

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Моторна возила 1

Број индекса: 9/2012

Јелена Ж. Станковић

**Анализа утицајних параметара на ефикасност
процеса кочења**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Јованка Лукић, проф. - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише и анализира:

- ефикасност процеса кочења,
- утицајне конструктивне параметре возила на нарушавање стабилности у процесу кочења.

Препоручена литература:

1. Демић М., Лукић Ј.: Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
2. Симић Д.: Моторна возила, Научна књига, Београд, 1988.

Крагујевац, 03.03.2015.

ментор:

Др Јованка Лукић, проф.

Садржај

Увод	5
2.Значај кочних система	7
3. Кочење моторних возила.....	10
3.1 Граничне вредности кочних сила.....	10
3.2 Одређивање максималног успорења.....	13
3.3 Пут кочења	15
3.4 Време кочења	16
3.5 Критична брзина при кочењу моторног возила.....	17
3.6 Утицај масе возила на параметре кочења	17
3.7 Стварни параметри кочења.....	19
4. Анализа утицајних конструктивних параметара на ефикасност кочења.....	21
4.1 Утицај нагиба пута, α	23
4.2 Утицај коефицијента пријањања, φ	25
4.3 Утицај коефицијента отпора котрљања, f	26
4.4 Утицај масе возила, m	28
4.5 Утицај коефицијента отпора ваздуха, C_x	29
4.6 Утицај чеоне површине возила, A	31
5.Закључак.....	33
6. Литература	34

Резиме:

У овом раду је објашњено због чега је значајно кочење, као и параметри који се користе за оцену ефикасности кочења. Систем за кочење омогућава да избегнемо опасне ситуације које се свакодневно дешавају у саобраћају, и зато се овом систему поклања највећа пажња. На конкретном примеру путничког возила извршена је анализа утицајних конструктивних параметара на ефикасност кочења, а резултати прорачуна приказани су дијаграмима.

Кључне речи: Кочни систем, кочница, пут кочења, време кочења.

Abstract:

This paper explains the significance of breaking, as well as the parameters used to evaluate the efficiency of braking. Braking system enables us to avoid dangerous situations which daily happen in traffic, and that is why this system needs to have our full attention. In the specific example of passenger vehicle, the analysis of influential constructive parameters has been performed on the efficiency of braking, and the results of the calculation are showed on the diagrams.

Key words: Braking system, brake,braking distance, braking time.

Увод

Техника моторних возила је од развоја првог аутомобила па све до данас доживела изузетан развој. Битан део технике моторних возила односи се на кочење. Кочење је успоравање или заустављање возила употребом кочног система на возилу. Поуздани и ефикасни кочни системи су услов повећања средње брзине кретања. Одвија се на релацијама возач-возило-окружење. Кочни систем је значајан саставни део свих моторних и прикључних возила. Како се моторно возило не може замислити без мотора, тако се не може замислити ни без система који омогућава заустављање. Поред успоравања и заустављања возила, кочни систем има и друге задатке, а пре свега да заједно са другим системима омогући управљање брзином кретања возила. Састоји се од команде, преносног механизма и кочница. Елементи система кочења морају задовољити механичке захтеве процеса кочења, као и захтеве које пред произвођаче тих елемената постављају законодавци у циљу заштите грађанства. За кочење возила и за његово заустављање, коефицијент пријањања је веома битан.

Процес кочења у стварности састоји из процеса делимичног котрљања и делимичног клизања точкова аутомобила. Кинетичка енергија аутомобила који се креће са клизањем и котрљањем точкова аутомобила у процесу кочења троши се у раду трења између кочионих папуча и добоша, и раду трења пнеуматика на путу услед клизања.

Возило у покрету има извесну кинетичку енергију, тако да је процес кочења праћен променама низа енергетских и динамичких карактеристика, које се врше по одређеним законитостима и проучавају се са аспекта енергетске и динамичке анализе. Енергетска анализа одређује енергетске промене у процесу кочења, а динамичка предвиђа законитости кретања коченог возила- успорење возила и пута кочења, а такође и стабилност возила у процесу кочења. Кочење је увек праћено неповратним губицима енергије, па се може рећи да свако кочење истовремено значи и повећање потрошње горива.

Карактеристике поузданости непосредно описују способност система да ради без отказа, под датим условима и у одређеном временском периоду. С обзиром да кочни систем има велики утицај на безбедност саобраћаја, захтевима у погледу поузданости се поклања посебна пажња [3].

Возач руком или ногом делује на кочни систем, тј кочнице, преко одговарајућег преносног механизма, тако да се кочницама доведе потребна сила активирања или одговарајући притисак. Активирањем система за кочење, настаје трење између покретних и непокретних елемената кочнице [4]. Кинетичка енергија возила се претвара у топлотну, која се ослобађа због радне силе трења непокретних и покретних елемената кочнице. Остварени момент кочења зависи од ангажованог момента силе пријањања између пнеуматика и подлоге. Ангажована вредност силе пријањања зависи од стања пнеуматика, карактеристика подлоге, влажности подлоге, брзине кретања итд.

При кочењу возила, могуће је остварити четири карактеристична режима: [3]

- кочење у случају изненадне опасности (нагло кочење),
- нормално кочење,
- делимично кочење и
- кочење возила у стању мировања.

Кочење возила може да се оствари на различите начине:

- кочење помоћу кочних система који првенствено делују на точкове,
- кочење мотором које се користи као помоћно кочење на дужим низбрдицама,
- кочење дејством спољних отпора (R_f , R_v , R_i)
- кочење комбинацијом поменутих начина.

2.Значај кочних система

Кочни системи савремених моторних и прикључних возила, морају да задовоље бројне захтеве квалитета, а неки од њих су: [3]

- успоравање и заустављање возила у свим околностима када је то потребно,
- стабилно кретање возила током кочења, односно спречавање појава које доводе до губитка стабилности, клизања кочених точкова и заносења возила (биће остварено само у случају када се при кочењу не угрози основна функција точка-његово котрљање по подлози),
- мирно и постепено кочење, уз пуни осећај возача,
- активирање кочница са што мањим силама на командама кочног система,
- високу поузданост у свим предвиђеним радним условима, тј. функционисање система са што мањом вероватноћом појаве отказа,
- кочење без шкрипе или других непожељних пратећих појава.

Са аспекта безбедности саобраћаја, задатак кочног система је да спречи удес у саобраћају у околностима када је кочење могуће и када појава удеса зависи од успорења и стабилности возила за време кочења. У тренуцима неочекиване опасности, кочни систем треба да омогући возачу да возило заустави на што краћем растојању, тако да избегне судар са другим возилом или објектом.

Кочни систем једног возила мора да обезбеди испуњење постављених задатака без обзира на врсте и квалитете путева по којима возило може да се креће. При томе се подразумева да возилом рукује искусан возач, који је у стању да својим реаговањем и начином вожње умањи негативне утицаје околине.

