

UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET



Miloš M. Petrović

**Razvoj metodologije za proaktivno
održavanje pneumatika na motornim
vozilima**

doktorska disertacija

Beograd, 2013.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING



Miloš M. Petrović

**Development of methodology for
proactive tire maintenance on motor
vehicles**

doctoral dissertation

Belgrade, 2013.

Komisija za pregled i odbranu:

Mentor: Prof. dr Branko Vasić
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Članovi komisije: Prof. dr Milorad Milovančević
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Prof. dr Gradimir Danon
Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

Datum odbrane
doktorske disertacije _____

Sadržaj

Pregled slika	1
Pregled tabela	5
Razvoj metodologije za proaktivno održavanje pneumatika na motornim vozilima	8
Rezime:	8
1. Uvod	12
2. Pneumatici	14
2.1 Pneumatici za autobuse	21
3. Stanje tehnologija u oblasti pneumatika	26
3.1 Identifikacija putem radio frekvencije	26
3.2 Sistemi za praćenje pritiska i temperature vazduha u pneumatiku	27
3.3 Stabilni sistem za kontrolu pritiska vazduha i dubine dezena pneumatika	32
3.4 Sistemi za održavanje pritiska	33
3.5 Korišćenje azota za pumpanje pneumatika	36
3.6 Uređaji za samopumpanje pneumatika	36
3.7 Tečnosti za zaptivanje	38
4. Uticaj pneumatika na bezbednost i troškove eksploatacije vozila	39
4.1 Uticaj pneumatika na bezbednost saobraćaja	39
4.1.1 Uticaj pritiska vazduha	42
4.1.2 Uticaj dubine dezena pneumatika	44
4.2 Uticaj pneumatika na troškove eksploatacije	46
4.2.1 Mehanizmi habanja gume protektora	48
4.2.2 Vrste habanja	51
4.2.3 Habanje karkase	52
4.2.4 Uticaj pritiska vazduha u pneumatiku na potrošnju goriva	54
5. Metodologija istraživanja	65
5.1 Uvod	65
5.2 Mesto istraživanja	66
5.3 Sistem tehničkog održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.	68
5.3.1 Dnevni pregled vozila	68
5.3.2 Kontrola stanja pneumatika	68
5.3.3 Zamena pneumatika na vozilima	69
5.3.4 Rad interventne službe (intervencija)	71
5.3.5 Rukovanje protektiranim pneumaticima	71
5.4 Analiza rada PO „Lasta-Protekt“	71
5.5 Plan i program istraživanja	72
5.5.1 Podaci o voznom parku SP „Lasta“ A.D.	72
5.5.2 Podaci o pneumaticima na autobusima	72
5.5.3 Analiza pocesa protektiranja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.	73

5.5.4	Kontrola stanja pneumatika – stanje pritiska vazduha u pneumaticima	73
5.5.5	Putna ispitivanja pneumatika autobusa	76
6.	Rezultati i analiza rezultata istraživanja [47]	83
6.1	Vozni park SP „Lasta“ A.D.	83
6.2	Pneumatici u voznom parku SP „Lasta“ A.D.	84
	Stanje spoljnih guma prilikom montaže na autobuse	87
6.2.1	Stanje spoljnih guma nakon demontaže sa autobusa	88
6.2.2	Pređena kilometraža do skidanja pneumatika sa autobusa	89
6.2.3	Uticao uslova eksploatacije na vek pneumatika	91
6.3	Rukovanje protektiranim spoljnim gumama u PO „Lasta-Protect“ iz Smederevske Palanke	94
6.4	Rezultati i analiza rezultata kontrole pritiska vazduha u pneumaticima autobusa	97
6.4.1	Komentari rezultata kontrole pritiska vazduha u pneumaticima autobusa	101
6.5	Rezultati i analiza putnih ispitivanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D. [15]	103
6.5.1	Ispitivanje režima opterećenja pneumatika autobusa u gradskom saobraćaju	103
6.5.2	Ispitivanje režima opterećenja pneumatika autobusa u prigradskom saobraćaju	107
6.5.3	Ispitivanje režima opterećenja pneumatika autobusa u međumesnom saobraćaju	110
6.5.4	Analiza rezultata putnih ispitivanja	114
7.	Modelovanje uticaja pneumatika na troškove eksploatacije vozila	119
7.1	Model ocene veka noseće strukture pneumatika	119
7.2	Model ocene intenziteta habanja pneumatika	120
7.3	Model potrošnje goriva	121
7.4	Otkazi pneumatika na putu i intervencije	121
7.5	Model uticaja pneumatika na troškove eksploatacije pneumatika	122
8.	Predlog unapređenog sistema održavanja pneumatika u saobraćajnom preduzeću koje je objekt istraživanja	124
9.	Provera održivosti unapređenog sistema održavanja pneumatika	125
9.1	Metodologija rada	125
9.2	Izračunavanje mogućih koristi od uvođenja TPMS-a	128
9.3	Cost – benefit analiza	131
9.3.1	Ukupne moguće uštede	131
9.3.2	Troškovi implementacije TPMS	131
9.3.3	Rezultati analize	132
9.4	Interna stopa rentabilnosti i neto sadašnja vrednost projekta unapređenja sistema održavanja pneumatika	135
9.5	Analiza osetljivosti projekta unapređenja sistema održavanja pneumatika	137
9.5.1	Investicioni troškovi	137

9.5.2	Moguće uštede.....	138
9.6	Ocena održivosti unapređenog sistema održavanja pneumatika.....	138
10.	Završna razmatranja i zaključak.....	140
11.	Literatura.....	144
Prilog	148
	Rezultati merenja pritiska i temperatura pneumatika – gradski prevoz.....	148
	Rezultati merenja pritiska i temperatura pneumatika – prigradski prevoz.....	149
	Rezultati merenja pritiska i temperatura pneumatika – međumesni prevoz.....	151

Pregled slika

Slika 1. Konstrukcija radijalnog pneumatika [13].....	14
Slika 2. Presek radijalne spoljne gume [13]	14
Slika 3. Veza stopala spoljne gume i naplatka [13].....	16
Slika 4. Strmorameni naplatak [13].....	17
Slika 5. Osnovne dimenzije pneumatika	20
Slika 6. Dezen protektora za upravljačke osovine autobusa [13].....	22
Slika 7. Dezen protektora za pogonske osovine autobusa [13]	23
Slika 8. Dezen protektora pneumatika za sve osovine autobusa [13]	23
Slika 9. Dezeni protektora pneumatika za autobuse za linijski saobraćaj [15]	25
Slika 10. Dezeni protektora pneumatika za autobuse za međumjesni saobraćaj [15]	25
Slika 11. Dezeni protektora pneumatika za gradski i prigradski saobraćaj [15]	25
Slika 12. Redosled uvođenja inteligentnih sistema u pneumatike [16].....	26
Slika 13. Učešće TPMS na novim vozilima [23]	27
Slika 14. Osnovni uzroci gubitka pritiska vazduha u pneumatiku [23].....	29
Slika 15. Primer sistema za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima za teretna vozila [16]	29
Slika 16. Uređaji koji se montiraju na naplatak [15].....	30
Slika 17. Uređaj koji se montira na naplatak firme Tyron [15].....	30
Slika 18. Izgled senzora koji se montira na ventil [15]	30
Slika 19. Poklopci ventila - senzori za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima za putnička vozila [16]	31
Slika 20. Poklopci ventila - senzori za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima teretnih vozila [16]	31
Slika 21. Senzori pritiska vazduha u pneumaticima [16]	31
Slika 22. „Flow –Thru“ senzori za spoljnu montažu [15]	32
Slika 23. Izgled komponenata uređaja „Pneuscan ATM“ firme Ventech [15]	32
Slika 24. Elementi uređaja „Pneuscan ATM“ firme Ventech [16].....	33
Slika 25. Primeri sistema za održavanje pritiska [50]	33
Slika 26. Uređaj za nadzor pritiska vazduha u pneumatiku „Cat’s Eye“ [50].....	34
Slika 27. Mogućnosti merenja sila i ubrzanja u kontaktu pneumatika i kolovoza [44] .	34
Slika 28. Algoritam obrade signala u realnom vremenu [44].....	35
Slika 29. Upravljanje svojstvima materila ugrađenih u pneumatike	35
Slika 30. Šema rada AMT uređaja [35].....	37
Slika 31. Poprečni preseki pneumatika AMT sistemom [35].....	37
Slika 32. Presek pneumatika sa zaptivnim slojem.....	38
Slika 33. Način funkcionisanja zaptivne tečnosti.....	38
Slika 34. Uzroci otkaza pneumatika uzročnika nezgoda sa povređenim ili poginulim licima u Nemačkoj.....	41
Slika 35. Stanje pritiska vazduha u pneumaticima na kontrolisanim vozilima [8].	42
Slika 36. Uporedno stanje pritiska vazduha u pneumaticima na vozilima koja su učestvovala u saobraćajnim nezgodama i kontrolisanim vozilima [8].....	43
Slika 37. Procenat pneumatika u pojedinim kategorijama pritiska vazduha na vozilima kod kojih kao uticajni faktor u procesu nastanka nezgode bili označeni pneumatici [8].....	44
Slika 38. Uticaj dubine dezena na podužno prijanjanje – dubina vode 1,3 mm [4]	45
Slika 39. Uticaj dubine dezena na podužno prijanjanje – dubina vode 2,5 mm [5]	45
Slika 40: Dubina dezena na kontrolisanim pneumaticima [18].....	46

Slika 41. Intenzitet otkaza u funkciji dužine rada pneumatika [55, 52]	48
Slika 42. Habanje protektora u funkciji vrste kretanja i veličine usporenja [13]	49
Slika 43. Intenziteti habanja pneumatika [km/mm].....	50
Slika 44. Raspodela pritiska, tangencijalnih napona i obimne brzine u kontaktu vođenog točka [43]	54
Slika 45. Uticaj vremena rada na otpor kotrljanja i temperaturu pneumatika [13]	56
Slika 46. Promena otpora kotrljanja u funkciji pritiska pumpanja i opterećenja [13]....	56
Slika 47. Uticaj ugla klizanja na otpor kotrljanja [13]	57
Slika 48. Uticaj iskorišćenog prijanjanja na koeficijent otpora kotrljanja [9].....	57
Slika 49. Otpor kotrljanja udvojenih i wide tire ili "širokih" pneumatika [9].....	58
Slika 50. Absorpcija energije koja se utroši za savlađivanje otpora kotrljanja [56]	58
Slika 51. Raspodela energije dobijene sagorevanjem goriva kod automobila srednje klase: (a) u gradskim uslovi; (b) na otvorenom putu [56]	59
Slika 52. Smanjenje otpora kotrljanju Mišlenovih pneumatika od 1978. god do 2000. god. [27]	60
Slika 53. Izgled laboratorijske opreme za merenje sila koje nastaju prilikom kotrljanja točka pod opterećenjem [49]	63
Slika 54. Šema opreme za laboratorijska ispitivanja otpora kotrljanja [49].....	64
Slika 55. Označavanje pneumatika – otpor kotrljanja [49]	64
Slika 56. Karton kontrole pneumatika autobusa ZA 01 TO 01/17.....	68
Slika 57. Karton evidencije o pneumaticima skinutih sa autobusa – ZA 01 TO 01/15..	70
Slika 58. Karton evidencije o pneumaticima montiranim na autobuse – ZA 01 TO 01/16	70
Slika 59. Primer histograma raspodele odstupanja pritiska vazduha u pneumaticima za kamione tegljače [1]	75
Slika 60. Prikaz gradske autobuske linije 78	78
Slika 61. Prikaz autobuske linije Beograd – Donji Tovarnik	79
Slika 62. Prikaz autobuske linije Beograd – Subotica.....	80
Slika 63. Izgled autobusa Neobus CITTA SLR B7R [48]	80
Slika 64. Izgled autobusa Solaris Interurbino [48]	81
Slika 65. Izgled autobusa Berkhof Axial 70-12 [48].....	81
Slika 66. Šema rasporeda senzora	81
Slika 67. Modeli spoljnih guma koji su se najviše koristili na autobusima u SP „Lasta“ A.D.	85
Slika 68. Poređenje prosečnih kilometraža novih i jednom protektiranih spoljnih guma u „Lasti“	91
Slika 69. Prosečan vek novih spoljnih guma u međumesečnom saobraćaju	92
Slika 70. Uticaj koeficijenta protektiranja na specifične troškove pneumatika	96
Slika 71. Učešće autobusa sa neodgovarajući pritisak vazduha u pneumaticima u voznom parku SP „Lasta“ A.D.....	97
Slika 72. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za sve kontrolisane pneumatike.....	98
Slika 73. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatici na prednjim upravljačkim osovinaama autobusa	98
Slika 74. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatici na pogonskim osovinaama autobusa	99

Slika 75. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatici na pogonskim osovinaama autobusa	99
Slika 76. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatici na pratećim osovinaama zglobnih autobusa	100
Slika 77. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti levi i desni pneumatici	100
Slika 78. Porast pritiska vazduha usled porasta temperature vazduha u pneumatiku ..	101
Slika 79. Šta se događa kada se pneumatik ispumpava dok je vazduh u njemu na višoj temperaturi od temperature okoline	102
Slika 80. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima prednje osovine gradskog autobusa	105
Slika 81. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima zadnje osovine gradskog autobusa	105
Slika 82. Promene pritisaka vazduha (u odnosu na početne) u pneumaticima gradskog autobusa	106
Slika 83. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima prednje osovine prigradskog autobusa	108
Slika 84. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima zadnje osovine prigradskog autobusa	109
Slika 85. Promene pritisaka vazduha (u odnosu na početne) u pneumaticima prigradskog autobusa	109
Slika 86. Razlike između spoljne temperature i temperatura vazduha u pneumaticima prigradskog autobusa	110
Slika 87. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima prednje osovine međumesnog autobusa Berkhof Axial 70-12	111
Slika 88. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima zadnje osovine autobusa Berkhof Axial 70-12 – leva strana	112
Slika 89. Promene pritisaka vazduha (u odnosu na početne) u pneumaticima prigradskog autobusa	113
Slika 90. Razlike između spoljne temperature i temperatura vazduha u pneumaticima međumesnih autobusa	114
Slika 91. Promena pritisaka u pneumaticima prednje osovine međumesnog autobusa ..	115
Slika 92. Promena pritisaka u pneumaticima prednje osovine prigradskog autobusa ..	116
Slika 93. Promena pritiska vazduha u pneumaticima prednje osovine gradskog autobusa	116
Slika 94. Izmereni pritisci vazduha u pneumaticima međumesnog autobusa	117
Slika 95. Promena pritiska vazduha u pneumaticima prednje osovine gradskog autobusa	117
Slika 96. Korelacija između odstupanja pritisaka vazduha i veka strukture pneumatika	119
Slika 97. Korelacija između odstupanja pritisaka vazduha i intenziteta habanja protektora	120
Slika 98. Korelacija između odstupanja pritisaka vazduha u pneumatiku i potrošnje goriva	121
Slika 99. Ulazni podaci u model	122
Slika 100. Primer dobijenih rezultata	123
Slika 101. Kontakt pneumatik – kolovoz različito napumpanih pneumatika	128

Slika 102. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za sve kontrolisane pneumatike.....	129
Slika 103. Uticaj nabavne cene na vreme povraćaja investicije.....	137
Slika 104. Uticaj efikasnosti realizacije ušteda na vreme povraćaja investicije.....	138
Slika 105. Uticaj stanja flote na vreme povraćaja investicije.....	139

