



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

## TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

## „START-STOP“ SISTEMŲ EFEKTYVUMO IR PATIKIMUMO TYRIMAS

**Paulius Builys**

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: paulius.builys@gmail.com*

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjama ekologiją bei ekonomiškumą didinanti „Start-Stop“ sistema. Šiuo metu labai sparčiai populiarėjanti sistema vis dažniau įdiegiama į automobilius, siekiant sumažinti deginių emisiją ir taip atitikti aplinkosaugos keliamus reikalavimus. Sistema padeda sumažinti ne tik deginių emisiją, bet ir degalų sąnaudas. Siekiant išsiaiškinti sistemos ekonomiškumą ir patikimumą atlikti bandymai ir skaičiavimai. Gautus patikimumo rezultatus galima panaudoti planuojant atsarginių dalių sandėlių bei planuojant servisų užimtumą.

**Reikšminai žodžiai:** „Start-Stop“, ekonomija, patikimumas, ekologija, degalų sąnaudos.

### Įvadas

Brangstant degalams, griežtėjant taršos normoms, investuojama labai daug lėšų į sistemas padedančias taisyti senkančius energetinius išteklius. Taip pat didėjant automobilių skaičiui miestų gatvėse, reikia imtis priemonių, kurios padėtų sumažinti oro taršą (Gaines *et al.* 2012). Didelis automobilių skaičius miestų gatvėse sukelia automobilių grūstis, kurių metu automobiliai stovintys vietoje išmeta didelius kiekius teršalų, neatlikdami jokio naudingo darbo (Manpreet *et al.* 2014).

Šią problemą padeda spręsti „Start-Stop“ sistema, kuri paleidžia variklį tik tuomet, kai jis turi atlikti darbą.

Automobilių išmetami teršalai – anglies deoksidas (CO<sub>2</sub>), anglies monoksidas (CO), angliavandeniliai (HC), kietosios dalelės (PM) ir azoto oksidai (NO<sub>x</sub>) priklauso nuo daugelio parametrų: nuo eismo intensyvumo, sankryžų skaičiaus, automobilių tipo, variklių tipo, variklių dydžio, variklių būklės, transmisijos tipo, išmetamųjų dujų neutralizavimo sistemų, automobilių svorio, vairavimo stiliaus, vidutinio važiavimo greičio, padangų tipo bei būklės, naudojamos vidaus įrangos parametrų bei energijos sunaudojimo (Pandian *et al.* 2009).

Norint atitikti visus taršos reikalavimus įdiegiama daug technologinių atradimų į automobilius, tokių kaip automobilių svorių mažinimas, variklių darbinio tūrio, cilindrų skaičiaus mažinimas, montuojamos padangos, turinčios mažą pasipriešinimą riedėjimui, didinamas automobilio aerodinamiškumas (Fonseca *et al.* 2010).

„Start-Stop“ sistemos įdiegimas kainuoja nedaug, o efektyvumas labai didelis (Henein *et al.* 2000).

Žiūrint iš mokslinės pusės, svarbiausias aspektas yra išmetamų dujų kiekis bei kenksmingumas. Bet vartotojui svarbiausia yra sistemos patikimumas bei naudingumas. Todėl mano tyrimo metu buvo atliktas „Start-Stop“ sistemos naudingumo (ekonomiškumo) ir patikimumo tyrimas.

### Apžvalga

„Start-Stop“ technologija nėra nauja, bet masiškai montuoti pradėta tik nuo 2013 metų. Pagrindinė to priežastis – griežtėjančios emisijos normos, kurias nustato Europos parlamentas.

Pagrindinis sistemos veikimo principas – naudojant įvairiausių jutiklių informaciją, išjungti variklį, kuomet pagaminama energija viršija poreikį, ir paleisti variklį, kai jo vėl reikia.

Galima išskirti 4 pagrindinius „Start-Stop“ sistemos tipus (Reddy 2013):

- Diržinė starterio-generatoriaus pavara;
- Didesnės galios starteris;
- Adaptyvusis starteris;
- Integruotas starteris-generatorius.