Степен задовољења свих ових захтева представља меру квалитета кочног система. У том случају, квалитет кочног система представља сложену структуру, која укључује следеће подсистеме: [3]

- радна кочница,
- помоћна кочница,
- паркирна кочница и
- допунска кочница-успорач.

Радна кочница преузима извршавање најважнијих задатака кочних система, односно кочење возила максималним успорењима (у случају опасности) и сва блажа, краткотрајна кочења, у нормалним условима кретања. Она је најважнији део кочног система. [4]

Помоћна кочница се уводи искључиво ради повећања безбедности возила у саобраћају, односно у циљу остваривања веће поузданости кочног система. Њен задатак је да обезбеди могућност кочења возила и у случају ако дође до отказа у подсистему радне кочнице.

Паркирна кочница има задатак да обезбеди трајно кочење возила у месту, тј. паркирно кочење. Уколико се ова кочница реши тако да се може активирати и при кретању возила, онда паркирна кочница може да преузме и задатке помоћне кочнице. У том случају, паркирна и помоћна кочница су један исти подсистем.

Допунска кочница је превасходно намењена благом, дуготрајном кочењу при кретању возила на дужим падовима. Њено обавезно постојање прописано је само за возила већих укупних маса.

Сваки од наведених подсистема, укључује исте функционалне компоненте:

- команда,
- преносни механизам и
- кочница.

Команда служи за активирање одговарајућег подсистема, тј. радне, помоћне и других кочница. Сваки подсистем мора да има своју команду, постављену тако да возач лако може да је активира. Команда радне кочнице је изведена као папучица која је постављена непосредно испред седишта возача, тако да возач може да је активира не скидајући руке са волана.

Преносни механизам има задатак да добијени импулс од команде пренесе до извршних органа –кочница.Ово је битна функција кочног система, која значајно утиче на укупне

перформансе возила у погледу кочења[4]. Преносни механизми кочних система решавају се на различите начине. У основи постоје три решења:

- преношење енергије возача,
- преношење енергије возача уз делимично коришћење спољног енергетског извора (или резервоара) и
- преношење енергије из других, тј. спољних извора, а на основу импулса који потичу од возача.

Према врсти преносних елемената, преносни механизми могу бити:

- механички,
- хидраулички,
- пнеуматски и
- комбиновани.

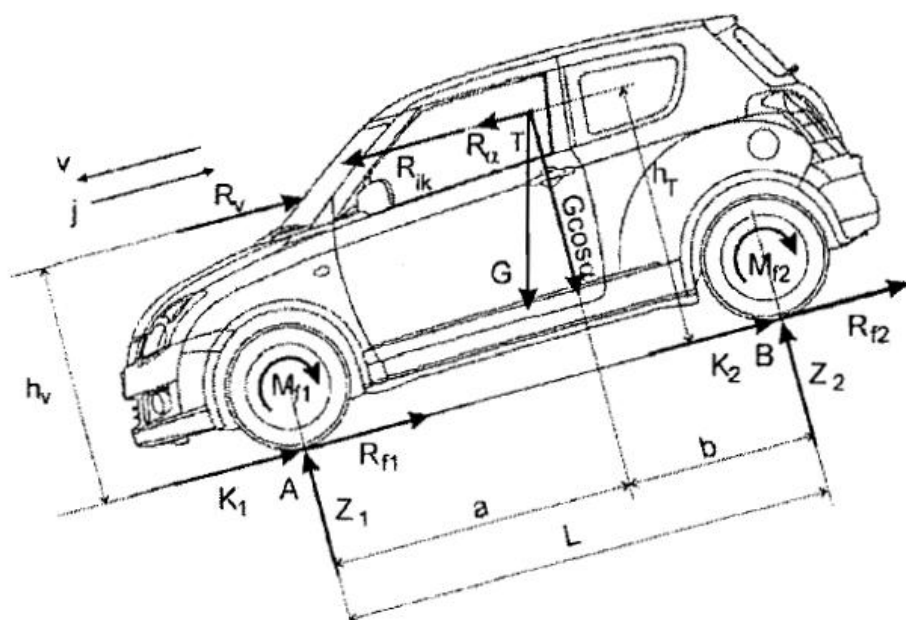
Кочница је најважнији део кочног система. У кочницама се остварује кочни момент потребан за успоравање и заустављање возила (што је њен основни задатак), односно за претварање енергије кретања возила у топлоту. Да би се остварио потребни кочни момент, неопходно је да се на педалу кочнице делује одговарајућом силом, тако да се оствари потребно трење у извршном органу кочнице. Кочни момент представља основну радну карактеристику сваке кочнице, мерило њених основних функционалних својстава односно перформанси. Такође, кочнице треба да обезбеде потребне снаге за брзо и ефикасно заустављање, али и одговарајуће енергетске капацитете за преузимање и даљи трансфер топлотне енергије која се развија током кочења. Ове захтеве најпотпуније задовољавају фриксионе кочнице. Оне развијају кочне моменте трењем, које се ствара између покретних и непокретних елемената. Друга могућа решења-хидродинамичке, електродинамичке и друге кочнице не пружају све потребне услове за извршавање функције циља [4].

3. Кочење моторних возила

Кочни системи савремених моторних и прикључних возила морају да задовоље бројне захтеве квалитета, наметнуте законским обавезама са становништва безбедности саобраћаја. Захтеви у погледу кочних својстава се непрекидно пооштравају, уводе се све строжији захтеви које возила морају да задовоље. Захтеви се првенствено односе на максималну вредност пута кочења и минималну вредност оствареног успорења. Да би захтеви били задовољени, пројектант мора предвидети поуздане, стабилне и квалитетне карактеристике кочних система, јер су оне у директној вези са кочним параметрима [1]. Ефикасност кочења није стални параметар, већ зависи од подлоге и услова оптерећења возила. За оцену ефикасности кочења користе се пут кочења, време кочења, остварено успорење, док се у пракси за оцену ефикасности кочења често користи кочни коефицијент.

3.1 Граничне вредности кочних сила

На слици 1. је приказан општи случај успореног кретања аутомобила низ стрму раван.



Слика 1. Шема сила у процесу кочења моторног возила [1]

Услов равнотеже свих сила у подужном правцу:

$$\sum X_i = 0 \quad (2.1)$$

$$K_1 + K_2 + R_{f1} + R_{f2} + R_v - R_\alpha - R_{ik} = 0 \quad (2.2)$$

Максималне вредности кочних сила код моторних возила једнаке су силама пријањања. Да би се израчунале посматра се слика 1.