Pregled tabela

Tabela 1: Sastav spoljne radijalne gume 315/80 R 22.5	15
Tabela 2. Značenje ocena sposobnosti zaustavljanja na mokrim kolovozima	19
Tabela 3. Rezultati provera tehničkog stanja kamiona na tehničkom pregledu u SAD ..	40
Tabela 4. Utvrđeni uzroci „tehničkih“ nezgoda kamiona u SAD.....	41
Tabela 5. Klasifikacija intenziteta istrošenja-habanja pneumatika	52
Tabela 6. Lista otkaza noseće strukture spoljne gume pneumatika usled mehaničkih oštećenja.....	53
Tabela 7. Lista otkaza noseće strukture spoljne gume pneumatika usled termomehaničkih oštećenja.....	53
Tabela 8. Koeficijenti otpora kotrljanja na različitim kolovozima [24].....	55
Tabela 9. Promena potrošnje goriva pri promene otpora kotrljanju za $\pm 10\%$ [35].....	60
Tabela 10. Relativna promena otpora kotrljanja za različite parove vrednosti opterećenje pritisak.....	61
Tabela 11. Promena potrošnje goriva za 1 bar promene pritiska vazduha	62
Tabela 12. Struktura voznog paraka SP „Lasta“ A.D. *	67
Tabela 13. Označavanje marke autobusa u SP „Lasta“ A.D.	67
Tabela 14. Opšte uputstvo za klasifikaciju spoljnih guma za autobuse namenjenih protektiranju.....	71
Tabela 15. Delovi TPMS sistema.....	77
Tabela 16. Stanice na liniji 78	78
Tabela 17. Struktura voznog paraka SP „Lasta“ A.D. *	83
Tabela 18. Označavanje marke autobusa u SP „Lasta“ A.D.	83
Tabela 19. Prosečne potrošnje goriva autobusa u voznom parku SP „Lasta“ AD.	84
Tabela 20. Pregled demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D. po proizvođačima ...	84
Tabela 21. Pregled demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D. – načešće korišćene dimenzije	86
Tabela 22. Pregled naplataka za najčešće dimenzija spoljnih guma u SP „Lasta“ A.D.....	86
Tabela 23. Pregled demontiranih spoljnih guma u SP „Lasta“ A.D. prema stanju prilikom montaže	87
Tabela 24. Pregled demontiranih spoljnih guma – bez onih za koje ne postoje podaci	88
Tabela 25. Pregled stanja demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D.....	88
Tabela 26. Pregled stanja demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D.....	89
Tabela 27. Prosečna kilometraža skinutih spoljnih guma – različito stanje pri montaži 2009. god	90
Tabela 28. Pređena kilometraža spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži 2010. god	90
Tabela 29. Pređena kilometraža spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži 2011. god*	90
Tabela 30. Pređena kilometraža Yokohama spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži i različiti uslovi eksploatacije 2009. god	91

Tabela 31. Pređena kilometraža Yokohama spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži i različiti uslovi eksploatacije 2010. god	92
Tabela 32. Pređena kilometraža Yokohama spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži i različiti uslovi eksploatacije 2011.god	92
Tabela 33. Učešće „polovnih“ Yokohama spoljnih guma montiranih na autobuse u PO „Beograd“	93
Tabela 34. Učešće novih Yokohama spoljnih guma skinutih sa autobusa i vraćenih u magacin radi ponovne upotrebe.....	93
Tabela 35. Prosečna kilometraža koju su nove Yokohama spoljne gume prešle do skidanja sa autobusa i vraćanja u magacin radi ponovne upotrebe	93
Tabela 36. Prosečna kilometraža koju su polovne Yokohama spoljne gume prešle do skidanja sa autobusa	94
Tabela 37. Rezultat pregleda spoljnih guma u PO „Lasta-Protekt“ u 2010. i 2011. godini.....	94
Tabela 38. Razlozi za neprotektiranje spoljnih guma u 2010. i 2011. godini	95
Tabela 39. Poređenje rezultata merenja uređaja Colorful TPMS LM6180 i baždarenog manometra u SP „Lasta“ A.D.	103
Tabela 40. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa na početku ispitivanja (polazna stanica Zemun/Novi grad)	104
Tabela 41. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa (stanica „Lasta“) – merenje broj 1 pre polaska autobusa.....	107
Tabela 42. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa (stanica „Lasta“ Beograd).....	111
Tabela 43. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa – merenje u Beogradu na dolasku na stanicu „Lasta“ Beograd	111
Tabela 44. Prosečne godišnje kilometraže autobusa u SP „Lasta“ A.D. u različitim uslovima saobraćaja	125
Tabela 45. Cene nekih spoljnih guma za pogonske osovine na tržištu Srbiji	125
Tabela 46. Usvojene prosečne kilometraže veka protektora spoljnih guma u različitim uslovima saobraćaja u SP „Lasta“ A.D.	126
Tabela 47. Usvojene prosečne kilometraže spoljnih guma do konačnog otkaza u različitim uslovima saobraćaja u SP „Lasta“ A.D.	127
Tabela 48. Usvojene prosečne potrošnja autobusa u različitim uslovima saobraćaja u SP „Lasta“ A.D.	127
Tabela 49. Usvojeni polazni podaci za izračunavanje povećanih troškova autobusa zbog neodržavanja propisanih pritisaka vazduha	130
Tabela 50. Povećani troškovi pneumatika i goriva – po pneumatiku.....	130
Tabela 51. Povećani troškovi pneumatika i goriva – po autobusu	131
Tabela 52. Analiza opravdanosti ulaganja u individualne TPMS za različite uslove saobraćaja.....	132
Tabela 53. Analiza opravdanosti ulaganja u stabilni uređaj za kontrolu pritiska i dubine šare.....	133

Tabela 54. Analiza opravdanosti ulaganja u kombinovani sistem za kontrolu pritiska i dubine šare.....	134
Tabela 55. Analiza opravdanosti ulaganja u redukovani kombinovani sistem za kontrolu pritiska i dubine šare.....	135
Tabela 56. Analiza opravdanosti ulaganja u individualne TPMS za različite scenarije.....	136
Tabela 57. Analiza opravdanosti kombinovanog ulaganja u individualne TPMS i stabilni sistem za kontrolu pritiska i dubine dezena za različite scenarije.....	137

Razvoj metodologije za proaktivno održavanje pneumatika na motornim vozilima

Rezime:

U doktorskoj disertaciji „Razvoj metodologije za proaktivno održavanje pneumatika na motornim vozilima“ razmatrane su mogućnosti unapređenja održavanja pneumatika na motornim vozilima. Opšti naučni cilj disertacije bio je razvoj metode modeliranja uticaja pritiska i opšteg stanja pneumatika na bezbednost saobraćaja, troškove pneumatika, troškove goriva i druge troškove eksploatacije vozila. Značajan cilj i doprinos rada je promocija proaktivnog pristupa održavanju pneumatika za komercijalna vozila a, s tim u vezi, i primena sistema za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima (TPMS) kao konceptualnog rešenja koje je blisko konceptualnim rešenjima za ostale sisteme na vozilu, a koji su već poznati i u upotrebi.

U okviru disertacije obavljena su istraživanja u SP „Lasta“ A.D., našem najvećem saobraćajnom preduzeću, sa ciljem da se utvrdi da li bi primena TPMS uređaja na komercijalnim vozilima, osim povećane bezbednosti, imala uticaja na povećanje ekonomičnosti eksploatacije. Istraživanja su obuhvatila utvrđivanje stanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D., kontrolu i analizu pritiska vazduha u pneumaticima u SP „Lasta“ A.D. i putna ispitivanja pneumatika u gradskom, prigradskom i međumesnom saobraćaju.

Na osnovu analize rezultata istraživanja može se doneti zaključak da je sa gledišta bezbednosti saobraćaja, pogotovu kada se radi o prevozu putnika, održavanje propisanog pritiska vazduha od primarnog značaja. S obzirom da vozači tradicionalno izbegavaju svoje obaveze prema održavanju pneumatika proizvođači pneumatika i vozila izlaz iz ove situacije su potražili u novim tehničkim rešenjima.

U doktorskoj disertaciji „Razvoj metodologije za proaktivno održavanje pneumatika na motornim vozilima“ je predstavljen model uticaja pneumatika na troškove eksploatacije vozila. Pošlo se od pretpostavke da odstupanje od propisanog pritiska vazduha u pneumaticima utiče na troškove eksploatacije vozila na četiri načina: povećava intenzitet habanja i smanjuje pređenu kilometražu između dva protektiranja, skraćuje vek spoljne gume, povećava potrošnju goriva (zbog povećanja otpora kotrljanja) i povećani broj iznenadnih otkaza usled separacije protektora ili eksplozije (usled preteranog zagrevanja pneumatika).

Za kvantifikaciju posledica neodgovarajućeg pritiska postavljene su odgovarajuće „krive zavisnosti“, odnosno krive korelacije između odstupanja pritiska od propisanog i promena u veku pneumatika, veku protektora i potrošnje goriva. „Krive zavisnosti“ su integrisane u zajednički model koji je iskorišćen za ocenu predloženih sistema za unapređenje održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D..

U disertaciji je predloženo nekoliko alternativnih rešenja za unapređenje sistema održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.. Za osnovu je uzet postojeći sistem održavanja koji se može oceniti kao veoma dobar s obzirom da je, prema rezultatima istraživanja, stanje pneumatika u SP „Lasta“ A.D. značajno bolje nego u drugim saobraćajnim preduzećima u Srbiji pa i drugim zemljama. Predložene alternative su: da se ceo ili deo voznog parka opremi individualnim TPMS uređajima, da se u svakoj od

„tehničkih baza“ (kojih SP „Lasta“ A.D. ima veći broj), montira po jedan stabilan uređaj za kontrolu koji isključuje potrebu za ugradnjom individualnih TPMS na autobuse i da se u „bazama“ montira uređaj za kontrolu, a da se na sve ili samo na deo autobusa montiraju individualni TPMS uređaji. Druga i treća solucija bile bi interesantne samo za PO Beograd gde je u istoj autobazi koncentrisano više od 300 autobusa, odnosno 1/3 ukupnog voznog parka.

Na kraju su kvantifikovani gubici koje SP „Lasta“ A.D. ima zbog neodgovarajućih pritisaka vazduha u pneumaticima. Ovi gubici bi se mogli umanjiti ukoliko bi se situacija u oblasti stanja pritiska poboljšala. Veće poboljšanje značilo bi i veće moguće uštede. Izračunate moguće uštede (za svako od ponuđenih rešenja) upoređene su sa investicionim i operativnim troškovima koje bi SP „Lasta“ A.D. imala oko uvođenja i korišćenja navedene opreme. Rezultati analize su pokazali da bi se u svim razmatranim slučajevima ugradnja uređaja isplatila u relativno kratkom roku.

Ključne reči: pneumatik, autobus, vek pneumatika, vek protektora pneumatika, potrošnja goriva, pritisak vazduha u pneumaticu, temperatura vazduha u pneumaticu, uređaj za praćenje pritiska, sistem održavanja, moguće uštede.

Naučna oblast: Mašinsko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Motorna vozila

UDK broj: 629.3.027.5(043.3)

Development of methodology for proactive tire maintenance on motor vehicles

Abstract:

Doctoral dissertation “Development of methodology for proactive tire maintenance on motor vehicles” examines possibilities of improving tire maintenance on motor vehicles. General scientific objective of dissertation was development of method for modeling the impact of tire pressure and their general state to the traffic safety, costs of tires, fuel costs and other costs of vehicle exploitation. Important goal and contribution of dissertation is promotion of proactive approach to commercial vehicle’s tire maintenance, and respectfully, application of Tire Pressure Monitoring System (TPMS), as a conceptual solution which is similar to conceptual solutions for other vehicle systems, which are well know and in use.

The dissertation included research within traffic company Lasta AD, which is a leading bus traffic company in Serbia. Objective was to determine whether application of Tire Pressure Monitoring System (TPMS) on commercial vehicles, except increasing traffic safety, had an impact on decreasing the cost of vehicle exploitation. Research included determination of Lasta AD vehicles fleet tire condition, combined with tire pressure control and analysis and road testing of tires in urban, suburban and intercity transportation.

In terms of traffic safety and based on the analysis of the dissertation results, it can be drawn the conclusion, especially in the case of passenger transport, that maintaining of specific air pressure is of primary importance. Since the drivers traditionally avoid maintaining tires, manufacturers of tires and vehicles sought for way out of this situation in new technical solutions.

Doctoral dissertation “Development of methodology for proactive tire maintenance on motor vehicles” presented model of tire impact on the costs of vehicle exploitation. The starting assumption was that a deviation from the specified air pressure in the tire affects vehicle operating costs in four different ways: increases the wear intensity and reduces the mileage between two retreading, shortens the life span of outer tire, increases fuel consumption (due to increased rolling resistance) and increases the number of sudden failures because of retread separation or explosion (due to excessive overheating of the tire).

To quantify the consequences of inadequate pressure, appropriate "false dependency" has been set, i.e. false correlations has been established between specified pressure deviations, changes in the tire life cycle, retread life cycle and fuel consumption. "The curves of dependency" were integrated into a common model, which was used for the evaluation of the proposed systems for tire maintenance improvement in "Lasta" AD.

The thesis proposed several alternative solutions for the improvement of tire maintenance in "Lasta" AD. As the basis of research, the existing tire maintenance system was used. System can be described as very good considering that, according to the survey, the tires condition in "Lasta" AD was significantly better than within other transportation companies in Serbia and even in other countries. Proposed alternatives are: to equip entire vehicle fleet or part of it with individual TPMS devices, to mount a

stable control device into the each of the "technical basis" (that "Lasta" AD has a number), which eliminates the need for installing individual TPMS on the buses and to equip all the "bases" with control devices together with implementation of TPMS individual devices to whole or part of vehicle fleet. The second and third solution would be interesting only in Belgrade, where "technical base" concentrate more than 300 buses, that is 1/3 of the entire fleet.

At the end, losses which "Lasta" AD generated due to inadequate air pressure in the tires have been quantified. These losses could be reduced if the situation regarding the tire pressure condition could be improved. Larger improvement would mean more possibilities for cost savings. The calculated potential savings (for each of the proposed solutions) were compared with the investment and operating costs that "Lasta" AD would have related to implementation and use of said equipment. Results showed that in all considered cases, device installation would be paid off in a relatively short period of time.

Key words: Tire, Bus, Tire life cycle , Tire retread life cycle , Fuel consumption, Tire pressure, Tire temperature, Device for pressure monitoring, Maintenance system, Possible savings

Scientific area: Mechanical engineering

Scientific sub-area: Motor vehicles

UDC number: 629.3.027.5(043.3)

1. Uvod

Društvo se opredelilo za mobilnost bez ograničenja ne razmišljući previše da to, između ostalih stvari, obezbeđuju pneumatici koji bez problema rade na temperaturama od -20°C do $+50^{\circ}\text{C}$, na podlogama prekrivenim ledom, snegom ili blatom. Izdržavaju svoj "prvi život" izloženi ostrim manevrima, ubrzanjima, kočenjima, a od njih se očekuje da, nakon obnavljanja (stavljanja novog protektora), izdrže i drugi, pa možda i treći životni vek. Očekivanja od pneumatika su velika, briga o njima skoro nikakva, a oni opet funkcionišu pouzdano i bezbedno. Kvalitet, pouzdanost i dobra prilagođenost pneumatika zahtevima korisnika su rezultat odgovornog i kvalitetnog rada proizvođača pneumatika, saradnje sa proizvođačima vozila, razvoja savremenih postupka proračuna, novih materijala i tehnologija, laboratorijskih i putnih ispitivanja.

Istraživanja koja su sprovedena u okviru disertacije odnose se na domen pneumatika na motornim vozilima i posebno na njihov uticaj na bezbednost saobraćaja, udobnost i ekonomiju transporta. Na pouzdanost i performanse pneumatika utiču različiti faktori: karakteristike vozila na koja su montirani, način njihovog korišćenja i održavanja, način vožnje, okruženje u kome rade, kao i slučajni događaji koji mogu izazvati oštećenja ili uticati na njihov rad.

Od kraja osamdesetih u stručnim i naučnim časopisima posvećuje se dosta pažnje problemima vezanim za eksploataciju i održavanje pneumatika i potencijalnim opasnostima koje prete u slučaju da se pneumatici redovno ne kontrolišu. Prema podacima National Highway Traffic Safety Administration's (NHTSA) otkazi pneumatika bili su jedan od veoma čestih razloga za ugrožavanje bezbednosti saobraćaja.

Održavanje pneumatika putničkih i komercijalnih vozila nije na odgovarajućem nivou. Korisnici ne posvećuju dovoljno pažnje pneumaticima i ne shvataju važnost pneumatika za bezbednu, komfornu i ekonomičnu vožnju. Neodgovarajućim pritiskom u pneumaticima, ugrožava se i rad elektronskih sistema na vozilima kao što su: sistem protiv blokiranja kočnica (ABS), elektronski sistem kontrole proklizavanja (ESR), program elektronske stabilnosti (ESP), kontrole kočenja pri skretanju (SVS). To sve ima i posledice u pogledu smanjenja bezbednosti, komfora, veka pneumatika i potrošnje goriva, kao i ugrožavanja životne sredine, pa je logično da se ovakvim istraživanjima i razvojem jedne metodologije koja će omogućiti proaktivno održavanje pneumatika – upravo bavi ova doktorska disertacija.

