

# Regenerativno kočenje

---

**Skorić, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic of Šibenik / Veleučilište u Šibeniku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:143:350543>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**

*Repository / Repozitorij:*

[VUS REPOSITORY - Repozitorij završnih radova  
Veleučilišta u Šibeniku](#)



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**  
**ODJEL PROMETA**  
**PREDDIPLOMSKI PROMETNI STUDIJ**

**JOSIP SKORIĆ**  
**REGENERATIVNO KOČENJE**

**Završni rad**

**Šibenik, 2020.**

**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**  
**ODJEL PROMETA**  
**PREDDIPLOMSKI PROMETNI STUDIJ**

**REGENERATIVNO KOČENJE**

**Završni rad**

**Kolegij: Osnove strojarstva**

**Mentor: Luka Olivari, mag. ing, mech., v. pred.**

**Student: Josip Skorić**

**Matični broj studenta:9996003496**

**Šibenik, 2020.**

## REGENERATIVNO KOČENJE

JOSIP SKORIĆ

Skradin, Skorići 10, josips1950@gmail.com

U radu je obrađena problematika kočenja i sustava kočenja sa fokusom na regenerativno kočenje. Kroz rad je uz pomoć dostupne literature kao i drugih relevantnih izvora obrazložena sama tema. Što se tiče kočenja i njegovog sustava on predstavlja jedan od najosnovnijih čimbenika sigurnosti u prometu. Kočenje se ostvaruje kada vozač rukom ili nogom djeluje na naredbu. Aktiviranje kočnog sustava stvara trenje između pomičnih i nepomičnih elemenata kočnice. Uslijed toga, kinetička energija vozila pretvara se u toplinsku energiju koja se oslobađa zbog radne sile trenja fiksnih i pokretnih elemenata izvrsnog kočnog mehanizma. Postignuti kočni moment ovisi o uključenom trenutku prijanjanja između gume i tla. Kroz rad je dan pregled i važnost regenerativnog kočenja za današnje prometovanje.

( stranica 32 / slika 11 / literaturnih navoda 8 / jezik izvornika: hrvatski)

**Rad je pohranjen u:** Knjižnici Veleučilišta u Šibeniku

**Ključne riječi:** kočenje, sigurnost ,guma

**Mentor:** Luka Olivari, mag. ing. mech., pred.

**Rad je prihvaćen za obranu:** da

## **REGENERATIVE BRAKE**

JOSIP SKORIĆ

Skradin, Skorići 10, josips1950gmail.com

The paper deals with the problem of braking and braking systems with a focus on regenerative braking. Through the paper, with the help of available literature and other relevant sources, the topic itself is explained. As for braking and its system, it is one of the most dreamy factors of traffic safety. Braking is achieved when the driver acts on the command with his hand or foot. Activation of the brake system creates friction between the movable and immovable brake elements. As a result, the kinetic energy of the vehicle is converted into thermal energy which is released due to the working friction force of the fixed and moving elements of the excellent braking mechanism. The achieved braking torque depends on the engagement moment involved between the tire and the ground. The paper provides an overview of the importance of regenerative braking for today's traffic.

( pages 32 / figures 11 / references 8 / original in: Croatian language)

Paper deposited in: Library of Polytechnic of Šibenik

**Keywords:** brakes, security, tire

**Supervisor:** Luka Olivari, mag.ing.mech., pred.

**Paper accepted:** yes

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OPĆENITO O KOČENJU .....	2
2.1. Definiranje kočenja .....	2
2.2. Vrste kočenja.....	6
2.3. Struktura sustava kočenja.....	10
2.4. Kočnice i mehanizam .....	13
3. REGENERATIVNO KOČENJE .....	21
3.1. Definiranje regenerativnog kočenja .....	21
3.2. Vrste regenerativnog kočenja.....	25
3.2.1. Regenerativno kočenje temeljeno na principu zamašnjaka .....	25
3.2.2. Regenerativno kočenje temeljeno na principu generatora .....	26
3.2.3. Hidraulično regenerativno kočenje .....	26
3.3. Uloga regenerativnog kočenja.....	28
3.4. Prednosti i nedostaci.....	30
4. ZAKLJUČAK .....	32
LITERATURA.....	33

## 1. UVOD

U ovom radu definirana je problematika kočenja te regenerativnog kočenja kao glavnog fokusa rada. Glavni cilj rada je obraditi i obrazložiti proces kočenja u prometu. Kako je kočenje vitalni proces, elementi sustava moraju biti detaljno dizajnirani, proizvedeni, održavani i kontrolirani. Iskustvo pokazuje da se pravilno kočenje ne može procijeniti na temelju osjećaja većine vozača i da je za povremeni pregled potrebno koristiti instrumente prema određenim metodama. Dakle, jedna je od osnovnih aktivnosti kod tehničke provjere ispravnosti vozila je kontrola ispravnosti kočnog sustava.

S aspekta sigurnosti prometa uređaj kojim služi za zaustavljanje motornog vozila je jedan od najvažnijih uređaja na vozilu. Kočenje se ostvaruje kada vozač rukom ili nogom djeluje na naredbu. Aktiviranje kočnog sustava stvara trenje između pomičnih i nepomičnih elemenata kočnice. Uslijed toga, kinetička energija motornog vozila pretvara se u toplinsku energiju koja se oslobađa zbog radne sile trenja fiksnih i pokretnih elemenata izvrsnog kočnog mehanizma. Postignuti kočni moment ovisi o uključenom trenutku prianjanja između gume i tla. Uključena vrijednost sile prianjanja ovisi o stanju guma, karakteristikama podloge, vlažnosti podloge, brzini kretanja i više.

## 2. OPĆENITO O KOČENJU

U ovom dijelu rada obrađuje se problematika kočenja, odnosno kroz dostupnu literaturu i druge relevantne izvore definirani su opći čimbenici i podaci vezani za kočenje.

### 2.1. Definiranje kočenja

Kočenje se definira kao usporavanje ili zaustavljanje vozila pomoću kočnog sustava vozila. Kočni sustav ima zadatak osigurati usporavanje vozila i njegovo zaustavljanje sa usporenjima koja odgovaraju potrebama i raspoloživoj vuči stabilnim kretanjem vozila tijekom kočenja. Iza definicije kočenja stoji želja da ovo usporavanje odnosno zaustavljanje, bude izuzetno brzo i kontrolirano te da se može ponoviti velik broj puta s velikih brzina, a da ne uzrokuje kvar ili preopterećenje sustava.<sup>1</sup>

Elementi kočnog sustava moraju udovoljavati mehaničkim zahtjevima procesa kočenja i zahtjevima koje su zakonodavci postavili proizvođačima tih elemenata kako bi zaštitili građanstvo. Stoga proizvođači također moraju pokazati sposobnost da tijekom proizvodnje osiguraju da svi proizvedeni dijelovi odgovaraju materijalu i kvaliteti izrade dijelova koji se koriste za dobivanje odobrenja za tip tog dijela.

Mnogi moderni automobili imaju kočnice u obliku diska na prednjim kotačima, a neki ih imaju na sva četiri kotača. Na modernim automobilima najčešće su jednoručni plutajući prijenosnici. Disk kočnice su slične kočnicama na biciklu jer one imaju zupčanik koji zateže kočne pločice uz kotač. Kočne pločice na disk pločicama su stegnute duž rotora, a ne uzduž kotača. Disk usprava trenje između ploča i diska.

Disk kočnice koje imaju jedan klip se same prilagođavaju tako što se prijenosnik može pomicati s jedne strane na drugu stranu, na način da se u trenutku upotrebe kočnica nalazi u optimalnom središtu. Ne postoji izvor za odvajanje pločica od diska, a klipovi kočnica su veći nego kod glavnog cilindra.

Vozila u pokretu imaju određenu količinu kinetičke energije, pa kočnice kod zaustavljanja vozila transformiraju energiju u neki od oblika energije. Kod zaustavljanja vozila kočnice pretvaraju energiju u toplinu koja nastaje između diska i pločica. disk kočnica na

---

<sup>1</sup> Cerovac V., Tehnika i sigurnost prometa, FPZ, Zagreb, 2001., str. 55



automobilima je ventilirana. Disk kočnice uglavnom imaju cijevi koje omogućavaju prolaz zraka i hladiti zrak.

Kočni sustav treba osigurati kontinuirano usporavanje i zaustavljanje vozila u svim uvjetima opterećenja vozila unutar svih brzina za koje je vozilo dizajnirano i na svim površinama. Definiran je minimalni stupanj usporavanja, ali je uvjet da se vozilom može upravljati.<sup>2</sup>

Kočni sustavi trebaju zadovoljiti uvjete koji su propisani zakonima.

Faktori koji na kočni sustav su brzina kretanja vozila, težina vozila, nagib i podloga ceste.

To je skup zahtjeva i dizajneri imaju vrlo težak zadatak na koji način ih ispuniti, pogotovo jer jačanje jedne značajke često dovodi do gubitka s druge strane. Ako se kočenje promatra kao postupak koji je suprotan ubrzanju, a ako se kočnica promatra kao uređaj koji je suprotan radu motora, tada se zaključuje da je kočnica snažnija od motora na vozilu.

U konvencionalnim sustavima kočenja (frikcijske kočnice) vozilo se zaustavlja pretvaranjem kinetičke energije u toplinsku energiju trenjem kočnih obloga i kočnih bubnjeva ili diskova. Toplinska energija se rasipa u okoliš. Kada se magnetski sustavi koriste kao elementi kočenja, energija se troši na stvaranje vrtložnih struja u kočnom disku i na toplinske učinke protoka struja kroz materijal kočnog diska. Ta energija ne se može ponovno koristiti i predstavlja neto gubitak. Uz to, postoji još jedan negativni učinak zagrijavanja, kada se kočni elementi između nekoliko kočnica ne mogu ohladiti na svoju početnu temperaturu. U tom procesu temperatura raste više sa svakim kočenjem i gubi potrebna svojstva kočnih elemenata kada se pregriju.

