzitet otkaza padajuća funkcija. Kada je vrijednost $\beta = 1$ funkcija intenziteta otkaza jednaka je eksponencijalnoj distribuciji i ne zavisi o vremenu.



Slika 3: Pokazatelji pouzdanosti za Weibull-ovu distribuciju
Izvor: Bazijanac E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007, str. 17

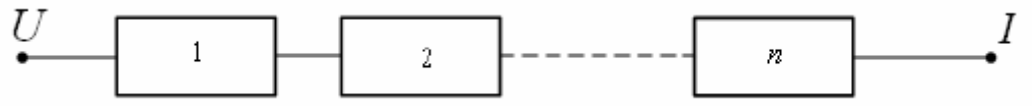
2.4. POUZDANOST SLOŽENIH TEHNIČKIH SUSTAVA

Složeni tehnički sustavi se sastoje od većeg ili manjeg broja sastavnih elemenata (podsistema, sklopova, podsklopova, dijelova) te se njihova pouzdanost može odrediti samo ako se analiziraju i analitički obuhvate pouzdanosti svakog pojedinog elementa. To znači da je potrebno analizirati načine povezivanja komponenti (elemenata) unutar strukture blok dijagrama sustava i njihov utjecaj na pouzdanost sustava. Cilj analize je odrediti pouzdanost karakterističnih načina povezivanja komponentnih sustava, komponenti ili elemenata sustava u okviru složenije cjeline, koju možemo primijeniti kao tablične obrasce pri proračunu pouzdanosti sustava, za sve stupnjeve složenosti sustava. Kao oblici povezivanja komponenti sustava analizirani su samo serijski i paralelni načini povezivanja komponenti (elemenata) sustava jer se primjenom paralelne i serijske veze mogu opisati sve konfiguracije sustava koje se mogu pojaviti. Predmet ove analize je određivanje pouzdanosti sustava određene konfiguracije u korisnom vijeku trajanja sustava. Za potpun proračun pouzdanosti sustava potrebno je poznavati funkcionalne relacije ili veze raznih komponenti tog sustava i procjene njihovih individualnih pouzdanosti.[14]

[14]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 119

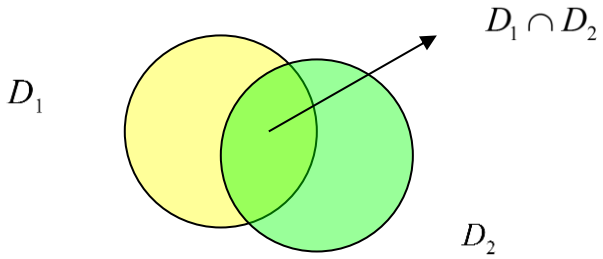
2.5. POUZDANOST SUSTAVA SA SERIJSKI POVEZANIM ELEMENTIMA

Pod serijskom vezom elemenata sustava podrazumijeva se takva konfiguracija sustava kod koje pri pojavi kvara bilo kojeg elementa *n* (podsustava, sklopa, podsklopa) dolazi do kvara cijelog sustava (podsustava, sklopa, podsklopa). Kvar na svakom pojedinačnom elementu predstavlja slučajan događaj, pouzdanost sustava određuje se prema teoremu o složenoj vjerojatnosti[15]. Sustavi sa serijskom ili rednom vezom su česti u analizi pouzdanosti te su ujedno i znatno zastupljeni kod prometnih sustava. Blok dijagram sa serijskom ili rednom vezom elemenata prikazan je na slici 4.



Slika 4: Blok dijagram povezanosti sa serijskom strukturom elemenata
Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 86

Serijska veza dva elementa u sustavu, po Boole-ovoj algebri koja se koristi za analize logičnih odnosa mogućih događaja ($D_i, i = 1,2$) za realizaciju događaja (D_s), može se izraziti u obliku presjeka događaja[16],



Slika 5: Presjek događaja D_1 i D_2
Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 121

odnosno u analitičkom obliku kao[17]:

$$D_S = D_1 \cap D_2$$

$$P(D_i) = R_i(t), i = 1,2$$

[15]Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak, 2007., str. 65
[16]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 121
[17]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 122

Prema teoremu o vjerojatnosti presjeka događaja i vjerojatnosti realizacije povoljnih događaja $P(D_i), i = 1,2$, vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ može se izraziti kao:[18]

$$P(D_S) = P(D_1 \cap D_2) = P(D_1) * P(D_2)$$

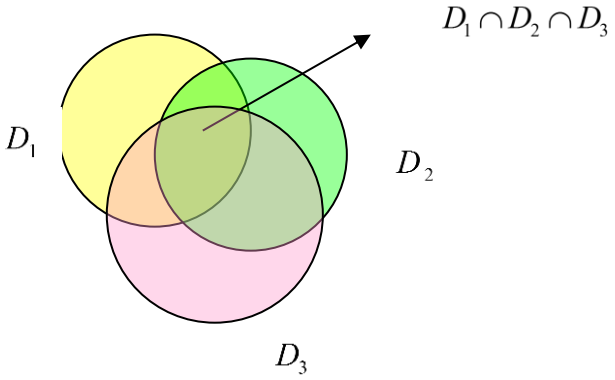
Presjek realizacije povoljnog događaja (D_S) izražen je na dani način jer je vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost sustava $R_S(t)$, osigurana samo ako je realiziran događaj D_1 (element „1" je U RADU) i događaj D_2 (element „2" je U RADU). U tom smislu simbol presjeka se može čitati kao „i".

S obzirom da je vjerojatnost realizacije događaja $P(D_i), i = 1,2$ za bilo koji trenutak $t = t_i$ vjerojatnost ispravnog rada pojedinog elementa promatranog sustava, te ona po osnovnoj definiciji predstavlja njihovu pouzdanost i može se izraziti u obliku[19]:

$$P(D_S) = R_S(t) = R_1(t) * R_2(t),$$

gdje je sa $R_S(t)$ označena pouzdanost cijelog sustava, a sa $R_i(t), i = 1,2$ označena je pouzdanost pojedinog elementa u sustavu.

Realizacija događaja serijske veze sustava sa tri elementa može se opet izraziti pomoću presjeka događaja.



Slika 6: Presjek događaja D_1 i D_2 i D_3
Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 125

[18]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 122
[19]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 122

Vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost sustava $R_S(t)$, osigurana je samo ako je realiziran događaj D_1 (element „1“ je U RADU) i događaj D_2 (element „2“ je U RADU i događaj D_3 (element „3“ je U RADU). Iz toga proizlazi da se vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$ u analitičkom smislu može izraziti kao[20]:

$$P(D_S) = P(D_1 \cap D_2 \cap D_3) = P(D_1) * P(D_2) * P(D_3)$$

Pouzdanost sustava sa tri elementa izražava se u obliku[21]:

$$R_S(t) = R_1(t) * R_2(t) * R_3(t)$$

Kod serijske veze n elemenata vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost sustava $R_S(t)$, osigurana je samo ako je realiziran događaj D_1 (element „1“ je U RADU) i događaj D_2 (element „2“ je U RADU) i događaj D_n (element „n“ je U RADU). Prema tome vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost $R_S(t)$, može se prikazati u analitičkom obliku kao[22]:

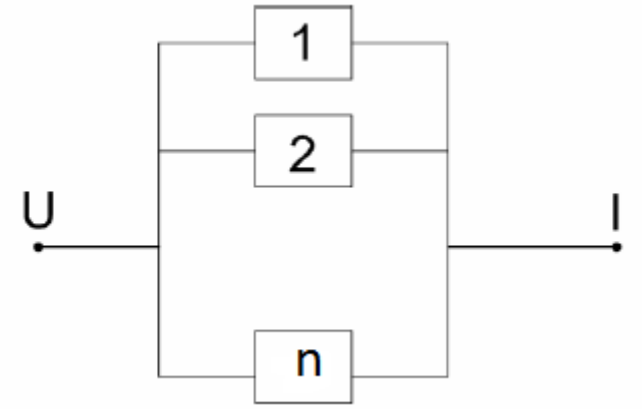
$$P(D_S) = P(D_1 \cap D_2 \ldots \cap D_n) = P(D_1) * P(D_2) * \ldots * P(D_n),$$

$$R_S(t) = R_1(t) * R_2(t) * \ldots * R_n(t)$$

2.6. POUZDANOST SUSTAVA SA PARALELNO POVEZANIM ELEMENTIMA

U sustavu gdje su elementi povezani paralelnom vezom ako je bilo koji od *n* elemenata ispravan sustav će ispravno funkcionirati. Odnosno do kvara sustava dolazi samo u slučaju kada se kvarovi jave na svim paralelno povezanim elementima. Blok dijagram paralelno povezanih elemenata prikazan je na slici 7.

[20]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 125
[21]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 126
[22]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 128

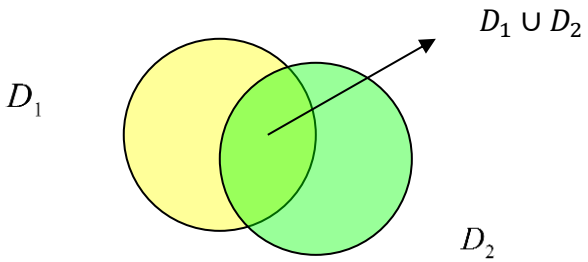


Slika 7: Blok dijagram pouzdanosti za paralelnu strukturu elemenata
Izvor: Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013. str. 88

Na osnovu Boole-ove algebre, realizacija događaja (D_S) može se izraziti u obliku unije mogućih događaja ($D_i, i = 1,2, \dots, n$). To se analitički može zapisati kao:

$$D_S = D_1 \cup D_2 \dots \cup D_n$$

Kod paralelne veze dva elemenata u sustavu vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost sustava $R_S(t)$, osigurana je kada je realiziran događaj D_1 (element „1“ je U RADU) ili kada je realiziran događaj D_2 (element „2“ je U RADU)[23].



