

Analiza rada elektronskih sustava za stabilnost vozila

Kamber, Frane

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:403076>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Frane Kamber

**ANALIZA RADA ELEKTRONSKIH SUSTAVA ZA
STABILNOST VOZILA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 7. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Cestovna prijevozna sredstva**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6236

Pristupnik: **Frane Kamber (0135246173)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza rada elektronskih sustava za stabilnost vozila**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati utjecajne čimbenike na stabilnost vozila te prikazati utjecaj primjene elektronskih sustava za stabilnost vozila na sigurnost u cestovnom prometu

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Goran Zovak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet Prometnih Znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA RADA ELEKTRONSKIH SUSTAVA ZA
STABILNOST VOZILA**

**ELECTRONIC VEHICLE STABILITY SYSTEM OPERATION
ANALYSIS**

Mentor: prof. dr. sc. Goran Zovak

Student: Frane Kamber

JMBAG: 0135246173

Zagreb, rujan 2021.

SAŽETAK:

Na stabilnost vozila utječu konstruktivne karakteristike vozila, svojstva pneumatika, karakteristike podloge te sile koje djeluju na vozilo. Aktivni elektronski sustavi stabilnosti djeluju u sustavu aktivnog podvozja vozila, a mogućnost nastanka prometne nesreće svodi se na najmanju moguću mjeru koristeći naprednu senzorsku tehnologiju uz smanjenje potrebe vozača za samostalnom intervencijom. Sustav informira vozača kada dinamičke karakteristike vozila dosegnu kritične vrijednosti. Elektronski regulacijski sustavi stabiliziraju vozilo pri ubrzavanju, upravljanju i kočenju. Rade u stabilnom regulacijskom području gdje kotač prenosi najveće sile, dok u nestabilnom području kotači proklizavaju. Razmjena podataka elektronskih komponenti obavlja se radi utvrđivanja promjena u ponašanju vozila. Mehaničke funkcije sve više se počinju kontrolirati mikroračunalima i elektronički upravljanim pokretačima. Strategije i primjene elektronskih sustava stabilnosti sve više dolaze do izražaja zbog potrebe za smanjenjem prometnih nesreća u svijetu.

KLJUČNE RIJEČI: Stabilnost; Aktivni elektronski sustavi; Senzorska tehnologija

SUMMARY:

The stability of the vehicle is affected by the structural characteristics of the vehicle, the properties of the tires, the characteristics of the ground and the forces acting on the vehicle. Active electronic stability systems operate in the active chassis system of the vehicle, and the possibility of a traffic accident is reduced to a minimum using advanced sensor technology while reducing the need for drivers to intervene independently. The system informs the driver when the dynamic characteristics of the vehicle reach critical values. Electronic control systems stabilize the vehicle during acceleration, steering and braking. They work in a stable control area where the wheel transmits the greatest forces, while in an unstable area the wheels slip. Data exchange of electronic components is performed to determine changes in vehicle behavior. Mechanical functions are increasingly beginning to be controlled by microcomputers and electronically controlled actuators. Strategies and applications of electronic stability systems are becoming increasingly prominent due to the need to reduce road accidents worldwide.

KEYWORDS: Stability; Active electronic systems; Sensor technology

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ANALIZA UTJECAJNIH ČIMBENIKA NA STABILNOST VOZILA	2
2.1. OTPORI KRETANJU VOZILA	2
2.2. KLIZANJE I PROKLIZAVANJE VOZILA	3
2.3. ZANOŠENJE VOZILA	4
2.3.1. PODUPRAVLJANJE.....	5
2.3.2. PREUPRAVLJANJE	6
2.4. UZDUŽNA STABILNOST	6
2.5. POPREČNA STABILNOST.....	6
2.6. KOEFICIJENT PRIANJANJA	8
2.7. RASPODJELA OPTEREĆENJA I TEŽIŠTE VOZILA	9
2.8. KOTAČI I PNEUMATICI.....	10
2.8.1. SVOJSTVA I VRSTE PNEUMATIKA.....	10
2.8.2. KUT BOČNOG KLIZANJA KOTAČA.....	11
3. PREGLED I OPIS SUSTAVA STABILNOSTI VOZILA	13
3.1. ABS (Anti-Lock Braking System)	13
3.2. ASR (Anti Slip Regulation)	14
3.3. ESC (Electronic Stability Program) – Sustav regulacije dinamike vožnje	15
3.4. BAS (Brake Assist System) – Sustav naglog kočenja	16
3.5. DBC (Dynamic Brake Control).....	16
3.6. SBC (Sensotronic Brake Control; EHB – Electro Hydraulic Brake).....	17
3.7. EBD (Electronic Break Distribution)	18
3.8. EBS (Electronic Braking System).....	18
3.9. EWB (Electronic Wedge Brakes).....	20
4. ANALIZA PRINCIPA RADA ELEKTRONSKIH SUSTAVA STABILNOSTI.....	22
4.1. ANALIZA ABS SUSTAVA PROTIV BLOKIRANJA KOTAČA.....	23
4.1.1. KOMPONENTE ABS-a.....	23
4.1.2. PRINCIP RADA ABS-a	25
4.2. ANALIZA ASR SUSTAVA ZA SPRJEČAVANJE PROKLIZAVANJA POGONSKIH KOTAČA	26
4.3. ANALIZA ESP SUSTAVA REGULACIJE DINAMIKE VOZILA	29
4.3.1. KOMPONENTE ESP-a	29
4.3.2. PRINCIP RADA ESP-a	30

4.3.3. ANALIZA NAPREDNIH SUSTAVA DINAMIČKOG UPRAVLJANJA STABILNOŠĆU (DSC, VSC)	31
4.4. ANALIZA BAS SUSTAVA	32
5. UTJECAJ PRIMJENE ELEKTRONSKIH SUSTAVA ZA STABILNOST VOZILA NA SIGURNOST U CESTOVNOM PROMETU	34
5.1. STATISTIKA PROMETNIH NESREĆA I INICIJATIVE ZA SMANJENJE	34
5.2. KOČENJE VOZILA SA I BEZ ABS-a	36
5.3. SIMULACIJA KRETANJA VOZILA SA I BEZ ESP-a.....	37
5.4. PRIMJENA ELEKTRONSKIH SUSTAVA NA SUVREMENIM AUTOMOBILIMA	40
5.4.1. MERCEDES CROSSWIND STABILIZATION	41
5.4.2. MAZDA G VECTORING CONTROL	41
6. ZAKLJUČAK	44
POPIS LITERATURE:	45
POPIS KRATICA:	48
POPIS SLIKA:	50

1. UVOD

Pojavom razvoja prometnog sustava i automobilske industrije, u cestovnom prometu svakoga dana sudjeluje sve više motornih vozila. Samim time narušena je sigurnost vožnje u različitim prometnim situacijama. Ovisno o proizvođačima i namjeni motornih vozila, istraživanja su usmjerena poboljšanjima performansi, udobnosti i sigurnosti vožnje.

U suvremeno doba napredne tehnologije u automobilskoj industriji razvijaju se na temelju razvoja elektronike. Pored mehaničkih sustava u vozilu počinju se razvijati i elektronski sustavi koji svojom integracijom u vozilima znatno olakšavaju upravljivost i stabilnost. Svrha aktivnih sigurnosnih sustava u vozilima je, uz smanjenje mogućnosti pogrešne reakcije vozača, automatsko korektivno djelovanje u incidentnim situacijama u prometu te informiranje vozača o eventualnim opasnostima na cesti i o izvedenim akcijama stabilizacije. Potreba za dodatnim reakcijama i samostalnim djelovanjem vozača nastoje se svesti na najmanju moguću mjeru, čime se vozač rasterećuje, a vožnja postaje sigurnija i udobnija.

Tema završnog rada je **Analiza rada elektronskih sustava za stabilnost vozila**. Cilj završnog rada je opisati i objasniti osnovna svojstva i principe rada elektronskih sustava stabilnosti te njihovo međudjelovanje sa ostalim sustavima u vozilima. Rad je podijeljen na šest poglavlja:

1. Uvod
2. Analiza utjecajnih čimbenika na stabilnost vozila
3. Pregled i opis sustava stabilnosti vozila
4. Analiza principa rada elektronskih sustava za stabilnost
5. Utjecaj primjene elektronskih sustava za stabilnost vozila na sigurnost u cestovnom prometu
6. Zaključak

U drugom poglavlju navedeni su čimbenici koji utječu na stabilnost i održavanje putanje vozila i neke od karakteristika vozila povezanih sa stabilnošću. Njihovim djelovanjem određeno je kretanje vozila u željenom pravcu.

Pregled elektronskih sustava u trećem poglavlju pruža osnovne informacije o sustavima stabilnosti te njihove karakteristike. Opisane su i sličnosti između pojedinih sustava, njihovo međudjelovanje te razne varijacije elektronskih sustava.

U četvrtom poglavlju analiziran je princip rada pojedinih elektronskih sustava stabilnosti i funkcionalnost njihovih komponenti. Komponente se zasnivaju na suvremenim tehnologijama kojima je pojednostavljeno praćenje promjena kretanja prilikom vožnje.

Utjecaj primjene elektronskih sustava za stabilnost u suvremenim vozilima i njihove sigurnosne značajke, opisane su u petom poglavlju, kao i statistika prometnih nesreća koje se nastoje smanjiti uvođenjem elektronskih sustava u suvremena vozila.

2. ANALIZA UTJECAJNIH ČIMBENIKA NA STABILNOST VOZILA

Stabilnost je eksploatacijska karakteristika motornih vozila najčešće definirana kao njihova sposobnost kontroliranog gibanja, bez klizanja i prevrtanja. Održavanju sigurnosti kretanja vozila pridonosi ugradnja sustava stabilnosti koji se temelje na zadržavanju kontrole nad vozilom u graničnim situacijama prianjanja. Stabilnost vozila pri kočenju, ubrzanju ili zanošenju opisuje se parametrima željenog i stvarnog ponašanja na cesti. S obzirom na ravninu u kojoj se ponašanje motornog vozila promatra, razlikuje se uzdužna i poprečna stabilnost. Prilikom upravljanja vozilom, ono se ne smije udaljiti od željene putanje ili promijeniti zadani položaj bez obzira na poremećaje i druge vanjske utjecaje. Gubitak uzdužne stabilnosti znači da se pojavilo njegovo nekontrolirano gibanje u pravcu uzdužne osi vozila, odnosno klizanje ili prevrtanje oko prednje ili stražnje osovine. U takvim slučajevima gubi se kontrola nad vozilom. Gubitak poprečne stabilnosti nastaje kao posljedica bočnog klizanja (jedne ili više osovina) ili bočnog prevrtanja. Na stabilnost vozila uvelike utječu konstruktivne karakteristike vozila, svojstva pneumatika i karakteristike podloge. [1, 2, 3]

Sile koje djeluju na vozilo mogu se podijeliti po uzdužnoj, poprečnoj i okomitoj osi. U uzdužnoj osi karakteristične su unutarnje pogonske sile, kočne sile i sile trenja. Okretno gibanje oko uzdužne osi nazivamo valjanjem što se očituje u naginjanju ili prevrtanju. Oscilacijsko gibanje u uzdužnoj osi naziva se trzanje. U poprečnoj osi djeluju centrifugalne sile, bočne sile vjetra te bočne sile vođenja. Zakretanje oko poprečne osi naziva se posrtanje što se očituje u poniranju ili odizanju. Translacijski pomak u smjeru poprečne osi naziva se posmik. U okomitoj osi djeluje opterećenje kotača (osovinsko opterećenje) te udarne sile uzrokovane neravninom podloge. Okretno gibanje oko okomite osi naziva se skretanje ili zanošenje. Translacijski pomak u smjeru okomite osi očituje se u spuštanju i podizanju. [4]

2.1. OTPORI KRETANJU VOZILA

Pri kretanju na vozilo djeluju sile otpora koje je potrebno savladati vučnom silom (F_v). Glavni otpori kretanju su otpori nagiba, inercije, kotrljanja i zraka (Slika 1.). Na vozilo u slučaju vuče prikolice djeluje njen otpor. Sve sile koje djeluju na vozilo imaju utjecaj na performanse vozila zbog opterećenja osovina.

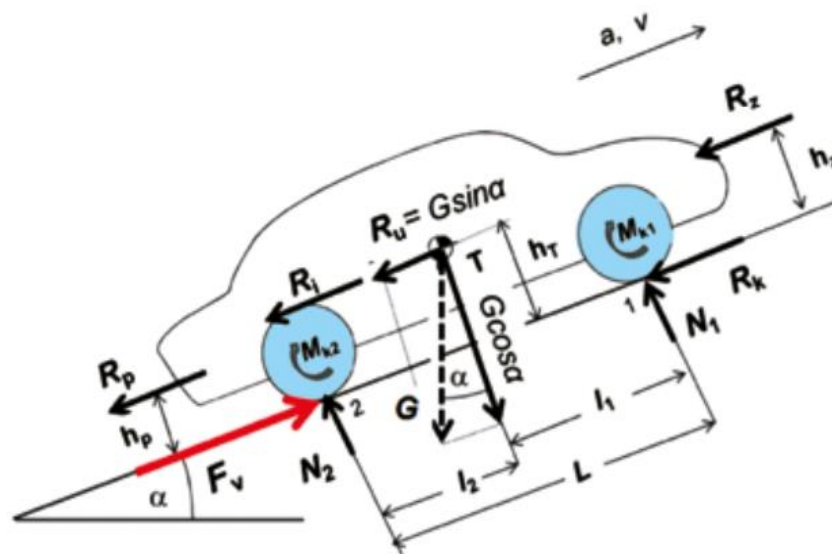
Otpor nagiba je sila koja se suprotstavlja usponu ili pomaže pri padu ceste. Pri velikim usponima potrebna je velika snaga pogonskog motora, dok na nizbrdici vozilo ubrzava.

Otpor inercije pojavljuje se zbog same mase vozila pri promjeni stanja kretanja, odnosno pri ubrzanju ili usporavanju. Također uvelike utječe na opterećenje osovina, potrošnju goriva i performanse vozila.

Ukupna sila otpora kotrljanja na kotačima jednaka je zbroju otpora na svakom kotaču. Koeficijent otpora kotrljanja ovisi o deformaciji pneumatika, radijusu kotača, vrsti podloge,

tlaku zraka pneumatika te brzini vozila. Najveća vrijednost otpora kotrljanja je na istrošenom deformiranom zastoru, a najmanja na ravnom neistrošenom zastoru. Radijalni i pneumatici imaju manji otpor kotrljanju od dijagonalnih kao i niskoprofilni od standardnih pneumatika.

Otpor zraka predstavlja silu koja djeluje udarima zračnih masa na vozilo u pokretu zbog čega se nastoji postići što veća aerodinamičnost oblika vozila. Ovisi o brzini kretanja, čelnoj površini, obliku vozila i gustoći zraka. Prednjim dijelom zračne se struje sijeku, na bočnim dijelovima stvara se trenje, dok se na stražnjem dijelu stvara vrtloženje zračnih strujanja. Sila uzgona stvara se strujanjem zraka ispod i iznad vozila i uzrokuje njegovo podizanje, zbog čega se primjenjuju usmjerivači zraka (*spojleri*). Otpor zraka je zanemariv pri brzinama manjim od 45 km/h. [5, 6]



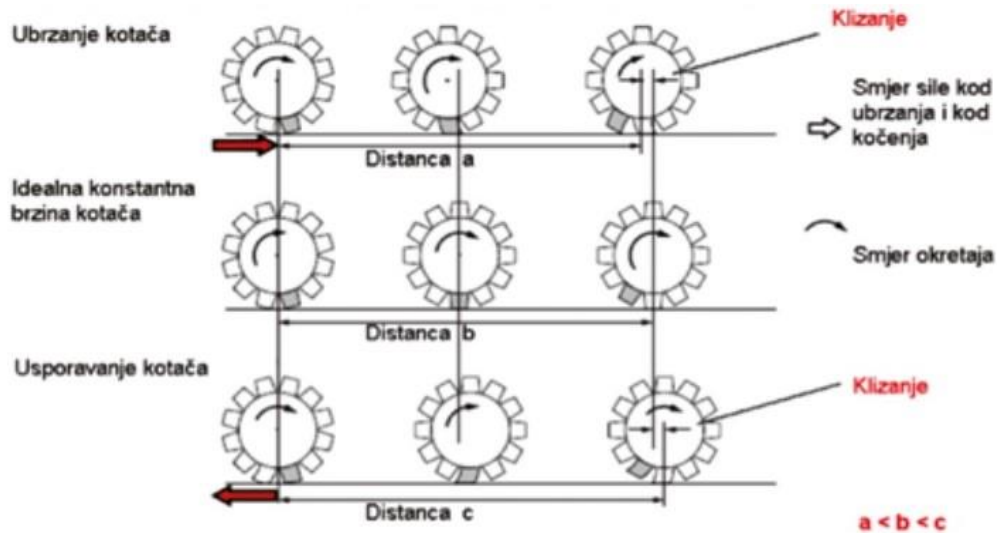
Slika 1. Sile koje djeluju pri kretanju vozila na usponu [5]

2.2. KLIZANJE I PROKLIZAVANJE VOZILA

Klizanje i proklizavanje odnose se na kočenje ili ubrzanje vozila. Pri kočenju može nastati blokiranje kotača koje za posljedicu ima klizanje kotača u smjeru kretanja vozila. Prilikom ubrzanja vozila pogonski kotač može proklizavati, što za posljedicu ima vrtnju kotača u prazno. U obama slučajevima kotač gubi osnovno svojstvo kotrljanja, a vozilo mogućnost upravljanja i stabilnost kretanja. Aktivno upravljanje vozilom elektronskim sustavima definira upravljanje na temelju faktora relativnog klizanja ($s\%$), iskorištavajući pritom najveći koeficijent prijanjanja (μ).

U uvjetima relativnog klizanja kotača razlikuje se stabilno i nestabilno područje klizanja ($0\% < s \leq 100\%$). U stabilnom području djeluju ABS (eng. *Anti-Lock Braking System*) i ASR (eng. *Anti Slip Regulation*) sustavi. Posljedica uzdužnog i bočnog klizanja kotača je smanjenje performansi vuče, kočenja i bočne stabilnosti vozila. Faktor relativnog klizanja opisuje razliku

obodne brzine kotača i brzine kretanja vozila koja se događa radi gubitaka pri kotrljanju kotača. Pri ubrzanju ili pri kočenju zbog tangencijalnog klizanja pneumatika kotači vozila prelaze različite dužine puta (distance) u odnosu na njihovu konstantnu brzinu kretanja (Slika 2.). Duži put posljedica je uzdužnog klizanja kotača kod kočenja kotača ($a < b < c$). Tangencijalno klizanje može se odrediti na osnovi prijeđenog puta kotača. Primjerice, prijeđe li kotač opsega 2 m za jedan okret kotača put od 1,8 m, razlika prijeđenog puta je 0,2 m. Taj gubitak prijeđenog puta odgovara uzdužnom klizanju gume od 10%. [3, 5]



Slika 2. Relativno klizanje kotača pri ubrzanju i kočenju [5]

Koeficijent relativnog klizanja kočenog kotača dan je izrazom [5]:

$$S = \frac{v - v_k}{v} * 100\% \quad (1)$$

Gdje su: v – brzina vozila, brzina osi kotača

v_k – obodna brzina kotača

2.3. ZANOŠENJE VOZILA

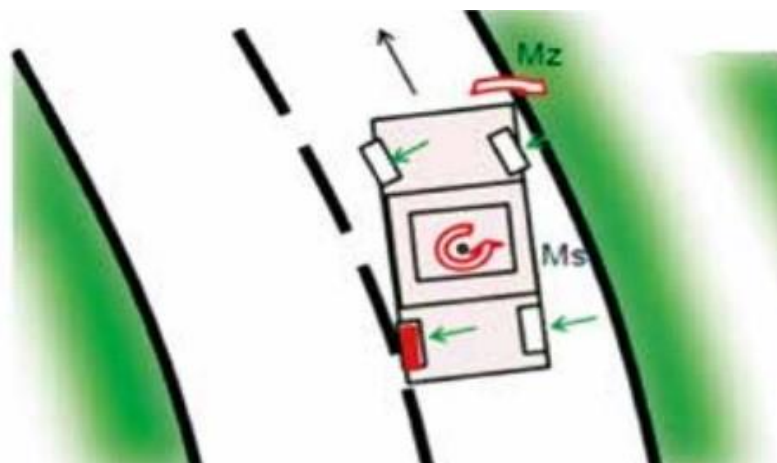
Zanošenje je zakretanje vozila oko okomite osi. Što je brže zakretanje, snažnije je zanošenje osovina i povećan rizik od nestabilnosti. Najčešće nastupa uslijed neprilagođene brzine kretanja i promjene brzine te promjene radijusa zakretanja i brzine zakretanja upravljačkog kola. Pri pravocrtnom kretanju, okretanjem upravljačkog kola dolazi do promjene bočnih opterećenja vozila. Posljedice zanošenja vozila obično ostavljaju tragove na suhom i klizavom kolniku. Tragovi zanošenja nastaju u slučajevima klizanja kad je brzina vožnje neprilagođena klizavom kolniku, pri nejednako podešenim kočnicama desne i lijeve strane vozila, nejednakom istrošenošću protektora, bočnom nagibu kolnika u zavoju s nedovoljnim suprotnim nagibom, itd.