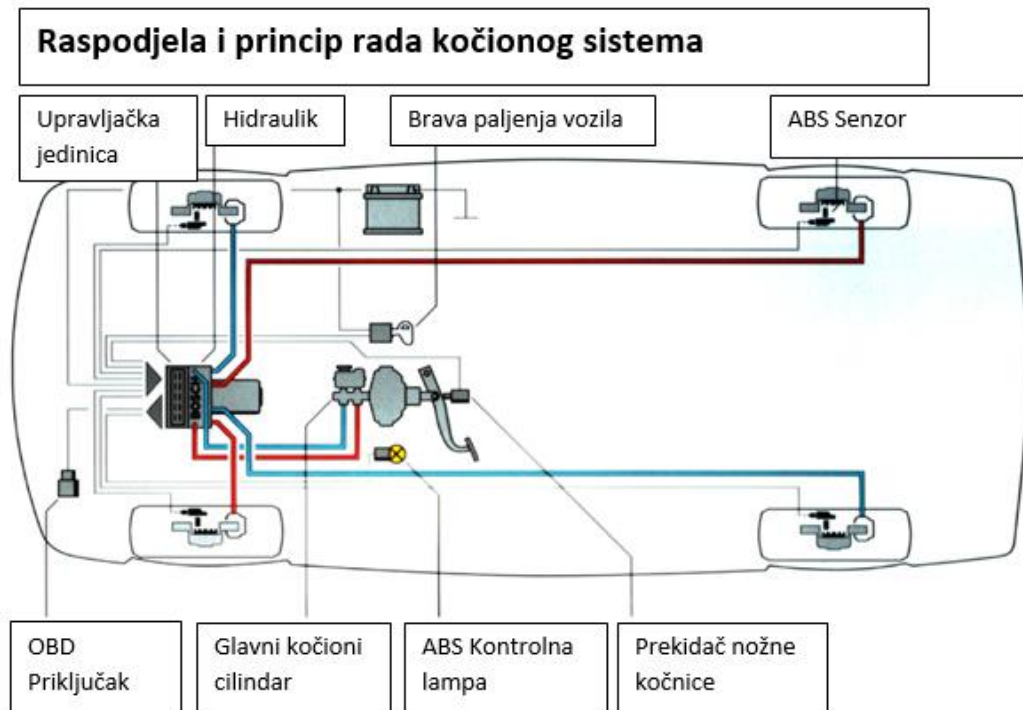
U slučaju dinamičkog kočenja, u kojem se pogonski motor koristi kao kočnica, energija se u procesu kočenja akumulira motorom koji tijekom kočenja djeluje kao generator struje, koji energiju vraća u bateriju.<sup>3</sup>

Slika 1. Prikaz sustava kočenja na autu

---

<sup>2</sup> Cerovac V., Tehnika i sigurnost prometa, FPZ, Zagreb, 2001., str. 55

<sup>3</sup> Cerovac V., Tehnika i sigurnost prometa, FPZ, Zagreb, 2001., str. 56



Izvor: <https://ciak-auto.hr/novosti/sto-su-kocnice-i-cemu-sluzi/>

Kočenje tijekom cijele staze mora omogućiti vozilu zadržavanje upravljivost i da sile kočenja postignute u vučnom vlaklu ne dopuštaju prikolici da se nagne ili potisne vučno vozilo tijekom kočenja.

Iznimka od pravila su kočnice koje se koriste na lakim prikolicama. Raspodjela sile kočenja duž vučnog vlaka mora odgovarati mogućnostima za realizaciju kočenja i zahtjevima upravljivosti. To je namjerno smanjenje sile kočenja na upravljačkoj osovini, što svjesno žrtvuje dio ostvarenog kočenja, tako da kotači ne budu ugroženi zbog povećanja klizanja na njima do nekontrolirane vrijednosti.

Kako bi se prilagodilo kočenje vučnog vozila i prikolice, moguće je povećati zadani kočni pritisak za malu količinu prema prikolici. Upravljački ventil prikolice i upravljački ventil prikolice odgovorni su za povećanje ovog prekoračenja. Naredbe za fino podešavanje predtlaka mogu se naći na oba ova ventila.

Razlog za prethodno kočenje na dva ventila kod dva vozila je činjenica da se većina vučnih vozila u jednom voznom parku koriste s više prikolica s različitim karakteristikama kočenja. Primjerice, isti se traktor može koristiti za vuču teretnih poluprikolica, poluprikolica cisterni, poluprikolica za teške platforme i slično. U tom se slučaju razina prekoračenja

podešava na vučnom vozilu kao posljedica kočione prikolice kojoj je potrebno najmanje prekoračenje.

Poluprikolice koje se koriste na ovim vozilima dodatno su prilagođene za prekoračenje, ovisno o potrebama te određene prikolice u odnosu na odgovarajuće vučno vozilo. Ova podešavanja smije izvoditi samo ovlašteni serviser zbog visokog rizika da prikolica može biti prejakno kočena. Inače, iz tvornice proizvođača vozila, ti su ventili postavljeni na vrijednosti koje se najbolje određuju tijekom testnih vožnji i u većini slučajeva najbolje ih je ne mijenjati.

Da bi se povećala sigurnost kočni sustavi kod modernih vozila imaju dva kočna kruga sa dva kotača na svakom kočnom krugu. Ako tekućina curi u jedan od kočnih krugova tada će dva kotača izgubiti kočnice i vozilo će se moći zaustaviti pritiskom na kočnicu. Pritisak na kočni krug daje glavni cilindar koji koristi dva klipa na istom cilindru. Kombinirani ventil daje upozorenju vozačima u slučaju problema s kočnim sustavom.

Kombinirani ventil imaju vozila s prednjim disk kočnicama i zadnjim bubanj kočnicama. Mjerni ventil treba vozilima koja imaju disk kočnice naprijed, na prednjim kotačima i bubanj kočnice nazad, na stražnjim kotačima. Kočna pločica je u kontaktu s diskom. Pritiskom papučice kočnice, najprije se aktivira disk, a nakon toga se aktivira bubanj kočnica. Mjerni ventil omogućuje da se bubanj kočnice aktiviraju prije disk kočnica. Mjerni ventil ne dopušta pojavu pritiska u disk kočnicama dok se ne dosegne prag tlaka. Taj je prag nizak u usporedbi s maksimalnim tlakom kočnog sustava, tako da se bubanj kočnice aktiviraju prije disk kočnica što omogućava stabilnost pri kočenju. To što se prvo aktiviraju stražnje kočnice omogućava vozilu da se kreće ravno.

Prekidač diferencijalnog tlaka upozorava da postoji curenje kod jednog od kočnog kruga. Smješten je u sredini cilindra. Ako dođe do curenja na jednoj strani tada pada tlak u kočnom krugu i pali se lampica upozorenja na komandnoj ploči vozila.

Proporcionalni ventil služi za smanjenje tlaka u zadnjim kočnicama. Stražnjim kočnicama treba manje sile od prednjih kočnica. Količina sile kočenja koja se koristi na kotačima ovisi o težini na kotačima. Veća sila je potrebna ako je velika težina. Kod naglog pritiska na kočnicu vozilo se naginje prema naprijed i prednji dio je teži od zadnjeg dijela jer se velik dio težine kod zaustavljanja prenese sa zadnjeg na prednji dio vozila. Vozila uglavnom imaju veću težinu u prednjem dijelu jer se motor vozila nalazi na prednjem dijelu.

## 2.2.Vrste kočenja

Kočni sustav obavlja sljedeće funkcije, pod uvjetima predviđenim ovim pravilnikom, kako slijedi:<sup>4</sup>

1. radno kočenje;
2. pomoćno kočenje;
3. parkirno kočenje;
4. produljeno usporavanje.

Radno kočenje omogućuje vozaču postupno smanjivanje ili zaustavljanje brzine vozila na siguran, brz i učinkovit način, neovisno o brzini kretanja i opterećenju vozila ako je u deklariranim granicama, te na cesti koja ima uzdužni nagib za kretanje vozila.

Radna kočnica mora djelovati na sve kotača vozila i sva vozila trebaju imati radnu kočnicu.

Osnovna uloga radne kočnice je generiranje sila koje se protive rotaciji kotača i kretanju vozila. Mehaničke kočnice stvaraju sile trenja, a one se stvaraju između rotirajućih kočnih elemenata koji su povezani s kotačima i njegovim elementima i elementima koji se ne okreću kotačima.

Kočenje radnog kočenja mora omogućiti postupno mijenjanje kočenja. Akcija kočenja mora biti takva da vozač ovu akciju kočenja postiže sa svog sjedala, ne uklanjajući ruke s komande upravljača. Pomoćno kočenje omogućuje usporavanje i zaustavljanje vozila ako se dogodi najviše jedan kvar u radnom kočnom sustavu, s reguliranim intenzitetom kočenja, s jednom slobodnom rukom vozača za upravljanje vozilom.<sup>5</sup>

Pomoćno kočenje omogućuje vozilu usporavanje i zaustavljanje u slučaju da se desi kvar na sustavu prijenosa radne kočnice, gdje je reguliran intenzitet kočenja dok jedna ruka vozača treba biti slobodna kako bi se upravljalo vozilom. U putničkim vozilima pomoćna kočnica ima funkciju parkirne kočnice.

---

<sup>4</sup> Lulić, Ormuž, Šagi, Motorna vozila, Osnove teorije kočenja, Zagreb, 2016/2017, str. 12

<sup>5</sup> Lulić, Ormuž, Šagi, Motorna vozila, Osnove teorije kočenja, Zagreb, 2016/2017, str. 12

Parkirno kočenje omogućuje da se uz prikladni mehanički uređaj spriječi pomicanje zaustavljenog vozila, uslijed čega se to na motornom vozilu izvodi na način da ga vozač može koristiti sa vozačevog sjedala. Parkirnu kočnicu imaju sva vozila.

Dugotrajno usporavanje vozila omogućuje usporavanje vozila kada se vozilo kreće po cesti uzdužnim padom, na način da ga vozač može koristiti sa vozačevog sjedala, s jednom rukom vozača za upravljanje vozilom. Sustav za dugotrajno usporavanje trebaju imati teški autobusi i teretna vozila čija je najveća dozvoljena masa veća od 9 t.

Naredba koja aktivira dugotrajno usporavanje motornih vozila, ako su namijenjena za vuču prikolica, mora istodobno osigurati aktiviranje dugotrajnog usporavanja tih vozila.

Radno kočenje prikolica i prikolica sa središnjom osovinom, čija najveća dopuštena masa prelazi 9 t treba osigurati dugotrajno usporavanje vučnog vozila. Sustav za dugotrajno usporavanje motornog vozila mora osigurati usporavanje prikolice čiji je koeficijent kočenja najmanje 10%. Ograničivač brzine može aktivirati sustav dugog usporavanja kako bi zadržao maksimalno postavljeno ograničenje brzine vozila.<sup>6</sup>

Kočni sustav na motornim vozilima s istom radnom i pomoćnom naredbom kočenja mora imati parkirnu kočnicu.

Pomoćna kočnica treba imati zasebnu naredbu ili može biti ista kao naredba parkirne kočnice ako se parkirna kočnica može podesiti i aktivirati kada se vozilo kreće. Radno kočenje prikolice, osim za vozila s inercijskim upravljanjem, mora se aktivirati istom naredbom koja aktivira radno kočenje vučnog vozila. Radno kočenje prikolice, osim za vozila s inercijskim upravljanjem, mora se aktivirati istim upravljačem koji aktivira pomoćno kočenje.