Slika 8: Unija mogućih događaja D_1 i D_2
Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 131

[23]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 131

Analitički se to može zapisati ovako[24]:

$$D_S = D_1 \cup D_2.$$

Na osnovu teorema o vjerojatnosti unije skupova (koji nisu međusobno disjunktni) i vjerojatnosti realizacije povoljnih događaja $P(D_S), i = 1{,}2$, vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ može se izraziti kao[25]:

$$P(D_S) = P(D_1 \cup D_2) = P(D_1) + P(D_2) * P(D_1 \cap D_2)$$

$$P(D_S) = P(D_1) + P(D_2) - P(D_1) * P(D_2)$$

Kako je vjerojatnost realizacije događaja $P(D_i),\ i = 1{,}2$ za bilo koji trenutak $t = t_i$, vjerojatnost ispravnog rada pojedinog elementa promatranog sustava te ona po osnovnoj definiciji predstavlja njihovu pouzdanost i može se izraziti u obliku[26]:

$$P(D_i) = R_i(t), i = 1{,}2,$$

odnosno, ukupna vjerojatnost sustava može se izraziti kao[27]:

$$R_S(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) * R_2(t),$$

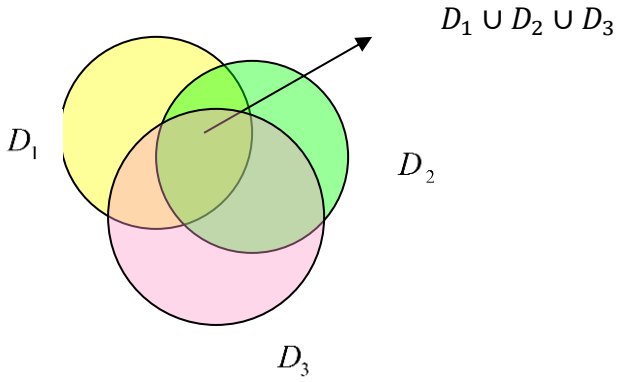
$$R_S(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) * R_2(t) = 1 - 1 + R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) * R_2(t),$$

$$\begin{aligned} R_S(t) &= 1 - \big(1 - R_1(t)\big) + \big(R_2(t) - R_1(t) * R_2(t)\big) \\ &= 1 - \big(1 - R_1(t)\big) + R_2(t)\big(1 - R_1(t)\big), \end{aligned}$$

$$R_S(t) = 1 - \big(1 - R_1(t)\big)\big(1 - R_2(t)\big).$$

Realizacija događaja paralelne veze sustava sa tri elementa može se opet izraziti u obliku unije mogućih $(D_i, i = 1{,}2{,}3)$ događaja.

[24]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 132
[25]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 132
[26]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 132
[27]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 132



Slika 9: Unija mogućih događaja D_1i D_2 i D_3
Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Šibenik 2005., str. 134

Analogno, kao i kod paralelne veze dva elementa, pouzdanost sustava može se analitički zapisati na sljedeći način[28]:

$$D_S = D_1 \cup D_2 \cup D_3,$$

$$P(D_S) = P(D_1 \cup D_2 \cup D_3),$$

$$P(D_S) = P(D_1) + P(D_2) + P(D_3) - [P(D_1 \cap D_2) + P(D_1 \cap D_3) + P(D_2 \cap D_3)] + \\ + P(D_1 \cap D_2 \cap D_3),$$

$$R_S(t) = 1 - (1 - R_1(t))(1 - R_2(t))(1 - R_3(t)).$$

Kod paralelne veze n elemenata vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost sustava $R_S(t)$, osigurana je samo ako je realiziran događaj D_1 (element „1“ je U RADU) ili događaj D_2 (element „2“ je U RADU) ili događaj D_n (element „n“ je U RADU). Prema tome vjerojatnost realizacije događaja $P(D_S)$, odnosno pouzdanost $R_S(t)$, može se prikazati u analitičkom obliku kao[29]:

$$P(D_S) = P(D_1 \cup D_2 \cup \ldots \cup D_n),$$

$$P(D_S) = 1 - \big(1 - P(D_1)\big) * \big(1 - P(D_2)\big) * \ldots * (1 - P(D_n)),$$

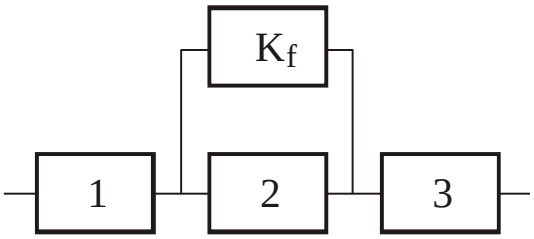
$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i(t)).$$

[28]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 134
[29]Izvor: Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005., str. 137

2.7. POUZDANOST SUSTAVA SA SPECIFIČNIM VEZAMA

Postoje složeni tehnički sustavi koji po svom karakteru imaju izvjesna obilježja serijski povezanih elemenata ili paralelno povezanih elemenata ili jednih i drugih zajedno. Takve specifične veze elemenata u sustavu nazivaju se kvazi-serijske ili kavzi-paralelne veze. Kočioni sustav automobila predstavlja sustav sa kvazi-paralelnom vezom elemenata.

Sustavi sa serijskom vezom elemenata pri otkazu jednog elementa u cijelosti otkazuju, dok u slučaju sustava sa kvazi-serijskom vezom elemenata otkaz jednog ili više elemenata ne prouzrokuje otkaz cijelog sustava, nego isti nastavlja raditi sa degradiranim karakteristikama. Blok dijagram pouzdanosti sustava sa kvazi-serijskom vezom prikazan je na slici 10.[30]



Slika 10: Kvazi-serijska veza elemenata
Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007., str. 63

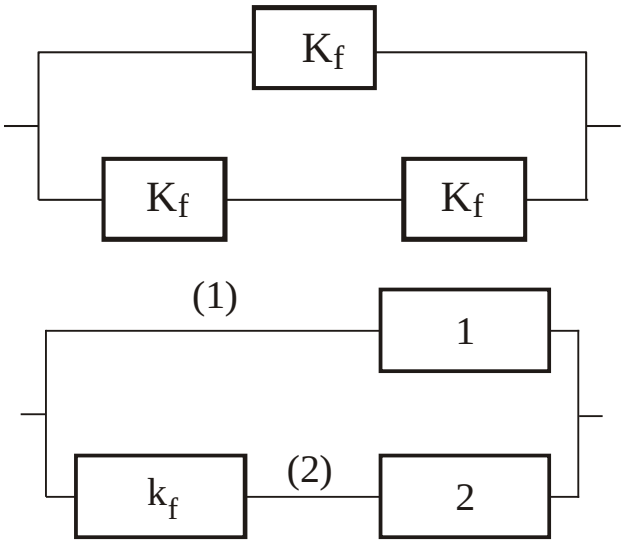
Funkcija pouzdanosti kvazi-serijskog sustava analitički se može zapisati na sljedeći način[31]:

$$R_S = R_1 * \left[1 - (1 - R_2) * \left(1 - k_f\right)\right] * R_3,$$

gdje k_f predstavlja (uvjetno) fiktivni element probabilističkog svojstva tehničkog sustava sa stajališta pogoršanja uvjet rada.

Kvazi-paralelna veza tehničkog sustava (slika 11) predstavlja vezu osnovne grane označene sa (1) na blok dijagramu sa rezultatima koji odgovaraju rezultatima tehničkog sustava i paralelne grane (2) čije performanse ne odgovaraju u potpunosti performansama tehničkog sustava. Kod otkaza osnovne grane (1), sustav sa paralelnom granom (2) neće ostvariti iste rezultate, pa će pouzdanost grane (2) biti umanjena za faktor k_f koji u ovom slučaju predstavlja fiktivni element probabilističkog svojstva[32].

[30]Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007., str. 65
[31]Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007., str. 63
[32]Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007., str. 65



Slika 11: Kvazi-paralelna veza elemenata
Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007., str. 63

Funkcija pouzdanosti kvazi-paralelnog sustava analitički se može zapisati na sljedeći način[33]:

$$R_S = 1 - (1 - R_1) * (1 - R_2 * k_f),$$

$$k_f = \frac{rezultat\ grane\ (2)}{rezultat\ grne\ (1)} < 1.$$

[33]Izvor: Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007., str. 63

3. PREGLED PROPISA KOJI REGULIRAJU POUZDANOST KOČIONOG SUSTAVA

Kočioni sustav ima značajan utjecaj na sigurnost prometovanja motornim vozilima. On je jedan od najvažnijih dijelova današnjih automobila jer osigurava sigurno kretanje i zaustavljanje vozila. Sa stanovišta sigurnosti kretanja vozila kočioni sustav mora biti pouzdan i efikasan. Kako bi se ocijenila pouzdanost kočionog sustava na automobilu zakonski su propisani zahtjevi koje kočioni sustav mora zadovoljiti.

Sustav za kočenje treba udovoljiti sljedećim zahtjevima:[34]

- osigurati što kraći put zaustavljanja
- mora biti efikasan i postići visoki učinak usporenja
- potreban je sinhroni porast i pad kočnog momenta kod svih kotača
- reakcija kočionog sustava mora biti što kraća
- kočni momenti pojedinih kotača moraju biti proporcionalni njihovom opterećenju
- osigurati jednakost sila kočenja na kotačima jednog mosta
- osigurati efikasno odvođenje topline koja se stvara tijekom kočenja
- osigurati čistoću tarnih površina
- ne smije proizvoditi buku

Značajke kočionog sustava koje se ispituju na tehničkim pregledima automobila propisane su nacionalnim propisima. U Republici Hrvatskoj sva uvezena ili proizvedena cestovna vozila moraju zadovoljiti određene tehničke zahtjeve koji se potvrđuju u postupku homologacije. Republika Hrvatska je prihvatila međunarodnu obvezu za primjenu dokumenta Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu pod nazivom „*Sporazum o prihvaćanju jednakih tehničkih propisa za vozila na kotačima, opremu i dijelove koji mogu biti ugrađeni i/ili upotrijebljeni u vozilima na kotačima i uvjeti za uzajamno priznavanje homologacija dodijeljenih na temelju tih propisa (Narodne novine – Međunarodni ugovori, br. 8/94, 10/95, 1/96 i 6/96)*“.

[34]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić, dipl. ing., I. Šiško dipl. ing.: Kočenje motornih vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2001., str. 1

Homologacija je postupak kojim *Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo* potvrđuje sukladnost vozila kao cjeline s odredbama Pravilnika o homologaciji opreme i dijelova motornih vozila pridodanima uz prethodno spomenuti sporazum. Postupak homologacije kod novoproizvedenih vozila podrazumijeva ispitivanje vozila u ovlaštenim laboratorijima radi provjere o zadovoljavanju tehničkih propisa. U Republici Hrvatskoj cestovna vozila se uglavnom uvoze pa se postupak homologacije svodi na pregled dokumentacije i pregled vozila te ako su zadovoljeni propisani uvjeti izdaje se potvrda o sukladnosti. Propisani tehnički uvjeti koje moraju zadovoljiti cestovna vozila odnose se i na kočioni sustav. Odredbe o homologaciji cestovnih vozila donose se u pravilnicima Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (*Economic Commission for Europe*) koji su poznati kao ECE pravilnici.

3.1. ECE PRAVILNICI U POGLEDU KOČENJA

ECE pravilnici u kojima se donose odredbe o homologaciji motornih vozila u pogledu kočenja s primjenom u Republici Hrvatskoj su:[35]

- **Pravilnik br. 13** koji sadrži odredbe što se odnose na kočenje motornih vozila kategorije M, N i O
- **Pravilnik br. 13H** koji sadrži odredbe što se odnose na kočenje motornih vozila kategorije M1
- **Pravilnik br. 78** koji sadrži odredbe što se odnose na kočenje motornih vozila kategorije L
- **Pravilnik br. 90** koji sadrži odredbe što se odnose na zamjenske kočne obloge za motorna vozila i prikolice

U ovom radu analizirat će se pouzdanost kočionog sustava vozila kategorije M1. Ujedno će biti i opisan princip rada kočionog sustava M1 kategorije vozila. Zbog navedenog, ovdje će se samo detaljnije razraditi struktura Pravilnika 13H te opisati zahtjevi u pogledu performansi kočenja te njihov način provjere. Pravilnik br. 13H objavljen je 19. lipnja 1998. godine pod nazivom *Jedinstveni propisi koji se odnose na homologaciju putničkih automobila u pogledu kočenja (Uniform provisions concerning the approval of passenger cars)*.