Princip automatske korekcije putanje bazira se na upravljačkom sustavu gusjeničkih vozila, odnosno u slučaju cestovnih vozila, kočenjem pojedinih kotača. Razlikujemo zanošenje prednje osovine (podupravljanje) i zanošenje stražnje osovine (preupravljanje) ovisno o dinamici vožnje i voznim karakteristikama vozila. Najbolji slučaj je kada je vozilo neutralno, a ako to nije moguće onda je bolje da je podupravljivo zbog veće stabilnosti u zavoju od preupravljivog. Pojava podupravljivosti nastaje pomicanjem težišta vozila prema naprijed, tako da veći dio težine vozila pada na prednju osovinu. Isti efekt se postiže primjenom kvalitetnijih guma na stražnjoj osovini. Podupravljivost se relativno brzo uklanja upravljačem, oduzimanjem gasa i kratkotrajnim kočenjem. Potrebno je kontrolirano ispravljanje podupravljivosti jer bi energično reagiranje moglo uzrokovati pojavu preupravljivosti.

Poseban slučaj zanošenja je pojava hidrodinamičkog plivanja vozila (*Aquaplaning*). Predstavlja nestabilnost vozila vezanu uz nailazak na vodeni klin koji se formira ispod kotača vozila te kod većih brzina uzrokuje vertikalnu silu koja podiže kotač, tako da se gubi kontakt između pneumatika i ceste. Istrošenijim pneumaticima povećava se rizik od aquaplaninga. Dolazi do zanošenja vozila i gubitka stabilnosti, jer nema mogućnosti postizanja vučne sile i kočenja. Rizik od pojave *aquaplaninga* smanjuje se dubinom kanala u gaznom sloju pneumatika te hrapavošću ceste. [3, 5]

2.3.1. PODUPRAVLJANJE

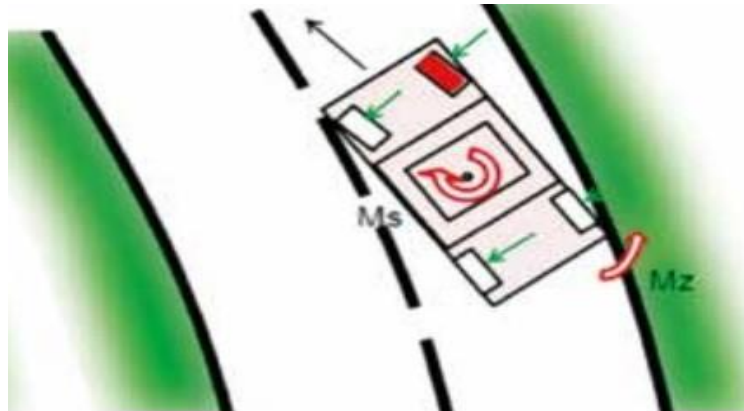
Podupravljanje je bočno klizanje (zanošenje) prednje osovine. Smanjena upravljivošću vozilo se kreće putanjom radijusa većeg od željenog te se dobiva neželjen zaokret prema vanjskoj strani ceste. Nastaje opasnost od izlijetanja vozila, no primjenom ESP (eng. *Electronic Stability Program*) sustava stabilnosti vrši se moment stabilizacije (M_s) kočenjem stražnjeg unutarnjeg (lijevog) kotača (Slika 3.) i sprječava moment zanošenja (M_z). [3]



Slika 3. Zanošenje vozila prednjim dijelom (podupravljivost) [5]

2.3.2. PREUPRAVLJANJE

Preupravljanje je bočno klizanje (zanošenje) stražnje osovine. Viškom upravljivosti događa se efekt kretanja vozila putanjom radijusa koji je manji od željenog te tako nastaje prevelik zaokret prema prijelazu u suprotnu traku što može dovesti do sudara s vozilima koji nailaze iz suprotnog smjera. Djelovanjem ESP sustava stabilnosti kočnice se prednji vanjski kotač (Slika 4.) radi stvaranja momenta stabilizacije (M_s) i suprotstavljanja momentu zanošenja (M_z). [3]



Slika 4. Zanošenje stražnjim dijelom (preupravljanje) [5]

2.4. UZDUŽNA STABILNOST

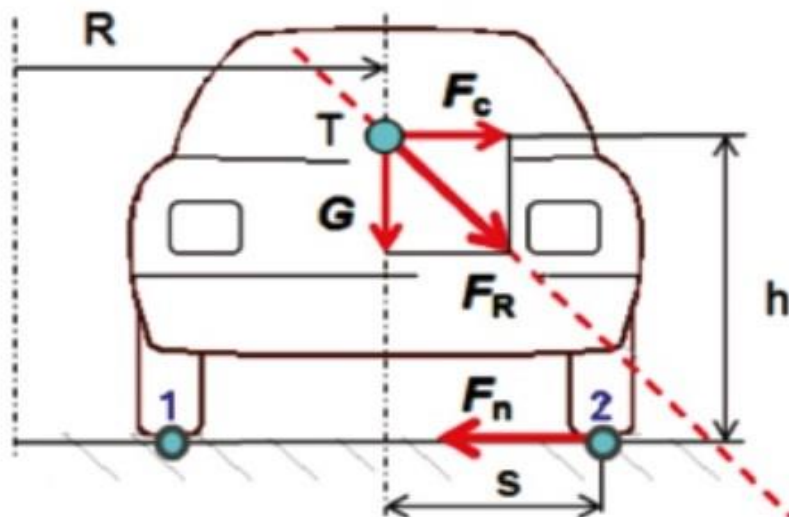
Do prevrtanja ili klizanja motornih vozila u uzdužnom smislu najčešće dolazi radi svladavanja velikih uspona ili padova i vučom priključnog vozila koje stvara dodatno opterećenje. Uzdužna stabilnost vožnje ovisi i o prijelomima nivelete koji mogu biti konveksni (izbočeni) i konkavni (udubljeni). Pri vožnji na konveksno zakrivljenom prijelomu nivelete na težište vozila djeluje centrifugalna sila koja djeluje suprotno sili teže. Time je uzrokovano smanjenje vučne ili kočnice sile, a upravljanje može postati nesigurno. Opasnost od prevrtanja preko prednje osovine dolazi prilikom vožnje nizbrdicom, djelovanjem inercijske sile prilikom intenzivnog kočenja radi promjene smjera djelovanja, rasterećujući zadnju osovinu i opterećujući prednju. Slučaj prevrtanja oko stražnje osovine je više teoretskog karaktera, pošto su uvjeti koji moraju biti zadovoljeni da bi se vozilo prevrnulo skoro uvijek zadovoljeni. Prevrtanje oko zadnje osovine će nastupiti kada se prednja osovinu potpuno rastereti. [2, 5]

2.5. POPREČNA STABILNOST

Do prevrtanja ili klizanja motornih vozila u poprečnom smislu dolazi radi djelovanja centrifugalne sile, bočnog nagiba terena i djelovanja sila vjetra koje nazivamo bočnim poremećajnim silama. Provjera poprečne stabilnosti praktično je puno potrebija u odnosu na

uzdužnu. Izrazita opasnost od prevrtanja postoji za teretna vozila s visokim težištem, uska i visoka vozila, vozila na tri kotača i za izvanstandardne tipove vozila, npr. autobuse na dva kata. Vožnja kroz zavoj uvjetovana je radijusom zavoja i koeficijentom prijanjanja pneumatika s podlogom, ali je i samo stanje pneumatika i podloge ključno za stabilnost vozila.

Centripetalna sila je aktivna bočna sila koja nastoji spriječiti prevrtanje ili zanošenje, a djeluje u dodiru kotača i podloge u smjeru okretišta vozila, a neophodna je za održavanje kružne putanje vozila. Iznos centripetalne sile veći je kada je radijus zavoja veći te kada je brzina u zavoju veća. U težištu vozila djeluje centrifugalna bočna sila koja ovisi od brzine vozila, njegove mase i radijusa zavoja te nastoji izbaciti vozilo iz željene putanje kretanja. Vozilo će u zavoju biti stabilno sve dok pravac rezultantne sile ostane unutar traga vanjskih kotača (Slika 5.). Svako promjeni prirodnog stanja gibanja tijela njegova se masa suprotstavlja svojom silom inercije. Inercijska sila nema silu reakcije, a kod vozila centrifugalna sila predstavlja inercijsku silu koja djeluje u smjeru prevrtanja vozila. Pri kretanju vozila u pravcu poprečna stabilnost može biti ugrožena poprečnim nagibom puta. Poprečni nagib u pravcu obično iznose 2,5 % što ne predstavlja opasnost po stabilnost vozila. [2, 5, 6]



Slika 5. Ovisnost prevrtanja vozila o rezultantnoj sili [5]

Poprečni nagib puta koji se radi u zavoju, ima zadatak da pored toga što osigurava odvođenje vode sa kolnika, smanji utjecaj centrifugalne sile. Zbog toga je vrijednost poprečnog nagiba veća u zavoju nego u pravcu. Zbog elastičnosti pneumatika centrifugalna sila uzrokuje skretanje vozila pri vožnji kroz zavoj. Kako bi vozač zadržao željenu putanju potrebno je lagano okretati upravljač u suprotnom smjeru od odstupanja i smanjivati brzinu. Ako je centrifugalna sila veća od najveće bočne sile nastaje klizanje i zanošenje vozila. U graničnim uvjetima prijanjanja, djelovanjem centrifugalne sile najprije klizi unutarnji kotač jer na njega djeluje manje normalno opterećenje. Bočno opterećenje dalje se prenosi na vanjski kotač koji tada ne može prihvatiti puno opterećenje, što dovodi do zanošenja osovine. Do klizanja obično ne dolazi kod obje osovine istovremeno, što ovisi o rasporedu težine u vozilu, vrsti pogona, stanju guma, konstrukciji ovjesa i slično. [2, 3, 6]

Centrifugalnu silu možemo izračunati pomoću izraza [5]:

$$F_c = \frac{mv^2}{R} \quad (2)$$

Gdje je :

F_c – centrifugalna sila

m – masa vozila

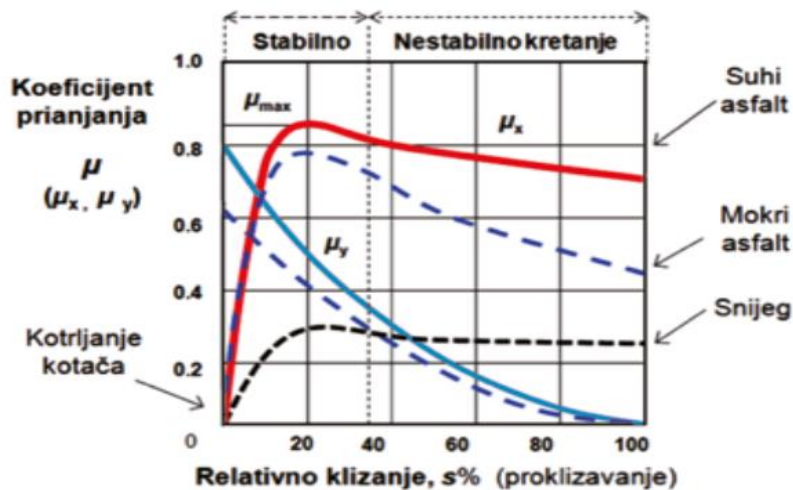
v – brzina kretanja vozila

R – radijus zavoja

2.6. KOEFICIJENT PRIANJANJA

Vrijednost kočne sile ograničena je prijanjanjem kotača i podloge, tj. koeficijentom prijanjanja (μ). Prema pravcu vožnje razlikuje se uzdužno i poprečno prijanjanje (μ_x , μ_y). Poprečno prijanjanje važno je kod prijenosa bočnih sila i bočne stabilnosti vozila. U intervalu $s = 10-30\%$ postiže se najveća vrijednost prijanjanja i realizacije vučne ili kočne sile (Slika 6.). Prijanjanje je rezultat djelovanja adhezijskih sila i sile trenja između kontaktne površine pneumatika i površine po kojoj se vozilo kreće. Povećanjem težine povećava se i sila trenja između kotača i podloge. Prijanjanje nije konstantna veličina, ovisi o vrsti i stanju kolnika, opterećenju, brzini kretanja, o tipu, vrsti i tlaku zraka u pneumatiku i dr. Veći koeficijent prijanjanja pospješuje stabilnost kretanja vozila kroz zavoj i omogućuje kraći zaustavni put u slučaju kočenja. Na prijanjanje utječe način vožnje, pokreti upravljača, ubrzavanje vozilom, kočenje i slično.

Usmjeravanje upravljačkog kola pri intenzivnom kočenju mora pratiti gibanje automobila. U suhim uvjetima prijanjanje je moguće povećati upotrebom sportskih guma koje se rade od mekših materijala, no takvi se pneumatici iznimno brzo troše i nisu pogodni za ostale uvjete na cesti. Pri većim brzinama potrebno je savladati veće sile kako bi put kočenja bio pravovremen i siguran pri čemu pomažu aktivni sustavi stabilnosti koji na temelju dopuštenog relativnog klizanja sprječavaju blokiranje i proklizavanje kotača, čime se osigurava upravljanje i stabilnost. Vrijednost koeficijenta prijanjanja smanjuje se na mokrom i prljavom kolniku u odnosu prema suhom kolniku, stoga je potrebno prilagoditi brzinu uvjetima na cesti. [3, 5, 6, 7]



Slika 6. Dijagram koeficijenta prijanjanja [5]

2.7. RASPODJELA OPTEREĆENJA I TEŽIŠTE VOZILA

Opterećenje vozila predstavlja masa vozila zajedno sa masom putnika i tereta. Veća masa vozila s dodatnim teretom uzrokuje veću centrifugalnu silu u zavoju te posljedično veću bočnu silu potrebnu za prenijeti s pneumatika na podlogu. Stajna površina vozila bitan je čimbenik stabilnosti jer predstavlja točke oslonca vozila na četiri kotača koje su određene dimenzijama duljine osovinskog razmaka i širine traga kotača. Do promjene duljine međusovinskog razmaka u vožnji dolazi gibanjem ovjesa i hodom kotača, no radi se o promjenama manjim od 20 milimetara koje se prepoznaju ublaženim horizontalnim udarima, kolebanjem brzine vrtnje kotača, povećanim gibanjem opruga i slično. Duži osovinski razmak omogućava veću stabilnosti po pravcu dok kraći osovinski razmak vozila doprinosi boljoj okretljivosti vozila. Osovinski razmak također utječe na raspodjelu opterećenja na osovina. Kod dužih automobila, masa koja ispred prednje osovine je manja pa zakret vozila oko poprečne osi može biti smanjen odnosno povećana uzdužna stabilnost. Generalna preporuka je da osovinski razmak bude što je veći mogući. Veća širina traga kotača povećava stabilnost vozila u zavojima, a zajedno sa većim osovinskim razmakom povećava stabilnost kretanja po slaboj podlozi. Položaj težišta je središte mase vozila, a njegove su koordinate bitne za analizu dinamike kretanja u uzdužnoj i poprečnoj ravnini. [5, 8, 9]

Položaj težišta utječe na veliki broj karakteristika vozila kao što su sposobnosti ubrzavanja, kočenja i svladavanja uspona, konstrukcija ovjesa i pogona, stabilnost vozila, momenti sila inercija, itd. Poželjno je da težište vozila bude što niže jer doprinosi boljoj upravljivosti (svladavanje zavoja) i sigurnosti, te manjem zakretu oko poprečne (poniranje vozila) i uzdužne osi (prevrtanje vozila). Ukoliko se težište pomiče prema prednjoj osovini vozilo postaje podupravljivo, a pomak prema stražnjoj osovini uzrokuje preupravljivost. Kod osobnih vozila promjena koordinata težišta ima manje vrijednosti jer je omjer mase putnika u odnosu na masu vozila vrlo mali, dok kod teretnih vozila masa tereta u odnosu na masu kamiona ima značajniju vrijednost te se položaj koordinata ne može zanemariti. Kod opterećenog vozila

dolazi do približavanja karoserije tlu odnosno visina težišta ovješene mase se smanjuje. [5, 8, 9]

2.8. KOTAČI I PNEUMATICI

Kretanje motornih vozila omogućava vrtnja kotača koji nose cjelokupno opterećenje vozila i omogućavaju kretanje, upravljanje i zaustavljanje vozila. Okretanju kotača po ravnoj podlozi suprotstavlja se otpor kotrljanja te se deformacija kotača obodno premješta u najnižoj točki dodira s podlogom. Kotači mogu biti vođeni, pogonski ili kočeni s obzirom na djelovanja vučne, kočne i ostalih sila. Sklop kotača sastoji se od glavine kotača s kotrljajućim ležajem, naplatka i pneumatika. Pneumatici moraju omogućiti što bolje prijanjanje i prijenos sila na podlogu uz što bolje svladavanje otpora kotrljanja. Pri opterećenju se deformiraju što utječe na prijenos horizontalnih i vertikalnih sila, a deformacije se mogu promatrati kao radijalne, tangencijalne i bočne. Mjera deformabilnosti naziva se krutost pneumatika.

Pneumatici se najprije razlikuju po dimenzijama i obliku profila. Visokoprofilne pneumatike koriste komercijalna vozila koja su izložena velikim osovinskim opterećenjima (kamioni, autobusi, kombi, SUV – eng. *Sport Utility Vehicle*). Kotači osobnih vozila imaju srednju visinu profila pneumatika, dok kotači sportskih vozila imaju niski profil pneumatika radi veće bočne stabilnosti vozila. Oznake dimenzija i uporabe kotača otisnute su na bočnoj strani pneumatika. Tlak u pneumaticima je bitan za stabilnost vozila i manju potrošnju goriva, a ovisi o opterećenju kotača i radnoj temperaturi pneumatika. Shodno većoj težini potreban je i veći tlak u pneumaticima. Postoji razlika u tlaku prednjih i stražnjih pneumatika, ovisno o broju putnika u vozilu. Ako je zadnja osovina više opterećena, potrebno je stražnje pneumatike napumpati na veću vrijednost tlaka od prednjih.

Proizvođači nastoje omogućiti najbolju homologaciju pneumatika i krutost za koju će biti olakšan prijenos vučnih, kočnih i bočnih sila. Bitan doprinos upravljivosti i sigurnosti donose nove generacije pneumatika integracijom u aktivne sustave sigurnosti. Prva generacija je standardna bez upotrebe senzorske tehnologije, u drugoj se sensorima nadzire tlak zraka i temperatura (TPMS – eng. *Tyre Pressure Monitoring System*), a u trećoj generaciji uz postojeće senzore razvijaju se inteligentne funkcije praćenja opterećenja i vibracija koje dodatno povećavaju sigurnost vožnje. [5]

2.8.1. SVOJSTVA I VRSTE PNEUMATIKA

Pneumatik je gumirani omotač unutar kojega se pod konstantnim tlakom nalazi određeni medij (zrak, dušik, ugljični dioksid). Proizvode se od prirodnog i umjetnog kaučuka, ponekad sa aditivima radi poboljšanja svojstava. S gledišta funkcionalnosti, pneumatik promatramo kao element prijenosa snage, element upravljanja, element ovjesa te kao element aktivnih sustava stabilnosti vozila. Konstrukcija pneumatika temelji se na čvrstoći uslijed opterećenja i

nepropuštanju zraka. Presjek gumenog omotača pneumatika sastoji se od armature, pojasa, gazne površine, bočnice i noge gume.