Kočni sustav mora biti zatvoren kako bi se spriječio nepotreban gubitak tekućine za kočenje. Ako se u kočnom sustavu koristi prijenos električne energije, s tim da takav kočni sustav treba ispunjavati sva propisana pravila za dotični tip vozila i u slučaju ako kočni prijenos ne radi.<sup>7</sup>

U navedenoj situaciji na vozilu treba postojati signal upozorenja koji se aktivira kod kvara u prijenosu upravljanja kočnicom uz pomoć električne energije i koji prestaje s radom kada se kvar otkloni.

---

<sup>6</sup> Lulić, Ormuž, Šagi, Motorna vozila, Osnove teorije kočenja, Zagreb, 2016/2017, str. 13

<sup>7</sup> Lulić, Ormuž, Šagi, Motorna vozila, Osnove teorije kočenja, Zagreb, 2016/2017, str. 17

Ranije su vozila imala bubanj kočnice i servo je bio nepotreban jer su bubanj kočnice imale veliku kočnu snagu. U današnje vrijeme velik broj vozila ima disk kočnice na prednjim kočnicama i zbog toga treba servo.

Kočni sustav vozila s potpunim servo djelovanjem mora imati takav način da kapacitet spremnika, nakon osam uzastopnih aktiviranja radne kočnice, punim hodom naredbe, bez nadopunjavanja, mora osigurati kočenje koje je prema normama navedenim za pomoćno kočenje.

Radno kočenje s djelomičnim servo djelovanjem kod motornih vozila treba ako dođe do kvara servo mehanizma, osigurati kočenje postignutim normama za pomoćno kočenje. Ako je kvar na jednom kočnom krugu, taj drugi krug mora osigurati kočenje koje je prema standardima koji su navedeni za pomoćno kočenje, a da se ne ugrozi stabilnosti vozila tijekom kočenja i treba se aktivirati radno kočenje prikolice.<sup>8</sup>

Vozilo s potpunim servisnim servo kočenjem treba biti opremljeno pokazivačima za svaki kočni krug koji daju signale koji se aktiviraju kada razina energije u sustavu padne na granicu koja osigurava još četiri uzastopne kočnice s potpunom komandnom kontrolom, dok ostaje energija za jedno aktiviranje sa standardom za pomoćno kočenje.

Prikolice s radnim kočenjem s pneumatskim mjenjačem, osim vozila tipa R i prikolice u turističkom vlaku, moraju biti povezane s kočnim sustavom vučnog vozila s najmanje dvije crte, od kojih je jedna za prijenos naredbe kočenja kod vučnog vozila, a ostatak za snagu prikolica iz sustava koji služi za napajanje vučnog vozila.

Prikolice s radnim kočenjem trebaju biti opremljene uređajem koji omogućava automatsko aktiviranje radne kočnice kada odspajanje kočnog sustava vučnog vozila i prikolice. Prikolice čija je najveća dopuštena masa do 1,5 t ne moraju biti opremljene tim uređajem ako su opremljene dodatnim priključcima, koji u slučaju kvara osnovnog uređaja za spajanje vozila, omogućuju spajanje vuče i prikolice prikolica ne smije pasti na tlo ili se okrenuti u stranu - sve dok se garnitura vozila sigurno ne zaustavi.<sup>9</sup>

U slučaju da na prikolici sustav kočenja otkáže, radno kočenje vučnog vozila treba osigurati kočenje takvog skupa vozila s postignutim normama za pomoćno kočenje. U slučaju kombinacije vozila, radno kočenje vučnog vozila i prikolice mora se prilagoditi kako bi se

---

<sup>8</sup> Lulić, Ormuž, Šagi, Motorna vozila, Osnove teorije kočenja, Zagreb, 2016/2017, str. 18

<sup>9</sup> Luburić G., Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I, Radni materijal za predavanje, FPZ, str. 20

osiguralo da kočenje prikolice, osim onih s inercijskim upravljanjem, započne u isto vrijeme ili prije kočenja vučnog vozila ili prema preporukama koje je dao proizvođač.

Učinak radne kočnice kod motornih vozila i prikolica mora biti raspoređen između osovine i kotača vozila.

Parkirna kočnica motornog vozila mora osigurati kočenje s koeficijentom sile kočenja radne kočnice od 15%. Parkirna kočnica prikolice, kada je veza između kočionog sustava vučnog vozila i prikolice prekinuta, ili kada se ručno aktivira naredba parkirne kočnice, mora osigurati kočenje s koeficijentom kočenja 15%.<sup>10</sup>

Najveća dopuštena razlika sile kočenja za radno kočenje, na kotačima iste osovine, u bilo kojem trenutku od trenutka kada prva sila kočenja dosegne trećinu svoje maksimalne vrijednosti, do trenutka kada su postignute maksimalne sile kočenja u obje točke, iznosi 30%. Osnova za izračun postotne razlike kočne sile na kotačima iste osovine, u bilo kojem trenutku, je veća sila kočenja u tom trenutku.

Radna kočnica izvršava najvažnije zadatke kočnih sustava, tj. koči vozila s maksimalnim usporavanjem i sve blaže, kratkotrajno kočenje kod normalnih uvjetima vožnje. Zbog toga je kočnica najvažniji dio kočnog sustava.

Parkirna kočnica služi za trajno kočenje vozila na mjestu, odnosno parkirano kočenje. Ako je ova kočnica riješena tako da se može aktivirati dok se vozilo kreće, što je obično slučaj, parkirna kočnica može preuzeti zadatke pomoćne kočnice.

Pritiskom papučice kočnice sila se s nogu prenosi na kočnicu preko tekućine. Budući da kočnice zahtijevaju mnogo veću silu nego pritiskom noge, automobil mora umnožiti silu noge. To čini na dva načina: mehanička nadmoć - sustav poluga, umnožavanje hidrauličke sile. Frikcijske kočnice prenose silu na gume, a gume na cestu također trenjem.<sup>11</sup>

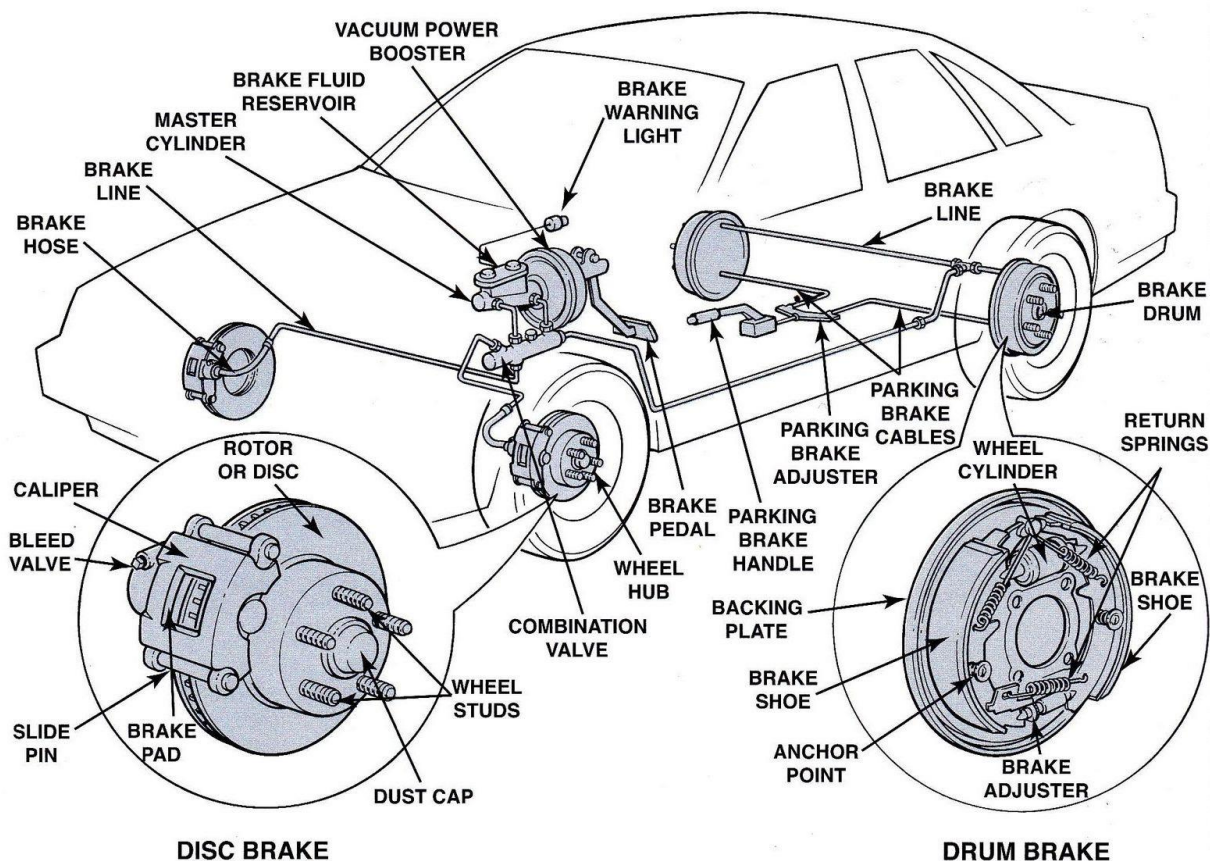
Trenje je mjera koliko čvrsto objekt klizi po površini drugog.

Slika 2. Prikaz kočnog sustava

---

<sup>10</sup> Kresnik M., Utjecaj izvedbi kočionih sustava osobnih automobila na njihovu trajnost, FPZ, Završni rad, 2015., str. 11

<sup>11</sup> Kresnik M., Utjecaj izvedbi kočionih sustava osobnih automobila na njihovu trajnost, FPZ, Završni rad, 2015., str. 13



Izvor: <http://www.testoviautomobila.net/kocioni-sustavi/>

Slika prikazuje sustav za kočenje koji sadrži zapovjedni mehanizam, izvor energije, prijenosni mehanizam, kočni mehanizam i kočnice.

Zapovjedni mehanizam može biti nožni, ručni ili automatski; izvori energije su vozači i motor vozila; prijenosni mehanizmi su mehanički, pneumatski, hidraulični, električni; kočni mehanizmi su diskovi i bubanj kočnice.

Kada se gledaju, blokovi izgledaju glatko, ali na mikroskopskoj razini se vidi da su vrlo neravni. Kad se blok stavi na stol, mali se vrhovi i doline smanjuju, a neki od njih se i stapaju. Težina težeg bloka dovodi do toga da se više skuplja i stoga se ostvaruje veća sila otpora klizanja.

