Analiza glavnih uzročnika promjene tehničkog stanja cestovnih vozila

Kapusta, Igor

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:294983

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Igor Kapusta

ANALIZA GLAVNIH UZROČNIKA PROMJENE TEHNIČKOG STANJA CESTOVNIH VOZILA

ANALYSIS OF THE MAIN CAUSES FOR CHANGE OF ROAD VEHICLE TECHNICAL CONDITIONS

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA GLAVNIH UZROČNIKA PROMJENE TEHNIČKOG STANJA CESTOVNIH VOZILA

ANALYSIS OF THE MAIN CAUSES FOR CHANGE OF ROAD VEHICLE TECHNICAL CONDITIONS

Mentor: mr. sc. Ivo Jurić

Student: Igor Kapusta, 0135219438

Zagreb, 2015.

ANALIZA GLAVNIH UZROČNIKA PROMJENE TEHNIČKOG STANJA CESTOVNIH VOZILA

SAŽETAK

Promjenom tehničkog stanja cestovnog vozila mijenja se i struktura prijevoznog procesa. Tako da promjena stanja određenog prijevoznog sredstva iz onoga „u radu“ u stanje „u kvaru“ ne utječe samo na dostupnost, odnosno tehničku ispravnost za obavljanje prijevoznog zadatka već i na cjelokupan prijevozni proces. Samim time smanjuje se mogućnost ispunjenja zahtjeva potražnje, što u konačnici uzrokuje financijske gubitke. Stoga je neophodna analiza utjecaja negativnih čimbenika kao što su zamor, korozija i trenje, čiji se negativan utjecaj može ublažiti pravilnom uporabom i kvalitetnim održavanjem. Također postoje i vanjski čimbenici odnosno atmosfersko klimatski uvjeti koji se mijenjaju tokom godine i tako smanjuju operativnu spremnost cestovnog vozila.

KLJUČNE RIJEČI: promjena tehničkog stanja; negativni čimbenici; održavanje

ANALYSIS OF THE MAIN CAUSES FOR CHANGE OF ROAD VEHICLE TECHNICAL CONDITIONS

SUMMARY

By changing the technical condition of road vehicles, the structure of the transport process also changes. That changes the state of a certain means of transport from the "working" one to the "defective" one and affects not only the availability and technical soundness to perform the task of transport, but also the entire transport process. It also reduces the possibility of meeting the requirements of demand, which ultimately causes financial losses. That is why analysis of the impact of negative factors such as fatigue, corrosion and friction is required, as their negative impact can be reduced by using proper and quality maintenance. There are also external factors and atmospheric climatic conditions that change throughout the year, thus reducing the operational competence of road vehicles.

KEYWORDS: change of the technical condition; negative factors; maintenance

SADRŽAJ

1. UVOD....1
2. OPIS MOGUĆIH STANJA VOZILA....3
2.1. Klasifikacija kvarova....4
2.2. Intenzitet i zakonitost pojave kvarova....5
3. UTJECAJ ZAMORA, KOROZIJE I TROŠENJA NA PROMJENU TEHNIČKOG STANJA VOZILA....8
3.1. Zamor....8
3.2. Korozija....10
3.2.1. Elektrokemijska korozija....11
3.2.2. Kemijska korozija....12
3.3. Trošenje....12
3.3.1. Suho trenje....15
3.3.2. Hidrodinamičko trenje....17
3.4. Klasifikacija oblika trošenja....23
4. UTJECAJ PUTNIH I TRANSPORTNIH UVJETA....26
5. ANALIZA UTJECAJA ATMOSFERSKO-KLIMATSKIH UVJETA....33
6. UTJECAJ KVALITETE UPORABE I ODRŽAVANJA....36
7. ZAKLJUČAK....41
LITERATURA....43
POPIS SLIKA....44
POPIS TABLICA....46

1. UVOD

Svako sredstvo za rad, pa tako i cestovno vozilo, ima određeni vijek trajanja. Neodgovarajući režimi uporabe i održavanja cestovnih vozila negativno utječu na njihov uporabni vijek i operativnu raspoloživost, što izravno utječe na uspješnost izvršenja prijevoznih zadataka. Radom i međudjelovanjem pripadajućih elemenata i sklopova motornog vozila dolazi do njihovog postepenog trošenja, što negativno utječe na njihovo tehničko stanje. Tako, uslijed dugog i nepravilnog korištenja, dolazi do dotrajalosti pojedinih dijelova koje je potrebno pravodobno zamijeniti. Stoga je, da bi se vijek trajanja dijelova a samim time i vijek trajanja motornog vozila produljio, neophodno pravilno i stručno korištenje i održavanje. Također postoji mnogo utjecajnih čimbenika koji negativno utječu na vijek trajanja motornog vozila pa ih je potrebno pravodobno detektirati kako bi se njihov utjecaj sveo na minimum.

Tema završnog rada je Analiza glavnih uzročnika promjene tehničkog stanja cestovnih vozila**.** Cilj završnog rada je prikazati glavne uzročnike promjene stanja cestovnih vozila, navesti moguća stanja prijevoznih sredstava, analizirati čimbenike koji utječu na navedena stanja, te pobliže objasniti na koji se način kvaliteta održavanja odražava na vijek trajanja cestovnih vozila.

Završni rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Opis mogućih stanja
3. Utjecaj zamora, korozije i trošenja na promjenu tehničkih stanja vozila
4. Utjecaj putnih i transportnih uređaja
5. Analiza utjecaja atmosfersko-klimatskih uvjeta
6. Utjecaj kvalitete uporabe i održavanja
7. Zaključak

U drugom poglavlju su opisana moguća stanja vozila, te su definirani i klasificirani mogući kvarovi.

U trećem poglavlju su prikazani i opisani najvažniji čimbenici koji utječu na promjenu tehničkog stanja vozila, kao što su zamor, korozija i trošenje.

U četvrtom poglavlju opisuje se utjecaj putnih i transportnih uvjeta na intenzitet promjene stanja vozila, te klasifikacija uvjeta uporabe.

Peto poglavlje opisuje utjecaj atmosfersko klimatskih uvjeta na intenzitet promjene stanja vozila, a u šestom poglavlju je prikazan utjecaj kvalitete uporabe i održavanja na tehničko stanje vozila

.

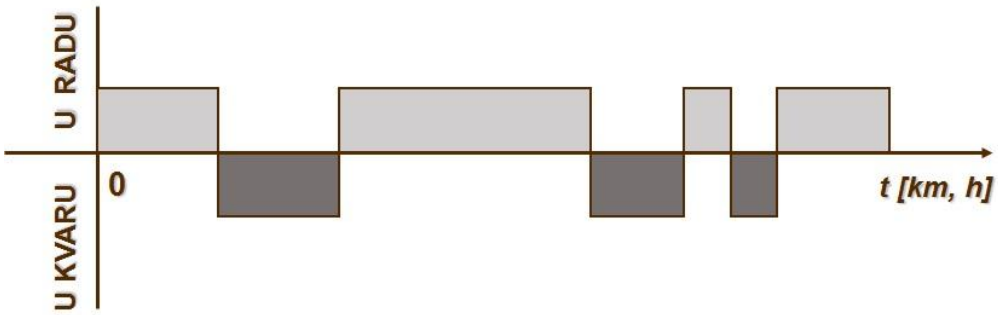
2. OPIS MOGUĆIH STANJA VOZILA

Cilj svih korisnika motornih vozila je da ona što dulje zadovoljavaju projektirane parametre, odnosno da što duže budu u ispravnom stanju. Tijekom vremena neminovno dolazi do promjena na vozilu i korisnik pokušava nizom određenih aktivnosti održati projektiranu radnu sposobnost, odnosno ispravno stanje. Proces eksploatacije, koji je izrazito stohastične naravi, uzrokuje pojave oštećenja i kvarove, a zadatak održavanja je da različitim aktivnostima i zahvatima smanji frekvenciju promjene projektiranih svojstava na vozilu.

Stanje vozila je opis stupnja realizacije funkcije odnosno opis realizacije projektirane ili deklarirane radne aktivnosti. Prema teoriji pouzdanosti vozilo se može nalaziti u dva osnovna stanja, i to: stanje "u radu" i stanje "u kvaru". Stanje "u radu" (SUR) označava potpunu ispravnost vozila, odnosno sve izlazne performanse se nalaze u granicama dozvoljenih odstupanja i ono je u potpunosti sposobno vršiti funkciju namjene. Stanje "u kvaru" (SUK) je svako stanje vozila koje odstupa od definiranih (projektiranih, specificiranih, funkcijom kriterija determiniranih) karakteristika funkcije vozila, [1].

Vozilo se može nalaziti i u većem broju stanja. Stanje "u kvaru" može biti stanje smanjene radne funkcije. Neovisno da li zbog pojave kvara vozilo može nastaviti funkciju s umanjenim performansama (smanjena radna aktivnost) ili nastaje zastoj (prekid svake aktivnosti) pojavom kvara, u teoriji pouzdanosti se smatra da je vozilo izvan funkcije, [1].

Zbog utjecaja niza različitih čimbenika tijekom eksploatacije često dolazi do promjene tehničkog stanja vozila, a time i do pada razine kvalitete. Osnovna stanja vozila se najbolje mogu prikazati i analizirati pomoću vremenske slike stanja (slika 2.1.), [2].



Slika 2.1. Vremenska slika stanja vozila, [2]

Vremenska slika stanja prikazuje segmente vremena "u radu" (iznad vremenske osi, slika 2.1.) i segmente vremena "u kvaru" (ispod vremenske osi), a točka "0" označava početak eksploatacije vozila. Nakon puštanja u rada novog vozila (točka "0", slika 2.1.) ono je ispravno, radno sposobno i u potpunosti izvršava funkciju namjene. U nekom proizvoljnom, slučajnom trenutku vremena (ili nakon određenog broja prijeđenih kilometara) javlja se kvar i vozilo je promijenilo svoje stanje, odnosno prešlo je iz stanja "u radu" u stanje "u kvaru". Pošto je vozilo tipičan primjer popravljivih (obnovljivih) tehničkih sustava, na njemu se tijekom vremena "u kvaru" izvode različite aktivnosti održavanja kako bi se u što kraćem roku vratilo u ispravno stanje i ponovo uključilo u proces eksploatacije.

Svi vremenski intervali koji su prikazani na slici 2.1. su izrazito stohastične naravi. I vrijeme rada (prijeđeni broj kilometara) do pojave kvara kao i vrijeme trajanja kvara, odnosno vrijeme trajanja održavanja (popravka) su slučajni. Treba naglasiti da je čak i vrijeme trajanja planskih popravaka (planirano, preventivno održavanje) slučajne naravi. Odnos između ovih vremena ("u radu" i "u kvaru") govori i o kvaliteti vozila, odnosno o karakteristikama pouzdanosti i pogodnosti za održavanje kao i o kvaliteti ukupne logističke potpore. Iz navedenog se može zaključiti da su i proces eksploatacije kao i proces održavanja vozila slučajni procesi, [2].

2.1. Klasifikacija kvarova

Kvarovi se klasificiraju kako bi se lakše mogli analizirati. Postoji puno kriterija temeljem kojih se mogu klasificirati kvarovi. Kvarove treba analizirati sustavno kako bi istraživanje bitnih karakteristika vozila kao što su efektivnost i pouzdanost bilo znanstveno utemeljeno.

Prema [1] kvarovi se dijele na dvije temeljne vrste:

- neinherentne
- inherentne

Bitna karakteristika neinherentnih kvarova je da nisu svojstveni, ne potječu, odnosno nisu povezani s tehnološkim postupkom rada niti funkcijom vozila, nisu mu inherentni. Takvi kvarovi su obično posljedica lošeg rukovanja, udara, sudara, prirodnih pojava i katastrofa, itd.

Iz gore navedenog je jasno da nikakva teorija i tehnologija ne može istraživati ovakve kvarove. Ipak, iz ove grupe kvarova se mogu izdvojiti kvarovi koji su posljedica lošeg rukovanja i koje je moguće istraživati jer mogu bitno utjecati na radnu sposobnost vozila. Takvi kvarovi nisu inherentni vozilu ali su inherentni rukovateljima (vozači) tih vozila. Kako bi se ovi kvarovi smanjili u vozila se ugrađuju sustavi zaštite ("fool proof" – "otporno na budale"), što opet može povećati kompleksnost vozila, pa i njegovu cijenu.

Inherentni kvarovi su posljedica, odnosno nastaju tijekom radne aktivnosti vozila i dijele se na [1]:

- početni (rani) kvarovi
- slučajni kvarovi
- pozni kvarovi

Početni kvarovi se javljaju tijekom perioda uhodavanja (period "dječjih bolesti") i posljedica su grešaka u konstruiranju, proizvodnji i kontroli kvalitete. Uklanjaju se održavanjem u garantnom roku pa im intenzitet u vremenu naglo opada.

Slučajni kvarovi se javljaju od samog početka eksploatacije (i u periodu uhodavanja), nasumično. Teško im je odrediti uzroke, posljedica su unutarnjih koncentracija naprezanja u elementima vozila. Neki oblici se detektiraju neposredno prije pojave kvara putem različitih simptoma (vibracije, buka, curenje,...). Intenzitet im je konstantan i, ako je poznat, može se predvidjeti vjerojatnost pojave.

