

Materijali i zahtjevi za izradu kočionih diskova i kočionih pločica osobnih vozila

Barišić, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:037062>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



OSVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Petar Barišić

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević, dipl. ing.

Student:

Petar Barišić

Zagreb, 2025.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici prof.dr.sc. Suzani Jakovljević na pruženoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

Želim izraziti iskrenu zahvalnost svojoj obitelji koja mi je pružala neizmjernu podršku i motivaciju tijekom cijelog obrazovanja te se zahvaljujem svojim prijateljima na svakoj riječi podrške koja mi je pomogla kroz ovaj cijeli period studiranja.

Petar Barišić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 25 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 25 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Petar Barišić** JMBAG: **0035231743**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Materijali i zahtjevi za izradu kočionih diskova i kočionih pločica osobnih vozila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Materials and requirements for production of brake discs and brake pads of a passenger vehicles**

Opis zadatka:

Kočioni sustav vozila jedan je od njegovih najvažnijih sustava. Kočnice vozila služe za sigurno usporavanje i zaustavljanje vozila te zadržavanje vozila kod mirovanja. Kočione pločice i kočioni diskovi dio su tog sustava i trebaju zadovoljavati stroge zahtjeve definirane ECE (*Economic Commission for Europe*) pravilnicima. Zahtjevi za ostvarivanje kočionih karakteristika vozila definirani su u pravilniku ECE R13, a zahtjevi za kočione pločice u pravilniku ECE R90.

U radu je potrebno:

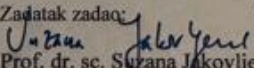
- 1) Definirati zahtjeve za izradu kočionih diskova i kočionih pločica osobnih vozila.
- 2) Istražiti koji se materijali najviše koriste za izradu kočionih pločica i kočionih diskova osobnih vozila.
- 3) Analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju u kontaktu kočionih pločica i kočionih diskova
- 4) Na odabranom uzorku karakterizirati mikrostrukturu izabranog materijala.
- 5) Analizirati rezultate i dati zaključak.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

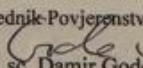
Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.
2. rok: 10. i 11. 7. 2025.
3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. - 28. 2. 2025.
2. rok: 15. 7. - 18. 7. 2025.
3. rok: 22. 9. - 26. 9. 2025.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Damir Godec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS OZNAKA	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY	V
1. UVOD.....	1
2. KOČIONI SUSTAV OSOBNIH VOZILA	2
2.1. Vrste kočnica.....	3
3. KOČIONI DISKOVI.....	4
3.1. Materijali za izradu kočionih diskova.....	7
3.1.1. Sivi lijev	7
3.1.2. Keramički kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima.....	8
3.1.3. Keramički kočioni diskovi [10]	9
4. KOČIONE PLOČICE.....	11
4.1. Materijali za izradu kočionih pločica.....	12
4.1.1. Kočione pločice bez azbesta (NAO).....	13
4.1.3. Keramičke ili ugljično-ugljične kočione pločice	14
5. ZAHTJEVI ZA IZRADU KOČIONIH DISKOVA I PLOČICA.....	16
5.1. ECE R13	16
5.1.1. Karakteristike kočionih sustava	16
5.1.2. Provjera istrošenosti tarnih sastavnih dijelova radne kočnice	17
5.1.3. Ispitivanje kočenja	18
5.1.4. Zahtjevi za homologaciju.....	18
5.1.5. Zahtjevi za kočnice	19
5.2. ECE R90	20
5.2.1. Zahtjev za odobrenje i homologaciju.....	20
5.2.2. Homologacijske oznake	21
5.2.3. Karakteristike i ispitivanja	21
6. MEHANIZMI TROŠENJA PRI KONTAKTU KOČIONOG DISKA I KOČIONE PLOČICE.....	23
7. EKSPERIMENTALNI DIO	25
7.1. Metalografska ispitivanja.....	26
8. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	31

POPIS SLIKA

Slika 1. Kočioni sustav kod osobnih vozila [2].....	2
Slika 2. Disk kočnice [1].....	4
Slika 3. Disk s nepokretnim kliještima [1].....	5
Slika 4. Disk s pokretnim kliještima [1].....	5
Slika 5. Keramički kompozitni disk [5].....	8
Slika 6. Presjek kočione pločice [12].....	12
Slika 7. Homologacijska oznaka [16].....	21
Slika 8. Proces trošenja kočionog diska i kočione pločice [17].....	23
Slika 9. Triobar kočionog diska i pločice.....	25
Slika 10. Kočiona pločica: a) prednja strana, b) stražnja strana.....	25
Slika 11. Mecatome T 260.....	26
Slika 12. Mecatech 250 SPI.....	27
Slika 13. Olympus GX51.....	28
Slika 14. Ispitni uzorak kočionog diska.....	28
Slika 15. Ispitni uzorak kočione pločice.....	29

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
<i>T</i>	°C	temperatura
<i>l</i>	mm	duljina
<i>M</i>	Nm	moment
<i>v</i>	km/h	brzina
<i>s</i>	km	put
<i>a</i>	m/s ²	Usporavanje

SAŽETAK

Kočnice su jedan od najvažnijih komponenata u osobnom vozilu. U radu se istražuju zahtjevi i materijali za izradu kočionih diskova i kočionih pločica. Kod zahtjeva za izradu kočnica i njenih dijelova, moraju biti izrađene po ECE pravilniku koji postavlja standarde za sigurnost. U radu su opisani materijali koji se koriste za izradu kočionih diskova i kočionih pločica te su opisani mehanizmi trošenja između ta dva tribopara.

U eksperimentalnom dijelu provedena je analiza mikrostrukture kočionog diska i kočione pločice.

Ključne riječi: kočioni diskovi, kočione pločice, trošenje

SUMMARY

Brakes are one of the most important components in a passenger vehicle. The paper investigates the requirements and materials for the production of brake discs and brake pads. In the case of requests for the manufacture of brakes and their parts, they must be manufactured according to the ECE regulation, which sets standards for safety. The paper describes the materials used to make brake discs and brake pads, and the wear mechanisms between these two tribopairs are described.

In the experimental part, an analysis of the microstructure of the brake disc and brake pad was performed.

Key words: brake discs, brake pads, wear

1. UVOD

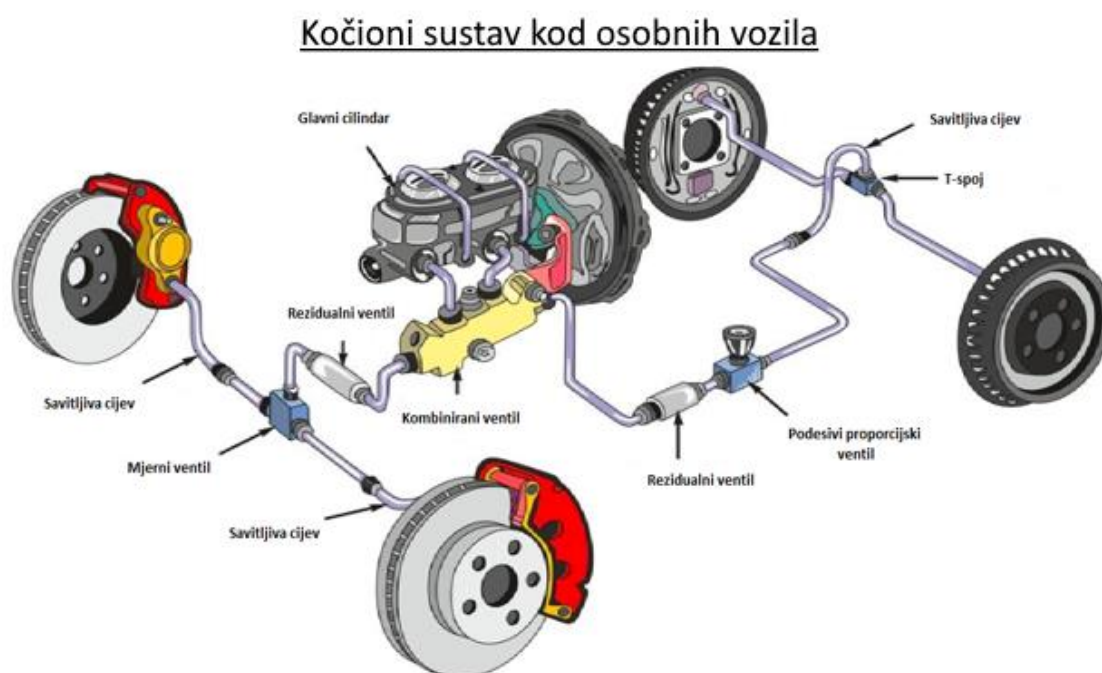
Kočioni sustav se uvrštava među najvažnije sustave u vozilu. To je skup uređaja koji služe za usporavanje i zaustavljanje vozila kako ne bi došlo do sudara i nepoželjnih događaja. Glavni dijelovi ovog sustava su kočioni diskovi i kočione obloge, čiji materijali i zahtjevi za izradu ovise o kvaliteti kočenja. Zahtjevi za izradu kočionog sustava su strogi jer se žele postići najbolji uvjeti za rad, sigurnost i dugotrajnost. Svi zahtjevi za kočione parametre vozila napisani su u pravilniku ECE R13, a zahtjevi za kočione pločice u pravilniku ECE R90. Kočioni diskovi i kočione pločice su podložne trošenju što može utjecati smanjenjem učinkovitosti tijekom vožnje i nužnost zamjene. Kočioni diskovi su izrađeni od različitih materijala, a najčešće od lijevanog željeza, dok se za kočione pločice koriste kompozitni materijali.