Dažniausiai sutinkama „Start-Stop“ sistema – diržinė starterio-generatoriaus pavara. Iš tipo pavadinimo galima suprasti, jog pagrindinį darbą pakartotiniame variklio paleidime atlieka starteris-generatorius. Kuomet variklis turi būti paleidžiamas, valdymo modulis duoda signalą generatoriui, kuris pradeda veikti kaip elektrinis variklis ir diržine pavara išsuka alkūninį veleną.

Pagrindiniai šios sistemos gamintojai yra *Valeo*, *INA*, *Bosch*, *Denso*. Pirmieji šios sistemos kūrėjai buvo

Valeo. 2004 metais buvo pristatyti pirmieji *Citroën* automobiliai su *Valeo StARS* sistema, kuri buvo montuojama iki 2007 metų.

Naujausios diržinės pavaros starteriai-generatoriai išnaudoja stabdymo energiją, bet gali pagelbėti ir automobilio greitėjimo atveju. Todėl automobilius su šia sistema galima priskirti prie mikro hibridų klasės.



1 pav. Diržinės starterio-generatoriaus vaizdinė veikimo schema

Populiarėjant „Start-Stop“ technologijai, daugėja ir tyrimų, norint kuo efektyviau išnaudoti sistemos galimybes.

Norint matematiškai išstudijuoti sistemos efektyvumą – būtina susikurti matematinį modelį. Todėl M. F. Weilenmann sukūrė matematinį modelį, kuris padeda nagrinėti išmetamųjų dujų savybes. Darbe nagrinėjama CO<sub>2</sub> emisija kuomet automobilio variklis yra atvėsęs (Weilenmann 2013). Naudojantis atliktais eksperimentais ir gautais rezultatais, tobulinama dujų recirkuliacijos sistema bei neutralizatorių sudėtis ir konstrukcija.

„Start-Stop“ sistema pradeda veikti tik varikliui pasiekus darbinę temperatūrą, todėl emisijos sumažėjimas atsiranda ne taip greitai. Šį trūkumą išnagrinėjo ir aprašė Natalia Fonseca ir Jessés Casanova moksliniame straipsnyje „Control of the start / stop of a diesel engine in a parallel HEV with a belted starter / alternator“.

Kadangi pagrindinis sistemos tikslas sumažinti taršą, kad automobiliai atitiktų Europos parlamento normas, visi moksliniai tyrimai atliekami su emisija.

Mano tyrimo tikslas – išnagrinėti praktinę naudą vartotojui, sistemos efektyvumo ir patikimumo atžvilgiu.

### Tyrimo metodika

Degalų sąnaudos skaičiuojamos remiantis automobilio borto kompiuterio rodmenimis bei skaičiuojant realiai sunaudotus degalus.

Realios degalų sąnaudos  $Q_R$  apskaičiuojamos:

$$Q_R = \frac{V}{s} \cdot 100, \quad (1)$$

čia:  $V$  – sunaudotų degalų kiekis, l;  $s$  – nuvažiuotas atstumas, km.

Degalų sąnaudų matavimui buvo naudoti du vienodi automobiliai – *Mercedes-Benz GLA 250*, turintys 1991 cm<sup>3</sup> darbinio tūrio benzininius variklius su turbokompresoriais. Varikliai išvysto 155 kW galią ir 350 Nm sukimo momentą. Galią į ratus perduoda 7 pavarų automatinė pavarų dėžė. Automobiliai turintys visų varančių-

jų ratų sistemą – *4Matic*. Gamintojo duomenimis degalų sąnaudos mieste 8,3 l/100 km, užmiestyje 5,6 l/100 km.

Eksperimento metu buvo matuojamos degalų sąnaudos esant įjungtai arba išjungtai „Start-Stop“ sistemai, kuri vadinama „ECO“.