Osnovni cilj istraživanja bio je razvoj metode modeliranja uticaja pritiska i opšteg stanja pneumatika na bezbednost vozila, potrošnju goriva, habanje pneumatika i troškove eksploatacije vozila. U okviru toga definisane su odgovarajuće „krive uticaja“, koje pokazuju odnose pritiska vazduha u pneumaticima i intenziteta habanja protektora, veka karkase pneumatika i potrošnje goriva, ali i uticaj na druge sklopove i sisteme na vozilu. Izvršena je kvantifikacija uticaja pravilnog održavanja pritiska vazduha u pneumaticima komercijalnih vozila i autobusa na bezbednost i troškove eksploatacije. U cilju uspešne realizacije rada, potrebno je zadovoljiti ciljeve rada, dokazati ili opovrgnuti hipoteze, koristeći metode istraživanja koje su date u narednom poglavlju.

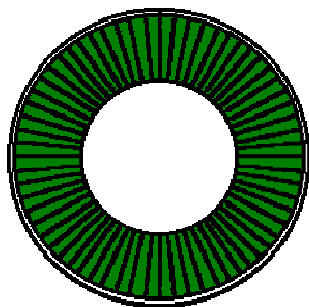
Cilj i doprinos rada je bio promocija proaktivnog pristupa održavanju pneumatika za komercijalna vozila, a s tim u vezi, i primena sistema za nadzor pritiska vazduha u

pneumaticima (TPMS) kao konceptualnog rešenja koje je blisko rešenjima za ostale sisteme na vozilu, a koji su već poznati i već u upotrebi.

Provera razvijenog modela uticaja pritiska i opšteg stanja pneumatika i održivost postavljenog proaktivnog pristupa održavanju pneumatika napravljena je na konkretnom primeru saobraćajnog preduzeća. Za proveru je odabrano vodeće saobraćajno preduzeće u Srbiji, SP „Lasta“ A.D. Beograd. Iskorišćene su postojeće elektronske baze podataka, a deo potrebnih podataka je dobijen kao rezultat posebno sprovedenih istraživanja. Takođe, prikupljene su i informacije o tržištu uređaja za nadzor pritiska i temperature vazduha u pneumaticima, analizirane njihove karakteristike, i podobnost za ugradnju na autobuse. Na osnovu prikupljenih i istraženih podataka, urađena je provera održivosti predloženog sistema održavanja. Kroz cost-benefit analizu, a na osnovu rezultata dobijenih korišćenjem razvijenog modela, upoređeni su ukupni troškovi uvođenja i korišćenja individualnih TPMS i na autobusima. U troškove uvođenja TPMS sistema uključeni su troškovi za nabavku i ugradnju, a u troškove korišćenja troškovi održavanje ovih sistema. Moguće izračunate uštede, koje su prilikom analize uzete u obzir, su uštede u pneumaticima, protektiranju, gorivu i održavanju. Zaključak je bio da bi se uložena sredstva uvođenja unapređenog sistema održavanja, koja obuhvata i ugradnju individualnih TPMS na autobuse SP „Lasta“ A:D., vratila, u zavisnosti od vrste prevoza, u prvoj ili drugoj godini eksploatacije. Promenama u sistemu odražavanja značajno bi se unapredila i bezbednost saobraćaja i komfor putnika.

2. Pneumatici

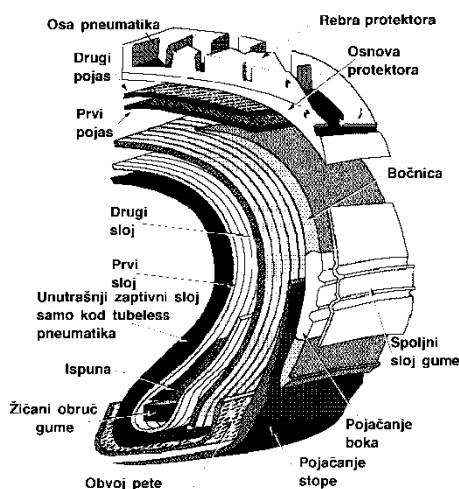
Savremeni pneumatici, zahvaljujući svojoj promenljivoj i prilagodljivoj strukturi, ispunjavaju sve zahteve koje pred njih postavljaju proizvođači i korisnici vozila. Uz to obezbeđuju putnicima i odgovarajuću udobnost i komfor. Do 1970 najveći broj pneumatika bio je dijagonalne konstrukcije, dok su danas skoro isključivo u upotrebi radijalni pneumatici. Dijagonalni pneumatici se još koriste kod terenskih i radnih vozila. Karkasa radijalnih pneumatika sastoji se od jednog ili više slojeva tkiva izrađenog od tekstilnih ili čeličnih niti, raspoređenih pod uglom od 90° u odnosu na središnju ravan pneumatika (Slika 1).



Slika 1. Konstrukcija radijalnog pneumatika [13]

Iznad karkase i nezavisno od nje postavljena su dva do četiri pojasa od tekstilne ili čelične dijagonalno sečene gumirane tkanine čije su širine približno jednake širini protektora. Postojanje pojasa je neophodno za funkcionisanje radijalnog pneumatika i bez njega bi radijalna struktura bila nestabilna.

Sklop pneumatika i naplatka, prema SRPS ISO 4209-1:2005, sačinjavaju u opštem slučaju: spoljna guma, unutrašnja guma-zračnica, pojas-štitnik, ventil, naplatak i vazduh kao noseći element. Posebnu vrstu pneumatika predstavljaju "tubeless" pneumatici koji su bez unutrašnje gume i bez štitnika. Na narednoj slici (Slika 2) prikazan je poprečni presek radijalnog „tubeless“ pneumatika na kome su naznačeni njegovi osnovni delovi: protektor sa urezanim kanalima, dva pojasa, bočnica, peta, stopa, žičano jezgro u stopi, unutrašnji zaptivni sloj pneumatika i dvoslojna karkasa.



Slika 2. Presek radijalne spoljne gume [13]

Spoljna guma po svom obliku podseća na šuplji torus, otvoren u ravni postavljanja na naplatak. Sastoji se od četrdesetak različitih materijala uključujući gumu, čađ, čelik, vlakna i različite hemikalije. U donjoj tabeli (Tabela 1) dat je približan sastav savremene spoljne gume. Radi se o radijalnoj spoljnoj gumi, predviđenoj za montažu bez unutrašnje gume.

Tabela 1: Sastav spoljne radijalne gume 315/80 R 22.5 [13]

Materijal		Masa	Relativno učešće
		kg	%
1	Prirodni kaučuk	18,80	30,5
2	Sintetički kaučuk	3,40	5,60
3	Halogen butil kaučuk	1,23	2,00
4	Ostale hemikalije:	17,30	28,10
5	Žičano jezgro	8,50	13,80
6	Najlon vlakno	0,12	0,20
7	Čelično vlakno	12,20	19,80
Ukupno		61,55	100,00

Metalno (tekstilno) tkivo obloženo gumom predstavlja osnovu spoljne gume (karkasa i pojasevi) i služi da pneumatiku da oblik, stabilnost, nosivost i otpornost na udare i zamor.

Protektor je jedini deo pneumatika koji je u stalnom kontaktu sa kolovozom. Zadaci su mu da: zaštititi karkasu spoljne gume pneumatika od habanja i spoljnih uticaja; obezbedi dobro prijanjanje pneumatika na putu pri pogonu, kočenju ili skretanju i to uz što manju buku. Za ostvarenje ovih zadataka od prvorazrednog značaja su dva svojstva protektora: desen i tvrdoća gume od koje je protektor izrađen. Deseni savremenih pneumatika sastoje se od rebara, blokova, uzdužnih i poprečnih kanala i lamelastih zarezova. Svaki od elemenata desena ima određenu ulogu u ostvarivanju dobrog prijanjanja. Uzdužna rebra obezbeđuju dobru bočnu stabilnost i sprečavaju bočno klizanje vozila. Rebra su razdvojena uzdužnim kanalima (tri do pet milimetara širine i do dvadeset milimetara dubine). Ovi kanali služe za odvođenje vode iz kontakta pneumatika i kolovoza i obezbeđuju bolje prijanjanje na mokrim kolovozima. Poprečni kanali povećavaju elastičnost protektora i obezbeđuju bolje prijanjanje pri kočenju ili pogonu na suvim i na mokrim kolovozima. Na većini desena postoje i sitni zarezovi i njihova uloga je da povećavaju elastičnost rebara i blokova. Sitniji desen i plići kanali obezbeđuju veću efikasnost pri kočenju na tvrdim i suvim kolovozima. Krupniji deseni i širi i dublji kanali namenjeni su za kretanje vozila po lošijim putevima i u zimskim uslovima.

Sledeća važna karakteristika je tvrdoća gume protektora. Na tvrdoću gume protektora najviše utiče procenat čađi. Sa povećanjem učešća čađi i tvrdoća gume raste. Uz tvrdoću raste i otpornost prema habanju, zatezna čvrstoća i histerezis gume. Uobičajena vrednost za tvrdoću gume protektora, kod pneumatika za autobuse je između 62 i 65 Šora "A". Niža vrednost se odnosi na pneumatike sa tekstilnim kordom, a viša na celočelične pneumatike.

Bok je deo od ramena do stope spoljne gume. Bok štiti karkasu i stopu spoljne gume od mogućih oštećenja. Radi toga se bok pneumatika ojačava sa jednim ili sa dva čelična/tekstilna sloja. Preko svega je sloj gume koji štiti tkivo od atmosferskih uticaja i korozije. Na boku su utisnute reljefne oznake proizvođača pneumatika i interne oznake korisnika.

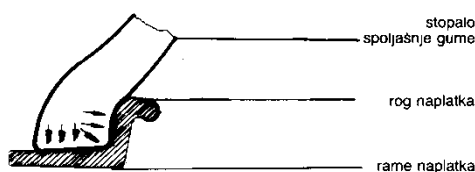
Stopa predstavlja ivični deo spoljne gume u kojoj se nalazi jedan ili više žičanih obruča. Pneumatik preko stope ostvaruje čvrstu i nepropusnu vezu sa naplatkom. Uloga stope je i da zahvaljujući žičanom obruču ukruti karkasu. Žičano jezgro u stopi može biti izrađeno od jedne (debele) ili većeg broja tankih upletenih čeličnih žica, zaštićenih bronzom i presvučenih gumom, koje mogu imati kvadratni, kružni, eliptični ili šestougaoni poprečni presek.

Zaptivni sloj-obvoj nalazi se sa unutrašnje stranje "tubeless" spoljne gume. Njegov osnovni zadatak je da, kao zamena za zračnicu (unutrašnju gumu), obezbedi nepropusnost tkiva spoljne gume.

Unutrašnju građu spoljne gume čine: karkasa, pojasevi, ispuna, jastučići i žičani obruči. Karkasa obezbeđuje sposobnost nošenja i čvrstoću strukture spoljne gume. Sastoji se od višežične pređe načinjene od čelika, najlona, rajona ili poliestera i obavijene gumom. Prednost karkase od čeličnih niti je u tome što se propisana nosivost pneumatika obezbeđuje samo sa jednim ili dva sloja karkase što pneumatik čini lakšim.

Pojasevi predstavljaju elastičnu vezu protektora i karkase. Pojasevi utežu i stabilizuju pneumatik prilikom kotrljanja i štite karkasu od mehaničkih povreda. Izrađeni su od tekstilnog (metalnog) tkiva i gume. Broj pojaseva se, kod pneumatika za komercijalna vozila, kreće između dva i četiri.

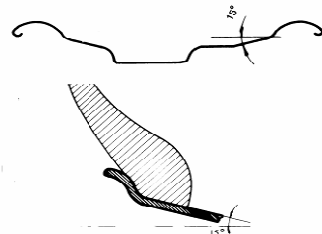
Metalni deo točka sastoji se iz tri osnovna dela: naplatka, srednjeg spojnog dela i glavčine. Obodni deo točka nazivamo naplatak. Njegov zadatak je da obezbedi vezu između spoljašnje gume i točka vozila i da omogući dovod vazduha u spoljašnju i unutrašnju gumu. Veza se ostvaruje tako što rame i rog naplatka daju čvrst oslonac stopalu spoljne gume (Slika 3). Između naplatka i stopala javlja se, pod pritiskom upumpanog vazduha, dovoljno velika sila trenja da je veza naplatka i stope spoljne gume čvrsta i prilikom kotranja, pogona, kočenja ili skretanja točka.



Slika 3. Veza stopala spoljne gume i naplatka [13]

Prema konstrukciji, naplatke delimo na jednodelne i razdvojive. Jednodelni naplatci mogu biti simetrični i asimetrični. Na izbor vrste naplataka utiču konstrukivna rešenja drugih elemenata i sklopova (kočnica na primer). Danas se najičeše koriste jednodelni naplatci. Koriste se kod točkova za putnička, laka teretna i komercijalna vozila. Obično su izrađeni zavarivanjem presovanih elemenata od čeličnog lima. Naplatci za savremena putnička vozila mogu se izrađivati i od lakih legura (na primer legura aluminijuma).

Prema obliku naplatci mogu biti: ravni, olučasti, kosorameni i strmorameni. Na donjoj slici (Slika 4) dat je strmorameni naplatak kod koga rame ima nagib od 15° . Stopalo spoljašnje gume se uklini u konus koji još zadržava rame naplatka. Veći ugao osigurava bolje uklinjenje stopala, pa visina roga naplatka može biti manja.



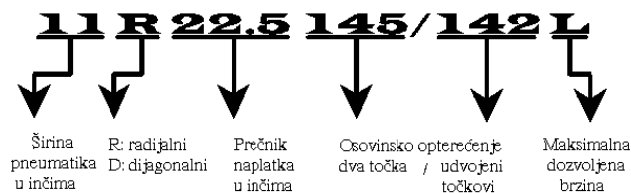
Slika 4. Strmorameni naplatak [13]

Strmorameni naplatci se koriste i za montažu tubeless pneumatika za teretna vozila i autobuse. Oznake ovih naplataka se mogu prepoznati tako što se završavaju uvek sa 0,5 cola (naprimer 19.5, 22.5 i 24.5).

Srednji deo točka se izvodi u dva osnovna oblika: točkovi sa diskom i točkovi sa paocima. Kada je srednji deo točka u obliku diska onda se veza sa glavčinom ostvaruje vijcima, koji jednovremeno vezuju i doboš papučastog kočnog mehanizma. Kada je srednji deo u obliku paoka, onda se obično izrađuje zajedno sa glavčinom.

Veza između diska točka i glavčine se ostvaruje vijcima koji se uvrću u zavojne rupe u glavčini ili u dobošu, odnosno vijcima učvršćenim za glavčinu/doboš kočnice, a spajanje se vrši posebnim navrtkama. U oba slučaja zadatak vijčane veze je da obezbedi čvrstu vezu u odnosu na glavčinu i pravilan položaj točka, odnosno njegovo centriranje.

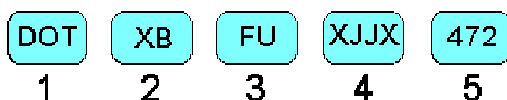
Kod kamiona i autobusa, zbog ograničene nosivosti pneumatika, točkovi se na pogonskim i pratećim osovinama udvajaju. U tom slučaju dopunski zadatak veze je, osim spajanja oboda i glavčine, da obezbedi pravilno rastojanje između uparenih točkova. Pneumatici za motorna i priključna vozila moraju biti izrađeni i obeleženi u skladu sa propisima koji važe u zemlji proizvođača ali i zemlji gde se pneumatici koriste. Obeležavanje pneumatika obuhvata: dimenzije pneumatika, konstrukciju spoljne gume, da li je pneumatik izveden sa ili bez zračnice, nosivost, dozvoljenu maksimalnu brzinu, namenu pneumatika, oznaku desena, jačinu karkase, kao i druge podatke koje zahtevaju propisi različitih zemalja. U Srbiji važe SRP standardi. Naši standardi su usklađeni sa međunarodnim propisima, kao što su ECE (Economic Commission for Europe), ETRTO (The European Tyre and Rim Technical Organization), DOT (U.S. Department of Transportation) i UTQS (The Uniform Tire Quality Grading System) oznake. Osnovni podaci, koji moraju postojati na bočnici spoljne gume pneumatika, su sledeći:



U navedenom primeru radi se o radijalnom pneumatiku bez unutrašnje gume koji je namenjen za teretna vozila i autobuse.

Pneumatici koji su namenjeni prodaji na američkom tržištu moraju da ispune tehničke uslove propisane DOT standardima. Na bočnoj strani spoljnje gume pneumatika moraju se naći sledeći podaci:

1. Oznaka DOT znači da pneumatik ispunjava ili prevazilazi minimalne zahteve postavljene DOT standardima.
2. Oznaka fabrike proizvođača pneumatika. Oznaka XB znači da se radi o italijanskoj fabrici Pirelli iz grada Setima kod Torina.