U eksperimentalnom dijelu analizirana je mikrostruktura odabranih kočionih diskova i pločica.

2. KOČIONI SUSTAV OSOBNIH VOZILA

Kočioni sustav osobnih vozila treba biti tako izveden da se vozilo može brzo, sigurno i kvalitetno usporiti te zaustaviti u bilo kojim vremenskim uvjetima. S obzirom na konstrukcijsku izvedbu, kočnice se dijele na disk ili bubanj kočnice. Kotači s prednje strane vozila imaju disk kočnice, a stražnji kotači imaju bubanj ili disk kočnice. Prednji dio kočnica je dosta važniji jer se kočenjem masa vozila prenosi naprijed na prednje kotače. Načini prijenosa sile kočenja mogu biti: mehanički, hidraulički, pneumatski ili električki. [1]

Na slici 1. je prikazan kočioni sustav osobnog vozila.



Slika 1. Kočioni sustav kod osobnih vozila [2]

Za sigurnost kočenja važno je da sustav nije opremljen elektroničkim komponentama koje bi mogle ugroziti njegovu osnovnu funkcionalnost. Konstrukcija kočnica mora osigurati pouzdano i ugodno usporavanje vozila, kao i najkraći mogući zaustavni put u slučaju naglog kočenja, uz očuvanje stabilnosti vozila. Snaga kočnica znatno je veća od snage motora vozila, što omogućuje brzo zaustavljanje čak i pri velikim brzinama. Kako bi se osigurala dugovječnost i funkcionalnost kočnica, njihovi dijelovi moraju biti lako dostupni za pregled i održavanje, a elementi podložni trošenju trebaju biti konstruirani tako da se mogu jednostavno zamijeniti nakon što dosegnu svoj vijek trajanja. [3]

2.1. Vrste kočnica

Kočnice kod osobnih vozila su isključivo tarne kočnice čija je uloga pretvorba energija gibanja vozila u toplinu. Vrste kočnica kod vozila čine [4]:

- Radna kočnica:

Radna kočnica se aktivira nogom te služi za usporavanje ili zaustavljanje vozila, djeluje na sve kotače te radi bez obzira na bilo kakve uvjete vožnje.

- Pomoćna ili parkirna kočnica:

Aktiviranje se obično provodi ručicom (ručnom kočnicom), a prijenos sile je mehanički zbog sigurnosnih razloga. Pomoćnom ili parkirnom kočnicom osigurava se pozicioniranje vozila u zakločenom položaju neovisno o nagibu puta.

- ABS:

ABS je skraćenica koja dolazi od njemačke riječi *Antiblockiersystem*, koji označava sustav sprječavanja blokiranja kotača tijekom kočenja.

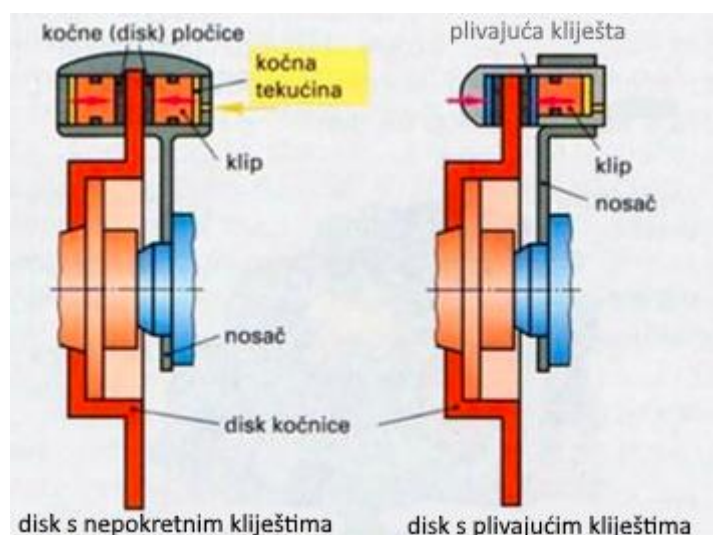
Podjele kočnica prema konstrukcijskoj izvedbi su [4]:

- Bujanj kočnice (kočnice s bubnjem).
- Disk kočnice (kočnice s pločicom).

3. KOČIONI DISKOVI

Diskovi kočnica izravno su povezani s kotačem, dok su kliješta (stezači, čeljusti) pričvršćena za konstrukcijske elemente vozila te svojim dijelom pritiskaju površinu diska. Unutar kliješta smješten je mehanizam koji omogućuje primjenu sile na disk s obje strane. Ovisno o izvedbi, taj mehanizam može biti mehanički ili hidraulični, a pritisak se prenosi putem kočionih pločica obloženih frikcijskim materijalima, koje su aksijalno usmjerene. Disk kočnice mogu biti konstruirane s nepokretnim ili pomičnim kliještima. Njihova široka primjena u odnosu na druge vrste kočionih sustava proizlazi iz određenih konstrukcijskih prednosti, kao što su visoka stabilnost trenja u širokom rasponu radnih temperature, smanjena osjetljivost na vlagu i atmosferske utjecaje, jednostavna konstrukcija s manjim brojem dijelova te jednostavno održavanje. [3]

Osnovni dijelovi disk kočnica, prikazani na slici 2. su:



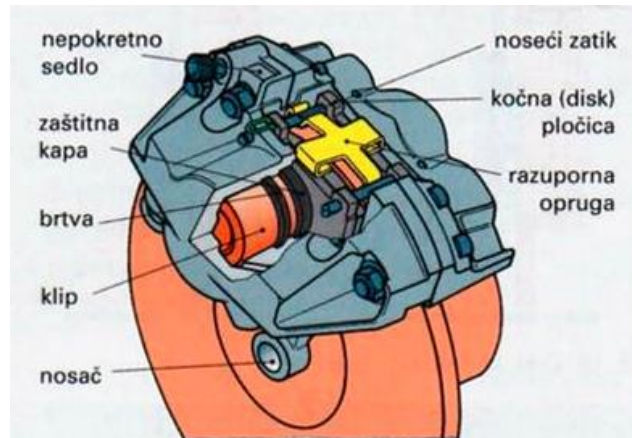
Slika 2. Disk kočnice [1]

Disk kočnice se dijele na [3]:

- 1) Kočnice s nepokretnim kliještima.
- 2) Okvirne kočnice s plivajućim kliještima.
- 3) Kočnice s plivajućim kliještima.

