

**Predmet:** Motori i motorna vozila

**Razred i odjeljenje:** IV4

**Modul:** 06 – Dinamičke i eksploatacione karakteristike vozila

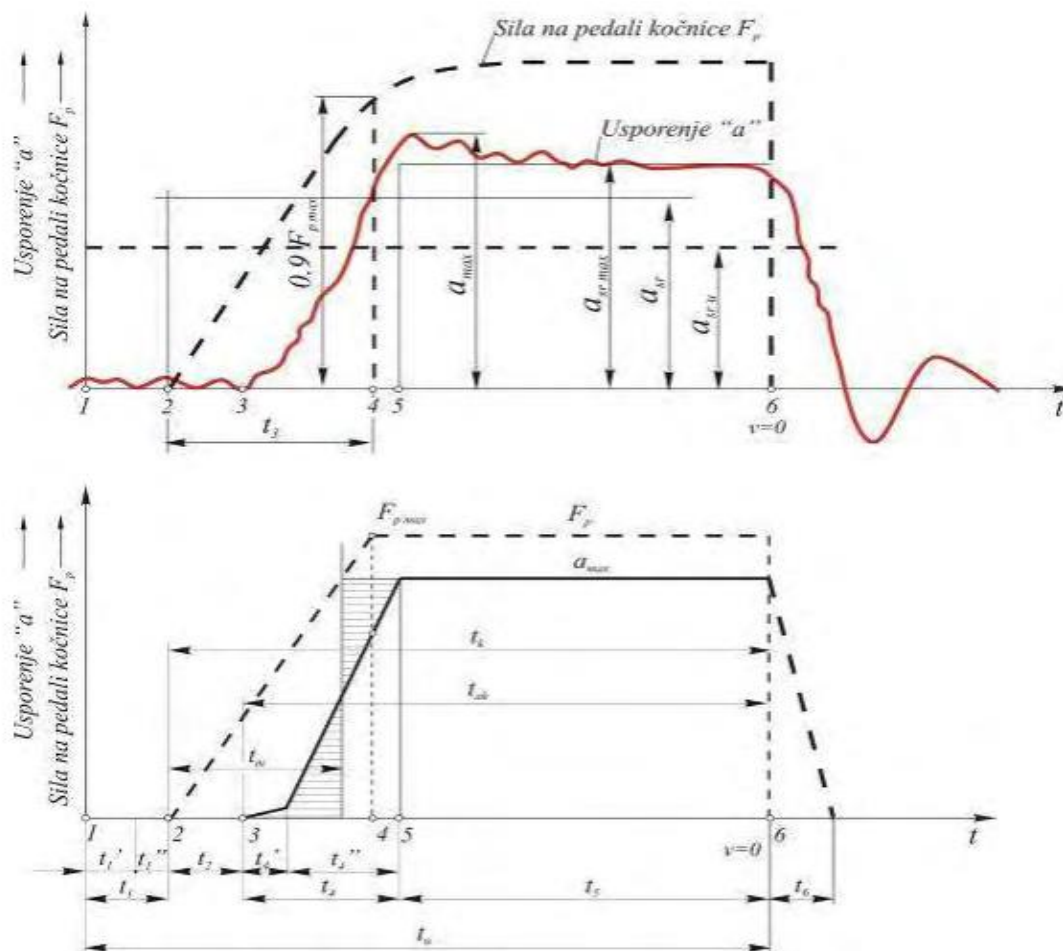
**Predmetni nastavnik:** Milijana Lazarević

**Kontakt:** [milijanal351@gmail.com](mailto:milijanal351@gmail.com)

## ZAKONI KRETANJA KOČENOG VOZILA – STVARNI PARAMETRI PROCESA KOČENJA

### Vrijeme kočenja

Mogućnosti samog sistema za kočenje zavise i od mogućnosti i psihičkog stanja vozača, tako da se stvarne veličine vremena i puta kočenja razlikuju od teorijski sračunatih vrijednosti. Realno snimljeni dijagrami procesa kočenja prikazuju i stvarnu sliku i parametre u tom procesu. Na slici 4-1 dat je realan dijagram snimljen u procesu kočenja (gornja slika) uređajem kojim se mjeri usporenje vozila (crvena linija predstavlja zapis usporenja) I idealizovan dijagram procesa kočenja (donja slika).