Pod opterećenjem pneumatik se razmjerno napreže i deformira održavajući pritom konstantan unutarnji tlak i pritisak na podlogu, ali se nakon prestanka opterećenja vraća u početni oblik zbog svojih elastičnih svojstava. Armatura prima glavni dio opterećenja djelovanja vertikalnih i horizontalnih sila u kontaktu sa podlogom. Pojas se nalazi iznad armature, služi za ukrućivanje gaznog sloja i sprječavanje deformacije pneumatika, a sačinjavaju ga slojevi uloženi aramidnih ili čeličnih vlakana. Tvrdna guma i čađa čine bazu koja ide na gornji pojas, između pojasa i gumenog sloja gazeće površine. Taj međusloj smanjuje međusobno gibanje blokova, prigušuje udarce i štiti armaturu te sprječava elektrostatički naboj vozila. Za dodatno ojačavanje i ukrućivanje gaznog sloja ugrađuje se obodni pojas gume (remen). Pojasevi primaju udarna radijalna opterećenja koja se prenose na armaturu i osiguravaju ravnomjerno pritisak kontaktne površine na podlogu. Na bočnom zidu nalaze se opće informacije o pneumatiku kao što su širina, promjer naplatka, proizvođač, model, nosivost, vrsta, itd. [5]

Cestovna vozila koriste radijalne pneumatike koje prenose tangencijalne bočne sile, dok se kod motorkotača, traktora i radnih vozila koriste dijagonalni pneumatici. Radijalni pneumatici daju ravnomjerniji pritisak kotača na podlogu, naročito u zavojima. Zbog boljeg prijanjanja omogućuje sigurniju i udobniju vožnju u odnosu na dijagonalni pneumatik. Dijagonalni pneumatici su osjetljivi na pregrijavanje zbog debelog sloja gume koji prenosi toplinu na sve dijelove pneumatika. Dijagonalni pneumatik je krut, ne apsorbira neravnine i udarce, nego ih prenosi na vozilo što utječe na udobnost vožnje.

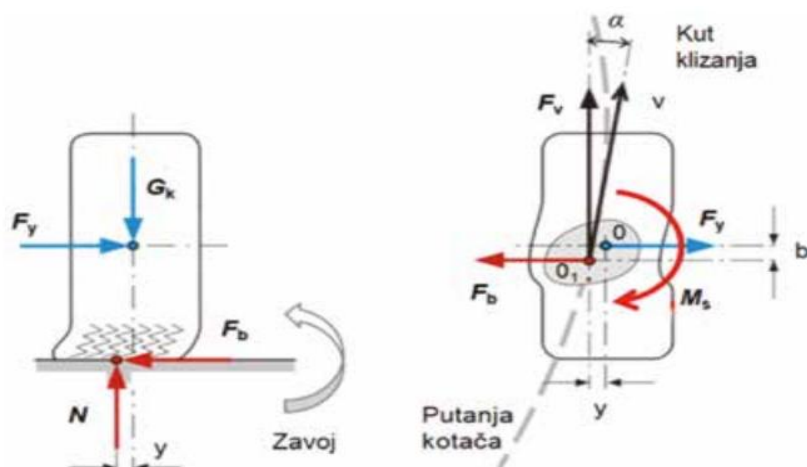
S obzirom na vremenske uvjete i stanje kolnika za vrijeme klimatskih promjena koriste se zimski, ljetni ili cjelogodišnji pneumatici. Zimski i ljetni pneumatici razlikuju se po izvedbi. Ljetni pneumatici imaju veću dodirnu površinu s cestom pa prenose veće vučne ili kočne sile u dobrim uvjetima kretanja. Ljetne gume ispod 7 celzijevih stupnjeva (°C) gube svojstva prijanjanja i elastičnost. U zimskim uvjetima gazna površina otvrdne te zbog manje širine utora dolazi do lošijeg prijanjanja i dužeg puta kočenja. Zimski pneumatik omogućuje bolje prijanjanje u hladnim, vlažnim i snježnim uvjetima zbog mekše gazne površine, ali se na suhoj cesti brzo troši. Na mokroj cesti brže dopiru do ceste pa su otpornije na pojavu *aquaplaninga*. Imaju manju dodirnu površinu i veći broj širih odvodnih kanala za vodu, snijeg i blato. Zimski pneumatici zadržavaju elastična svojstva na temperaturama i do -30 °C. Od ljetnih guma razlikuju se po gazećem sloju, njegovom dezenu i smjesi od koje je proizveden. Smjesa sadrži više prirodne gume kako bi se smanjio efekt otvrdnjavanja i gubitka elastičnosti, a povećala ljepljivost. [5]

2.8.2. KUT BOČNOG KLIZANJA KOTAČA

Bočna deformacija pneumatika nastaje pri skretanju vozila, pri vožnji na poprečnom nagibu i pri udaru bočnog vjetra. Bočna sila u dodiru kotača i podloge (F_b) osigurava upravljanje

vozilom. Pod djelovanjem bočne sile na kotač i zbog elastičnosti pneumatika, os naplatka kotača pomiče se u odnosu na pravac kretanja. Skretanje kotača s pravca kretanja događa se pod određenim kutom (α). To je kut između ravnine kotača i njegova pravca kretanja s vozilom. Rastom kuta skretanja kontaktna površina pneumatika prelazi iz područja prijanjanja u područje klizanja. To se događa u slučaju da je bočna sila dosegla graničnu vrijednost sile prijanjanja, a skretanje prelazi u klizanje. Bočna sila kao otpor klizanju ovisi o bočnoj krutosti pneumatika i kutu klizanja. Referentni kut bočnog klizanja određuje vrijednost bočne sile pneumatika koja se može prenijeti, odnosno vrijednost sile vođenja kotača. Različiti pneumatici imaju različite kuteve bočnog klizanja, a usred djelovanja bočne sile profil pneumatika se deformira (Slika 7.). [3, 5]

Niskoprofilni pneumatici širokog profila mogu prenijeti veće bočne sile što omogućuje bolje vođenje i poboljšava stabilnost vozila u zavoju. Pri skretanju kotača središte otiska pneumatika pomiče se bočno za krak (y), a s time i kontaktna površina. Novo središte je u središtu kontaktne površine (O_1), koja je ishodište normalne reakcije (N), vučne sile (F_v), bočne sile (F_b) i momenta stabilizacije oko osi kotača (M_s) koji ima tendenciju vraćanja kotača. Hvatište bočne sile ne poklapa se sa hvatištem poprečne sile (F_y) koja djeluje na osovinu kotača. [3, 5]



Slika 7. Djelovanje sila pri skretanju kotača [5]

3. PREGLED I OPIS SUSTAVA STABILNOSTI VOZILA

Aktivni sustavi stabilnosti djeluju u sustavu aktivnog podvozja vozila, koristeći upravljanje kočnicama, motorom, prijenosnicima snage, upravljačem i ovjesom. Njima se mogućnost nastanka prometne nesreće nastoji svesti na najmanju moguću mjeru, neovisno je li došlo do nepredvidljive situacije ili pogreške vozača. Neki proizvođači vozila integrirali su upozorenje vozača i automatsku intervenciju u slučaju prepoznavanja promjene uvjeta kako bi se izbjegle pogreške i krive procjene vozača. Elektronski sustavi sadrže mnoštvo dodatnih funkcija kontrole kojima se utječe na dinamiku i stabilnost, poput aktivnog servoupravljača, aktivnog ovjesa, automatske vožnje i dr. Motorna vozila koriste kočnice s integriranim aktivnim sustavima stabilnosti. Navedeni sustavi baziraju se na kontroli i sprječavanju blokiranja, proklizavanja i zanošenja vozila. Korekcije dinamike vozila postižu se prilagodbom momenta kočenja, smanjenjem momenta motora, pravilnoj raspodjeli momenta i ostalim zahvatima.

Univerzalno rješenje koje zadovoljava sve uvjete sigurnosti i stabilnosti ne postoji, ali elektronskim obavještanjem i upozoravanjem vozača na eksploatacijske i druge uvjete daje potporu sigurnoj i udobnoj vožnji. Sustav informira vozača kada dinamičke karakteristike vozila dosegnu kritične vrijednosti. Suvremeni elektronski regulacijski sustavi stabiliziraju vozilo pri ubrzavanju, upravljanju i kočenju. Područje do 35% klizanja naziva se stabilnim područjem jer je kotač stabilan u vožnji i upravljiv, a elektronski sustavi nastoje zadržati klizanje upravo u tom stabilnom području. U nestabilnom području kotači imaju čisto klizanje zbog skliske podloge. Veće klizanje dovodi do naglog smanjenja bočnih sila i vozilo postaje neupravljivo, odnosno nestabilno. Elektronski regulacijski sustavi rade u regulacijskom području gdje kotač prenosi najveće sile. [5]

3.1. ABS (Anti-Lock Braking System)

Povećanje aktivne sigurnosti i stabilnosti vozila povećalo se poboljšanjem kočnih sustava s uređajima koji sprječavaju blokiranje kotača pri kočenju uz povećanje usporenja vozila prilikom kočenja. ABS je protublokirajući sustav kočnica koji omogućuje kotrljanje kotača i upravljanje vozilom te sprječava nekontrolirano gibanje vozila. Kotrljanjem kotača prenose se bočne sile vođenja, a zadržava upravljivost. ABS se primjenjuje u hidrauličkim i pneumatskim kočnim sustavima za regulaciju sile kočenja. Tijekom kočenja reguliraju kočni tlak pojedinih kotača ovisno o njihovom prijanjanju na podlogu te se time sprječava blokiranje kotača. Sprječavanje blokiranja je način da se desetak i više puta kotač koči i otkoči pri granici blokiranja što omogućuje kotrljanje, prijanjanje i prijenos sile između kotača i podloge. Djelovanje ABS-a može se osjetiti kod nekih automobila u obliku vibracija ili trzanja papučice pri naglom pritisku na papučicu kočnice. Do te pojave dolazi radi smanjenja i povećanja tlaka ulja pri radu pumpe, a u suvremenim ABS sustavima kod pojedinih vozila manje je izražena.

Prethodnici ABS sustavu bili su regulatori kočione sile. Njemački inženjer Fritz Ostwald je 1940. patentirao pneumatsko-električni regulator kočenja koji je regulirao kočni tlak pomoću elektromagnetskog ventila, a prvo operativno korištenje bilo je u borbenom

zrakoplovu. Pri ABS uređaj tvrtke *Bosch* serijski se počeo ugrađivati početkom 1978. godine u *Mercedes S klase*, a nedugo zatim i u *BMW serije 7*. U današnje vrijeme je više od 70% proizvedenih automobila opremljeno ABS-om. ABS osigurava veće usporenje vozila, odnosno kraći put kočenja u odnosu na vozila bez ABS-a. Osigurava raspodjelu kočnih sila između osovina (EBD – eng. *Electronic Brake Distribution*), sprječava blokiranje kotača pri kočenju motorom (MSR – eng. *Motor Spin Regulation*) te sprječava skretanje vozila pri kočenju na zaleđenoj stazi (μ -split). Kod kočenja motorom uz pomoć mjenjača (MSR) pogonski kotači također mogu blokirati te se u tom slučaju povećanjem snage motora regulira kotrljanje kotača. Na normalnoj podlozi bez pijeska ili snijega postiže se optimalan put kočenja. Jedna od prednosti je manje trošenje pneumatika pri kočenju. Prosječna duljina zaustavnog puta osobnih vozila s ljetnim gumama, zahvaljujući djelovanju ABS iznosi oko 35 m, pri brzini od 100 km/h do 0 km/h. [4, 5, 10]

3.2. ASR (Anti Slip Regulation)

Povećanje aktivne sigurnosti je dodatno došlo do izražaja uvođenjem TCS (eng. *Traction Control System*) sustava. Pojavljuje se u eksploataciji 1986. godine, a radi u kombinaciji s ABS-om. Često se koriste i kratice TC (eng. *Traction Control*), ETC (eng. *Electronic Traction System*), ASR (eng. *Anti Slip Regulation*) i dr. TCS je dodatak ABS sustava čija je funkcija sprječavanje proklizavanja pogonskih kotača pri kretanju s mjesta ili ubrzavanju. Oba sustava koriste zajedničke senzore i često objedinjeni upravljački uređaj, pri čemu se izmjena podataka vrši preko CAN (eng. *Control Area Network*) sabirnice. Glavna razlika između ABS-a i ASR-a jest u tome što ABS zaustavlja okretanje kotača za vrijeme kočenja, a ASR okretanje kotača dok se vozilo ubrzava. U složenim prometnim situacijama vozač je često preopterećen te je funkcija TCS sustava rasteretiti vozača te osigurati stabilnost i upravljivost u dopuštenim ograničenjima. Vozilo se u uzdužnoj i okomitoj osi stabilizira, zadržava se bočno vođenje i sprječava klizanje vozila na pogonskoj osovini.

ASR automatski intervenira na rad motora (pri većim brzinama) ili na kočnice (pri manjim brzinama), a može biti i kombinacija navedenog. Djelovanjem sustava na kočnice, smanjuje se zakretni moment na kotaču koji ima tendenciju proklizavanja te se diferencijalom automatski prenosi na drugi pogonski kotač. U teoriji, ako motor i proizvede veći zakretni moment, odnosno veću vučnu silu, zbog ovisnosti maksimalne vučne sile o prijanjanju s podlogom neće se moći prenijeti na podlogu. Regulacija rada motora manjim ubrizgavanjem goriva primjenjuje se kod većih brzina vožnje radi smanjenja snage motora. U uvjetima nedovoljnog prijanjanja kotača i podloge, odnosno proklizavanja, omogućen je prijenos vučne sile, a time i kotrljanje kotača. Prednosti ASR-a se očituju u poboljšanju vučne sile pri pokretanju ili ubrzavanju, povećanju vozne sigurnosti pri velikim brzinama, automatskoj prilagodbi momenta motora i informiranju vozača o graničnim vrijednostima dinamike vozila. [4, 5, 10]

3.3. ESC (Electronic Stability Program) – Sustav regulacije dinamike vožnje

Prvi sustav regulacije dinamike vozila pojavio se pod nazivom elektronički program stabilnosti. ESP je sustav elektroničke kontrole stabilnosti, a integrira djelovanje ABS, EBD, MSR i ASR sustava. Počinje se ugrađivati 1995. godine na *Mercedesovim* vozilima, a od tada se njegova primjena brzo širi na ostale tipove vozila. Proizvođači koriste razne nazive poput DSC (eng. *Dinamic Stability Control*), VSC (eng. *Vehicle Stability Control*), ESC (eng. *Electronic Stability Control*), itd. Poprečna i uzdužna stabilizacija postiže se kočenjem pojedinih kotača i eventualnim uplivom u upravljanje vozila radi sprječavanja zanošenja oko okomite osi. Parametri važni za djelovanje ESC sustava su masa vozila, moment tromosti i bočna krutost pneumatika. Integracija druge generacije pneumatika u aktivni sustav stabilnosti vozila uključuje TPMS nadzor tlaka i funkciju bočne sile do kuta bočnog klizanja. Istraživanja vode interakciji bočne dinamike pneumatika i podloge, posebice definiranja parametara treće generacije pneumatika. Razvojem nove generacije pneumatika treba smanjiti stupanj podupravljivosti i preupravljivosti vozila, a time i intervenciju ESC sustava.

Prema istraživanju, oko 40% prometnih nesreća u EU (Europska Unija) događa se zbog zanošenja vozila. Što je brža rotacija vozila oko svoje osi, to je zanošenje osovina snažnije i veći rizik od nestabilnosti vozila. Glavni zadatak sustava je održanje stabilnosti i upravljivosti vožnje u svim uvjetima, održanje pravca vožnje i po potrebi mogućnost usporenja ili zaustavljanja. ESC sustav elektroničke kontrole stabilnosti intervenira u kritičnim situacijama vožnje kao što su zanošenje vozila pri naletu na klizavu površinu, u zavoju ili kod naglog manevra (Slika 8.). Istraživanja u EU su pokazala da ESC sustav smanjuje prometne nesreće nastale kao posljedica klizanja i zanošenja odnosno izlijetanja do 80%. Stoga je donesena direktiva EZ 661/2009, o obvezi ugradnje ESC sustava u sva nova vozila, od 1.11.2011. [4, 5, 10]



Slika 8. Prikaz djelovanja ESP-a pri obilaženju opasnosti [11]

3.4. BAS (Brake Assist System) – Sustav naglog kočenja

Mercedes-Benz je zajedno s dobavljačem dijelova *TRW/LucasVarity* izumio pomoć pri kočenju i počeo je nuditi kao sastavni dio opreme na svojim automobilima. Procjenjuje se da je pomoć pri kočenju pomogla da se zaustavni put skрати za otprilike 45%. Tehnologija se prvi put pojavila na potrošačkom tržištu 1996. godine, predstavljanjem modela *Mercedes-Benz S-klase* i *SL-klase* te je par godina nakon, 1998. postala standard za sva *Mercedesova* vozila. Od tada je nekoliko tvrtki ponudilo svoju verziju uključujući *Acura*, *Audi*, *BMW*, *Infiniti*, *Land Rover*, *Rolls Royce*, *Volvo*, itd. Sustav može razlikovati između npr. usporavanja na semaforu i naglog kočenja pri incidentnim situacijama. Mnogi vozači pri naglom kočenju pritisnu pedalu kočnice brzo, nedovoljno snažno, a ponekad nakon početnog aktiviranja kočnica popuste pritisak na pedali kočnice. Zbog toga se ne stvara dovoljan kočni tlak za najveće moguće usporenje. Kočni i zaustavni put zbog toga su duži, što vodi većem broju nesreća.

Elektronika koja kontrolira pomoć pri kočenju mjeri brzinu pritiska pedale i pritisak te kada se dogodi nagla promjena, regulira tlak kočenja. Automobilski stručnjaci ovaj sustav nazivaju prilagodljivim za vozača. Sustav naglog kočenja (BAS – eng. *Brake Assist System*) često se naziva i PBS (eng. *Panic Brake Assist*). Svrha sustava pomoći pri kočenju i naprednih integriranih elektronskih tehnologija je pomoć u što bržem zaustavljanju vozila. Pomoć pri kočenju dizajnirana je tako da nadopunjuje tehnologiju ABS-a i jednostavno omogućuje ABS sustavu da još učinkovitije zaustavi automobil. BAS sustavi su od 2011. u EU proglašeni obveznim za sva novoregistrirana osobna i teretna vozila. [10, 12]

3.5. DBC (Dynamic Brake Control)

Dinamičku kontrolu kočenja (DBC – eng. *Dynamic Brake Control*) osmislili su inženjeri *BMW-a* te ponudili razvijen sustav aktivne sigurnosti koji poboljšava učinkovitost kočenja tijekom kočenja u nuždi. Slične sustave za pomoć pri kočenju možemo naći, npr., u automobilima *Mercedes-Benz* i *Toyota*. Vozila opremljena sustavom koriste senzore za otkrivanje brzine i sile kojom vozač pritisne kočnice, a zatim te podatke šalju u ECU (eng. *Electronic Control Unit*). Ako ECU izračuna da se vozač namjerava zaustaviti u nuždi pomoću kriterija prikupljenih iz senzora, pružit će maksimalnu količinu tlaka u kočnim cilindrima, kako bi se automobil zaustavio na što kraćoj udaljenosti. Upravljačka jedinica dodatno uzima u obzir brzinu vozila i razinu istrošenosti kočnica. Sustav precizno nadzire i podešava kočenje svakog pojedinog kotača te u svim uvjetima osigurava najučinkovitije kočenje i najbolju stabilnost. Time se osigurava najkraći zaustavni put i uz nedovoljan pritisak papučice.

DBC sustav koristi princip hidrauličkog pojačanja, a ne princip vakuuma. Ovaj hidraulički sustav pruža bolju i precizniju silu kočenja u slučaju nužnog zaustavljanja. DBC je povezan s ABS-om i DSC-om. Kad se zaustave, stražnji kotači se rasterećuju. U zavojima to može dovesti do klizanja stražnje osovine vozila zbog povećanog opterećenja na prednjoj osovini. CBC (eng. *Cornering Brake Control*) djeluje zajedno s ABS-om kako bi se suprotstavio savijanju stražnje osovine tijekom kočenja u zavojima. CBC osigurava optimalnu

raspodjelu sile kočenja u zavojima, sprječavajući proklizavanje čak i kada se pritisnu kočnice. [13, 14]

3.6. SBC (Sensotronic Brake Control; EHB – Electro Hydraulic Brake)

Elektrohidraulički kočioni sustav, odnosno EHB (eng. *Electro Hydraulic Brake*), *Boschev* je kočni sustav razvijen za *Mercedes*, koji često naziva i „*Sensotronic Brake Control*“ (*SBC*). *SBC* objedinjuje djelovanja *ABS*, *ASR*, *ESP* i *BAS* sustava. Elektrohidrauličke kočnice su *Break By Wire* sustav, što znači da se namjera vozača za kočenjem prenosi električnim vodovima. U tom procesu hidraulički tlak kočnica kotača generira elektromotor i njime upravljaju senzori. U usporedbi s konvencionalnim, mehaničkim kočnicama sustav omogućuje poboljšanu kontrolu sile kočenja i smanjuje put kočenja. Konvencionalnu hidrauličku kočnicu pretvara u još snažniji mehatronički sustav. Njegovo mikroračunalo integrirano je u podatkovnu mrežu i procesira informacije iz različitih elektroničkih upravljačkih jedinica. Na taj način električni impulsi i signali senzora se pretvaraju u naredbe kočenja, pružajući izrazito povećanje sigurnosti i udobnosti za vozače. Pored bržeg odziva kočnice, *EHB* donosi i prednost idealnog osovinskog opterećenja zahvaljujući dinamičkim prijenosima. Sustav predstavlja relevantnu komponentu vozila koja jamči sigurne i učinkovite manevre kočenja.