3. Kôd kojim se označava dimenzija pneumatika.
4. Oznaka je rezervisana za potrebe proizvođača pneumatika.
5. Datum proizvodnje koji je važan zbog eventualnih reklamacija i određivanje starosti pneumatika (preporuka je da se, bez obzira na intenzitet upotrebe, pneumatik isključi iz eksploatacije nakon pet godina). Oznaka 472 znači da je pneumatik izrađen 47 nedelje 1992. godine.

Uz to u nekim zemljama propisani su i dopunske zahtevi u pogledu kvaliteta pneumatika. U SAD to su UTQG norme. Na našem jeziku to bi glasilo „Jedinstveni sistem kvaliteta pneumatika“. Provere vrše sami proizvođači, uz korišćenje odgovarajućih testova, a ocene se upisuju na bočnicu spoljnje gume, kao na primer:

TREADWEAR	160
TRACTION	A
TEMPERATURE	B

Ocena „Treadwear“ se odnosi na vek trajanja pneumatika. Merenja se vrše u skladu sa propisanim standardom, a vek protektora se daje relativno u odnosu na vek referentnog pneumatika čiji je vek označen sa 100. Treadwear 160 znači da je vek ispitivanog pneumatika za 60% duži od veka referentnog pneumatika, ispitivanog pod istim uslovima. Podaci o veku trajanja se, obzirom na način provere, moraju uzimati uslovno i koriste se samo radi poređenja različitih modela pneumatika istih dimenzija i istog proizvođača. Stvarni vek protektora zavisiće od uslova u kojima se pneumatik koristi, odnosno navika vozača, uslova saobraćaja, karakteristika puta i klimatskih uslova.

„Traction“ je mera sposobnosti pneumatika da se zaustavi na mokrom afaltnom ili betonskom kolovozu u uslovima pravoliniskog kočenja u kontrolisanim uslovima. Ocena je slovna i može biti AA, A, B ili C. Ocena AA je najbolja, a C najlošija. Navedena ocena se ne odnosi na ponašanje pneumatika pri skretanju ili kretanju po snegu. Pneumatik iz primera ima usporenje iznad $4,6 \text{ m/s}^2$ na asfaltnom kolovozu, odnosno iznad $3,4 \text{ m/s}^2$. Detaljniji podaci o ocenama sposobnosti pneumatika na vlažnim kolovozima pri kočenju dati su u narednoj tabeli (Tabela 2).

Tabela 2. Značenje ocena sposobnosti zaustavljanja na mokrim kolovozima

Ocena	Srednje usporenje blokiranog točka m/s^2	
	Asfaltni kolovoz	Betonski kolovoz
AA	Iznad 5,3	3,7
A	Iznad 4,6	3,4
B	Iznad 3,7	2,6
C	Manje od 3,7	2,6

Pneumatik koji se ispituje montira se na točak na osovini prikolice koju vuče kamion brzinom od 65 km/h. Točak na prikolici je opremljen kočionom instalacijom koja se aktivira iz kamiona i sistemom za merenje sila u sva tri pravca. Kamion je opremljen i instalacijom za polivanje koja vodom kvasi kolovoz ispred ispitivanog pneumatika. Na početku ispitivanja kočnica momentalno blokira opitni točak a senzori mere sile (u vertikalnom i podužnom pravcu) pri pravoliniskog kretanja blokiranog točka. Koeficijent trenja klizanja se izračunava iz odnosa srednje podužne i srednje normalne sile.

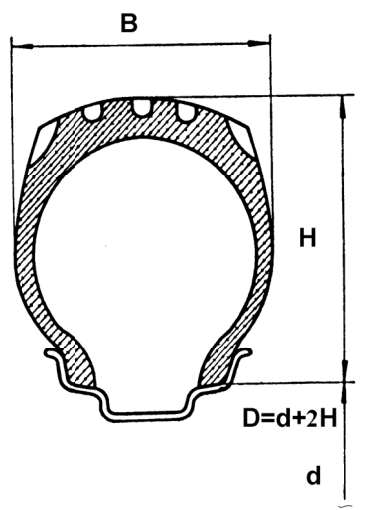
UTQG takođe predviđa merenje otpornosti pneumatika na zagrevanje u normalnim radnim uslovima (propisana brzina, pritisak pumpanja i normalno opterećenje). Otpornost na zagrevanje se na engleskom označava sa „Temperature“. Ocena je slovna i može biti A, B i C, gde:

- „A“ - predstavlja maksimalni nivo i označava da propisano napumpan pneumatik opterećen odgovarajućim normalnim opterećenjem može da izdrži najmanje pola sata na brzini od 185 km/h.
- „B“ - pneumatik izdržava zadate uslove ispitivanja na 160 km/h, ali ne na 180 km/h.
- „C“ - pneumatik izdržava zadate uslove ispitivanja na 137 km/h, ali strada tokom ispitivanja na brzini od 160 km/h.

Propis kaže da se pneumatici koji ne mogu zadovoljiti uslove testa za oznaku C ne smeju prodavati u SAD.

Na narednoj slici (Slika 5) dat je poprečni presek pneumatika i naplatka, na kojem su označene osnovne dimenzije:

- D - spoljni prečnik pneumatika, odnosno maksimalni prečnik izmeren na neopterećenom pneumatiku, montiranom na odgovarajući naplatak i napumpanog na propisani pritisak;



Slika 5. Osnovne dimenzije pneumatika

B - širina poprečnog preseka pneumatika, izmerena na neopterećenom pneumatiku, montiranom na odgovarajući naplatak, koji je napumpan na propisani pritisak. Prilikom merenja ne uzimaju se u obzir ornamenti i izbočine na bočnoj strani spoljne gume. Korišćenje naplatka drugih dimenzija utiče na promenu širine pneumatika.

Ukupna širina pneumatika uključuje ornamente i izbočine na bočnim stranama pneumatika. Ova dimenzija je važna kod utvrđivanja potrebnog prostora za montažu pneumatika.

H - visina profila pneumatika;

H/B ili profil pneumatika - predstavlja odnos širine i visine poprečnog preseka neopterećenog pneumatika, montiranog na odgovarajući naplatak i napumpanog na propisani pritisak. Nove konstrukcije pneumatika imaju trend povećanja širine B i smanjenja visine balona H, odnosno smanjenja profila.

d - nominalni prečnik naplatka.

Osim navedenih postoje i druge dimenzije koje mogu biti važne korisnicima vozila:

- Statički poluprečnik točka r_{st} koji predstavlja vertikalno rastojanje od ose propisno opterećenog i propisno napumpanog nepokretnog točka do površine podloge.
- Dinamički poluprečnik r_d je rastojanje od ose točka, koji se obrće, do površine podloge. Prilikom merenja pneumatik mora biti opterećen odgovarajućim vertikalnim opterećenjem i napumpan na propisani pritisak. Dinamički poluprečnik je uvek veći od statičkog. Kod radijalnih pneumatika, razlika ostaje konstantna i to u širokom opsegu brzina. Na promenu dinamičkog poluprečnika utiču i bočne i obimne sile. Sa povećanjem kočne ili pogonske sile ovaj poluprečnik se smanjuje. Promena je izrazitija u slučaju pogona nego kod kočenja.
- Poluprečnik kotrljanja, odnosno kinematski poluprečnik pneumatika r_k je računska veličina i zavisi od režima obrtanja točka. Računa se tako što se pređeni put za jedan obrtaj točka podeli sa 2π ili kao odnos translatorne i ugaone brzine točka:

$$- r_k = \frac{V_{tr}}{\omega},$$

gde je: V_{tr} - translatorna brzina točka; ω - ugaona brzina točka.

Na veličinu poluprečnika kotrljanja utiče veličina klizanja u kontaktu. Kinematski prečnik vođenog točka je uvek manji od slobodnog poluprečnika r_o , ali je veći od dinamičkog poluprečnika r_d . Povećanje klizanja u kontaktu utiče na promenu kinematskog poluprečnika. Kod kočenja sa povećanjem klizanja u kontaktu poluprečnik kotrljanja (r_k) raste i u slučaju blokiranog točka (klizanje je 1) teži beskonačnosti. U slučaju pogona situacija je obrnuta. Sa povećanjem pogonskog momenta na točku klizanje u kontaktu raste, broj obrtaja točka raste, ali ne i translatorna brzina točka, bar ne u istoj proporciji. Razlika u brzinama se kompenzuje klizanjem u kontaktu. Kod potpunog proklizavanja točak se obrće ali translatorna brzina je jednaka nuli ($r_k=0$).

2.1 Pneumatici za autobuse

Specifičnost primene određenih vrsta vozila zahteva i korišćenje određenih vrsta pneumatika. Proizvođači izrađuju različite pneumatike za jednotražna vozila, putnička vozila, laka teretna vozila, teretna vozila, autobuse, prikolice, specijalna vozila i poljoprivredne mašine.

Razvoj pneumatika za teretna vozila i autobuse pratio je razvoj vozila. Povećanje njihove pouzdanosti i ekonomičnosti u eksploataciji doprinelo je da preko 100 miliona ovih vozila postane najbitniji faktor u prevozu ljudi i tereta, često po bespućima i u svim klimatskim uslovima.

Danas se kod autobusa skoro isključivo koriste radijalni pneumatici sa čeličnim kordom. Ovi pneumatici imaju tri uloška u pojasu izrađena od čeličnih vlakana. Smanjen je profil pneumatika i povećana je njegova širina ($H/B=0,8$). Smanjenje profila pneumatika omogućilo je korišćenje naplataka većeg prečnika (22.5"). Veća elastičnost pneumatika radijalne konstrukcije doprinela je i boljem komforu putnika. Pneumatici za autobuse mogu biti sa i bez unutrašnje gume – zračnice. Prednosti pneumatika bez unutrašnje gume su bolje odvođenje toplote, manja težina i manja opasnost od eksplozije.

Karakteristike pneumatika treba da budu usklađene sa karakteristikama autobusa i njegovom namenom - uslovima eksploatacije. Prilikom izbora pneumatika za konkretno vozilo trebalo bi voditi računa o:

- maksimalnoj dozvoljenoj brzini;
- osovinskom opterećenju;
- položaju pneumatika na vozilu;
- karakteristikama puta i
- ekonomičnosti eksploatacije

Pri izboru moraju se praviti i određeni kompromisi, obzirom da su željena svojstva u dosta slučajeva u međusobnoj suprotnosti. Konačan izbor vrši se u skladu sa

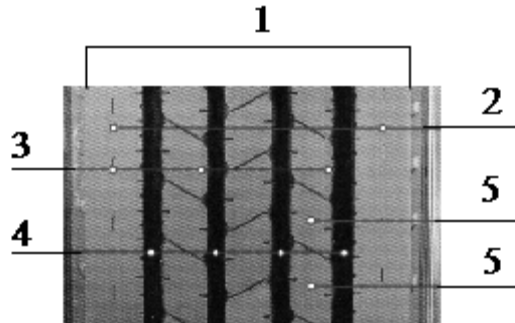
preporukama proizvođača vozila i pneumatika, odnosno iskustvima korisnika, kao i na osnovu praćenja sličnih ili istih pneumatika u eksploataciji.

Položaj pneumatika na vozilu definiše potrebnu unutrašnju strukturu i dezen pneumatika. Kod autobusa, sa gledišta uslova opterećenja pneumatika razlikujemo tri različite osovine: *upravljačku*, *pogonsku* i *slobodnu*. Za svaku od ovih osovina važno je obezbediti pneumatike odgovarajućih karakteristika.

Osnovno je pravilo pri montaži da pneumatici na istoj osovini moraju biti iste konstrukcije, istog desena i približno istog stepena istrošenosti. Takođe je važno da pneumatici na istoj osovini moraju biti i jednako napumpani. Nepoštovanje ovog pravila može imati ozbiljne posledice na vek pneumatika i bezbednost vožnje.

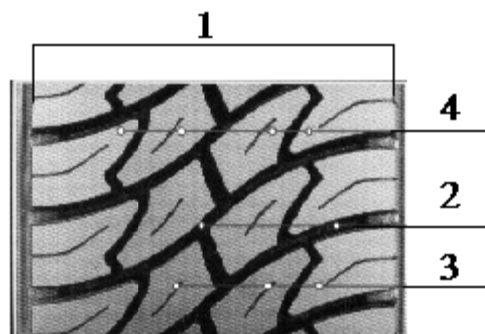
U pogledu desena pneumatika važno je odabrati takav desen koji će odgovarati opterećenjima kojima je pneumatik na odgovarajućoj osovini izložen. Pneumatici na upravljačkoj osovini moraju u vožnji da prenesu bočne sile (u krivinama) i sile kočenja. Zbog toga pneumatici namenjeni za montažu na ovu osovину imaju i odgovarajući desen.

Na donjoj slici (Slika 6) prikazan je primer desena pneumatika namenjenog za montažu na upravljačke osovine autobusa. Dug vek protektora garantuje velika aktivna površina kontakta (1). Desen ima četiri široka kanala (4) po obimu, koji obezbeđuju efikasno uklanjanje vode iz kontakta i dobro prijanjanje na vlažnim kolovozima. Tri centralna (5) i dva široka i kruta rebra (2) na ivicama obezbeđuju bočnu krutost, odnosno dobro "držanje" puta u krivinama. Zarezi (3) obezbeđuju veću elastičnost rebara, a asimetričnost nizak nivo buke.



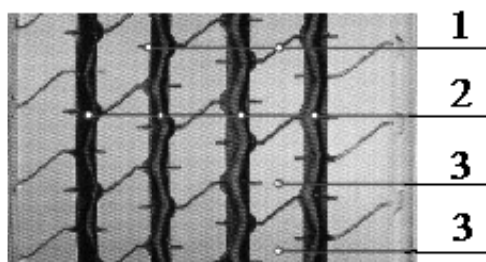
Slika 6. Dezen protektora za upravljačke osovine autobusa [13]

Pneumatici montirani na pogonsku osovину opterećeni su, osim bočnim i kočnim, i pogonskim silama. Posebno je važno napomenuti da su pneumatici na pogonskoj osovini, kod autobusa po pravilu i udvojeni.



Slika 7. Dezen protektora za pogonske osovine autobusa [13]

Na gornjoj slici (**Slika 7**) prikazano je jedno od mogućih rešenja desena pneumatika za udvojenu montažu na pogonske osovine autobusa namenjenih linijskom, odnosno "long distance" saobraćaju. Velika širina protektora (1) i dubina desena obezbeđuje dug vek protektora i dobar prenos pogonskih sila. Proizvođač navodi da je dobro prijanjanje u svim vremenskim uslovima (M+S) obezbeđeno širokim kanalima (2), posebnim oblikom istaknutih delova (blokova) protektora (3) i kosim zarezima na njima (4). Pneumatici sa ovakvim desenom se ne preporučuju za montažu na upravljačke osovine.



Slika 8. Dezen protektora pneumatika za sve osovine autobusa [13]

Pneumatik sa desenom, prikazan na gornjoj slici (Slika 8), namenjen je za montažu na sve osovine autobusa. Karakterišu ga plitki zarezovi (1) kojima se povećava elastičnost elemenata protektora - blokova i obezbeđuje dobro prijanjanje na suvim kolovozima. Nizak koeficijent otpora kotrljanju obezbeđen je sa četiri kanala po obimu (2) i asimetrično formiranim blokovima protektora koji su na slici označeni sa (3).

Pod pojmom karakteristike puta podrazumevaju se vrsta materijala od koga je habajući sloj puta izrađen (asfalt, beton, asfalt-beton, makadam, zemlja, pesak...), geometrija puta (usponi, padovi, krivine, broj traka...), stanje puta (pukotine, rupe, kolotrazi, bankine, drenaža, ...), kao i postojanje kontaminata (voda, sneg, led, blato ...).

Za tvrde kolovoze na raspolaganju imamo pneumatike sa letnjim i zimskim desinama. Aktivna površina kod letnjih pneumatika je veća nego kod zimskih, a kod zimskih veća nego kod terenskih. Prilikom donošenja odluke o izboru mora se voditi računa da zimski pneumatici nisu pogodni za eksploataciju u letnjim uslovima i obratno. Zimski pneumatik je na suvim kolovozima bučan, ima manje prijanjanje, veći otpor kotrljanju (veća potrošnja goriva), a njegov vek je u letnjim uslovima kraći.

U širem smislu pod karakteristikama puta podrazumevaju se i geometrijske karakteristike puta, radijusi krivina i podužni i bočni nagibi, koji su od velikog uticaja na nivo opterećenja pneumatika pri kretanju.