Услов равнотеже свих момената за тачку А:

$$\sum M A^{F_i} = 0 \quad (2.3)$$

$$Z_2 L + R_{ik} h t + R_\alpha h t - R_v h t - G \cos \alpha a = 0 \quad (2.4)$$

Услов равнотеже свих момената за тачку В:

$$\sum M B^{F_i} = 0 \quad (2.5)$$

$$Z_1 L - R_{ik} h t - R_\alpha h t + R_v h t - G \cos \alpha b = 0 \quad (2.6)$$

Из услова равнотеже момената:

$$\sum M A^{F_i} = \sum M B^{F_i} = 0 \quad (2.7)$$

добиају се динамичке реакције на предњим и задњим точковима:

$$Z_1 = \frac{G \cos \alpha + h t (R_{ik} - R_v + G \sin \alpha)}{L} \quad (2.8)$$

$$Z_2 = \frac{G \cos \alpha - h t (R_{ik} - R_v + G \sin \alpha)}{L} \quad (2.9)$$

Из услова равнотеже у подужном правцу добија се зависност:

$$K + R_f = R_{ik} + G \sin \alpha - R_v \quad (2.10)$$

где је К укупна кочиона сила која делује на све точкове аутомобила

$$K = K_1 + K_2 \quad (2.11)$$

па сада нормалне реакције тла имају облик:

$$Z_1 = \frac{Gbc\cos\alpha + ht(K + Gf\cos\alpha)}{L} \quad (2.12)$$

$$Z_2 = \frac{Gac\cos\alpha - ht(K + Gf\cos\alpha)}{L} \quad (2.13)$$

Максимална кочиона сила је одређена условима пријањања:

$$K = Z\varphi \quad (2.14)$$

Посматрамо могуће случајеве при кочењу уз потпуно искоришћење коефицијента пријањања:

а) Кочење само предњим точковима:

$$K = Z_1\varphi \quad (2.15)$$

па су динамичке реакције тла:

$$Z_1 = G\cos\alpha \frac{b+h_tf}{L-h_t\varphi} \quad (2.16)$$

$$Z_2 = G\cos\alpha \frac{a+h_t(f+\varphi)}{L-h_t\varphi} \quad (2.17)$$

б) Кочење само задњим точковима:

$$K = Z_2\varphi \quad (2.18)$$

динамичке реакције тла у овом случају су:

$$Z_2 = G\cos\alpha \frac{a-h_tf}{L+h_t\varphi} \quad (2.19)$$

$$Z_1 = G\cos\alpha \frac{b+h_t(f+\varphi)}{L+h_t\varphi} \quad (2.20)$$

в) Кочење свим точковима:

$$K = G \varphi \cos \alpha \quad (2.21)$$

динамичке реакције тла су:

$$Z_1 = G \cos \alpha \frac{b + h_t(f + \varphi)}{L} \quad (2.22)$$

$$Z_2 = G \cos \alpha \frac{a - h_t(f + \varphi)}{L} \quad (2.22)$$

3.2 Одређивање максималног успорења

У случају кретања возила на хоризонталном путу, при малим и средњим брзинама кретања, потребно је одредити максимално успорење како би се анализирана ефикасност кочења. Отпор ваздуха и отпор нагиба пута се занемарују ($R_v=0$, $R_a=0$). Диференцијална једначина која описује кретање возила у том случају је: [2]

$$K + R_f = \frac{G}{g} j \delta' \quad (2.23)$$

где су:

- K - резултујућа сила кочења,
- R_f - резултујућа сила отпора котрљању,
- G - укупна тежина возила
- g - убрзање земљине теже
- j - успорење и
- δ' - коефицијент учешћа обртних маса у процесу кочења.

Максимално успорење се може одредити из диференцијалне једначине:

$$R_{IK} = \frac{G}{g} j \delta' = K + R_f \quad (2.24)$$

Посматрају се три карактеристична случајева кочења:

а) Кочење предњим точковима, важи релација

$$K = Z_1 \varphi \quad (2.25)$$

па је максимално успорење:

$$j' = \frac{g(b\varphi + fL)}{\delta'(L - h_t\varphi)} \quad (2.26)$$

б) Кочење само задњим точковима, важи релација

$$K = Z_2 \varphi \quad (2.27)$$

па је максимално успорење:

$$j' = \frac{g(a\varphi + fL)}{\delta'(L + h_t\varphi)} \quad (2.28)$$

в) Кочење свим точковима (што је случај код савремених аутомобила) важи релација

$$K = (Z_1 + Z_2) \varphi \quad (2.29)$$

па је максимално успорење у овом случају:

$$j' = \frac{g(\varphi + f)}{\delta'} \quad (2.30)$$

Максимална вредност успорења постиже при максималном коефицијенту пријањања. Највећа успорења већа су од највећих убрзања, јер отпор котрљања дејствује повећавајући ефекат кочења. Кочење се врши са искљученим квачилом, па је искључено дејство ротирајућих маса мотора ($\delta' < \delta$)

3.3 Пут кочења

Један од параметара ефикасности кочења јесте максимално успорење које аутомобил постиже. Међутим, није довољно располагати максималним интезитетом успорења, већ је неопходно познавати време и пут кочења од неке почетне брзине V_1 до крајње брзине V_2 или до потпуног заустављања.

Пут кочења је један од параметара за оцену ефикасности процеса кочења. Може се одредити коришћењем диференцијалне једначине кретања: [2]

$$R_{ik} = K + R_f \pm R_\alpha + R_v \quad (2.31)$$

где су:

$$R_f \pm R_\alpha + R_v = \sum R \quad (2.32)$$

$$R_{ik} = \frac{G}{g} j \delta' \quad (2.33)$$

$$j = \frac{dv}{dt} \quad (2.34)$$

Заменом услова равнотеже у диференцијалну једначину добија се:

$$j = \frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta'} \frac{K + \sum R}{G} \quad (2.35)$$

За одређивање пута кочења користи се трансформација:

$$j = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dS} \frac{dS}{dt} = \frac{dv}{dS} v \quad (2.36)$$

па диференцијална једначина добија облик:

$$j' = -\frac{dv}{dS} = \frac{G\delta'}{g} (Z\varphi + Gf\cos\alpha \pm G\sin\alpha + Wv^2) = -\frac{dv}{dS} v \quad (2.37)$$

После математичких трансформација, добија се коначан израз за пут кочења у општем случају:

$$S_k = \frac{G\delta'}{2Wg} \ln \frac{Z\varphi + Gf\cos\alpha \pm G\sin\alpha + Wv_1^2}{Z\varphi + Gf\cos\alpha \pm G\sin\alpha + Wv_2^2} \quad (2.38)$$

Где су:

- V_1 -брзина од које почиње кочење
- V_2 -брзина до које се возило успорава (ако се возило зауставља брзина $V_2=0$)
- $W=KA$ -производ коефицијента отпора ваздуха и чеоне површине возила

Ако уведемо смену:

$$B = Z\varphi + G(f\cos\alpha \mp \sin\alpha) \quad (2.39)$$

пут кочења у општем облику је:

$$S_k = \frac{G\delta'}{2Wg} \ln \frac{B + Wv_1^2}{B + Wv_2^2} \quad (2.40)$$

Пут кочења до заустављања када је брзина $V_2=0$ има облик:

$$S_k = \frac{G\delta'}{2Wg} \ln \left(1 + \frac{Wv_1^2}{B}\right) \quad (2.41)$$

За случај кочења до заустављања возила на хоризонталном путу ($\alpha=0$), добија се израз за пут кочења у следећем облику:

$$S_K = \frac{2\delta'}{g} \frac{v_1^2}{\varphi + f} \quad (2.42)$$

У изразу (2.42) не фигурише маса возила, што са теоријског и практичног аспекта није тачно. Истраживања рађена у том правцу су показала да пут кочења ипак зависи од масе возила и да се повећава у границама од 10 до 15% од теоријски срачунате вредности према једначини (2.42).