[35]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić, dipl. ing., I. Šiško dipl. ing.: Kočenje motornih vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2001., str. 21

Pravilnik se sastoji od temeljnog dijela i 8 dodataka (Annex). U temeljnom dijelu su obrađeni sljedeći sadržaji:[36]

- Područje primjene
- Definicije
- Podnošenje zahtjeva za homologaciju
- Odobravanje homologacije
- Specifikacije: definiranje radne, pomoćne i parkirne kočnice, opći zahtjevi i značajke kočionog sustava
- Ispitivanje
- Modifikacija tipa vozila i kočionog sustava i proširenje homologacije
- Sukladnost proizvodnje
- Postupci u slučaju neusklađenosti proizvodnje
- Postupci kod prekida proizvodnje
- Nazivi i adrese laboratorija za homologacijska ispitivanja

U dodacima pravilnika obrađuju se sljedeći sadržaji:[37]

- Dodatak 1: Formulari koji se rabe u postupku homologacije
- Dodatak 2: Primjeri izgleda homologacijskih oznaka
- Dodatak 3: Ispitivanje kočionog sustava i zahtijevane performanse
- Dodatak 4: Odredbe koje se odnose na izvore energije i pohranu energije (akumulatori energije)
- Dodatak 5: Raspodjela kočenja između osovine vozila; Privitak 1: Postupak ispitivanja sekvenci blokiranja kotača; Privitak 2: Postupak ispitivanja zakretnog momenta kotača
- Dodatak 6: Zahtjevi pri ispitivanju vozila opremljenih sa protiv blokirajućim uređajima; Privitak 1: Simboli i definicije; Privitak 2: Iskorištenje adhezije; Privitak 3: Performanse na površinama različite adhezije; Privitak 4: Metoda određivanja površine niske adhezije
- Dodatak 7: Ispitivanje kočionih obloga inercijskim dinamometrom
- Dodatak 8: Posebni zahtjevi koji se odnose na sigurnosne aspekte kompleksnih elektronskih upravljačkih sustava vozila

[36]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006., str. 30
[37]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006., str. 30

3.2. OPĆE SPECIFIKACIJE PRAVILNIIKA ECE 13H

Pravilnik ECE 13H odnosi se na kategorije M1. Pravilnik se ne odnosi na vozila čija konstrukcijska brzina ne prelazi 25 km/h i na vozila prilagođena za invalide.

Kočioni sustav mora biti projektiran, izrađen i ugrađen na način da vozilu u uobičajenoj uporabi omogući, usprkos vibracijama kojima može biti izložen, udovoljavanje zahtjevima iz pravilnika. Posebice mora osigurati otpornost na utjecaj korozije i starenja čemu je kočioni sustav izložen. Kočionom sustavu mora biti omogućeno proizvesti maksimalnu kočnu silu u statičkim uvjetima na ispitnoj cesti ili na ispitnim valjcima. Signal kvara kočionog sustava mora trenutno prekinuti (za manje od 10ms) upravljački signal u upravljačkom sklopu kočionog sustava omogućivši da se zbog toga ne smanjuje učinak kočenja.

3.3. ZNAČAJKE KOČIONIH SUSTAVA

Kočioni sustavi moraju zadovoljiti uvjete koji su doneseni *naredbom o homologaciji vozila kategorija M, N, i O u pogledu kočenja*. Naredba je donesena temeljem članka 13 stavak 2., članka 17 stavak 2. i članka 23 stavak 4. Zakona o normizaciji („Narodne novine“, broj 55/96). Za potrebe ovog rada biti će navedene značajke koje se odnose na kočioni sustav vozila M kategorije.

Uređaji koji osiguravaju radno, pomoćno i parkirno kočenje mogu imati zajedničke sastavnice sve dok udovoljavaju ovim uvjetima:[38]

Moraju postojati najmanje dva aktivirajuća mehanizma nezavisna jedan o drugome i lako dostupna vozaču iz njegova uobičajenog vozačkog položaja. Svaki aktivirajući mehanizam kočnice mora biti konstruiran tako da se vraća u potpuno isključeni položaj kad je otpušten. Ovaj zahtjev se ne odnosi na aktivirajući mehanizam parkirne kočnice kad je isti mehanički blokiran u odabranom (djelatnom) položaju. [39]

Aktivirajući mehanizam uređaja radnog kočenja mora biti nezavisan o aktivirajućem mehanizmu uređaja parkirnog kočenja.[40]

Ako uređaj radnog kočenja i uređaj pomoćnog kočenja imaju isti aktivirajući mehanizam, uređaj parkirnog kočenja mora biti tako konstruiran da se može aktivirati kada je vozilo u gibanju. Taj zahtjev ne mora biti ispunjen ako se radna kočnica vozila može aktivirati, makar i djelomično, s pomoću nekog pomoćnog aktivirajućeg mehanizma.[41]

[38] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.2.
[39] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.2.1.
[40] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.2.3.
[41] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.2.4.

Ako se radno kočenje postiže energijom mišića vozača uz pomoć jedne ili više rezervi energije, pomoćno kočenje mora, u slučaju izostanka te pomoći, biti osigurano energijom mišića vozača, uz možebitnu pomoć dijela rezerve energije na koji ne utječe neispravnost, pri čemu sila na aktivirajućem mehanizmu ne smije prijeći propisanu najveću vrijednost.[42]

Ako sila radnog kočenja i djelovanje njezinog prijenosnog mehanizma ovise isključivo o uporabi rezerve energije, koju aktivira vozač, tada moraju postojati dvije potpuno nezavisne rezerve energije, svaka sa svojim vlastitim prijenosnim mehanizmom, a svaka od njih može djelovati na kočnice samo dva ili više kotača izabranih tako da mogu osigurati propisani stupanj učinkovitosti pomoćnog kočenja, bez ugrožavanja stabilnosti vozila pri kočenju; osim toga, svaka od gore navedenih rezervi (spremnika) energije mora biti opremljena alarmnim uređajem.[43]

Tamo gdje postoje zasebni aktivirajući mehanizmi za uređaj radnog kočenja i uređaj pomoćnog kočenja, istodobno aktiviranje oba aktivirajuća mehanizma ne smije prouzročiti nedjelotvornost oba uređaja – radnog i pomoćnog kočenja, bilo da su i jedan i drugi kočni uređaj u ispravnom stanju, bilo da je jedan od njih neispravan.[44]

Uređaj radnog kočenja, bilo da je kombiniran ili ne s uređajem pomoćnog kočenja, mora biti takav da u slučaju neispravnosti jednog dijela njegova prijenosnog mehanizma još uvijek preostaje dostatan broj kotača koji se koče aktiviranjem mehanizma radne kočnice.[45]

U slučaju neispravnosti bilo kojeg dijela prijenosnog sustava kočnog uređaja, mora se nastaviti napajanje dijela na koji ne utječe neispravnost, kako bi se, u slučaju potrebe, osiguralo zaustavljanje vozila sa stupnjem učinkovitosti propisanim za preostalo i/ili pomoćno kočenje. Ovaj uvjet mora biti ispunjen s pomoću uređaja koji se mogu lako aktivirati kad je vozilo u mirovanju ili na automatski način.[46]

Uređaj radnog kočenja mora djelovati na sve kotače vozila.[47]

Djelovanje uređaja radnog kočenja mora biti prikladno (primjereno) raspodijeljeno na pojedine osovine.[48]

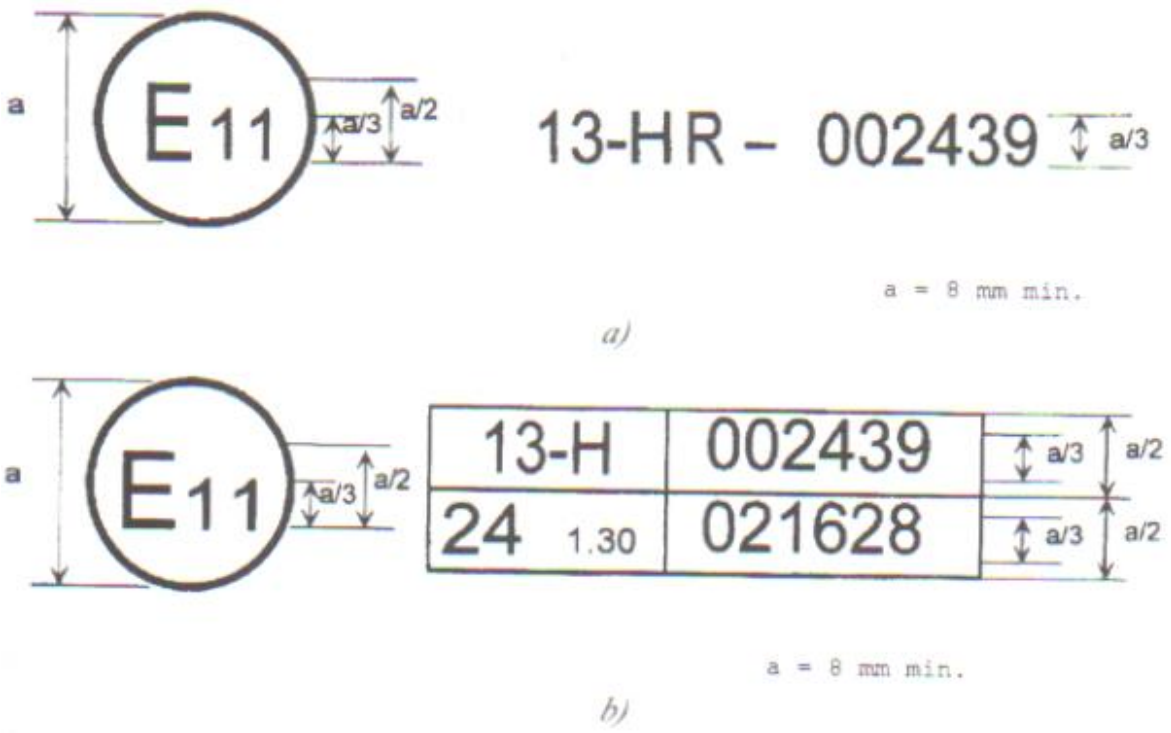
[42] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.2.6.1.
[43] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.2.6.1.
[44] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.3.
[45] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.4.
[46] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.5.1.
[47] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.7.
[48] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.8.

Djelovanje uređaja radnog kočenja mora biti raspodijeljeno na kotače jedne te iste osovine simetrično u odnosu na uzdužnu srednju ravninu vozila.[49]

Kod kočnih uređaja s hidrauličkim prijenosnim mehanizmom, uljevni otvori spremnika fluida (tekućine) moraju biti lako dostupni; osim toga, spremnici koji sadrže rezervni fluid moraju biti tako projektirani i izrađeni da se razina rezervnog fluida može lako provjeriti bez njihova otvaranja. U slučaju da taj potonji uvjet nije ispunjen, upozoravajući signal mora privući pozornost vozača na svaki pad rezerve fluida koji bi mogao dovesti do neispravnosti u radu kočnog uređaja. Učinkovito funkcioniranje tog signala vozač mora moći lako provjeriti.[50]

3.4. HOMOLGOCIJSKE OZNAKE

Izgled homologacijske oznake opisan je u Dodatku 2 Pravilnika 13H, a primjer tih oznaka prikazani su na slici 12.