Pozni kvarovi ili kvarovi zbog istrošenosti su posljedica starenja vozila i trošenja. Intenzitet im tijekom vremena raste, a mogu se spriječiti pravodobnim mjerama preventivnog održavanja te na taj način produžiti vijek trajanja vozila.

2.2. Intenzitet i zakonitost pojave kvarova

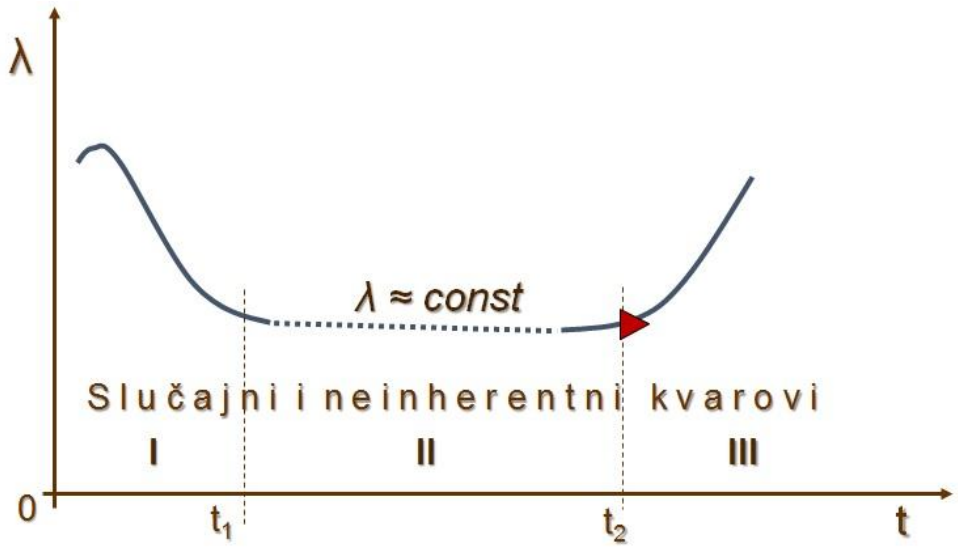
Kako bi se u eksploataciji mogla pratiti pouzdanost vozila vrlo važno je imati dobro organiziran sustav praćenja i analize kvarova. U takvim bazama podataka bi trebale postojati informacije za svaki kvar, odnosno trebale bi sadržavati osnovne komponente identifikacije svakog kvara, a to su: uzrok kvara (lom, istrošenost, olabavljenost, podmazivanje,...), manifestacija (vibracija, buka, ne radi,...), lokacija (zupčasti prijenosnici, elektronika,

elektroinstalacija, ...) i način otklanjanja (zamjena, podešavanje, podmazivanje,...). Podaci o kvarovima se mogu prikupljati iz niza različitih obrazaca koji se mogu različito nazivati, ovisno o tvrtki koja se bavi održavanjem. Primjerice, to mogu biti: radni nalog, radna lista održavanja, servisni zapis, zapis o popravcima, itd. Takve baze podataka o kvarovima su podloga za poboljšanje pouzdanosti vozila u eksploataciji, a nude i dragocjena, praktična iskustva za razvoj novih vozila i, kako je ranije rečeno, podloga su za modifikaciju postojećih.

Tako se za svako vozilo može doći do podataka o intenzitetu (učestalost, frekvencija, stopa) kvarova i zakonitosti pojave u vremenu, a posebno uzimajući u obzir tri karakteristična vremenska perioda eksploatacije. Osim utvrđivanja vrste kvara, analizom eksploatacije se može odrediti i frekvencija pojave kvarova mjerenjem vremena između kvarova, odnosno učestalost kvarova po jedinici vremena ili prijeđenog puta. Recipročna vrijednost srednjem vremenu između kvarova (Mean Time Between Failures – MTBF) je intenzitet ili učestalost kvarova λ i ovisi o periodu eksploatacije, [1].

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \tag{2.1}$$

Na slici 2.2. je prikazana ovisnost intenziteta kvarova o periodu eksploatacije.



Slika 2.2. Krivulja intenziteta kvarova (krivulja "kade", "čamca"), [3]

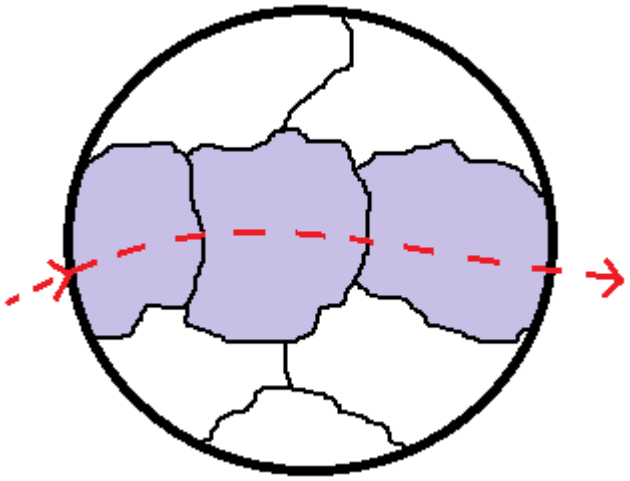
Na slici 2.2. su prikazana tri karakteristična perioda (I, II, III) eksploatacije vozila. U periodu uhodavanja (I) intenzitet kvarova je veliki, a zatim naglo opada. Kvarovi u ovom periodu, početni, su, kako je ranije rečeno, "pokriveni" garantnim rokom i otklanjaju se o trošku proizvođača. Period "II" je najduži po svom trajanju (korisni eksploatacijski vijek) i intenzitet kvarova je tijekom njega približno konstantan. Kada vozilo uđe u period "III" intenzitet kvarova naglo raste zbog starosti, zamora i istrošenosti. Točka "P" na slici označava početak tog perioda i vrijeme od kojega bi, ako se želi produžiti vijek trajanja vozila, trebalo intenzivirati održavanje, pogotovo preventivno. Također, treba naglasiti da se slučajni i neinherentni kvarovi javljaju tijeko čitavog eksploatacijskog perioda, što je uočljivo i na slici.

3. UTJECAJ ZAMORA, KOROZIJE I TROŠENJA NA PROMJENU TEHNIČKOG STANJA VOZILA

3.1. Zamor

Zamor je proces pogoršavanja karakteristika materijala zbog višekratnog djelovanja promjenjivih opterećenja, koja uzrokuju pojavu pukotina. Pukotina se uvijek pojavljuje na najopterećenijem mjestu (koncentracija naprezanja) i u jednom metalnom zrnu. Usred višekratne promjene opterećenja, kad naponi dosegnu vrijednost zatezne čvrstoće, zrno gubi sposobnost deformacije te dolazi do pojave prve mikropukotine, koja prerasta u makropukotinu u cijelom metalnom zrnu. Daljim opterećenjem dolazi do još jačeg zamora koji uzrokuje širenje pukotina na susjedna zrna (slika 3.1.), što u konačnici dovodi do loma, [4]. Takav prijelom ima dvije različite površine:

- zamorom prelomljeni dio izgleda glatko i mat je
- završni lom je sjajniji, krupnozrnasti i hrapaviji



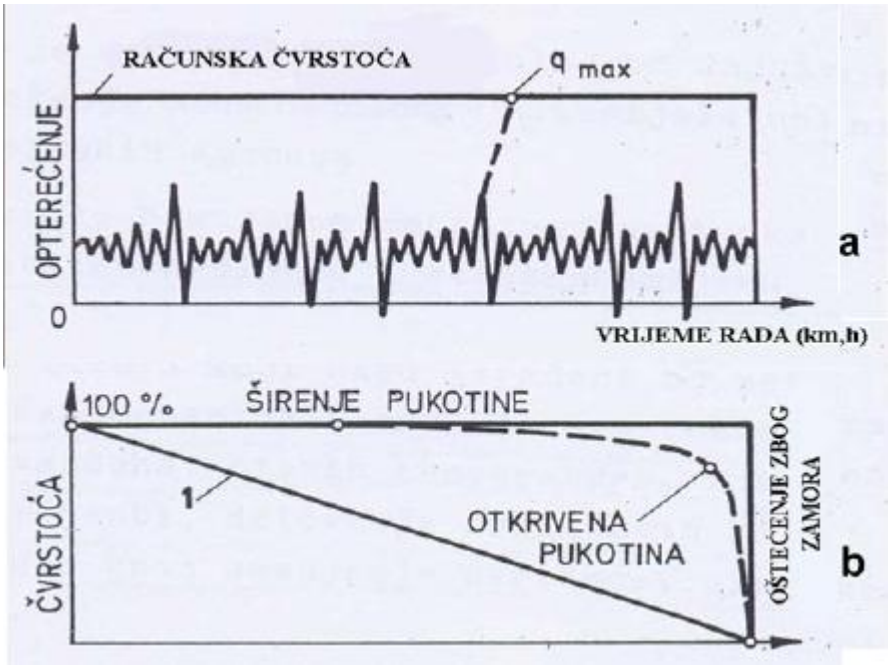
Slika 3.1. Transkristalni prijelom zbog zamora, [4]

Prema [3] kao posljedica zamora mogu nastati dvije vrste kvarova, i to:

- iznenadni kvar kao krti lom što je posljedica prekoračenja vrijednosti dozvoljenog opterećenja (slučaj a, slika 3.2)
- kvar zbog stupnjevite akumulacije oštećenja (slučaj b, slika 3.2.)

Prva vrsta kvara najčešće nastaje kao posljedica nepravilne uporabe. Na slici 3.2 (slučaj a) prikazane su promjene eksploatacijskih opterećenja koja djeluju na element s promjenjivim amplitudama i srednjim opterećenjem. Eksploatacijska opterećenja ne dostižu graničnu vrijednost (računska čvrstoća) pri kojoj bi lom bio trenutan. Opterećenje q_{max}, koje izaziva trenutni kvar (krti lom), može nastati u bilo kojem trenutku eksploatacije, neovisno o vremenu rada elementa. Vjerojatnost pojave ovakvog kvara ne ovisi o vremenu rada nego o vjerojatnosti pojave preopterećenja (q_{max}).

Na slici 3.2, slučaj b, linija 1 prikazuje promjenu karakteristika materijala zbog zamora do trenutka razaranja, kada je čvrstoća jednaka nuli. Dakle, pojava kvara u ovom slučaju nastaje zbog stupnjevite akumulacije oštećenja i ona, za razliku od prvog slučaja, ovisi o vremenu rada.



Slika 3.2. Promjena stanja zbog zamora, [3]

U ovom slučaju je pravovremeno provođenje preventivnog održavanja prema stanju znatno otežano jer se tijekom eksploatacije promjene karakteristika materijala (pukotine) teško otkrivaju, pa se optimalna vremena preventivnih zamjena temelje na statistički praćenom vremenu rada između kvarova.

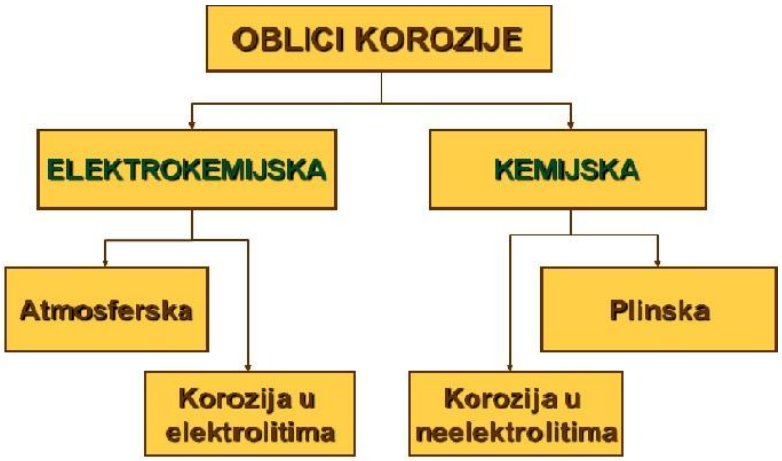
3.2. Korozija

Utjecajem vlažnosti zraka i atmosferskih zagađivača dolazi do razaranja materijala. Takvo razaranje nazivamo korozija. Nastaje u unutrašnjosti šupljina, zatvorenim profilima, podovima, varenim spojevima, donjim rubovima vrata i dr. Širi se od unutrašnjosti prema vanjskim (vidljivim) dijelovima. Širenje korozije uzrokuje slabljenje vitalnih elemenata i čvrstoće cijelog vozila.

Korozija se razlikuje prema mjestu razaranja materijala i prema obliku, pa postoji:

- opća korozija – zahvaća cijelu površinu materijala
- mjestimična – napada samo dijelove površine
- interkristalna – prodire u materijal uzduž granica između zrna
- selektivna – napada samo određenu komponentu složenog materijala

Prema [3] osnovni oblici korozije, ovisno o procesu nastanka, su elektrokemijska i kemijska (slika 3.3.).



Slika 3.3. Shematski prikaz oblika korozije, [3]

3.2.1. Elektrokemijska korozija

Slično procesima u galvanskom elementu, gdje se kemijska energija pretvara u električnu, nastaje kada se dva metala s različitim elektrokemijskim potencijalima potope u elektrolit (najčešće voda i vodeni rastvori kiselina i soli). Različitost materijala stvara razliku potencijala na njihovoj površini, gdje dolazi do rastvora slabijeg metala koji se ponaša kao anoda, dok jači katodno ostaje zaštićen. Ova vrsta korozije najrasprostranjenija je u prirodi.

