

PREDIKTIVNI MODEL TEHNIČKE ISPRAVNOSTI VOZILA
PREDICTIVE ROADWORTHINESS OF VEHICLES MODEL

Prof.dr.sc. Dragutin Lisjak, dipl.inž.
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zagreb

Dr. sc. Igor Šiško, dipl. inž.
HAK
Zagreb

Krešimir Brckan, dipl.inž.
Ekonerg
Zagreb

REZIME

Tehnički pregled vozila djelatnost je od općeg (nacionalnog) interesa u kontekstu provjere tehničke ispravnosti vozila, koja ima izravni utjecaj na razinu sigurnosti prometa na cestama. Povratna informacija o rezultatu tehničkog pregleda vozila posebno u situaciji kada se na vozilu utvrde tehničke neispravnosti koje za posljedicu imaju negativan rezultat vozila na tehničkom pregledu (“pad”), od iznimnog je značaja za proizvođača i vlasnika vozila, kako u pogledu podizanja razine tehničke ispravnosti vozila u eksploataciji, tako i u pogledu gospodarenja istim. Cilj ovog znanstvenog istraživanja je izraditi prediktivni model tehničke ispravnosti osobnih vozila na temelju rezultata tehničkih pregleda primjenom metoda poslovne inteligencije (rudarenja podataka, stabla odlučivanja, CHAID algoritmi, neuronske mreže).

Ključne riječi: Osobni automobil, tehnički pregled, tehnička ispravnost, prediktivni model.

SUMMARY

Technical vehicles inspection procedure is of general (national) interest in the context of the roadworthiness of vehicles, which has a direct impact on the security of the Road Traffic safety. Feedback regarding the results of periodical technical inspections (PTI) of vehicles, especially in a situation where the vehicle malfunctions are determined, result in a negative outcome in the vehicle technical inspection, is of great importance for the manufacturers and owners/users of vehicles, both in the context of raising the level of roadworthiness of vehicles in exploitation and in the same context, management. Main goal of this scientific research is to build a predictive roadworthiness of passenger vehicles model based on the results of technical inspections, by using methods of Business Intelligence (Data Mining, Decision trees, CHAID algorithms, neural networks).

Keywords: Personal vehicle, periodical technical inspection, roadworthiness, predictive model.

1. UVOD

Sigurnost prometa na cestama je nacionalni interes svake zemlje. Vozilo odnosno njegova tehnička ispravnost, jedan je od tri ključna faktora koji izravno utječu na sigurnost prometa na cestama pored vozača i ceste. Proteklih nekoliko desetljeća razvoj i broj vozila na europskim prometnicama poprimio je velike razmjere. Logično je da s povećanjem broja vozila u prometu dolazi i do većeg broja prometnih nesreća. S obzirom da je održavanje tehničke ispravnosti vozila u uvjetima eksploatacije od primarne važnosti za sigurnost svih sudionika u prometu, na cestama države propisuju obvezu kontrole tehničke ispravnosti vozila, odnosno zakonski su definirale sustav tehničkih pregleda i registracije vozila. Osnovni smisao postojanja tehničkog pregleda vozila je uspostava periodične kontrole tehničke ispravnosti vozila kako bi se na taj način što je moguće bolje održavao postojeći vozni park u ispravnom stanju, tj. kako bi se što bolje održavali vitalni sklopovi i dijelovi koji utječu na sigurnost u prometu te kako bi se smanjio utjecaj vozila kao jednog od glavnih uzroka prometnih nesreća. Uvođenjem ispitivanja ispušnih plinova (EKO testa) smisao tehničkog pregleda proširen je i na ekološku dimenziju jer se uvođenjem periodičke obveze provjere sadržaja ispušnih plinova utječe na vlasnike vozila da redovno servisiraju svoja vozila te na taj način za vrijeme cjelokupnog životnog vijeka vozila održavaju emisiju ispušnih plinova u propisanim granicama.