Prilikom izbora pneumatika je potrebno voditi računa o rastojanjima koje vozila prelaze pri obavljanju transportnih zadataka. Karakteristike uslova puta se mogu predstaviti preko nekoliko parametra:

- brzine kretanja,
- uzdužna i poprečna opterećenja pneumatika (sile i momenti na točku) na koja utiču gustina saobraćaja, usponi / padovi, krivine, poprečni profil puta, ruža vetrova ...,
- agresivnost podloge koja zavisi od vrste kolovoza - podloge, njenog stanja i postojanja nečistoće na putu (kamenje, šljunak, zemlja ...),
- rastojanja koje vozilo prelazi.

U skladu sa navedenim parametrima uslovi eksploatacije autobusa mogu se podeliti u nekoliko odvojenih grupa:

- Gradski i prigradski saobraćaj sa čestim zaustavljanjima, kretanjem kroz saobraćajnu gužvu;
- Međumesni saobraćaj, koji podrazumeva kretanje po autoputevima, ali i po putevima nižeg ranga i kroz gradove;
- Linijski saobraćaj, koji podrazumeva velika rastojanja, koja se prelaze velikim brzinama bez dužih zaustavljanja i to uglavnom po putevima odličnog kvaliteta (pre svega autoputevima).

Posebno bi trebalo izdvojiti uslove eksploatacije u kojima rade pneumatici gradskih i prigradskih autobusa. Celodnevni rad bez pauza, česta zaustavljanja, ubrzavanja i kočenja čine da su ovi pneumatici veoma opterećeni i to i mehanički i toplotno. Poseban problem predstavljaju rupe na ulicama, tramvajске šine i česti kontakti sa ivičnjacima.

U međumesnom saobraćaju rastojanja koja dnevno prelazi autobus, su obično kraća i brzine niže. Češća su ubrzavanja, usporavanja i skretanja tako da su pneumatici na ovim autobusima više opterećeni delovanjem podužnih i bočnih sila. Dodatno opterećenje predstavljaju i slabije održavani putevi, odnosno postojanje rupa i neravnina na kolovozu.

Linijski saobraćaj podrazumeva mala uzdužna i poprečna opterećenja pneumatika i dobar kolovoz sa malim otporom kotrljanja. Od ovih pneumatika se traži dobro prijanjanje na velikim brzinama, na suvim, ali i vlažnim i snežnim kolovozima. Velike brzine kretanja i duge relacije čine da su ovi pneumatici pre svega izloženi velikim toplotnim opterećenjima.

Na donjoj slici (Slika 9) prikazan su deseni pneumatika predviđenih za montažu na upravljačke osovine linijskih autobusa.



Slika 9. Dezeni protektora pneumatika za autobuse za linijski saobraćaj [15]

Na donjoj slici (Slika 10) prikazan je desen pneumatika namenjenog za montažu na međumesne autobuse.



Slika 10. Dezeni protektora pneumatika za autobuse za međumesni saobraćaj [15]

Na donjoj slici (Slika 11) dati su deseni pneumatika namenjenih za montažu na sve osovine gradskih i prigradskih autobusa. Ovi pneumatici bi trebalo da imaju ojačanja bočnica spoljnih guma i povećanu otpornosti na oštećenja, koja su česta u gradskim uslovima vožnje.



Slika 11. Dezeni protektora pneumatika za gradski i prigradski saobraćaj [15]

3. Stanje tehnologija u oblasti pneumatika

Danas je uobičajeno da se u automobile ugrađuju računari čiji je zadatak da vožnju učine bezbednijom, komfornijom i ekonomičnijom. Većina sistema na automobilu je već umrežena i povezana sa ovim računarom. Posredstvom davača računar dobija potrebne podatke obrađuje ih i šalje aktuatorima (izvršnim organima) odgovarajuće komande. Pneumatici još uvek nisu uključeni u ovu mrežu tako da je ponašanje pneumatika u pojedinim situacijama moguće samo proceniti. Postojeći sistemi aktivne bezbednosti (ABS, ASR, ...) ne mogu funkcionisati onoliko efikasno, kako bi u suštini mogli, jer nemaju dovoljno tačnih i pravovremenih informacija o ponašanju pneumatika. Svesni problema proizvođači pneumatika i vozila veoma intenzivno rade na tome da se i pneumatici umreže i tako i oni postanu "inteligentni". Na narednoj slici (Slika 12) je predstavljen redosled uvođenja inteligentnih sistema na pneumatike.



Slika 12. Redosled uvođenja inteligentnih sistema u pneumatike [16]

3.1 Identifikacija putem radio frekvencije

Prva na redu je elektronska oznaka spoljnih guma (RFID)¹. Nekomforno i zametno je proveriti osnovne podatke o spoljnoj gumi koja je već montirana na vozilo. Kada se radi o organizovanim voznim parkovima prva mogućnost je da sa sobom imamo kartoteku i da na osnovu internog broja utisnutog u bok spoljne gume nađemo odgovarajući karton sa podacima. Ovaj karton se inače otvara odmah nakon prijema spoljne gume u magacin, a podaci se u njemu ažuriraju uglavnom prilikom popisa ili otpisa. Ako kojim slučajem imamo računarsku bazu podataka o pneumaticima i mrežu to bi bilo nešto lakše, podaci bi bili brže na raspolaganju i "svežiji", ali takođe bi bilo zametno do njih doći.

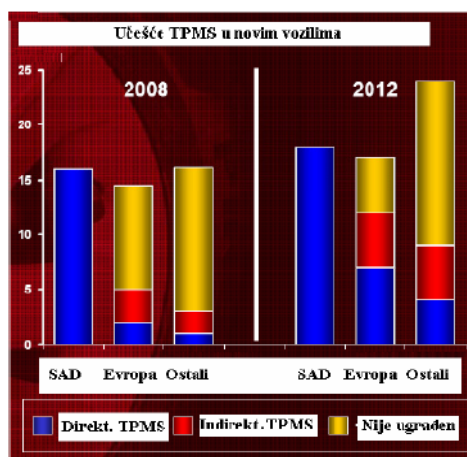
Odavno postoje pokušaji da se u spoljnu gumu ubaci elektronski čip koji bi sadržavao osnovne podatke (sve ono što se inače može pročitati sa boka spoljne gume) i koji bi se mogao dopunjavati. To je danas već i moguće. Unošenje podataka počinje još u fabrici i podaci se mogu stalno dopunjavati i menjati uz pomoć uređaja koji se inače koristi za očitavanje [2]. U Evropi za sada nema propisa u vezi primene ovih uređaja ali aktivnosti

¹ RFID - Radio frequency identification (Identifikacija putem radio frekvencije).

ima [32]. Proizvođač pneumatika Michelin snabdeo je u vreme Olimpijade 2012. godine autobuse u Londonu sa RFID verzijom svojih pneumatika [33]. U skoroj budućnosti svi pneumatici će imati RFID pasoše, iz kojih će onaj ko raspolaže odgovarajućim uređajem moći da sazna sve o njihovoj prošlosti, sadašnjosti i na osnovu toga preciznije odredi njihovu budućnost. To bi u slučaju pneumatika pojednostavilo postupke kontrole, održavanja, odabira za protektiranje, popisa, otpisa, i drugih aktivnosti.

3.2 Sistemi za praćenje pritiska i temperature vazduha u pneumatiku

U značajnom delu sveta već postoje propisi da sva nova putnička vozila koja se proizvode ili prodaju moraju imati i odgovarajuće uređaje za kontrolu pritiska i temperature vazduha u pneumaticima, kao i sisteme za upozorenje u kabini. Zvanična engleska skraćenica za ove uređaje je TPMS (Tire Pressure Monitoring System, odnosno na srpskom sistem za praćenje pritiska i temperature vazduha u pneumatiku) [36].



Slika 13. Učešće TPMS na novim vozilima [23]

TPMS uređaji se dele prema načinu delovanja na indirektni i direktne.

- **Indirektni sistemi** – koriste senzore za brzinu protiv blokirajućeg sistema za kočenje. Ovi senzori mere ugaonu brzinu svakog od točkova i na osnovu toga kompjuter sračunava poluprečnike kotrljanja koji se stavljaju u korelaciju, sa poluprečnikom kotrljanja, odnosno sa pritiskom vazduha u pneumatiku. Sistem pretpostavlja da manji izračunati poluprečnik kotrljanja na nekom od točkova trebalo da znači i niži pritisak u tom pneumaticu. Prevelike razlike u izračunatim poluprečnicima kotrljanja aktiviraju alarm u kabini vozača. Prednosti ovog sistema su u tome što su dodatni troškovi ugradnje mali ukoliko na vozilu već postoji ABS sistem. Mane ovih uređaja su brojne:
 - Ispravan rad sistema zahteva poništavanje trenutnog i unošenje novog stanja posle svakog pumpanja. Ukoliko uređaj nije dobro podešen, odnosno nisu uneseni tačni propisani pritisci, izračunavanja prečnika kotrljanja biće pogrešna i reagovanje sistema neblagovremeno;
 - Sadašnji indirektni sistemi reaguju različito za različite brzine kretanja i obično reaguju tek kada pritisak padne na 70% od propisanog;

- Pneumatici različitih proizvođača mogu imati različite elastične karakteristike i različite prečnike kotrljanja (za isto opterećenje i pritisak vazduha) što takođe može uticati na trenutak reagovanja sistema;
- Nedovoljan pritisak istovremeno na sva četiri točka (što je dosta čest slučaj) je, zbog načina rada uređaja, težak za otkrivanje.
- Ukoliko na vozilu ne postoji već ugrađen ABS sistem troškovi ugradnje indirektnog TPMS su značajno viši.
- Direktni sistemi – TPMS meri stvarni natpritisak i temperaturu vazduha u pneumaticima. Senzori mogu biti smešteni u najdubljem žljebu sa unutrašnje strane naplataka (kod tubeless pneumatika) ili integrisani sa ventilom pneumatika. Uređaj u kabini prima signale sa davača i poredi ih sa ranije unesenim graničnim vrednostima za pritisak i temperaturu. Ukoliko izmereni pritisak ili temperatura izlazi iz propisanih granica aktivira se zvučni i/ili svetlosni alarm u kabini vozača.

Prednosti ovih sistema su:

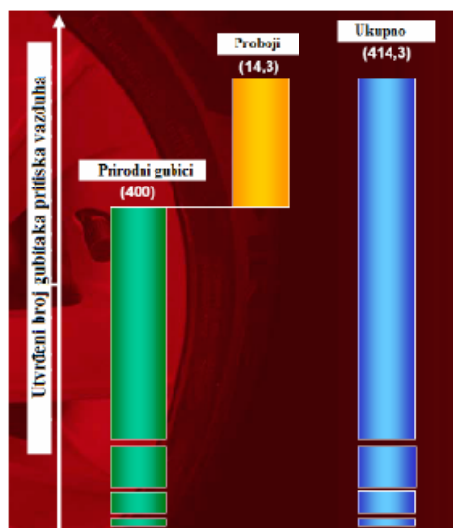
- Senzori su kalibrisani u fabrici i ne moraju se ponovo kalibrisati;
- Rade sa svim uobičajenim tipovima pneumatika;
- Mogu se koristiti i kao merači pritiska vazduha u pneumaticima ukoliko ga vozač ne poseduje;
- Alarmira vozača kada pritisak padne ispod propisane granice (koju vozač može i da menja) i indentifikuje točak na kome se to desilo.

Mana direktnih TPMS sistema su troškovi nabavke i ugradnje u nova i postojeća vozila.

Propisi u SAD i Evropi prednost daju direktnim sistemima tako da će ovde u daljem tekstu biti samo o njima reči. Komplet se sastoji od određenog broja senzora (koji zavisi od broja točkova na vozilu) i prijemnika koji se montira u kabini vozača.

Nije potrebno objašnjavati koliko postojanje jednog ovakvog uređaja može biti važno za bezbednu vožnju, pogotovu zbog toga što su pneumatici čest razlog za ostajanje vozila na putu. U najvećem broju slučajeva otkaz je posledica neodgovarajućeg pritiska vazduha u pneumaticu, obično nižeg od propisanog za opterećenje koje pneumatik nosi. Ugradnjom TPMS većina od ovih situacija mogu biti predupređene. Retki su slučajevi kada do potpunog gubitka vazduha dolazi trenutno ili u kratkom vremenu (oko 4% slučajeva). Uglavnom se to dešava postepeno. Vazduh curi kroz mikropukotine na unutrašnjoj gumi ili u unutrašnjem sloju kod tjubles (tubeless) pneumatika i proces može trajati od 60 sekundi do nekoliko meseci. Prema navodima proizvođača pritisak vazduha u inače potpuno ispravnom pneumaticu opada za 0,2 bar-a mesečno [28].

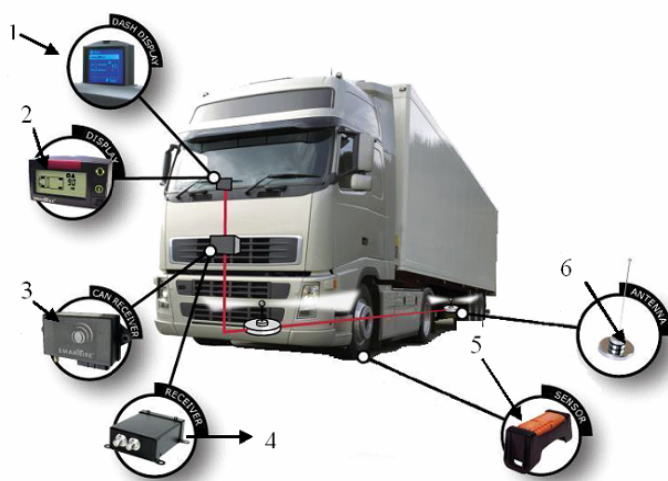
Na narednoj slici (Slika 14) su prikazani rezultati istraživanja datih u [23] na osnovu kojih su i date gornje tvrdnje.



Slika 14. Osnovni uzroci gubitka pritiska vazduha u pneumatiku [23]

Isti izvor navodi da je veoma važno da vreme odziva ovih uređaja bude što kraće da bi vozač bio što ranije upozoren. Ovakav uređaj je dragocen i kada imate *runflat* pneumatike s obzirom da i ne morate biti svesni trenutka kada je pneumatik probušen, a rastojanje koje možete preći sa ispumpanim pneumatikom je ipak ograničeno.

Na narednoj slici (Slika 15) prikazan je primer sistema za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima za teretna vozila.



Slika 15. Primer sistema za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima za teretna vozila [16]

Na svaki od točkova montira se odgovarajući senzor (5). Signal iz senzora se preko antena (6) prenosi do prijemnika (3 i 4) i na kraju na ekran u kabini vozača. Većina senzora mere nadpritisak i temperaturu vazduha u pneumaticima. U prijemniku se stvarni pritisak preračunava na standardne uslove (20°C) i poredi sa zadatom vrednošću.

U svetu danas postoji puno proizvođača uređaja za nadzor pritiska u pneumaticima. U Evropi proizvođači TPMS (Beru, Schrader, Samsung, itd) se uglavnom bave TPMS za

putnička vozila. Na razvoju TPMS za komercijalna vozila najviše se radi u firmi Michelin (u saradnji sa firmom Wabco).

Na tržištu se, između ostalih, mogu naći uređaji sa sensorima koji se montiraju na naplatak (Slika 16).



Slika 16. Uređaji koji se montiraju na naplatak [15]

Ovaj tip senzora se montira na dno naplatka uz pomoć čelične trake. Nude se senzori za putničke automobile, laka teretna i teška teretna vozila. Senzori za komercijalna vozila mogu imati spoljnu antenu radi bolje veze sa prijemnikom u kabini. Prilikom montaže/demontaže spoljne gume mora se voditi računa da se antena, senzor ili traka ne oštete. Rešenje prikazano na donjoj slici (Slika 17) je nešto komplikovanije, ali pruža bolju zaštitu od slučajnih oštećenja prilikom montaže ili demontaže.



Slika 17. Uređaj koji se montira na naplatak firme Tyron [15]

Drugu grupu čine uređaji koji se montiraju sa unutrašnje strane na ventil tubeless pneumatika (Slika 18).



Slika 18. Izgled senzora koji se montira na ventil [15]

Ovi senzori i ventili su specijalno razvijeni za montažu na točkove komercijalnih vozila. Senzor se montira na standardni ventil i ne ometa pumpanje i manuelnu kontrolu pritiska. Razlikujemo dva tipa ventila jedan je razvijen za čelične, a drugi za aluminijumske naplatke. Prednosti ovih senzora su u tome što su čvršći, imaju nizak profil i teže ih je oštetiti prilikom montaže/demontaže spoljne gume i to što nema potrebe za posebnom antenom jer sam ventil vrši funkciju antene.