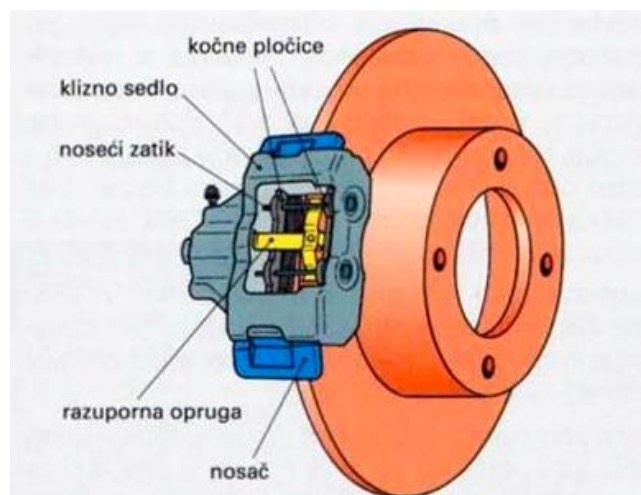
Disk kočnica s nepokretnim kliještima (prikazana na slici 3.): sastoji se od kliješta i nosača kočionog cilindra koji obuhvaćaju kočioni disk. U kliještima se nalaze kočioni cilindri, a cilindri s klipovima postavljeni su nasuprot jedan drugome i povezani kanalima. Tijekom

kočenja, klipovi cilindra potiskuju kočione pločice prema disku, a povratna opruga vraća pločice u početni položaj te onemogućuje njihovo pomicanje i udaranje. Gornji par i donji par klipa djeluju neovisno jedan o drugom. Ugradnjom četiri klipa doprinosi se boljoj učinkovitosti kočenja, ali zato i pločice mogu biti i većih dimenzija. [1]



Slika 3. Disk s nepokretnim kliještima [1]

Disk kočnica s pokretnim kliještima (prikazana na slici 4.): sastoji se od kliješta i nosača kočionog cilindra. Kod ovog sustava, klip neposredno pritisne samo jednu pločicu dok čeljusti na temelju sila reakcije potiskuju drugu pločicu. Nosač koji vodi čeljusti pričvršćen je na ovjes kotača. Glavne značajke pokretnih disk kočnica uključuju male dimenzije te masu, učinkovito odvođenje topline, jednostavno rastavljanje kočionih pločica te neosjetljivost na nečistoću. [1]



Slika 4. Disk s pokretnim kliještima [1]

Ostali glavni dijelovi disk kočnica su [5]:

- Disk ili rotor:

Disk kočnice su sustav kočenja u kojem se trenjem između rotirajućeg diska i kočionih pločica pretvara kinetička energija vozila u toplinsku da bi se vozilo zaustavilo. Diskovi ponajviše zavise o trenju sa pločicama kako bi se dobivena toplina što brže raspršila u okoliš ili će se u protivnom smanjiti učinkovitost kočenja. Zbog tog većina vozila posjeduje ventilaciju diskova što omogućava i brže hlađenje diskova. Disk je ugrađen na osovinu i rotira se zajedno s kotačem.

- Kočione pločice:

Kočione pločice su komponente disk kočnica te pritiskom pločice na disk stvara se trenje potrebno za usporavanje i zaustavljanje vozila.

- Klip:

Veliki utjecaj na izvedbu klipa ovisi o broju klipova u čeljusti. Opterećenjem na papučicu kočnice, klip pritišće kočionu pločicu te usporava vozilo.

Prednosti disk kočnica:

- U usporedbi s bubanj kočnicom, disk kočnica omogućuje učinkovitije kočenje uz manju primjenu sile te zahtijeva manje toplinske energije za postizanje istog momenta kočenja pri zaustavljanju vozila.
- Lakše održavanje zbog toga što je disk kočnica izvan ruba kotača.
- Brže hlađenje u odnosu na bubanj kočnicu.
- U vlažnim uvjetima bolja učinkovitost nego kod bubanj kočnice radi proklizavanja.

Nedostatci disk kočnica:

- Skuplji u odnosu na bubanj kočnicu.
- U slučaju da zrak ostane u sustavu disk kočnica, kočenje neće biti efikasno.
- Složeniji sklop u odnosu na bubanj kočnicu i treba uložiti više truda za održavanje kočnica. [6]

3.1. Materijali za izradu kočionih diskova

Dvije glavne funkcije kočionog diska su prijenos značajne mehaničke sile i rasipanje topline proizvedene tijekom rada. Radna temperatura kod osobnih vozila, ovisno o masi i učestalosti kočenja, može se kretati od sobne temperature pa sve do 700°C u određenim situacijama. Ovaj široki temperaturni raspon uzrokuje visoke temperaturne gradijente u disku, što dovodi do problema s toplinskim umorom. Osim toga, komponenta kočionog diska je podložna cikličkom mehaničkom opterećenju koje pločice generiraju tijekom kočenja, čime se dodatno povećava trošenje. Zbog toga je disk, u stvarnim uvjetima rada, izložen kombiniranom toplinsko-mehaničkom umoru, a ne samo toplinskom. Budući da je kočioni disk ključna komponenta za sigurnost, materijali koji se koriste za kočione sustave trebali bi imati stabilno i pouzdano trenje i trošenje svojstva u različitim uvjetima opterećenja, brzine, temperature i okoliša te visoku izdržljivost. Postoji nekoliko čimbenika koje treba uzeti u obzir pri odabiru materijala kočionog diska. Najvažnije razmatranje je sposobnost materijala kočionog diska da izdrži veliko trenje i manje abrazijsko trošenje. Drugi zahtjev je izdržati visoku temperaturu koja je nastala zbog trenja. Masa kočionog diska, proizvodna učinkovitost i cijena također su važni čimbenici koje je potrebno uzeti u obzir tijekom faze projektiranja. Tijekom odabira materijala, reciklažna svojstva lijevanog željeza predstavljaju prednost, no pri ponovnom taljenju potrebno je uzeti u obzir emisiju CO₂. Kočioni disk mora imati dovoljan kapacitet pohrane topline kako bi se spriječile deformacije ili lom zbog toplinskog naprezanja. [7]

Materijali koji se koriste u proizvodnji kočionih diskova: lijevano željezo (najčešće sivi lijev), keramički kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima te keramički materijali. Izbor materijala ovisi o primjeni i vrsti vozila zbog njihovih različitih svojstava i prednosti. [1]

3.1.1. Sivi lijev

Povijesno gledano, prvi materijal korišten za izradu kočionih diskova bilo je lijevano željezo (sivi lijev). Taj je materijal ispunjavao ključne zahtjeve poput dobre toplinske vodljivosti, otpornosti na koroziju, niske razine buke, dugotrajnosti i ravnomjernog trenja, uz povoljnu cijenu i jednostavnu proizvodnju. Iako su tijekom više od stotinu godina razvijeni različiti materijali za ovu svrhu, sivi lijev i dalje ostaje najčešći izbor zbog svoje ekonomičnosti i pouzdanosti. [8]

3.1.2. Keramički kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima

Keramički kompozitni kočioni diskovi izrađeni su od matrice silicijevog karbida i ugljičnih vlakana kao ojačala. Silicijev karbid omogućuje visoku tvrdoću, dobru korozivsku postojanost, visoku toplinsku vodljivost i čvrstoću te nisko toplinsko širenje kompozitnog materijala. Ugljična vlakna pružaju izuzetnu mehaničku čvrstoću i otpornost na lom.

Keramičko kompozitne kočnice pružaju izvrsnu učinkovitost, dugotrajan rad i manju masu, što ih čini pogodnima za visoke učinkovitosti. Njihova sposobnost učinkovitog odvođenja toplinske energije održava kočenje stabilnim, a emisija čestica kočenja je smanjena te se manje zagađuje okoliš. Ipak, zbog visoke cijene, uglavnom se koriste u sportskim vozilima ili na utrkama. [9]

Primjer keramičkih kompozitnih kočionih diskova prikazan je na slici 5.



Slika 5. Keramički kompozitni disk [5]

Keramičke kompozitne kočnice nude nekoliko ključnih prednosti:

- Smanjena masa: 50% lakše od lijevanog željeza, poboljšavajući dinamiku vožnje.
- Velika tvrdoća i smanjen intenzitet trošenja: Dulji vijek trajanja i otpornost na koroziju.
- Otpornost na deformacije: Visoka toplinska stabilnost omogućava veću otpornost na savijanje, s temperaturom otpora do 1350°C, naspram 700°C za sivi lijev.

Iako su keramičke kompozitne kočnice izuzetno učinkovite, postoje i neki nedostaci:

- Visoka cijena: Cijena može premašiti 1.000 €, dok diskovi od sivog lijeva koštaju između 50 € i 500 €.
- Viša radna temperatura: Optimalna temperatura za ugljične materijale je viša nego kod standardnih kočnica, što može rezultirati smanjenom učinkovitošću dok ne postignu radnu temperaturu.
- Ograničen izbor kočionih pločica: Potrebne su specifične pločice koje odgovaraju keramičkim diskovima zbog razlika u svojstvima trenja i topline. [9]

3.1.3. Keramički kočioni diskovi [10]

Keramika je anorganski, nemetalni materijal s izvrsnim svojstvima pod visokim temperaturama te je otporna na abraziju. Međutim, u usporedbi s metalima karakterizira je slabija otpornost na naprezanje. Kemijska veza u keramici obično je ionska, s anionima poput karbida, borida, nitrida i oksida. Keramičke kočnice su oko 60% manje mase od tradicionalnih diskova od sivog lijeva, čime se smanjuje ukupna masa vozila, što može rezultirati uštedama goriva. Osim toga, keramički diskovi bolje funkcioniraju u vlažnim uvjetima u usporedbi s keramičkim kompozitima ojačanim ugljičnim vlaknima.