### 2.3. Struktura sustava kočenja

Sustav za kočenje čine: upravljanje kočnicom, sustav prijenosa i aktuatori kočnog sustava. Naredba za kočenje ima dvije važne zadaće: predstaviti spoj čovjeka i kočnog



sustava te pretvoriti rad mišića vozača u kočnu silu odgovarajuće snage. Kako bi naredba kočenja bila učinkovita kombinacija čovjeka i strojeva, moraju se poštivati neki ergonomske zahtjevi.<sup>12</sup>

Naredba se mora nalaziti na mjestu koje će vozač bez razmišljanja lako pronaći, a kut njegovih ekstremiteta treba biti takav da se s najmanje truda može prouzročiti najveći učinak radnje na zapovijed. Naredba za kočenje ne smije biti toliko blizu ostalim naredbama da ne dođe do slučajne zamjene.

Naredba mora pružiti određeni otpor pritisku noge (ili ruke) tako da vozač ima osjećaj za doziranje snage. Na naredbama koje nemaju nikakav fizički otpor, poput elektroničkog kočenja, otpor papučice mora se umjetno oblikovati.

Hod naredbe treba omogućiti vozaču da uz otpor osjeća i mali hod, a pri maksimalnom pritisku obavezno treba postojati jedna trećina hoda papučice koja služi kao "rezervni hod". Naredba kočenja se izvodi kao naredba koja se nalazi lijevo od nožne komande papučice gasa (u nekim slučajevima i desno od nožne komande kvačila) ili kao ručna naredba na desnoj ručici u vozilima čija je kategorija "L".<sup>13</sup>

Kad vozač pritisne papučicu, naredba kočenja pretvara to u pritisak koji djeluje na tekućinu u sustavu prijenosa. Pritisak vozača je kontinuirano promjenjiv i tlak koji prenosi tekućina mora slijediti tu promjenu, ali ne mora biti kontinuirano promjenjiv, već može biti s malim stupnjevima promjene kako bi učinak naizgled bio kontinuiran.

Kod traktora je dozvoljeno bočno razdvajanje kontrole kočenja, gdje svaka papučica koči odgovarajuće kočnice na jednoj strani vozila.

Sustav disk kočnica zahtijeva nešto veću silu od bubnjastog kočnog sustava, ali zahtjev da pokretačka sila treba biti ispod propisanih ograničenja i dalje vrijedi. Rješenje problema je upotreba pojačivača kočenja ili "servo pojačala" kako se to obično naziva. Zbog sigurnosti servo pojačalo može povećati silu aktiviranja najviše dva puta.

Kada iz nekog razloga otkáže servo sustav, vozač će i dalje proizvoditi dovoljnu kočnu silu s dvostruko više napora i uspješno zaustaviti vozilo. U pneumatskim sustavima kočenja ne

---

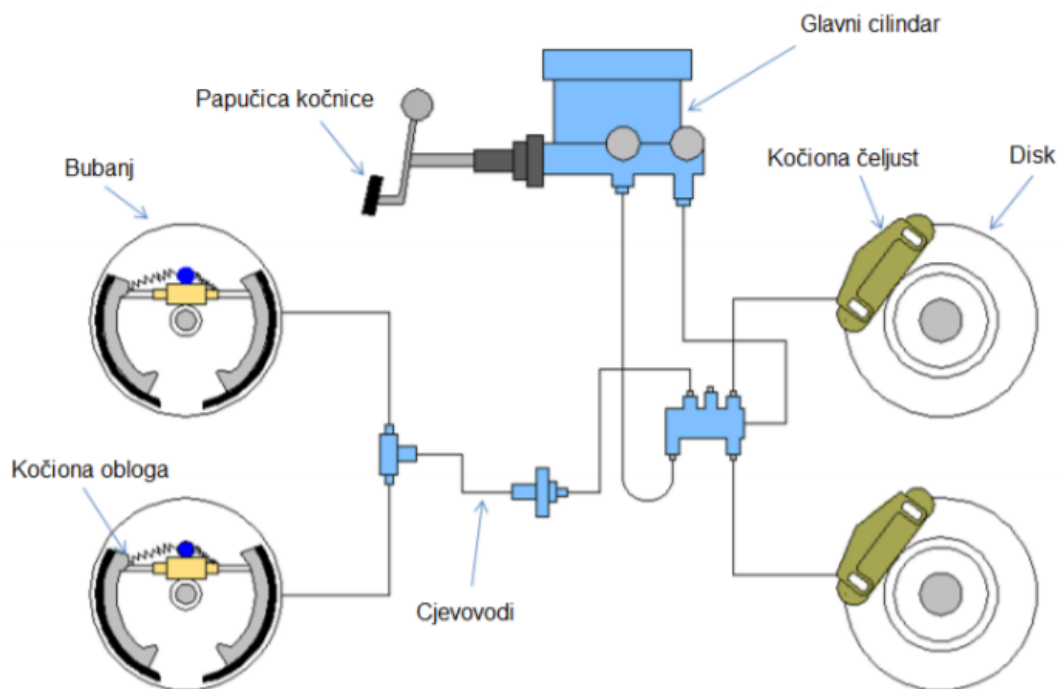
<sup>12</sup> Kresnik M., Utjecaj izvedbi kočionih sustava osobnih automobila na njihovu trajnost, FPZ, Završni rad, 2015., str. 14

<sup>13</sup> Kresnik M., Utjecaj izvedbi kočionih sustava osobnih automobila na njihovu trajnost, FPZ, Završni rad, 2015., str. 18

postoji namjenski "pojačivač" jer je sam sustav takav da djeluje s doziranjem unaprijed pripremljenog visokoenergetskog zraka pod pritiskom.<sup>14</sup>

Prijenosni sustav je dio kočnog sustava u kojem se sila od naredbe kočenja do izvršnih elemenata sustava prenosi pomoću prikladnog medija. Prijenosni medij može biti kruti, tekući ili plinoviti. Na temelju toga dijeli se na: kočne sustave s mehaničkim prijenosom (mehanički kočni sustavi); hidraulični sustavi kočenja; pneumatski kočni sustavi i kombinirani kočni sustavi.

Slika 3. Prikaz hidrauličnog mehanizma



Izvor: <http://www.mechanicalbooster.com/2018/08/what-is-hydraulic-braking-system.html>

Mehanički sustav kočenja koristi poluge i čelične užad za prijenos sile kočenja. Najčešće se koristi na lakšim vozilima poput motocikala i u prijenosu sile ručnog kočenja. Prednost je niska tehnološka razina proizvodnje i vrlo niska cijena. Uz to, jednostavnost sustava donosi veću pouzdanost. U ovom je sustavu zaista malo, pa je pouzdan i jednostavan za održavanje.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 40

<sup>15</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 42

Hidraulički kočni sustav koristi tekućinu s prijenosom kočne sile i najčešće se koristi na vozilima do 3,5 t NDM. Karakterizira ga odziv kočenja koji je zadovoljavajući, kako u pogledu brzine prijenosa, tako i u pogledu specifične spojnice koju osjeća vozač. Komponente koje čine sustav male su veličine, relativno jednostavne za proizvodnju i nisu preskupe.

U nastavku su nabrojane osnovne prednosti hidrauličnog mehanizma za aktiviranje uređaja za kočenje:<sup>16</sup>

- Istovremeno kočenje svih kotača uz željenu raspodjelu kočnih sila kako među mostovima tako i među kočnim oblogama,
- Visok koeficijent korisnog djelovanja,
- Mogućnost tipizacije kočnih mehanizama za vozila sa različitim parametrima,
- Jednostavna konstrukcija sustava za aktiviranje i kratko vrijeme odaziva.

Tehnologija elemenata ovih sustava dosegla je točku u kojoj je omjer cijene i performansi usporediv s mehaničkim sustavima. Hidraulični sustavi se koriste na biciklima. Hidraulični sustavi mogu biti obični, hidraulični sustavi s djelomičnim servo djelovanjem i hidraulični sustavi s potpunim servo djelovanjem. Djelomični servo sustav ima vakuumski servo pojačivač koji, koristeći razliku u tlaku zraka na obje strane dijafragme, pomaže u povećanju sile kočenja povlačenjem membrane (i klipova glavnog cilindra) prema donjem području tlaka stvorenom usisom motora.

U slučaju sustava s potpunim servo djelovanjem, pumpa za ulje zadužena je za akumuliranje energije, a naredba kočenja dozira tlak u sustavu prijenosa i silu kočenja.

#### **2.4. Kočnice i mehanizam**

Kočenjem stacionarnog vozila osigurava se stajanje vozila na neodređeno vrijeme na usponu koji se može savladati u najnižoj brzini.

Kočni sustav mora udovoljavati određenim uvjetima kao što su:<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 43

<sup>17</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 44

- Osigurati minimalnu kočenja ili maksimalnu moguću usporavanje u slučaju naglog kočenja. Za navedeno potrebno je osigurati kratki odziv kočnog sustava po komadu, uz istovremeno kočenje svih kotača i potrebna preraspodjela kočnih sila na osovinama.
- Osigurati stabilnost vozila prilikom kočenja.
- Osigurati udobnost putnika prilikom kočenja. Za udovoljavanje navedenog treba osigurati ravnomjerno povećanje sile kočenja proporcionalno pritisku na papučicu.
- Osigurajte dobro funkcioniranje kočnog sustava čak i tijekom čestog kočenja, što je povezano s dobrim odvođenjem topline, jer u tom slučaju nema značajnih promjena u koeficijentu trenja između obloge i bubnja.

Radna kočnica izvršava najvažnije zadatke kočnih sustava, odnosno osigurava kočenje vozila s maksimalnim usporavanjem i svim blažim, kratkotrajnim kočenjem, u normalnim uvjetima vožnje. Pomoćna kočnica se uvodi zbog povećanja sigurnosti vozila u prometu, odnosno radi postizanja veće pouzdanosti kočnog sustava. Ona služi kao mogućnost kočenja vozila u slučaju kvara na podsustavu radne kočnice. Propisi dozvoljavaju da radne karakteristike pomoćne kočnice budu nešto niže od radne kočnice.<sup>18</sup>

Pomoćna kočnica ili usporavač namijenjen je nježnom, dugotrajnom kočenju, kada se vozilo kreće pri dužim padovima. Njegovo obvezno postojanje je propisano samo za vozila veće ukupne mase. Ako vozilo ima usporavač ono se koristi za blaga usporavanja, koja se obično postižu radnom kočnicom.