Treću grupu čine TPMS koji se montiraju kao poklopci ventila. Oni predstavljaju jednostavno jeftino uradi sam rešenje koje se može koristiti za putnička i teretna vozila (Slika 19, Slika 20 i Slika 21).



Slika 19. Poklopci ventila - senzori za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima za putnička vozila [16]



Slika 20. Poklopci ventila - senzori za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima teretnih vozila [16]

Senzori su istovremeno poklopci – kapice ventila. Ukoliko želimo da dopumpamo pneumatik senzor se mora skinuti i nakon dopune ponovo vratiti i osigurati.



a) TC 8000™



b) K-PRESSURE Optic™ - Pirelli

Slika 21. Senzori pritiska vazduha u pneumaticima [16]

Na gornjoj slici (Slika 21a) su prikazani senzori i prijemni uređaj TC 8000™. Senzori su univerzalni i namenjeni su za pritiske od 1 bar do 10 bara. Za putnička vozila komplet čine 4 senzora, a za teretna 6 senzora. Prijemni uređaj se napaja strujom preko utičnice za upaljač u kabini vozila i ima ekran i zvučnik za oglašavanje u slučajevima kada pritisak vazduha u nekom od pneumatica padne ispod podesivog minimuma. Slika 21b prikazuje sistem koji nudi Pirelli. Senzori su jeftini i jednostavni za montažu. Kontrola se vrši obilaskom oko vozila. Ne mere pritisak već menjaju boju u zavisnosti da li je pritisak vazduha u redu (bela boja) ili nije (crvena boja). Prilikom kupovine mora da se

vodi računa o nominalnom pritisku vazduha u pneumatiku za određeno vozilo. Mana ovih senzora je što se moraju skidati pri pumpanju i što mogu biti meta znatiželjnika.

Na tržištu postoje i tehnička rešenja koja dozvoljavaju ručnu kontrolu ili dopumpavanje pneumatika bez skidanja senzora (Slika 22). To su takozvani „Flow Thru“ senzori čija demontaža je moguća samo uz upotrebu specijalnog alata.



Slika 22. „Flow –Thru“ senzori za spoljnu montažu [15]

3.3 Stabilni sistem za kontrolu pritiska vazduha i dubine dezena pneumatika

Na tržištu se danas mogu naći stabilni uređaji koji se postavljaju na ulazu/izlazu iz garaže i koji služe za kontrolu pritiska vazduha u pneumaticima vozila koja pored/preko njih prolaze. Postoje dva različita sistema. Za jedan je potrebno da točkovi budu opremljeni odgovarajućim sensorima koje stabilan uređaj očitava. Uređaj za očitavanje je sličan onima koji se inače ugrađuju u vozila samo što ima autonomno napajanje i to što ostavlja elektronski/pisani zapis merenja. Za sada, prema raspoloživim informacijama, ovakav sistem postoji u Gracu u njihovom gradskom saobraćajnom preduzeću.

Za funkcionisanje drugog savremenijeg uređaja senzori u točkovima nisu potrebni jer uređaj koristi drugačiji princip rada. Uređaj koristi posebno razvijenu senzorsku tehnologiju za analizu opterećenja, veličine i oblika kontakta. Ploče se postavljaju ispod površine poda u hali i očitavanje se vrši dok autobus prelazi preko senzorske ploče. Izmereni podaci se šalju u uređaj koji obrađuje podatke i prikazuje na monitoru (Slika 23).



a) Izgled senzorske ploče

b) Montirana platforma

c) Stub za očitavanje podataka

Slika 23. Izgled komponenta uređaja „Pneuscan ATM“ firme Ventech [15]

Podaci se očitavaju, obrađuju i prikazuju automatski i to u realnom vremenu. Operater ima brojne pokazatelje na ekranu i zeleno/crveni indikator (ispravno/neispravno). Sistem može raditi zajedno sa druge dve komponente ovog sistema sa „Pneuscan ID“ i „Pneuscan PRO“. Uređaj Pneuscan ID čita registraske tablice ili brojeve autobusa koji prelaze preko linije kontrole (Slika 24a).

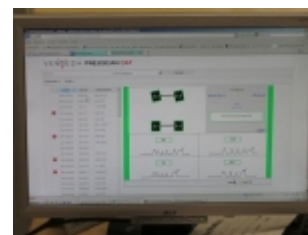
Zahvaljući laserskoj tehnologiji uređaj „Pneuscan PRO“ kontroliše dubinu dezena po celoj širini protektora i to automatski i u realnom vremenu. Podaci se prikazuju brojno na ekranu, a postoje i zeleni i crveni svetlosni indikatori (Slika 24b).



a) Uređaj za „očitanje“ registrarskih tablica „Pneuscan ID“



b) Uređaj za merenje dubine šare protektora autobusa „Pneuscan PRO“



c) Ekran programskog paketa „Pneuscan DAT“

Slika 24. Elementi uređaja „Pneuscan ATM“ firme Ventech [16]

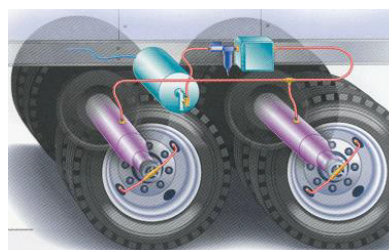
Na raspolaganju je i odgovarajući softver koji omogućuje analizu rezultata merenja za pneumatike autobusa koji se kontroliše ali i transfer izmerenih podataka u informacioni sistem firme (Slika 24c).

3.4 Sistemi za održavanje pritiska

Postoje dva osnovna tipa sistema za održavanje pritiska vazduha u pneumaticima. Prvi sistem za održavanje pritiska (pumpanje vazduha), koji se naziva centralni, koristi sabijeni vazduh iz rezervoara na vozilu, odnosno postojećeg pneumatskog sistema na vozilu. Drugi sistem ima posebno nezavisno snabdevanje sabijenim vazduhom. Za prenos sabijenog vazduha sa karoserije na točkove obično se koristi klizni zaptivni prsten (Slika 25).



a) Uređaj sa kliznim prstenom



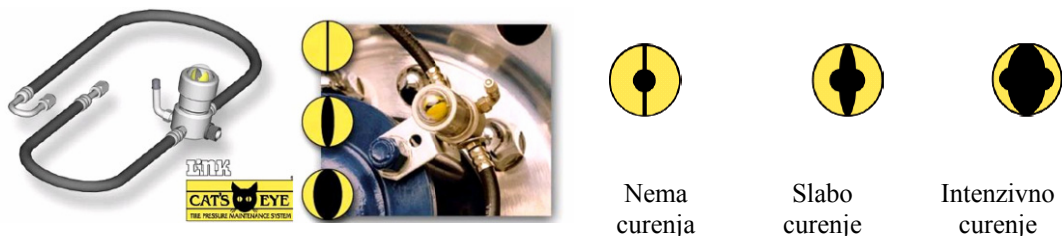
b) Uređaj sa šupljom osovinom

Slika 25. Primeri sistema za održavanje pritiska [50]

Drugo, mnogo jednostavnije rešenje predstavljaju izjednačivači pritiska vazduha koji su konstruisani tako da do neke granice održavaju ravnotežu pritiska u udvojenim pneumaticima. Na taj način se smanjuje zagrevanje pneumatika, snižava otpor kotrljanju

i izbegava neravnomerno trošenje protektora jednog od pneumatika. Prednost im je i u tome što se smanjuje broj mesta za kontrolu pritiska vazduha.

Na tržištu se mogu naći i uređaji koji ne mere već samo vizuelno ukazuju na to da li je pritisak vazduha u nekom od udvojenih pneumatika opao. Jedan od takvih uređaja je i „Cat’s Eye“ (Slika 26).



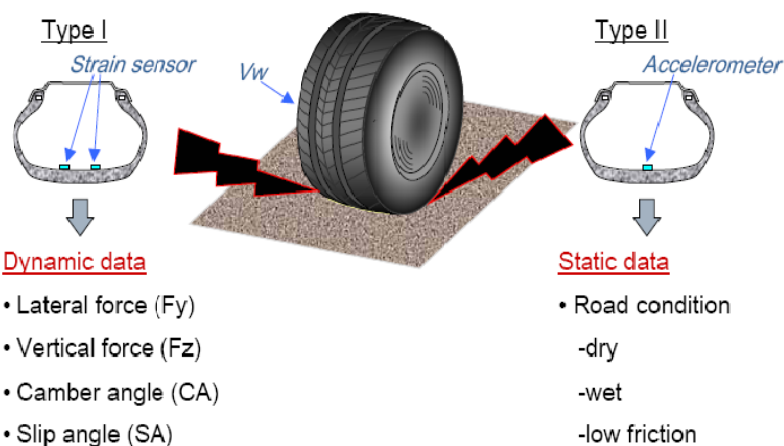
Slika 26. Uređaj za nadzor pritiska vazduha u pneumatiku „Cat’s Eye“ [50]

Uređaj prikazan na gornjoj slici (Slika 26) daje samo indikaciju da li pneumatik gubi vazduh, odnosno da li ima razmene vazduha između udvojenih pneumatika. Veza između pneumatika, a samim tim i razmena vazduha, se prekida kada pritisak padne za približno 1 bar ispod propisanog.

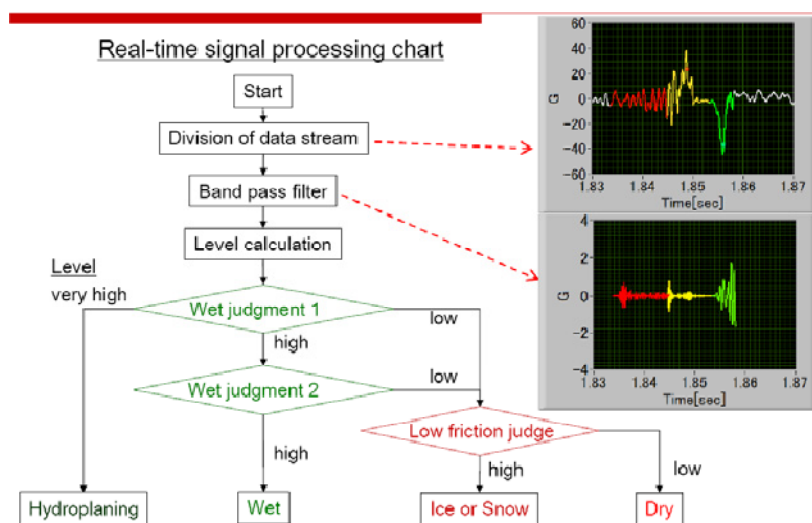
Uključivanje podataka koje pružaju TPMS (temperatura i pritisak vazduha u pneumatiku) ali i drugih podataka od pneumatika može puno uticati na kvalitet i pouzdanost rada ostalih sistema. U daljem razvoju se očekuje da će ugradnjom mernih traka i/ili davača ubrzanja u pneumatike računari u automobilu imati na raspolaganju tačne podatke o silama u kontaktu pneumatika i kolovoza, stanju podloge, ugla nagiba i ugla povodenja točka.

Contact Area Information Sensing (CAIS) technology

< contact area : contact patch and its circumference >



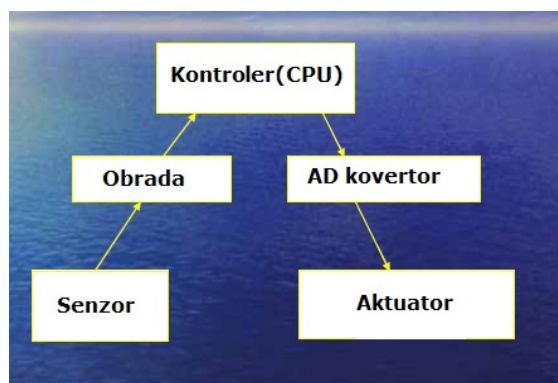
Slika 27. Mogućnosti merenja sila i ubrzanja u kontaktu pneumatika i kolovoza [44]



Slika 28. Algoritam obrade signala u realnom vremenu [44]

Kvalitetni podaci o pojavama u kontaktu pneumatika i kolovoza su važan preduslov i za automatizaciju saobraćaja na autoputevima. Računar u automobilu će uz korišćenje navedenih podataka moći u realnom vremenu da pravovremeno i precizno oceni stanje površine kolovoza, odnosno raspoloživo prijanjanje i da to upredi sa trenutnom situacijom u pogledu sila u kontaktu.

Ukoliko razgovarate sa hemičarima i tehnolozima oni bi vam rekli da su pneumatici, zahvaljujući novim materijalima "inteligentni" i bez primene računara. Ovi materijali su sposobni da ispune mnogo različitih funkcija i da se sami prilagode svoja svojstva (pod uticajem vlage, temperature, ...) uslovima eksploatacije [7, 50]. Važnu ulogu igraju i punila u pogledu modifikacije svojstava, olakšavanja reciklaže ili su biorazgradljivi. Puno se radi i na tome da se uključe i materijali kojima je moguće „upravljati“ i tako menjati njihova svojstva (Slika 29).



Slika 29. Upravljanje svojstvima materila ugrađenih u pneumatike

To će biti moguće korišćenjem piezo ili elektrostatičkih aktuatora, ali i onih koji su do skoro spadali u sferu naučne fantastike (jonske mešavine polimera i metala, akrilni dijalektrični elastomeri, polimer/gel poliektroliti, ...) [5].

3.5 Korišćenje azota za pumpanje pneumatika

Već nekoliko godina na našem tržištu postoji mogućnost da pneumatike punite azotom umesto vazduhom. Ideja da se za pumpanje koristi azot umesto vazduha već je ranije bila iskorišćena u točkovima vazduhoplova i trkačkih vozila. Uz to je išla i odgovarajuća reklama koja je azotu davala značajne prednosti u odnosu na vazduhom punjene pneumatike. Za razliku od većine reklama, koje nas svakodnevno zasipaju, ova o azotu odgovara istini. Istraživanja NHTSA [22] pokazala su da je na statičkim IPL [38] testovima azot pokazao značajnu prednost u odnosu na vazduh. Ukupni gubitak pritiska u pneumaticima punjenim azotom u toku tromesečnog testa bio je za 1/3 manji nego što je bio gubitak pritiska u pneumaticima punjenim vazduhom. Procenat kiseonika u pneumaticima, koji je pre ispitivanja bio 21% nakon ispitivanja je opao na svega 15%. Kod pneumatika u normalnoj eksploataciji, koji su redovno održavani, bili bez proboja i potpunog gubitka vazduha, izmereni procenat kiseonika je ispod 10%. Za to postoje dva moguća razloga. Prvi je da kiseonik brže „curi“ iz pneumatika zbog toga što je permeabilnost kiseonika veća nego azota, a drugi je oksidacija koja se javlja unutar pneumatika.

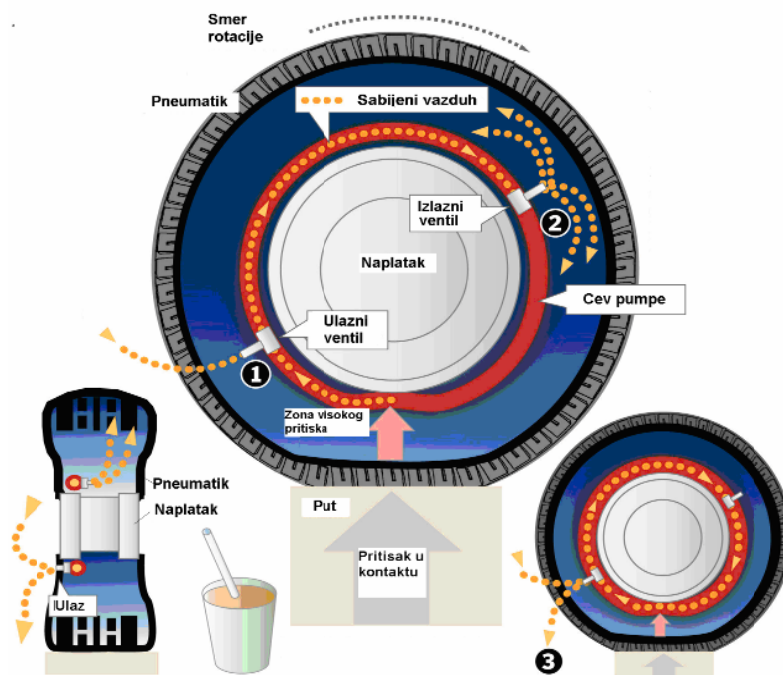
Dinamički testovi su takođe potvrdili prednost azota. Rezultati važe za sve pneumatike bez obzira na vrstu materijala i debljinu unutrašnjeg zaptivnog sloja. Važno je reći da punjenje azotom ne može biti zamena za redovne kontrole pritiska vazduha u pneumaticima. Istraživanjem nije utvrđen značajniji uticaj azota na otpor kotrljanja pneumatika.