2. PARETO ANALIZA TEHNIČKE NEISPRAVNOSTI VOZILA

Primjena Paretovog načela 80/20 prikazanog na slici 1., ima veliki značaj u kontekstu upravljanja kvalitetom s obzirom na svoju univerzalnost, odnosno primjena istog nije ograničena samo na područje ekonomije [1]. Paretovo načelo predstavlja jedan od sedam osnovnih (menadžerskih) alata u kontekstu upravljanja kvalitetom [2].



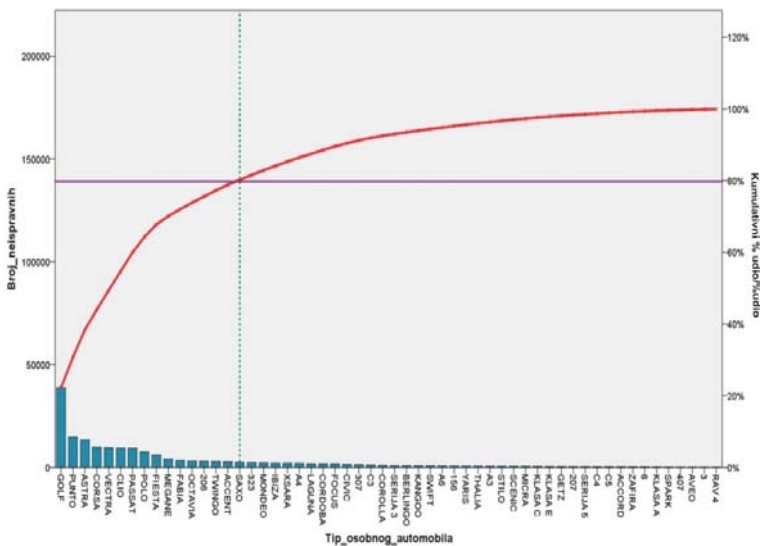
Slika 1. Pareto načelo (80/20)

Pareto analiza koja predstavlja metodu za klasificiranje uzroka problema prema stupnju njihovog značenja, odnosno postupak odabiranja prioriternih problema za provođenje korektivnih radnji. U svim stanicama za tehnički pregled vozila (146 stanica), tijekom 2009. godine, na teritoriju Republike Hrvatske obavljeno je ukupno 1.781.052 redovnih tehničkih pregleda svih kategorija vozila. Od prethodno navedenog broja, na 373.706 vozila (20,98 %) je tijekom tehničkog pregleda utvrđena jedna ili više tehničkih neispravnosti što je za posljedicu imalo neovjeravanje valjanosti prometne dozvole predmetnih vozila, odnosno njihov "pad" na tehničkom pregledu. Predmet istraživanja bili su osobni automobili, odnosno motorna vozila koja imaju najmanje četiri kotača i koja se koriste za prijevoz putnika s ne više od osam sjedala u koja nije uključeno sjedalo za vozača (M1 kategorija vozila). S obzirom na veliki ukupni broj osobnih automobila pregledanih tijekom 2009. godine u sklopu redovnih tehničkih pregleda, odnosno s obzirom na veliki broj trgovačkih marki (143) i tipova osobnih automobila (609), bilo je potrebno reducirati broj trgovačkih marki i tipova osobnih automobila primjenom Pareto analize. U tablici 1. navedeno je koliki su iznosi/učinci pojedinih tipova osobnih automobila u kontekstu utvrđene tehničke neispravnosti u sklopu redovnih tehničkih pregleda. Dijagramski prikaz koji proizlazi iz rezultata Pareto analize prikazan je na slici 2. Iz grafičkog prikaza sa slike 2. proizlazi 16 utjecajnih čimbenika – tipova osobnih automobila (Golf, Fiat Punto, Opel Astra, Opel Corsa, Opel Vectra, Renault Clio, VW Passat, VW Polo, Ford Fiesta, Renault

Megane, Škoda Fabia, Škoda Octavia, Peugeot 206, Renault Twingo, Hyundai Accent i Citroen Saxo) čine 80 % tehnički neispravnih osobnih automobila u sklopu redovnog tehničkog pregleda koji su tijekom 2009. godine „pali” na tehničkom pregledu. Iz rezultata Pareto analize vidljivo je koji tipovi osobnih automobila dominiraju u kontekstu utvrđene tehničke neispravnosti u sklopu redovnog tehničkog pregleda, odnosno na koje tipove osobnih automobila treba obratiti pozornost u smislu izrade prediktivnog modela tehničke ispravnosti temeljen na rezultatima tehničkog pregleda.