Slika 12: Homologacijske oznake
Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006., str. 37

[49] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.9.
[50] Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, 5.1.12.

Na slici 11a prikazana je homologacijska oznaka koja pokazuje da je vozilo u pogledu kočenja (13H) homologirano u Velikoj Britaniji (E11), a dokument ima evidencijski broj 002439. Prva dva broja (00) ukazuju da je homologacija obavljena prema originalnom izdanju Pravilnika 13H, tj. bez dodatnih izmjena.

Na slici 12b prikazana je homologacijska oznaka kada su zajedno prikazane dvije homologacije. Oznake pokazuju da je vozilo homologirano u pogledu kočenja (13H) i u pogledu ECE 24 i da je homologirano u Velikoj Britaniji (E11). Homologacijski dokument za homologaciju ECE 24 ima evidencijski broj 021628. Prva dva broja (02) ukazuju da je homologacija obavljena prema 2. seriji izmjena i da korigirani koeficijent apsorpcije iznosi 1.30.

3.5. ISPITIVANJE KOČNICA I PERFORMANSE KOČIONOG SUSATVA

U Pravilniku 13H Dodatku 3 opisan je postupak ispitivanja kočnica i performanse koje kočioni sustav mora zadovoljiti. Osnovni zahtjevi u pogledu kočionih svojstava koje treba udovoljiti kočioni sustav definirani su:[51]

- Duljinom zaustavnog puta i/ili
- Srednjoj vrijednosti usporenja

Za analizu pouzdanosti kočionog sustava koristit će se duljina zaustavnog puta. Zaustavni put mjeri se od trenutka kada vozač počinje aktiviranje komande kočionog sustava do zaustavljanja vozila. Početna brzina ne smije biti manja od 98% propisane brzine za ispitivanje performansi kočenja.

Ukupni zaustavni put pri kočenju iznosi:[52]

$$S_u = v_1 * \left(t_1 + t_2 + \frac{t_3}{2}\right) + \frac{v_1^2}{2a_{max}}$$

Zbog navedene funkcionalne veze između zaustavnog puta i početne brzine, u ECE Pravilniku br.13 prihvaćeno je da se zahtijevani zaustavni put S za određenu kategoriju vozila izražava u obliku:[53]

$$S = A * v + \frac{v^2}{B}$$

[51]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006., str. 37
[52]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić, dipl. ing., I. Šiško dipl. ing.: Kočenje motornih vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2001., str. 29
[53]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić, dipl. ing., I. Šiško dipl. ing.: Kočenje motornih vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2001., str. 29

gdje je: v – početna brzina; A, B – konstante koje definiraju zahtjeve na kočioni sustav za određenu kategoriju vozila.

Ispitivanja kočionog sustava provode se pri različitim uvjetima rada kočionog sustava te je definirano nekoliko vrsta ispitivanja koje imaju nazive[54]:

- Tip – 0 (ordinary performance test with cold breaks) i
- Tip – I (fade and recovery test)

Ispitivanja „Tip 0" provode se s hladnim kočnicama i na horizontalnom putu. Kočnice se smatraju hladnim ako je temperatura diska ili doboša između 65 °C i 100 °C. Izvode se s opterećenim vozilom sa raspodjelom opterećenja po osovinama koje propisuje proizvođač. Kod ispitivanja kolnik mora biti ravan, a ispitivanje mora sadržavati do šest zaustavljanja uključujući i zaustavljanja za potrebe privikavanja na postupak ispitivanja.

Postoje dvije vrste ispitivanja „Tip 0"[55]:

- Ispitivanje „Tip 0" kad je motor povezan s transmisijom
- Ispitivanje „Tip 0" kad je motor razdvojen od transmisije

Zahtijevana kočna svojstva radne kočnice i pomoćne kočnice ispituju se u „Tip 0" ispitivanju. Kočna svojstva radne kočnice ispituju se kad je motor povezan s transmisijom te kad je motor razdvojen od transmisije. Kod ispitivanja kada je motor razdvojen od transmisije početna brzina vozila je 100 km/h gdje zaustavni put mora iznositi:

$$S = 0{,}1 * v + 0{,}0060 * v^2$$

Kod ispitivanja kada je motor povezan s transmisijom početna brzina vozila je 160 km/h gdje zaustavni put mora iznositi:

$$S = 0{,}1 * v + 0{,}0067 * v^2$$

Kočna svojstva pomoćne kočnice ispituju se kada je motor razdvojen od transmisije sa početnom brzinom vozila od 100 km/h gdje mora biti osiguran zaustavni put od:

$$S = 0{,}1 + 0{,}0158 * v^2$$

[54]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006., str. 39

[55]Izvor: Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006., str. 39

Kod ispitivanja „Tip I“ cilj je odrediti opadanje efikasnosti kočenja tijekom uporabe. U tom smislu se ispituju kočna svojstva s ponavljajućim i kontinuiranim kočenjima. Mjere se kočna svojstva zagrijanih radnih kočnica u uvjetima jednakim kao kod ispitivanja „Tip 0“ s motorom razdvojenim od transmisije, pri čemu je važno da prosječna sila aktiviranja kočnica nije veća od sile primijenjene u prethodnom ispitivanju. Zaustavni put ne smije biti manji od:

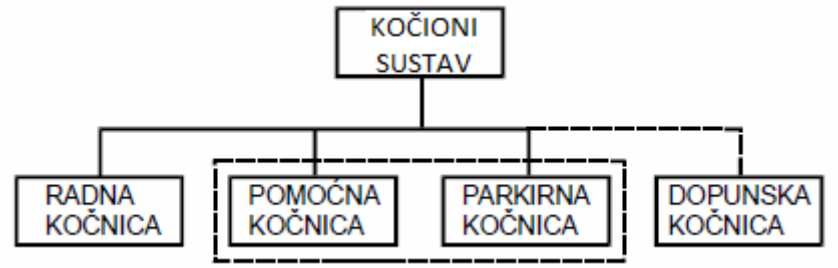
$$S = 0{,}1 + 0{,}0080 * v^2$$

4. SHEMA POZDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA

4.1. KOČIONI SUSTAV

Uređaj za kočenje služi za usporavanje i potpuno zaustavljanje vozila te osiguranje mirovanja vozila za vrijeme stajanja na određenom nagibu ceste i pri svim opterećenjima vozila. Kočioni sustav (slika 13) predstavlja složeni sustav koji objedinjuje veći broj sklopova i elemenata te je sastavljen iz više podsustava. Na motorna vozila ugrađuje se[56]:

- radna kočnica
- pomoćna kočnica
- parkirna kočnica
- dopunska ili trajna kočnica (na težim teretnim vozilima i autobusima)



Slika 13: Struktura kočionog sustava
Izvor: Filipović I.: Cestovna vozila, Priručnik za voditelje tehničkih pregleda vozila, Mervik, Sarajevo, 2012, str. 378

Radna kočnica omogućuje vozaču usporavanje i zaustavljanje vozila, a izvedena je tako da vozač može na nju djelovati sa sjedala bez ispuštanja kola upravljača iz ruku. To znači da vozač aktivira radnu kočnicu nožnim djelovanjem na odgovarajuću papučicu. Radna kočnica predstavlja najvažniji dio kočionog sustava te se njoj obraća posebna pažnja.

Pomoćna kočnica omogućuje vozaču usporavanje i zaustavljanje vozila u slučaju otkaza radne kočnice. Vozač je može aktivirati sa sjedala a da mu pritom jedna ruka bude na kolu upravljača. Stoga je pomoćna kočnica u načelu ručna kočnica, odnosno kočnica koja se aktivira rukom. Pomoćna kočnica se uvodi u cilju ostvarivanja veće pouzdanosti kočionog sustava.

Parkirna kočnica omogućuje da se vozilo osigura u zakočenom stanju za vrijeme stajanja pri punom opterećenju i na određenom nagibu. Na motornim vozilima često se kombiniraju pomoćna i parkirna kočnica, odnosno one su sjedinjene, a omogućuju djelovanje kao jedna ili druga kočnica. Iz toga proizlazi da su pomoćna i radna kočnica isti podsustav.

[56]Izvor: prof.dr.sc Zavada J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2000., str. 102

Dopunska ili trajna kočnica prvenstveno je namijenjena blagom i dugotrajnom kočenju vozila ili održavanju brzine vozila na dugim padovima ceste. Radna i pomoćna kočnica nisu konstruirane tako da mogu izdržati dugotrajna kočenja te se zbog toga u vozila ugrađuje trajna kočnica. Dugotrajnim kočenjem radnom kočnicom dolazi do toplinskog preopterećenja tarnih elemenata i pada učinkovitosti kočnice. Trajna kočnica obavezno je propisana samo za teža teretna vozila (ukupne mase iznad 7 tona) i autobuse.

Kočioni sustav se općenito sastoji od[57]:

- kočionog mehanizma
- prijenosnog mehanizma
- regulirajućih elemenata

Kočioni mehanizam trenjem osigurava usporavanje ili zaustavljanje vozila pretvarajući kinetičku energiju vozila u toplinu. Najčešće se smješta u kotače ili rjeđe u transmisiju. Zbog pretvaranja kinetičke energije u toplinu važno je osigurati dovoljno hlađenje mehanizma kako bi se spriječilo pregrijavanje. Na motornim vozilima najčešće se upotrebljavaju kočni mehanizmi koji rade na principu mehaničkog trenja. Izvode se kao bubanj-kočnice ili disk-kočnice. Kočnica ili kočioni mehanizam je izvršni element kočionog sustava te ima zadatak da, pomoću tarnih materijala koji dolaze u dodir sa diskom ili bubnjem na kotaču, proizvodi moment trenja koji vrši usporavanje okretaja kotača.

Funkcija prijenosnog mehanizma je razvijanje i prijenos sile za aktiviranje kočionog mehanizma. To je vrlo bitna funkcija kočionog sustava koja značajno utječe na ukupne performanse vozila u pogledu kočenja. Prijenosni mehanizam služi da, prilikom naredbe od strane vozača (tlačenjem noge na papučicu kočnice), pomakne kočione papuče koje se tada priljubljuju uz bubanj ili disk te na taj način stvaraju moment trenja i vrše kočenje. Prema načinu prijenosa kočione sile do kočnog mehanizma, prijenosni mehanizmi mogu biti izvedeni kao mehanički, hidraulični, pneumatski i kombinirani.

Za potrebe analize kočionog sustava u nastavku rada biti će objašnjen mehanički i hidraulični prijenosni mehanizam kočionog sustava. Također će se prikazati shema pouzdanosti kočionog sustava sa jednokružnim i dvokružnim hidrauličnim prijenosnim mehanizmom.