Postoji nekoliko načina postizanja kočnog momenta, a to su: mehaničko trenje, unutarnje trenje u tekućini, elektrodinamička indukcija i stvaranje otpora zraka. U motornim vozilima kočni moment se obično postiže mehaničkim trenjem. Na teškim kamionima i autobusima koriste se kočnice koje kod aktiviranja zatvaraju ispušnu cijev i oduzimaju gorivo, a motor radi kao kompresor jer stvara otpor zraka. Takve kočnice rade na principu elektrodinamičke indukcije i najčešće su postavljene na jednom od kardanskih vratila mjenjača.<sup>19</sup>

Kočni moment, koji se postiže unutarnjim trenjem u tekućini, koristi se u hidrodinamičkim kočnicama. Od trenja kočenje mehanizmi kinetičke energije se pretvara u toplinu

<sup>18</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 48

<sup>19</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 49

trenjem, kočnica bubanj mora biti izrađena na način da ima mogućnost dobre topline (obično sklopio s rebrima).

Ovisno o načinu postizanja kočnog momenta, dijele se i kočni mehanizmi. Kočni mehanizmi najčešće se koriste na motornim vozilima. Ovisno o mjestu na kojem su ugrađeni, dijele se na: kočione mehanizme u kotačima i kočne mehanizme koji djeluju na mjenjač.

Kod modernih kočnica bubanj je izravno povezan s kotačem ili glavčinom kotača i okreće se zajedno s njim, dok je potporna ploča kočnice, s kočnim cilindrom i kočnim papučicama, pričvršćena na osovinu vozila. Za vozila velike mase i kod radnih strojeva s radnim kočnicama koje rade u disku, parkirna kočnica može biti kao bubanj kočnica smještena na zglobnom vratilu između prijenosnika i glavne osovine mjenjač (obično odmah iza mjenjača).<sup>20</sup>

To značajno štedi na veličini same kočnice, jer se moment kočenja kada dosegne kotače pomnoži s prijenosnim omjerom u glavnom mjenjaču. Bubanj je izravno povezan s rotirajućim dijelom, odnosno s kardanskom osovinom, dok je ostatak mehanizma, poput kočnih papučica, nepokretan, tj. čvrsto pričvršćen na potpornu konstrukciju vozila.

Slika 4. Prikaz disk kočnica

---

<sup>20</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 67



Izvor: <https://www.oldtimeri.hr/definicija/oldtimer-tehnika/kocnice>

Disk kočnica sa stezaljkom osnovna je vrsta izvedbe i načelno se koristi u svim putničkim i teretnim vozilima, dok se kočnice s lameliranom površinom trenja uglavnom koriste u građevinskim strojevima ili u vozilima s nekim posebnim namjenama. Kao i kod bubanj kočnica, disk kočnica je izravno povezana s kotačem ili glavčinom kotača, a stezaljka je nepokretna i pričvršćena na potpornu strukturu vozila. Ona je kućište cijelog kočnog mehanizma koji potiskuje površinu trenja na disk.<sup>21</sup>

Prvi diskovni sustavi koji su slični današnjim diskovnim sustavima pojavili su se u Engleskoj 40-tih i 50-tih godina prošlog stoljeća. Vrlo brzo se shvatilo da oni nude bolju zaustavnu snagu od uobičajenih bubanj kočnica, što uključuje i veću otpornost na pregrijavanje. Uz to, pokazali su se pouzdanijima zbog jednostavne konstrukcije i manjeg broja komponenata.<sup>22</sup>

Neke rane primjene su uključivale postavljanje diskova u vozilo, blizu diferencijala. To smanjuje nepodnošljivu težinu (sustav ovjesa, kotači i ostali dijelovi), što izravno dovodi do veće udobnosti i upravljanja, ali ujedno uklanja prijenos topline na gume. Danas su diskovi u pravilu postavljeni unutar kotača. Postali su standardni za sve automobile, iako mnogi i dalje

---

<sup>21</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 67

<sup>22</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 68

koriste bubnjeve na stražnjoj osovini kako bi smanjili troškove. Budući da prednje kočnice igraju značajniju ulogu pri zaustavljanju, ovaj se kompromis čini prilično zanimljivim.

Disk kočnica sa stezaljkom osnovna je vrsta izvedbe i načelno se koristi u svim putničkim i teretnim vozilima, dok se kočnice s lameliranom površinom trenja uglavnom koriste u građevinskim strojevima ili u vozilima s nekim posebnim namjenama. Disk kočnica je poput kočnog bubnja izravno na kotač ili glavčinu kotača, dok je stezaljka nepokretna, čvrsto pričvršćena na potpurnu strukturu vozila. Istovremeno predstavlja kućište cijelog kočnog mehanizma koji potiskuje površinu trenja na disk.<sup>23</sup>

Dok se disk okreće zajedno s kotačem, zatvoren je kočnim čeljustima u kojima su smještene kočione pločice koje hidraulički klipovi guraju prema disku. Postoje dvije vrste kliješta: plutajuće i fiksne.

Fiksna su složenija od plutajućih kliješta. Plutačice se kreću (logično) u odnosu na disk - kopča s jedne strane diska gura unutarnju ploču dok ne dođe u kontakt s diskom, a zatim povlači tijelo kliješta vanjskom pločom dok također ne dodirne disk. Na taj se način kočni disk pritiska s obje strane i započinje usporavanje. Ova vrsta kliješta koristi se češće jer je jeftinija od fiksne.<sup>24</sup>

Obično koristi jedan hidraulički klip u cilindru, iako se do 8 komada koristi za kočnice visokih performansi. Suvremeni automobili imaju hidrauličke sustave odvojene dijagonalnim parom kotača, jer osiguravaju dovoljnu silu kočenja i ako jedan sustav zakaže. U prošlosti su se kablovi koristili za prijenos sile na kočnice, što je jako otežavalo podešavanje iste (slične) sile kočenja na svim kotačima. Međutim, danas se često koristi hidraulika. Tekućine se ne mogu skupljati i one ravnomjerno prenose pritisak na sve strane.

Na temelju navedenog, ako pritisnemo klip s jedne strane hidrauličkog sustava, tekućina će prenijeti pritisak na drugi klip koji djeluje na kočnicu.

Pritiskom na papučicu kočnice djelujemo na klip u glavnom kočionom cilindru, koji preko tekućine prenosi pritisak na cilindar kotača. Stoga je dovoljan lagani pritisak na papučicu da se automobil bez problema zaustavi.

---

<sup>23</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 68

<sup>24</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 69

Disk kočnice pripadaju skupini aksijalnih kočnica, budući da se sila na površinu trenja ostvaruje aksijalnim djelovanjem površine trenja na disk. Prema tome, postoje dvije vrste:<sup>25</sup>

- Kočnice s diskom i stezaljkom (čeljusti), koji samo jedan segment zahvaća disk,
- Kočnice s diskom i lamelarnom površinom trenja, koja leži na cijelom opsegu diska.

Disk kočnice mogu biti s jednim ili dva potisna elementa (klipovi), a svaki se nalazi na jednoj strani diska. Kod vozila s jednim steznim klipom, kočnica je osno pomična tako da se kočione pločice ravnomjerno oslanjaju na disk. Sa dva klipa kočnicama, stezaljka obično nije aksijalno pomicati. Prijenos sile u putničkim vozilima uglavnom je hidraulički, dok je kod većih kamiona, uključujući autobuse, općenito pneumatski.

Disk kočnice imaju nižu osjetljivost na promjene koeficijenta trenja između trenja površinske i kočne obloge, omogućuju stabilnije kočenje vozila, sila aktiviranja je relativno velika.

U vozilima velike mase, gdje kočnice moraju postići veliku silu kočenja disk kočnice mogu imati dva ili čak četiri potisna klipa. U slučaju da disk kočnice izvršavaju funkciju parkirne kočnice, za prijenos sile koristi se mehanički mehanizam koji je neovisan o radnoj kočnici, kada se mehanizam aktivira hidraulično.

U kritičnim situacijama, poput mokre i skliske ceste, vozač često refleksno pritiska kočnice. U tom slučaju postoji rizik od blokiranja kotača zbog smanjenog trenja na vozilima s običnim kočnicama. Takvim se vozilom više ne može upravljati, a ono obično nekontrolirano klizi.

U takvim situacijama ABS, regulirajući pritisak kočnice, sprječava blokiranje kotača. To omogućuje vozaču da i dalje kontrolira kretanje vozila i izbjegava klizanje i klizanje, no unatoč nesumnjivim prednostima, vozač se također mora naviknuti na ABS reakciju.<sup>26</sup>

ABS sustav mora znati kada će se kotač blokirati, a na to upozoravaju senzori brzine. Na svakoj kočnici se nalazi ventil koji kontrolira ABS.

Ovaj sustav, kontrolirajući brzinu vrtnje pojedinih kotača, djeluje na smanjenje pritiska u sustavu kočenja na pojedinačnim kotačima, a time se održava njihova rotacija (sprječava

---

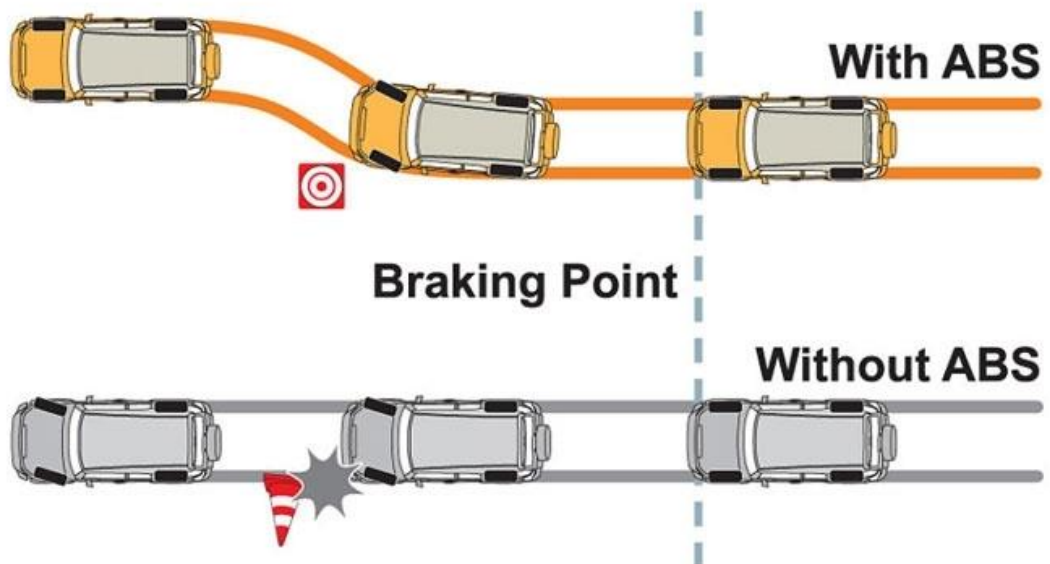
<sup>25</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 73

<sup>26</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 76



blokiranje rotacije kotača) i sprječava proklizavanje kotača i vozila tijekom kočenja i na taj način se održava željena putanja vozila.<sup>27</sup>

Slika 5. Prikaz ABS kočenja



Izvor: <https://auto-mane.com/abeceda-automobila/sto-je-abs>

Na slici je vidljivo kočenje sa ABS (with ABS) i bez ABS sustava (Without ABS). ABS sustav kočenja danas predstavlja osnovu suvremenih automobila jer se i ne proizvode bez ovog sustava. Njegova primjena utjecala je na sigurnost vožnje i zaustavnog puta prilikom kočenja.