Mercedes-Benz je prvi put predstavio kočioni sustav *Sensotronic* na svom sportskom automobilu klase *R230 SLcla*, koji se u Europi počeo prodavati u listopadu 2001. U svibnju 2004. *Mercedes* opoziva 680 000 vozila opremljenih sustavom, a u ožujku 2005., dodatnih 1,3 milijuna. Na kraju je *Mercedes-Benz* odustao od tih značajki u modelima većeg volumena, poput *E-klase*. Manji volumen modeli su nastavili koristiti *Sensotronic* zbog visokih troškova preoblikovanja kočenja. Kada vozač pritisne kočnicu, vrši se detekcija pomoću senzora, a signali se dovode na mikroračunalo na temelju čega se regulira optimalni kočni pritisak na svakom kotaču. Time se postiže da, npr., u desnom zavoju jače opterećen lijevi kotač može jače kočiti. Zbog toga se pri kočenju u zavojima dobiva optimalno kočenje i stabilno vozno ponašanje. Sustav ne zahtijeva pojačalo kočne sile. Zbog visokotlačnog spremnika i elektronski upravljanih ventila, maksimalni tlak kočnice stvara se ranije. *SBC* nudi veću sigurnost u slučaju kočenja u zavoju ili na skliskoj površini od uobičajenog hidrauličkog kočenja te smanjuje opterećenje vozača u prometu. Značajka *SOFT-STOP* omogućuje udobno i sigurno zaustavljanje u gradskom prometu.

U slučaju kvara *SBC*-a, dodatna sigurnost osigurana je rezervnim hidrauličnim kočenjem. Kočione pločice i kočne obloge bitne su za učinkovitost kočenja, stoga je mikrosenzor ugrađen u kočionu pločicu na posebnom ispitnom uređaju. Ovaj senzor izračunava debljinu obloge kočnice, njezinu tvrdoću i kritično područje istrošenosti kočione pločice. Upozorava vozača kada istrošenost kočionih pločica dosegne graničnu vrijednost i time izbjegava daljnja oštećenja. *SBC* sustav se u biti sastoji od hidrauličkog dijela s tlačnim spremnikom, pokretačke jedinice, upravljačkog uređaja te senzora brzine vrtnje kotača i kuta zanošenja. *SBC* može preuzeti i dodatne funkcije, npr. brisanje diskova, pomoć pri pokretanju vozila uzbrdo, meko zaustavljanje za sprječavanje trzaja pri kočenju. [4, 15, 16, 17]

3.7. EBD (Electronic Break Distribution)

Sustav se prvi put koristi na početku devedesetih godina prošlog stoljeća. Dvije su uobičajene kratice za sustav raspodjele sile kočenja, EBD i EBV (njem. *Elektronische Bremskraftverteilung*). Automobilski proizvođači uviđaju nedovoljno i nepotpuno djelovanje ABS sustava tijekom eksploatacije vozila te se stvara potreba za razvojem novih sustava. Inženjeri su ustanovili da ABS ne rješava problem sprječavanja proklizavanja, a put kočenja može biti i produžen. EBD ne pomaže samo tijekom kočenja u nuždi, već i svaki put kad se u normalnim situacijama pritisne papučica, za razliku od ABS-a.

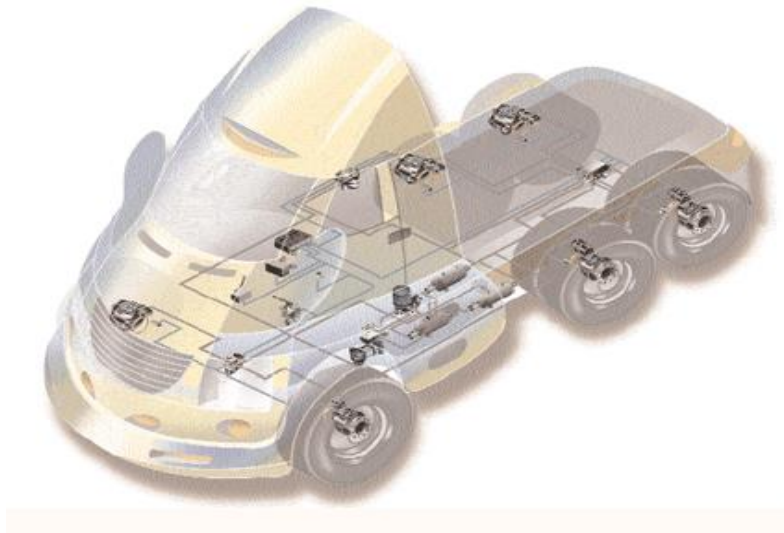
Prilikom vožnje kroz zavoj, težište je pomaknuto prema vanjskom radijusu kotača. Budući da se na prednje kotače stavlja teže opterećenje od stražnjih, EBD-ov zadatak je smanjiti silu kočenja na stražnjim kotačima prije nego se upali ABS. U normalnim okolnostima, na pravocrtnoj putanji gibanja, težina vozila se kočenjem prebacuje naprijed, odnosno na kotače prednje osovine. Zbog toga bi blokada prednje osovine trebala doći trenutak ranije, što će omogućiti automobilu da održi stabilnost i smjer vožnje. EBD je automatski prilagođen za dodatnu težinu u prtljažniku, led, mokru podlogu i ostale uvjete. U stanju je dinamički modulirati snagu kočenja koja se primjenjuje na svaki kotač, odnosno kontinuiranim praćenjem uvjeta na cesti izvršiti korektivne akcije. Ako elektronička upravljačka jedinica utvrdi da je jedan ili više kotača pod lakšim opterećenjem od ostalih, smanjuje silu kočenja na taj kotač. Kotači koji su najmanje prianjaju uz cestu dobivaju najmanju silu kočenja, što dovodi do sprječavanja blokade i posljedičnog proklizavanja.

EBD je elektronička raspodjela sile kočenja, softverski unesena dodatna funkcija ECU jedinice koja može povećati i poboljšati funkcionalnost ABS-a tako što sprječava blokiranje kotača i stražnje osovine. Sustav prati nepodudaranje u brzinama okretanja između kotača senzorima brzine. EBD počinje raditi nakon što ABS upravljačka jedinica, analizirajući podatke sa senzora, utvrdi da sile na obje osovine nisu jednake nakon čega šalje naredbu upravljačkoj jedinici kočnog cilindra regulirajući silu kočenja koja se prenosi na stražnje kotače. Nakon pojave opasnosti od blokiranja stražnje osovine slijedi pravovremeno zatvaranje ventila kočionog sustava koji vode do stražnje osovine uz konstantan tlak. U slučaju da gore navedeno nije pomoglo, a kotači i dalje blokirani (proklizavanje), sustav šalje impuls za otvaranje ispušnih ventila, što omogućuje smanjenje tlaka. Zaokret posljednje faze događa se kad kutna brzina kotača stražnje osovine prijeđe zadane granice te se tlak povećava. Nakon toga se u pravilu događa preraspodjela opterećenja i prednji kotači počinju blokirati, a tada počinje rad ABS sustava. [18, 19, 20]

3.8. EBS (Electronic Braking System)

Korištenje sustava elektroničkog kočenja EBS (eng. *Electronic Braking System*) omogućuje optimizaciju pogona i kočenja na gospodarskim vozilima uz maksimalnu

učinkovitost (Slika 9.). Primjenjuje se za kamione s krutom šasijom i tegljače s poluprikolicom/prikolicom. Ugrađen je kao standard na kamione sa zračnim ovjesom. EBS uz to ima pneumatski pomoćni sustav. Raspoloživ je u dva programska paketa, srednji (*Medium*) i visoki (*High*). Visoki je namijenjen kamionima s poluprikolicom. Elektroničko podešavanje sile kočenja u svakoj pojedinoj situaciji kočenja također može smanjiti trošenje povezanih dijelova čime se poboljšava isplativost i održavanje cijelog kočnog sustava. U EBS su integrirani i sustavi ABS, ATC, ASR i ostali sustavi pomoći pri kočenju čime se osigurava sprječavanje blokiranja kotača, upravljivost i stabilnost vožnje tijekom kočenja. [21, 22]



Slika 9. EBS sustav na teretnom vozilu [23]

EBS je potpuno izbacio zračni impuls kao pokretač kočionog sistema kod teretnih vozila. Odziv kočnica je trenutani zahvaljujući elektroničkom prijenosu signala. Pritiskom na papučicu kočnice šalje se električni impuls koji se u kompjuteru EBS sustava obrađuje zajedno s brzinom, osovinskim opterećenjem, statusom diferencijala i šalje različite impulse odvojeno na svaki kotač vozila. Može predvidjeti kada će se dogoditi prevrtanje, zatim koči na određene kotače kako bi to spriječio, a može i regulirati broj okretaja motora. Električnim kočenjem mogu se savladati veća opterećenja i veće brzine nego s mehaničkim kočenjem. Količina topline koja se oslobađa kod električnog kočenja mnogo je manja u usporedbi s toplinom kod mehaničkog kočenja. U tradicionalnom ili mehaničkom kočenju, toplina proizvedena na kočnim papučicama eventualno rezultira bržim otkazivanjem kočnice. [21, 22]

Električno kočenje pomaže u smanjenju tekućih troškova jer se dio utrošene električne energije vraća. Kontrola klizanja diferencijala preraspodjeljuje snagu motora na kotače s najvećim prijanjanjem kako bi se izbjeglo klizanje. To se čini elektronički, mehanički ili kombinacijom navedenog. Električno kočenje ne može se koristiti nakon što je vozilo ugašeno, to znači da će mehaničko kočenje i dalje biti potrebno. Ako se automobil kreće uzbrdo, može se zaustaviti električnim kočenjem. No kako bi se spriječilo kretanje nizbrdo, treba koristiti mehaničke kočnice. Mehaničkim kočenjem smanjuje se sposobnost upravljanja ako dođe do promjena u ravnoteži vozila te može doći do blokade kotača. [22]

Elektronički kočioni sustav EBS djeluje putem elektroničkog upravljačkog signala s osjetnika papučice kočnice koji se elektronički obrađuje u upravljačkoj jedinici EBS i zatim šalje u module za regulaciju tlaka. Moduli za regulaciju tlaka pneumatski podešavaju potreban pritisak kočnice u cilindrima kotača i istovremeno šalju signale senzora iz područja kotača na EBS upravljačku jedinicu. Vučna sila između kotača i površine ceste može se iskoristiti do maksimalne granične vrijednosti. Pneumatski radni krugovi za aktiviranje kočnih cilindara u vučnom vozilu i prikolici uspostavljeni su na isti način kao dvokružni sustav kočenja. EBS se vraća u sustav kočenja s čistim komprimiranim zrakom s dva kruga komprimiranog zraka u slučaju kvarova. Tada se pri kočenju pojačava pritisak u kočnim cilindrima, bez kontrole, ovisno o položaju papučice kočnice. Trenutno elektroničko aktiviranje kočnica putem modula za kontrolu tlaka omogućuje vozaču da doživi sličan osjet izravnog kočenja kao u osobnim automobilima. [24]

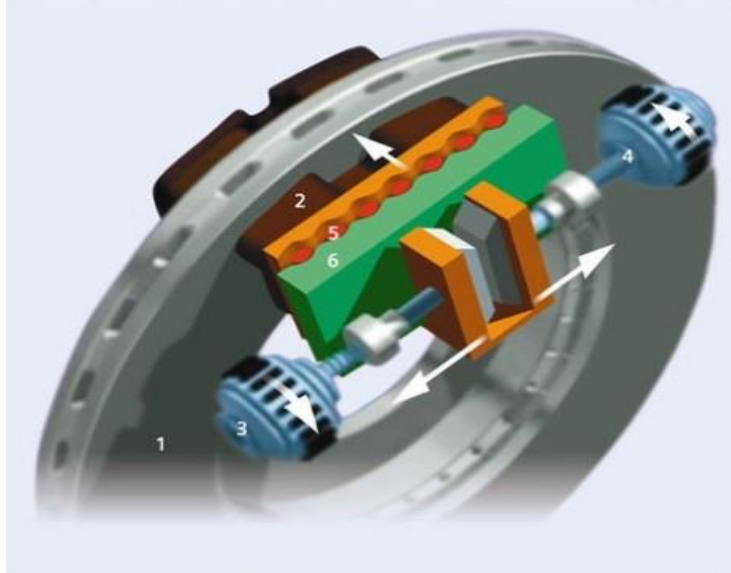
3.9. EWB (Electronic Wedge Brakes)

EWB (eng. *Electronic Wedge Brakes*) je elektronski klinasti sustav kočenja koji se oslanja se na sofisticiranu senzorsku tehnologiju i elektroniku kako bi se spriječilo blokiranje kotača, umjesto primjene prijašnje hidrauličke tehnologije. EWB može dramatično smanjiti zaustavni put automobila u usporedbi s konvencionalnim hidrauličkim sustavima. U odnosu na cijenu, utrošenu energiju i težinu ostvaruje veliku učinkovitost kočnog sustava. Razvojem EWB sustava postižu se napredci u pogledu smanjenja dimenzija komponenata, što rezultira smanjenjem mase vozila. EWB je *Break by Wire* sustav. Elektronička klinasta kočnica radi na sličan princip kao onaj koji se koristi u kočnicama za konjske kočije, gdje je klin korišten za zaustavljanje kotača. Tradicionalni klinasti zračni kočioni sustav je vrsta bubanj kočnice sa kontinuiranim mehaničkim samopojačavanjem. Klin koristi kinetičku energiju vozila pretvarajući je u energiju kočenja. Primjenom fizike i inteligentnom upotrebom klina potrebna je samo jedna desetina pogonske energije koja je potrebna današnjim hidrauličkim sustavima kočenja. Što se vozilo kreće većom brzinom, kočnice jače reagiraju. [25, 26]

Cijeli sustav radi na standardnom 12-voltnom električnom sustavu koji se nalazi u većini automobila. Isto tako, elektronički klinasti sustav s jednim motorom učinkovitiji je u usporedbi s normalnom elektroničkom klinastom kočnicom koja koristi dva motora. Dok je uobičajenom ABS-u potrebno između 140 i 170 milisekundi da stvori potpunu snagu kočenja, EWB-u treba samo oko 100 milisekundi. Dijelovi elektroničkog klinastog kočnog sustava su kočna čeljust, kočni disk, kočna pločica, elektromotor, klinovi i valjci (Slika 10.). EWB pruža mogućnost diferencijalnog kočenja (različito kočenje na svakom kotaču) ovisno o stanju na cesti i opterećenju. Iz primjene EWB sustava proizlaze poboljšane performanse ABS-a, kraći zaustavni put na skliskim cestama, kontinuirana raspodjela snage kočnice, ekološka prihvatljivost te dodatni volumen u motornom prostoru. [25, 26]

Umjesto klipa i kanala za kočnu tekućinu u čeljusti disk kočnice (1) nalaze se dvije ploče (6) okrenute jedna prema drugoj, koje su s jedne strane glatke, a sa druge nazubljene. Između nazubljenih strana ploča nalaze se valjci (5). Jedan prijanjajući jastučić (2) postavljen je na

fiksnu unutarnju ploču, dok je drugi postavljen izvana na plutajuću ploču čeljusti kočnice. Rad klipa i njihov pomak jedan prema drugom postiže se elektromotorima (3,4) smještenim u kočnim čeljustima. Pritiskom papučice kočnice klipovi odbijaju obje ploče i pritišću jastučice na disk. Efekt klina i njegovo samopojačavanje ekvivalentno je kinetičkoj energiji vozila u vožnji koja u slučaju EWB pomaže u kočenju. [27]



Slika 10. Dijelovi EWB sustava [27]

4. ANALIZA PRINCIPA RADA ELEKTRONSKIH SUSTAVA STABILNOSTI

Sredinom osamdesetih godina 20. stoljeća, *Bosch* je razvio komunikacijsku i informacijsku mrežu za ugradnju u vozila po imenu CAN koja je danas najrasprostranjenija mreža. Omogućava komunikaciju svih sustava u automobilu, a sve se informacije iz lokalnih upravljačkih jedinica šalju u glavnu upravljačku jedinicu. Ona obrađuje te informacije i šalje povratne signale ostalim upravljačkim sustavima kao i izvršnim članovima koji omogućavaju pokretanje vozila i vožnju. Ti izvršni članovi šalju sa svojih senzora povratne informacije u upravljačke jedinice te tako daju informacije o izvršenim aktivnostima i radu automobila. Razvoj kočnih sustava u automobilima dovodi do intenzivnog razvoja elektronskih sustava stabilnosti koji svojim djelovanjem povećavaju stabilnost i učinkovitost kočenja. Cilj je postići koordinaciju mehanike i elektronike radi postizanja prihvatljivih cijena, dimenzija, prostora za instalaciju i kvalitete sustava. *Brake-by-wire* zamjenjuje hidromehanički sustav veza između papučica i kočnica kotača. Zahtjev za kočenjem prijenosi se od vozača pritiskom na papučicu kočnice do elektroničke upravljačke jedinice. Jedinica tada određuje potrebnu silu kočenja na kotačima i ostvaruje ju pomoću pokretača. Automobilske funkcije koje su do tada radile čisto mehanički i djelomično s hidrauličkom pomoći, kontrolirati će se visokim performansama mikroracunala i elektronički upravljanim pokretačima koji zamjenjuju konvencionalne mehaničke komponente ili poboljšavaju njihovu funkciju. [5, 28, 29, 30, 31]

Cilj sustava stabilnosti je, zajedničkim djelovanjem komponenti, spriječiti kritične situacije prilikom vožnje te zadržati vozne karakteristike i upravljivost na traženom nivou. Naglasak je na stvaranju pouzdanih sustava koji imaju veliku toleranciju na kvarove. Isprva su se elektronički sustavi koristili za upravljanje motorom (elektronički sustavi ubrizgavanja goriva), no daljnjim su se razvojem elektroničke komponente počele koristiti za sigurnosti u vožnji. Aktivni sustavi stabilnosti sastoje se od niza ugrađenih elektroničkih komponenti poput elektronskih kontrolnih jedinica, senzora kuta zakreta upravljačkog kola, senzora brzine kotača, senzora bočnog ubrzanja, senzora kuta zakretanja oko okomite osi i uređaja za kontrolu rada motora. Senzori primaju relevantne podatke o vožnji u djeliću sekunde i na temelju tih podataka reagiraju korektivnim akcijama kočenja i kontrole okretnog momenta. Sustavi komuniciraju putem brzih digitalnih signala sa senzora, koji nastoje prenijeti informaciju do kontrolnih jedinica te u konačnici do pokretača korektivnih procesa stabilizacije i kočenja. Elektroničke upravljačke jedinice međusobno su povezane jer sustavi najčešće ne obavljaju samostalnu funkciju, već djeluju u interakciji s drugim sustavima. U tu svrhu razvijeni su sustavi sabirnica. Signale koji se obrađuju u pojedinačnim sustavima također su potrebni u nekoliko upravljačkih jedinica. Primjer umreženosti sustava je ACC (eng. *Adaptive Cruise Control*), u kojem radarski senzor, upravljanje motorom, elektronički program stabilnosti i kontrola transmisije međusobno izmjenjuju informacije. Umrežavanje i povezivanje elektronskih komponenti u sigurnosne sustave, dodatno je pridonijelo njihovoj funkcionalnosti. Jednostavnim algoritmima podatci se prenose između svih elektronskih komponenti kako bi što bolje utvrdili promjene u ponašanju vozila. [28, 29, 30]

4.1. ANALIZA ABS SUSTAVA PROTIV BLOKIRANJA KOTAČA

Blokiranje kotača znatno ugrožava sigurnost vožnje. Ako u zavoju blokiraju svi kotači, vozilo nastavlja klizanje i gibanje po tangenti na putanju kretanja, što dovodi do izlijetanja s ceste. Cilj ABS-a je pri iznenadnom kočenju radnom ili motornom kočnicom osigurati kontrolu upravljanja pri skretanju ili izbjegavanju prepreka, raspodjelu sile kočenja između osovina, povećanje sile kočenja te skraćivanje puta kočenja (osim na pijesku i na snijegu). ABS sustave razlikujemo prema broju regulacijskih kanala, broju senzora brzine kotača i broju modulatora.