4.2. MEHANIČKI PRIJENOSNI MEHANIZAM

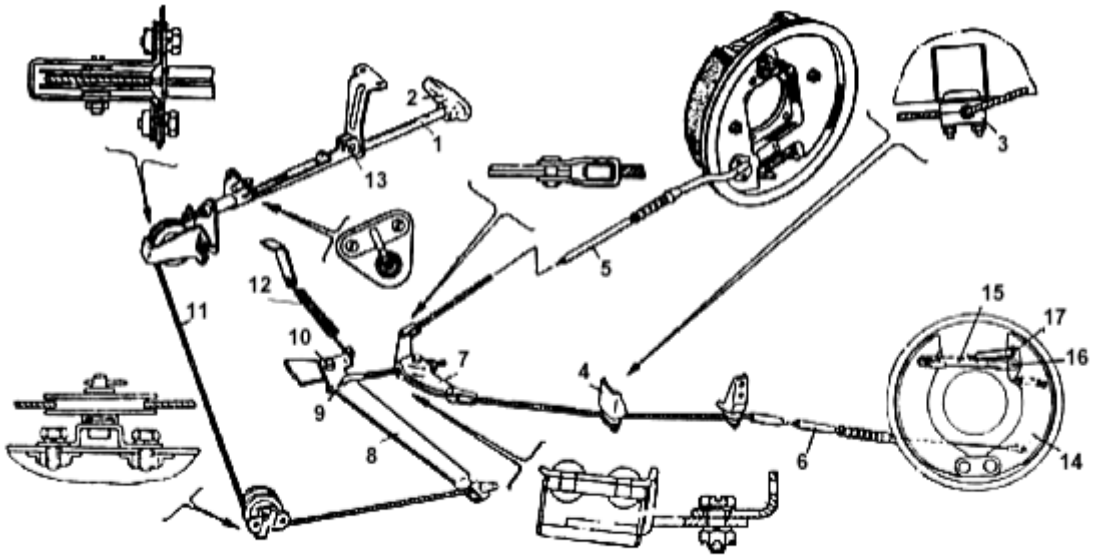
Kod mehaničkog prijenosnog mehanizma prijenos sile kočenja od papučice za kočenje na koju djeluje vozač do kočionog mehanizma vrši se pomoću poluga, spona i čeličnih užadi.

Radna kočnica s mehaničkim prijenosnim mehanizmom aktivira se potiskivanjem papučice kočnice koja drugim krajem povlači sponu ili čelično uže. Pomak se prenosi na polugu

[57]Izvor: prof.dr.sc Zavada J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2000., str. 103

koja zakreće ekscentar bubanj-kočnice, a on potiskuje čeljusti kočnice na bubanj ostvarujući tako trenje, odnosno kočenje.[58]

Izvedba radne kočnice sa mehaničkim prijenosom potpuno je izbačena iz uporabe. Mehanički prijenosni mehanizam koristi se za aktiviranje parkirne ili pomoćne kočnice. Kod parkirne ili pomoćne kočnice aktiviranje kočnice ostvaruje se ručicom umjesto papučicom.



1 – poluga; 2 – ručica; 3 – usmjernik; 4 – okvir; 5, 6, 11 – čelično uže; 7, 8 – dvokraka poluga;
9 – spona; 10 – zglob poluge; 12 – opruga; 13 – utvrđivač; 14 – poluga za aktiviranje;
15 – potisna poluga; 16 – zglobna veza potisne poluge i poluge za aktiviranje;
17 – zglobna veza papuče i poluge za aktiviranje.

Slika 14: Pomoćna ili ručna kočnica
Izvor: Filipović I.: Motori i motorna vozila, Mašinski fakultet u Tuzli, Tuzla, 2006, str. 236

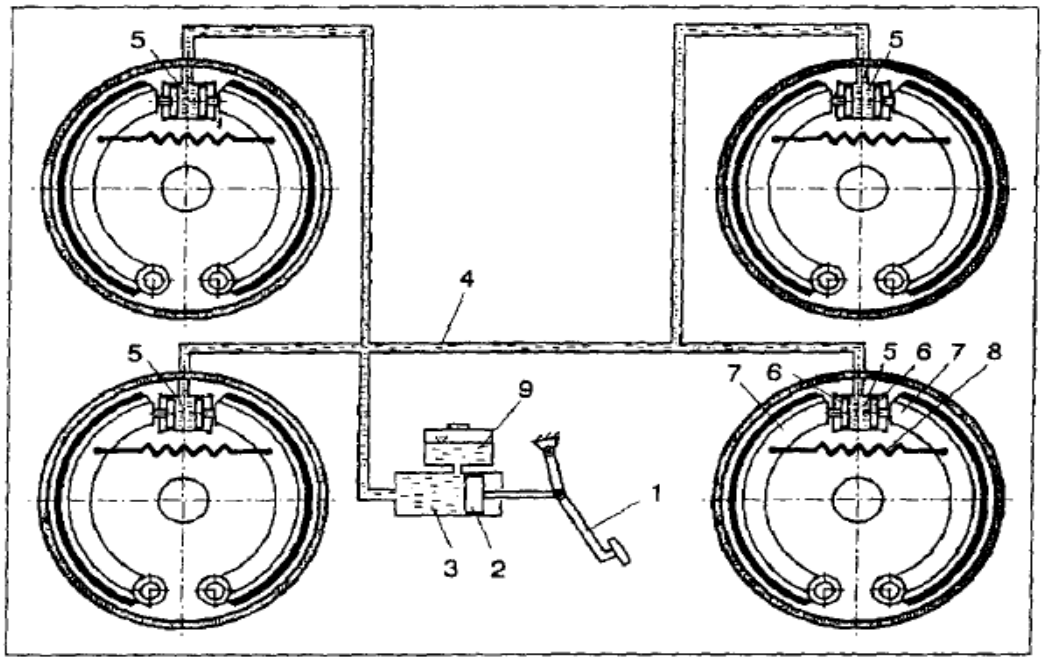
4.3. HIDRAULIČNI PRIJENOSNI MEHANIZAM

Kod hidrauličnog prijenosnog mehanizma sile kočenja se prenose hidrauličnim putem, odnosno putem cjevovoda i tekućine (ulja za kočenje) na principu Pascalova zakona. Prema Pascalovom zakonu tlak se pomoću tekućine u zatvorenom cjevovodu širi na sve strane jednako. Hidraulični prijenosni mehanizam primjenjuje se isključivo na radne kočnice. Hidraulični prijenosni mehanizam se, prema rasporedu cjevovoda do pojedinih kočnih cilindara u kotačima i njihovih veza, dijeli na jednokružni i dvokružni prijenosni mehanizam.

Princip rada hidraulične kočnice prikazat će se na principijalnoj shemi jednokružnog hidrauličnog mehanizma (slika 15). Za aktiviranje kočnice vozač potiskuje papučicu (1) preko koje se potiskuje klip (2) u glavnom cilindru (3). Potiskivanjem klipa povećava se tlak tekućine

[58]Izvor: prof.dr.sc Zavada J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2000., str. 106

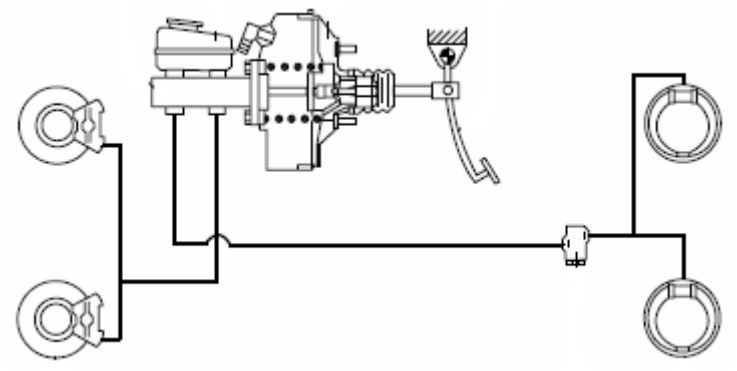
u cjevovodu (4), koji se prenosi u kočne cilindre (5) u kotačima vozila. Pritom tlak djeluje na klipove (6) koji potiskuju čeljusti kočnica (7) na bubanj kočnice. Otkočavanje se postiže prestankom djelovanja vozača na papučicu, pri čemu opruga (8) odvaja čeljusti od bubnja. Kompenzacija tekućine u cjevovodu zbog promjene volumena prouzročenog trošenjem tarnih obloga i drugih razloga obavlja se iz spremnika (9). Primjer je dan za bubanj kočnice u kotačima vozila, a isto vrijedi i za disk-kočnice.[59]



Slika 15: Principijalna shema jednokružnog hidrauličnog mehanizma
Izvor: prof.dr.sc Zavada J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2000., str. 107

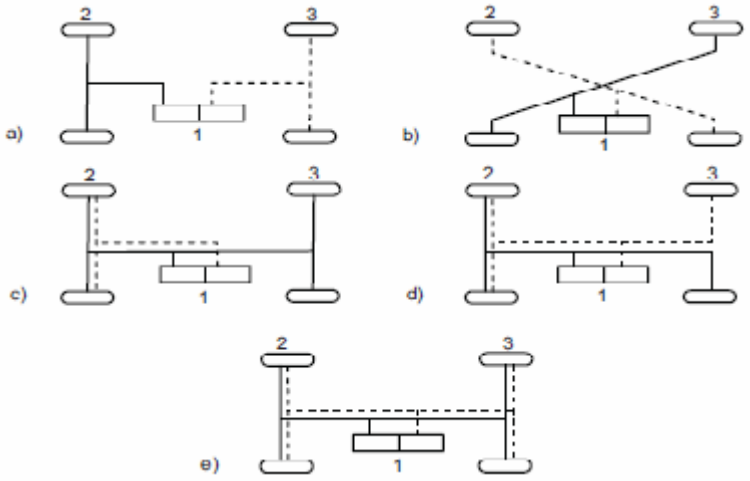
Ako se u kočionom sustavu svi kočioni cilindri u kotačima povezuju zajedničkim cjevovodom iz jednog izvoda na glavnom cilindru tada je to jednokružni hidraulični mehanizam. Takva je izvedba hidrauličnog prijenosnog mehanizma jednostavne konstrukcije, ali i ima svoje nedostatke. Ako cjevovod kočione tekućine pukne na bilo kojem mjestu dolazi do curenja tekućine iz cjevovoda zbog čega dolazi do nemogućnosti prijenosa sile kočenja na kočione cilindre u kotačima i gubi se sposobnost kočenja vozila. Zbog tog se nedostatka jednokružni hidraulični mehanizam rijetko koristi u praksi. Kako bi se povećala sigurnost i pouzdanost hidrauličnog prijenosnog mehanizma, a time i pouzdanost kočionog sustava, razvijen je dvokružni hidraulični prijenosni mehanizam (slika 16). Kod dvokružne izvedbe hidrauličnog prijenosnog mehanizma glavni kočioni cilindar ima dva neovisna izvoda za priključak dvaju neovisnih cjevovoda, odnosno hidraulična kruga, koji su povezani s nekim kočnim cilindrima. Ako dođe do puknuća jednog cjevovoda drugi ostaje u funkciji i ne gubi se sposobnost kočenja vozila.