Dokazano je da u slučaju začepljenih kotača nema mogućnosti kontroliranog upravljanja i vozilo se kreće po inerciji. Kočni trag vozila kojem su kotači blokirani duži je nego kod vozila koja su u voznom stanju.

<sup>27</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 60

Kočnice se servisiraju zamjenom kočnih pločica. Disk kočnice uglavnom sadrže komad metala koji se naziva pokazatelj ispravnosti. Kad trenje uništi pločice, indikator ispravnosti se zalijepi za disk i javlja se zvuk kao škripanje. To je znak da se pločice trebaju mijenjati. Prijenosnik ima otvor kroz koji se vidi koliko materijala ima na pločicama.

I rotori na kočnicama se mogu istrošiti i izgubiti glatkoću u slučajevima ako se ne zamijeni istrošena pločica. U ovom slučaju kod zaustavljanja vozila dolazi do vibracije kočnice. Ovi problemi se rješavaju popravkom rotora. Određena količina materijala se uklanja s obje strane rotora kako bi se vratila njihova glatkoća. Popravak je potreban jedino ako su rotori ozbiljno oštećeni. Česti popravak rotora može smanjiti rok trajanja, jer uklanjanje materijala stanjuju rotore. Za kočne rotore je definirana najmanja dopuštena debljina i ako je manja od dozvoljene potrebna je njihova zamjena.

### 3. REGENERATIVNO KOČENJE

U ovom poglavlju obradit će se glavni fokus rada, a to je regenerativno kočenje. Prikazat će se njegova važnost te funkcioniranje.

#### 3.1. Definiranje regenerativnog kočenja

Regenerativno kočenje je mehanizam koji smanjuje brzinu vozila pretvarajući kinetičku energiju u neki drugi koristan oblik energije. Ova energija ostaje za buduću upotrebu na vozilu ili se pohranjuje u elektroenergetski sustav za upotrebu u drugim vozilima. Primjer ovog sustava je regenerativna kočnica u električnim željezničkim vozilima, koja omogućuje povratak proizvedene električne energije u sustav napajanja.<sup>28</sup>

U električnim i hibridnim vozilima energija pohranjena u baterijama ili u kondenzatoru može se koristiti za kasniju upotrebu. Sljedeći oblik sustava za pohranu energije uključuje upotrebu komprimiranog zraka i zamašnjaka.

Komprimirani zrak javlja se krajem 19. stoljeća, gdje se prvi put pojavljuje na traktorima Krieger koji su djelomično pogonjeni električnim pogonom, a dijelom vučom s konjskom vučom. Ti su krugovi imali električne motore svim kotačima, a bilo ih je četiri i ponašali su se poput generatora / dinamike u uvjetima kočenja, akumulirajući energiju kočenja kao struju za punjenje ugrađenih baterija.<sup>29</sup>

Zbog toga je sustav ostao na eksperimentalnoj osnovi. Nakon još pola stoljeća u automobilskoj industriji su se vratila već postojeća znanja. Moderna era tih sustava je započela 1950-ih kada je fizičar Richard Feynman prvi predstavio svoje viđenje regenerativne kolekcije kinetičke energije pomoću određenih rotora.

Električni model automobila Amnitron predstavila je američka tvrtka AMC 1967. Baterije su se punile energijom koja se prikupila kočenjem. Slični sustavi su kod tramvaja, trolejbusa i sličnih gospodarskih vozila.

Uz električno regenerativno kočenje, sustav kočenja na trenje i dalje se koristi iz sljedećih razloga: Učinak regenerativnog kočenja naglo se smanjuje pri nižim brzinama, pa je trenje tijekom kočenja i dalje potrebno kako bi se vozilo u potpunosti zaustavilo. Trenje tijekom kočenja je neophodno kao alternativa u slučaju kvara regenerativnog kočenja.

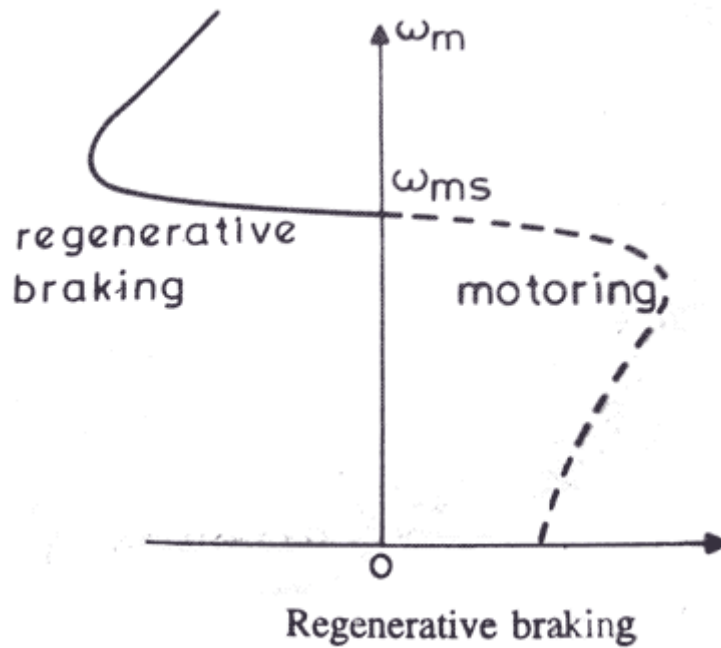
---

<sup>28</sup> Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001., str. 63

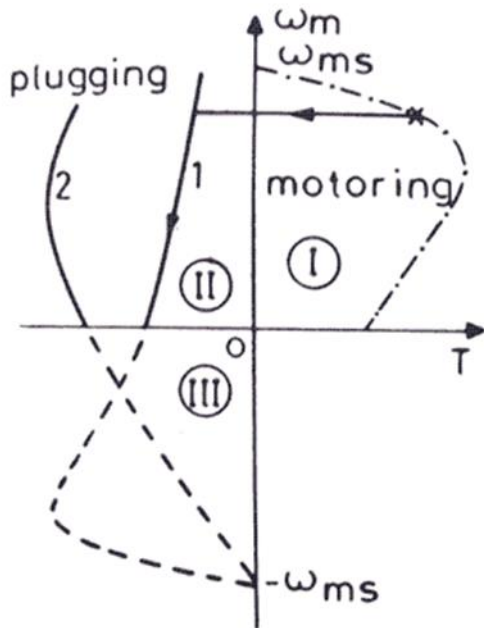
<sup>29</sup> Radić T., Dijagnostika sustava za kočenje cestovnih vozila, FPZ, Završni rad, 2014., str. 17

Većina vozila s regenerativnim kočenjem vozi se samo na nekim kotačima (npr. 2WD vozila), a regenerativno kočenje odnosi se samo na te kotače, pa je za sigurno kočenje u teškim uvjetima (kao što su mokre i skliske ceste) trenje potrebno kod drugih kotačići. Količina potrošene električne energije ograničena je kapacitetom sustava koji treba apsorbirati tu energiju ili stanjem napunjenosti baterije ili kondenzatora.<sup>30</sup>

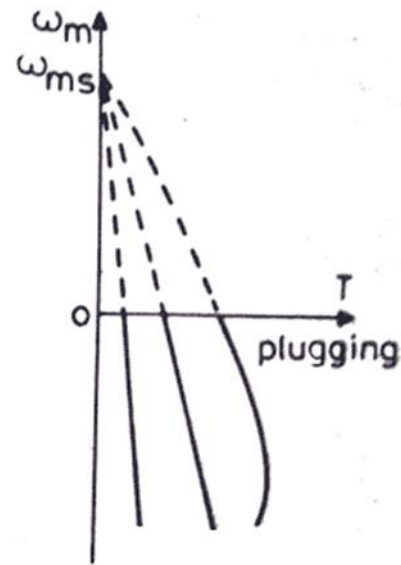
Slika 6. Prikaz sheme regenerativnog kočenja



<sup>30</sup> Sjöholm, M. Benefits of regenerative braking and eco driving for high-speed trains“, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), 2011., str. 33



(a) 1: natural characteristic  
2: with external resistance in rotor



(b) Plugging in IV quadrant with large external resistance in rotor

Izvor: <https://riverglennaps.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

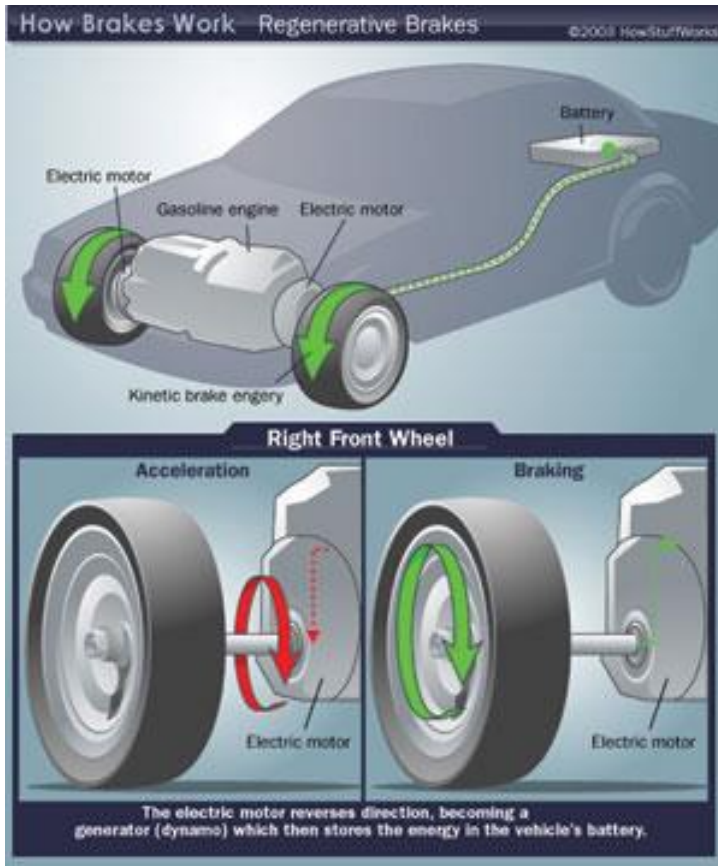
Iz slike se vidi da kod zaustavljanja motora treba ga odvojiti od napajanja kada je brzina nulta. Motor se okreće u suprotnom smjeru. Motor najprije usporava na nulu nakon čega se ubrzava u suprotnom smjeru.