**Slika 4-1** Realni i idealizovani parametri u procesu kočenja

Na realnom dijagramu jasno mogu da se uoče vremena  $t_1$  do  $t_6$ , u kojima se proces kočenja odigrava, kao i promjena usporenja u tom procesu, obzirom da praktično niti je moguće niti poželjno, sa aspekta udobnosti putnika, ali i samog vozača, ostvarivanje maksimalnog usporenja u jednom trenutku.

**Vrijeme  $t_1$** , prikazano na uprošćenom - idealizovanom dijagramu, predstavlja vrijeme reakcije vozača od početka opažanja i shvatanja situacije da je potrebno kočenje. Daljim raščlanjivanjem ovog vremena mogu da se razlikuju vremena  $t_1'$  (vrijeme opažanja i shvatanja vozača da treba da koči) i vrijeme  $t_1''$ , koje predstavlja takozvano motorno vrijeme vozača (premještanje noge vozača na pedal kočnice). Vrijeme  $t_1$  je individualno i za prosječne i pažljive vozače kreće se u granicama 0,6 do 0,8 sekundi.

Ispitivanja su pokazala da svega 10% ispitanika ima vrijeme reakcije 0,4 sekundi ili čak i manje. Isto tako izvjestan broj ispitanika, kao i testiranje umornih vozača i vozača pod uticajem alkohola, pokazalo je, da je kod njih, znatno sporije vrijeme reakcije, čak do 1,5 sekundi. Ovo vrijeme uobičajeno se naziva **psihička sekunda**.

**Vrijeme  $t_2$**  predstavlja vrijeme reakcije sistema za kočenje, takozvano vrijeme odziva kočionog sistema (savlađivanje praznog hoda komandi, unutrašnjeg trenja, elastične deformacije cjevovoda, konačnost brzine talasa porasta pritiska i sličnog). Drugim riječima, u ovom vremenu sila u sistemu za kočenje tek počinje da raste, tako da još uvijek nema vidljivog usporenja vozila (vidi sliku 4-1). U zavisnosti od vrste kočionog sistema, ovo vrijeme se kreće u granicama:

- $t_2 = 0,03$  do  $0,05$  sekundi za vozila sa hidrauličnim sistemom prenosa
- $t_2 = 0,2$  do  $0,5$  za vozila sa vazdušnim sistemom prenosa

Tek na kraju vremena  $t_2$  (tačka 3 na dijagramu) usporenje vozila postaje vidljivo i na dijagramu se odslikava porastom usporenja.

**Vrijeme  $t_3$**  (od tačke 3 do tačke 4) predstavlja vrijeme aktiviranja kočenja. Zbog relativno sporog postizanja maksimuma kočione sile, ovo vrijeme se ocjenjuje kada se postigne 90% maksimalne komandne sile kočenja (sila na pedali kočnice). I ovo vrijeme je individualno i kreće se u granicama 0,15 do 0,8 sekundi. Ispitivanja su pokazala da 90% vozača ima ovo vrijeme oko 0,4 sekunde.

**Vrijeme  $t_4$**  predstavlja vrijeme potrebno za postizanje maksimalnog usporenja vozila. Daljom analizom ovog vremena pokazalo se da je moguće njegovo raščlanjivanje na vremena  $t_4'$  (vrijeme završnog odziva kočnog sistema, koje može i da se zanemari) i vrijeme  $t_4''$  koje predstavlja takozvano vrijeme aktivnog usporenja. Najčešće se smatra da je  $t_4 \approx t_4''$  i da ovo vrijeme iznosi:

- $t_4 = 0,2$  do  $1,0$  sekunde za vozila sa hidrauličnim sistemom prenosa
- $t_4 = 2,0$  do  $2,5$  sekundi za vozila sa vazdušnim sistemom prenosa (veća vremena odgovaraju vučnim vozovima)

**Vrijeme  $t_5$**  predstavlja vrijeme aktivnog dejstva maksimalne sile kočenja sa približno maksimalnom silom na pedali kočnice. Ovo vrijeme je različito i zavisi od uzroka kočenja odnosno intenziteta kočenja i samim tim držanja maksimalne sile na pedali kočnice. U slučaju intenzivnog kočenja, tek u tački 6 vozač prestaje sa dejstvom na komandu (sila  $F_p$  pada na nulu), ali se usporenje nastavlja.