Zaključak je da pneumatike punjene azotom treba ređe kontrolisati i dopunjavati. To je važno zbog održavanja performansi pneumatika (upravljivost, otpora kotrljanja, trajnosti ...). Takođe, smanjenje učešća kiseonika smanjuje opasnost od termo-oksidacije materijala od kojih je pneumatik izrađen što takođe ima pozitivnog efekta na trajnost.

3.6 Uređaji za samopumpanje pneumatika

Istraživači iz Goodyear-a su 2012. godine završili rad na uređaju „Air Maintenance Technology“² koji pomaže u smanjenju potrošnje goriva i emisija CO₂ dok istovremeno može pozitivno uticati na performanse vozila i ukida potrebu za spoljnom kontrolom pritiska vazduha u pneumaticima. Navedeni uređaj omogućava da pritisak vazduha u pneumaticima uvek bude u granicama od $\pm 5\%$ propisanog pritiska i radi bez korišćenja spoljnih kompresora i intervencija vozača. Uređaj se sastoji od dva ventila i cevčice postavljene po obodu pneumatika između bočnice i naplatka. Prečnik cevčice nije veći od prečnika slamčice za sok. Slika 30 prikazuje princip rada uređaja: Kada senzor ustanovi da je pritisak u pneumatiku niži od propisanog otvara se ulazni ventil (označen sa 1) i vazduh ulazi u cevčicu. Kako se pneumatik obrće deo cevčice, koji je u donjem položaju, biva stisnut sabijajući i potiskujući mehur vazduha. Na suprotnoj strani od ulaznog ventila (1) nalazi se ventil (2) koji pušta vazduh u unutrašnjost pneumatika, ali samo pod uslovom da je pritisak u pneumatiku niži od propisanog. Ukoliko nije, sabijeni vazduh ide dalje do otvora (1) i odatle u atmosferu.

² AMT (Air Maintenance Technology) – Tehnologija održavanja vazduha



Slika 30. Šema rada AMT uređaja [35]

Prednosti uređaja su što je jednostavan i što ne traži poseban izvor energije. Mane su mu što ubacuje spoljašnji vazduh bez prečišćavanja i što se mora ponovo podešavati za svaki novi pritisak vazduha. Radi se o patentiranom prototipu koji bi trebalo eventualno da uđe u prodaju u 2014. godini. Na donjoj slici (Slika 31) prikazane su fotografije poprečnog preseka pneumatika na kojoj se vide cevčica, ulazni i izlazni ventil.



Ulazni ventil (označen strelicom)



Izlazni ventil (označen strelicom)

Slika 31. Poprečni preseki pneumatika AMT sistemom [35]

Ulazni ventil liči na belo dugme, a izlazni na kockicu. Cevčica se lako uočava jer je crvene boje. Za sada je ovaj sistem predviđen za korišćenje samo na pneumaticima za putnička vozila. Sistem bi trebalo da bude u prodaji u 2014. godini i tada će se više znati o njegovim performansama i delokrugu korišćenja. Proširenje primene AMT uređaja na kamione i autobuse se tek očekuje i neće biti nimalo lak zadatak iz razloga što je pritisak u ovim pneumaticima znatno viši i zato što prelaze veće udaljenosti i prenose daleko teži tereti. Radni vek spoljnih guma za komercijalna vozila često se produžava

obnavljanjem protektora tako da bi AMT sistem morao biti osmišljen tako da radi i nakon protektiranja.

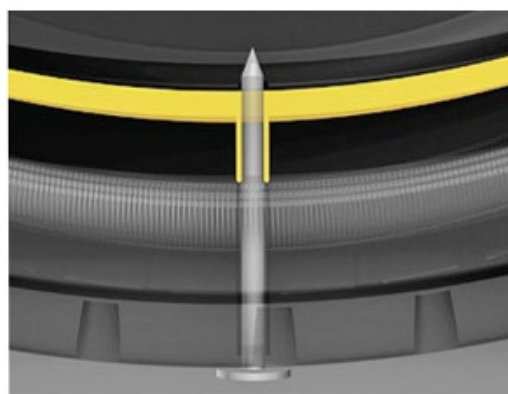
3.7 Tečnosti za zaptivanje

Zadnjih tridesetak godina na tržištu se nudi veliki broj različitih tečnosti na bazi gume koje se ubacuju kroz ventil u pneumatik. Zadatak ovih tečnosti je da u slučaju proboja protektora pneumatika, zahvaljujući delovanju centrifugalne sile, popune nastali otvor i u dodiru sa spoljnim vazduhom brzo polimerizuju i tako trajno spreče isticanje vazduha. Ograničenja primene ovih tečnosti su sledeća: točak se mora obrtati dovoljno brzo da bi tečnost delovala (zbog centrifugalne sile), otvor ne sme biti preveliki i zaptivanje nije efikasno ukoliko do proboja dođe na bočnici spoljne gume. Tečnosti za zaptivanje ne smeju biti agresivne prema gumi ili metalima od kojih se izrađuju naplatci. Ne smrzavaju se zimi i hlade pneumatik tokom leta. Proizvođači navode i da se lako odstranjuju pre popravke ili protektiranja pohabanih spoljnih guma. Proizvođači pneumatika ne preporučuju ali i ne zabranjuju korišćenje ovakvih tečnosti.

Napredak u ovoj oblasti napravio je pre nekoliko godina Goodyear koji je (u saradnji sa jednim od proizvođača zaptivnih tečnosti) napravio spoljne gume sa već ugrađenim slojem zaptivne tečnosti zarobljene između dva sloja gume (Slika 32, Slika 33).



Slika 32. Presek pneumatika sa zaptivnim slojem



Slika 33. Način funkcionisanja zaptivne tečnosti

4. Uticaj pneumatika na bezbednost i troškove eksploatacije vozila

Pneumatici igraju ključnu ulogu u bezbednost vozila i obično predstavljaju najveću stavku u troškovima održavanja vozničkih parkova. Vazduh pod pritiskom je osnovna noseća komponenta pneumatika i kod savremenih pneumatika prima i do 95% ukupnog spoljnog opterećenja, a ostalih 5% preuzimaju karkasa i protektor. Nedovoljno napumpani (ali i prepumpani) pneumatici gube svoje performanse i pouzdanost. To utiče na ukupne performanse vozila i povećanje verovatnoće da se saobraćajna nezgoda dogodi.

4.1 Uticaj pneumatika na bezbednost saobraćaja

Pneumatici su deo sistema (vozila) čija je funkcija prevoz ljudi i robe, bez izazivanja preteranog rizika od štete ili povrede. Postoje dve glavne oblasti u kojima otkazi pneumatika mogu uticati na bezbednost. To su potencijalne štete i/ili povrede povezane sa održavanjem pneumatika, odnosno montažom, demontažom, popravkama i otkaza pneumatika do kojih dolazi u toku vožnje, u tom slučaju je situacija u pogledu bezbednosti i posledica mnogo složenija i opasnija.

Nedvosmisleno je utvrđeno da pneumatici imaju veliki uticaj na ponašanje vozila pri upravljanju, pogonu i kočenju, kao i da pritisak vazduha i pohabanost pneumatika utiču na performanse vozila. [51] Nedovoljno napumpani ili preopterećeni pneumatici se preterano zagrevaju što za posledice ima: intenzivno i neravnomerno habanje protektora, zamor karkase i povećanu osetljivost na otkaze. Razloga za otkaze pneumatika ima dosta i mogu se podeliti u tri grupe:

- U prvu grupu spadaju otkazi koji su posledica gubitka vazduha iz pneumatika. Ovde spadaju proboji ali i otkazi usled dugotrajne vožnje sa neodgovarajućim pritiskom vazduha;
- U drugoj grupi su otkazi usled oštećenja bočnica koji mogu nastati zbog kontakta boka pneumatika sa ivičnjakom ili ivicom rupe ili (mnogo češće) zbog „zamora“ materijala bočnice do koga dolazi usled stalnih opterećenja i rasterećenja pri prolasku kroz kontakt. Zamor je intenzivniji u slučaju da je pneumatik nedovoljno napumpán ili preopterećen;
- Treću grupu čine katastrofalni otkazi pri kojima dolazi do separacije protektora ili pojasa. Ovi otkazi mogu biti posledica grešaka u proizvodnji ili protektiranju pneumatika, ali i dugotrajnih termo-mehaničkih preopterećenja pri eksploataciji nedovoljno napumpánih ili preopterećenih pneumatika. Separacija protektora može u značajnoj meri da ugrozi upravljivost vozila. Opasnost je manja u slučaju otkaza nekog od udvojenih pneumatika. U takvim situacijama iskusan vozač može da zadrži kontrolu nad vozilom. Međutim, ukoliko se radi o pneumatiku na upravljačkoj osovini vozač odmah i potpuno gubi kontrolu nad vozilom. Posledice su sletanje sa puta, prevrtanje, sudar sa drugim vozilom...

Postoji jasna i čvrsta veza između stanja pneumatika i pritiska vazduha u pneumatiku i nivoa bezbednosti. Problem je što tu vezu nije uvek lako kvantifikovati. Tome doprinosi i činjenica da se, prilikom uviđaja saobraćajnih nezgoda, tehnička neispravnost vozila veoma retko označava kao uticajni faktor u procesu nastanka nezgode. Ove nezgode čine manje od 0,4% od svih saobraćajnih nezgoda, koje su se dogodile u Srbiji između

2002. godine i 2011. godine [29]. Nešto veće je učešće „tehničkih“ uzroka u saobraćajnim nezgodama sa nastradalim licima (0,61%) i još veća u onim sa poginulim licima (0,8%). Sve je to daleko manje od stvarnog uticaja koji tehnička ispravnost vozila ima na verovatnoću da se nezgoda dogodi, težinu nezgode i posledice koje ima na ljude i imovinu. Pneumatici se u [29] čak i ne pominju kao uticajni faktor u procesu nastanka nezgode. Ukoliko bi se zadržali samo na zvaničnim statističkim podacima o saobraćajnim nezgodama to bi nas dovelo na pogrešan zaključak o (ne)važnosti vozila i pneumatika za bezbednost saobraćaja.

Činjenica je da pneumatici, prema zvaničnoj statistici nisu čest uzrok saobraćajnih nezgoda, ali predstavljaju najčešći razlog za prinudni prekid vožnje. Prema [24] oko 53% svih poziva službi za pomoć na putevima AAA (The American Automobile Association, Inc.) u 2001. godini odnosilo se na probušene pneumatike. Slični podaci su i iz 2002. godine kada je bilo 2,4 miliona poziva vozača koji su ostali na putu iz istog razloga. Broj otkaza je verovatno bio i veći ukoliko se u obzir uzme i činjenica da je značajan broj vozača sam rešio nastali „problem“.

Otkazi pneumatika su česta pojava i kod komercijalnih vozila. U donjoj tabeli (Tabela 3). su prikazani rezultati provere tehničkog stanja kamiona sprovedenih svojevremeno u SAD.

Tabela 3. Rezultati provera tehničkog stanja kamiona na tehničkom pregledu u SAD

Utvrđeni nedostaci	Broj kontrolisanih vozila	Procenat od ukupnog broja vozila
Kočnice	355.814	18,7%
Pneumatici	180.703	9,5%
Oslanjanje	79.948	4,2%
Upravljački sistem	40.214	2,1%
Ostali uočeni nedostaci	759.351	39,9%
Bez nedostataka	485.990	25,6%
Ukupno	1.902.020	100,0%

Analiza podataka iz gornje tabele pokazuje da je na prvom mestu, po broju utvrđenih neispravnosti sistem za kočenje sa 18,7%, a da drugo mesto drže pneumatici sa učešćem od 9,2%.

Prema rezultatima istraživanja sprovedenim u SAD pneumatici su, kod takozvanih „tehničkih nezgoda“ komecijalnih vozila, verovatan uzrok u 21% nezgoda

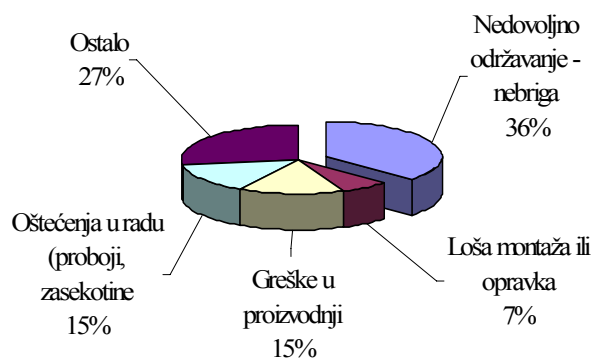
Tabela 4

Tabela 4. Utvrđeni uzroci „tehničkih“ nezgoda kamiona u SAD

Verovatni uzrok nezgode	Broj nezgoda 1998. godine	Od ukupnog broja nezgoda
Kočnice	3.574	36,8%
Pneumatici	2.037	20,9%
Upravljački sistem	538	5,5%
Pogonska grupa	384	4,0%
Točkovi	307	3,2%
Veza sa prikolicom/poluprikolicom	231	2,4%
Ostala svetla	77	0,8%
Ogledala	38	0,4%
Signalna svetla	38	0,4%
Oslanjanje	0	0
Ostalo	1.576	16,2%
Nepoznato	922	9,5%
Ukupno	9.722	100,0%

Iz gornje tabele se vidi da kao uticajni faktori u procesu nastanka nezgode ponovo dominiraju kočnice i pneumatici. Ovo je razumljivo s obzirom da je i prilikom tehničke kontrole kod ovih uređaja uočen najveći broj neispravnosti (Tabela 3).

Uzroci otkaza pneumatika u momentu pred nastanak sudara prikazani su na Slika 34 [19].



Slika 34. Uzroci otkaza pneumatika uzročnika nezgoda sa povređenim ili poginulim licima u Nemačkoj

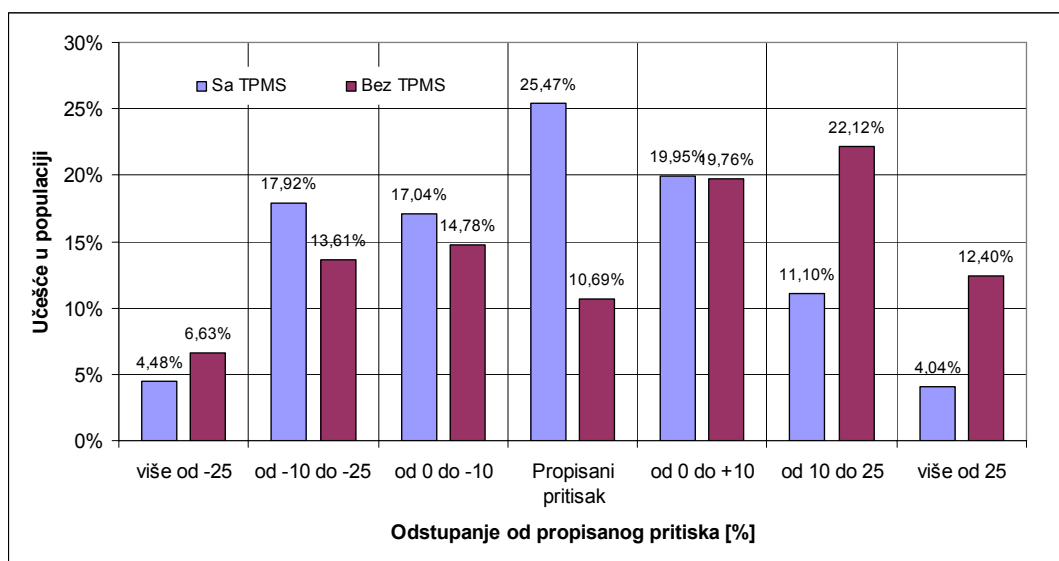
Sa slike (Slika 34) se vidi da je nebriga ili loše održavanje verovatni uzrok 43% otkaza pneumatika koji su za posledicu imali saobraćajnu nezgodu sa poginulim ili povređenim licima.

Istraživači iz SAD su u okviru studije [8] detaljno analizirali saobraćajne nezgode sa cele teritorije SAD u periodu 2005. – 2007. godine, i procenjivali, nezavisno od

zvanične komisije, da li su tehnički nedostaci ili otkazi pojedinih komponenata direktno ili posredno doprineli da se saobraćajna nezgoda dogodi [8]. Istraživanje je bilo fokusirano na laka vozila i moment pred sam sudar. Posebna pažnja je obraćena na događaje kao što su: eksplozije pneumatika, ispumpani pneumatici, nedostaci na spoljnoj gumi ili točku uključujući i degradaciju materijala od kojih je spoljna guma izrađena. Analizirani su pritisak u pneumaticima, dubina dezena pneumatika, konstrukcija vozila, iskustvo vozača, faktori puta i klimatski uslovi u trenutku saobraćajne nezgode.