Učinak neregenerativnog kočenja može se pojaviti ako druga električna komponenta na istom sustavu napajanja trenutno crpi snagu i ako su baterija ili kondenzator već napunjeni. Iz tog je razloga normalno uključiti dinamičko kočenje koje će apsorbirati višak energije. U slučaju jakog kočenja, poželjno je da sile kočenja budu takve da postignu najveće dopušteno trenje između kotača i tla bez proklizavanja i u rasponu od maksimalne brzine do nule.

Maksimalna snaga dostupna za ubrzanje obično je manja od očekivane, osim u slučaju izuzetno visokih performansi vozila. Stoga bi se snaga trebala rasporediti na kočni sustav u hitnim situacijama tako da bude višestruko veća od one koja se koristi za ubrzanje. Iz tih

razloga potrebno je uz regeneracijsko kočenje koristiti i kočenje trenjem kako bi se postigao željeni efekt krajnjeg kočenja.<sup>31</sup>

Slika 7. Prikaz regenerativnog kočenja



Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>

Regenerativno kočenje je svako kočenje gdje se dio kinetičke energije pohranjuje u nekom obliku energije, umjesto da se topline rasipa u okoliš. Jedan dio uskladištene energije može se koristiti u nekim uvjetima za bolji, učinkovitiji rad stroja, a takva pohranjena energiju se može koristiti na razne načine, od punjenja baterija do dodatne snage automobila. Regenerativni kočni sustavi imaju pojedinačna električna (tramvaji, trolejbusi, vlakovi, hibridna električna vozila.)

Ovi uređaji koriste veliki broj dodatnih senzora za utvrđivanje namjere vozača, tj. koliko intenzivno zapravo želi kočiti. Uređaj otkriva položaj papučice kočnice i očitava silu koja izračunava željeni stupanj usporavanja. Uređaj istodobno očitava brzinu kotača putem senzora

<sup>31</sup> Sjöholm, M. Benefits of regenerative braking and eco driving for high-speed trains“, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), 2011., str. 33

koji se koriste za ABS, određujući tako vrstu površine po kojoj se vozilo kreće: led, snijeg, busen ili asfalt.

### **3.2.Vrste regenerativnog kočenja**

Podjela regenerativnog kočenja:<sup>32</sup>

1. Regenerativno kočenje temeljeno na principu zamašnjaka,
2. Regenerativno kočenje temeljeno na principu generatora,
3. Hidraulično regenerativno kočenje.

#### **3.2.1. Regenerativno kočenje temeljeno na principu zamašnjaka**

Upotreba zamašnjaka kod regenerativnog kočenja - određenu količinu kinetičke energije posjeduje svako tijelo u pokretu, uključujući tijela koja se okreću. Kod regenerativnog kočenja na principu zamašnjaka, kada je potrebno usporiti vozilo, određena količina energije prenosi se na zamašnjak nauštrb kinetičke energije vozila, tj. kinetička energija kretanja vozila pretvara se u kinetičku energiju zamašnjaka.<sup>33</sup>

Kada je vozilu potrebno još energije, postupak je obrnut. Tada se kinetička energija prenosi sa zamašnjaka na kotače, a istovremeno povećava kinetičku energiju vozila. U tim energetske transformacijama ne gubi se kinetička energija u toplini koja se odvodi u okoliš. Za maksimalno iskorištenje zamašnjaka, on treba biti savršeno uravnotežen i dizajniran tako da isključi utjecaj vanjskih čimbenika.

U slučaju vozila, ova vrsta regenerativnog kočenja ostvaruje se mehaničkom vezom između kotača i zamašnjaka, a kod kočenja zamašnjak koji je smješten u pogonu motora mehanički se ubrzava. Ako se želi iskoristiti energija nakupljena na zamašnjaku, mora se usporiti zamašnjak i prenijeti oslobođenu energiju na kotače automobila posebnim sustavom.

---

<sup>32</sup> Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>

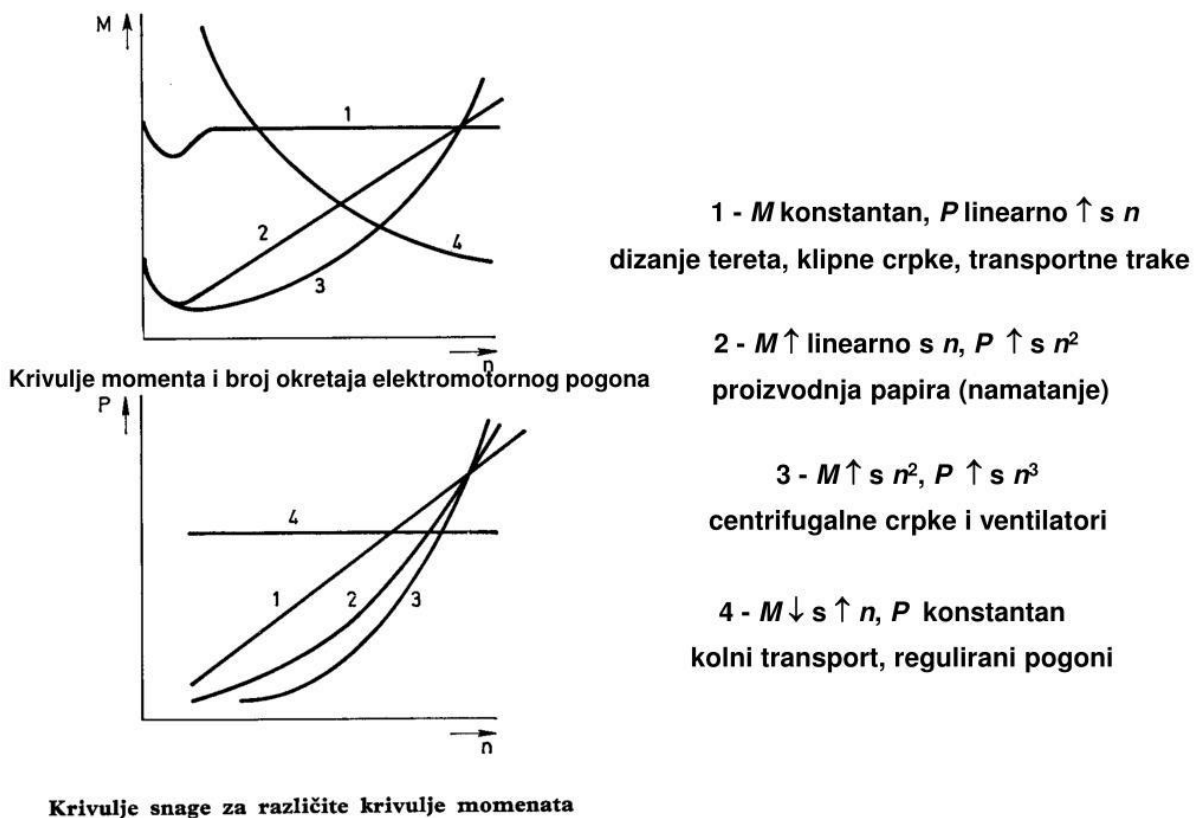
<sup>33</sup> Sjöholm, M. Benefits of regenerative braking and eco driving for high-speed trains“, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), 2011., str. 33

Ovaj način se već nekoliko godina koristi u Formuli 1 - najekstremnijoj automobilskoj disciplini, a koja se zove KERS (sustav za oporavak kinetičke energije) i njega razvijaju najpoznatiji svjetski proizvođači automobila: Renault, Volvo, Honda i dr.<sup>34</sup>

### 3.2.2. Regenerativno kočenje temeljeno na principu generatora

Stanje motora i generatora pogona elektromotora - pogon elektromotora može raditi u svim kvadrantima nM dijagrama ako su ostvareni uvjeti. U kvadrantima koji imaju isti smjer okretnog momenta i brzine vrtnje, pogonsko stanje je motorno, a gdje je smjer momenta i brzine različit, vozno stanje je kočenje (generator). Radno stanje kočenja (generatora) želi usporiti ili zaustaviti pogon elektromotora.<sup>35</sup>

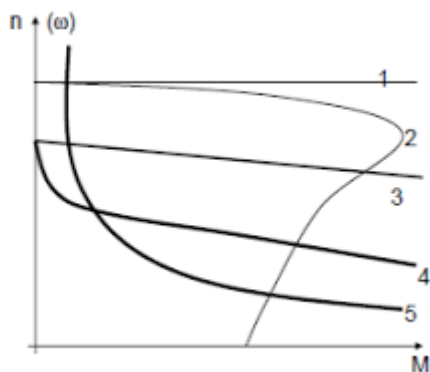
Slika 8. Prikaz različitih krivulja momenta tereta i krivulje snage motora



<sup>34</sup> Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>

<sup>35</sup> Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>





Tri su vrste kočenja elektromotorom: elektrodinamičko kočenje, kočenje električnim otporom i kočenje generatorom. Da bi pogon elektromotora mogao kočiti regenerativno, mora raditi u području stanja kočnice generatora. Kočenje generatora događa se kada motor pogona elektromotora počne raditi kao generator brzinom iznad praznog hoda.

Brzina praznog hoda se određuje parametrima izvora. Takvim kočenjem stroj radi u stanju u kojem moment i brzina vrtnje imaju suprotne predznake, a elektromotor vraća energiju izvoru. Prednost je mogućnost povratka energije izvoru, a nedostatak je jer brzina vrtnje mora biti veća od broja okretaja u praznom hodu, i to se događa u nekim uvjetima rada motora.

Upotreba principa generatora u svrhu regenerativnog kočenja se koristi u električnim ili hibridnim vozilima. Zanimljiva značajka vozila s električnim motorom je da ako se motor okreće u jednom smjeru pretvara električnu energiju iz izvora, obično baterije, u kinetičku energiju i kada se okreće u suprotnom smjeru, pri kočenju djeluje kao generator i šalje struju izvoru ili šalje napajanje u električnu mrežu. Tako se smanjuje brzina vozila bez gubljenja kinetičke energije na toplinu.<sup>36</sup>

Električna ili hibridna vozila koriste kočnice koje rade na principu trenja, pa motor mora prepoznati koji sustav kočenja koristiti. To se kontrolira elektroničkim putem. Kočenje električnim generatorom može smanjiti 50% energije koju standardne kočnice gube zbog zagrijavanja. Ovi sustavi smanjuju potrošnju goriva za 10-25%. Takav sustav kočenja koristi se u mnogim modelima automobila.<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>

<sup>37</sup> Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>

### **3.2.3. Hidraulično regenerativno kočenje**

Hidraulično regenerativno kočenje su razvili Ford i Eaton Corporation. Ovim sustavom, kod pritiska na papučicu kočnice, kinetička energija vozila pretvara se u energiju koja je potrebna za pogon reverzibilne pumpe koja potiskuje tekućinu iz niskotlačnog spremnika u visokotlačni spremnik. U visokotlačnom spremniku tekućina smanjuje količinu dušika koji se nalazi u visokotlačnom spremniku, povećavajući tako svoj pritisak pri kočenju vozila.