3.4 Време кочења

Други параметар који се користи за оцену ефикасности кочења јесте време кочења. У процесу интензивног кочења спојница је искључена и тиме је искључен утицај обртних

делова мотора, што доводи до скраћења пута кочења, па се узима да је $\delta'=1$. Време кочења и пут кочења добијају се из диференцијалне једначине кочења.

С обзиром да је $\delta'=1$, сада диференцијална једначина кочења има облик: [2]

$$-\frac{dv}{dt} = \frac{g}{G}(B + Wv^2) \quad (2.43)$$

односно:

$$dt = -\frac{G}{g} \frac{dv}{B + Wv^2} \quad (2.44)$$

Након извршене интеграције добија се израз за време кочења:

$$t = \frac{\delta'G}{g\sqrt{BW}} \arctg \sqrt{\frac{W}{B} \frac{v_1 - v_2}{1 + \frac{W}{B} v_1 v_2}} \quad (2.45)$$

3.5 Критична брзина при кочењу моторног возила

При кочењу аутомобила до заустављања низ стрму раван, у зависности од почетне брзине кретања, може да настане специјалан случај при коме је немогуће заустављање. Брзина при којој је немогуће зауставити возило је критична брзина при кочењу. У том случају је $S_k \rightarrow \infty$. [2]

Увођењем услова $S_k \rightarrow \infty$ у једначину за пут кочења у општем облику, добија се израз за критичну брзину при кочењу у општем облику:

$$v_{krit} = \sqrt{-\frac{B}{W}} \quad (2.46)$$

Заустављање возила је увек могуће када критична брзина има имагинарну вредност.

3.6 Утицај масе возила на параметре кочења

На основу предходно изведених формула уочавамо да на величину пута кочења утиче већи број параметара као што су почетна брзина кретања, угао нагиба пута, врста и стање

покривача пута, конструкција кочионог система и расподела кочионих сила. Такође, на величину пута кочења утиче и маса моторног возила. То се може објаснити чињеницом да се кочење не одвија са потпуно блокираним точковима, већ при томе постоји делимично котрљање.

Кинетичка енергија аутомобила који се креће са клизањем и котрљањем точкова у процесу кочења троши се у раду трења између кочионих папуча и добоша (A_r) и раду трења пнеуматика на путу услед клизања (A_s). [1]

Стога, је :

$$E = A_r + A_s \quad (2.47)$$

Елементарна промена кинетичке енергије (E) у бесконачном малом временском интервалу (dt), једнака је збиру оба рада, односно:

$$dE = dA_r + dA_s \quad (2.48)$$

Ако се уведу следеће ознаке:

- F_r - сила трења у извршном органу кочног система,
- F_s - сила трења између пнеуматика и пута,
- S' - пут који точкови возила пређу са котрљањем,
- S'' - пут који точкови возила пређу без котрљања,
- V - брзина аутомобила на почетку кочења.

Даље је:

$$\frac{G}{g} d\left(\frac{V^2}{2}\right) = d(F_r S') + d(F_s S'') \quad (2.49)$$

После диференцирања израза(2.49) добија се:

$$\frac{G}{g}V \left(\frac{dV}{dt} \right) = F_r \frac{dS'}{dt} + F_s \frac{dS''}{dt} \quad (2.50)$$

Израз $\frac{dS'}{dt}$ представља обимну брзину, а израз $\frac{dS''}{dt}$ брзину клизања точкова.

Ако се уведе смена λ_k , који представља однос између обимне брзине точкова v_f и брзине возила v , може се писати:

$$V_f = \lambda_k v \quad (2.51)$$

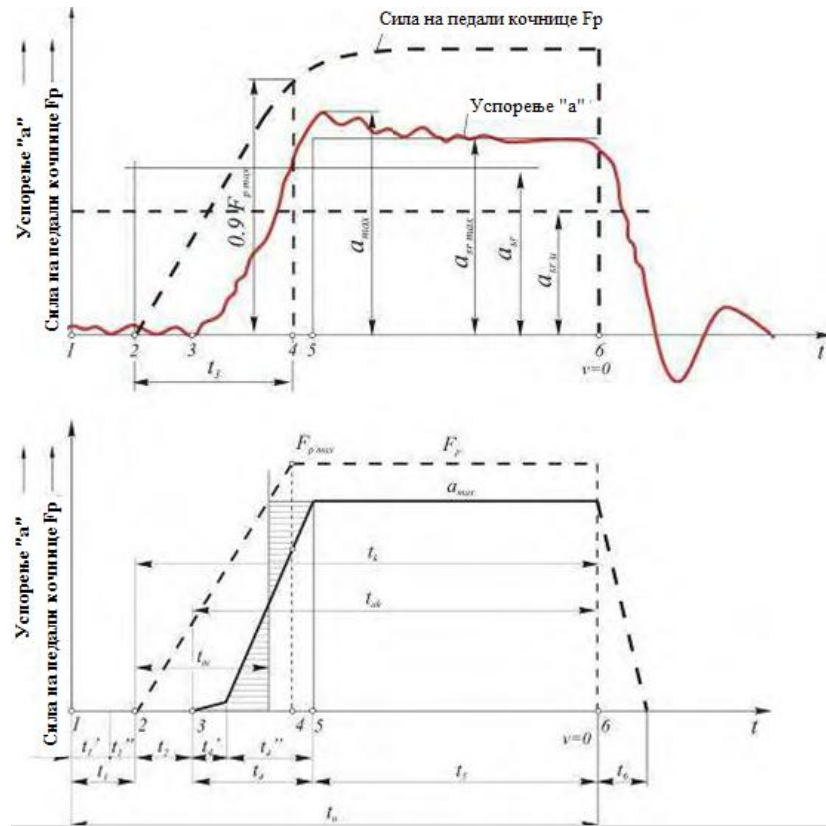
$$V_s = (1 - \lambda_k) v \quad (2.52)$$

Након одговарајућих математичких трансформација израза (2.50), (2.51) и (2.52) добија се израз за зауставни пут, који омогућава прецизније израчунавање зауставног пута возила, јер је изведен из услова да точкови нису потпуно блокирани, и узима у обзир утицај масе возила на пут кочења. Израчунати пут кочења је краћи од случаја када су точкови блокирани.

$$S_K = \frac{Gv^2}{2g[F_r\lambda_k + G\varphi(1 - \lambda_k)]} \quad (2.53)$$

3.7 Стварни параметри кочења

Стварне кочне карактеристике у односу на одвијање процеса кочења, могу најједноставније да се оцене анализом тзв. дијаграма кочења (слика 2). На горњој слици дат је реалан дијаграм снимљен у процесу кочења, док је на доњој слици идеализиран дијаграм. На дијаграму су приказане промене успорења у току кочења, као и промена силе на команди кочног система (педали, тј ручици). Дијаграм приказан на слици 2 је добијен непосредним мерењем, тачније одговарајућим испитивањем. Црвена линија представља запис успорења [5].