Automobiliai važiavo 2 skirtingais maršrutais piko metu ryte ir vakare Vilniaus miesto teritorijoje. Maršrutų sudėtingumo lygis labai panašus: pirmajame maršrute buvo 35 šviesoforais reguliuojamos sankryžos, maršruto ilgis 27,5 km., antrajame 42 šviesoforais reguliuojamos sankryžos, maršruto ilgis 32,3 km.

Kadangi eksperimentas vyko realiomis sąlygomis, vairavimo stilius nebuvo vertinamas. Eksperimentas buvo atliekamas 4 savaites, tuomet lauko temperatūra buvo nuo 5 °C iki –10 °C.

### Degalų sąnaudų matavimo rezultatai

Eksperimento metu pirmasis automobilis nuvažiavo 920 km Vilniaus mieste, iš jų 425 km su išjungta „ECO“ sistema, 495 km su įjungta. Atitinkamai degalų sąnaudos 8,6 ir 8,3 l/100 km.

Antrasis automobilis eksperimento metu nuvažiavo 869 km, iš jų 464 km su išjungta „ECO“ sistema ir 405 km su įjungta. Degalų sąnaudos esant išjungtai sistemai siekė 8,5 l/100 km ir 8,3 l/100 km kuomet sistema buvo įjungta.

Esant įjungtai „ECO“ sistemai automobiliai pasiekė 0,3 l/100 km degalų sąnaudas, o tai yra ~4 % mažesnės sąnaudos.

Pasinaudojant *Daimler AG* bei *TÜV SÜD Automotive GmbH* duomenimis papildomai palygintos automobilių *Mercedes-Benz S class*, dyzelinių 2987 cm<sup>3</sup> tūrio variklių degalų sąnaudos mieste, užmiestyje ir kombinuotos (1 lentelė). Iš lentelės duomenų puikiai matosi, kad su įdiegta „Start-Stop“ sistema degalų sąnaudos sumažėjo 10–15 %. Šioje lentelėje lyginami automobiliai turi vienodas komplektacijas, bet skirtingas išmetamųjų dujų neutralizavimo sistemų kartas, kurios taip pat daro įtaką galutinėms degalų sąnaudoms.

1 lentelė. Teorinis degalų sąnaudų palyginimas, (l/100 km)

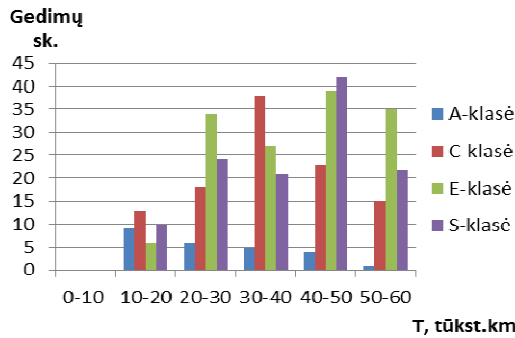
	Mieste		Užmiestyje		Kombinuotos	
	9,3	10,4	5,3	5,9	6,8	7,6
	9,3	11,8	5,4	6,6	6,8	8,5
	9,3	11,8	5,4	6,8	6,8	8,5
	9,3	11,8	5,3	6,6	6,8	8,5
	7,9	11,6	5,6	6,4	6,4	8,3
Su „Start-Stop“ sistema					Be „Start-Stop“ sistemos	

### Patikimumo skaičiavimas

Sistemos patikimumui išnagrinėti buvo pasinaudota bendra Lietuvoje bei Estijoje aptarnaujamų *Mercedes-Benz* automobilių duomenų baze.

Atsitiktinai pasirinkta 500 *Mercedes-Benz* markės automobilių. Gedimai grupuojami pagal automobilių klases, t. y. buvo išskirtos 4 automobilių klasės: A-klasė, C-klasė, E-klasė ir aukščiausio segmento S-klasė.