Tijekom kočenja ABS-om, brzina vozila linearno opada, a brzina kotača se ciklički mijenja zbog relativnog klizanja kotača koje je veće na površinama niskog koeficijenta prijanjanja. U kombinaciji s elektroničkim blokiranjem diferencijala (EDS – eng. *Electronic Differential System*) ABS čini integrirani sustav upravljanja vučom. ABS mijenja svoje uvjete rada pri uključivanju automatske blokade diferencijala. Blokiranjem stražnjeg diferencijala stražnji kotači rade kao par, vrte se istom brzinom i reagiraju kao čvrsto tijelo te koriste maksimalnu kočnu silu. Kod pogona *4x4*, koristi se međuosovinska blokada, a prednji i stražnji kotači okreću se istom brzinom. Prije blokiranja diferencijala kod pogona *4x4* koristi se dodatna funkcija sprječavanja blokade diferencijala radi razlike u kočnim silama na prednjoj i stražnjoj osovini. *G-senzor* omogućava dodatnu informaciju predblokiranja diferencijala kako bi se upravljačka jedinica ABS odredila za određeni koeficijent prijanjanja, čime se sprječava blokada pogonskog lanca transmisije. [3, 5]

Zadaća ABS sustava je također, uz sprječavanje blokiranja kotača, sprječavanje zaokreta vozila oko vertikalne osi pri kočenju (*μ -split*) kod nejednakog prijanjanja kotača radi održavanja pravca kretanja. ABS-sustav koristi dodatnu GMA (njem. *Gier Moment Anstiegsverzögerung*) funkciju za otklanjanje takve rotacije vozila na principu zadržavanja tlaka kočenja kod kotača na kvalitetnoj podlozi čime se smanjuje sila kočenja. ABS jedinica u području regulacije proizvodi sukcesivne cikluse „koči - otkoči“, najprije za kotač koji ima slabije prijanjanje, a nakon toga po potrebi. S ciljem otklanjanja momenta zakretanja od strane kotača na boljoj površini, na temelju signala žiro-senzora, kočna će sila biti pojedinačno modulirana kotače s većim prijanjanjem. U cilindrima za kočenje proizvodi se manji tlak sve dok kočni moment svih kotača ne bude izjednačen. Dodatna regulacija sile kočenja GMA koristi se kod manjih vozila s manjom osovinskom bazom, jer kod većih osovinskih baza, moment zakretanja nije dovoljan da izazove zanošenje. GMA odgađa povećanje kočnog tlaka u cilindru kotača s većim prijanjanjem u djeliću sekunde, tako da vozač može reagirati na kretanje usred zakretanja i jakog kočenja. [3, 5]

4.1.1. KOMPONENTE ABS-a

Glavne komponente ABS sustava su [4]:

- senzori kotača s impulsnim prstenovima (senzori za mjerenje broja okretaja kotača)
- elektronski upravljački uređaj (ECU)

- hidroagregat s elektromagnetskim ventilima (razvodnicima)

Osnovne komponente ABS sustava su senzori brzine svakog kotača, hidraulički modulatori i elektronička upravljačka jedinica. Senzori brzine vrtnje kotača ugrađeni su u svaki kotač vozila i svakom senzoru pripada po jedan impulsni ili magnetski prsten. Frekvencija izmjeničnog napona, kojeg je prsten svojim okretanjem inducirao na senzoru, mjeri je brzinu vrtnje kotača. U slučaju sustava sa tri kanala moguće je imati tri senzora. Brzina vrtnje kotača bitna je varijabla ABS sustava jer prikupljeni električni signal šalje kontrolnoj jedinici, odnosno upravljačkom uređaju koji obrađuje napone sa senzora te tako određuje ubrzanje ili usporenje svakog od kotača. Signali s informacijom o brzini vrtnje služe za izračunavanje količine klizanja između kotača i podloge te dolazi li do blokiranja nekog od kotača. Ugrađuju se pasivni ili aktivni senzor brzine vrtnje. Pasivni senzori brzine vrtnje su induktivni senzori. U ovisnosti o brzini vrtnje kotača, senzori kotača daju signal u obliku izmjeničnog napona od 30 milivolta do 100 volta. Informacija o brzini vrtnje dobiva se iz frekvencije naponskog signala. Aktivni senzori brzine vrtnje su *Hallovi* senzori. Ugrađuje se magnetski višepolni prsten s izmjenično postavljenim polovima. *Hallo* napon dobiva se pomoću rotirajućeg višepolnog prstena ugrađenog u ležaju kotača. [3, 4, 5]

Razlikujemo ABS s povratom u zatvorenom i otvorenom krugu. U zatvorenom hidroagregat s povratnom pumpom sastoji se od niskotlačnog hidrakumulatora za kočnu tekućinu, elektromagnetskih ventila (razvodnika) i električno pogonjene povratne pumpe koju uključuje upravljački uređaj preko releja tijekom trajanja ABS regulacije. Hidraulički modulator sadrži niz elektromagnetskih ventila koji mogu otvoriti ili zatvoriti hidrauličke krugove između glavnog cilindra i kočnica, koje mogu biti spojene na povratnu pumpu. U otvorenom krugu hidraulička jedinica sadrži hidroagregat (dvokružna hidraulička pumpa pokretana elektromotorom) i ventilski blok koji se sastoji od dva *R 2/2* razvodnika za svaki regulacijski krug s paralelno spojenim nepovratnim ventilom. Elektromagnetski ventili modulatora omogućavaju promjenu kočnog tlaka. Kada brzina vozila padne ispod 6 km/h, ABS funkcija više nije aktivna. Elektromagnetskim ventilima (razvodnicima) upravlja elektronski upravljački uređaj, a moguća su regulacijska stanja porasta, držanja i pada tlaka. Ulazni ventil između glavnog cilindra i kočnice kontrolira primjenu tlaka, dok izlazni ventil između kočnice i povratne pumpe kontrolira popuštanje tlaka. Za svaku kočnicu postoji po jedan takav elektromagnetski ventil. [4, 5]

Hidrauličko-elektronička upravljačka jedinica (HECU – eng. *Hydro-Electronic Control Unit*) procesira signal dobiven od senzora prema postojećem algoritmu koji je temelj za daljnji proces slanja signala prema modulatoru. (Slika 11.). ABS kontrola kočenja zbiva se posredovanjem četiriju ulaznih i izlaznih ventila, na svakom kotaču između faza držanja, smanjenja i povećanja tlaka uz pomoć para ulaznih i izlaznih ventila. Istosmjerni motor (DC – eng. *Direct Current*) pokreće pumpu primarnog i sekundarnog kruga X-konfiguracije kočnica. To znači da pokreće pumpu hidrauličkog kruga za prednji desni i za stražnji lijevi kotač (sekundarni krug) i hidrauličkog kruga za prednji lijevi kotač i stražnji desni kotač (primarni krug). [5]



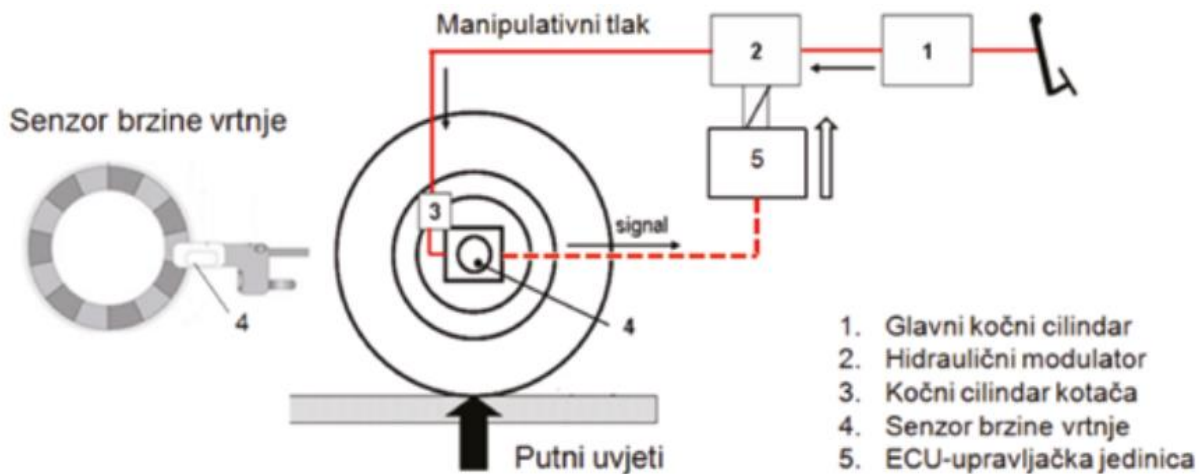
Slika 11. Komponente hidrauličko-elektroničke upravljačke jedinice [5]

4.1.2. PRINCIP RADA ABS-a

Suvremena vozila koriste sustav sa četiri kanala koji sadrži četiri senzora i X ili TT raspodjelu sile kočenja gdje se svaki kotač pojedinačno upravlja. Pojedinačna regulacija djeluje na način da se svakom kotaču dodjeljuje najveći mogući tlak kočenja. Svaki kotač ima modulator i senzor za nadziranje brzine. Takva regulacija najčešće se primjenjuje kod kotača prednje osovine. Time je i sila kočenja maksimalna. Kako kotači jedne osovine mogu kočiti različitim kočnim silama, npr. jednostrano zaleđenog kolnika, nastaju okretni momenti koji djeluju u okomitoj osi vozila (moment zanošenja). Sustav sa tri kanala sadrži tri ili četiri senzora i X ili TT raspodjelu sile kočenja gdje se prednji kotači reguliraju pojedinačno, a stražnji prema *Select-Low* načelu (zajednički). *Select-Low* regulacija djeluje na način da kotač s lošijim prianjanjem određuje vrijednost zajedničkog kočnog tlaka na jednoj osovini. Najčešće se primjenjuje kod kotača stražnje osovine. Kotači stražnje osovine dijele jedan modulator. Tijekom kočenja s različitim prianjanjem kotača smanjeno je zanošenje vozila jer kotači stražnje osovine koče približno jednakim silama. Za kvalitetnu ABS regulaciju bitno je procesuiranje podataka o mjernim veličinama koje utječu na kočenje. Temelji se na ubrzanju i usporenuju kotača, proklizavanju, referentnoj brzini i usporenuju vozila. [3, 4, 5]

Regulacijsko područje u kojem ABS djeluje nalazi se između 8 i 35% klizanja. Kada se pri intenzivnom kočenju uoči sporija vrtnja kotača, odnosno pojava klizanja, ABS automatski djeluje na kočni tlak u cilindru. Osim promjene tlaka u kočnim cilindrima kotača, dolazi i do promjene kutnog usporenja i obodne brzine kotača te linearnog pada brzine vozila. Tek se pri jakom kočenju i pojavi većeg klizanja aktivira ABS regulacijski krug sprječavajući blokiranje kotača. Zatvoreni regulacijski sklop (Slika 12.) koristi elektroničku upravljačku jedinicu (5) za nadzor brzine vozila putem senzora brzine kotača (4) koji registrira ubrzanje ili usporenje kotača ili relativnu brzinu, tj. klizanje kotača. U području djelovanja ABS-a, ECU prima podatke sa senzora kotača i računa procjenu pada brzine vozila. Od brzine vozila (v) oduzima se obodna brzina pojedinog kotača (v_k) i izračunava postotak klizanja kotača ($s\%$). Signal od ECU stiže prema modulatoru (hidroagregat s elektromagnetskim ventilima) koji osigurava potreban tlak u kočnim cilindrima (3) kako bi se kočenje odvijalo u dopuštenim uvjetima proklizavanja, dopuštajući kotaču ponovno okretanje. Ovisno o upravljačkom algoritmu, rast tlaka se kontrolira s ciljem smanjenja ciklusa kočenja. U skladu sa dopuštenom vrijednošću

klizanja kotača dolazi do promjene tlaka i usporenja kotača, odnosno pada obodne brzine kotača, a time i smanjenja brzine vozila. Glavni kočni cilindar (1) dovodi potreban tlak do regulacijskog ventila (2). ABS-sustav sukcesivno zakoči i otkoči kotač više od 10 puta u sekundi što omogućuje kotrljanje kotača i prijenos kočne sile. [3, 4, 5]



Slika 12. Princip rada ABS-a [5]

4.2. ANALIZA ASR SUSTAVA ZA SPRJEČAVANJE PROKLIZAVANJA POGONSKIH KOTAČA

ASR sustav sprječava proklizavanje pogonskih kotača kod ubrzanja u uvjetima nedovoljnog prijanjanja kotača i podloge prikočivanjem kotača i regulacijom rada motora, čime se postiže kotrljanje kotača, ubrzanje vozila i prijenos vučne sile. Time se postiže održavanje upravljivosti vozila bez zanošenja. Kako bi se spriječila neučinkovita potrošnja snage motora i okretanje kotača u prazno povećanjem broja okretaja na skliskom terenu, potrebno je regulirati vrtnju kotača. ASR-sustav koristi senzore brzine vrtnje kotača ABS sustava. Može se dopuniti i dodatnim sustavom za regulaciju naglih promjena zakretnog momenta motora. [3, 5, 10]

Pri prijenosu u manji stupanj mjenjača, odnosno pri naglom oduzimanju gasa na skliskoj podlozi, moguće je proklizavanje pogonskih kotača zbog kočnog djelovanja motora. Automatskim povećanjem zakretnog momenta motora regulira se okretanje pogonskih vratila motora kako ne bi došlo do proklizavanja. ASR-sustav djeluje na rad kočnica i na rad motora. Dovođenjem kotača u stanje kotrljanja i pokretanja vozila održava se prijenos vučne sile, upravljivost i stabilnost vožnje. Kočenjem kotača koji proklizava određuje se vrijednost sile koju drugi pogonski kotač može prenijeti čime se ograničava prijenos sile na podlogu na temelju relativnog faktora klizanja ($s\%$) i koeficijenta prijanjanja. [3, 5, 10]

Sustav čine [4]:

- ABS/ASR-MSR upravljački uređaj
- ABS/ASR hidraulička jedinica
- Elektronska pedala gasa s upravljačkim sklopom

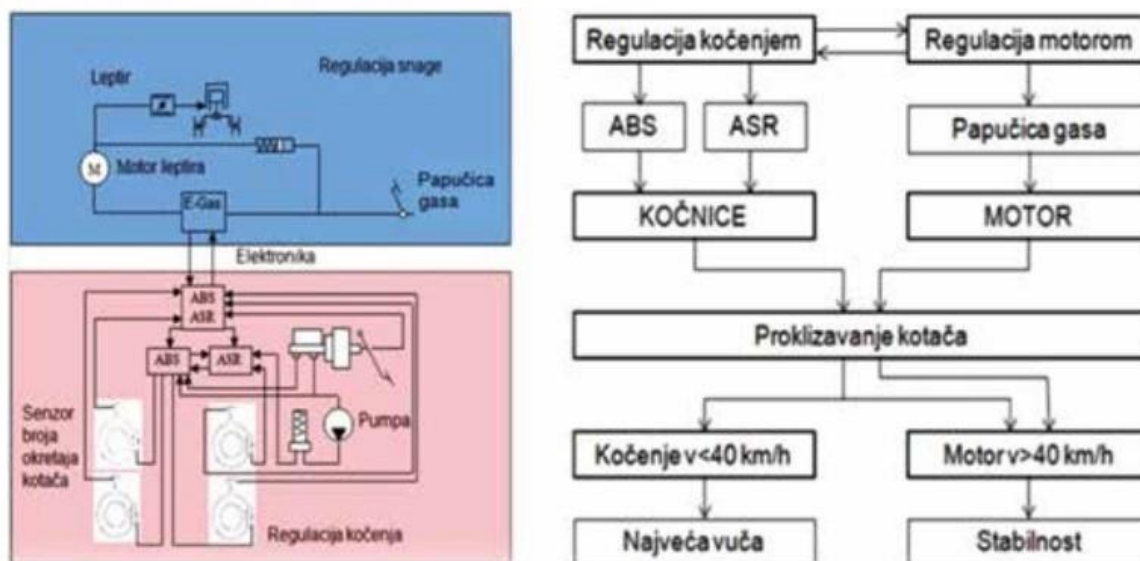
- Davač referentne vrijednosti, postavni motor prigušne zaklopke

Postoji više načina regulacije proklizavanja kotača. Prvi način je kočenje kotača na slabijoj podlozi kod manjih brzina kako bi se ostvarilo kotrljanje. Kočenjem kotača koji proklizava, ispod 40 km/h, dobiva se najveća vučna sila iz uvjeta prijanjanja. Drugi način je smanjivanjem snage motora manjim ubrizgavanjem goriva kod većih brzina kretanja. Treći način je sprječavanje proklizavanja kotača pogonske osovine pomoću blokiranja diferencijala čime se osigurava upravljanje vučom kod pogona na više osovine. ASR-sustav intervenira automatski bez znanja vozača, stalno je uključen i djeluje kočenjem pogonskog kotača neovisno o vozačevoj namjeri. Aktivnost regulacije proklizavanja vidljiva je putem kontrolne lampice ASR-a. Budući da ASR djeluje automatski to uzrokuje zagrijavanje kočnice, pa se u slučaju pregrijavanja automatski isključuje. U terenskim uvjetima preporučljivo je isključiti intervenciju ASR-a kako bi se spriječilo eventualno preopterećenje i pregrijavanje disk ili bubanj kočnica. Također, ASR treba isključiti tijekom vožnje po snijegu i po blatu te u vožnji s lancima na kotačima jer je tada potrebno postići određeno klizanje. [3, 5, 10]

Zahtjevi za ASR [5]:

- sprječavanje proklizavanja kotača pri pokretanju vozila na cesti niskog prijanjanja i realizacija vučne sile, odnosno ubrzanja vozila
- sprječavanje proklizavanja kotača pri vožnji kod ubrzavanja na cesti različitog prijanjanja lijeve i desne strane i realizacija vuče
- sprječavanje proklizavanja kotača pri zaokretu vozila.