Atmosferska korozija nastaje zbog vlažnog zraka na normalnoj temperaturi. To je najrasprostranjeniji vid elektrokemijske korozije. Elektrolit u ovom slučaju je vlaga iz zraka koja se kondenziranja na površini metala. Kondenzat može sadržavati različite sumporne spojeve (SO_2, SO_3, CO_2, H_2S), a u primorskim krajevima i spojeve klora. Brzina atmosferske korozije ovisi o više faktora, a to su: vlažnost, sadržaj korozivnih plinova, debljina sloja kondenzata, itd. Iz tablice 1 vidljiv je utjecaj okoline na koroziju materijala.

Tablica 1. Utjecaj agresivnosti okoline na koroziju metala – gubici težine u mg/dm^3 na dan

	Čelik	Cink	Bakar
Seoska atmosfera	-	0,17	0,14
Morska	2,9	0,31	0,32
Industrijska	1,7	0,31	0,29
Tlo	5	3	0,7
Morska voda	25	10	8

Izvor: [3]

Korozija u elektrolitima najčešća je pojava unutar sustava za hlađenje motora vozila gdje dolazi do elektrokemijske reakcije između dva različita metala koji se nalaze u tekućini za hlađenje koja provodi električnu struju pa dolazi do premještanja elektrona. Tada aktivniji

metal djeluje kao anoda i razgrađuje se, dok drugi metal, katodno, prima elektrone. Tekućina za hlađenje u ovom slučaju služi kao elektrolit, ali je koroziju moguće spriječiti ako se koristi tekućina za hlađenje bez kiselina.

3.2.2. Kemijska korozija

Za razliku od elektrokemijske korozije, kemijska nastaje kao posljedica kemijskih reakcija, dakle nema električnog polja. Ova korozija je najčešće proces oksidacije metala spajanjem s plinovima ili neeloktrolitnim tekućinama i organskim spojevima kao što su nafta i njeni derivati, kao korozijska sredina Proizvod korozije je oksid koji tvori sloj na površini metala. Povećanjem debljine tog sloja proces korozije se usporava, a kod nekih metala i prekida. Brzina procesa kemijske korozije ovisi o:

- sastavu metala
- strukturi metala
- kvalitete obrade metala
- temperaturi
- vremenu djelovanja korozijske sredine

Plinska korozija nastaje kod direktnog spajanja atoma metala sa atomima plinske sredine koja ga okružuje. Primjer ove korozije na cestovnom vozilima nalazimo na radnoj površini ispušnih ventila, stjenkama cilindra motora, unutarnjim površinama ispušnih lonaca i cijevi, itd.

Korozija u neelektrolitima nastaje u otopinama koje sadrže neki oksidant ili materiju koja metalu može oduzeti elektrone i prevesti ga u ionsko sranje. Ova vrsta korozije javlja se na unutarnjim stjenkama spremnika za gorivo, a javlja se zbog djelovanja sumpornih spojeva, smola i organskih kiselina iz naftnih derivata.

3.3. Trošenje

Trošenje, kao posljedica trenja, jedan je od najvažnijih uzročnika promjene stanja najvećeg broja elemenata i sklopova na motornim vozilima. Trenje nastaje relativnim

kretanjem između dvije susjedne površine u dodiru, a izraženo je silom trenja koja predstavlja otpor kojeg relativnom tangencijalnom gibanju tijela pruža površina po kojoj se giba ili sredstvo (fluid) kroz koje se giba. Sila trenja je direktno proporcionalna normalnoj sili između elemenata u relativnom gibanju i koeficijentu trenja Izuzev frikcijskih mehanizama (kočnice, spojka) gdje je poželjno razviti što veće trenje, u većini slučaja ono je neželjena pojava i nastoji se izbjeći ili bar umanjiti. Negativne posljedice trenja su povišene temperature na frikcijskim površinama te trošenje frikcijskih površina, [3].

Svako cestovno vozilo se sastoji od velikog broja tribomehaničkih sustava koji se dijele u tri osnovne grupe, [4]:

- podsklopovi u kojima se obavlja vođenje kretanja jednog elementa po drugom (klizni ležajevi, vodilice,...)
- sustavi kojima se vrši prijenos energije i rada (zupčasti prijenosnici, remenice,...)
- sustavi kojima se prenose informacija (brijeg i podizač, električni kontakti,...)

Prema [4] svaki se tribomehanički sustav (slika 3.4.) može predstaviti kao "crna kutija" s ulazima, gubicima i izlazima. Pretvaranje ulaznih u izlazne veličine se prati preko vrijednosti sile ili momenta, dimenzije (pozicije), temperature i karakteristika materijala. U istom cilju se često promatraju izvedene veličine: snaga (intenzitet rada), brzina (obimna ili linearna), intenzitet prijenosa toplote, mase, itd.

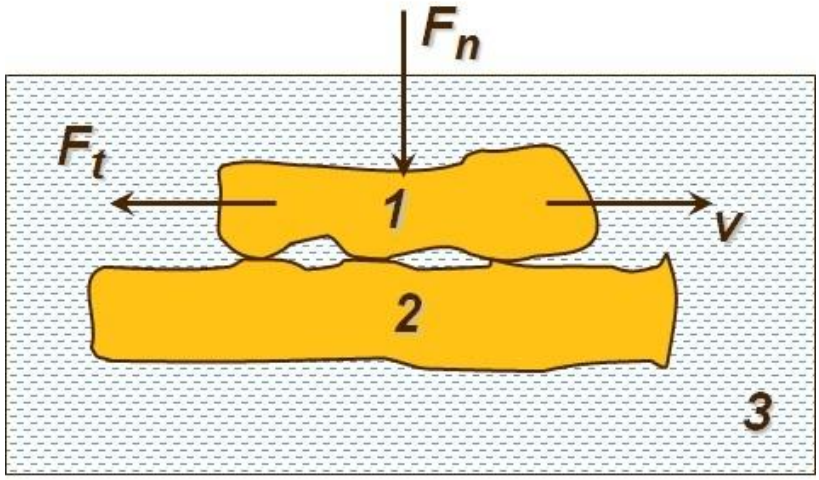


Slika 3.4. Shema tribomehaničkog sustava, [4]

U tribomehaničkim sustavima se, u području kontakta, odvijaju dva procesa:

- formiraju se i raskidaju frikcijske veze, odnosno odvija se proces trenja po vrhovima neravnina obadva elementa u dodiru, i
- dolazi do prijenosa, kretanja, masa s jednog na drugi element.

Na slici 3.5. je prikazan tribomehanički sustav koji se sastoji od tri elementa, dva čvrsta (1 i 2) i maziva (3). Da bi se postiglo kretanje elementa 1 po elementu 2 potrebno je utrošiti odgovarajuću količinu rada (energije) na raskidanje formiranih frikcijskih veza.



Fn – vanjsko opterećenje, Ft – sila trenja

v – brzina kretanja elementa 1 po elementu 2

3 - mazivo

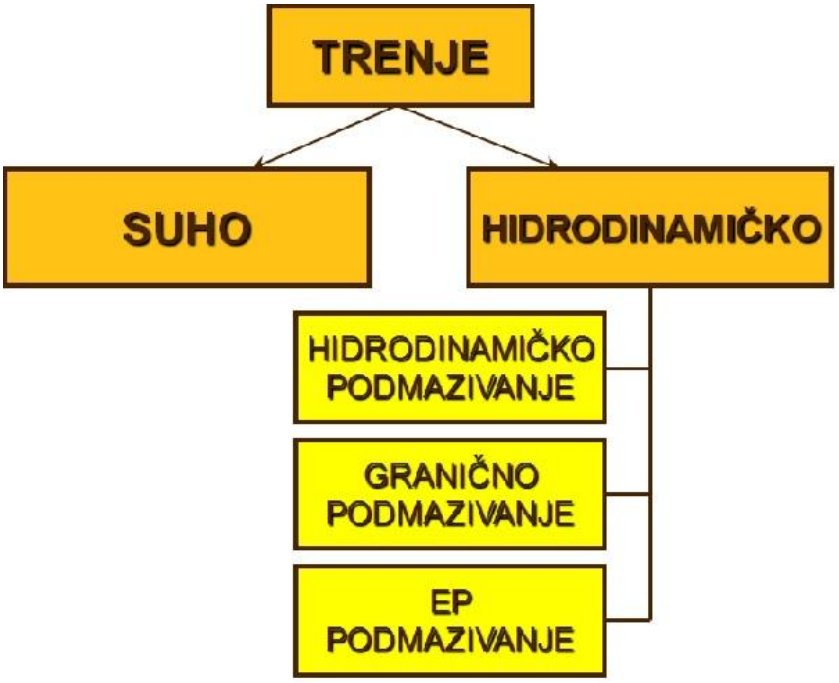
Slika 3.5. Tribomehanički sustav, [4]

Zbog kontakta i kretanja između elemenata za vrijeme rada sustava, jedan dio energije se troši na svladavanje trenja. U cestovnim vozilima se i do 50% uložene energije rasipa zbog trenja, što se može umanjiti podmazivanjem. Nakon određenog vremena rada (prijeđenih kilometara) sustav, zbog istrošenosti, više nije u stanju kvalitetno obavljati svoju funkciju te dolazi do poremećaja u radu i na kraju do pojave potpunog kvara (zastoj). Da bi se sustav vratio u prvobitno stanje, stanje "u radu", potrebno ga je obnoviti, odnosno zamijeniti jedan ili više istrošenih elemenata.

U sustavu nije moguće u potpunosti zaustaviti procese trenja i trošenja, ali ih je moguće ublažiti i produljiti vijek trajanja samog sustava. Zbog pojave čestica mase obaju čvrstih elemenata u mazivu ono s vremenom mijenja svoja osnovna fizičko-kemijska svojstva (viskoznost, pH vrijednost,...), odnosno postaje istrošeno i više nije u stanju obavljati svoju funkciju podmazivanja i odvođenja topline na kvalitetan način te ga je potrebno pravovremeno zamijeniti.

S obzirom na postojanje sloja maziva, trenje (slika 3.6.) može biti:

- suho
- hidrodinamičko
- granično



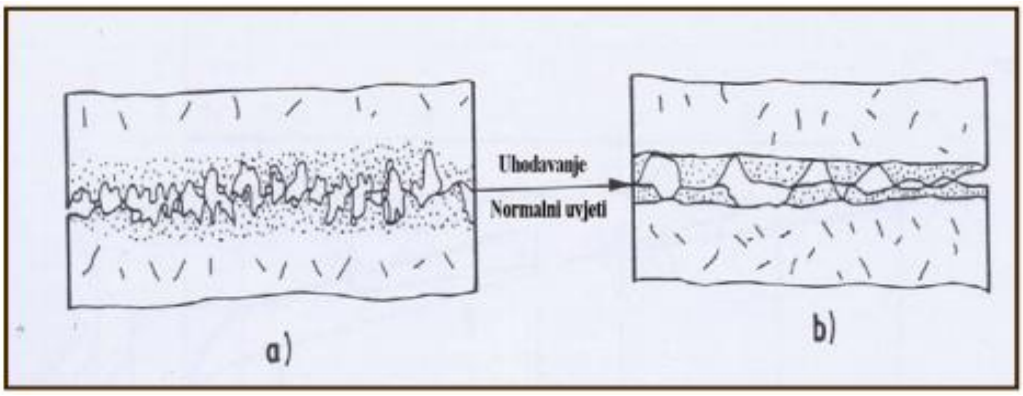
Slika 3.6. Karakteristični slučajevi trenja, [3]

3.3.1. Suho trenje

Suho trenje je posljedica dodira tarnih površina dva elementa kad nastaje međudjelovanje koje se suprotstavlja njihovom kretanju. U ovom slučaju nema trećeg elementa tribomehaničkog sustava, ne postoji ulje ili mazivo. Tarne površine elemenata su

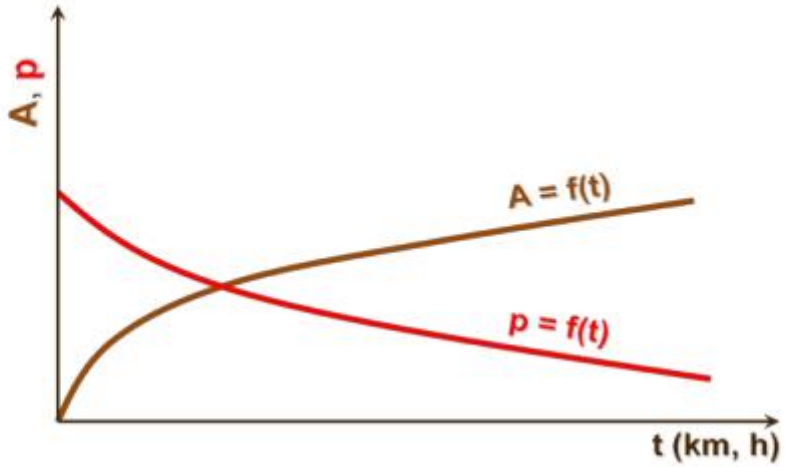
prekrivene samo produktima trošenja (suhi „film“). Dodirom elemenata preko njihovih površinskih mikroneravnina stvaraju se visoke temperature kao posljedica velikih specifičnih tlakova što uzrokuje pojavu mikrovarova, odnosno vezivanja elemenata na molekularnoj razini. Relativnim gibanjem elemenata razvija se trošenje, odnosno smicanjem dolazi do kidanja mikrovarova i čestica materijala (produkti trošenja). Suho trenje naziva se još i vanjsko trenje. Kod cestovnih vozila primjer suhog trenja vidljiv je na kočnicama i spojkama, [3].