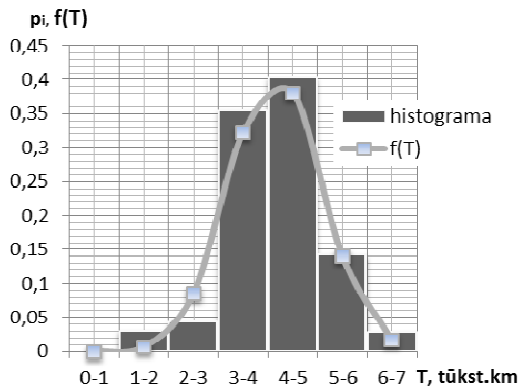
Iš grafiko matome, jog pagrindiniai atsitiktiniai gedimai atsiranda dar garantiniame laikotarpyje ir nuo 50 tūkst. km ridos, gedimų skaičius pradeda mažėti.



2 pav. Sistemos gedimų skaičiaus grafinis pasiskirstymas

Išnagrinėjus duomenų bazę, sudaryta statistinė eilutė bei atlikti teorinių pasiskirstymo funkcijų skaičiavimai (Vestartas *et al.* 2004).

Atlikus statistinės eilutės skaičiavimus nubraižoma histograma, kuri vaizduoja gedimų išsidėstymą.



3 pav. Atsitiktinio dydžio pasiskirstymo histograma ir diferencialinė funkcija

Automobilių „Start-Stop“ sistemos gedimų statistinė tikimybė  $p_i$  skaičiuojama intervale nuo 0 iki 70 000 km. ridos.

$$p_i = \frac{m_i}{N}, \quad (2)$$

čia:  $m_i$  – gedimų dažnis;  $N$  – bendras atsitiktinio dydžio (gedimų) skaičius.

Resurso vidutinė matematinė reikšmė  $T_{vid}$  apskaičiuojama pagal formulę (Vestartas *et al.* 2004):

$$T_{vid} = \sum_{i=1}^n T_{vi} \cdot p_i, \quad (3)$$

čia:  $T_{vi}$  – resurso reikšmė, atitinkanti intervalo vidurkį, km;  $n$  – statistinės eilutės intervalas, km;  $p_i$  – gedimų statistinė tikimybė.

Resurso nukrypimo (išsisklaidymo) laipsnis  $T_{vid}$  atžvilgiu charakterizuojamas vidutiniu kvadratinu nukrypimu  $\sigma$ , kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{vi} - \bar{T}_{vid})^2 \cdot \frac{m_i}{N}}. \quad (4)$$

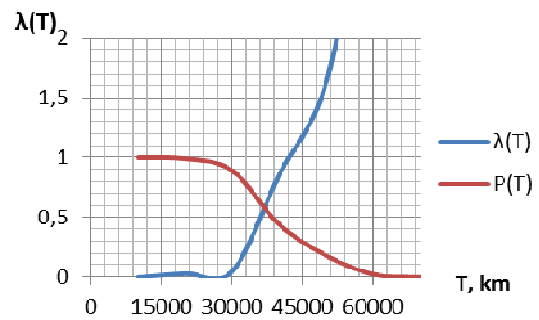
Variacijos koeficientas:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{T}_{vid} - T_p}, \quad (5)$$

čia:  $T_{vi}$  – resurso reikšmė, atitinkanti intervalo vidurkį, km;  $\bar{T}_{vid}$  – vidutinė matematinė reikšmė, km;  $m_i$  – gedimų dažnis;  $N$  – bendras atsitiktinio dydžio (gedimų) skaičius;  $T_p$  – pradinės informacijos pasiskirstymas, lygus pirmo intervalo pradžiai.

### Gedimų srauto pasiskirstymo funkcija

Pagal variacijos koeficientų dydį parenkamas lengvųjų automobilių gedimų pasiskirstymo teorinis dėsnis (Vestartas *et al.* 2004). Jei variacijos koeficientas mažesnis nei 0,33, parenkamas normalusis pasiskirstymo dėsnis, o jei koeficientas yra didesnis už 0,33 parenkamas Veibulo pasiskirstymo dėsnis. Tolimesniems skaičiavimams parinktas normalusis pasiskirstymo dėsnis.