Слика 2 : Реални (горња слика) и идеализирани (доња слика) параметри у процесу кочења[5]

У процесу кочења разликујемо следеће временске интервале: [1]

- време реакције возача ($t_1=0,6-0,8$ s) - представља оно време које прође од момента добијања визуелног или звучног сигнала до реакције возача и његове припреме за кочења,
- време делимичног активирања кочења (t_2) - представља прву фазу кочења, тј. интервал од момента дејствовања на папучицу кочнице до момента кочења са пуним интензитетом (са максималним успорењем)
- време дејства кочнице (t_3) - представља укупно време дејствовања максималног жељеног и константног успорења,
- време заостајања ($t_4=0,2-0,3$ s) - дефинише се од момента прекида дејствовања на папучицу кочнице до потпуног нестанка успорења.

4. Анализа утицајних конструктивних параметара на ефикасност кочења

На конкретном примеру возила, анализиран је утицај конструктивних параметара на ефикасност кочења. Ефикасност кочења је анализирана преко пута и времена кочења. Возило коришћено за анализу је volkswagen polo произведено 2010. године. Карактеристике возила дате су у табели 1 и преузете су из сертификата о саобразности. Кочење је вршено са сва четири точка.

- Ефикасност процеса кочења је анализирана на основу пута кочења:

а) За случај када је $\alpha=0^\circ$ пут кочења се одређује према:

$$S_k = \frac{m}{2KA} \ln \frac{G(\varphi + f) + KAV_1^2}{G(\varphi + f) + KAV_2^2} \quad (3.1)$$

б) За случај када је $\alpha \neq 0^\circ$

$$S_k = \frac{m}{2KA} \ln \frac{G \cos \alpha (\varphi + f) - G \sin \alpha + KAv_1^2}{G \cos \alpha (\varphi + f) - G \sin \alpha + KAv_2^2} \quad (3.2)$$

и времена кочења:

а) За случај када је $\alpha=0^\circ$

$$t_k = \frac{m}{G(\varphi + f)} \sqrt{\frac{G(\varphi + f)}{KA}} \left[\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{KA}{G(\varphi + f)}} v_1 \right) - \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{KA}{G(\varphi + f)}} v_2 \right) \right] \quad (3.3)$$

б) За случај када је $\alpha \neq 0^\circ$

$$t_k = \frac{m}{B} \sqrt{\frac{B}{KA}} \left[\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{KA}{B}} v_1 \right) - \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{KA}{B}} v_2 \right) \right] \quad (3.4)$$

где је В смена :

$$B = G \cos \alpha (\varphi + f) - G \sin \alpha \quad (3.5)$$

Табела 1. Полазни параметри

Параметар	Вредност	Јединица
Нагиб пута [α]	0	[$^{\circ}$]
Почетна брзина кочења [V_1]	120	[km/h]
Брзина заустављања [V_2]	30	[km/h]
Маса возила [m]	1650	[kg]
Коефицијент отпора ваздуха [C_x]	0,3	[/]
Чеона површина аутомобила [A]	2	[m ²]
Коефицијент учешћа обртних маса [δ]	1	[/]
Коефицијент пријањања [φ]	0,7	[/]
Коефицијент отпора котрљања [f]	0,01	[/]
Густина ваздуха [ρ]	1,2	[kg/m ³]

Добијене вредности за пут и време кочења су:

$$S_k = 73,3 \text{ m}$$

$$t_k = 3,54 \text{ s}$$

У процесу анализе утицајних параметара на ефикасност кочења варирани су параметри у односу на полазне параметре: нагиб пута, коефицијент пријањања, маса возила, коефицијент отпора котрљању, чеона површина аутомобила и коефицијент отпора ваздуха, табела 2.

Табела 2. Вредности параметара коришћени за варирање

Нагиб пута, α [°]	Коефицијент отпора котрљања, f [/]	Коефицијент пријањања, φ [/]	Коефицијент отпора ваздуха, C_x [/]	Чеона површина аутомобила, A [m ²]	Маса возила, m [kg]
2	0,01125	0,6	0,2	1,5	1350
5	0,02	0,7	0,4	2,5	1950

4.1 Утицај нагиба пута, α

У табели 3. налазе се вредности добијене варирањем нагиба пута у изразима за пут и време кочења. Утицај нагиба пута на пут кочења приказан је на слици 3, а на време кочења на слици 4.

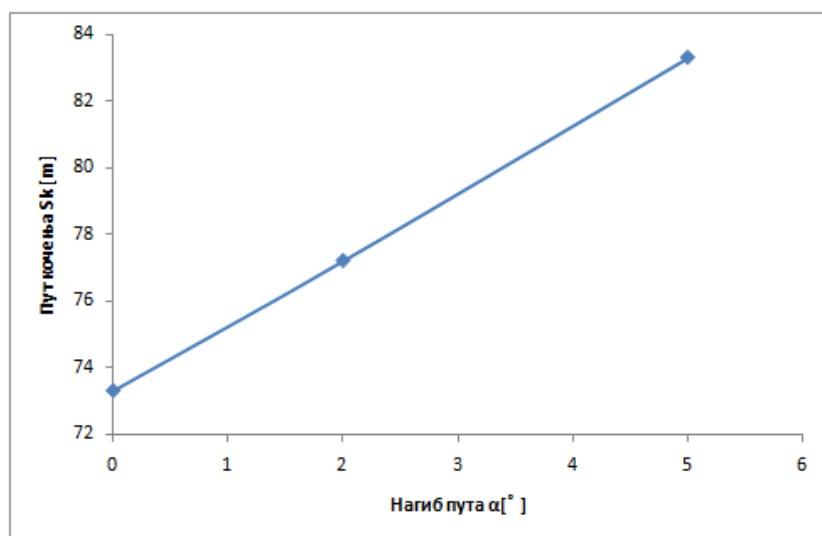
Табела 3. Вредности пута и времена кочења