Kod suhog trenja veličina stvarne dodirne površine je jako bitna jer određuje veličinu specifičnih tlakova. Tako se sila koju jedan par prenosi raspodjeljuje na stvarnu dodirnu površinu, koju određuje kvaliteta obrade te površine. Dakle, geometrijski iste dodirne površine mogu, ovisno o finoći obrade (ili uhodavanja), imati različite stvarne dodirne površine.



a) tehnološki reljef; b) radni reljef

Slika 3.7. Prijelaz s tehnološkog na radni reljef dodirnih površina, [3]



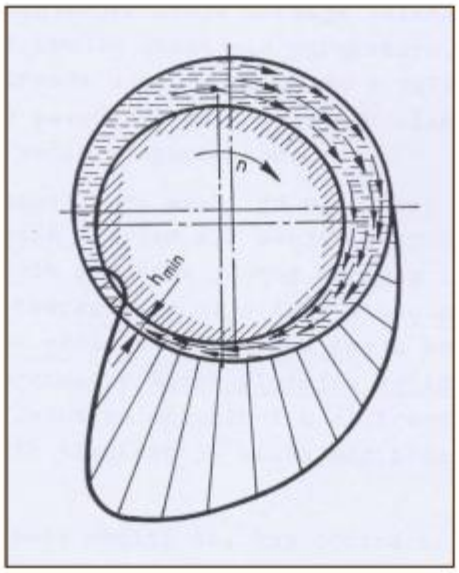
Slika 3.8. Odnos površine nalijeganja A(t) i specifičnog tlaka p(t) tijekom razrade dodirnih površina, [3]

Čisto suho trenje se može ostvariti samo u laboratorijskim uvjetima, jer u realnoj sredini uvijek postoji i treći sloj, a to je vlaga ili prašina u zraku, [3].

3.3.2. Hidrodinamičko trenje

Javlja se kada su kontaktne površine razdvojene stalnim slojem maziva (ulje). Nema direktnog dodira metalnih površina kao ni površinskog trenja. To je slučaj kada debljina uljnog filma potpuno odvaja površine, tj. veća je od zbroja visina neravnih mikroprofila oba elementa, [4].

Zbog unutarnjeg trenja svaki fluid pruža otpor relativnom pomicanju svojih čestica razmjerno brzini tog kretanja. Trenje uglavnom ovisi o viskoznosti ulja. Indeks viskoznosti označava utjecaj temperature na viskoznost. Hidrodinamičko trenje se javlja kod kliznih ležajeva i koljenastog vratila vozila u stacionarnom režimu rada. Okretanjem koljenastog vratila u ležaju ulje pod tlakom ulazi u uski prostor između njih i stvara uljni klin pa se rukavac odvaja od površine ležaja i „pliva“ u njemu (slika 3.10.).



Slika 3.9. Shema stvaranja uljnog sloja klizni ležaj-vratilo, [3]

U ovakvom režimu rada trenje je minimalno jer su kontaktne površine u potpunosti odvojene. „Plivanje“ rukavca koljenastog vratila ovisi o broju okretaja vratila, viskoznosti ulja, opterećenju rukavca, zračnosti između rukavca i ležaja. Elementi vozila se i konstruiraju za rad u režimu hidrodinamičkog podmazivanja, ali u realnim uvjetima, tijekom kraćih perioda uporabe, oni neizbježno rade i u uvjetima graničnog podmazivanja, pa čak i u uvjetima suhog trenja, [3].

Granično trenje je prijelaz između vanjskog i unutarnjeg. Javlja se između kliznih površina kada postoji vrlo tanak sloj uljnog filma (0,1 μm) koji ne razdvaja površine kao kod hidrodinamičkog, već se mijenjaju uvjeti trenja. Ovdje je bitna kvaliteta maziva, odnosno mazivost. Mazivost se izražava kroz osobinu maziva da penetrira i apsorbira (površinski se vezuje) u neravnine mikroprofila na metalnim površinama. Ostvaruje se pomoću aditiva.

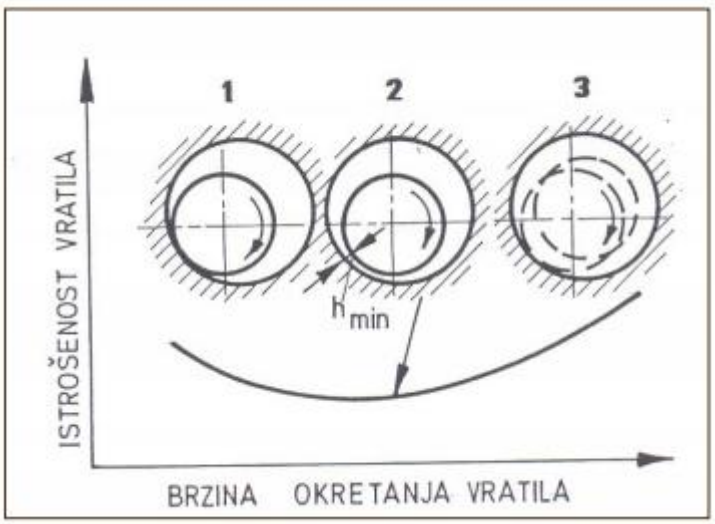
Primjeri graničnog podmazivanja kod vozila su klip-cilindar, vodilica ventila-ventil, itd. Pri startu motora svi ležajevi, koji se hidrodinamički podmazuju, rade u uvjetima graničnog trenja.

EP podmazivanje (*Extended Pressure – EP*) je podmazivanje u uvjetima ekstremno visokih tlakova. Zahtjeva specijalna ulja s kemijskim supstancama koja se na mjestima visokih tlakova, a to znači i visokih temperatura, kemijski vezuju s metalnim površinama,

stvarajući tvrde spojeve s metalom u formi sulfida, fosfida i klorida. Funkcija ulja u ovom slučaju se svodi na funkciju transportiranja aditiva do mjesta gdje se javljaju tlakovi, a to su kod vozila diferencijali (prijenos snage sa konusnog na tanjurasti zupčanik), mjenjači,itd, [4].

Obzirom na trajnost, najpovoljnije je hidrodinamičko trenje. Nema direktnog dodira metalnih površina jer je uljni film za 1,5 do 2 puta veći od maksimalne vrijednosti mikroneravnina na površinama trenja. Zbog toga se elementi vozila projektiraju za rad u ovim uvjetima. U kraćim periodima uporabe elementi vozila rade i u uvjetima graničnog pa i suhog trenja (startanje, velike promjene u režimima rada) dok se ne zadovolje nužni uvjeti za postizanje hidrodinamičkog trenja, a ti uvjeti su odgovarajuća brzina dodirnih površina, viskoznost ulja, opterećenje itd.

Na slici 3.10. je prikazana ovisnost trošenja koljenastog vratila o uvjetima trenja.



1 - granično trenje
2 - hidrodinamičko trenje
3 - kombinirano trenje

Slika 3.10. Ovisnost trošenja vratila o uvjetima trenja, [3]

Zbog uvjeta rada ležaja i vratila (slika 3.10., slučaj 1), a to su mali broj okretaja, veća zračnost, mala viskoznost ulja, podmazivanje se vrši samo preko molekula ulja apsorbiranih u površinama trenja jer je debljina uljnog sloja manja od visine mikroneravnina dodirnih

površina. Povećanjem broja okretaja (slika 3.10, slučaj 2), trošenje se smanjuje do minimuma. Intenzitet trošenja ponovno raste (slika 3.10, slučaj 3) kao posljedica velikog povećanja utjecaja centrifugalnih sila, smanjena viskoznost pregrijanog ulja, nastanka rezonantnih vibracija, itd.[3].

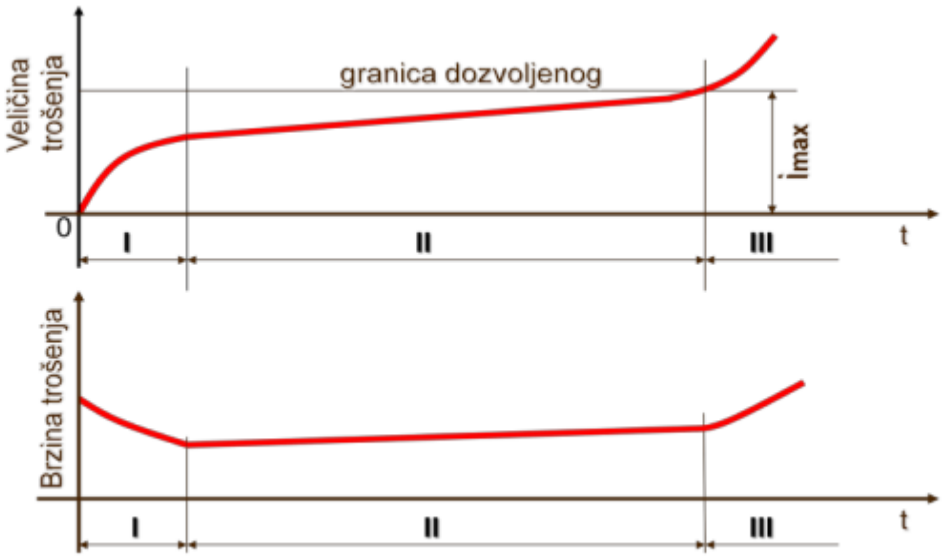
U uvjetima hidrodinamičkog trenja brzina trošenja i gubici snage su najmanji. Veliki problem za konstruktore je osigurati ovaj vid trenja za najčešće zastupljene režime rada. U realnim uvjetima se stalno mijenjaju režimi opterećenja, tlakovi, brzine i temperature. I kod najpovoljnijih konstrukcijskih rješenja pri startanju i pri velikim promjenama u režimima rada doći će do graničnog trenja.

Sloj ulja se smanjuje s povećanjem opterećenja i smanjenjem broja okretaja koljenastog vratila. Primjenom ulja s većom viskoznošću osigurava se hidrodinamičko trenje u težim uvjetima, s velikim opterećenjima ili kod povećane zračnosti između elemenata. Tijekom eksploatacije se svi navedeni čimbenici mijenjaju u većim ili manjim granicama, ovisno o uvjetima uporabe i vrlo rijetko imaju konstantne vrijednosti. Zbog toga je brzina trošenja slučajna veličina, a trošenje slučajan proces.

Posljedica trenja je trošenje kao monotoni proces zbog kojeg se mijenja geometrija i veličina elemenata kao i struktura i svojstva površinskih slojeva. Intenzitet trošenja ovisi o opterećenju tarnih površina, zračnosti između njih (mijenja se tijekom rada), tvrdoći i finoći obrade tarnih površina, brzini kretanja dodirnih elemenata, viskoznosti, temperaturi i čistoći ulja, svojstvima okoline itd. Veličina zračnosti između dodirnih površina elemenata je vrlo bitna, jer ako je premala biti će otežano i usporeno stvaranje uljnog sloja (pogotovo zimi), što povećava intenzitet trošenja, a ako je prevelika javljaju se udari koji mogu, kao posljedica zamora, izazvati pucanje elemenata vozila.

Za sve elemente koji se troše pri uporabi veličinu trošenja tijekom vremena karakteriziraju tri karakteristične faze intenziteta trošenja, (slika 3.11.):

- faza početnog, inicijalnog trošenja I
- faza normalnog, stacionarnog trošenja II
- faza intenzivnog razornog trošenja III



Slika 3.11. Prikaz ovisnosti veličine trošenja o vremenu i krivulja brzine trošenja, [3]

U fazi početnog trošenja, odnosno fazi razrade i uhodavanja (slika 3.11, period I) brzina trošenja je velika zbog velikog specifičnog tlaka na vrhovima dodirnih površina. Vrhovi dodirnih površina se tijekom razrade otkidaju pa se površina dodira povećava, a specifični tlak stupnjevito smanjuje. Produkte trošenja odnosi ulje. Smanjenje trošenja tijekom razrade se može postići pažljivijom uporabom, primjenom specijalnih ulja s adekvatnim pročišćavanjem te zamjenom nakon kraćeg vremenskog rada.