Sustav radi ovisno o voznim okolnostima sa zahvatom na motoru i/ili kočnicama. Međusobno djelovanje upliva u rad motora i kočnica koristi se kako bi se izbjeglo nedopušteno klizanje kotača pri pokretanju vozila ili MSR regulacijom kočenja motora. U ABS/ASR upravljačkom uređaju obrađuju se impulsi sa senzora kotača. ASR regulacija uključuje se pri pojavi proklizavanja jednog ili dva kotača. Situacije djelovanja na motor i kočnice dijelimo na uporabu kočnica pri proklizavanju jednog kotača i brzini vozila do 40 km/h, te uporabu motora pri proklizavanju kotača i brzini vozila većoj od 40 km/h (Slika 13.). [3, 4]



Slika 13. Shema ASR-a [5]

Pri manjim brzinama od 40 km/h regulacija proklizavanja obavlja se samo regulacijom kočenja. Senzori brzine vrtnje kotača šalju signale upravljačkoj jedinici ASR-a. Ako se dogodi proklizavanje pri tim brzinama, elektronski sklop ASR/MSR prosljeđuje signal hidrauličnom sklopu ABS-a koji aktivira kočenje proklizavajućeg kotača. Ako kotač počne proklizavati izvan područja relativnog proklizavanja, upravljačka jedinica smanjuje snagu motora, smanjenjem ubrizgane količine goriva ili zatvaranjem leptir gasa kod benzinskog motora. Ako to nije dovoljno određuje se kasnije paljenje sve dok kotač dobije kotrljanje. Ako kotač i dalje proklizava, koristi se kočenje obaju kotača (iznad 40 km/h). Pri brzinama većim od 40 km/h i pojavi proklizavanja, automatski se smanjuje snaga motora. Kako bi se ASR sustav mogao aktivirati neovisno o jačini pritiska na papučicu gasa omogućena je elektronička povezanost, odnosno elektroničko upravljanje snagom motora elektroničkom papučicom za ubrzanje. MSR prima naredbe ASR sustava kao prioritetne u odnosu na naredbe vozača povezane s promjenom gasa. Pomoću senzora kuta nagiba papučice njen se položaj pretvara u električni signal koji se u MSR upravljačkom uređaju pretvara u električni napon za napajanje postavnog motora (servomotora), uz koordinaciju s unaprijed programiranim veličinama i signalima drugih senzora (broj okretaja motora, temperatura i sl.). Pomoću servomotora mijenja se položaj leptira/poluge snage te se povratna informacija o novom položaju vraća natrag upravljačkom uređaju EMS (eng. *Engine Management System*) sustava. Ako je neophodno dodatno se koče i kotači. Kod naglog smanjivanja snage motor koči uz opasnost od proklizavanja, zbog čega se povećava snaga motora radi neometanog prijenosa snage. Kod većine vozila funkcija ASR se može isključiti ovisno o potrebi. [3, 4, 5, 10]

4.3. ANALIZA ESP SUSTAVA REGULACIJE DINAMIKE VOZILA

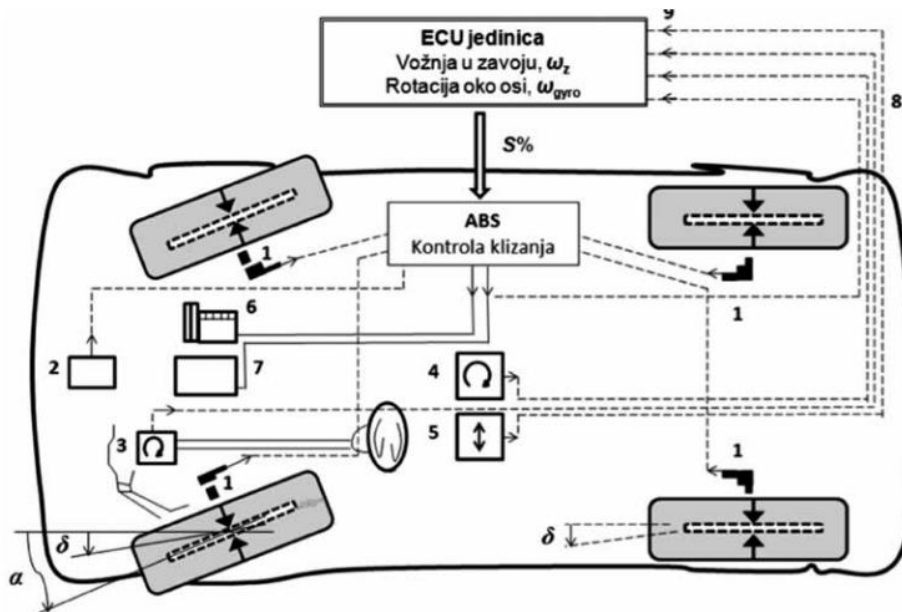
ESP djeluje na sprječavanje zanošenja vozila u graničnim situacijama kretanja održavajući poprečnu stabilnost i upravljivost vozila. Djeluje na kočnice, pogonski motor i razdjelnik snage kod vozila s integralnim pogonom te smanjuje centrifugalnu silu. Sustav ESP za dinamičko reguliranje vožnje obuhvaća senzore, elektroničke upravljačke sklopove, hidraulički modulator i hidrauličke pumpe kao svoje radne komponente. Gibanje vozila i vrijednost parametara u sve tri osi praćeno je sensorima. Upravljačka jedinica ESP-a nadzire željeno i stvarno ponašanje vozila te vrši korekciju ukoliko željeni i stvarni smjer vozila nisu jednaki.

ESP čini integraciju ABS-a, EBV-a, MSR-a i ASR-a. Kod nekih vozila koristi i sustav prijenosa snage i servoupravljač. Može biti opremljen automatskim sustavom za blokiranje diferencijala koji se koristi najčešće kod kotača s malim otporom koji ne prenose okretni moment. Uz pomoć aktivnih sustava kontrole stabilnosti i kočenjem pojedinih kotača ispravlja se putanja vozila kako bi se spriječilo zakretanje vozila oko vertikalne osi klizanjem prednje ili stražnje osovine. Obzirom da ESP integrira ABS i ASR, može djelovati i na motor i na kočnicu. Regulacija snage motora postiže se pri većim brzinama, a kočenje prednjih ili stražnjih kotača pri manjim brzinama. [3, 5, 10]

Uz senzore koje koristi ABS, koriste se i senzori kuta zaokreta upravljača i senzor pomaka pedale kočnice radi procjene željenog pravca gibanja te senzor poprečnog ubrzanja i kuta skretanja na temelju čega se procjenjuje putanja vozila. U cilju otklanjanja zanošenja vozila, ESC sustavi interveniraju automatski na jedan ili više kotača simultano. Osnovni parametar je kutna brzina oko vertikalne osi vozila. Ostali parametri variraju od proizvođača, a njihov izbor ovisi o matematičkom modelu koji se integrira u sustav. S ciljem držanja putanje vozila, kod podupravljanja se aktivira kočenje stražnjeg lijevog kotača, a kod preupravljanja kočenje prednjeg desnog kotača. Kočna intervencija na putanji vozila sprječava neželjenu rotaciju vozila oko vertikalne osi. Informacije o klizanju i zanošenju upravljačka jedinica obrađuje u kratkom vremenu te automatski ispravlja zanošenje vozila, čime smanjuje rizik od izlijetanja bez znanja vozača o korektivnom djelovanju. Ugrađuje se pumpa sa senzorom predtlaka koja osigurava kočni tlak neovisno o pritisku na pedalu kočnice. [3, 5, 10]

4.3.1. KOMPONENTE ESP-a

Sastavni elementi i veličine ESP sustava (Slika 14.) su kut zakretanja kotača (α), kut bočnog klizanja kotača (δ), relativno klizanje kotača ($s\%$), senzor brzine vrtnje kotača (1), senzor tlaka u kočnim cilindrima (2), senzor kuta zaokreta upravljača (3), žiro-senzor rotacije vozila (4), senzor bočnog ubrzanja (5), hidraulički modulator kočnog tlaka (6), regulator snage motora (7), prijenosnici signala (8) i upravljačka jedinica ECU (9). [5]



Slika 14. Sastavni dijelovi ESP sustava [5]

Senzor brzine vrtnje kotača pojedinačno prate broj okretaja svakog kotača. Signali brzine vrtnje kotača prenose se do upravljačkih jedinica ABS-a, ASR-a i ESC-a, koje upravljaju kočnicama svakog kotača posebno. Frekvencija impulsa proporcionalna je brzini vrtnje kotača. Pritom se računa prijeđeni put, relativno klizanje kotača ($s\%$), raspodjela kočne sile, i drugo. Sensori su aktivnog tipa, zbog veće točnosti i ugradnje. Tip prijenosa digitalnog signala manje je osjetljiv na smetnje nego senzor induktivnog tipa. Manje dimenzije i manja masa omogućuju ugradnju senzora u sam sklop ležaja kotača. Senzor tlaka za kočenje mjeri kočni tlak ulja u kočionim cilindrima svakog kotača. Senzor kuta upravljača prati kut upravljača, tj. pravac vozila koji drži vozač pomoću upravljača. Svaki zaokret upravljača određuje radijus okretanja vozila. Žiro-senzor (eng. *Gyro senzor / Yaw rate sensor*) rotacije prati kutnu brzinu vozila oko vertikalne osi (ω_{gyro}). Senzor bočnog ubrzanja prati rezultatno bočno ubrzanje vozila (a_b). [5, 10]

4.3.2. PRINCIP RADA ESP-a

Kočni tlak se može stvoriti pasivno, poluaktivno i aktivno. Kod pasivnog tlak kočenja stvara vozač, kod poluaktivnog vozač stvara tlak koji se potom pojačava, npr. BAS regulacija, dok se kod aktivnog signali sa senzora (npr. senzora kotača, upravljača i poprečnog ubrzanja) šalju upravljačkom uređaju koji ih kao stvarne vrijednosti uspoređuje s pohranjenim zadanim vrijednostima. Odstupaju li stvarne vrijednosti od željenih (zadanih) vrijednosti, određeni se kotač neovisno o volji vozača ciljano koči, čime se zadržava stabilnost vozila. Umreženi podatkovnom sabirnicom, sustavi djeluju u ovisnosti o brzini vrtnje kotača, kočnom tlaku, stupnju zanošenja, kutu zakreta kola upravljača, poprečnom ubrzanju te pohranjenim mapama vrijednosti kočnog upliva. [4]

Usporedbom željenog i aktualnog ponašanja vozila određuje se korektivno djelovanje na kočnice. Upravljačka jedinica ESC sustava prepoznaje odstupanja od željenog pravca kretanja vozila uz pomoć povratnih informacija i ciljano djeluje na kočnice, motor, prijenosnike snage, upravljač i druge uređaje kako bi zadržali putanju vozila. S ciljem kontrole odstupanja između željenog ponašanja (koje drži vozač) i aktualnog ponašanja vozila, ECU ostvaruje funkciju stabilnosti tako da uspoređuje zaokret upravljača sa stvarnim ponašanjem vozila te tako određuju potrebne kočne sile stabilizacije na kotačima uz pomoć tlaka u kočnim cilindrima (prednji vanjski, stražnji unutarnji). ESC sustav ne samo da provjerava vozačev zaokret upravljača te ga uspoređuje sa stvarnim ponašanjem vozila, već također provjerava jesu li vozačev ulazni i stvarni pravac vožnje istovjetni. Primjerice, ako je očekivano zanošenje 20 okretaja po sekundi, a stvarno zanošenje je tek 10 okretaja po sekundi, to znači da se skretanjem vozila ne upravlja u onolikoj mjeri u kolikoj vozač to namjerava, a rezultat toga je podupravljanje vozila. Pritom ECU izračunava potrebnu silu kočenja određenog kotača i smanjenje snage motora. Dakle, kada dolazi do zanošenja vozila u zavoju, rotacijska brzina vozila oko svoje osi postaje veća od brzine okretanja vozila u zavoju ($\omega_{gyro} > \omega_z$). To je trenutak kada sustav kontrole stabilnosti vozila utvrđuje rotaciju vozila uz pomoć žiro senzora, nakon čega slijedi korekcija upotrebom kočnica. [3, 5]

Korekcijom pomoću kočnica mjeri se kut zaokretanja upravljačkih kotača i brzina kretanja vozila pomoću senzora. Pomoću senzora ubrzanja mjere se stvarne vrijednosti parametara brzine i ubrzanja. Ukoliko se utvrde odstupanja izračunatih i izmjerenih vrijednosti aktivira se kočenje određenog kotača na jednoj strani vozila. Nastaje korekcijski moment stabilizacije koji utječe na kretanje vozila i usklađivanje putanje s izračunatim parametrima kretanja. U situaciji podupravljanja i preupravljanja stvara se korektivni moment, koji osigurava stabilnost putanje vozila. Pritom se regulira smanjenje snage motora, a kod vozila s integralnim pogonom na sve kotače uključuje se raspodjela pogonskog momenta na osovine. Kad bi vozilo u zavoju ili manevru izbjegavanja imalo tendenciju podupravljanja (tzv. premali zakret upravljača), prednji dio vozila vukao bi ravno, a sustav bi pomoću pumpe upravljao kočnim tlakom stražnjeg, a u zavoju unutarnjeg kotača. Stvoreni moment zanošenja zbog kočenja suprotstavlja se podupravljanju pa se vozilo stabilizira. Kad vozilo preupravlja (tzv. preveliki zakret), stražnji se dio vozila izbacuje. ESP stabilizira vozilo kočenjem, npr., prednjeg vanjskoga kotača. [5]

4.3.3. ANALIZA NAPREDNIH SUSTAVA DINAMIČKOG UPRAVLJANJA STABILNOŠĆU (DSC, VSC)

U naprednim sustavima na kontrolu zanošenja najveći utjecaj imaju smanjenje snage motora, kočenje pojedinih kotača, raspodjela pogonskog momenta između osovina i pomoć servoupravljača. DSC aktivni je sustav upravljanja stabilnošću vozila i sprječavanja zanošenja. Integrira sustave koji utječu na dinamiku vožnje (ABS, ASR) kočnica sa sustavom raspodjele momenta u integralnom pogonu. Na vozilima s integralnim pogonom na sve kotače *4x4 (X-drive)*, za poboljšanje stabilnosti kretanja primjenjuje se složeniji ESC sustav, koji uključuje raspodjelu okretnog momenta između osovina. Takvi sustavi osiguravaju stabilnost vozila u nejednakim uvjetima prijanjanja kotača. Kada dolazi do rotacije vozila oko svoje osi, to je

trenutak kada sustav kontrole stabilnosti vozila reagira, raspodjelom okretnog momenta između osovina, koje može biti:

- Primarna raspodjela, naprijed : natrag = 40 : 60 %
- Sekundarna raspodjela momenta prema prijanjanju kotača i podloge

Primjerice, ako kotači prednje osovine nailaskom na led počinju klizati, na temelju detekcije klizanja prednjih kotača, ECU upravljačka jedinica određuje prijenos momenta na stražnje kotače. Elektronički upravljana više lamelna spojnica razdjelnika snage sekundarno prebacuje moment na stražnju (ili prednju) osovину prema zahtjevima vuče koja osigurava stabilnost kretanja vozila (*Torque on demand*). Promjena momenta između osovina od 200 do 600 njutnmetara postiže se u vrlo kratkom vremenu od 90 milisekundi. [3, 5]

VSC je nešto slično kao DSC, integrira ABS, EBD, BAS, ASR, EPS (eng. *Electric Power Steering*) i integralni sustav pogona između osovina. Integrirani računalni 4WD (eng. *Four Wheel Drive*) sustav aktivnog pogona između osovina radi na principu kontrole pogonskog momenta tako što koristi elektromagnetski upravljanu spojnicu pomoću koje se izvodi raspodjela momenta između prednjih i stražnjih kotača na temelju prijanjanja, pa se moment prebacuje s prednjih na sva četiri kotača, i obratno. Može biti u automatskom režimu (*AUTO*) za varijabilni moment na kotačima prednje i stražnje osovine ovisno o prijanjanju ili u *LOCK* režimu kada je raspodjela momenta na osovina stalna (prednji : stražnji = 55 : 45%). [3, 5]

4.4. ANALIZA BAS SUSTAVA

U uvjetima naglog kočenja skrbi o najvećem pojačanju sile kočenja neovisno o pritisku na pedalu kočnice, čime se značajno skraćuje put kočenja. Pomoć pri kočenju u nuždi gura papučicu do poda, a daljnjim pritiskom na kočnicu aktiviraju se antiblokirne kočnice. Papučica vibrira aktivacijom sustava protiv blokiranja kotača, radeći zajedno s pomoći pri kočenju. Unutar djelića sekunde, sustav pomoći pri kočenju daje signal kočnicama da usmjeravaju maksimalnu snagu stezanja na kočione čeljusti. [10, 12]

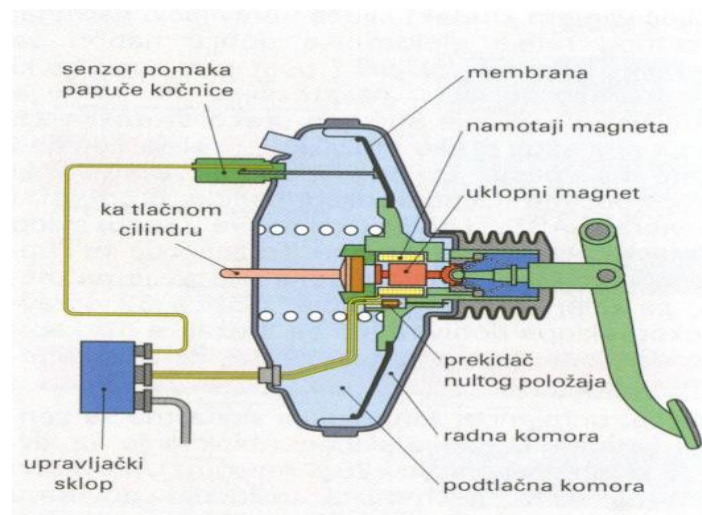
BAS sustav sastoji se iz slijedećih dijelova [4]:

- BAS upravljačkog uređaja (integriranog u elektronicu ESP sustava)
- Uključnog magneta
- Prekidača nultog položaja
- Senzora pomaka pedale kočnice

BAS funkcija je sastavni dio softvera elektroničke upravljačke jedinice. Sustav prepoznaje naglo kočenje i reagira prema uvjetima vožnje neovisno o vozaču. Pomak pedale

kočnice mjeri se senzorom pomaka sa servo uređaja koji mjeri promjenu otpora na pedali (Slika 15.). Na temelju rada senzora upravljački sklop prima informaciju te proračunava brzinu pritiskanja pedale kočnice i detektira njen položaj u svrhu prepoznavanja naglog kočenja. Jedna od mogućnosti je da upravljački sklop aktivira uključni magnet koji otvara radnu komoru pojačala sile kočenja. Ako je brzina pritiskanja pedale velika, a nedovoljan kočni tlak, on će se automatski povećati aktivacijom pneumatskih i hidrauličkih BAS kočnih sustava.

Sustav ABS-a i u slučaju kočenja s BAS-om i bez njega ne dopušta blokiranje kotača. Pneumatskim aktiviranjem uključnog magneta pojačala kočne sile odzračuje se radna komora pojačala, što daje punu pneumatsku silu pojačanja. Tek nakon otpuštanja kočnice, kad se pedala vrati u početni položaj, uključni magnet pojačala kočne sile isključuje se prekidačem nultog položaja. Hidrauličkom (HBA – eng. *Hydraulic Brake Assist*) aktivacijom se svi kotači u slučaju potrebe upravljaju s punim tlakom povratne pumpe, čime se postiže najjače kočenje. ABS sprječava blokiranje kočenih kotača. Razmjena podataka između BAS elektronike i ostalih regulacijskih sustava vozila, npr. ABS i ASR, ostvarena je preko CAN sabirnice. U vozilima s ABS-om svi regulacijski sustavi mogu biti povezani s ESP upravljačkim uređajem. U slučaju pogreške, asistent kočenja se isključuje. Otkazivanje rada dojavljuje se paljenjem žute kontrolne žaruljice. [3, 4, 10]



Slika 15. Komponente BAS-a [10]

5. UTJECAJ PRIMJENE ELEKTRONSKIH SUSTAVA ZA STABILNOST VOZILA NA SIGURNOST U CESTOVNOM PROMETU

Kočnice i kočni sustav jedan su od važnijih elemenata aktivne sigurnosti. Performanse kočnog sustava zakonski su regulirane ECE pravilnicima, a redovno se pregledavaju na vozilima putem tehničkih pregleda. Vozači u prometu imaju najveći utjecaj na sigurnost, zatim tehničko stanje motornih vozila te stanje cesta. Sigurnost konstrukcije motornih vozila temelji se na integriranoj aktivnoj i pasivnoj zaštiti putnika. Poboljšanje aktivne sigurnosti pomaže izbjegavanju prometnih nesreća. Analizom utjecaja ESP sustava na broj prometnih nesreća putem *Daimler Chryslerove* studije na vozilima *Mercedes-Benz*, zaključuje se da je broj teških prometnih nesreća smanjen za 42% koristeći ESP sustav.