Нагиб пута, α [°]	Пут кочења, S_k [m]	Време кочења, t_k [s]
2	77,2	3,72
5	83,3	4

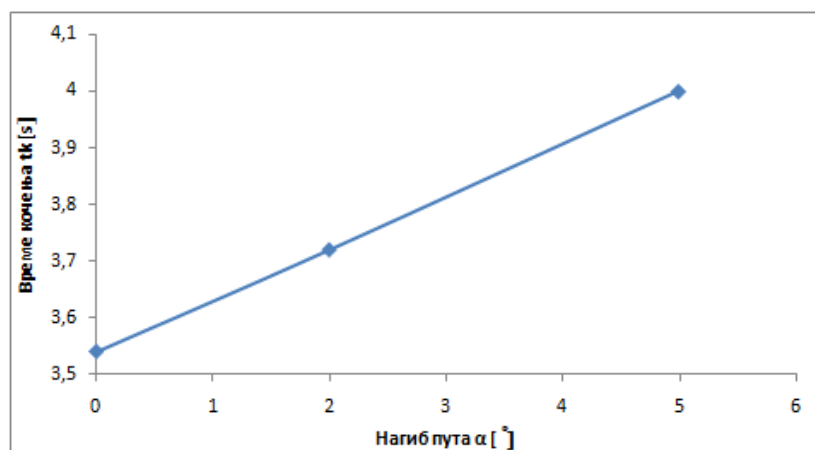
Када се процес кочења одвија на равном путу ($\alpha=0$), тада пут кочења од почетне брзине кочења 120 km/h до брзине 30 km/h и на основу полазних података, табела 1. има вредност $S_k=73,3$ m. У анализираном случају возило се креће низ стрму раван и са дијаграма се може видети да са порастом нагиба пута, расте пут кочења, као и време кочења, и у том случају је ефикасност кочења смањена. За кретање аутомобила на успону, укупан отпор котрљању је:

$$R_f = f * G * \cos \alpha$$

Повећањем угла нагиба подлоге смањује се и сила отпора котрљању, те су пут и време кочења дужи, слике 1-2



Слика 3. Утицај угла нагиба пута на пут кочења



Слика 4. Утицај угла нагиба кочења на време пута

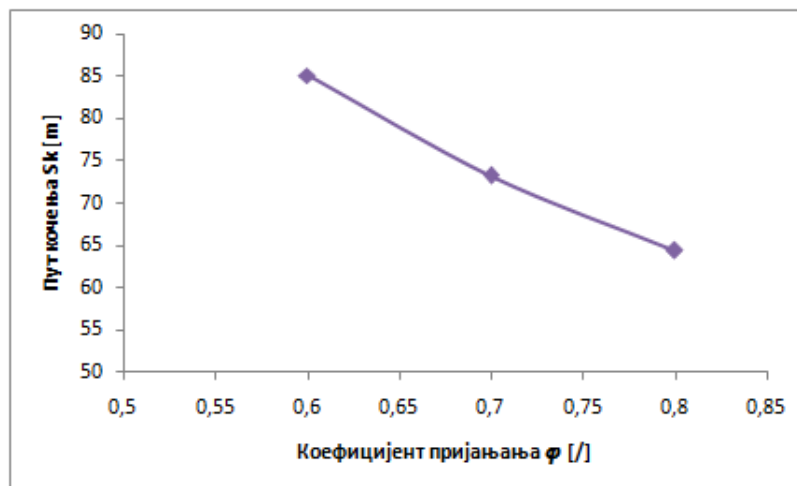
4.2 Утицај коефицијента пријањања, φ

У табели 4. налазе се вредности добијене варирањем коефицијента пријањања у изразима за пут и време кочења. Утицај коефицијента пријањања на пут кочења приказан је на слици 5, а на време кочења на слици 6.

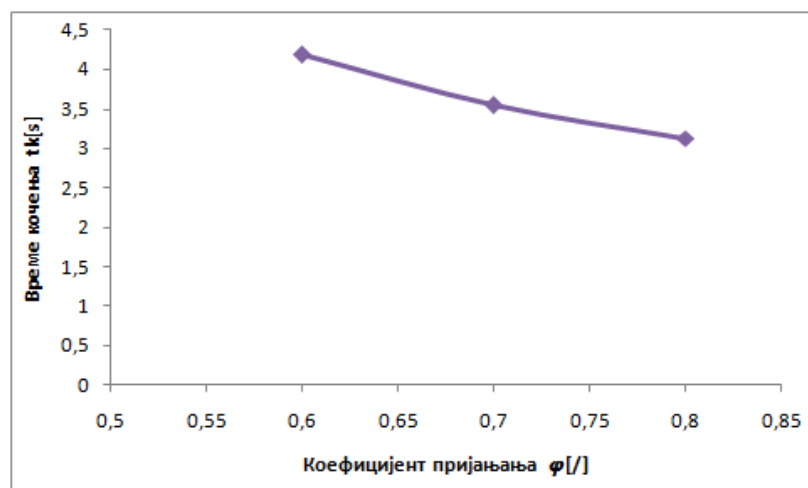
Табела 4. Вредности пута и времена кочења

Коефицијент пријањања, φ []	Пут кочења, S_k [m]	Време кочења, t_k [s]
0,6	85,1	4,18
0,8	64,4	3,12

У анализираном случају возило се креће на равном путу. Уколико коефицијент пријањања има малу вредност, пријањање пнеуматика о тло је лоше. Са слика 5 и 6 се може видети да се порастом коефицијента пријањања смањује пут и време кочења возила. Повећањем коефицијента пријањања повећава се стабилност вожње, јер се у сваком моменту може обезбедити додатна реакција у равни тла којом би се уравнотежила евентуална поремећајна сила. Ефикасност кочења је повећана.



Слика 5. Утицај коефицијента пријањања на пут кочења



Слика 6. Утицај коефицијента пријањања на време кочења

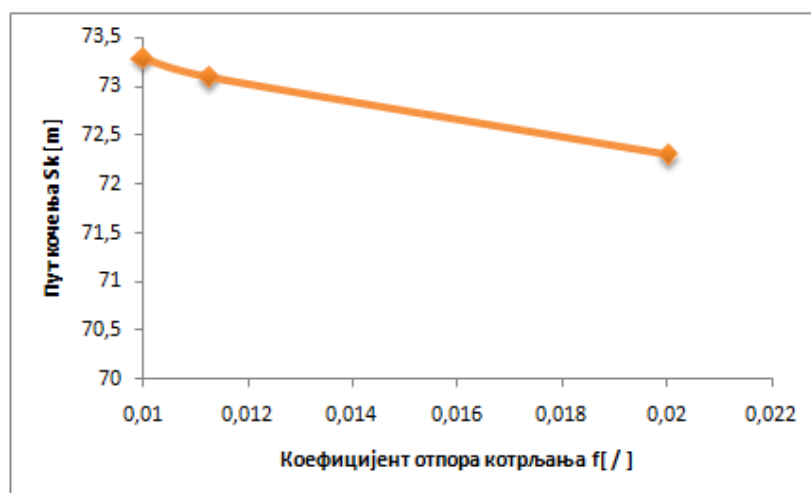
4.3 Утицај коефицијента отпора котрљања, f

У табели 5. налазе се вредности добијене варирањем коефицијента отпора котрљања у изразима за пут и време кочења. Утицај коефицијента отпора котрљања на пут кочења приказан је на слици 7, а на време кочења на слици 8.