[59]Izvor: prof.dr.sc Zavada J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2000., str. 107



Slika 16: Shema dvokružnog hidrauličnog prijenosnog mehanizma
Izvor: Filipović I.: Cestovna vozila, Priručnik za voditelje tehničkih pregleda vozila, Mervik, Sarajevo, 2012, str.388

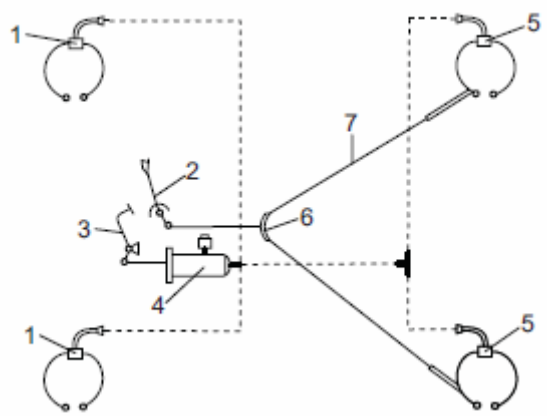
U praksi se primjenjuju različita rješenja dvokružnog prijenosnog mehanizma a najčešće izvedbe su shematski prikazane na slici 17. Rješenja b), c) i d) zadovoljavaju ECE propise. Na shemi a) iz glavnog kočnog cilindra (1) jednim hidrauličnim krugom su spojeni kočni cilindri prednjih kotača (2), a drugim kočni cilindri stražnjih kotača (3). U slučaju otkaza jednog hidrauličnog kruga drugi hidraulični krug će i dalje biti učinkovit, ali će se smanjiti intenzitet kočenja zbog djelovanja kočione sile na samo dva kotača. Neispravnost kočnica prednjih kotača može dovesti do blokiranja stražnjih kotača i zanošenja vozila što je nepoželjno. Kod izvedbe prikazane na shemi b) hidraulični krugovi podijeljeni su dijagonalno što ostvaruje kočenje jednog prednjeg kotača i dijagonalno nasuprotnog stražnjeg kotača. Izvedba na shemi c) prikazuje jedan hidraulični krug koji djeluje na sve kotače i drugi krug koji djeluje samo na prednje kotače. Prikladna je za vozila s malim opterećenjem stražnjih kotača. Prema shemi d) oba hidraulična kruga djeluju na prednje kotače i na jedan različiti stražnji kotač, a kod sheme e) svaki hidraulični krug djeluje na sve kotače.



Slika 17: Sheme izvedbi dvokružnih prijenosnih mehanizama
Izvor: Filipović I.: Cestovna vozila, Priručnik za voditelje tehničkih pregleda vozila, Mervik, Sarajevo,2012, str.388

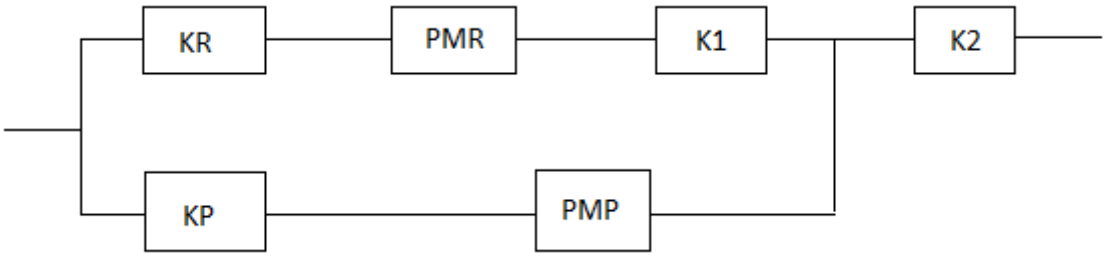
4.4. SHEMA POUZDANOSTI JEDNOKRUŽNOG I DVOKRUŽNOG KOČIONOG SUSTAVA

Kočioni sustav vozila sastoji se od radne (nožne) kočnice i pomoćne (ručne) kočnice te se kočenje može vršiti ili radnom kočnicom ili pomoćnom kočnicom. Ako na vozilu otkaže jedna od kočnica, vozilo i dalje ima sposobnost kočenja ali nižih performansi. Iz toga proizlazi da su elementi kočionog sustava paralelno povezani. Na slici 18 prikazana je shema kočionog sustava sa prijenosnim mehanizmom radne i pomoćne kočnice iz koje će biti izvedena shema pouzdanosti sustava.



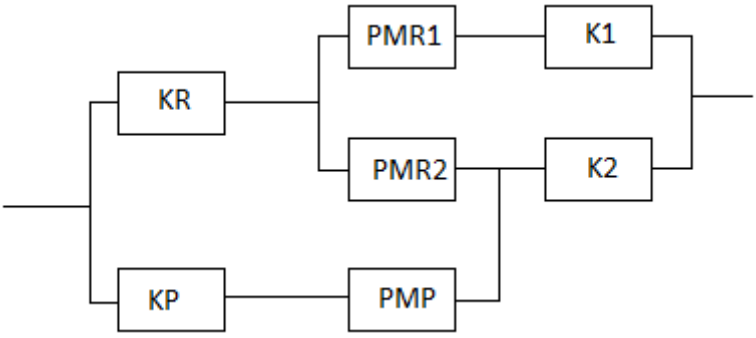
Slika 18: Shematski prikaz pomoćne i radne kočnice sa prijenosnim mehanizmom
Izvor: Filipović I.: Cestovna vozila, Priručnik za voditelje tehničkih pregleda vozila, Mervik, Sarajevo,2012, str.387

1 – kočnice prednjih kotača, 2 – ručica pomoćne kočnice, 3 – nožna komanda radne kočnice, 4 – glavni kočioni cilindar, 5 – kočnice stražnjih kotača, 6 – zatega, 7 – sajla, isprekidane linije predstavljaju hidraulični prijenosni mehanizam radne kočnice.



Slika 19: Shema pouzdanosti kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom
Izvor: Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd,1983, str. 167

Slika 19 prikazuje shemu pouzdanosti jednokružnog kočionog sustava sa radnom i pomoćnom kočnicom. Za ispravno funkcioniranje radne kočnice mora biti ispravan komandni mehanizam radne kočnice (KR) i prijenosni mehanizam radne kočnice (PMR) te kočnice prednjih (K1) i stražnjih (K2) kotača. Kako bi pomoćna kočnica ispravno funkcionirala mora biti ispravan komandni mehanizam pomoćne kočnice (KP) i prijenosni mehanizam pomoćne kočnice (PMP) te kočnice stražnjih kotača (K2).



Slika 20: Shema pouzdanosti kočionog sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom
Izvor: Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd,1983, str. 171

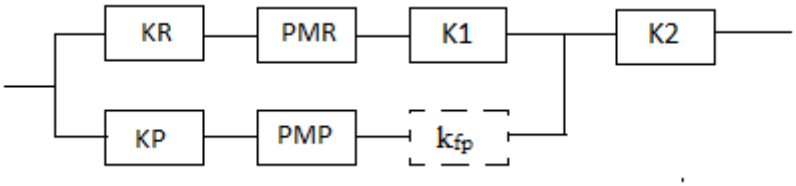
Shema pouzdanosti dvokružnog kočionog sustava sa radnom i pomoćnom kočnicom prikazana je na slici 20. Iz sheme je vidljivo da za ispravno funkcioniranje radne kočnice mora biti ispravan komandni mehanizam prednje i zadnje kočnice (KR1,2) i prijenosni mehanizam prednjih kočnica (PMR1) te kočnice prednjih kotača (K1) ili prijenosni mehanizam stražnjih kočnica (PMR2) i kočnice stražnjih kotača (K2). Za ispravno funkcioniranje pomoćne kočnice potrebna je ispravnost komadnog mehanizma pomoćne kočnice (KP) i prijenosnog mehanizma pomoćne kočnice (PMP) te ispravnost kočnica stražnjih kotača (K2).

5. ANALIZA POUZDANOSTI KOČIONOG SUSTAVA

U ovom poglavlju analizirat će se pouzdanost kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom i pouzdanost kočionog sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom. Pouzdanost sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom analizirat će se na primjeru kočionog sustava sa zavisnim granama prednje i zadnje kočnice. Pouzdanost sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom analizirat će se na primjeru kočionog sustava sa nezavisnim granama prednje i zadnje kočnice. Za analizu ova dva sustava nije bilo moguće dobiti stvarne podatke o pouzdanosti pojedinih elemenata u sustavu te će se iz tog razloga koristiti podaci o pouzdanosti pronađeni u literaturi. Podaci o pouzdanosti elemenata uzeti su iz sljedeća dva izvora: *Walusiak S., Dziubiński M., Pietrzyk W.: AN ANALYSIS OF HYDRAULIC BRAKING SYSTEM RELIABILITY, TEKA Kom. Mot. Energ. Roln., 2005, Lublin Universityof Technology i Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.*

5.1. POUZDANOST KOČIONOG SUSTAVA SA JEDNOKRUŽNIM PRIJENOSNIM MEHANIZMOM

Kočioni sustav sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom sastoji se od radne i pomoćne kočnice. Kočenje vozila realizira se radnom kočnicom ali je moguće kočenje vozila realizirati i sa pomoćnom kočnicom. Performanse kočenja zavise o odnosima dužina puteva kočenja pri djelovanju radne (S_r) i pomoćne (S_p) kočnice, a izražavaju se preko odnosa $K_{fp} = S_r/S_p$ koji u ovom slučaju predstavlja fiktivni element u sustavu sa kvazi-paralelnom vezom elemenata. Dodavanjem fiktivnog elementa u sustav shema pouzdanosti kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom izgledati će kao na slici 21.



Slika 21: Shema pouzdanosti kočionog sustava sa fiktivnim elementom
Izvor:Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd,1983, str. 167

Za analizu ovog sustava koristiti će se sljedeće vrijednosti pouzdanosti elemenata kočionog sustava:

$$R_{KR} = 0{,}999$$

$$R_{PMR} = 0{,}995$$

$$R_{K1} = R_{K2} = 0{,}997$$

$$R_{KP} = 0{,}999$$

$$R_{PMP} = 0{,}999$$

Ukupna pouzdanost kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom može se odrediti kao vjerojatnost ispravnog rada sustava odnosno vjerojatnost realizacije povoljnog događaja D_S u trenutku $t = t_0$ što se matematički može zapisati

$$R_S(t_0) = P(D_S)$$

gdje je: D_S – slučajan događaj i predstavlja ispravno stanje kočionog sustava.