Zbir vremena  $t_4$  i  $t_5$  naziva se **vrijeme aktivnog dejstva kočne sile**  $t_{ak} = t_4 + t_5$

Na osnovu naprijed date analize vremena može da se zaključi da je ukupno **vrijeme zaustavljanja** zbir vremena  $t_u = t_1 + t_2 + t_4 + t_5$  i sastoji se od vremena reagovanja vozača i reagovanja kočnog sistema vozila.

Ukoliko se vremenu aktivnog kočenja doda i vrijeme odziva kočnog sistema, datog kao  $t_2$ , slijedi **vrijeme stvarnog kočenja**, to jeste, vrijeme od početka dejstvovanja na komandu kočenja do zaustavljanja vozila:

$$t_k = t_2 + t_4 + t_5 = t_{ak} + t_2$$

Međutim, sa aspekta kočnog sistema, **vrijeme reagovanja i aktiviranja kočnog sistema**, uzima se kao:

$$t_m = t_2 + t_4 + \frac{t_4}{2} \approx t_2 + \frac{t_4}{2}$$

Kao posebno značajan parametar kočnog sistema ovo vrijeme spada u grupu ispitivanih performansi kočnog sistema, te je međunarodnim pravilnikom ECE 13 propisano maksimalno vrijeme aktiviranja kočnog sistema. Naime, pritisak u vazдушnim sistemima prenosa se relativno sporo prenosi, što može da doprinese znatnom zakašnjenju odziva kočnog sistema.

Propisima je utvrđeno da od početka dejstvovanja na komandu kočnog sistema (početak pritiska na pedal kočnice), odnosno od trenutka kada pritisak u najudaljenijem kočnom cilindru postigne 10% svoje maksimalne vrijednosti, pa do trenutka kada ovaj pritisak postigne 75% maksimalne vrijednosti, ne smije da protekne više od 0,6 sekundi.

Iz sličnih razloga se zahtjeva da vrijeme odziva vazdušnog mehanizma prikolice ne smije da bude veće od 0,4 sekundi, s tim da odziv odgovarajućeg dijela mehanizma na vučnom vozilu (tegljaču) tada može da iznosi najviše 0,2 sekunde.

Shodno ovako definisanim vremenima reakcija sistema kočenja, postoje i različite definicije **srednjeg usporenja** (srednje maksimalno usporenje, srednje usporenje i ukupno srednje usporenje).

**Srednje maksimalno usporenje**  $a_{srmax}$  odnosi se na vrijeme aktivnog dejstva maksimalne sile kočenja ( $t_5$ ) i za njega se u uprošćenom dijagramu (donji dijagram na slici 4-1) pretpostavlja da je konstantno.

**Srednje usporenje**  $a_{sr}$  odnosi se na ukupno vrijeme kočenja  $t_k$ .

**Ukupno srednje usporenje**  $a_{usr}$  se odnosi na ukupno vrijeme zaustavljanja.

U praksi se najviše koriste definicije srednjeg maksimalnog i ukupnog srednjeg usporenja, češće nazvanog srednje usporenje.

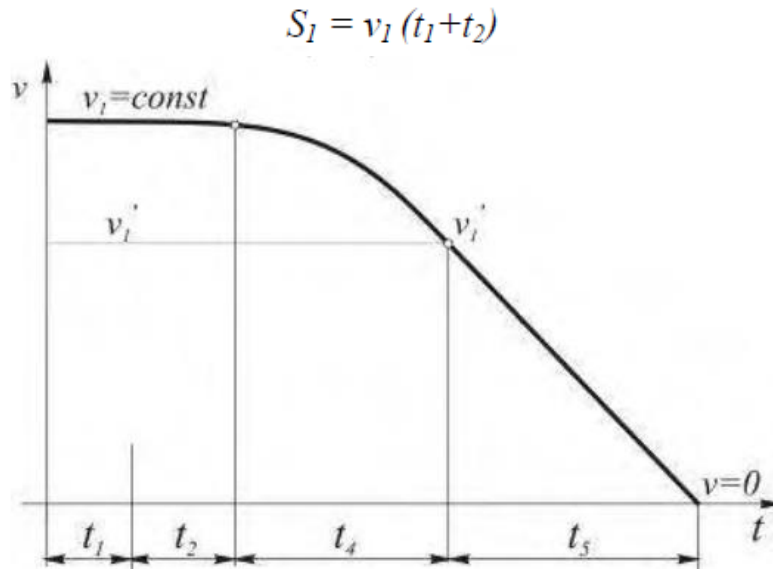
**Vrijeme  $t_6$**  je vrijeme takozvanog zaostajanja ili otkočivanja (često nazivano „vrijeme rasterećenja kočnog sistema“) i zavisi od sistema za kočenje. Poželjno je da isto bude što kraće kako bi kočenje bilo potpuno kontrolisano. Ovo vrijeme najčešće iznosi:

- $t_6 = 0,2$  do  $0,3$  sekundi za vozila sa hidrauličnim sistemom prenosa
- $t_6 = 1,5$  do  $2,5$  za vozila sa vazдушnim sistemom prenosa (veća vremena odgovaraju vučnim vozovima).

## Put kočenja

Opisani proces kočenja u prethodnoj nastavnoj jedinici pokazuje da se tokom vremena u procesu kočenja značajno mijenjaju sile kočenja, pa time i usporenje vozila. Analiza ovih promjena se može jasnije prikazati dijagramima (slika 4-2 i 4-3), na kojima se vide promjene brzine vozila i pređenog puta u procesu kočenja.

Kako je prikazano na dijagramu 4-2, koji odgovara realnom stanju, tokom vremena  $t_1$  (vrijeme reakcije vozača od početka opažanja i shvatanja situacije da je potrebno kočenje) i vremena  $t_2$  (vrijeme reakcije sistema za kočenje, odnosno vrijeme odziva kočionog sistema), vozilo ima brzinu koju je imalo na samom početku kočenja, drugim riječima ta brzina kretanja vozila je konstantna. U tom vremenskom intervalu vozilo pređe put:



Slika 4-2 Promjena brzine vozila u procesu kočenja

Tek po isteku vremena reakcije kočnog sistema otpočinje usporenje vozila, koje traje do postizanja maksimalnog usporenja vozila. To vrijeme je na dijagramu definisano kao vrijeme  $t_4$ . Promjena usporenja u ovom vremenskom intervalu ( $0 \leq t \leq t_4$ ) se mijenja prema zakonitosti:

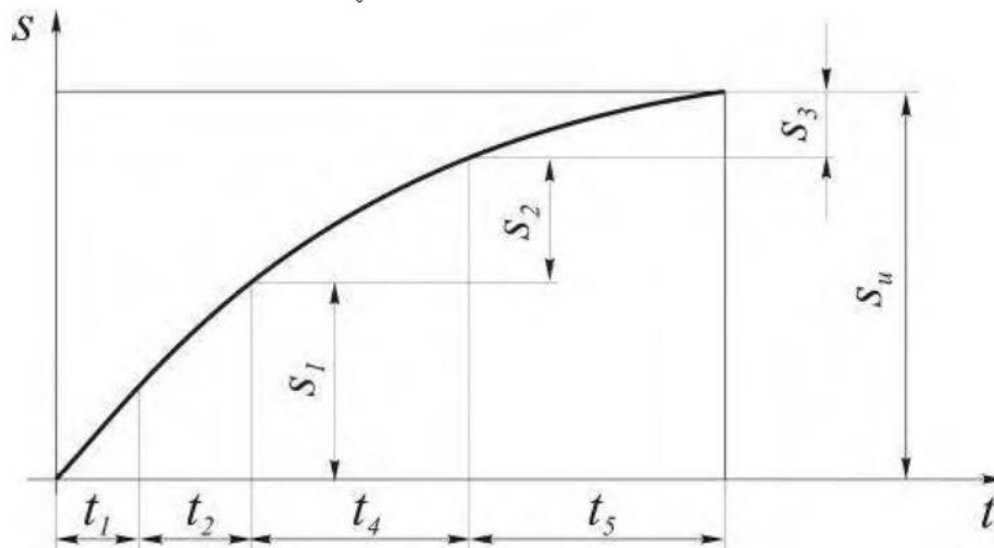
$$a = \frac{a_{\max}}{t_4} t$$

Shodno promjeni usporenja mijenja se i brzina vozila prema zakonu

$$v = v_1 - \int_0^t \frac{a_{\max}}{t_4} t dt = v_1 - \frac{a_{\max}}{2 \cdot t_4} t^2$$