Tablica 1. Tipovi automobila koji su pali te izdvojenih prema načelu 80/20 [3]

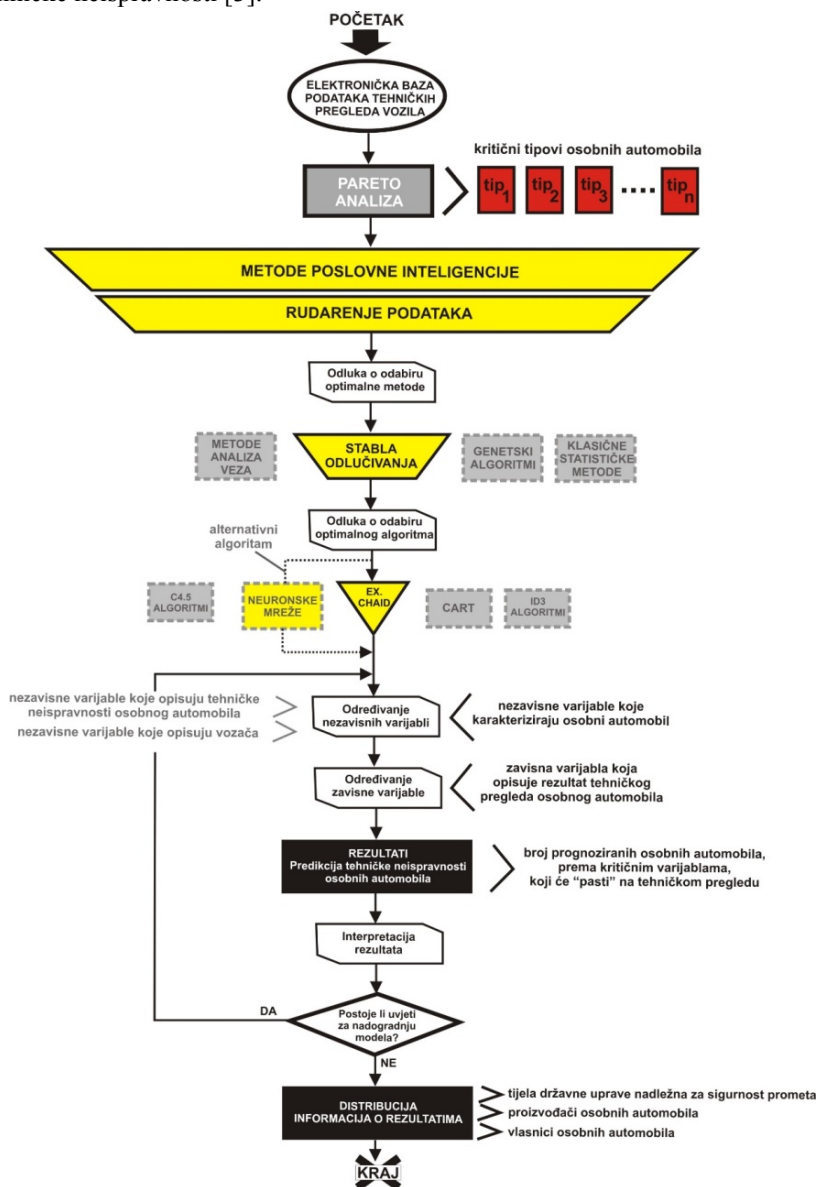
Tip osobnog automobila	Broj tehnički neispravnih automobila koji su „pali” na TP-u	Postotni udjel broja tehnički neispravnih automobila koji su „pali” na TP-u [%]	Kumulativni postotni udjel broja tehnički neispravnih automobila koji su „pali” na TP-u [%]
GOLF	38.788	22,25	22,25
PUNTO	14.710	8,44	30,69
ASTRA	13.451	7,72	38,40
CORSA	9.717	5,57	43,97
VECTRA	9.428	5,41	49,38
CLIO	9.238	5,30	54,68
PASSAT	9.185	5,27	59,95
POLO	7.503	4,30	64,25
FIESTA	6.045	3,47	67,72
MEGANE	4.085	2,34	70,06
FABIA	3.400	1,95	72,01
OCTAVIA	3.126	1,79	73,81
206	3.039	1,74	75,55
TWINGO	2.971	1,70	77,25
ACCENT	2.782	1,60	78,85
SAXO	2.446	1,40	80,25