Događaj D_S može biti realiziran ispravnim radom radne kočnice (događaj D_1) ili pomoćne kočnice (događaj D_2) stoga se ova zavisnost može prikazati kao unija događaja D_1 i D_2 u obliku:

$$D_S = D_1 \cup D_2$$

Odnosno preko vjerojatnosti realizacije događaja $P(D_i)$ u obliku:

$$P(D_S) = P(D_1) + P(D_2) - P(D_1)P(D_2)$$

Kada se uzmu u obzir svi elementi koji sudjeluju u izvršavanju funkcije kočionog sustava pouzdanost kočionog sustava može se zapisati u obliku:

$$\begin{aligned} P(D_S) = {} & P(D_{KR})P(D_{PMR})P(D_{K1})P(D_{K2}) + P(D_{KP})P(D_{PMP})P(D_{K2}) \\ & - P(D_{KR})P(D_{PMR})P(D_{K1})P(D_{K2})P(D_{KP})P(D_{PMP})P(D_{K2}) \end{aligned}$$

U trenutku $t = t_0$ vjerojatnost realizacije događaja $P(D_i)$, odnosno vjerojatnost ispravnog rada pojedinih elemenata u promatranom sustavu predstavlja njihovu pouzdanost što proizlazi iz osnovne definicije pouzdanosti:

$$P(D_i) = R_i(t_0),$$

pouzdanost se za bilo koji trenutak vremena može prikazati kao:

$$P(D_i) = R_i$$

Zamjenom $P(D_{K2}) * P(D_{K2}) = P(D_{K2})$ funkcija pouzdanosti kočionog sustava je:

$$\begin{aligned} R_s &= R_{KR}R_{PMR}R_{K1}R_{K2} + R_{KDP}R_{PMP}R_{K2} - R_{KR}R_{PMR}R_{K1}R_{K2}R_{KP}R_{PMP} \\ &= R_{K2} * [1 - (1 - R_{KR}R_{PMR}R_{K1})(1 - R_{KP}R_{PMP})] \end{aligned}$$

Ako se kod kočenja samo radnom kočnicom ili samo pomoćnom kočnicom ostvaruju jednaki putovi kočenja ($K_{fp} = S_r/S_p = 1$)[60] pouzdanost sustava će iznositi:

$$\begin{aligned} R_S &= R_{K2} * \left[1 - (1 - R_{KR}R_{PMR}R_{K1}) * \left(1 - R_{KP}R_{PMP}K_{fp}\right)\right] \\ &= R_{K2} * [1 - (1 - R_{KR}R_{PMR}R_{K1}) * (1 - R_{KP}R_{PMP})] \end{aligned}$$

Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 0{,}997 * [1 - (1 - 0{,}999 * 0{,}995 * 0{,}997) * (1 - 0.999 * 0{,}999)] = 0{,}996982$$

Kod opadanja performansi kočionog sustava ($K_{fp} = \frac{S_r}{S_p} = 0 - 1$), odnosno kada je put kočenja pomoćnom kočnicom kraći od puta kočenja radnom kočnicom ($S_p < S_r$), to je konstruktivna karakteristika kočnica motornih vozila (što dozvoljavaju odgovarajući propisi)[61], pouzdanost sustava može se zapisati u obliku:

$$R_S = R_{K2}[1 - (1 - R_{KR}R_{PMR}R_{K1}) * \left(1 - R_{KP}R_{PMP}K_{fp}\right)]$$

[60]Izvor: Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd, 1983, str. 169

[61]Izvor: Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd, 1983, str. 169

Do opadanja performansi kočionog sustava može doći zbog kvara na prijenosnom mehanizmu radne kočnice, istrošenosti kočionih diskova. Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata i vrijednosti fiktivnog elementa $k_{fp} = 0{,}55$[62] što približno odgovara konstruktivnim karakteristikama vozila, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 0{,}997 * [1 - (1 - 0{,}999 * 0{,}995 * 0{,}997) * (1 - 0{,}999 * 0{,}999 * 0{,}55)] = 0{,}992962$$

U ovoj specifičnoj kvazi-paralelnoj vezi elemenata u sustavu sa uvedenim koeficijentom K_{fp} mora uvijek biti zadovoljen uvjet $0 < K_{fp} < 1$ što znači da ovaj definirani koeficijent može uvjetno predstavljati fiktivni element sustava.

5.2. POUZDANOST KOČIONOG SUSTAVA SA DVOKRUŽNIM PRIJENOSNIM MEHANIZMOM

Kočioni sustav sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom sastoji se od radne i pomoćne kočnice. Kao i u sustavu sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom kočenje vozila moguće je realizirati sa radnom i sa pomoćnom kočnicom. Iz sheme pouzdanosti kočionog sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom (slika 19) vidljivo je da se ovaj kočioni sustav sastoji od nezavisne grane radne kočnice prednjih kotača, nezavisne grane radne kočnice stražnjih kotača i nezavisne grane pomoćne kočnice.

Za ovaj sustav analizirat će se pouzdanost sustava kada se kočenje ostvaruje:

- prednjom, zadnjom i pomoćnom kočnicom
- prednjom i zadnjom kočnicom
- prednjom i pomoćnom kočnicom
- zadnjom i pomoćnom kočnicom
- samo pomoćnom kočnicom

Za analizu ovog sustava koristiti će se, kao i u prethodnom primjeru, sljedeće vrijednosti pouzdanosti elemenata kočionog sustava:

$$R_{KR} = 0{,}999$$

$$R_{PMR1} = R_{PMR2} = 0{,}995$$

$$R_{K1} = R_{K2} = 0{,}997$$

$$R_{KP} = 0{,}999$$

$$R_{PMP} = 0{,}999$$

[62]Izvor: Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd, 1983, str. 167

Usvojit će se da je koeficijent pogoršanja uvjeta rada k_{fp} kod ove analize jednak 1, odnosno da su putevi kočenja radne i pomoćne kočnice isti.

Ostvarenje kočenja sa prednjom, zadnjom i pomoćnom kočnicom podrazumijeva ispravan rad grane prednje radne kočnice, grane stražnje radne kočnice i grane pomoćne kočnice. Pouzdanost će se odrediti iz uvjeta realizacije događaja:

$$D_S = D_1 \cup D_2 \cup D_3$$

Za ispravno funkcioniranje grane radne kočnice prednjih kotača moraju biti ispravni komandni mehanizam radne kočnice, prijenosni mehanizam prednjih kočnica i kočnice prednjih kotača. Funkcioniranje grane radne kočnice stražnjih kotača omogućuje ispravnost komandnog mehanizma prednjih i zadnjih kočnica, prijenosnog mehanizma zadnjih kočnica i kočnice stražnjih kotača. Ispravno funkcioniranje grane pomoćne kočnice omogućuje ispravnost komandnog mehanizma pomoćne kočnice, prijenosnog mehanizma pomoćne kočnice i kočnica stražnjih kotača. Svaka grana zasebno predstavlja serijski spoj elemenata koji se u analitičkom obliku može izraziti kao:

$$D_1 = D_{KR} \cap D_{PMR1} \cap D_{KC1}$$

$$D_2 = D_{KR} \cap D_{PMR2} \cap D_{KC2}$$

$$D_3 = D_{KP} \cap D_{PMP} \cap D_{KC2}$$

Na osnovu teorema o vjerojatnosti unije skupova i vjerojatnosti realizacije povoljnih događaja $P(D_1), P(D_2), P(D_3)$, vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ cjelokupnog sustava kod kočenja sa prednjom, zadnjom i pomoćnom kočnicom može se izraziti kao:

$$P(D_S) = P(D_1) + P(D_2) + P(D_3) - P(D_1)P(D_2) - P(D_1)P(D_3) - P(D_2)P(D_3) + \\ + P(D_1)P(D_2)P(D_3),$$

$$P(D_S) = P(D_{KR1,2})P(D_{PMR1})P(D_{K1}) + P\big(D_{KR1,2}\big)P(D_{PMR2})P(D_{K2}) + \\ + P(D_{KP})P(D_{PMP})P(D_{K2}) - P\big(D_{KR1,2}\big)P(D_{PMR1})P(D_{K1})P\big(D_{KR1,2}\big)P(D_{PMR2})P(D_{K2}) - \\ - P\big(D_{KR1,2}\big)P(D_{PMR1})P(D_{K1})P(D_{KP})P(D_{PMP})P(D_{K2}) - \\ - P\big(D_{KR1,2}\big)P(D_{PMR2})P(D_{K2})P(D_{KP})P(D_{PMP})P(D_{K2}) + \\ + P(D_{KR1,2})P(D_{PMR1})P(D_{K1})P\big(D_{KR1,2}\big)P(D_{PMR2})P(D_{K2})P(D_{KP})P(D_{PMP})P(D_{K2})$$

Kako je za bilo koji trenutak vremena $t = t_0$ vjerojatnost realizacije događaja $P(D_i)$, odnosno vjerojatnost ispravnog rada pojedinih elemenata u promatranom sustavu predstavlja njihovu pouzdanost što proizlazi iz osnovne definicije pouzdanosti:

$$P(D_i) = R_i(t_0),$$

Pouzdanost se za bilo koji trenutak vremena može prikazati kao:

$$P(D_i) = R_i$$

Zamjenom veličina $P(D_{KR}) * P(D_{KR}) = P(D_{KR})$ i $P(D_{K2}) * P(D_{K2}) = P(D_{K2})$ funkcija pouzdanosti kočionog sustava pri ostvarivanju kočenja sa prednjom, zadnjom i pomoćnom kočnicom iznositi će:

$$R_S = 1 - \{1 - R_{KR} * [1 - (1 - R_{PMR1} * R_{K1})(1 - R_{PMR2} * R_{K2})]\} * \\ * \left(1 - R_{PMP} R_{KP} R_{K2} k_{fp}\right) - (1 - R_{K2})(1 - R_{PMR1} R_{K1}) * R_{KR} * R_{PMR2} * R_{K2} \\ * R_{KP} * R_{PMP} * k_{fp}$$

Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata i koeficijenta pogoršanja uvjeta rada $k_{fp} = 1$, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 1 - \{1 - 0{,}999 * [1 - (1 - 0{,}995 * 0{,}997) * (1 - 0{,}995 * 0{,}997)]\} \\ * (1 - 0{,}999 * 0{,}999 * 0{,}997 * 1) - (1 - 0{,}997) * (1 - 0{,}995 * 0{,}997) \\ * 0{,}999 * 0{,}995 * 0{,}997 * 0{,}999 * 0{,}999 * 1 = 0{,}999971$$

Kada se kočenje ostvaruje prednjom i stražnjom kočnicom, grana prednje radne kočnice i grana zadnje radne kočnice mora biti u ispravnom stanju. Grana prednje radne kočnice je u ispravnom stanju ako su ispravni sljedeći elementi sustava, komandni mehanizam radne kočnice, prijenosni mehanizam prednjih kočnica i kočnice prednjih kotača. Grana stražnje radne kočnice je u ispravnom stanju ako su ispravni sljedeći elementi sustava, komandni mehanizam radne kočnice, prijenosni mehanizam zadnjih kočnica i kočnice zadnjih kotača.

Vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ cjelokupnog sustava kod kočenja sa prednjom i zadnjom kočnicom može se izraziti kao:

$$P(D_S) = P(D_1) + P(D_2) - P(D_1) * P(D_2)$$

Funkcija pouzdanosti kočionog sustava pri ostvarivanju kočenja sa prednjom i zadnjom kočnicom iznositi će:

$$R_S = 1 - \{1 - R_{KR} * [1 - (1 - R_{PMR1} * R_{K1}) * (1 - R_{PMR2} * R_{K2})]\}$$

Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 1 - \{1 - 0.999 * [1 - (1 - 0{,}995 * 0{,}997) * (1 - 0{,}995 * 0{,}997)]\} = 0{,}998936$$

Ako se kočenje ostvaruje prednjom i pomoćnom kočnicom, grana prednje radne kočnice i grana pomoćne kočnice mora biti u ispravom stanju. Grana prednje radne kočnice je u ispravnom stanju ako su ispravni sljedeći elementi, komandni mehanizam radne kočnice, prijenosni mehanizam prednjih kočnica i kočnice prednjih kotača. Grana pomoćne kočnice je u ispravnom stanju ako su ispravni sljedeći elementi sustava, komandni mehanizam pomoćne kočnice, prijenosni mehanizam pomoćne kočnice i kočnice stražnjih kotača.

Vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ cjelokupnog sustava kod kočenja sa prednjom i pomoćnom kočnicom može se izraziti kao:

$$P(D_S) = P(D_1) + P(D_3) - P(D_1) * P(D_3)$$

Funkcija pouzdanosti kočionog sustava pri ostvarivanju kočenja sa prednjom i zadnjom kočnicom iznositi će:

$$R_S = 1 - (1 - R_{KR}R_{PMR1}R_{K1}) * (1 - R_{KP}R_{PMP}R_{K2})$$

Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 1 - (1 - 0{,}999 * 0{,}995 * 0{,}997) * (1 - 0{,}999 * 0{,}999 * 0{,}997) = 0{,}999955$$

Kod ostvarivanja kočenja stražnjom i pomoćnom kočnicom, grana stražnje radne kočnice i grana pomoćne kočnice mora biti u ispravom stanju. Grana stražnje radne kočnice je u ispravnom stanju ako su ispravni sljedeći elementi sustava, komandni mehanizam radne kočnice, prijenosni mehanizam stražnjih kočnica i kočioni cilindri stražnje kočnica. Grana pomoćne kočnice je u ispravnom stanju ako su ispravni sljedeći elementi sustava, komandni mehanizam pomoćne kočnice, prijenosni mehanizam pomoćne kočnice i kočioni cilindri zadnjih kočnica.

Vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ cjelokupnog sustava kod kočenja sa zadnjom i pomoćnom kočnicom može se izraziti kao:

$$P(D_S) = P(D_2) + P(D_3) - P(D_2) * P(D_3)$$

Funkcija pouzdanosti kočionog sustava pri ostvarivanju kočenja sa prednjom i zadnjom kočnicom iznositi će:

$$R_S = R_{K2} * [1 - (1 - R_{KR} * R_{PMR2}) * (1 - R_{KP} * R_{PMP})]$$

Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 0{,}997 * [1 - (1 - 0{,}995 * 0{,}995) * (1 - 0{,}999 * 0{,}999)] = 0{,}996980$$

Kočenje samo pomoćnom kočnicom se ostvaruje ako je grana pomoćne kočnice u ispravnom stanju. Kako bi grana pomoćne kočnice bila u ispravnom stanju potrebno je da budu ispravni sljedeći elementi sustava, komandni mehanizam pomoćne kočnice, prijenosni mehanizam pomoćne kočnice i kočioni cilindri zadnjih kočnica.

Vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_S)$ cjelokupnog sustava kod kočenja samo pomoćnom kočnicom može se izraziti kao:

$$P(D_S) = P(D_3)$$

Funkcija pouzdanosti kočionog sustava pri ostvarivanju kočenja samo zadnjom kočnicom iznositi će:

$$R_S = 1 - (1 - R_{KP} * R_{PMP} * R_{K2})$$

Uvrštavanjem vrijednosti pouzdanosti elemenata, pouzdanost sustava iznosi:

$$R_S = 1 - (1 - 0{,}999 * 0{,}999 * 0{,}997) = 0{,}995007$$

Analizirajući pouzdanost kočionog sustava sa jednokružnim i dvokružnim prijenosnim mehanizmom, odnosno kočionog sustava sa zavisnim i nezavisnim granama prednje i stražnje kočnice, može se zaključiti da je pouzdanost kočionog sustava sa nezavisnim granama prednje i stražnje kočnice veća.

$$R_S = 0{,}996982 < R_S = 0{,}999971, \qquad k_{fp} = 1$$

6. ZAKLJUČAK

Tehnološki napredak u svijetu doveo je do razvoja sve složenijih tehničkih sustava. Današnje tehničke sustave karakterizira povećan stupanj složenosti konstrukcije pojedinih sklopova i elemenata te povećanje složenosti tehnološke sheme povezanosti elemenata u sustavu. Posljedica povećanog stupnja složenosti sustava je pojava sve većeg broja pitanja vezanih za sigurnost i povećanje pouzdanosti sustava u cjelini. Ova pitanja dovela su do razvoja teorije pouzdanosti. Svaki element sustava će se prije ili kasnije pokvariti neovisno o tome kako je dizajniran, proizveden ili održavan. Vrijeme pojave kvara elementa je nepredvidivo odnosno slučajno. Kako se kvar ne može u potpunosti spriječiti, vrlo je važno minimizirati vjerojatnost pojave kvara odnosno smanjiti nepouzdanost sustava. Iz tog razloga se koriste razne analize pouzdanosti sustava. Analiziranje pouzdanosti ima veliku važnost jer nepouzdanost sustava, tj. kvarovi u sustavu, imaju ekonomski učinak a kod nekih sustava mogu imati i katastrofalni učinak po ljudski život.

U ovom radu analizirala se pouzdanost kočionog sustava na automobilu koji predstavlja složeni tehnički sustav. Analiza je rađena na primjeru kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom i kočionog sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom. Kod kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom elementi radne kočnice prednjih i zadnjih kotača su povezani serijski. U tom slučaju kvarom prijenosnog mehanizma radne kočnice automobil gubi sposobnost kočenja radnom kočnicom. U kočionom sustavu sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom elementi radne kočnice prednjih i zadnjih kotača su povezani paralelno što znači da kočnice prednjih i zadnjih kotača imaju odvojene prijenosne mehanizme. Kvarom jednog prijenosnog mehanizma automobil neće izgubiti sposobnost kočenja radnom kočnicom već će moći kočiti radnom kočnicom ali sa smanjenim učinkom. Analizom je pokazano da sustav sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom ima veću pouzdanost jer otkazom jednog elementa sustav ne gubi u potpunosti sposobnost rada.

Kočioni sustav je jedan od najvažnijih sustava na automobilu jer otkaz ovog sustava osim ekonomskog učinka ima i katastrofalni učinak po ljudski život. Iz tog razloga pouzdanost ovog sustava mora biti jako velika kako bi se osiguralo sigurno korištenje automobila u prometu. Razvoj na području osobnih vozila doveo je do moćnih i pouzdanih kočionih sustava koji vozila mogu zaustaviti i na velikim brzinama. Sustavi koji povećavaju učinkovitost i pouzdanost kočionog sustava su antiblokirajući sustav – ABS (njem. *Antiblokiersystem*, eng. *Anti-lock System*) i sustav protiv proklizavanja – ASR ili TC sustav (njem. *Antribs Schlupf Regelung*, eng. *Traction Control*, eng. *Traction Control System*). Zbog sigurnosti u prometu i povećanja pouzdanosti kočionog sustava navedeni sustavi se u današnje vrijeme ugrađuju u sva osobna vozila.

LITERATURA

KNJIGE

1. dr. N. Vujanović, dipl. inž.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
2. Filipović I.: Motori i motorna vozila, Mašinski fakultet u Tuzli, Tuzla, 2006.
3. Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, zbirka zadataka, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
4. Milanović Zdravko: Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Čačak 2007.
5. prof.dr.sc Zavada J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2000.
6. Rausand M., Hoyland A.: System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications, SecondEdition, JohnWiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
7. Bazijanac E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
8. Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić, dipl. ing., I. Šiško dipl. ing.: Kočenje motornih vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2001.
9. Dr. sc. I. Mavrin, Dr. sc. E. Bazijanac, M. Sučić dipl. ing.: Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, osnove i propisi, Hrvatski autoklub, Zagreb, 2006.

OSTALO

10. Filipović I.: Cestovna vozila, Priručnik za voditelje tehničkih pregleda vozila, Mervik, Sarajevo, 2012.
11. Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013.
12. Naredba o homologaciji vozila kategorije M, N i O u pogledu kočenja, („Narodne novine“, broj 55/96), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo
13. Stipe Belak: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik 2005.
14. Walusiak S., Dziubiński M., Pietrzyk W.: AN ANALYSIS OF HYDRAULIC BRAKING SYSTEM RELIABILITY, TEKA Kom. Mot. Energ. Roln., 2005, LublinUniversityofTechnology

POPIS SLIKA

Slika 1: Krivulja života

Slika 2: Osnovni pokazatelji pouzdanosti za konstantan intenzitet otkaza

Slika 3: Pokazatelji pouzdanosti za Weibull-ovu distribuciju

Slika 4: Blok dijagram povezanosti sa serijskom strukturom elemenata

Slika 5: Presjek događaja D_1 i D_2

Slika 6: Presjek događaja D_1 i D_2 i D_3

Slika 7: Blok dijagram pouzdanosti za paralelnu strukturu elemenata

Slika 8: Unija mogućih događaja D_1 i D_2

Slika 9: Unija mogućih događaja D_1 i D_2 i D_3

Slika 10: Kvazi-serijska veza elemenata

Slika 11: Kvazi-paralelna veza elemenata

Slika 12: Homologacijske oznake

Slika 13: Struktura kočionog sustava

Slika 14: Pomoćna ili ručna kočnica

Slika 15: Principijalna shema jednokružnog hidrauličnog mehanizma

Slika 16: Shema dvokružnog hidrauličnog prijenosnog mehanizma

Slika 17: Sheme izvedbi dvokružnih prijenosnih mehanizama

Slika 18: Shematski prikaz pomoćne i radne kočnice sa prijenosnim mehanizmom

Slika 19: Shema pouzdanosti kočionog sustava sa jednokružnim prijenosnim mehanizmom

Slika 20: Shema pouzdanosti kočionog sustava sa dvokružnim prijenosnim mehanizmom

Slika 21: Shema pouzdanosti kočionog sustava sa fiktivnim elementom

METAPODACI

Naslov rada: Analiza pouzdanosti kočionog sustava kao element tehničke logistike

Student: Vedran Trošelj

Mentor: prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Reliability Analysis of the Break System as an Element of Tehnical Logistics

Povjerenstvo za obranu:

- prof.dr.sc. Kristijan Rogić_____predsjednik
- prof. dr. sc. Ernest Bazijanac____ mentor
- dr.sc. Diana Božić_____član
- doc.dr.sc. Anita Domitrović_____zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za transportnu logistiku

Vrsta studija: Preddiplomski_____

Studij: ITS i logistika(npr. Promet, ITS i logistika, Aeronautika)

Datum obrane završnog rada: 12., 13., 14., 15., rujna 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Analiza pouzdanosti kočionog sustava kao element tehničke logistike**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 06.9.2017

(potpis)