Prednosti keramičkih kočionih diskova su:

- Ovi diskovi osiguravaju stabilnu i značajnu razinu trenja, što smanjuje zaustavni put.
- Temperatura kočnica manje utječe na učinkovitost kočenja, čak i pri visokim temperaturama.
- Keramika može podnijeti temperature do 2000°C bez gubitka stabilnosti.
- Keramičke kočnice osiguravaju pouzdanost, smanjujući potrebu za čestom zamjenom diskova.
- Otporni su na trošenje, toplinu i koroziju, uz malu potrebu za održavanjem.

Nedostaci keramičkih kočionih diskova su:

- Visoka početna cijena zbog niskog proizvodnog kapaciteta i složenih procesa.
- Skuplji od metalnih diskova (npr. Sivi lijev) u početku.
- Početna investicija može biti prepreka unatoč dugoročnoj isplativosti.

- Dodatni troškovi za specifične komponente poput visokoučinkovitih kočionih pločica.

Zbog svojih prednosti u odnosu na konvencionalne kočione diskove, keramički kočioni diskovi bit će standard za vozila budućnosti. Njihova uspješna primjena u visokoučinkovitim vozilima poput Porsche Turbo vozila pokazuje da će mnoga sportska i komercijalna vozila vjerojatno usvojiti keramičke diskove. Ove komponente omogućuju redukciju mase, povećanu izdržljivost te stabilnu i odličnu kočionu učinkovitost, što ih čini privlačnom opcijom za različite vrste vozila u budućnosti.

4. KOČIONE PLOČICE

Kočiona pločica/obloga igra ključnu ulogu u osiguravanju učinkovitog zaustavljanja vozila. Kada kočiona pločica dodirne kočioni disk, dolazi do trenja te se kinetička energija pretvara u toplinsku energiju. Ovo je jedan od kritičnih dijelova kod vozila jer zbog svoje moguće slabosti može postati opasan za sigurnost putnika u ekstremnim uvjetima. Važno je dizajnirati kočionu pločicu koristeći materijal visoke čvrstoće, a istovremeno bi trebao biti ekološki prihvatljiv. [11]

Kočiona pločica se sastoji od dijelova, prikazanih na slici 6:

- Donji sloj:

Ovaj sloj osigurava čvrstoću stražnje ploče, apsorbira vibracije i buku te sprječava korozijsko propadanje kočnice.

- Stražnja obloga:

Pomaže u odvođenju toplinske energije i održava adhezijsku vezu tijekom vijeka trajanja hrapavosti i ploče, uz to sve mora biti otporna na koroziju.

- Podloška:

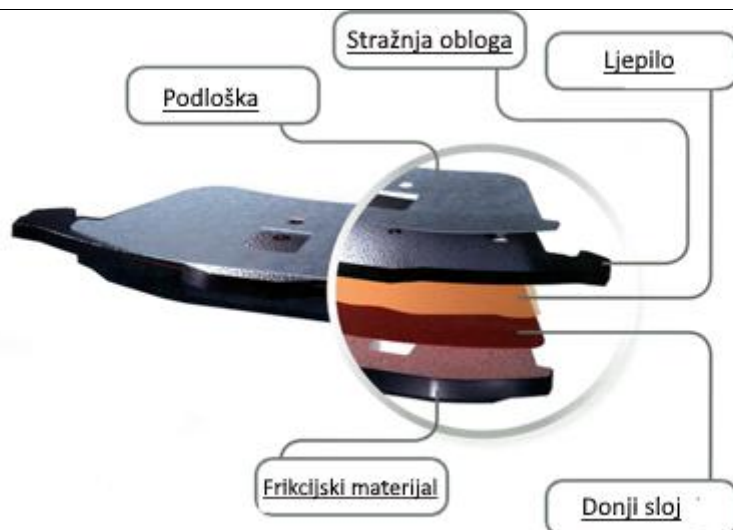
Sprječava prijenos vibracija na ostale dijelove kočionog sustava.

- Ljepilo:

Ljepi se za stražnju ploču, te se nakon toga kočiona pločica lijepi na čeljust kočnice, služi za sprječavanje zvukova.

- Frikcijski materijal:

Ima kvalitetnu otpornost na trenje, trošenje te otpornost na toplinu. [5]



Slika 6. Presjek kočione pločice [12]

4.1. Materijali za izradu kočionih pločica

Neka od ključnih karakteristika koje kočione pločice moraju imati uključuju malu masu, otpornost na koroziju, malo trošenje, tihi rad, dugotrajnost i pristupačnu cijenu. Tijekom godina za njihovu izradu korišteni su različiti materijali.

Azbest se dugo smatrao jednim od najučinkovitijih materijala za kočione pločice, no njegova upotreba nosi ozbiljne zdravstvene rizike. Postoje dvije glavne vrste azbesta: serpentinski azbest (krizotil) i amfibolni azbest (krokidolit). Istraživanja su pokazala da čestice istrošenih krizotilnih azbestnih kočionih pločica imaju visoki kancerogeni učinak, osobito na automehaničare koji ih zamjenjuju. Zbog toga je Agencija za zaštitu okoliša 1986. godine zabranila uporabu kočionih pločica koje sadrže azbest.

Ovaj problem predstavlja izazov za znanstvenu zajednicu, koja nastoji razviti alternative bez azbesta. Osim toga, oslobađanje teških metala poput bakra, željeza i antimona iz kočionih pločica također negativno utječe na okoliš. Zbog toga istraživači intenzivno rade na razvoju ekološki prihvatljivih rješenja za kočione pločice. [13]

Postoje tri glavne vrste kočionih pločica koje se danas široko koriste: kočione pločice bez azbesta (NAO), kočione pločice od kompozita s metalnom matricom te keramičke ili ugljično-ugljične kočione pločice. [13]

4.1.1. Kočione pločice bez azbesta (NAO)

Organski materijali bez azbesta (NAO) najčešće su korišteni materijal za kočione pločice. U organskim kočionim pločicama postoje različiti sadržaji, kao što su vezivo, vlakna, abrazivi, maziva, vatrootporni materijali i druga pojačanja.

Prednosti organskih materijala bez azbesta [13]:

- Manje abrazijsko trošenje- smanjenje trošenja kod kočionih diskova te produljenje vijeka trajanja.
- Smanjena emisija buke- smanjenje vibracija i buke u odnosu na MMC pločice.
- Udobnost kočenja- stabilnije kočenje.
- Manje prašine- pomaže kod održavanja i čišćenja naplataka.

Nedostatci organskih materijala bez azbesta:

- Kraći vijek trajanja- troše se brže u odnosu na MMC pločice.
- Manja otpornost na visoke temperature- gubljenje učinkovitosti kod sportskih vožnji.

4.1.2. Kočione pločice od kompozita s metalnom matricom (MMC)

Kočione pločice na bazi azbesta se povlače zbog zdravstvenih problema, dok ne-azbestne organsko-polimerne pločice imaju lošu otpornost na toplinu, što otvara prostor za razvoj pločica od kompozita s metalnom matricom.

Kočione pločice sastoje se od metalne matrice te keramičkih čestica: SiC, Al₂O₃, ZrO₂ koji pospješuju otpornost na trošenje. Istraživanja na Al/B₄C pločicama su pokazala da imaju izvrsnu otpornost na trošenje i da ne gube učinkovitost pri visokim temperaturama, što je čini odličnim rješenjem za zahtjevnije uvjete kočenja. MMC pločice korištene u kombinaciji s C-C/SiC diskovima pokazuju visok i stabilan faktor trenja, ali temperatura može porasti zbog intenzivnog trenja.