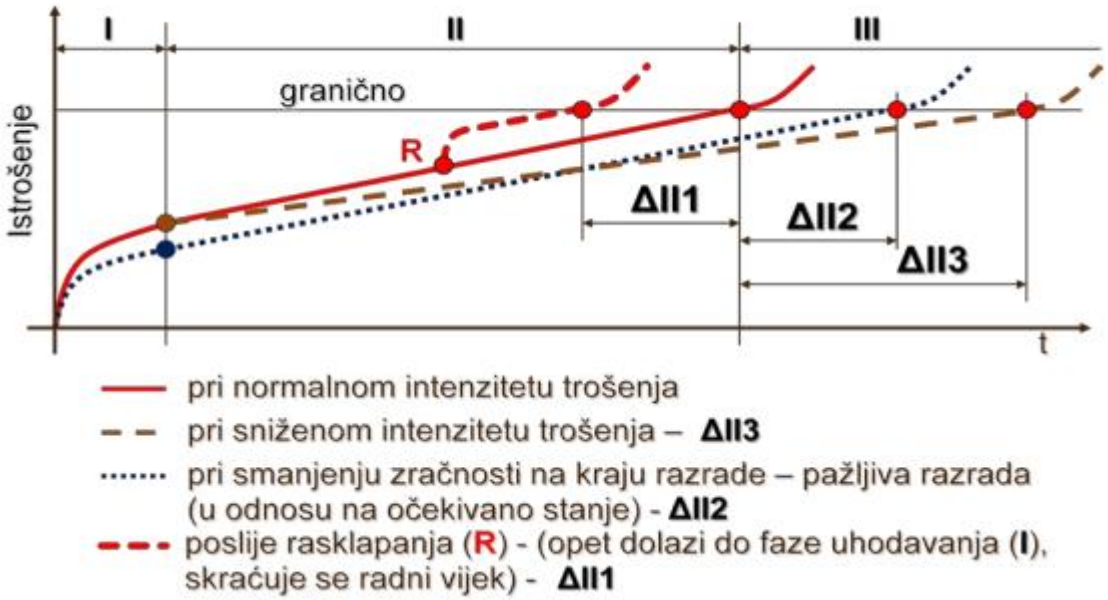
Faza eksploatacijskog trošenja (slika 3.11, period II) je najduža po vremenu i u biti karakterizira vrijeme uporabe elemenata i sklopova pa i vozila kao cjeline. Tijekom ovog perioda istrošenost raste kontinuirano, relativno sporo, odnosno brzina trošenja se stabilizira na određenu minimalnu vrijednost.

Prema slici 3.11. period III predstavlja fazu razornog trošenja. U ovom periodu se javlja progresivno trošenje kao posljedica starosti vozila i akumuliranih oštećenja, pa ono dolazi do granice izdržljivosti u pogledu veličine trošenja. U ovoj fazi je vrlo velika vjerojatnost pojave potpunih kvarova, njihov intenzitet naglo raste. Ako se želi produžiti vijek trajanja vozila i zadržati potrebna razina operativne raspoloživosti, onda je neophodno prepoznati početak ovog perioda i pravovremeno poduzimati i intenzivirati aktivnosti održavanja, pogotovo preventivnog.

Dobro poznavanje stanja vozila omogućava prognozu onih parova trenja i mjesta na promatranim parovima gdje će se pojaviti najintenzivnije trošenje. Na primjer, trošenje cilindara motora je neravnomjerno po cijeloj duljini hoda klipa. Najveće trošenje je u zonama najvećih tlakova plinova. Cilindar mijenja oblik u konus, od kružnog u eliptični poprečni presjek. Najveća trošenja klipa nastaju na žljebovima i klipnim prstenima koji se troše po debljini i visini uz smanjenje elastičnosti i tada dolazi do pucanja.

Posljedica trošenja klipova, klipnih prstena i cilindara je smanjenje tlakova u komori izgaranja. Time se smanjuje snaga motora, dio smjese dolazi u korito motora čime se povećava potrošnja i miješa gorivo i ulje. Također, ulje prodire u prostor za izgaranje. Troši se ulje, čijim se izgaranjem stvara garež koja loše utječe na rad i snagu motora. Kod razvodnog mehanizma se troše bregovi bregastog vratila, ventili i ležišta. Posljedice su loše otvaranje odnosno zatvaranje i lupkanje, odnosno smanjenje snage.

Iz navedenog se može zaključiti da je interes svakog vlasnika i korisnika cestovnog vozila da ono što duže bude u ispravnom stanju, da eksploatacijski period (period II, slika 3.11.) bude što veći. Ovo je moguće postići odgovarajućim, pravilnim i odgovornim načinom uporabe i održavanja vozila počevši od njegove nabave i puštanja u rad, pa kroz sve ostale eksploatacijske faze (slika 3.12.).



Slika 3.12. Shema promjene zračnosti između elemenata – mogućnost povećanja perioda II, [3]

3.4. Klasifikacija oblika trošenja

Postoje različite klasifikacije oblika trošenja obzirom na autora. Prema [3] za ovo područje (motorna vozila) najviše korištena klasifikacija je:

- mehaničko
- molekularno – mehaničko
- korozijsko – mehaničko
- erozijsko
- kavitacija

Mehaničko trošenje je rezultat različitih mehaničkih djelovanja, a može biti:

- abrazivno,
- trošenje plastičnom deformacijom i
- krti lom

Abrazivno trošenje je rezultat međusobnog djelovanja pri dodiru dva materijala različite tvrdoće. Tvrđi materijal u mekšem njemu stvara brazde. Ovaj oblik trošenja nastaje i pod djelovanjem stranih abrazivnih čestica (produkti trošenja, prašina,…). To je najprostiji vid razaranja površina trenja, a posljedice ovog oblika trošenja su gubitak mase, promjena dimenzija i pojava "riseva". Najčešći uzrok je neodgovarajuće podmazivanje površina trenja. Elementi motornih vozila kod kojih se abrazivno trošenje najčešće javlja su cilindri, klipovi i klipni prsteni. Intenzitet trošenja se može smanjiti pravilnim izborom materijala parova trenja, zaštitom površina od stranih abrazivnih čestica, čišćenjem produkata trošenja, potrebnim uvjetima podmazivanja, itd.

Trošenje plastičnom deformacijom nastaje u uvjetima velikih opterećenja i temperature, dijelovi se deformiraju, a površinski sloj metala se polako premješta pod utjecajem sile trenja u vidu klizanja. Posljedica ovakvog trošenja nije gubitak mase već promjena dimenzija elemenata. Karakteristično je za klizne ležajeve, gornji dio klipnjače, otvor za osovinicu klipa, itd. Intenzitet ovog trošenja se može smanjiti ograničenjem specifičnih tlakova i temperatura na površinama trenja i racionalnijim podmazivanjem.

Trošenje krtim lomom je posljedica trenja i popratnih plastičnih deformacija površinskih slojeva. Plastično deformiran površinski sloj se tijekom rada intenzivno nabija

(udara) zbog djelovanja opterećenja i nakon nekog vremena postaje krt, dolazi do popuštanja i polaganog prekida veza između krtog deformiranog dijela i osnove elementa, pa se površinski sloj odvaja (ljušti). Proces se sa svakim slijedećim slojem ponavlja. Ovo trošenje je karakteristično za elemente opterećene velikim tlakovima i temperaturama (zubi zupčanika, ležajevi koljenastog vratila, šalice kugličnih i valjkastih ležajeva, ...), a posljedice su gubitak mase i promjena dimenzija elemenata. Smanjenje intenziteta ovakvog trošenja se postiže pravilnim izborom materijala parova trenja, održavanjem odgovarajućih zračnosti i dosjeda, specijalnom obradom površina trenja (poliranje).

Molekularno – mehaničko trošenje je rezultat molekularnog cijepanja materijala s površina trenja. Javlja se u uvjetima povećanih opterećenja, zagrijavanja te brzina kretanja kontaktnih površina zbog čega dolazi do cijepanja uljnog sloja između njih. Posljedično nastaju plastične deformacije površinskih slojeva i dolazi do narušavanja tankih oksidnih slojeva što uzrokuje spajanje molekula tarnih površina. Površine su u međusobnom kretanju pa se kidaju tako nastale veze, stvaraju se vrhovi i udubljenja što uzrokuje povećanje specifičnih tlakova na vrhovima. Metal manje čvrstoće lijepi se na površinu elementa s većom čvrstoćom. Primjerice, materijal kliznog ležaja se, u uvjetima lošeg podmazivanja i povećanog opterećenja, lijepi na rukavac koljenastog vratila. Posljedice ovog vida trošenja su promjene dimenzija elemenata. Najčešće nastaje na kliznim ležajima i klipovima motora vozila.

Korozijsko – mehaničko trošenje je posljedica zajedničkog djelovanja mehaničkog trošenja i agresivnih spojeva okoline u kojoj spregnuti par radi. Pod utjecajem kemijskih spojeva bitno se mijenjaju karakteristike površinskih slojeva elemenata, što utječe na njihovu tvrdoću, pa se mehaničkim djelovanjem lakše troše. Proces se na ovaj način ponavlja. Javlja se na cilindrima motora, rukavcima koljenastog vratila, itd. Smanjenje intenziteta trošenja se može postići primjenom kvalitetnijih goriva i maziva, antikorozivnih materijala, itd.

Erozijsko trošenja može biti hidroerozijsko kao posljedica protoka tekućine i plinoerozijsko kao posljedica protoka plinova. Trošenje nastaje skidanjem čestica materijala zbog trenja tekućina ili plinova. Pogotovo je izraženo kada fluid u sebi sadrži i čvrste čestice. Pod utjecajem ovog vida trošenja su elementi za dovod goriva, ispušni ventili, elementi sustava za hlađenje, itd.

Kavitacija je pojava stvaranja i apsorpcije parozračnih mjehurića pri kretanju tekućina po površinama elemenata s određenim tlakom i temperaturom u promjenjivim presjecima

protoka te vibracija. Stvaraju se zrakoprazni prostori između metala i tekućine pa nastaju šupljine na površinama elemenata. Najčešći elementi vozila na koje djeluje kavitacija su površine cilindara motora koji se hlade tekućinom, pumpe za hlađenje, itd.

Važno je naglasiti da najčešće isti element cestovnog vozila, ovisno o uvjetima uporabe, istovremeno može biti pod utjecajem više vidova trošenja. U pravilu je jedan od njih najizraženiji jer je svaki oblik trošenja uvjetovan određenim parametrima kao što su brzina kretanja dodirnih površina, uvjeti podmazivanja, provodljivost toplote, pojava difuzije, itd.

4. UTJECAJ PUTNIH I TRANSPORTNIH UVJETA

Eksploatacijski uvjeti u kojima vozilo funkcionira su složeni, neprestano promjenjivi, dakle izrazito su stohastične naravi, pa se pouzdanost i vijek trajanja vozila mijenjaju ovisno o njima. Pod utjecajem uporabnih uvjeta se mijenjaju režimi rada elemenata i sklopova što utječe na intenzitet promjene njihovog stanja. Različita ispitivanja su pokazala da su opterećenja elemenata, sklopova i sustava vozila najmanja pri vožnji na otvorenom, međugradskim cestama, za razliku od gradske vožnje.

Na matematički način interpretirati eksploatacijski proces je vrlo teško, pa i nemoguće. Dakle, postavlja se pitanje kako to učiniti? Ocjena utjecaja pojedinih uvjeta odnosno čimbenika na intenzitet promjene stanja se ocjenjuje pomoću karakterističnih pokazatelja, a najčešći su: broj okretaja koljenastog vratila, okretni moment motora, broj promjena stupnjeva prijenosa, zaustavljanja i uključivanja kretanja unatrag, broj kočenja na jedinicu prijeđenog puta, količina impulsa promjene opterećenja za jedinicu prijeđenog puta, distribucija opterećenja u danim uvjetima vožnje, specifični rad proklizavanja spojke, specifični rad trenja kočnica, statistička distribucija kuta okretanja kola upravljača na jedinicu prijeđenog puta, itd., [3].

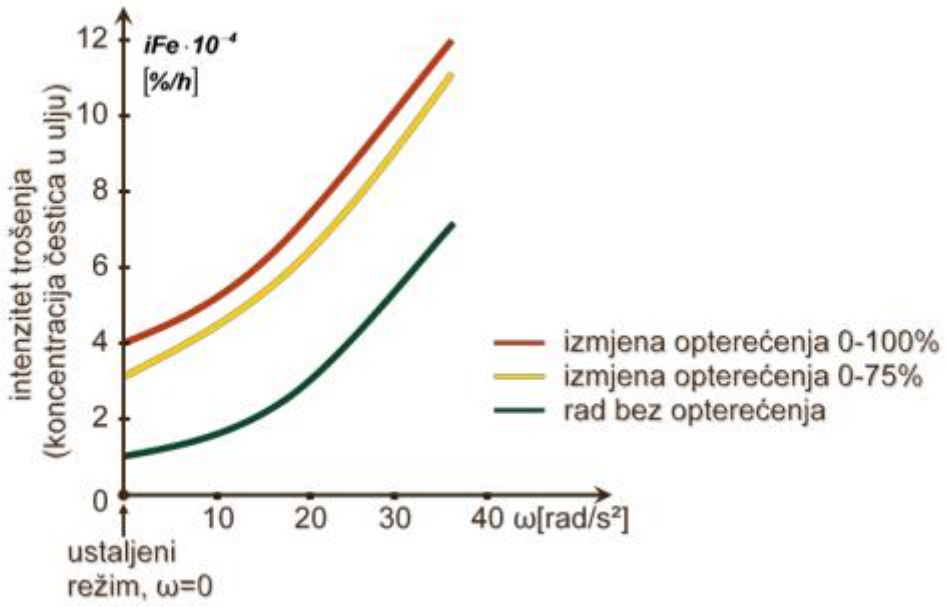
Svaki od navedenih uvjeta uzrokuju rad motora s jednim od dva karakteristična režima:

- ustaljeni (stacionarni)
- neustaljeni (nestacionarni)

Ustaljeni (stacionarni) režim se odlikuje približno konstantnim vrijednostima broja okretaja, okretnog momenta, tlaka, temperature i drugih pokazatelja rada motora.

Neustaljeni (nestacionarni) režim se odlikuje brzim i naglim promjenama navedenih parametara, dakle, nema konstantnih vrijednosti.

Neustaljeni režim prevladava u eksploataciji. U gradskim uvjetima je to 95 – 98 % ukupnog vremena rada, a na lošim i jako oštećenim cestama 84 – 96%, dok je na kvalitetnim međugradskim cestama taj odnos 42 – 56%.