čime se i put kočenja za vrijeme protoka vremena  $t_4$  mijenja prema sličnom zakonu:

$$S_2 = \int_0^t v dt = v_1 \cdot t_4 - \frac{a_{\max}}{6} t_4^2$$



**Slika 4-3** Promjena puta vozila u procesu koćenja

Poslije postizanja maksimalne sile koćenja u vremenskom intervalu  $t_5$ , nastaje i period maksimalnog usporenja  $a_{\max}$  u kome je brzina vozila jednoliko opadajuća do zaustavljanja vozila ( $V=0$ ) i mijenja se prema zakonu:

$$v = v_1' - a_{\max} \cdot t$$

gdje je brzina vozila  $V_1'$  krajnja brzina na isteku vremenskog perioda  $t_4$ , odnosno početna brzina na početku perioda  $t_5$  i uzima se kao:

$$v_1' = v_1 - \frac{a_{\max}}{2} t_4$$

Vrijeme potrebno da se vozilo potpuno zaustavi, na dijagramu definisano kao vreme  $t_5$ , dobija se uzimajući brzinu  $V_1'$  kao početnu, odnosno:

$$t_5 = \frac{v_1'}{a_{\max}} = \frac{v_1}{a_{\max}} - \frac{t_4}{2}$$

Na osnovu početne brzine  $V_1'$  dobija se put, definisan kao  $S_3$ , koji vozilo pređe u vremenskom intervalu  $t_5$ :

$$S_3 = \int_0^{t_5} v \cdot dt = v_1' \cdot t_5 - \frac{a_{\max}}{2} t_5^2 = \frac{v_1'^2}{2 \cdot a_{\max}}$$

Na osnovu svih puteva pređenih u vremenskim intervalima  $t_1$  do  $t_4$  nalazi se ukupan put u toku cijelog procesa koćenja - do zaustavljanja vozila, u obliku:

$$S_u = S_1 + S_2 + S_3 = v_1 \left( t_1 + t_2 + \frac{t_4}{2} \right) + \frac{v_1'^2}{2 \cdot a_{\max}} - \frac{a_{\max}}{24} t_4^2$$

Zanemarivanjem posljednjeg člana kao veoma malog, konačan oblik jednačine za pređeni put u procesu kočenja je:

$$S_u = S_1 + S_2 + S_3 = v_1 \left( t_1 + t_2 + \frac{t_4}{2} \right) + \frac{v_1^2}{2 \cdot a_{\max}}$$

Naprijed izračunati put naziva se **zaustavni put vozila** i predstavlja zbir puteva koje vozilo prelazi u fazi reagovanja vozača, odziva kočnog sistema i pređenog puta koji se vrši sa maksimalnim usporenjem.

Put kočenja ("trag kočenja")  $\implies S_k = S_2 + S_3 = v_1 \left( t_2 + \frac{t_4}{2} \right) + \frac{v_1^2}{2 \cdot a_{\max}}$

*\*\*\*Izraz "trag točenja" predstavlja recidiv prošlosti, kada vozila nisu imala uređaj koji sprečava blokiranje točkova (ABS uređaj), što je ustvari izazivalo da pneumatic ostavljaju trag po kolovozu. U današnje vrijeme ovaj izraz je već prevaziđen i ne odgovara stvarnosti, ali se još uvijek može naći u literaturi, obzirom da jasno i "slikovito" izražava pređeni put kada je u sistemu postignut maksimum sile kočenja.*

### DOMAĆI ZADATAK:

1. Na realnom dijagramu procesa kočenja objasni parametre kočenja, odnosno vremena u kojima se proces kočenja odigrava.
2. Šta podrazmjeva pojam „psihička sekunda“ i u kojim granicama se ona kreće?
3. Od čega zavisi vrijeme aktivnog kočenja i u kojim granicama se kreće?
4. Objasni razliku između vremena zaustavljanja i vremena stvarnog kočenja?
5. U sveske nacrtati dijagrame i izvesti formule. Pratite dijagrame promjene brzine i puta kočenja u zavisnosti od vremena i na osnovu toga izvodite odgovarajuće izraze (NE PREPISUJ MEHANIČKI, RAZMIŠLJAJ!). Teorijske činjenice o vremenu i putu kočenja su vam neophodne za razumjevanje zadataka koji će biti obrađeni u narednoj nastavnoj jedinici.

*Napomena: Za sva dodatna objašnjenja i informacije kontaktirajte me na gore navedenu mail adresu.*