Pločice jačane SiC česticama imaju manji faktor trenja, ali kad se doda grafit, trenje postaje stabilnije, što poboljšava učinkovitost. Zanimljivo je da se sinterirane MMC pločice ponašaju

drukčije jer razvijaju "treći sloj" na površini, koji značajno utječe na proces trošenja. Cu-MMC kočione pločice kombiniraju bakrenu matricu s keramičkim ojačanjima, osiguravajući visoku toplinsku vodljivost, otpornost na trošenje i stabilnu učinkovitost pri ekstremnim uvjetima kočenja. Uz to, često su financijski isplativije. Zbog visokog udjela metala, koji može iznositi 60% ili više (najčešće bakar i željezo), idealne su za intenzivno kočenje na dugim dionicama, bilo na stazi ili cesti.

Prednosti MMC kočionih pločica:

- Izvrsna otpornost na trošenje – Sposobne podnijeti teže uvjete rada, što ih čini dugotrajnijima.
- Visoka stabilnost trenja – Kočenje ostaje konstantno čak i pri visokim temperaturama.
- Bolje odvođenje topline – Posebno kod Cu-MMC pločica, što smanjuje rizik od pregrijavanja.
- Smanjena buka – Pločice s grafitom ili MoS₂ imaju smanjenje buke pri kočenju.
- Pogodne za zahtjevne primjene– Zbog svoje trajnosti i sposobnosti da izdrže teške uvjete.

Nedostatci MMC kočionih pločica:

- Povećanje temperature pri kočenju, osobito kod C-C/SiC diskova.
- Toplinska naprezanja mogu uzrokovati oštećenja materijala.
- Visoki trošak proizvodnje u usporedbi s tradicionalnim materijalima. [13]

4.1.3. Keramičke ili ugljično-ugljične kočione pločice

Ugljično-ugljične (C-C) ili ugljično-ugljične ojačane sa SiC vlaknima (C-C/SiC) kočione pločice koriste se u kombinaciji s C-C/SiC ili keramičkim kočionim diskovima zbog svoje visoke otpornosti na toplinu i trošenje. Trenje između para C-C/SiC također je visoko, što omogućava manju silu kočenja.

Istraživanja su pokazala da kočiona pločica od keramičkog kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima ima veći intenzitet trošenja u odnosu na keramičku pločicu, što čini keramičke pločice boljima. Također u istraživanjima je primijećeno da faktor trenja kočionih pločica na bazi ugljika pada za 30% u vlažnim uvjetima, što može uzrokovati sigurnosne probleme. Dodatno, grafitne/SiC pločice su se pokazale vrlo prikladnima za vlakove velikih brzina.

Poboljšanje triboloških svojstava C-C/SiC pločica može se postići uvođenjem FeSi₂, jer ove modificirane pločice imaju bolju otpornost na trošenje i održavaju frikcijsku površinu čak i pod visokim tlakom, dok nemodificirane pločice gube frikcijsku površinu. [9]

5. ZAHTJEVI ZA IZRADU KOČIONIH DISKOVA I PLOČICA

5.1. ECE R13

Pravilnik br. 13 Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu – UNECE je međunarodni standard koji regulira zahtjeve za kočione sustave motornih vozila i njihovih prikolica. Ova regulativa obuhvaća tehničke specifikacije i ispitne metode za provjeru učinkovitosti i sigurnosti kočionih sustava. [15]

5.1.1. Karakteristike kočionih sustava

Radni kočioni sustav djeluje na sve kotače vozila i svoje djelovanje prikladno raspodjeljuje među osovinama. Radni kočioni sustav mora, bez obzira na to je li u kombinaciji s pomoćnim kočionim sustavom, biti takav da se u slučaju kvara dijela njegova prijenosa i dalje aktivira kočenje dovoljnog broja kotača aktiviranjem komande radne kočnice. Djelovanje radnog kočionog sustava mora biti raspodijeljeno na kotače iste osovine simetrično s obzirom na uzdužnu središnju ravninu vozila. Moraju se navesti kompenzacija i funkcije poput protublokirajućeg djelovanja koje mogu prouzročiti odstupanje od te simetrične raspodjele. Radni, pomoćni i parkirni kočioni sustav moraju djelovati na kočione površine koje su s kotačima trajno povezane dijelovima odgovarajuće čvrstoće.

- Kočioni sustav:

mora biti konstruiran, proizveden i ugrađen tako da vozilo, pri uobičajenoj uporabi vozila i bez obzira na vibracije kojima može biti izložen, bude u skladu s odredbama iz ovog Pravilnika. Kočioni sustav posebno mora biti konstruiran, izrađen i ugrađen tako da je otporan na utjecaje korozije i starenja kojima je izložen. Kočione obloge ne smiju sadržavati azbest.

- Radni kočioni sustav:

mora omogućivati vozaču upravljanje vozila te sigurno, brzo i uspješno zaustavljanje vozila bez obzira na njegovu brzinu i opterećenje na svakoj uzbrdici i nizbrdici. Treba biti omogućeno postupno kočenje. Vozač treba biti u mogućnosti kočiti sa svojeg sjedala, a da pri tome ne mora maknuti ruke s upravljača.

- Pomoćni kočioni sustav:

omogućuje zaustavljanje vozila uz prihvatljiv zaustavni put u slučaju kvara radnog kočionog sustava. To se kočenje mora moći izvesti postupno. Za potrebe ovih odredaba pretpostavlja se da se istodobno može pojaviti samo jedan kvar radnog kočionog sustava.

- Parkirni kočioni sustav:

omogućuje da vozilo ostane u stanju mirovanja na nizbrdici ili uzbrdici čak i kad vozača nema u vozilu, pri čemu radne dijelove kočionog sustava u blokiranom položaju drži potpuno mehanička naprava.

5.1.2. Provjera istrošenosti tarnih sastavnih dijelova radne kočnice

Kod provjere istrošenosti tarnih sastavnih dijelova radne kočnice:

- Mora biti moguće lako procijeniti istrošenost obloga radne kočnice izvana ili s donje strane vozila, bez skidanja kotača, kroz prikladne otvore za pregled ili nekim drugim načinom. Provjeru se može obaviti uobičajenim jednostavnim automehaničarskim alatom ili uobičajenom opremom za pregled vozila. Kao druga opcija, prihvatljivi su senzori na kotaču (dvostruki se kotači smatraju jednim kotačem) koji će upozoriti vozača na njegovu mjestu da je nužno zamijeniti obloge.
- Procjena istrošenosti tarnih površina kočionih diskova ili bubnjeva smije se izvesti samo izravnim mjerenjem predmetnog sastavnog dijela ili pregledom pokazatelja istrošenosti kočionog diska ili bubnja, što može zahtijevati barem djelomično rastavljanje. Proizvođač vozila stoga u postupku homologacije određuje sljedeće:
 - metodu za procjenu istrošenosti tarnih površina bubnjeva i diskova, uključujući potreban stupanj rastavljanja te alate i postupak za procjenu istrošenosti.
 - podatke kojima se definira najveća prihvatljiva istrošenost u trenutku kad zamjena postaje nužna. Ti podaci moraju biti slobodno dostupni, npr. u priručniku vozila ili u elektroničkoj evidenciji.

5.1.3. Ispitivanje kočenja

Učinak kočenja propisan za kočione sustave temelji se na zaustavnom putu i/ili prosječnom punom postignutom usporenju. Učinak kočionog sustava određuje se mjerenjem zaustavnog puta u odnosu na početnu brzinu vozila i/ili mjerenjem prosječnog punog postignutog usporenja pri ispitivanju. Zaustavni put udaljenost je koju vozilo prijeđe od trenutka kad vozač počne djelovati na komandu kočnog sustava do trenutka kad se vozilo zaustavi; početna je brzina vozila brzina u trenutku kad vozač počne aktivirati komandu kočnog sustava; početna brzina ne smije biti manja od 98 % brzine propisane za to ispitivanje. Prosječno puno postignuto usporenje (a) izračunava se kao srednja vrijednost usporenja na putu prijađenom između brzina v_b do v_e prema sljedećoj formuli:

$$a = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92(s_e - s_b)} [m/s^2]$$

Pri čemu je:

v_0 =početna brzina vozila (u km/h),

v_b =brzina vozila pri $0,8 v_0$ u km/h ,

v_e =brzina vozila pri $0,1 v_0$ u km/h ,

s_b =udaljenost prijeđena između v_0 i v_b u metrima,

s_e =udaljenost prijeđena između v_0 i v_e u metrima.