Postoje aktivni sustavi kočenja koji svojim djelovanjem mogu spriječiti nalete vozila na pješaka i bicikliste. AEB (eng. *Autonomous Emergency Braking System*) koristi radar i kameru kako bi registrirao pješake u zoni naleta vozila. Prepoznavanjem pješaka vozač je upozoren zvučnim signalima i crvenim svjetlom na gornjem dijelu vjetrobranskog stakla. Ako vozač ne reagira, a mogućnost sudara je velika, sustav aktivira kočnice automobila te usporava ili potpuno zaustavlja vozilo. Može u potpunosti spriječiti nalet vozila na pješaka do brzine 40 km/h. Ako je sudar neizbježan, sustav smanjuje brzinu naleta te time nastoji ublažiti udar. Suvremeni aktivni sustavi podvozja su tehnička rješenja koji nastoje poboljšati stabilnost kretanja vozila u kritičnim situacijama. Ugradnjom ESP sustava koji integrira i ABS i ASR, postignuta je stabilnost protiv zanošenja vozila, blokiranja i proklizavanja pogonskih kotača. [3, 5, 10]

Smatra se da oko 40% prometnih nesreća nastaje zbog zanošenja. Nakon ugradnje pojasa za vezivanje putnika smatra se da je ugradnja ESP sustava u vozila najvažniji element sigurnosti radi prevencije neželjenih i kritičnih situacija. Globalni trend ugradnje ESP sustava 2010. godine, na temelju Bosch-ovih podataka o proizvodnji putničkih i lakih teretnih vozila, govori da je u EU-25 bilo oko 64% ugrađenih ESP sustava u nove tipove vozila. U Njemačkoj je bilo oko 85%, a u Švedskoj gotovo 100%. Strategija kontrole zanošenja vozila podrazumijeva aktivni sustav upravljanja stabilnošću koji djeluje na sprječavanje zanošenja vozila i pružanje pomoći vozaču na korekciji putanje u kritičnim uvjetima. Vučna sposobnost i dinamička stabilnost poboljšava se integracijom sustava podvozja, što je bitnije od pojedinačnog razvoja sustava. Strategija stabilnosti aktivnog podvozja uključuje aktivno upravljanje motorom, prijenosnicima snage, kočnicama te integraciju pneumatika i podloge. [3, 5, 10]

5.1. STATISTIKA PROMETNIH NESREĆA I INICIJATIVE ZA SMANJENJE

Istraživanja u Njemačkoj i podatci Saveznog zavoda za statistiku 2004. su godine došli do podataka da su u 86% prometnih nesreća krivi upravo vozači. Od toga 26% je uzrok prebrza

vožnja ili vožnja s nedovoljnim razmakom između vozila. U EU se u 2000. godini dogodilo 1,3 milijuna prometnih nesreća, od čega preko 40000 sa smrtnim posljedicama, a 1,7 milijuna ozlijeđenih osoba. Prijašnje inicijative Europske komisije 2001., poput *eSafety Initiative*, imale su za cilj smanjiti broj poginulih za 50% promoviranjem aktivnih inteligentnih sustava aktivne sigurnosti. Inicijative Europske komisije pokazale su se opravdanim. Broj smrtnosti je pao 70% od predviđenih do 2007. godine. Osim mjera u EU, organizacija UN (Ujedinjeni Narodi) je donijela rezoluciju „Desetljeće aktivnosti cestovne sigurnosti“ (2011.-2020.) radi smanjenja smrtnosti na cestama od 50%. Uspjeh aktivnosti mjeri se brojem spašenih života. Nakon toga očit je trend smanjenja prometnih nesreća, ali ne u očekivanoj mjeri. Najveće smanjenje postigle su visoko razvijene zapadne zemlje EU-15. Povećanjem opremljenosti vozila ESP sustavom, obzirom na europska istraživanja učinkovitosti, može se procijeniti smanjenje broja nesreća i smanjenje troškova sve većom ugradnjom aktivnih sustava stabilnosti. [3, 10]

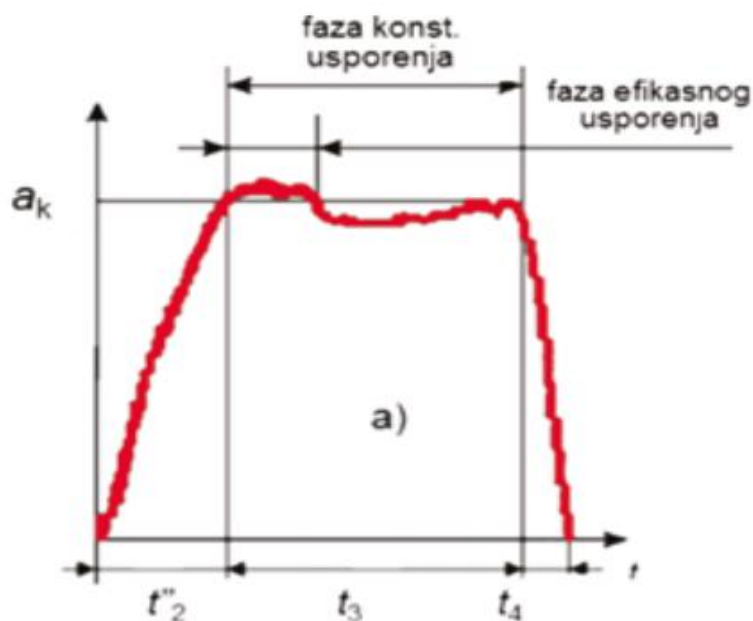
U razvijenijim zemljama Europske Unije nesreće i posljedice nesreća izražene u relativnim brojevima nešto su niže nego u Hrvatskoj. Unatoč tome, slične strukture nesreća ukazuju na ujednačenost mjera pasivne sigurnosti, a razlike se očituju u cestovnoj infrastrukturi i prometnoj kulturi. Osim Zakona o sigurnosti prometa na cestama donesenog 2008. godine, Vlada Republike Hrvatske je 14. travnja 2011. godine donijela peti Nacionalni program sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje 2011. - 2020. (NN 59/11) dok je u pripremi izrada šestog Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje 2021-2030. Na hrvatskim cestama od 2011. do 2020. godine dogodilo se 335538 prometnih nesreća u kojima su stradale 107444 osobe, od kojih je 3324 poginulih, 27827 teško ozlijeđenih te 116881 lakše ozlijeđenih. Od te brojke 13228 nastradalih je u 2011. godini, a trend smanjenja vidljiv je na broju stradalih u 2020. godini kada iznosi 7710 osoba. Broj poginulih u prometnim nesrećama u posljednjih deset godina pao je sa 418 u 2011. godini na 237 u 2020. godini. U 2020. godini pad je poginulih osoba u odnosu na prethodnu godinu za 60 osoba ili 20,2%. U tom razdoblju raste broj registriranih vozača motornih vozila za 5,2%, kao i broj registriranih motornih vozila za 14,8%. Broj poginulih osoba na 100000 vozila smanjio se s 21,2% u 2011. godini na 10,5% u 2020. godini, a broj poginulih osoba na 100000 vozača s 18,6% u 2011. godini na 10% u 2020. godini. Od ukupnog broja prometnih nesreća u 2020. godini na slijetanje vozila s ceste otpada 3832 slučaja, odnosno 14,7%, od kojih je 68 s poginulima (31,8%), a 1623 s ozlijeđenima (21,7%). [32]

Provedbom petog Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2011. - 2020. nastavlja se težnja za smanjenjem broja poginulih osoba za 50% do 2020. godine u odnosu na 2010. godinu. U 2020. godini poginule su 24 osobe više, odnosno 11,3% više nego što je predviđeno u petom Nacionalnom programu (5,8 osoba na 100000 stanovnika). Pojavom pandemije COVID-19 2020. godine dolazi do smanjenja obujma prometnih tokova. Razlika između očekivanog i stvarnog broja poginulih bitno je smanjena u odnosu na prethodnu 2019. godinu. Na temelju iskustava i rezultata provedbe dosadašnjih nacionalnih programa sigurnosti cestovnog prometa u prethodnim razdobljima i uz trenutačne okolnosti borbe protiv pandemije COVID-19 nastojat će se provoditi politika smanjenja smrtno stradalih i teško ozlijeđenih osoba. Glavni cilj šestog Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje 2021-2030. je poboljšanje sigurnosti prometa na cestama

dostizanjem cilja 50% smanjenja smrtnog stradavanja i teškog ozljeđivanja sudionika u prometu do 2030. godine. [32]

5.2. KOČENJE VOZILA SA I BEZ ABS-a

Pri kočenju kod sustava bez ABS-a kotač sve više proklizava dok ne dođe do blokade jer prije dolazi do smanjenja obodne brzina kočenog kotača nego brzine vozila. Posljedica blokiranja kotača je nemogućnost upravljanja vozilom pa vozilo nastavlja kretanje u smjeru inercije ili u zavoju izlijeće s putanje kretanja. Usporenje vozila bez ABS-a doseže maksimum (a_k) pri samom početku kočenja dok kotači vozila nisu blokirani (Slika 16.). Kada kotači blokiraju usporjenje i zaustavljanje vozila je manje djelotvorno te kod manjih brzina, navedeni maksimum usporjenja čini najveći dio procesa kočenja. Rast usporjenja do maksimalnog usporjenja vremenski dugo traje u odnosu na ukupno vrijeme kočenja (t_3), dok samo maksimalno usporjenje traje kratko s obzirom na vrijeme kočenja. Kada se vozilo koči pri većim brzinama proces kočenja traje dulje, a faza maksimalnog efikasnog usporjenja čini manji dio procesa kočenja. Blokiranjem kotača pri forsiranom kočenju kočna postaje veća od sile prianjanja što dovodi do klizanja i smanjenja usporjenja vozila. [5]



Slika 16. Dijagram kočenja vozila bez ABS-a [5]

Pri određenoj vrijednosti proklizavanja, smanjenje obodne brzine kotača se ABS regulacijom smanjuje i povećava, pri čemu nema maksimalnog usporjenja u početku kočenja (Slika 17.). ABS registrira prijetnju određivanjem granice usporjenja kotača na početku kočenja koja smije biti malo iznad maksimalnog mogućeg usporjenja vozila jer bi u suprotnom prevelika

granica dovela do nestabilnog područja krivulje proklizavanja. ABS koči i otkoči kotač deset i više puta u sekundi blizu granice blokiranja što postupno povećava usporenje. Manje vrijednosti usporenja postižu se u početku kočenja, dok se najveće vrijednosti usporenja (a_k) postižu u stabilnom području. Rast usporenja vremenski kratko traje u odnosu na ukupno vrijeme kočenja (t_3), za razliku od kočenja bez ABS-a. Razlikujemo fazu konstantnog usporenja i fazu efikasnog usporenja. Kod vozila s ABS-om u fazi efikasnog usporenja se nakon prilagodbe opterećenja kotača i podloge kontinuirano povećava usporenje vozila do maksimalnih vrijednosti. Iskorištava se najveća sila prijanjanja za prijenos kočne sile i bočne sile za upravljanje vozilom zbog toga što kočna sila ostaje manja od sile prijanjanja kotača s podlogom. Time se smanjuje vrijeme i put kočenja te povećava stabilnost upravljanja vozilom. [5]

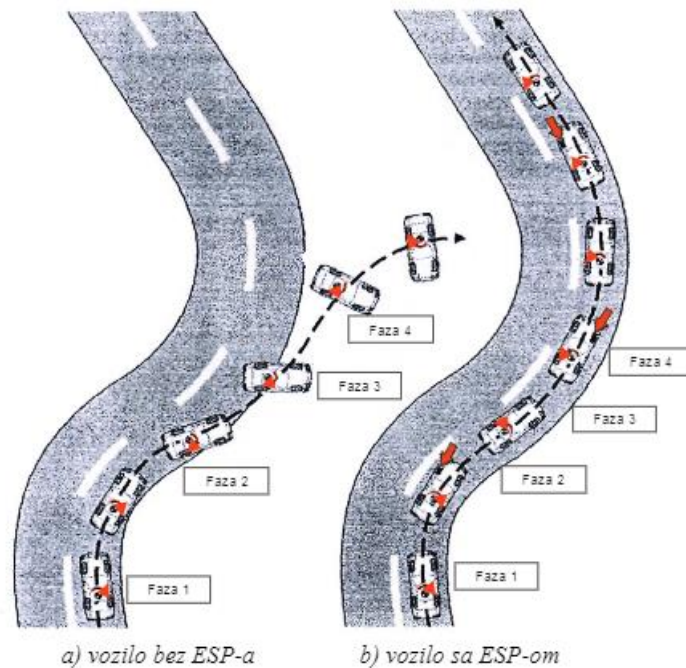


Slika 17. Dijagram kočenja vozila sa ABS-om [5]

5.3. SIMULACIJA KRETANJA VOZILA SA I BEZ ESP-a

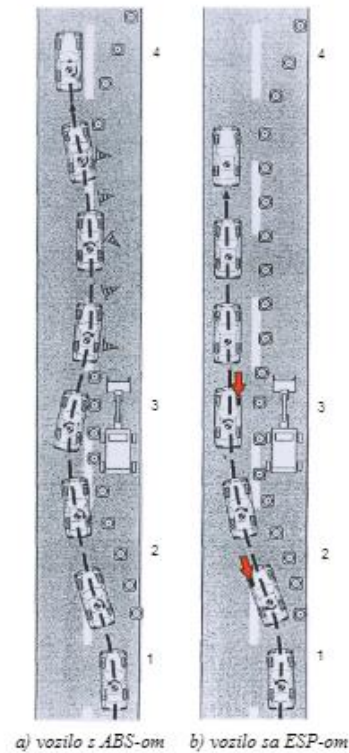
Vožnja prema desnom zavoju vozila sa i bez ESP-a (Slika 18.) znatno se razlikuje. Početna brzina kretanja vozila je 144 km/h na suhom kolniku s visokim koeficijentom prijanjanja. Početak vožnje i ponašanje jednako je za oba vozila. U prvoj fazi (Slika 18. a, faza 1.) vozači koče, a nakon toga se promatra ponašanje vozila sa i bez ESP sustava. Vozilo bez ESP sustava dolazi u opasnost od nestabilnosti odmah poslije prvog izvedenog pokreta volanom (Slika 18. a, faza 2.). Na prednjim kotačima pri naglom upravljanju stvaraju se jake bočne sile, a na stražnjim slabije. Vozilo se zakreće u desno oko svoje horizontalne osi. Vozilo ne reagira na protuupravljanje (Slika 18. a, faza 3.) i njime se više ne može upravljati. Raste kritična brzina i dolazi do izlijetanja vozila s kolnika (Slika 18. a, faza 4.). Vozilo s ESP-om suočava se s prijetećom nestabilnosti (Slika 18. b, faza 2.). Poslije prvog okretanja volanom aktivnim kočenjem bez utjecaja vozača smanjuje se kritična brzina, a vozilo se stabilizira. Poslije protuupravljanja mijenja se kritični moment, a samim time i kritična brzina (Slika 18. b, faza

3.). Kratko kočenje (Slika 18. b, faza 4.) na prednjim kotačima dovodi do potpune stabilnosti pa se vozilom može dalje normalno upravljati. [10]



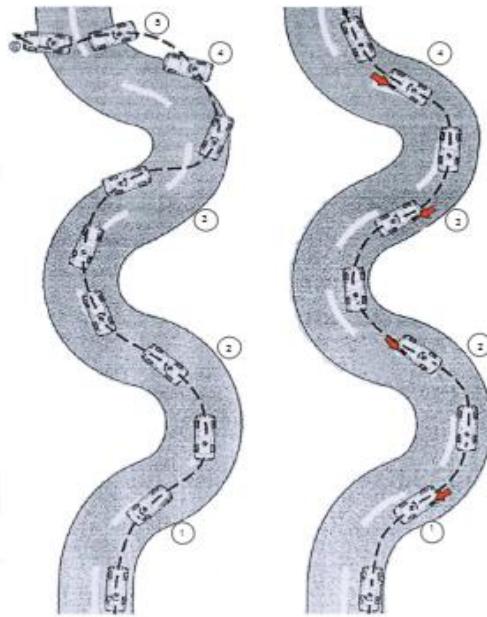
Slika 18. Ponašanje vozila u desnom i lijevom zavoju kod brzog upravljanja i protuupravljanja [10]

Drugi slučaj prikazuje vozilo na kraju kolone u nepreglednom području. Ako ne pomogne naglo kočenje, vozilo mora promijeniti prometnu traku da bi se izbjegao sudar (Slika 19.). Iako vozilo ima ABS, bez ESP-a bi nakon naglog skretanja došlo do zanošenja. U ovom primjeru početna brzina oba vozila je 50 km/h i nalaze se na zaleđenom kolniku s koeficijentom prijanjanja $\mu = 0,15$ te se prati njihovo ponašanje. Vozilo s ABS-om, ali bez ESP-a, odmah pri prvom pokretu volanom osjeti povećanje kuta skretanja i kritične brzine, pa vozač mora protuupravljati tijekom čega naglo nastaje kut skretanja u drugom smjeru. To zahtijeva brzu reakciju vozača i on u zadnjem trenu uspijeva stabilizirati vozilo i zadržati ga na kolniku. Vozilo s ESP-om ostaje stabilno jer se kut skretanja i kinetička brzina ostaju u području gdje ih vozač lako može savladati. Smanjeni su zahtjevi za vozačeve aktivnosti, vozač se može bolje koncentrirati i neće biti iznenađen nestabilnim ponašanjem vozila. [10]



Slika 19. Promjena trake na kolniku pri potpunom kočenju bez i sa ESP-om [10]

U vožnji s puno lijevih i desnih zavoja vozilom se upravlja u obliku slaloma (Slika 20.). U takvoj vožnji upravljač se prije svakog sljedećeg skretanja mora još jače okrenuti što dovodi do poprečne dinamike vozila, a time i do maksimalnog utjecaja ESP-a. Prikazano je ponašanje vozila sa i bez ESP-a na kolniku prekrivenim snijegom, koeficijentom prijanjanja $\mu = 0,45$ i brzinom oko 70 km/h bez kočenja. Na takvom kolniku se mora konstantno održavati broj okretaja motora i polako ga povećavati. Pri naglim promjenama s upravljanja na protuupravljanje raste pritisak na mehanizam upravljanja i dolazi do nestabilnosti vozila. Pri pokušaju ispravljanja vozila, vozilo ne reagira, nego izlijeće s kolnika. Rastu kut skretanja i kritična brzina. ESP rano sprječava promjene upravljanja u protuupravljanje, a time i nestabilnost vozila. Uz pomoć motora dolazi do kočenja na sva četiri kotača, a vozilo ostaje stabilno i upravljivo. Kut skretanja i kritična brzina se reguliraju tako da vozač može normalno upravljati vozilom. [10]



Slika 20. Višestruko upravljanje i protuupravljanje s povećanim brojem okretaja volana [10]

5.4. PRIMJENA ELEKTRONSKIH SUSTAVA NA SUVREMENIM AUTOMOBILIMA

Primjena senzorske i mikroprocesorske tehnologije značajno utječe na razvoj elektronskih sustava i poboljšanje sigurnosti. Udio cijene elektronike u prosječnom automobilu u 2003. godini je oko 8% (u boljih modela i 30 do 40%, a do 2010. godine se procjenjuje da će biti 20 do 40% od proizvodne cijene. Procjenjuje se da je više od 80% inovacija u automobilskoj industriji temeljeno na elektronskim sustavima. Razvoj aktivne zaštite vodi prema razvoju potpune aktivne kontrole zanošenja AYC (eng. *Active Yaw Control*).

Neki od aktivnih sustava potpore vozaču su sustav upozorenja i hitnog kočenja (eng. *Warning and Emergency Braking Systems*), nadziranje mrtvog kuta (eng. *Blind Spot Monitoring*), potpora vožnje u voznom traku (eng. *Lane Support Systems*), održavanje razmaka, upozorenje o brzini (eng. *Speed Alert*) i dr. Kombinirani aktivni i pasivni sustav sigurnosti CAPS (eng. *Combined Active & Passive Safety*) modularni je sustav sigurnosti koji objedinjuje rad pojedinih aktivnih i pasivnih sustava. Time se smanjuje opasnost od ozljeda u frontalnim, bočnim ili stražnjim sudarima te kod prevrtanja vozila. *Torque Vectoring* strategija primjenjuje se kod električnih vozila i omogućuje različite okretno momente na pojedinim kotačima po intenzitetu i smjeru što omogućava najveće ubrzanje. Primjerice u zavoju dok su vanjski kotači više opterećeni, njima se predaje više okretnog momenta. [3, 5, 10]

Mogućnosti dodatne aktivne kontrole [3]:

- U kojem smjeru i koliko okretati upravljač sa servoupravljačem (EPS)
- U kojem kotaču i koliko primijeniti prigušenje ovjesom (*Active Suspension*)

- Aktivna kontrola od prevrtanja vozila (ARS – eng. *Active Roll Stabilization*)
- Upravljanje stražnjim kotačima u varijanti 4WS

5.4.1. MERCEDES CROSSWIND STABILIZATION

Mercedes Benz razvio je sustav pomoći za vozača koji izbjegava gubitak kontrole nad vozilom i zanošenje zbog naglog naleta vjetra zvan *Crosswind Assist*. Sustav nastoji pomoći vozačima da održe putanju vožnje u voznoj traci u situacijama jakih udara vjetra gdje iznenadni udari mogu uzrokovati silu promjene smjera kretanja. Općenito su vozila koja se kreću velikim brzinama vrlo osjetljiva na bočni vjetar, kao i karavani, terenci, kombiji i veliki automobili. Zbog toga postoje šanse da vozač izgubi kontrolu nad vozilom, bilo zbog samog djelovanja vjetra ili pretjerane i neprimjerene reakcije vozača. Ova pojava naročito se osjeti kada vozilo putuje uskim mostom ili kada veće vozilo poput kamiona prestigne manje vozilo. U *Mercedes-Benz* vozilima poput *GL-klase*, *S-klase* ili *Sprintera*, *Crosswind Assist* tehnologija dio je standardne opreme.