Slika 4.1. Intenzitet trošenja cilindra u funkciji ubrzanja radilice i opterećenja motora, [3]

Neustaljeni režim rada uzrokuje puno veće trošenje elemenata i uopće promjene stanja, veću potrošnja goriva, itd. Srednje trošenje elemenata je za 1,5 do 2 puta veće u odnosu na ustaljeni režim. Intenzitet trošenja klipnih (kompresijskih) prstena je za 2,5 do 3,5 puta veći, klipova za 1,5 do 2,5 puta, ležajeva koljenastog vratila 40-80%, itd., [3].

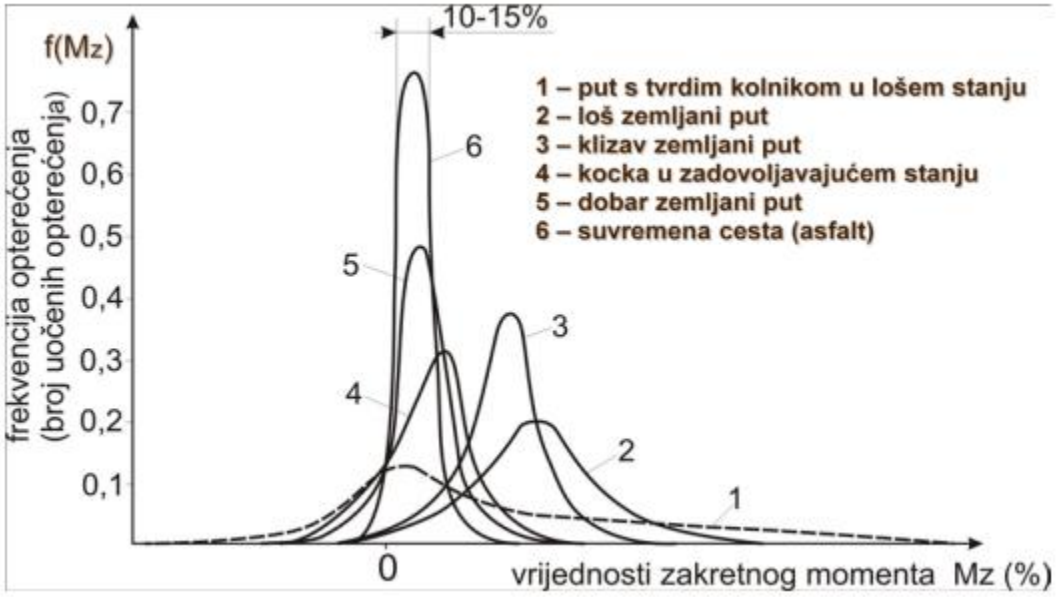
Prema [3] uzroci većeg trošenja kod neustaljenog režima rada su :

- intenziviranje kontaktnog trošenja zbog dodatnih inercijskih opterećenja (pri povećanju broja okretaja javljaju se inercijske sile koje se zbrajaju u opterećenje)
- narušavanje normalnog procesa izgaranja
- povećanje dinamičkih opterećenja elemenata (impulsno djelovanje koje uzrokuje i zamor materijala)
- pogoršavanje uvjeta podmazivanja tijekom značajnijih promjena brzinskih režima motora s istovremenim narušavanjem hidrodinamičkog režima podmazivanja (svaka promjena broja okretaja odražava se na debljinu uljnog filma)

- povećanje abrazivnog trošenja zbog porasta koncentracije produkata trošenja (otpadne čestice koje postaju abrazivne)

Režim rada elemenata i sklopova vozila je direktno ovisan o putnim i transportnim uvjetima, a čine ih:

- raspon opterećenja i brzine kretanja
- okretni moment
- broj okretaja koljenastog vratila
- broj promjena stupnjeva prijenosa
- dinamičko opterećenje
- intenzitet promjena režima rada motora odnosno postotka rada u ustaljenom u odnosu na neustaljeni režim



Slika 4.2. Statistička raspodjela zakretnog momenta na pogonskim vratilima kotača ovisna o uvjetima uporabe, [3]

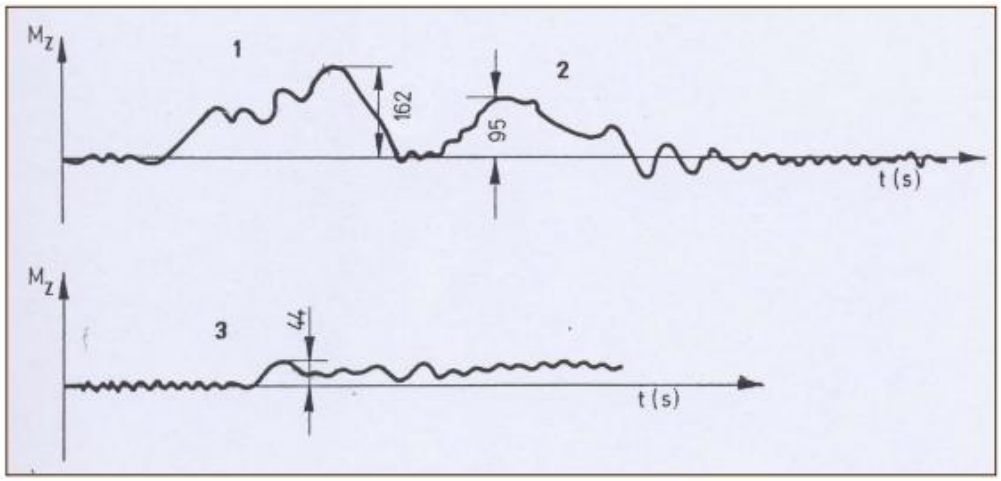
Okretni moment se često koristi kao pokazatelj promjene opterećenja elemenata i sklopova vozila u različitim eksploatacijski uvjetima. On se bitno mijenja i po veličini i po pravcu na lošim, oštećenim cestama, dok se na kvalitetnim cestama ravnomjerno raspoređuje oko neke srednje vrijednosti. Najpovoljnija raspodjela okretnog momenta (slika 4.2., krivulja 6) je pri vožnji po suvremenim cestama. Mijenja se u vrlo malim granicama i uglavnom je oko 15% maksimalne vrijednosti.

Tablica 2. Broj promjena stupnjeva prijenosa u različitim uporabnim uvjetima, [3]

Uvjeti uporabe	Stupanj prijenosa					Broj zaustavljanja
	I	II	III	IV	V	
Gradski, intenzivan promet	10	120	200	180	65	85
Van grada, kvalitetne ceste	-	5	15	30	45	5
Brdske ceste	5	25	90	70	25	5
Loše ceste	10	100	200	170	-	60

Broj promjena stupnjeva prijenosa na jedinicu prijeđenog puta ili vrijeme rada je također dobar pokazatelj stabilnosti uvjeta rada. Svaka promjena stupnja prijenosa izaziva i promjenu okretnog momenta, pa česta izmjena stupnjeva prijenosa ukazuje na nestabilnost eksploatacijskih uvjeta.

Učestalo pokretanje vozila s mjesta (slika 4.3.) je također dobar pokazatelj stabilnosti uporabnih uvjeta, jer je tada najveće opterećenje elemenata i sklopova transmisije, dok je mnogo manje pri promjeni ostalih stupnjeva prijenosa. Također, svaka promjena stupnja prijenosa uzrokuje i promjenu režima rada motora. Dakle, eksploatacijski uvjeti u kojima su učestala pokretanja vozila s mjesta i promjene stupnjeva prijenosa se smatraju teškim, a tipičan predstavnik takovih, nestabilnih, uvjeta je gradska vožnja.

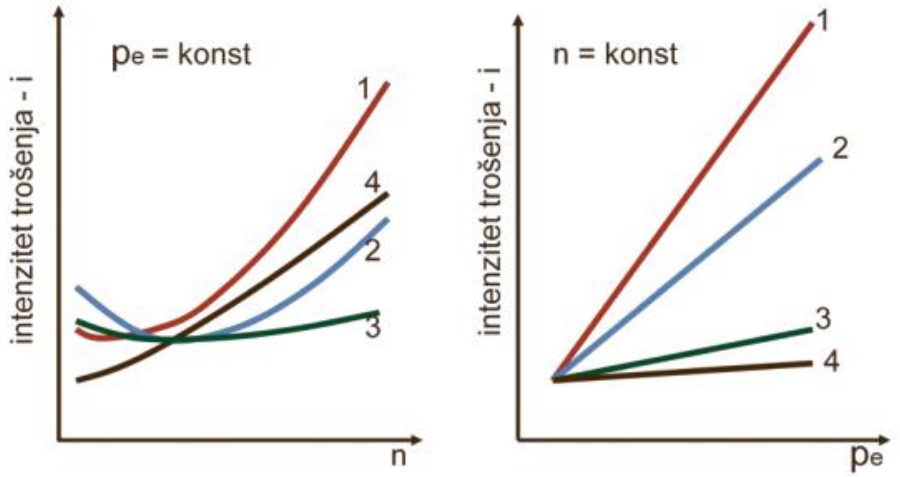


1 – pri polasku s mjesta;

2 – pri promjeni stupnja prijenosa;

3 – pri vožnji na oštećenoj cesti

Slika 4.3. Krivulje promjene okretnog momenta na izlazu iz mjenjača, [3]

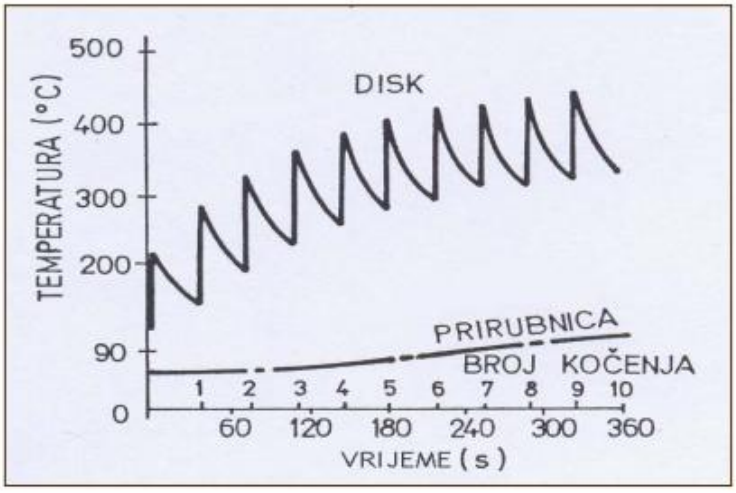


1. istrošenje cilindra, 2. klipnih prstenova

3. rukavac koljenastog vratila, 4. vodilice ventila

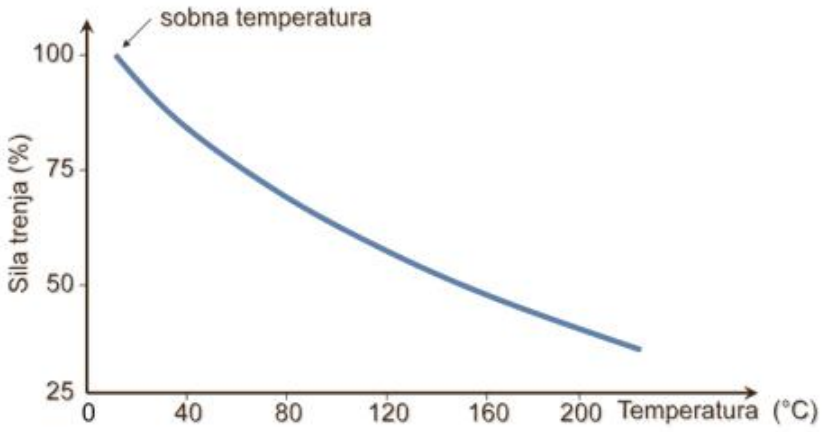
Slika 4.4. Utjecaj broja okretaja (n) koljenastog vratila i srednjeg efektivnog tlaka (pe) na intenzitet trošenja elemenata motora, [3]

Srednji efektivni tlak (slika 4.4.) se mijenja ovisno o masi vozila, putnim uvjetima, brzini kretanja i prijenosnim odnosima u mjenjaču. Prikazane ovisnosti trošenja su uvjetovane različitim oblicima trenja spregnutih elemenata, tlakovima i brzinama kretanja tarnih površina s različitim režimima podmazivanja i temperature. Najveće trošenje cilindara je u zoni gornje mrtve točke. Poslije paljenja smjese i u taktu ekspanzije enormno se povećavaju temperatura i tlak plinova, izgara uljni sloj, stvara se garež i privremeno nastaje suho trenje klipnih prstena o cilindar uz prisutnost abrazivnih čestica.