Brzina i udaljenost određuju se upotrebom mjernih instrumenata s točnošću od $\pm 1 \%$ pri propisanoj ispitnoj brzini. Prosječno puno postignuto usporenje može se odrediti i drugim metodama osim mjerenjem brzine i udaljenosti, u tom slučaju točnost prosječnog punog postignutog usporenja mora biti unutar $\pm 3 \%$. [15]

5.1.4. Zahtjevi za homologaciju

Homologacija vozila (od grčkog homologeo (ὁμολογέω) – potvrditi, odobriti) podrazumijeva primjenu jedinstvenih propisa o obaveznim ispitivanjima svakog pojedinog tipa vozila prije njegovog stavljanja na tržište. Ispituju se pojedini sustavi, sklopovi i dijelovi, ispitivanja obavljaju akreditirani laboratoriji, a sve zemlje potpisnice sporazuma o homologaciji međusobno priznaju rezultate ovih ispitivanja.

ECE Pravilnik R13 odnosi se na jednoobrazne zahtjeve koji se odnose na homologaciju

vozila kategorija M, N i O u pogledu kočenja, metode ispitivanja kočenja i sigurnosnih zahtjeva.

Zahtjev za homologaciju tipa vozila prema ECE pravilniku R13 podnosi proizvođač vozila ili njegov ovlašten predstavnik. Zahtjevu se prilažu sljedeći dokumenti u tri primjerka i sa sljedećim pojedinostima:

- Objašnjenje tipa, varijante i izvedbe vozila za koje se podnosi zahtjev, popis sastavnih dijelova, propisno identificiranih, koji čine kočioni sustav.
- Dijagram sastavljenog kočionog sustava i naznaka položaja njegovih sastavnih dijelova u vozilu.
- Detaljni nacrti svakog sastavnog dijela.

Za homologaciju bilo kojeg vozila učinak kočenja treba se ispitivati na cestama (poligonima).

Ispitivanja se provode u sljedećim uvjetima:

- Opterećenje vozila s obzirom na masu mora biti takvo kako je propisano za svaki tip ispitivanja i mora biti navedeno u ispitnom izvješću.
- Ispitivanje se mora provoditi pri brzinama propisanim za svaki tip ispitivanja; ako je najveća brzina vozila manja od propisane ispitne brzine, ispitivanje se mora provesti pri najvećoj brzini vozila.
- Sila kojom se tijekom ispitivanja djeluje na komandu kočionog sustava da bi se ostvario propisani učinak ne smije premašiti najveću silu utvrđenu za kategoriju vozila koja se ispituje.
- Cesta mora imati površinu dobre prionjivosti, osim ako je drukčije određeno u odgovarajućim priložima.
- Ispitivanja se moraju provoditi kad nema vjetra koji bi mogao utjecati na rezultate;
- Na početku ispitivanja gume moraju biti hladne i pod tlakom koji je propisan za opterećenje kojem su izloženi kotači kad vozilo miruje.

5.1.5. Zahtjevi za kočnice

Uz kočioni sustav koji će se ispitivati, proizvođač treba tehničkoj službi koja provodi ispitivanja dostaviti nacрте kočnica koji prikazuju tip, dimenzije i materijale bitnih sastavnih dijelova te

marku i tip kočionih obloga. Za hidraulične kočnice ti nacrti moraju prikazivati površinu kočionih cilindara. Proizvođač mora navesti i kočioni moment M .

5.2. ECE R90

ECE R90 se primjenjuje na:

- Sklopove zamjenskih kočionih obloga namijenjenih za uporabu u tarnim kočnicama koje su dio kočionog sustava vozila kategorija M , N , L i O .
- Zamjenske obloge bubanj kočnice konstruirane za pričvršćivanje na kočionu papučicu za ugradnju i uporabu na vozilima kategorije M_3 , N_2 , N_3 , O_4 .
- Sklopove zamjenskih kočionih obloga koji se upotrebljavaju za zasebne parkirne kočione sustave koji su neovisni o radnom kočnom sustavu vozila podliježu samo tehničkim propisima definiranim u Prilogu 8. ovog Pravilnika.
- Sklopove zamjenskih kočionih obloga mogu se homologirati za ugradnju i uporabu na motornim vozilima i prikolicama koje imaju homologaciju u skladu s pravilnicima.
- Zamjenske obloge bubanj kočnice konstruirane za pričvršćivanje na kočionu papučicu mogu se homologirati za ugradnju i uporabu na motornim vozilima i prikolicama koje imaju homologaciju tipa u skladu s Pravilnikom br. 13.

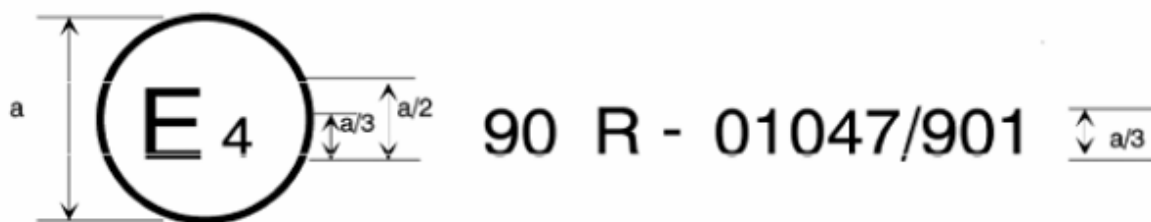
5.2.1. Zahtjev za odobrenje i homologaciju

Zahtjev za homologaciju tipa sklopa zamjenskih kočionih obloga ili tipa obloge zamjenske bubanj kočnice za određeni tip vozila podnosi proizvođač sklopa zamjenske obloge/obloge zamjenske bubanj kočnice ili njegov ovlašteni zastupnik.

Zahtjev za homologaciju u tri primjerka prilaže se opis sklopa zamjenske kočione obloge ili obloge zamjenske kočnice s obzirom na stavke navedene u Prilogu 1. ovog Pravilnika te sljedeći podaci:

- Dijagrame koji prikazuju funkcionalne dimenzije sklopa zamjenskih kočionih obloga ili obloga zamjenske bubanj kočnice.
- Naznaku položaja sklopa zamjenske kočione obloge ili obloge zamjenske bubanj kočnice na vozilima za koja se traži homologacija za ugradnju.

5.2.2. Homologacijske oznake



Slika 7. Homologacijska oznaka [16]

Homologacijska oznaka prikazana na slici 7 pokazuje da je predmetna stavka homologirana u Nizozemskoj (E4) u skladu s Pravilnikom br. 90. Na slici 7 prve dvije znamenke (01) homologacijskog broja upućuju da je Pravilnik br. 90 već uključivao niz izmjena u trenutku dodjele homologacijskog broja. Sljedeće tri znamenke (047) su one koje je homologacijsko tijelo dodijelilo tipu kočione obloge, a dopunske znamenke (901) su one koje je homologacijsko tijelo dodijelilo papučici ili stražnjoj ploči. Svih osam znamenki zajedno čine homologacijski broj za taj tip sklopa zamjenskih kočnih obloga. [15]

5.2.3. Karakteristike i ispitivanja

Općenito sklop zamjenskih kočionih obloga ili zamjenska obloga bubanj kočnice mora biti konstruiran i izrađen tako da, kada se zamijeni sklop ili obloga koja je izvorno ugrađena na vozilo, učinkovitost kočenja tog vozila bude u skladu s učinkom homologiranog tipa vozila.

Karakteristike:

- Vozilo opremljeno sklopovima zamjenskih kočionih obloga ili zamjenskim bubanj kočionim oblogama mora ispunjavati odgovarajuće propise za kočenje iz Pravilnika broj 13, uključujući niz izmjena ili Pravilnika broj 78.
- Sklop zamjenskih kočionih obloga ili zamjenska obloga bubanj kočnice mora imati značajke učinka slične onima izvornog sklopa kočnih obloga ili originalne obloge bubanj kočnice koju namjerava zamijeniti.
- Zamjenski sklop obloga ili zamjenska obloga bubanj kočnice mora imati odgovarajuća mehanička svojstva.
- Kočione obloge ne smiju sadržavati azbest.