Slika 2. Dijagramski prikaz rezultata Pareto analize [3]

3. PREDIKTIVNI MODEL TEHNIČKE NEISPRAVNOSTI VOZILA

U idejnom smislu prediktivni modeli tehničke ispravnosti osobnih automobila sastoje se od mehanizma za segmentaciju ulaznih podataka u kontekstu filtriranja kritičnih tipova osobnih automobila te mehanizma za obradu segmentiranih ulaznih podataka u kontekstu dobivanja prognostičkih informacija o broju tehnički neispravnih osobnih automobila koji će "pasti" na tehničkom pregledu. Algoritam (dijagram toka) prediktivnog modela prikazan je na slici 3. Podaci o vozilima koji su ekstrahirani iz elektroničke baze podataka tehničkih pregleda vozila obrađeni se metodom Pareto analize u cilju filtriranja kritičnih tipova osobnih automobila s aspekta tehničke neispravnosti [3].



Slika 3. Prediktivni model tehničke ispravnosti osobnih automobila [3]

Na temelju metoda poslovne inteligencije primjenom rudarenja podataka u skladu s utvrđenim kriterijima prema [4,5,6] te brzini obrade velike količine podataka, donosi se odluka o optimalnoj metodi odlučivanja primjenom stabla odlučivanja. U okviru metode stabla odlučivanja te u skladu s utvrđenim kriterijima donosi se odluka o primjeni *Exhaustive CHAID* i algoritma perceptronskih neuronskih mreža. Prema [7] prednosti *Exhaustive CHAID* algoritma u odnosu na druge algoritme su: preglednost vizualne interpretacije, sposobnost obrade velike skupine podataka, brzina obrade, sposobnost adaptacije promjenama ulaznih podataka, sposobnost integracije i kompatibilnosti sa SQL bazama podataka, te mogućnost definicije zadane vrijednosti razine štete kod pogrešne klasifikacije prediktivnih kategorija. S obzirom na navedeno, prediktivni model temeljen na *Exhaustive CHAID* algoritmu u kontekstu ovog istraživanja smatra se preferencijalnim dok se kao alternativa istom koristi algoritam perceptronskih neuronskih mreža. Nakon usporedbe rezultata donosi se ocjena o prihvaćanju odnosno odbacivanju pojedinog prediktivnog modela. Kao ulazni podaci u navedene algoritme definirane se nezavisne varijable koje opisuju vozilo (osobni automobil), te je definirana zavisna varijabla koja opisuje rezultat tehničkog pregleda vozila - "pad" na tehničkom pregledu uslijed utvrđenih tehničkih neispravnosti. Nakon interpretacije dobivenih rezultata, a koji podrazumijevaju otkrivanje unaprijed poznatih i nepoznatih zakonitosti među promatranim varijablama, na temelju postojećeg stanja predviđa se buduće stanje te se utvrđuje postoje li uvjeti za nadogradnju prediktivnog modela u smislu definiranja dodatnih nezavisnih varijabli koje opisuju tehničke neispravnosti na vozilu te koje opisuju vozača u kontekstu načina vožnje i održavanja vozila. U konačnici, predviđena je diseminacija informacija o prognozi tehničke ispravnosti vozila prema tijelima državne uprave nadležnim za područje sigurnosti prometa na cestama, proizvođačima vozila i vlasnicima vozila.