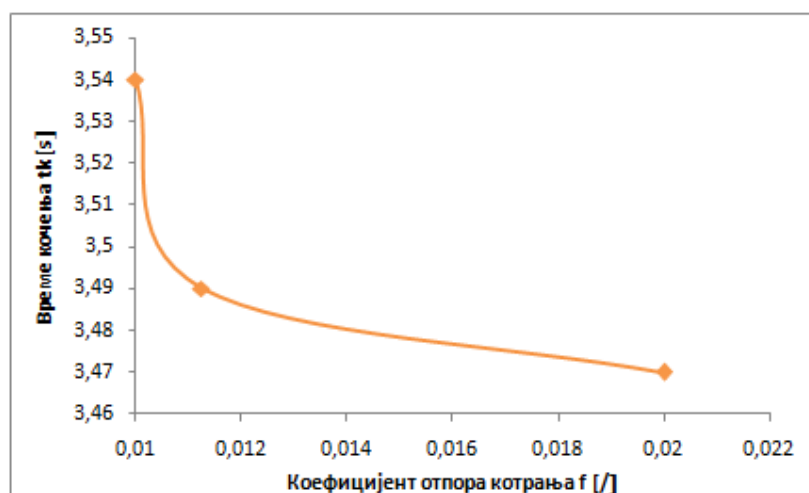
Табела 5. Вредности пута и времена кочења

Коефицијент котрљања, φ [/]	Пут кочења, S_k [m]	Време кочења, t_k [s]
0,01125	73,1	3,49
0,02	72,3	3,47

Са слика 7 и 8 се може уочити да повећањем коефицијента отпора котрљања долази до благог скраћења пута и времена кочења.



Слика 7. Утицај коефицијента отпора котрљања на пут кочења



Слика 8. Утицај коефицијента отпора котрљања на време кочења

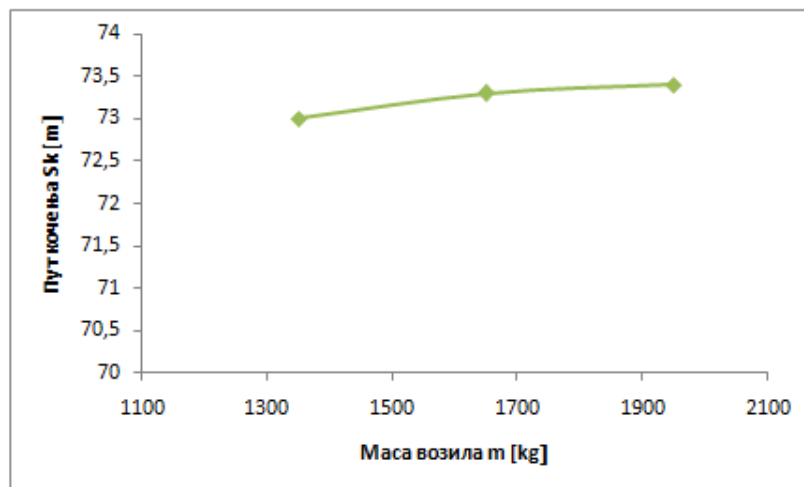
4.4 Утицај масе возила, m

У табели 6. налазе се вредности добијене варирањем масе возила у изразима за пут и време кочења.

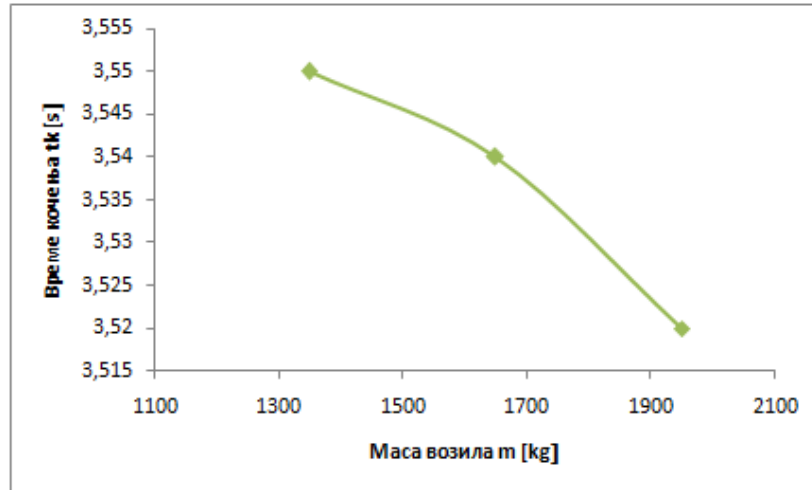
Табела 6. Вредности пута и времена кочења

Маса возила, m [kg]	Пут кочења, S_k [m]	Време кочења, t_k [s]
1350	73	3,55
1650	73,4	3,52

Утицај масе возила на пут кочења приказан је на слици 9, а на време кочења на слици 10. У односу на полазне податке и на срачунату вредност пута и времена кочења, смањењем масе скраћује се пут кочења, а повећава време кочења, док са повећањем масе возила, долази до пораста пута кочења и до смањења времена кочења.



Слика 9. Утицај масе возила на пут кочења



Слика 10. Утицај масе возила на време кочења

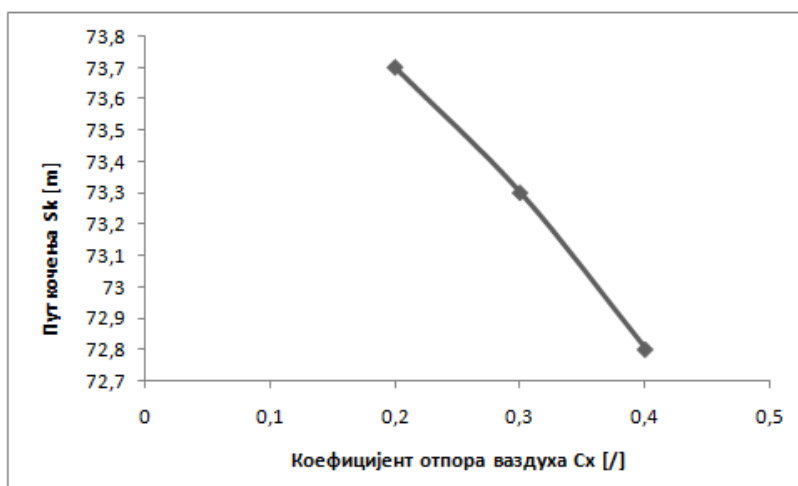
4.5 Утицај коефицијента отпора ваздуха, C_x

У табели 7. налазе се вредности добијене варирањем коефицијента отпора ваздуха у изразима за пут и време кочења. Утицај коефицијента отпора ваздуха на пут кочења приказан је на слици 11, а на време кочења на слици 12.