Mehaničke karakteristike:

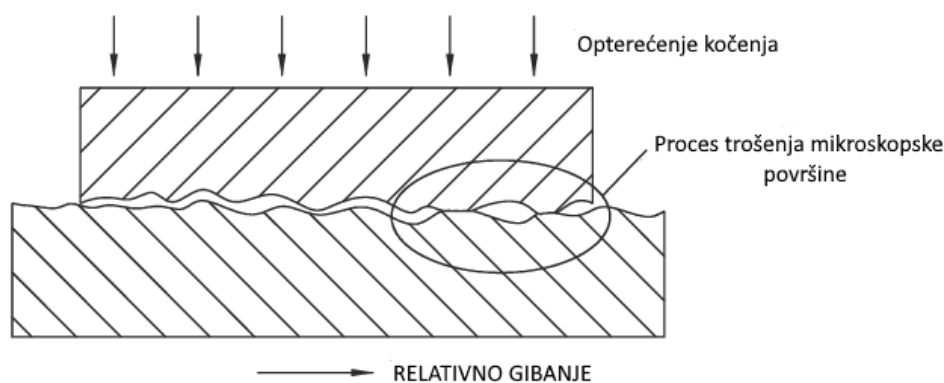
- Sklopovi zamjenskih kočnih obloga tipa za koji se traži homologacija ispituju se na posmičnu čvrstoću u skladu s normom ISO 6312:1981 ili ISO 6312:2001.
- Minimalna prihvatljiva posmična čvrstoća je 250 N/cm² za sklopove jastučića i 100 N/cm² za sklopove papučica.

Tvrdoća materijala:

- Sklopovi zamjenskih kočionih obloga ili zamjenske obloge bubanj kočnice tipa za koji se traži homologacija ispituju se na tvrdoću u skladu s normom ISO 2039-2:1987.
- Vrijednost tvrdoće frikcijskog materijala na površini trljanja srednja je vrijednost iz pet obloga uzorka iz različitih proizvodnih serija (ako postoje) te pet mjerenja na različitim mjestima svake kočione obloge. [16]

6. MEHANIZMI TROŠENJA PRI KONTAKTU KOČIONOG DISKA I KOČIONE PLOČICE

Tijekom cijelog procesa kočenja, velika količina topline trenja stvara se učinkom trenja kočionog diska i pločice, što rezultira gubitkom toplinske stabilnosti i toplinskim oštećenjem na kočionoj pločici. Mali dio topline trenja pohranjuje se u frikcijskom materijalu kao unutarnja energija. Na kočionoj pločici može doći do deformacije i trošenja materijala zbog neravnomjerne raspodjele velike količine topline. Toplina trenja uzrokuje visoko temperaturno opterećenje kontaktne površine i neravnomjernu toplinsku deformaciju kočione pločice. To rezultira neravnomjernom raspodjelom kontaktnog naprezanja između kočionog diska i pločice. Toplina trenja raspoređuje se neravnomjerno zbog različitih razloga, kao što su toplinsko širenje i geometrijski nedostaci. Dobro je poznato da toplinsko-elastična deformacija utječe na raspodjelu kontaktnog naprezanja i može dovesti do toplinsko-elastične nestabilnosti. U takvim uvjetima, kontaktno naprezanje se koncentrira u jednom ili više malih područja na površini kočionog diska. Ta područja tada dobivaju vrlo visoke temperature praćene s vibracijama niske frekvencije. Odstupanja u debljine diska dodatno će potaknuti lokalni kontakt. Stvaranje topline trenja ovisi o uvjetima kočenja definiranim parametrima kočnog procesa, koji ujedno imaju značajan utjecaj na trošenje. Istrošenost kočione pločice je materijalna šteta, a pojavljuje se na površinskom sloju i unutarnjem sloju usred toplinsko-meahničkog djelovanja na kontaktnoj površini frikcijskog para kočnica. To je u osnovi složen proces dinamičke promjene, kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Proces trošenja kočionog diska i kočione pločice [17]

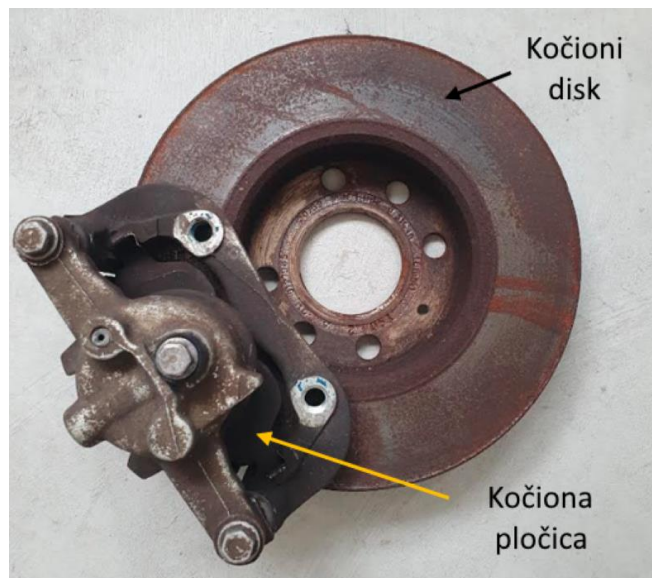
Zbog velike razlike u tvrdoći kočionog diska i pločice te učinka tvrdih čestica trećeg tijela u kontaktnom razmaku, dominantni mehanizam trošenja je abrazijsko trošenje. Abrazijsko trošenje može nastati prodiranjem i mikro rezanjem materijala uzrokovanim djelovanjem tvrdih

čestica na površinu kočionog diska. U međuvremenu, trošenje adhezivnog sloja događa se u područjima s visokom temperaturom.

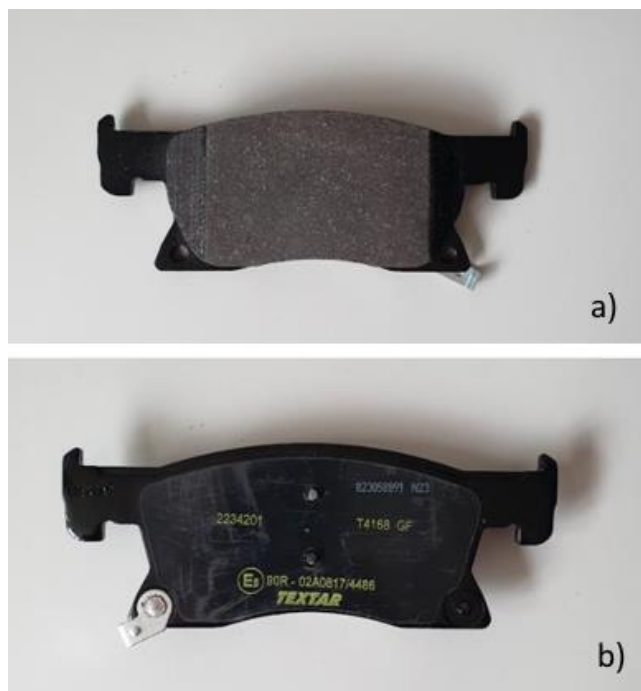
Proces trošenja općenito se ne može okarakterizirati jednom vrstom događaja, osim možda u slučaju kontinuiranog jakog trošenja. Abrazijsko trošenje kočnice uglavnom se očitovao kao "učinak oranja". Čestice velike tvrdoće ili mikroizbočine prodiru i stružu materijal kočionih pločica. Tvrde čestice utisnute su u kontaktnu površinu para trenja pod opterećenjem koje stvara udubljenje, što povećava hrapavost površine frikcijskog para. Zbog toga raste vjerojatnost da će se mikroizbočine na površini kočione pločice i diska međusobno spojiti, što dovodi do adhezivnog trošenja pločice. [17]

7. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada analizirana je mikrostruktura uzoraka kočionog diska i kočione pločice. Na slici 9 prikazan je kočioni tribopar kočionog diska i kočione pločice, a na slici 10 je prikazana kočiona pločica. Slika 10. a) označava prednju stranu, a slika 11.b) stražnju stranu pločice.



Slika 9. Triobar kočionog diska i pločice



Slika 10. Kočiona pločica: a) prednja strana, b) stražnja strana

7.1. Metalografska ispitivanja

Uzorak je rezan na uređaju Mecatome T 260 prikazan na slici 11 Tijekom rezanja dodaje se voda za hlađenje da se ne bi promijenila mikrostrukutra.



Slika 11. Mecatome T 260

Poslije rezanja proveden je postupak brušenja radi dobivanja glatke površine uzorka. Postupak brušenja započeo je s grubljim brusnim papirom, postupno prelazeći na finije granulacije. Granulacija brusnog papira označena je brojkama, što je niži to je grublje zrno te što je viša brojka to je finije zrno. Brusni papiri su primjenjeni prema redoslijedu: 320, 600, 1000, 2400 te 4000. Postupak brušenja se koristio na uređaju Mecatech 250 SPI prikazanog na slici 12. Brusna ploča se okretala brzinom od 300 okretaja u minuti te za vrijeme rada teče voda za hlađenje koja služi za hlađenje površine.