Pri brzinama većim od 50 km/h, senzor zakretanja oko okomite osi detektira bočne sile vjetra, a zatim vrši protuupravljanje primjenjujući selektivnu bočnu silu kočenja, kako nalaže prilagodljivi ESP. Ako zabilježi snažne udare vjetra koji djeluju na automobil, na svakom se kotaču izvršava niz pojedinačnih kočenja za korekciju. *Crosswind Assist* primjenjuje silu otpora inteligentnim kočenjem kotača na strani smjera djelovanja vjetra. Tako se izbjegava neželjeno zanošenje vozila, a vozilo ostaje u voznoj traci. Za izvršavanje ovog zadatka koriste se komponente ESP sustava. Najnapredniji oblik ovog sustava ima sposobnost mijenjanja brzine prigušenja čvrstih ovjesa. Stoga može preciznije upravljati vozilom. Ovaj sustav djeluje učinkovitije kada je smjer vjetra okomit na tijelo vozila. Za nalet vjetra koji se kreće u slučajnom smjeru, korektivno kočenje koje sustav primjenjuje možda neće biti stopostotno točno. [33, 34, 35]

Mercedes-Benz dodao je funkciju stabilizacije bočnog vjetra u aktivnu kontrolu razine karoserije (ABC – eng. *Active Body Control*) za *S-klas*u iz 2009. ABC koristi senzore brzine zanošenja, bočnog ubrzanja, kuta upravljanja i brzine elektroničkog programa stabilnosti ESP za promjenu raspodjela opterećenja kotača preko opružnih nosača, ovisno o smjeru i intenzitetu bočnog vjetra. Ova funkcija mora razlikovati reakcije vozila uzrokovane bočnim vjetrom od reakcija vozača ili neravnina na cesti. Učinci bočnog vjetra mogu se nadoknaditi na ovaj način, ili svesti na minimum u slučaju jakih udara. [36]

5.4.2. MAZDA G VECTORING CONTROL

GVC (eng. *G-Vectoring Control*) je elektronički sustav koji radi s *Mazdinim* asortimanom *SkyActiv* kako bi osigurao bolji osjećaj vožnje za volanom, linearniji odziv

upravljača, dodatnu sigurnost i smanjeno umaranje vozača (Slika 21.). Ova tehnologija rezultat je intenzivnog promatranja ljudskog ponašanja te načina na koji tijelo reagira na pokret. Svako djelovanje u ljudskoj strukturi povezano je, tako da kada vozilo skreće, rade se sve vrste uravnoteženja kako bi pokušalo zadržati glavu putnika u ravnini očiju. *Mazda* „teorija minimalnog trzaja“ nastoji kontrolu vožnje osigurati što prirodnijom i lakšom po uzoru na ljudsko kretanje. Sustav može raditi brzinom manjom od 50 milisekundi koja je brža od reakcije i najiskusnijeg vozača. Prema testiranjima, GVC radi čak i kada je tempomat aktiviran, odnosno svaki put kad se dodaje gas. [37, 38, 39]

Na sustav ne utječu ESC ni ASR i radi neovisno o njima. S GVC-om, *Mazda* nije bila vezana za norme postojeće dinamike kretanja vozila. Prvi put u automobilskoj industriji dolazi do povezivanja i kontrole uzdužnih i vodoravnih *G-sila* (ubrzanje) koje su bile pojedinačno kontrolirane. Dotad nikad nije bilo riječi o kontroli uzdužnih opterećenja prilikom skretanja, jer se to smatralo vozačevom odgovornošću. U *Mazdi* vjeruju da ako vozač ima mogućnost osjetiti čitav proces, od motora koji pretvara gorivo u energiju do te energije, a zatim prijenos od guma

SkyActiv motori razvijeni su s principom učinkovitog pretvaranja energije u gibanje. Jedan *Mazdin* inženjer proveo je osam godina razvijajući GVC kako bi sustav bio spreman za korištenje na cestovnim automobilima. *Mazda G-Vectoring Control* i *Mazda G-Vectoring Control Plus* sustavi su dinamike i upravljanja vozilom koji reagiraju na ulaze upravljača suptilnim okretnim momentom motora i promjenama kočenja. *Mazda* je sjevernoameričke potrošače upoznala s *G-Vectoring Controlom* u *Mazdi 2017.*, a *G-Vectoring Control Plus* predstavila je u *Mazdi 3* i *Mazdi CX-5* 2019. godine. Danas većina *Mazda* ima tehnologiju. Za 2020. godinu, sve *Mazde* imaju *G-Vectoring Control*, osim *MX-5 Miata*. *G-Vectoring Control Plus* standardna je oprema na svim ostalim modelima *Mazde* 2020. godine, osim malog *crossovera CX-3*, koji koristi izvornu verziju *G-Vectoring Control*.

U procesu razvoja tehnologije *SkyActiv*, *Mazda* je napravila revolucionarne inovacije sklopovlja automobila, poput karoserije, šasije, motora i mjenjača. S GVC-om se povezuje inovativno sklopovlje kako bi automobil ostvario puni potencijal, u smislu međudjelovanja pogonskog sklopa i šasije. Na temelju upravljanja vozača, GVC koristi motor za optimizaciju kontrole opterećenja uz brzi odziv *SkyActiv* motora. *SkyActiv-D* i *SkyActiv-G* sposobni su za izuzetno brzu i preciznu kontrolu kojom se ostvaruje optimalan okretni moment na temelju zakreta upravljača.

Prilagođavajući zakretni moment motora kao odgovor na upravljanje, *Mazda* je u stanju prebaciti težinu na ovjes vozila, ovisno o zahtjevima situacije. U vožnji *G-Vectoring Control* djeluje potpuno neprimjetno. Pri ulasku u zavoj, *G-Vectoring Control* trenutno podešava zakretni moment motora da uzrokuje suptilan pomak težine na prednje kotače, poboljšavajući odziv u zavojima i čineći da se vozilo osjeća bolje uravnoteženo i prirodniji osjećaj za vozača i putnike. U sredini zavoja, dok vozač drži određeni položaj upravljanja, *G-Vectoring Control* ponovno procjenjuje zahtjeve zakretnog momenta motora i prilagođava ga za prebacivanje težine na stražnje kotače. Zbog toga se vozilo osjeća stabilnije kroz zavoj i pri ubrzanju iz njega. *Mazda G-Vectoring Control Plus* dodaje suptilno i trenutno kočenje s ciljem bolje stabilizacije vozila pri izlasku iz zavoja ili zavoja. Kad vozač uspravi volan nakon okretanja vozila, *G-Vectoring Control Plus* primjenjuje lagano, suptilno kočenje samo na prednji kotač

na strani suprotnoj od smjera zavoja. Drugim riječima, ako bi vozač upravljao lijevo, *G-Vectoring Control Plus* aktivirao bi kočenje na desnom prednjem kotaču dok vozilo izlazi iz zavoja. To pomaže smanjiti dio prijenosa težine na stražnje kotače, čineći da se automobil osjeća stabilnije i prirodnije za vozača i putnike. *G-Vectoring Control Plus* također radi tijekom promjene trake i tijekom vožnje na skliskim površinama. [37, 38, 39]



Slika 21. Mazda G Vectoring sustav [39]

6. ZAKLJUČAK

Suvremeni elektronski sustavi stabilnosti doprinose poboljšanju i prilagođavanju uvjeta vožnje u svrhu ostvarivanja performansi i otklanjanju smetnji koje mogu biti uzrokovane nepažnjom vozača, precjenjivanjem vlastitih sposobnosti, prekomjernom brzinom i slično. Same prilike na cesti i vremenski uvjeti također mogu uvelike ugroziti stabilnost vožnje i time sigurnost vozača i ostalih sudionika u prometu. Neželjene situacije prilikom pokretanja vozila, same vožnje ili kočenja očituju se u klizanju, zanošenju ili prevrtanju vozila. U tu svrhu elektronski sustavi pravovremeno prepoznaju moguću neželjenu pojavu.

Mnogi elektronski sustavi sadrže iste komponente ili djeluju koordinirano, koristeći signale i informacije jedni od drugih. Korekcija se vrši integracijom upravljanja raznih sustava podvozja koji sa svojim komponentama poput senzora, upravljačkih jedinica i modulatora, čine funkcionalne cjeline koje svojim djelovanjem stabiliziraju vozilo neovisno o vozaču. Prianjanje između pneumatika i podloge često je narušeno svojstvima same podloge ili vremenskim prilikama, prilikom čega elektronski sustavi stabilnosti djeluju na rad motora, kočnica ili prijenosnika snage prethodno prepoznajući nastalu situaciju i aktiviranjem korektivnog djelovanja radi povećanja stabilnosti kretanja.

Korištenjem aktivnih elektronskih sustava sigurnosti ostvaruje se velik napredak u smanjenju prometnih nesreća i smanjenju smrtno stradalih ljudi. To je posljedica planiranja i strategija koje nalažu sve veću primjenu sigurnosnih sustava u vozilima. Na temelju analiza troškova i koristi vidljive su prednosti ugradnje aktivnih sustava stabilnosti očitovane u spašenim ljudskim životima, prema kojima dolazi do smanjenja pojave prometnih nesreća kao i ublažavanja posljedica u slučaju nesreća, a velike uštede novčanih sredstava zbog manjeg broja prometnih nesreća ostvaruju dobru ekonomsku isplativost. Europska Komisija uspijeva realizirati plan 50%-tnog smanjenja smrtnosti tijekom razdoblja od 10 godina primjenom Uredbe 661/2009. te se nakon toga na temelju zadovoljavajućih rezultata iz 2007., prema kojima je smrtnost pala za 70%, uvodi obvezna proizvodnja vozila sa ugrađenim ESP sustavom stabilnosti od 2011. godine.

Ulaskom Republike Hrvatske u EU, primjena Uredbe 661/2009 postaje moguća kao nadogradnja prijašnje strategije o smanjenju prometnih nesreća. Uvođenjem obvezne ugradnje aktivnih sustava u EU, takvo nastojanje dolazi i u Republiku Hrvatsku kao temelj poboljšanja sigurnosti za naredno razdoblje sve većim uvozom vozila opremljenih aktivnim sustavima sigurnosti i mogućnosti stvaranja novih strategija. Prema istraživanjima o prometnim nesrećama u Republici Hrvatskoj, nakon provođenja petog Nacionalnog programa cestovne sigurnosti republike Hrvatske od 2011.-2020. godine, smrtnost nije smanjena prema očekivanjima, no razlika između stvarnog i očekivanog broja poginulih bila je manja nego prethodnih godina. Pojavom pandemije COVID-19 2020. godine dolazi do smanjenja mobilnosti ljudi što se također uzima u obzir prilikom statističke analize. Razvojem šestog Nacionalnog programa od 2021.-2030. godine nastojat će se ostvariti 50% smanjenje teških prometnih nesreća s poginulim i teško ozlijeđenim osobama, što bi se moglo ostvariti razvojem novih sustava, poboljšanjem infrastrukture te povećanom osviještenosti sudionika u prometu.

POPIS LITERATURE:

- [1] Đ. Šilić, Ispitivanje motornih vozila, Velika Gorica: Veleučilište Velika Gorica, 2010.
- [2] <https://pdfslide.tips/documents/stabilnost-vozila.html>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [3] D. Mikulić, AKTIVNI SUSTAVI SIGURNOSTI MOTORNIH VOZILA, Velika Gorica: Veleučilište Velika Gorica, 2011.
- [4] D. Ranogajec, I. Voloder, Tehnika motornih vozila, Zagreb: Pučko otvoreno učilište, 2013.
- [5] D. Mikulić, MOTORNA VOZILA, Teorija kretanja i konstrukcija, Velika Gorica: Veleučilište Velika Gorica, 2020.
- [6] V. Cerovac, TEHNIKA I SIGURNOST PROMETA, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; Fakultet prometnih znanosti, 2001.
- [7] I. Pavlik, Utjecaj pneumatika na stabilnost cestovnih vozila, Zagreb, 2016.
- [8] V. Antolković, Utjecaj parametara vozila na ponašanje vozila u ispitnim procedurama vezanim za stabilnost, Diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2017./2018.
- [9] I. Gazdek, Utjecaj parametara vozila na ponašanje vozila u ispitnim procedurama vezanim za upravljivost, 2017.
- [10] I. Mavrin, E. Bazijanac, M. Sučić, ELEKTRONIČKA REGULACIJA KOČENJA I STABILNOSTI VOZILA - Osnove i propisi, Zagreb: HRVATSKI AUTOKLUB, 2006.
- [11] <https://www.autoevolution.com/news/esp-mandatory-in-europe-starting-november-1st-2014-video-88287.html>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [12] <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/brake-assist.htm>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [13] <https://avtotachki.com/hr/chtotakoe-elektronnaya-tormoznaya-sistema-avtomobilya/>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [14] <https://www.cars-data.com/en/technical-terms/dbc-dynamic-brake-control.html>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [15] <https://www.bosch-repair-service.com/en/category/ehb-for-vehicles-with-sbc-system/>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [16] <http://www.123seminaronly.com/Seminar-Reports/043/69283323-Sensotronic-Brake-System-Rahul.pdf>., pristupljeno: srpanj, 2021.

- [17] https://www.academia.edu/37657235/Sensotronic_brake_control_and_brake_wear_sensor., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [18] <https://cfrs.ru/hr/akkumulyator/chto-takoe-sistema-raspredeleniya-tormoznyh-usilii-ebd-elektronnaya-sistema.html.>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [19] <https://hr.go-travels.com/70731-electronic-brake-force-distribution-534808-3166050.>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [20] <https://scootforward.ru/hr/gsm-moduli/elektronnaya-sistema-raspredeleniya-tormoznyh-sil-ebd-tormozit/..>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [21] K. Filipović, Utjecaj suvremenih elektroničkih sustava za kočenje, Zagreb, 2015.
- [22] <https://philkotse.com/safe-driving/so-you-know-what-is-electronic-braking-system-eps-4592.>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [23] <http://hr-kamioni.com/eps-kocioni-sustav/..>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [24] <https://www.mantruckandbus.com/en/company/glossar/eps-electronic-braking-system.html.>, pristupljeno: srpanj 2021.
- [25] <http://latesttechnology-world.blogspot.com/2014/06/wedge-brake-system.html?m=1.>, pristupljeno: srpanj 2021.
- [26] https://parshinpn.ru/sites/default/files/page/13/files/sv_estop_sae_brake_colloquium013196.pdf., pristupljeno: srpanj 2021.
- [27] <https://www.auto123.com/en/news/the-electronic-wedge-brake/50886/..>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [28] R. Konrad, Automotive Mechatronics - Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [29] A. Shaout, K. McGirr, Real-Time Systems in Automotive Applications: Vehicle Stability Control, Dearborn, 2013.
- [30] R. B. GmbH, Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics - Systems and Components, Networking and Hybrid Drive, Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2007.
- [31] I. Šumiga, M. Horvat, ELEKTRONIČKI SUSTAVI U AUTOMOBILU, Varaždin, 2010.
- [32] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa u 2020., Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske, 2020., www.mup.hr.
- [33] <https://www.caranddriver.com/news/a15365416/problems-with-blow-crosswind-assist-is-coming-to-keep-you-and-your-sprinter-on-a-straight-path/..>, pristupljeno: srpanj, 2021.
- [34] <https://carbiketech.com/crosswind-assist/..>, pristupljeno: srpanj, 2021.

- [35] <https://www.autoevolution.com/news/mercedes-benz-crosswind-assist-stabilization-explained-video-82940.html>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [36] J. Mauss, K.-D. Hilf, I. Matheis, R. Jochen, Automated simulation of scenarios to guide the development of a crosswind stabilization function, *6th IFAC Symposium Advances in Automotive Control*, Munich, 2010.
- [37] <https://www.caradvice.com.au/456238/mazda-g-vectoring-control-what-is-it/>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [38] <https://www.mazda.com/en/innovation/technology/skyactiv/gvc2/>., pristupljeno: srpanj, 2021.
- [39] <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-is-mazda-g-vectoring-control-plus>., pristupljeno: srpanj, 2021.

POPIS KRATICA:

ABS	(Anti-Lock Braking System) Sustav protiv blokiranja kotača
ASR	(Anti Slip Regulation) Sustav protiv proklizavanja kotača
ESP	(Electronic Stability Program) Elektronička kontrola stabilnosti
SUV	(Sport Utility Vehicle) Sportsko višenamjensko vozilo
TPMS	(Tyre Pressure Monitoring System) Sustav za nadzor tlaka u pneumaticima
EBD	(Electronic Brake Distribution) Sustav elektroničke raspodjele kočenja
MSR	(Motor Spin Regulation) Sustav regulacije broja okretaja motora
TCS	(Traction Control System) Sustav kontrole proklizavanja
TC	(Traction Control) Sustav kontrole proklizavanja
ETC	(Electronic Traction Control) Sustav elektroničke kontrole proklizavanja
CAN	(Control Area Network) Mreža kontrolnog područja
DSC	(Dynamic Stability Control) Dinamička kontrola stabilnosti
VSC	(Vehicle Stability Control) Kontrola stabilnosti vozila
ESC	(Electronic Stability Control) Elektronička kontrola stabilnosti
EU	(European Union) Europska Unija
BAS	(Brake Assist System) Sustav pomoći pri kočenju
PBS	(Panic Brake System) Sustav pomoći pri iznenadnom kočenju
DBC	(Dynamic Brake Control) Dinamičko upravljanje kočnicama
ECU	(Electronic Control Unit) Elektronička kontrolna jedinica
CBC	(Cornering Brake Control) Sustav kontrole kočenja u zavojima
EHB	(Electronic Hydraulic Brakes) Elektronsko hidraulične kočnice
SBC	(Sensotronic Brake Control) Senzotronska kontrola kočenja
EBV	(Elektronische Bremskraftverteilung) Elektronička raspodjela sile kočenja
EBS	(Electronic Braking System) Elektronički sustav kočenja
EWB	(Electronic Wedge Brakes) Elektroničke klinaste kočnice
ACC	(Adaptive Cruise Control) Prilagodljivi tempomat
EDS	(Electronic Differential System) Elektronički diferencijalni sustav
GMA	(Gier Moment Anstiegsverzögerung) Sustav dodatne regulacije sile kočenja

HECU jedinica	(Hydraulic & Electronic Control Unit) Hidrauličko elektronička kontrolna jedinica
DC	(Direct Current) Istosmjerna struja
EMS	(Engine Management System) Sustav upravljanja motorom
EPS	(Electronic Power Steering) Elektronički servo upravljač
4WD	(Four Wheel Drive) Pogon na četiri kotača
AEB	(Autonomous Emergency Braking System) Autonomni sustav kočenja u nuždi
HBA	(Hydraulic Brake Assist) Hidraulička pomoć pri kočenju
AYC	(Active Yaw Control) Aktivna kontrola skretanja
CAPS	(Combined Active and Passive Safety) Kombinirana aktivna i pasivna sigurnost
ARS	(Active Roll Stabilization) Aktivna kontrola od prevrtanja vozila
ABC	(Active Body Control) Aktivna kontrola razine karoserije
GVC	(G-Vectoring Control)

POPIS SLIKA:

Slika 1. Sile koje djeluju pri kretanju vozila na usponu	3
Slika 2. Relativno klizanje kotača pri ubrzanju i kočenju	4
Slika 3. Zanošenje vozila prednjim dijelom (podupravljivost)	5
Slika 4. Zanošenje stražnjim dijelom (preupravljivost)	6
Slika 5. Ovisnost prevrtanja vozila o rezultantnoj sili	7
Slika 6. Dijagram koeficijenta prijanjanja.....	9
Slika 7. Djelovanje sila pri skretanju kotača	12
Slika 8. Prikaz djelovanja ESP-a pri obilaženju opasnosti	15
Slika 9. EBS sustav na teretnom vozilu	19
Slika 10. Dijelovi EWB sustava	21
Slika 11. Komponente hidrauličko-elektroničke upravljačke jedinice	25
Slika 12. Princip rada ABS-a.....	26
Slika 13. Shema ASR-a	28
Slika 14. Sastavni dijelovi ESP sustava	30
Slika 15. Komponente BAS-a	33
Slika 16. Dijagram kočenja vozila bez ABS-a.....	36
Slika 17. Dijagram kočenja vozila sa ABS-om.....	37
Slika 18. Ponašanje vozila u desnom i lijevom zavoju kod brzog upravljanja i protuupravljanja	38
Slika 19. Promjena trake na kolniku pri potpunom kočenju bez i sa ESP-om	39
Slika 20. Višestruko upravljanje i protuupravljanje s povećanim brojem okretaja volana	40
Slika 21. Mazda G Vectoring sustav.....	43



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Analiza rada elektronskih sustava za stabilnost vozila**

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

U Zagrebu, 4.9.2021

Student/ica:

Franje Kambur
(potpis)