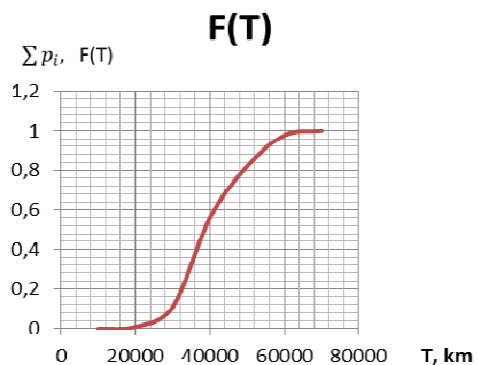


4 pav. Sistemos negendamumo tikimybės P(T) ir gedimų intensyvumo  $\lambda(T)$  pasiskirstymas

Iš gauto grafiko matoma, kad didžiausias gedimų intensyvumas atsiranda ties 30 000–40 000 km rida.

Negendamumo tikimybės grafikas parodo, kad ties 60 000 km rida gedimų tikimybė pasiekia didžiausią reikšmę.

Iš pasiskirstymo teorinės integralinės funkcijos F(T) grafiko galima nustatyti gaminio garantinį resursą (5 pav.).



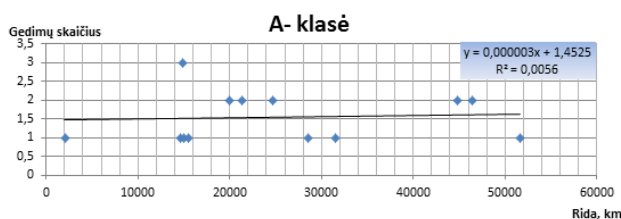
5 pav. Atsitiktinio dydžio pasiskirstymo integralinė funkcija

Atlikus patikimumo skaičiavimus bei papildomai išnagrinėjus gedimų tipus, automobilių gamintojai gali

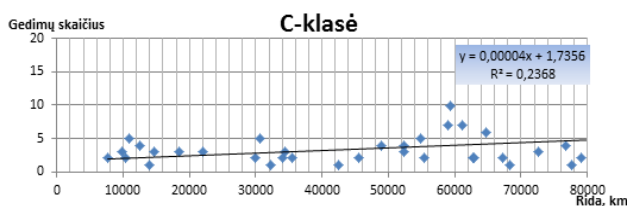
geriau planuoti atsarginių dalių sandėlius. Tik esant suplanuotiems atsarginių dalių sandėliams, galimas operatyvus atsarginių dalių pristatymas į servisus.

### Eksperimentinių duomenų analizė

Remiantis *Mercedes-Benz* duomenų bazėse sukaupta informacija apie gedimus, galima nustatyti gedimų priklausomybę nuo automobilio ridos. Naudojant vienmatį tiesinės regresijos matematinį modelį apskaičiuojami determinacijos koeficientai  $D$  visoms keturioms automobilių klasėms, dalyvavusioms tyrime (6, 7, 8, 9 pav.). Determinacijos koeficientas rodo, kokią viso išėjimo kintamojo kitimo dalį nulemia įėjimo kintamojo kitimas, o  $(100-D)$  – likę neįvertinti veiksniai.



6 pav. A klasės gedimų diagramos regresijos tiesė

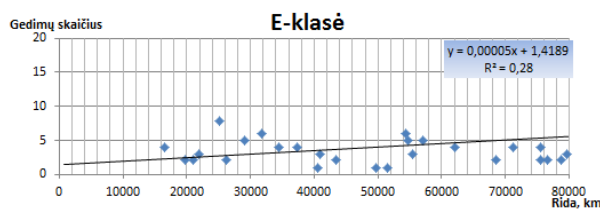


7 pav. C klasės gedimų diagramos regresijos tiesė

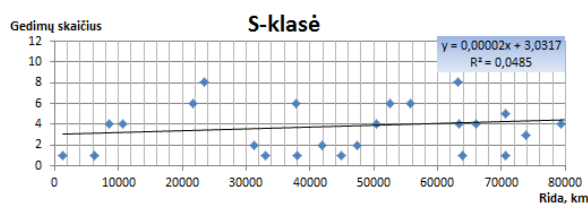
$$D = r^2 \cdot 100\% = R^2 \cdot 100\% . \quad (6)$$

Gauti determinacijos koeficientai parodo, jog rida sąlygoja atitinkamai 5,6 %, 23,6 %, 28 % ir 4,8 % gedi-

mų. Vadinasi sistemos veikimui tik labai mažą įtaką daro nuvažiuotas atstumas. Didžiausią įtaką daro kiti atsitiktiniai veiksniai: elektroninės klaidos, elektroninių jutiklių gedimai ir t. t.