4. REZULTATI

U tablici 2. dan je prikaz dijela rezultata istraživanja u smislu usporedbe nezavisnih varijable s prediktivnim potencijalom "pad/prolaz" osobnog automobila na tehničkom pregledu, odnosno utvrđivanja tehničke neispravnosti te postotnih iznosa točnosti prediktivnih kategorija u okviru trening i testnog uzorka nakon provedene radnje za poboljšanje prediktivnog modela temeljenog na *Exhaustive CHAID* algoritmu. Kod sva tri tipa osobnih automobila dvije nezavisne varijable s najvećim prediktivnim potencijalom (nezavisne varijable poredane su prema veličini prediktivnog potencijala, od najvećeg na vrhu do najmanjeg na dnu, po pojedinom tipu osobnog automobila) jesu „starost_god“ (broj godina osobnog automobila proteklih od godine njegove proizvodnje do 2010. godine) te „index_km“ (ukupno prijeđeni putevi (kilometri) osobnog automobila). Ovakav rezultat je očekivan s obzirom da je logično pretpostaviti da su starija vozila u pravilu izložena tehničkim neispravnostima s obzirom da su dulje vremena u eksploataciji, odnosno više godina eksploatacije osobnih automobila u pravilu podrazumijeva i više prijeđenih kilometara. Sljedeća nezavisna varijabla s najvećim prediktivnim potencijalom (kod osobnih automobila VW Golf i Opel Astra) jest „vr_motora“ (vrsta motora s obzirom na pogonsko gorivo i vrstu ispušnog sustava), te „index_stp“ (veličina sredine u kojoj se nalazi STP u kojoj je izvršen tehnički pregled osobnih automobila) čija specifičnost proizlazi iz činjenice da se ne radi o "egzaktnoj" varijabli koja se izravno ne odnosi na neku od značajki osobnih automobila (npr., snaga, starost ili broj prijeđenih kilometara), već je riječ o varijabli koja implicira određene okolnosti glede eksploatacije osobnih automobila, a koje u konačnici dovode do povećane mogućnosti za stvaranje tehničkih neispravnosti na osobnom automobilu utemeljene na dvjema logičkim presumpcijama. Prva logička presumpcija odnosi se na različite režime vožnje osobnih automobila uvjetovane različitim rješenjima prometne infrastrukture, a koja su pak uvjetovana različitim veličinama sredina.

Tablica 2. Usporedba rezultata istraživanja između obrađenih osobnih automobila [3]

Osobni automobili – predmet istraživanja	Uključene prediktivne (nezavisne) varijable izložene prema visini prediktivnog potencijala	Isključene prediktivne (nezavisne) varijable	Prediktivne kategorije	
			“PAD” Udjel (postotni iznos i broj automobila)	“PROLAZ” Udjel (postotni iznos)
VW Golf	„starost“ osobnog automobila (starost_god)	-	70,6 % 3.960 automobila (70,3 % 22.759 automobila)	70,1 % (70,0 %)
	ukupno prijeđeni putevi (kilometri) osobnog automobila (index_km)			
	vrsta motora s obzirom na pogonsko gorivo, odnosno vrstu ispušnog sustava (vr_motora)			
	snaga motora osobnog automobila (snaga)			
	vrsta kočionog sustava ugrađenog u osobni automobil (vr_kocnica)			
	veličina sredine u kojoj se nalazi STP u kojoj je izvršen tehnički pregled osobnog automobila (index_stp)			
	radni obujam motora automobila (ccm)			
Fiat Punto	ukupno prijeđeni putevi (kilometri) osobnog automobila (index_km)	vrsta kočionog sustava ugrađenog u osobni automobil (vr_kocnica), vrsta motora s obzirom na pogonsko gorivo, odnosno vrstu ispušnog sustava (vr_motora)	74,6 % 8.087 Automobila (73,7 % 3.322 automobila)	64,9 % (65,6 %)
	„starost“ osobnog automobila (starost_god)			
	veličina sredine u kojoj se nalazi STP u kojoj je izvršen tehnički pregled osobnog automobila (index_stp)			
	radni obujam motora osobnog automobila (ccm)			
	snaga motora osobnog automobila (snaga)			
Opel Astra	„starost“ osobnog automobila (starost_god)	vrsta kočionog sustava ugrađenog u osobni automobil (vr_kocnica), radni obujam motora osobnog automobila (ccm), snaga motora osobnog automobila (snaga)	75,7 % 1.695 Automobila (ukupno 11.252 automobila)	75,4 % (74,6 %)
	ukupno prijeđeni putevi (kilometri) osobnog automobila (index_km)			
	vrsta motora s obzirom na pogonsko gorivo, odnosno vrstu ispušnog sustava (vr_motora)			
	veličina sredine u kojoj se nalazi STP u kojoj je izvršen tehnički pregled osobnog automobila (index_stp)			