Slika 4.5. Energetska bilanca kočenja, [3]

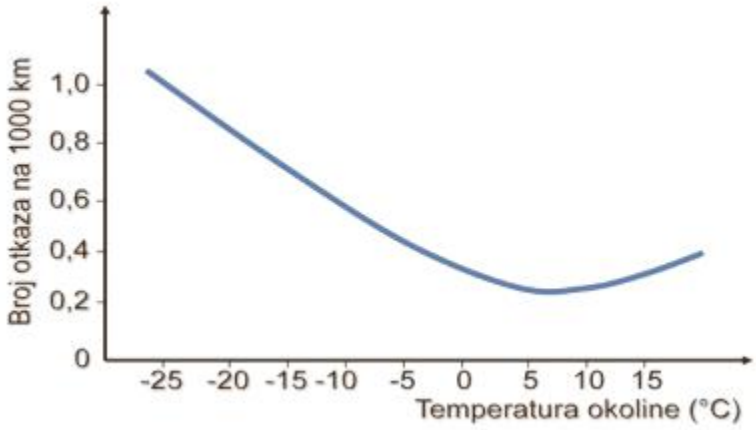
Stabilnost putnih i transportnih uvjeta bitno utječe i na intenzitet trošenja, odnosno vijek trajanja elemenata sustava za kočenje, što je također dobar pokazatelj težine eksploatacijskih uvjeta. Brzina trošenja frikcijskih obloga kočnica se povećava s povećanjem temperature njihovih površina. Razmjerno broju kočenja, koji su u funkciji uporabnih uvjeta, mijenja se i temperatura elemenata sustava za kočenje (slika 4.5.). Često i forsirano kočenje izaziva veliko zagrijavanje elemenata sustava za kočenje, na njima se u kratkom vremenu akumulira velika količina toplote, a to smanjuje silu trenja (slika 4.6.) i povećava trošenje obloga kočnica.



Slika 4.6. Promjena sile trenja između elemenata za kočenje u funkciji temperature na površinama tarnog para, [3]

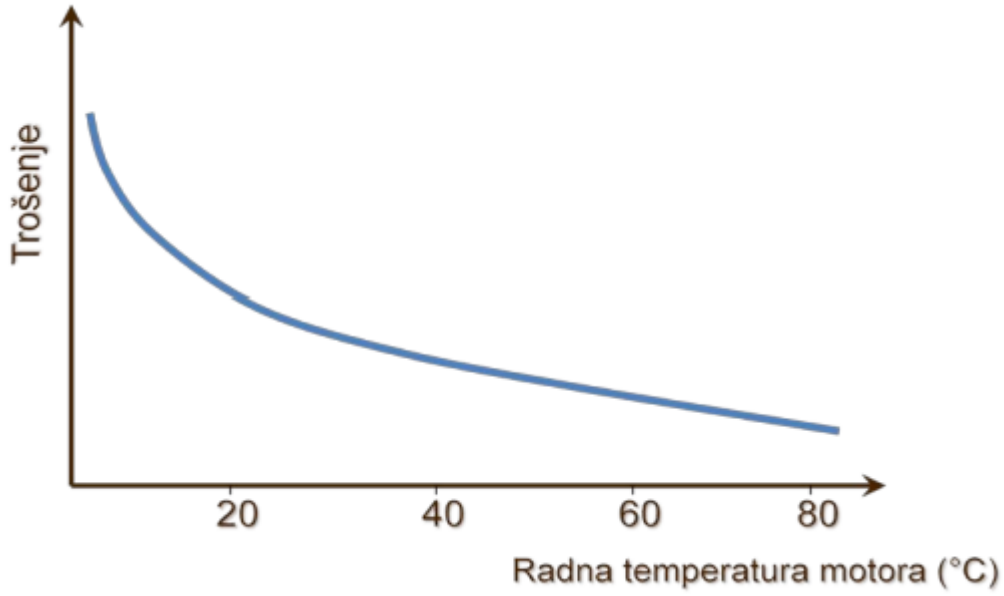
5. ANALIZA UTJECAJA ATMOSFERSKO-KLIMATSKIH UVJETA

Atmosfersko klimatske uvjete tijekom godine karakterizira promjena temperature, tlaka, vlažnosti, vjetra, padalina i sunčane radijacije. Atmosfersko klimatski uvjeti utječu na povećano trošenje elemenata i sklopova motora i vozila pri puštanju u rad (niske temperature), periodu zagrijavanja na radnu temperaturu, otežanih uvjeta kretanja (snijeg, led) i dovode do povećanog broja oštećenja i loma elemenata. Radi toga u zimskim uvjetima operativna spremnost vozila u pravilu je manja od iste u ostalim godišnjim dobima.



Slika 5.1. Utjecaj temperature okoline na promjenu broja otkaza, [3]

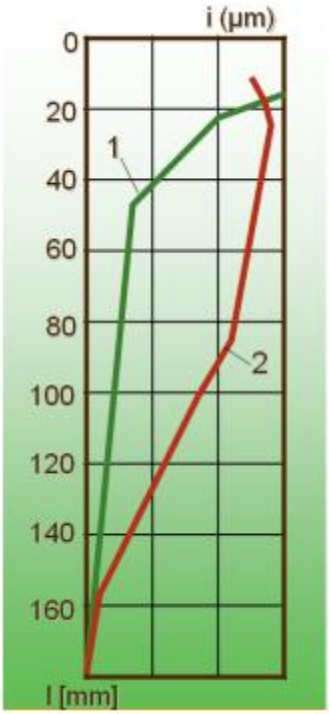
Niska temperatura povećava viskoznost ulja koje zatim teže prodire do površina trenja, a u takvim uvjetima i neizgorjelo gorivo i vlaga se kondenziraju na hladnim stjenkama cilindra te ispiru ulje s njih. Smanjenje brzine trošenja motora se može postići ako mu se poveća temperatura prije puštanja u rad te skraćivanjem vremena zagrijavanja do radne temperature. Sva novija vozila su konstrukcijski osposobljena za skraćivanje vremena dostizanja radne temperature, ventilator hlađenje se uključuje u trenutku dostizanja radne temperature i gasi se na temperaturnom optimumu, kada je trošenje najmanje.



Slika 5.2. Ovisnost trošenja o radnoj temperaturi motora, [3]

U stvarnim eksploatacijskim uvjetima radna temperatura motora je često ispod optimuma, a neki od glavnih čimbenika o kojima ona ovisi su: temperatura okoline, režim rada, opterećenje, ispravnost sustava za hlađenje i paljenje, itd. Može se reći da visoke vanjske temperature (ljeto) predstavljaju manju „opasnost“ za motor vozila, jasno pod uvjetom da je ispravan sustav za hlađenje, a ipak većina korisnika pazi samo na pregrijavanje. Međutim, “pothlađeni” režim rada bitno smanjuje vijek trajanja motora. U takvim uvjetima razvija se agresivno elektrokemijsko i korozijsko-mehaničko trošenje, koje, za oko 5 puta može smanjiti resurs motora u odnosu na rad pri optimalnim temperaturama.

U [3] je prikazana usporedba rezultate trošenja cilindra motora koji je radio 30 000 kilometara u normalnoj eksploataciji (slika 5.3, krivulja 1) s cilindrom motora koji je programirano radio s temperaturom rashladne tekućine od 40 - 50°C, konstantnim opterećenjem 50% i brojem okretaja od 2000 o/min (slika 5.3, krivulja 2).



Slika 5.3. Utjecaj radne temperature motora na intenzitet trošenja, [3]

Iz ovog primjera je vidljivo da je intenzitet trošenja puno veći u drugom slučaju, a osnovni uzrok je rad na puno nižoj radnoj temperaturi od optimalne.

6. UTJECAJ KVALITETE UPORABE I ODRŽAVANJA

Pravilan i odgovoran pristup načinu uporabe i održavanja cestovnih vozila bitno utječe na intenzitet promjene njihovog tehničkog stanja, razinu operativne raspoloživosti, kao i na eksploatacijski vijek trajanja. Nepravilna uporaba i nepravovremeno, neorganizirano i nestručno održavanje uzrokuju rast frekvencije kvarova što smanjuje operativnu raspoloživost voznog parka i povećava eksploatacijske troškove. Pod pojmom kulture uporabe i održavanja cestovnih vozila se podrazumijeva cjelokupan rad svih čimbenika tijekom eksploatacije vozila. U ovom slučaju najveća odgovornost leži na menadžmentu koji je zadužen za sustav eksploatacije i održavanja voznog parka, jer su u njegovoj domeni neke od najvažnijih aktivnosti, poput, [3]:

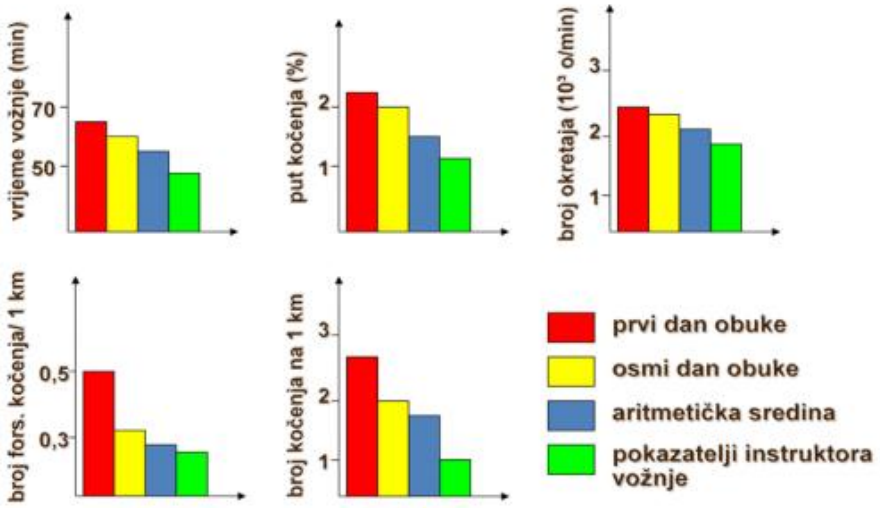
- odgovarajuća organizacija rada,
- izbor optimalnih transportnih sredstava,
- izbor pouzdanih vozača,
- izbor transportnog puta,
- adekvatna organizacija održavanja i obnavljanja,
- nabavka kvalitetnih eksploatacijskih materijala

Savjestan i dobro osposobljen vozač bitno utječe na pouzdanost vozilo, i to kroz:

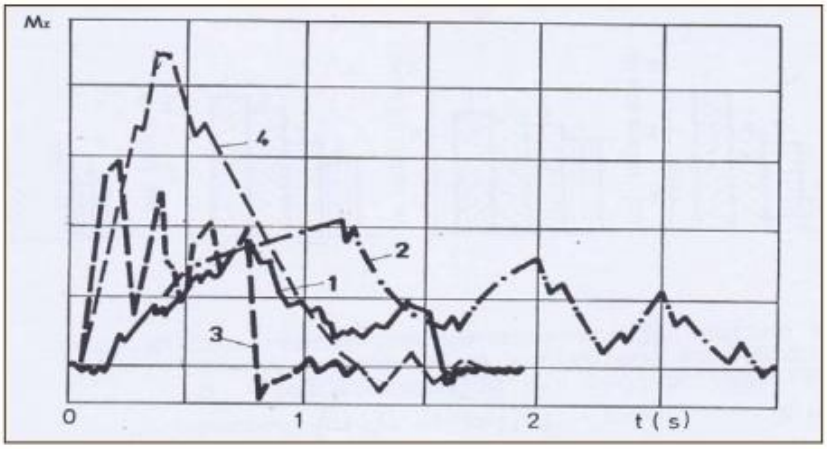
- racionalno korištenje vozila
- kontinuirano praćenje stanja vozila kao cjeline
- kvalitetno opsluživanje svih agregata

Vozač svojim načinom vožnje utječe na intenzitet promjene stanja elemenata i sklopova vozila, kao i na njegov eksploatacijski vijek. Promjena brzine vozila tijekom cijelog vremena rada je karakteristika impulsnog načina vožnje (zalet – kočenje). Jasno da ovakav način vožnje, obzirom na pouzdanost i ekonomičnost, nije dobar, jer brzina trošenja ne ovisi toliko o apsolutnim vrijednostima opterećenja i temperature koliko o neravnomjernosti promjene snage, temperature, brzine, itd. Za vozilo su najnepovoljniji neustaljeni režimi rada, a ovakvim načinom vožnje svi agregati vozila uglavnom rade baš pod ovim režimom. Vožnja s približno konstantnom brzinom je bitno povoljniji način vožnje, jer je to uglavnom ustaljeni

režim rada motora, koliko to konkretni uvjeti dozvoljavaju. Kvalitetni i dobro obučeni vozači najčešće primjenjuju kombinirani način vožnje, to jest racionalno kombiniraju gore navedene.