8 pav. E klasės gedimų diagramos regresijos tiesė



9 pav. S klasės gedimų diagramos regresijos tiesė

### Išvados

Atlikus degalų sąnaudų tyrimą galima įsitikinti sistemos efektyvumu. Net esant nepalankioms sąlygoms, t. y. žemai aplinkos temperatūrai, sistema puikiai atlieka savo darbą ir vairuotojui leidžia sutaupyti apie 3–4 % degalų. Šiltuoju metų laiku, sistema veikia dar efektyviau, todėl pasiekama dar didesnė nauda.

Išnagrinėjus *Mercedes-Benz* duomenų bazėje sukauptus duomenis, galima teigti, kad gedimai, susiję su „Start-Stop“ sistema daugiausiai pasižymi smulkiais elektronikos dalių (jutiklių) darbo sutrikimais. Didžiausias atsitiktinių gedimų skaičius ties 30–40 tūkst. km riba. Svarbiausi ir brangiausi sistemos mazgai veikia be gedimų.

Atlikti skaičiavimai rodo, jog automobilio rida turi mažą įtaką gedimams.

### Literatūra

- Daimler, A. G. 2013. Communication concerning the type-approval of a type of vehicle with regard to Directive 80/1269/EEC, as last amended by Directive 1999/99/EC.
- Fonseca, N. ; Casanova, J. ; Valdés, M. 2011. Influence of the stop/start system on CO2 emissions of a diesel vehicle in urban traffic, *Transportation Research Part D* 16: 194–200.
- Gaines, L.; Rask, E.; Keller, G. 2012, Comparing fuel use and emissions for short passenger-car stops, *Argonne National Laboratory Energy Systems Division 9700 South Cass Avenue Argonne, IL 60439*.
- Manpreet, S.; Sumeet, S. 2014. Comparative study of fuel consumption, emission characteristics and modelling for gasoline and diesel vehicles – A review, *International Journal of Engineering Science and Technology*: 1–8.
- Medeškas, H. 2003. Gaminiu kokybė ir patikimumas. Kaunas: Technologija. 280 p.
- Pandian Suresh, Gokhale Sharad, and Ghoshal Alope Kumar . 2009. Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14(3): 180–196.
- Reddy, S. S.; Tharun, K. S. 2013. Eco Friendly Vehicle, *International Journal of Engineering Trends and Technology* 4(4): 1–4.
- TÜV SÜD AUTOMOTIVE GMBH, Daimler AG. 2013. Techn. Report No.: 351-0173-07-FBFE 13p.
- Vestartas, A.; Nagurnas; S. 2004. Transporto mašinų patikimumo teorija: namų darbo metodiniai nurodymai. Vilnius. 13 p.

Weilenmann, M. F.; Soltic, P.; Hausberger, S. 2013. The cold start emissions of light-duty-vehicle fleets: A simplified physics-based model for the estimation of CO<sub>2</sub> and pollutants, *Science of the Total Environment* 444: 161–176.

Žeromskas, R. 1997. Mašinų patikimumas: kursinio darbo metodiniai nurodymai ir užduotys. Vilnius. 26 p.

Henein, N.; Taraza, D.; Chalhoub, N.; Lai, M.; Bryzik, W. 2000. *Exploration of the Contribution of the Start-Stop Transients in HEV Operation and Emissions*[ineteraktyvus]. SAE Technical Paper 2000-01-3086. [žiūrėta 2014 lapkričio mėn.] Prieiga per internetą: <<http://articles.sae.org/9135/>>.