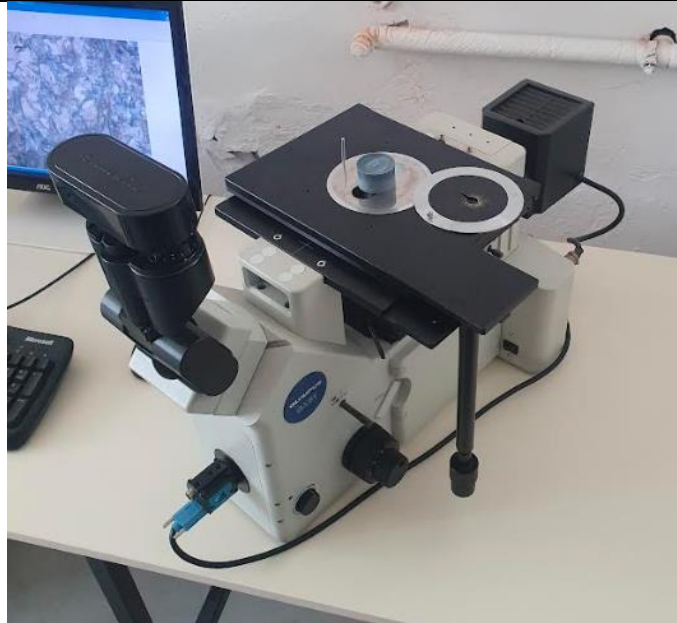


Slika 12. Mecatech 250 SPI

Nakon postupka brušenja proveden je postupak poliranja na istom uređaju kao za brušenje prikazanog na slici 12. Poliranje se izvodilo pri 150 okretaja u minuti, te se u prvom koraku koristila dijamantna pasta od 3 μm ., U drugom koraku poliranja se koristila tekućina za poliranje veličine zrna 0.03 μm . Uzorak u poliranom stanju se dalje nagriza (3%-tni nital otopina za nagrivanje 100 ml). Uzorak se drži u otopini nekoliko sekundi te nakon toga ispiru u vodi.

7.2. Analiza mikrostrukture kočionog diska i kočione pločice

Nakon što su svi uzorci pripremljeni slijedi analiza mikrostrukture na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51 prikazan na slici 13.



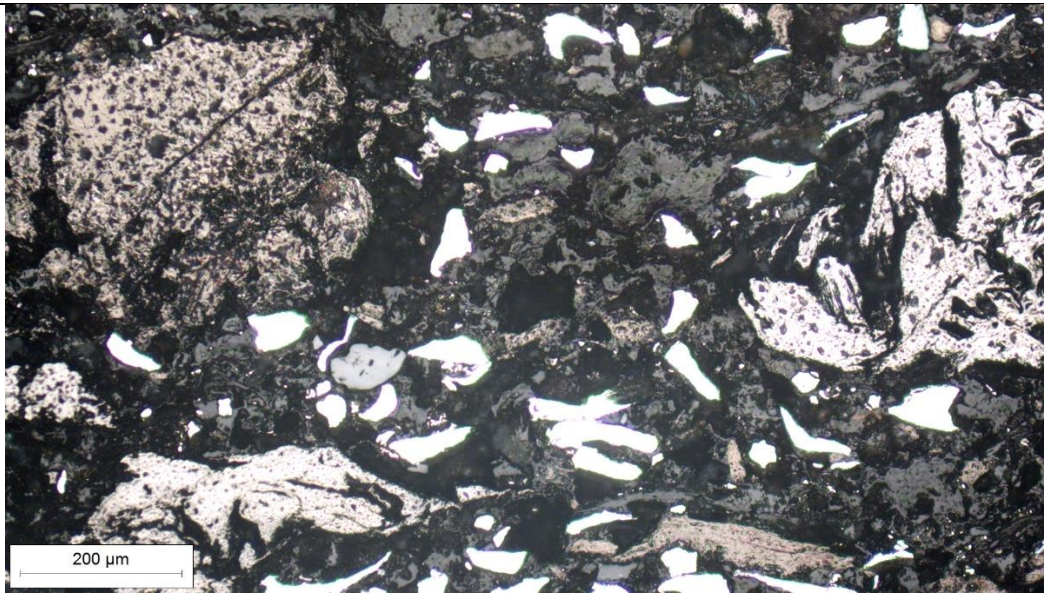
Slika 13. Olympus GX51

Na slici 14 prikazana je mikrostruktura kočionog diska, a na slici 15 mikrostruktura kočione pločice.



Slika 14. Ispitni uzorak kočionog diska

Na slici 14 prikazana je mikrostruktura kočionog diska koja je sivi lijev i sastoji se od perlitne matrice i listića grafita, opisano prema literaturi [18].



Slika 15. Ispitni uzorak kočione pločice

Na slici 15 prikazana je mikrostruktura kompozitnog materijala.

8. ZAKLJUČAK

Kočioni sustav je jedan od ključnih sustava u osobnim vozilima, a njegov osnovni princip rada temelji se na trenju. Prilikom pritiska kočione pločice na bubanj ili rotor, dolazi do trenja koji uzrokuje trošenje materijala kočione pločice te dolazi do pretvaranja kinetičke energiju u toplinsku energiju. Zbog toga kočioni diskovi i pločice moraju zadovoljiti razne zahtjeve poput čvrstoće, otpornosti na trošenje, faktora trenja, toplinske otpornosti te propise i zahtjeve homologacije prema ECE pravilnicima. Također, materijali moraju ispuniti stroge zahtjeve ponajviše u vidu sigurnosti i učinkovitosti.

U ovom radu analizirana je mikrostruktura kočionog diska koja se sastoji od perlitne matrice i grafita u obliku listića i kočione pločice koja je izrađena od kompozitnog materijala.

LITERATURA

- [1] Vadjon V., Tehnika motornih vozila; Pučko otvoreno učilište; Centar za vozila Hrvatske; Hrvatska obrtnička komora, 2015
- [2] https://api.tvet-elearning.com/file_control/static/60f69bdeb3dfc8f8c5572433
(17.01.2025)
- [3] Z. Lulić, K. Ormuž, G. Šagi: Motorna vozila, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014./2015.
- [4] Mikulić D.; Motorna Vozila; Teorija kretanja i konstrukcija; Veleučilište Velika Gorica, 2020
- [5] Venkat G.U.; History of Disc Brakes, Kaunas University of Technology, 2021
- [6] Satyabrata R.; Design and analysis of brake disc, 2018
- [7] Maleque M.A.; Dyuti S.; Prof .Dr. Md. Rahman M.; Material Selection Method in Design of automotive Brake Disc, 2010
- [8] Maluf O.; Angeloni M.; Milan M.T.; Spinelli D.; Development of materials for automotive disc brakes, 2004.
- [9] Rancso B.; Manufacture and examination of carbon ceramic brakes, 2015
- [10] Jadhav I.B.; Pirjade F.I.; Ceramic Disc Brakes, 2018
- [11] Saravanan P.; Agatheesh Senthil Y.; Prethish Haran M.; A Complete Study on Natural Fibre Reinforced Composites Used in Brake Pads, 2022
- [12] https://breck.pl/wp-content/uploads/2016/02/breck_de-1.png pristup , (31.01.2025.)
- [13] Kumar N.; Pantel K.K.; Bharti A.; The Evolution of Brake Friction Materials:A Review, 2021
- [14] Esteem P.L.; Ramalingam V.V.; Kasi R.K.; Ramasamy P.; DEVELOPMENT AND TRIBOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SEMI-METALLIC BRAKE PADS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS, 2023
- [15] Pravilnik br. 13 Gospodarske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (UNECE) – Jedinствene odredbe o homologaciji vozila kategorija M, N i O s obzirom na kočenje [2016/194]
- [16] Regulation No 90 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of replacement brake lining assemblies and drum brake linings for power-driven vehicles and their trailers
- [17] Zhang S.; Hao Q.; Liu Y.; Jin L.; Ma F.; Sha Z.; Yang D.; Simulation Study on Friction and Wear Law of Brake Pad in High-Power Disc Brake, 2019

[18] D.P.B. Samuelsson; Analysis of microstructural strain-fields in grey cast iron, 2011