Činjenica je da veličina sredine u kojoj se nalazi STP u kojoj je obavljen tehnički pregled predmetnog osobnog automobila (skupina 1 – velike urbane sredine: Zagreb, Split, Osijek, Rijeka, skupina 2 – urbane sredine: Zadar, Pula, Slavonski Brod, Dubrovnik, Varaždin, Karlovac, Šibenik, skupina 3 – male sredine: ostale sredine) uvjetuje specifična rješenja prometne infrastrukture. Ta specifična rješenja prometne infrastrukture podrazumijevaju da veća sredina u odnosu na manje sredine ima veći broj raskrižja sa vertikalnom svjetlosnom signalizacijom (semaforima), veći broj kružnih tokova, veći broj pješačkih prelaza, veći broj cestovnih traka rezerviranih za javni prijevoz, itd. Nadalje, također je nedvojbeno činjenica da takva rješenja prometne infrastrukture utječu na način vožnje (tzv. gradski i izvangradski režimi vožnje) u smislu češće izmjene stupnjeva prijenosa snage motora (veći eksploatacijski utjecaj na elemente prijenosa snage osobnog automobila), češćeg kočenja (veći eksploatacijski utjecaj na kočioni sustav osobnog automobila) te veće potrošnja goriva (veći eksploatacijski utjecaj na ispušni sustav osobnog automobila). U konačnici, iz prethodno navedenih činjenica proizlazi pretpostavka da režimi vožnje koji podrazumijevaju veći eksploatacijski utjecaj pojedinih uređaja/sklupova osobnog automobila za posljedicu mogu imati stvaranje većeg potencijala za

nastanak tehničkih neispravnosti na osobnom automobilu, koji uvjetuju “pad” osobnog automobila na tehničkom pregledu. S druge pak strane, druga logička presumpcija u pogledu predmetne varijable odnosi se na očekivanu kvalitetu i intenzitet redovnog održavanja vozila u pojedinim sredinama uzimajući u obzir ekonomski aspekt, odnosno financijski potencijal vlasnika vozila. Naime, za očekivati je da u većim sredinama koje su ekonomski razvijenije, vlasnici vozila u prosjeku kvalitetnije i intenzivnije održavaju osobne automobile u kontekstu tehničke ispravnosti, s obzirom da isti u prosjeku imaju veći financijski potencijal nego vlasnici osobnih automobila u manjim sredinama.

5. ZAKLJUČAK

U okviru istraživanja koje je opisano u ovom radu dokazan je potencijal primjenjivosti prediktivnog modela tehničke neispravnosti osobnih automobila koji se temelji na metodi stabla odlučivanja i *Exhaustive CHAID* algoritmu, a na temelju rezultata tehničkih pregleda uzimajući u obzir sve subjekte koji bi trebali imati koristi od istog kako iz aspekta sigurnosti prometa na cestama tako i iz aspekta gospodarstva (prodaja vozila). Iako se predmetni model odnosi na predikciju tehničke neispravnosti osobnih automobila, a s obzirom na univerzalnost načela na kojem se predmetni model temelji, potencijal za njegovu primjenu nije ograničen samo na vrstu vozila u koju spadaju osobni automobili već se analogni model može modelirati u kontekstu predikcije tehničke neispravnosti i ostalih vrsta cestovnih vozila. Povratne informacije proizašle iz prediktivnog modela koji je predmet ovog istraživanja podrazumijevaju spoznaju u prognostičkom smislu (uz zadovoljavajući postotni iznos točnosti prediktivnih kategorija) o očekivanom broju tehnički neispravnih osobnih automobila na tehničkom pregledu u ovisnosti o trgovačkoj marki/tipu osobnog automobila, snazi i radnom obujmu njegovog motora, prijednim kilometrima, vrsti motora s obzirom na pogonsko gorivo, vrsti ugrađenog kočnog sustava, te u ovisnosti o pretpostavljenom dominantnom režimu vožnje proizašlim iz eksploatacijskog okruženja u infrastrukturnom smislu. Koristi od informacija predikcije tehničke ispravnosti osobnih automobila proizašle iz primjene ovog modela primarno bi trebali imati sljedeći subjekti:

- Tijela državne uprave u čijoj je nadležnosti sigurnost cestovnog prometa – na način da predmetne informacije ciljano koriste u kontekstu poboljšanja postojeće legislative koja se odnosi na područje sigurnosti prometa na cestama, te za fokusiranje preventivno-sigurnosnih akcija koje promiču tehničku ispravnost osobnih automobila kao funkciju sigurnosti prometa na cestama,
- Proizvođači osobnih automobila - na način da predmetne informacije koriste u cilju modificiranja procesa projektiranja osobnih automobila u cilju postizanja njihovih boljih sigurnosnih i ekoloških karakteristika posebno u pogledu višegodišnje eksploatacije. Na ovaj način proizvođači osobnih automobila ostvarili bi korist kako iz aspekta veće sigurnosti prometa na cestama, tako i iz aspekta prodaje osobnih automobila u marketinško-promidžbenom kontekstu.
- Vlasnici osobnih automobila - na način da predmetne informacije koriste u cilju što boljeg održavanja osobnih automobila. Također, potencijalni vlasnici osobnih automobila predmetne informacije mogu koristiti kao jedan od bitnijih kriterija za odabir pri kupnji istih.
- Prodavači rabljenih osobnih automobila - ključni aspekt za optimalno proračunavanje troškova jamstva rabljenih automobila, a time posljedično i optimalno modeliranje rokova jamstva, predstavlja razina vjerodostojnosti odnosno kvaliteta podataka o tehničkim neispravnostima na automobilima u funkciji starosti i razine eksploatacije automobila, a izvor kojih su do sada bili isključivo ovlašteni servisi. Proizlazi logičan

zaključak da će osiguravanje novog izvora predmetnih podataka adekvatnog volumena i visoke vjerodostojnosti za posljedicu imati stvaranje preduvjeta za još preciznije proračunavanje troškova jamstva, odnosno kvalitetnije modeliranje rokova jamstva.

- Nadzornici tehničke ispravnosti osobnih automobila (djelatnici STP-a koji neposredno provode tehnički pregled automobila) - na način da unaprijed (prije početka tehničkog pregleda automobila) putem programske aplikacije za provođenje tehničkih pregleda imaju informaciju o predikciji tehničke ispravnosti za automobil te da posljedično mogu obratiti posebnu pozornost na određene segmente automobila.

6. REFERENCE

- [1] R. Koch: *Living the 80/20 Way*, Nicholas Brealey Publishing, USA, 2004.
- [2] N.R.Tague: *The Quality Toolbox. Second edition*, Quality Press, USA, 2004.
- [3] I.Šiško: *Prediktivni model tehničke ispravnosti vozila temeljem tehničkih pregleda*, Disertacija, FSB-Zagreb, 2015.
- [4] B. de Ville: *Decision Trees for Business Intelligence and Data Mining: Using SAS Enterprise Miner*, SAS Publishing, SAS Institute, Cary, USA, 2006.
- [5] M. J. A. Berry, G. S. Linoff: *Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Relationship Management – Second Edition*, Wiley Publishing Inc., Indianapolis, USA, 2004.
- [6] M.Jadrić, Ž.Garača, M. Ćukušić: *Student dropout analysis with application of data mining methods*, Management, Vol.15, 1, pp.31 - 46, 2010.
- [7] T. Hill, P. Lewicki: *Statistics - Methods and Applications*, Statsoft, Tulsa, USA, 1980.