Energija potrošena na pogon pumpe može potpuno zaustaviti vozilo. Dušik ostaje pod visokim tlakom sve dok vozač ne pritisne papučicu gasa i tada dušik pod pritiskom počinje potiskivati tekućinu natrag kroz reverzibilnu pumpu. Takav sustav kočenja učinkovito koristi energiju potrebnu da bi se vozilo zaustavilo.<sup>38</sup>

Takva metoda kočenja je pogodna za gradsku vožnju i za kamione kojima treba velika količina energije da bi se zaustavili. Glavni nedostaci HPA kočenja su buka tijekom rada i curenje tvari iz tlačnih spremnika i pumpi. Nakon što se ovaj sustav kočenja usavrši, učinkovitost ovakvog kočenja će biti veća od električnog regenerativnog kočenja. HPA sustav kočenja se trenutno koristi na velikim vozilima.

### **3.3. Uloga regenerativnog kočenja**

Regenerativno kočenje koriste vozila s električnim motorima, i to potpuno električna i hibridna električna vozila. Električni motori pretvaraju električnu energiju u mehaničku energiju koja se može koristiti za obavljanje posla, ali kada se motor okreće u suprotnom smjeru, pravilno dizajnirani motor postaje električni generator, pretvara mehaničku energiju u električnu. Tada se ta struja može koristiti za punjenje sustava za punjenje akumulatora u automobilu.

Sofisticirani elektronički krugovi odlučuju kada motori trebaju preokrenuti i preusmjeriti električne krugove kako bi pohranili električnu energiju koju motor proizvodi u akumulatorima vozila.

U industriji postoji općenito kretanje prema kočnim sustavima u kojima su mnoge funkcije kočenja koje se tradicionalno izvode mehanički prebačene na elektroničke

---

<sup>38</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

performanse. Hibridi i električni automobili bi mogli biti prvi koji će usvojiti ove vrste kočnica.<sup>39</sup>

Trenutno su različiti automobilski inženjeri osmislili različito dizajnirane sklopove za rješavanje složenosti regenerativnog kočenja, a u svim je slučajevima najvažniji dio kočnog kruga upravljač kočnice.

Kontroleri kočnica su elektronički uređaji koji mogu daljinski upravljati kočnicama, odlučujući kada kočenje započinje, završava i koliko brzo treba kočiti.

Regenerativno kočenje izvodi se zajedno s antiblokirnim sustavima kočenja (ABS).

U vozilima s ovakvim kočnicama, regulator kočenja nadgleda brzinu kotača i može izračunati koliki je zakretni moment - rotacijska sila - dostupan za proizvodnju električne energije koja se može vratiti u baterije. Kod kočenja, regulator kočenja usmjerava električnu energiju koju motor proizvodi na baterije ili kondenzatore. Osigurava da baterije dobivaju optimalnu količinu energije i osigurava da količina novoproducedene električne energije nije veća od one koju baterije mogu podnijeti.<sup>40</sup>

Najvažnija funkcija je odluka sklopa za upravljanje kočnicom da li motor trenutno može podnijeti silu potrebnu za zaustavljanje vozila. U suprotnom, upravljač kočnice prebacuje kočenje na tradicionalne frikcijske kočnice, izbjegavajući moguću katastrofu. U vozilima koja koriste ove vrste kočnica, kontroler kočnice omogućuje cijeli postupak regenerativnog kočenja.

Hibridna električna vozila koriste elektromotor i motor s unutarnjim izgaranjem. Kombiniraju raspon vožnje motora s unutarnjim izgaranjem s učinkovitošću goriva i značajkama elektromotora bez emisija.

Automobilski inženjeri osmislili su niz rješenja za održavanje maksimalne učinkovitosti hibrida, poput aerodinamične racionalizacije karoserije i upotrebe laganih materijala, no nedvojbeno je da je jedno od najvažnijih regenerativno kočenje. U hibridnoj postavci ove vrste kočnica mogu osigurati napajanje samo električnim dijelovima motora putem akumulatora u vozilu.

---

<sup>39</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

<sup>40</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

### 3.4. Prednosti i nedostaci

Korištenje regenerativnih električnih kočnica za kočenje vozila ima sljedeće prednosti:<sup>41</sup>

- uštedu energije vraćanjem dijela energije u mrežu,
- niže troškove održavanja zbog smanjenog korištenja mehaničkog kočenja i smanjenog trošenja kočnica,
- veću udobnost putnika zbog dobrih, mekih i stabilna reakcija sile kočenja,
- smanjenje prašine u okolišu uzrokovane mehaničkim kočnicama,
- smanjenje kočione buke,
- i posredno, kao rezultat smanjene potrošnje energije, smanjene emisije CO<sub>2</sub> koje bi trebale biti proizvedene i uštedjeti energiju.

Najveća prednost regenerativnog kočenja je ušteda obnavljanjem električne energije. Električna energija vraćena regenerativnim kočenjem koristi se u sljedeće svrhe:<sup>42</sup>

- za vlastite potrebe električnog vučnog vozila (za pomoćne funkcije ili klimatizaciju / grijanje), koje su međutim daleko manje od energije koja se može dobiti regenerativnim kočenjem,
- energija vraćena u kontaktnu mrežu mogu se isporučiti i drugi vlakovi koji se nalaze u blizini (ako se nalaze u području koje opskrbljuje ista trafostanica za električnu vuču).
- u nekim sustavima traktorskih trafostanica energija se također može vratiti u nacionalnu električnu mrežu, što je u principu moguće za izmjenične sustave električne vuče.

Energetska učinkovitost konvencionalnog automobila iznosi oko 20 %, a 80 % energije trenjem se pretvara u toplinu. Kod regenerativnog kočenja se može iskoristiti pola utrošene

---

<sup>41</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

<sup>42</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

energije i vratiti je kao koristan rad. To bi moglo smanjiti potrošnju goriva za 10 do 25 %. Hidraulični sustavi regenerativnog kočenja mogu postići još impresivnije dobitke, potencijalno smanjujući potrošnju goriva za 25 do 45 %<sup>43</sup>

Prva polovica 21. stoljeća je posljednje razdoblje u kojem se motori s unutarnjim izgaranjem obično koriste u vozilima. Automatika kreće prema alternativnim izvorima energije, električnim baterijama, vodikovom gorivu, pa čak i komprimiranom zraku. Regenerativno kočenje je važan korak prema konačnoj neovisnosti od fosilnih goriva. Ove vrste kočnica omogućuju dugotrajnu upotrebu baterija bez potrebe za spajanjem na vanjski punjač.

Neka od najznačajnijih nedostataka su:<sup>44</sup>

- Regenerativno kočenje radi samo na “pogonskim kotačima”.
- Regenerativne kočnice obično ne daju dovoljno sile kočenja u uvjetima zaustavljanja panike.
- Učinkovitost regenerativnog sustava ograničena je faktorima poput kapaciteta sustava skladišta energije i izlaza električnog motora.
- Tradicionalni regenerativni sustavi nespojivi su s neelektričnim, nehibridnim vozilima.

---

<sup>43</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

<sup>44</sup> Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je obrađena problematika regenerativnog kočenja te njegova važnost. U radu su definirani oblici regenerativnog kočenja koji se pojavljuju te njegovo značenje. Regenerativnog kočenje predstavlja jedan od kvalitetnijih rješenja u sustavu kočenja. Tako možemo primijetiti da je sustav kočenja jedan od najvažnijih sustava na motornom vozilu, ako ne i najvažniji. Omogućuje nam sigurno sudjelovanje u prometu kako ne bismo ugrozili svoju sigurnost ili sigurnost ostalih sudionika u prometu. Ovaj nam sustav omogućuje izbjegavanje opasnih situacija koje se svakodnevno događaju u prometu, pa se tom sustavu daje najveća pažnja.

Kočnom sustavu treba posvetiti najveću pažnju radi izbjegavanja mogućih otkaza i ugrožavanja ostalih sudionika u prometu. Zaustavni put vozila s ispravnim sustavom kočenja mnogo je kraći nego kod neispravnog. Iz tog razloga česte su prometne nesreće.

Najveća prednost regenerativnog kočenja je ušteda obnavljanjem električne energije.

Kočni sustavi igraju vrlo važnu ulogu u aktivnoj sigurnosti vozila. Trenutni i precizni odziv kočnog sustava osigurava sigurno zaustavljanje vozila i pravodobno zaustavljanje. Ključno je provjeriti i održavati sustav kočenja, kako za sigurnost vozača, tako i za sigurnost putnika.

Učinkovitost kočnog sustava važan je preduvjet za aktivnu sigurnost automobila. Papučice kočnica, pumpe, cijevi, pločice, diskovi i bubnjevi glavni su dijelovi kočnog sustava. Da bi se zajamčila maksimalna razina sigurnosti na automobilu, svi ovi dijelovi moraju se provjeravati i održavati, a kočiona tekućina povremeno provjeravati.

## LITERATURA

### Knjige:

1. Cerovac V., Tehnika i sigurnost prometa, FPZ, Zagreb, 2001.,
2. Lulić, Ormuž, Šagi, Motorna vozila, Osnove teorije kočenja, Zagreb, 2016/2017.
3. Luburić G., Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I, Radni materijal za predavanje, FPZ
4. Kresnik M., Utjecaj izvedbi kočionih sustava osobnih automobila na njihovu trajnost, FPZ, Završni rad, 2015.
5. Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Kočenje motornih vozila, HAK, Zagreb, 2001.
6. Mavrin I., Bazijanec E., Sučić M., Šiško I., Elektronička regulacija kočenja i stabilnosti vozila, HAK, Zagreb, 2001.,
7. Radić T., Dijagnostika sustava za kočenje cestovnih vozila, FPZ, Završni rad, 2014.
8. Sjöholm, M. Benefits of regenerative braking and eco driving for high-speed trains“, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), 2011.

### Internetski izvori:

1. Izvor: <https://www.oldtimeri.hr/definicija/oldtimer-tehnika/kocnice>
2. Izvor: <https://riverglennapts.com/hr/drives/326-induction-motor-braking-regenerative-plugging-dynamic-braking-of-induction-motor.html>
3. Izvor: <https://auto-mane.com/abeceda-automobila/sto-je-abs>
4. Izvor: <https://ciak-auto.hr/novosti/sto-su-kocnice-i-cemu-sluzu>
5. Izvor: <http://www.mechanicalbooster.com/2018/08/what-is-hydraulic-braking-system.html>
6. Izvor: <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/>