Slika 6.1. Promjena pokazatelja vještine vozača nakon obuke, [3]

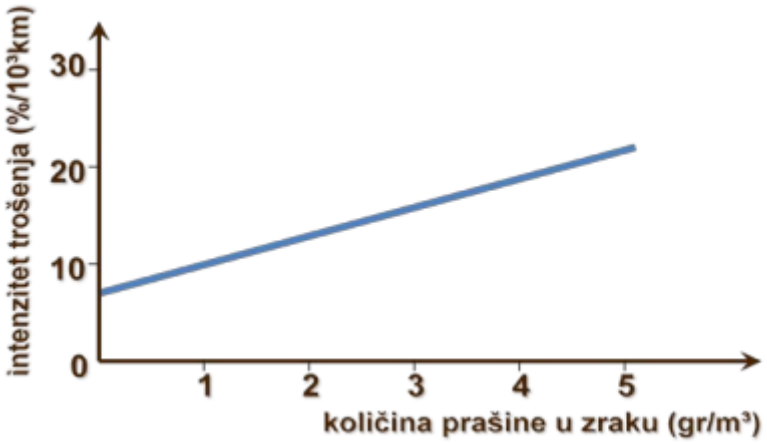


1. u normalnim putnim uvjetima
2. u teškim putnim uvjetima
3. naglo kretanje
4. kretanje „poskakivanjem“

Slika 6.2. Krivulje promjene okretnog momenta na kardanskom vratilu pri polasku s mjesta u različitim uvjetima, [3]

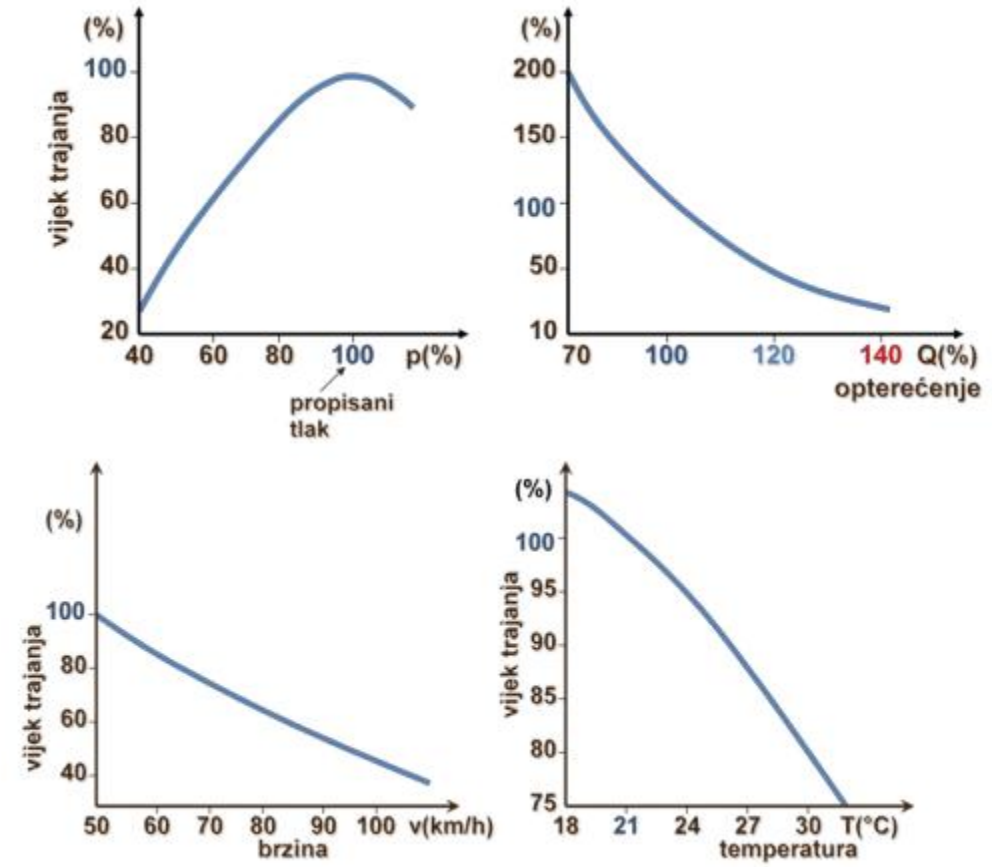
Na temelju informacija o „ponašanju“ cestovnog vozila tijekom uporabe, vozač mora biti sposoban ocijeniti njegovo trenutno stanje i na vrijeme poduzeti odgovarajuće mjere i postupke održavanja, ili sam, ili uočene poremećaje prijaviti nadležnim službama. Posebno velik utjecaj na pouzdanost imaju vozači tijekom opsluživanja vozila. Prije svega, misli se na sprječavanje unošenja abrazivnih čestica (prašina) putem goriva, zraka, ulja.

Količina čestica koje uđu u motor ovisi o čistoći zraka iz okoline kao i o ispravnosti i efikasnosti prečistača zraka, ulja i goriva, a također i o kvaliteti brtvljenja elemenata (intenzitet trošenja se može povećati čak i do 5 puta).



Slika 6.3. Utjecaj koncentracije prašine u zraku na intenzitet trošenja motora, [3]

Kvalitetnim održavanjem i obnavljanjem sklopova vozila održava se njihova kvaliteta kroz dulji period uporabe (pouzdanost). Nivo obavljenih postupaka održavanja i obnavljanja znatno ovisi o mjestu izvođenja, raspoloživoj opremi i kvaliteti djelatnika za održavanje. Najveći nivo pouzdanosti se postiže održavanjem u stacionarnim, dobro opremljenim radionicama, gdje se mogu zadovoljiti strogi zahtjevi kvalitete obnavljanja. Neodgovarajuće održavanje vozila narušava uvjete optimalnog odvijanja radnih procesa. U kvaliteti održavanja leži velika rezerva za povećanje narušene pouzdanosti vozila tijekom eksploatacije, [3].



Slika 6.4. Utjecaj uvjeta uporabe na vijek trajanja pneumatika, [3]

Eksploatacijski uvjeti znatno utječu i na vijek trajanja pneumatika (slika 6.4.), koji ovisi o unutarnjem tlaku, opterećenju, brzini vožnje, stanju kolnika, kvaliteti ceste, klimatskim uvjetima, kvaliteti vožnje i slično. Smanjenje tlaka u pneumaticima uzrokuje intenzivnije trošenje protektora, pregrijavanje i raslojavanje zbog neravnomjerne raspodjele specifičnog tlaka u ravnini kontakta (slika 6.5.).



Slika 6.5. Površine nalijeganja pneumatika, [3]

Pneumatik se na taj način deformira tako da se srednji pojas iskrivljuje prema unutra, a cijeli se teret prenosi preko krajnjih zona protektora. Intenzivnije trošenje pneumatika zbog smanjenja čvrstoće materijala uslijed visokih temperatura je u ljetnom periodu, a u zimskim uvjetima intenzitet trošenja je manji. Jedan od glavnih uzroka smanjenja vijeka trajanja pneumatika je način vožnje. U ovom slučaju su osnovni uzroci trošenja naglo kretanje s mjesta, naglo kočenje, prekoračenje dozvoljenih brzina, velike brzine u zavojima i preko prepreka, itd. Vrlo veliki utjecaj na intenzitet trošenja pneumatika ima neodgovarajuća geometrija kotača, kao i „neizbalansiranost“ kotača, oštećenja naplataka, nepravilna montaža i demontaža, nepravilna raspodjela tereta koji se prevozi, doticaj s naftnim derivatima tijekom eksploatacije i slično.

7. ZAKLJUČAK

Temeljnu funkciju namjene cestovnih vozila omogućava kompleksni mehanički sustav s velikim brojem komponenata. Promjena stanja komponenata s mehaničkom osnovom bitno utječe na postupke održavanja i vijek trajanja vozila. Ne treba zaboraviti da su današnja cestovna vozila „pretrpana“ velikim brojem električno-elektroničkih komponenta, čija je namjena upravljanje i reguliranje rada mehaničkih podsustava u sustavu vozila. No, električno–elektroničke komponente se često promatraju kao nepopravljive, pa najveću pažnju treba posvetiti komponentama s mehaničkom osnovom.

Stanje pojedinih elemenata i međudjelovanje u njihovim parovima uvjetovano je i okarakterizirano geometrijskim, mehaničkim, fizičkim, kemijskim i drugim karakteristikama, čije se vrijednosti nazivaju parametri stanja i određuju stanje svakog elementa, sklopa i vozila kao cjeline.

Cestovna vozila su tijekom eksploatacije pod utjecajem različitih fizičko-kemijskih procesa i energija (mehanička toplotna, kemijska,…) zbog čega materijali od kojih su izrađene komponente neizbježno mijenjaju svoja svojstva, mijenjaju se odnosi između spregnutih elemenata što za posljedicu ima pogoršavanje izlaznih karakteristika elemenata i sklopova pa i vozila kao cjeline.

Obzirom da su eksploatacijski uvjeti raznovrsni, promjenjivi i uvjetovani brojnim čimbenicima slučajne i promjenjive prirode (intenzitet eksploatacije, okolina, način uporabe,…), pa ih je, u pravilu, nemoguće sve realno sagledati i interpretirati. Često se čuju tvrdnje da su promjene stanja i pojava različitih kvarova posljedica baš onih eksploatacijskih uvjeta i opterećenja koja se pri razvoju vozila nisu uzela u obzir. Zbog toga se proizvođači vozila i ograđuju uputama za rukovanje, koje korisnike upozoravaju na poštivanje uvjeta rada za koje je vozilo projektirano. Ovaj problem će uvijek postojati, jer će svako vozilo, kao kompleksni tehnički sustav, uvijek u sebi nositi određene slabosti kao posljedicu nesuglasja konstrukcije i uporabnih uvjeta. Projektant nikad neće biti u mogućnosti potpuno predvidjeti sve rizične situacije u kojima bi se vozilo moglo naći tijekom normalne uporabe, jer i mnogi radni i parazitski procesi koji se normalno odvijaju na vozilu tijekom rada “u projektiranim uvjetima” prirodno doprinose promjenama stanja uslijed vlastitih slabosti vozila. Mjere za smanjenje ovakvih rizika su unaprjeđenje metoda projektiranja, istraživanje eksploatacijskih

uvjeta i radnih opterećenja, analiza promjene stanja, analiza mogućih vrsta i uzroka kvarova još u fazi projektiranja.

Svako vozilo se projektira za određene uporabne uvjete (režim rada) određene raspodjelama opterećenja pojedinih elemenata i sklopova, pa promjena stanja može biti posljedica rada u projektiranim uvjetima i posljedica rada u ekscesnim uvjetima.

Čest je slučaj, prilikom uporabe vozila, pojava prekoračenja područja projektiranog režima rada zbog povremenih preopterećenja, koja su posljedica: prekoračenja dozvoljene nosivosti, udarnih neravnina podloge, nekvalitetnog održavanja, lošeg rukovanja, prometnih nezgoda, itd

Najvažniji uzroci promjene stanja vozila, kao složenog tehničkog sustava, su: zamor, trošenje, korozija, starenje nemetalnih dijelova, kemijsko-mehaničke promjene tekućina (ulje, rashladna tekućina), ugrađene greške, preopterećenja, itd. Još jednom treba naglasiti da je proces trošenja osnovni uzrok promjene stanja i da se na njega tijekom eksploatacijskog perioda pravilnom i odgovornom uporabom i održavanjem može utjecati.

LITERATURA

1. Belak S. Terotehnologija. Šibenik: Visoka škola za turistički menadžment; 2005.
2. Todorović J. Održavanje motornih vozila: osnovi teorije održavanja. Beograd: Mašinski fakultet; 1980.
3. Jurić I. Nastavni materijali iz kolegija Održavanje cestovnih vozila, e-student FPZ. Zagreb, 2010.
4. Papić V, Mijailović R, Momčilović V. Transportna sredstva i održavanje. Beograd: Saobraćajni fakultet; 2007.

POPIS SLIKA

Slika 2.2. Vremenska slika stanja vozila

Slika 2.2. Krivulja intenziteta kvarova (krivulja "kade", "čamca")

Slika 3.1. Transkristalni prijelom zbog zamora

Slika 3.2. Promjena stanja zbog zamora

Slika 3.3. Shematski prikaz oblika korozije

Slika 3.4. Shema tribomehaničkog sustava

Slika 3.5. Tribomehanički sustav

Slika 3.6. Karakteristični slučajevi trenja

Slika 3.7. Prijelaz s tehnološkog na radni reljef dodirnih površina

Slika 3.8. Odnos površine nalijeganja A(t) i specifičnog tlaka p(t) tijekom razrade dodirnih površina

Slika 3.9. Shema stvaranja uljnog sloja klizni ležaj-vratilo

Slika 3.10. Ovisnost trošenja vratila o uvjetima trenja

Slika 3.11. Prikaz ovisnosti veličine trošenja o vremenu i krivulja brzine trošenja

Slika 3.12. Shema promjene zračnosti između elemenata – mogućnost povećanja perioda II

Slika 4.1. Intenzitet trošenja cilindra u funkciji ubrzanja radilice i opterećenja motora,

Slika 4.2. Statistička raspodjela zakretnog momenta na pogonskim vratilima kotača ovisna o uvjetima uporabe

Slika 4.3. Krivulje promjene okretnog momenta na izlazu iz mjenjača

Slika 4.4. Utjecaj broja okretaja (n) koljenastog vratila i srednjeg efektivnog tlaka (pe) na intenzitet trošenja elemenata motora

Slika 4.5. Energetska bilanca kočenja

Slika 4.6. Promjena sile trenja između elemenata za kočenje u funkciji temperature na površinama tarnog para

Slika 5.1. Utjecaj temperature okoline na promjenu broja otkaza

Slika 5.2. Ovisnost trošenja o radnoj temperaturi motora

Slika 5.3. Utjecaj radne temperature motora na intenzitet trošenja

Slika 6.1. Promjena pokazatelja vještine vozača nakon obuke

Slika 6.2. Krivulje promjene okretnog momenta na kardanskom vratilu pri polasku s mjesta u različitim uvjetima

Slika 6.3. Utjecaj koncentracije prašine u zraku na intenzitet trošenja motora

Slika 6.4. Utjecaj uvjeta uporabe na vijek trajanja pneumatika

Slika 6.5. Površine nalijeganja pneumatika

POPIS TABLICA

Tablica 1. Utjecaj agresivnosti okoline na koroziju metala – gubici težine u mg/dm^3 na dan

Tablica 2. Broj promjena stupnjeva prijenosa u različitim uporabnim uvjetima