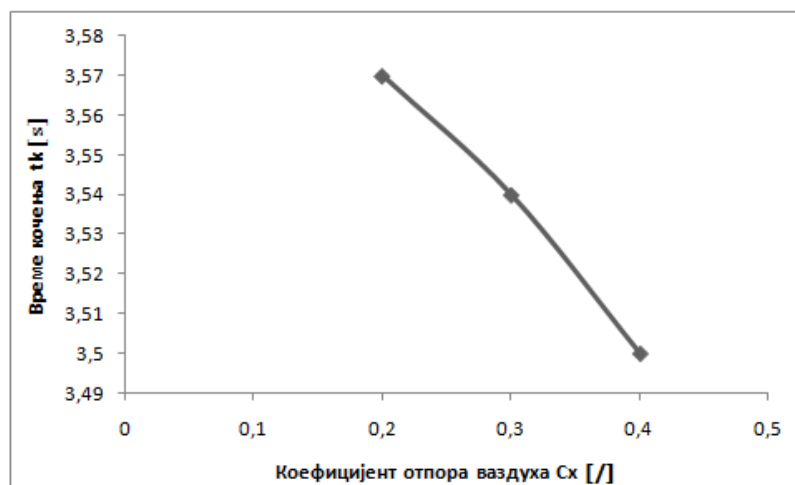
Табела 7. Вредности пута и времена кочења

Коефицијент отпора ваздуха, C_x [/]	Пут кочења, S_k [m]	Време кочења, t_k [s]
0,2	73,7	3,57
0,4	72,8	3,50

Са слика 11 и 12 се може уочити да смањењем коефицијента отпора ваздуха долази до пораста пута и времена кочења, док повећањем коефицијента отпора ваздуха, долази до скраћења пута и времена кочења.



Слика 11. Утицај коефицијента отпора ваздуха на пут кочења



Слика 12. Утицај коефицијента отпора ваздуха на време кочења

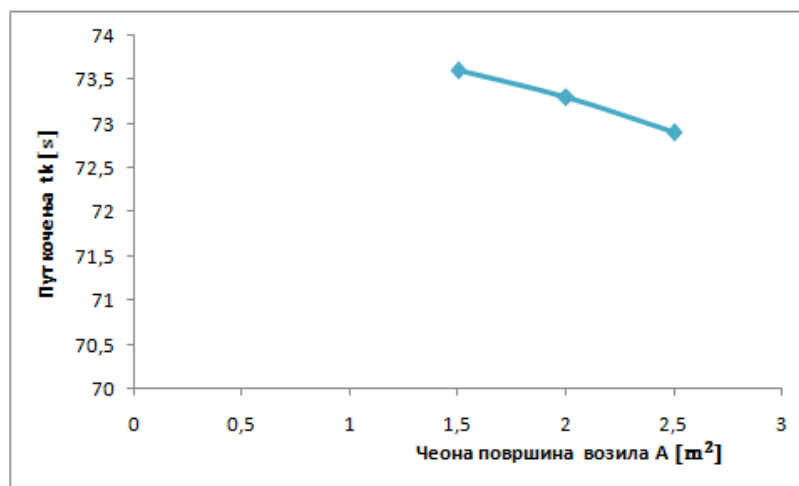
4.6 Утицај чеоне површине возила, А

У табели 8. налазе се вредности добијене варирањем чеоне површине возила у изразима за пут и време кочења. Утицај чеоне површине возила на пут кочења приказан је на слици 13, а на време кочења на слици 14.

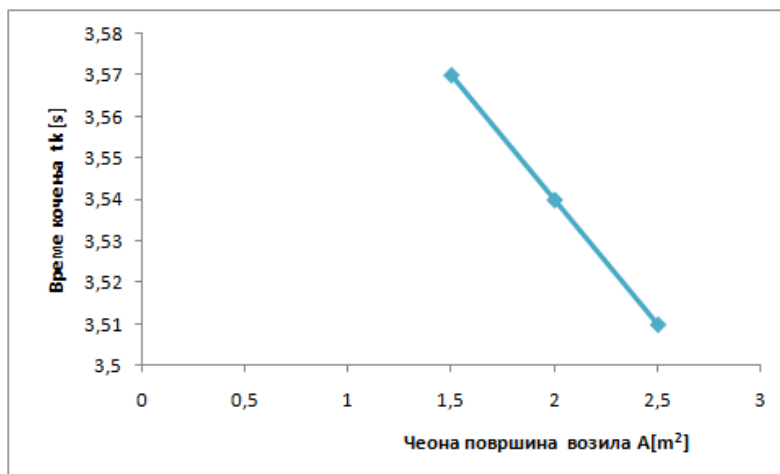
Табела 8. Вредности пута и времена кочења

Чеона површина возила, А [m ²]	Пут кочења, S _k [m]	Време кочења, t _k [s]
1,5	73,6	3,57
2,5	72,9	3,51

Са слика 13 и 14 се може уочити да смањењем чеоне површине возила долази до повећања пута и времена кочења, док повећањем чеоне површине возила, долази до скраћења пута и времена кочења.



Слика 13. Утицај чеоне површине возила на пут кочења



Слика 14. Утицај чеоне површине на време кочења

5.Закључак

Кочни систем утиче на безбедност саобраћаја више од осталих делова или система возила, односно да је са становништва безбедности он један од најважнијих система возила. Омогућава нам безбедно учествовање у саобраћају, не угрожавајући ни нашу ни безбедност осталих учесника у саобраћају. Кочном систему је посвећена највећа пажња из разлога да би се избегла могућа отказивања и угрожавање других учесника у саобраћају. Зауставни пут возила који поседује исправан систем за кочење је много краћи него код неисправног. Већа ефикасност кочења може да спречи појаву удеса или бар да умањи његове последице.

Возило утиче на процес кочења, а тиме и на излазне карактеристике овог процеса, тј. на успорење возила и његово понашање на путу. Велики утицај најпре имају пнеуматици, својом врстом и стањем, што је непосредно у вези са квалитетом пута на коме се возило кочи. Возач такође утиче на процес кочења.

У завршном раду је описан значај кочних система, параметри који се користе за оцену ефикасности кочења, и на конкретном примеру возила је извршена анализа утицајних конструктивних параметара на ефикасност кочења. Анализиран је утицај нагиба пута, масе возила, коефицијента отпора котрљања, коефицијента отпора ваздуха, коефицијента пријањања и чеоне површине возила.

Повећањем нагиба пута, повећава се пут и време кочења и у том случају је ефикасност кочења смањена. Повећањем коефицијента отпора котрљања, коефицијента отпора ваздуха, коефицијента пријањања и чеоне површине возила смањује се пут и време кочења. Повећањем масе возила, смањује се време кочења, док се пут кочења повећава.

6. Литература

- [1] Демић М., Лукић Ј.: Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [2] Симић Д.: Моторна возила, Научна књига, Београд, 1988.
- [3] Тодоровић Ј.: Кочење моторних возила, Београд, 1988.
- [4] Филиповић И.: Мотори и моторна возила, Машински факултет Универзитета у Тузли, 2006.
- [5] Стефановић А.: Друмска возила-основи конструкције, Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност Машинског факултета у Крагујевцу, 2010.