4.1.1 Uticaj pritiska vazduha

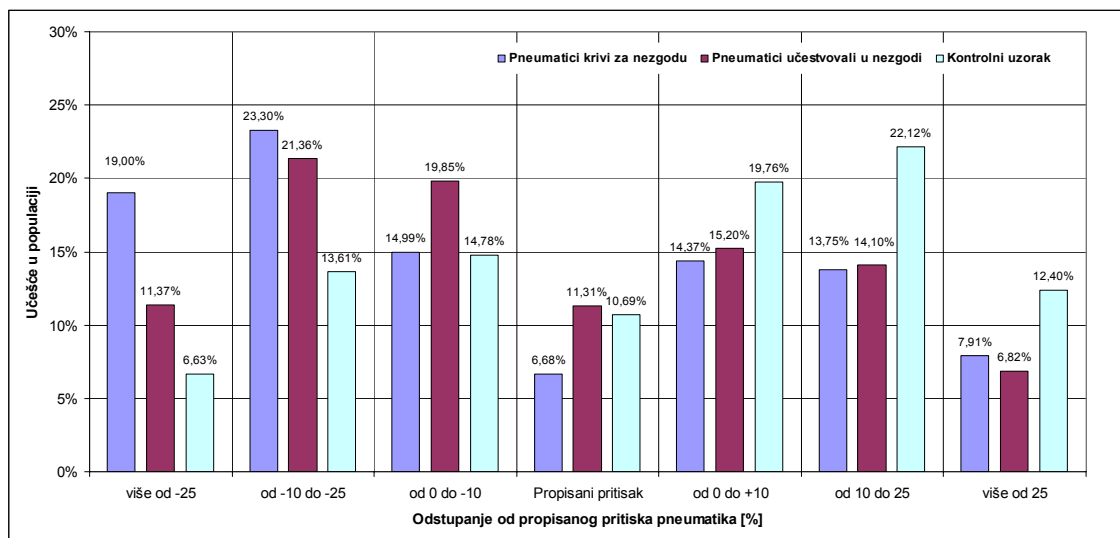
Nedovoljno napumpani pneumatici imaju velikog uticaja na bezbednost saobraćaja. Prema istraživanjima predstavljenim u [45] više od 28% kontrolisanih putničkih vozila imalo je pritisak za 0,5 bar niži ili viši od propisanog. U okviru studije [8] urađeno je obimno višegodišnje (u periodu 2005. – 2007. godina) istraživanje pritisaka vazduha u pneumaticima. U okviru analize prikupljenih rezultata upoređivane su izmerene vrednosti pritiska sa propisanim i na osnovu toga određivan status pritiska u pneumaticima. Definisana su tri različita statusa: korektan, nedovoljan i previsok. U okviru druge dve grupe definisane su i tri uže podgrupe, u zavisnosti od veličine odstupanja: od 0% do 10%, od 10% do 25% i više od 25%. Deo kontrolisanih vozila imao je ugrađen uređaj za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima (TPMS), a deo je bio bez njega. Dobijeni podaci o odstupanjima pritiska vazduha prikazani su na dijagramu (Slika 35).



Slika 35. Stanje pritiska vazduha u pneumaticima na kontrolisanim vozilima [8].

Iz gornjeg dijagrama (Slika 35) se vidi jasna razlika između statusa pritiska pneumaticima na vozilima sa i bez ugrađenog TPMS. Postojanje TPMS na vozilu značajno utiče da se odstupanja pritiska vazduha od propisane vrednosti smanje. Na ovim vozilima 62,45%, odnosno skoro 2/3 pneumatika ima pritisak vazduha u granicama $\pm 10\%$ od propisanog. Kod vozila bez TPMS situacija je bila značajno lošija jer manje od 50% pneumatika zadovoljavalo uslov da im je pritisak bio u granicama od $\pm 10\%$ od propisanog. Slično istraživanje je sprovedeno i na vozilima koja su

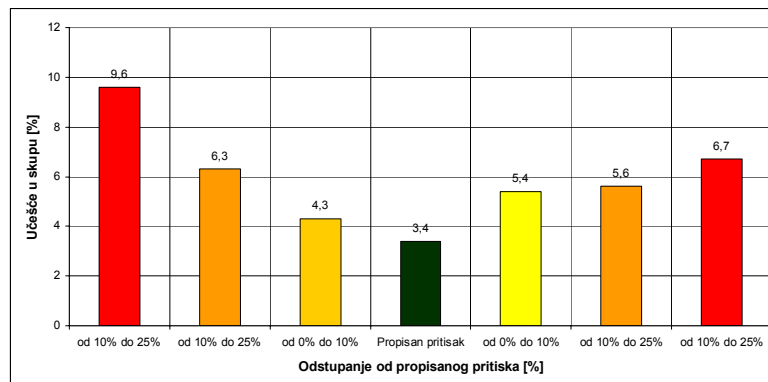
učestvovala u saobraćajnim nezgodama. Na donjoj slici (Slika 36) dato je uporedno stanje pritiska vazduha u pneumaticima na vozilima koja su učestvovala u saobraćajnim nezgodama i onim na kontrolisanim vozilima [8].



Slika 36. Uporedno stanje pritiska vazduha u pneumaticima na vozilima koja su učestvovala u saobraćajnim nezgodama i kontrolisanim vozilima [8]

Sa gornje slike (Slika 36) se vidi da je učešće pneumatika sa propisanim pritiskom približno jednako (11,31%, odnosno 10,69%) na vozilima koja su kontrolisana i onih koja su učestvovala u saobraćajnim nezgodama. Takođe, ukoliko se posmatraju odstupanja $\pm 10\%$ od propisanog pritiska vidi se da su razlike takođe male i čak je situacija malo povoljnija kod pneumatika koji su učestvovali u saobraćajnim nezgodama. Veće razlike (u korist kontrolisanih pneumatika) javljaju se tek kod odstupanja većih od 10% gde je učešće nedovoljno napumpanih pneumatika koji su učestvovali u saobraćajnim nezgodama za 62% veće od učešća kod kontrolisanih pneumatika. Obrnuto u grupi prepumpanih pneumatika ima više onih koji pripadaju kontrolnoj grupi. Međutim, ukoliko se pogledaju rezultati merenja pritiska vazduha u pneumaticima koji su označeni kao „krivci“ za nastanak nezgode dobija se drugačija slika.

Učešće propisno napumpanih pneumatika je bilo dvostruko niže nego u prethodna dva slučaja (6,68%), a učešće u druge dve kategorije je 36% (kod odstupanja manjih od 10%) i čak 42% u grupi nedovoljno napumpanih pneumatika kod kojih je razlika veća od 10%. Na donjoj slici (Slika 37) prikazano je učešće pojedinih kategorija pritiska vazduha u pneumaticima na vozilima kod kojih su kao uticajni faktor u procesu nastanka nezgode označeni pneumatici.



Slika 37. Procenat pneumatika u pojedinim kategorijama pritiska vazduha na vozilima kod kojih kao uticajni faktor u procesu nastanka nezgode bili označeni pneumatici [8]

Sa gornje slike se vidi da se od svih nedovoljno napumpanih pneumatika, kod kojih je izmereno odstupanje od propisanog pritiska bilo veće od 25%, 9,6% nalazi na vozilima, kod kojih je do saobraćajne nezgode došlo zbog problema sa pneumaticima. Taj procenat iznosi 6% u slučaju da je pritisak bio između 10% i 25% niži od propisanog, a samo 3,4% kod pneumatika sa propisanim pritiskom. Takođe, 7% prepumpanih pneumatika pripadaju vozilima kod kojih je do saobraćajne nezgode došlo zbog problema sa pneumaticima.

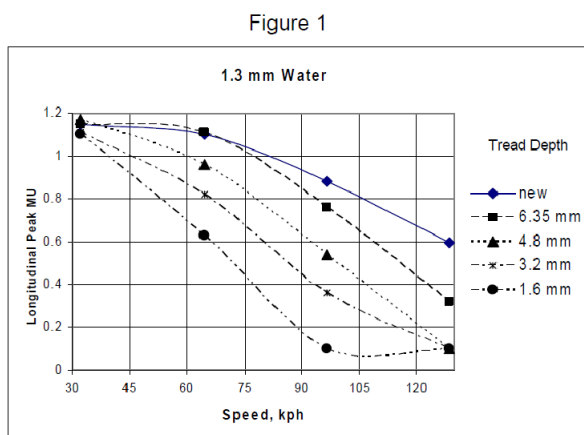
Sve gore navedeno navodi na zaključak da neodgovarajući pritisak vazduha u pneumaticima može biti značajan uticajni faktor u procesu nastanka nezgode.

4.1.2 Uticaj dubine dezena pneumatika

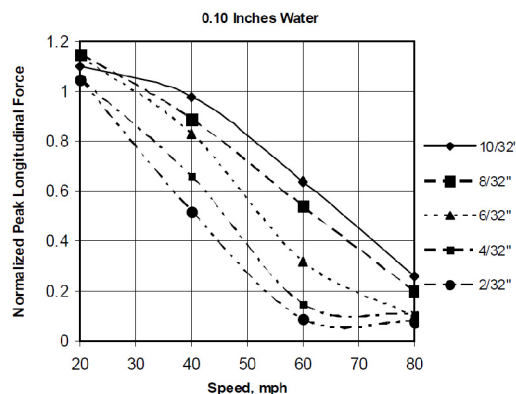
Neodgovarajući pritisak vazduha u pneumaticima u odnosu na opterećenje značajno skraćuje vek protektora jer prouzrokuje intenzivno i neravnomerno habanje dezena protektora. Pohabanost protektora nema značajnijeg uticaja na prijanjanje u kontaktu pneumatik - kolovoz na suvim i čistim kolovozima. Tu su od većeg značaja karakteristike površine kolovoza. Međutim, prijanjanje na mokrim kolovozima, pri kočenju i skretanju, osim dubine sloja vode, brzine vozila i teksture kolovoza, mnogo zavisi od dubine dezena protektora. Vozač, ima kontrolu nad brzinom kretanja vozila i delimično nad stanjem pneumatika, ali nema nikakvog uticaja na stanje kolovoza i uslove saobraćaja. To je posao službe koja se brine o organizaciji saobraćaja i održavanju puteva i koja propisuje maksimalne dozvoljene brzine na pojedinim deonicama, vodeći računa o stanju kolovoza i uslovima saobraćaja, ali i klimatskim uslovima. Minimalna dubine desena protektora propisana je zakonom u najvećem broju zemalja. U Srbiji je to 1,6 mm za putnička i laka teretna vozila i 2 mm za kamione i autobuse³. Mala dubina dezena protektora utiče na ponašanje pneumatika pri kočenju i skretanju najviše na mokrim kolovozima. Koeficijent prijanjanja se smanjuje na mokrim kolovozima. Donja granica smanjenja je pun hidroplaning kada sloj vode potpuno prekine kontakt između gume protektora i površine puta. Promena zavisi od nekoliko promenljivih, uključujući dubinu vode, dubine šare i brzine kretanja, dezena gazećeg sloja pneumatika, konstrukcije pneumatika, dimenzija i oblika kontakta (zavisi od pritiska vazduha u pneumaticima i opterećenja točka) i teksture kolovoza. Na donjoj

³ Pravilnik o podeli motornih i priključnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima

slici (Slika 38) dati su rezultati merenja objavljenih u [4, 5]. Merenja su obavljena na „flat-bed“ test mašini za pneumatike u firmi Calspan Corporation, Buffalo, New York 2008. i 2010. godine. Na slikama (Slika 38 i Slika 39) dati su rezultati merenja sa dubinom vode od 1,3 mm na veštačkoj podlozi 80 grit polycut Regalite (napravljenj u 3M).



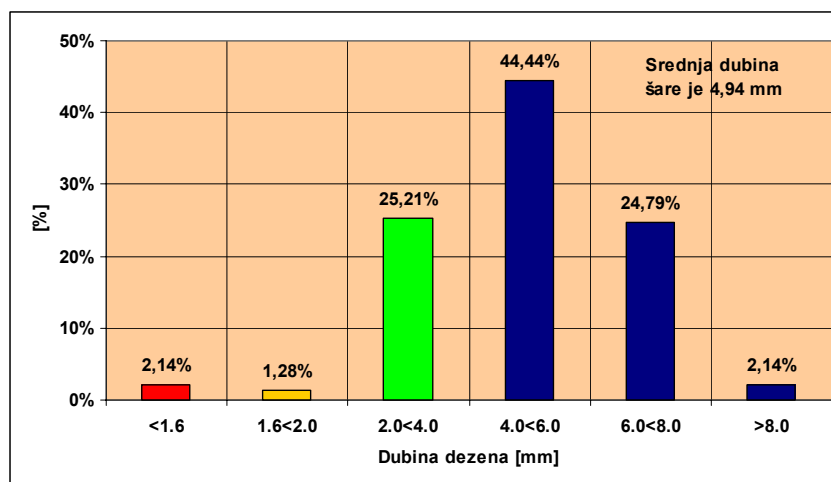
Slika 38. Uticaj dubine dezena na podužno prijanjanje – dubina vode 1,3 mm [4]



Slika 39. Uticaj dubine dezena na podužno prijanjanje – dubina vode 2,5 mm [5]

Sa gornjih slika se vidi da se podužno prijanjanje pri kočenju na mokrim kolovozima značajno menja sa promenom brzine kretanja. Pri malim brzinama razlike između novog i pohabanog protektora su minimalne, ali sa povećanjem brzine se povećavaju. Pri 95 km/h izmerena vrednost podužnog prijanjanja za novi dezen iznosi 0,9 (za 1,3 mm vode), odnosno 0,64 za 2,5 mm visine sloja vode, a za dezen dubine 1,6 mm (što je zakonska granica za putnička i laka teretna vozila) u oba slučaja podužno prijanjanje je zanemarljivo i iznosi oko 0,1.

U radu [18] su predstavljeni rezultati istraživanja stanja i karakteristika pneumatika koji se voze na putničkim vozilima u Srbiji. Istraživanja su sprovedena u Beogradu i Užicu 2009. i početkom 2010. godine. Prikupljeni su podaci o pohabanosti dezena, dimenzijama pneumatika i naplataka, starosti, marki, tipu više od 700 pneumatika. Osnovni zaključak istraživanja je bio da su kontrolisani pneumatici bili u relativno dobrom stanju i da je samo 2% pneumatika bilo ispod zakonskog minimuma od 1,6 mm (Slika 40). Izmerena srednja dubina dezena bila je oko 5 mm.



Slika 40: Dubina dezena na kontrolisanim pneumaticima [18]

Sa dijagrama se vidi da više od 70% pneumatika ima dubinu šare veću od 4 mm. To bi trebalo da garantuje dobro prijanjanje na vlažnim i snežnim kolovozima [4].

Iz prethodnog sledi zaključak da je sa gledišta bezbednosti saobraćaja, pogotovu kada se radi o prevozu putnika, održavanje propisanog pritiska vazduha od primarnog značaja. S obzirom da vozači tradicionalno izbegavaju svoje obaveze prema održavanju pneumatika proizvođači pneumatika i vozila izlaz iz ove situaciji su potražili u novim tehničkim rešenjima. Njihov zadatak bi bio da olakšaju „život“ vozačima i istovremeno i eliminišu (prorede) osnovni uzrok otkaza pneumatika i mogućih opasnih posledica, a to je (momentalni ili postepen) gubitak pritiska vazduha u pneumaticu. Jedno od takvih rešenja su uređaji za praćenje i kontrolu pritisak vazduha u pneumaticima (često korišćena skraćenica je TPMS). Uvođenje ovih sistema ne traži nikakve ozbiljnije prepravke na vozilima ali zahteva određena finansijska sredstva za njihovu nabavku, ugradnju i održavanje. U zadnjih nekoliko godina urađen je veliki broj istraživanja čiji je zadatak bio da utvrdi da li bi primena TPMS uređaja na komercijalnim vozilima, osim povećane bezbednosti, imala uticaja na povećanje ekonomičnosti eksploatacije.

Drugi važan faktor je dubina dezena protektor. Zakonski minimum od 1,6 mm ne garantuje ni minimum bezbednosti. Istraživanja pokazuju da pneumatici sa dubinom dezena manjom od 3 mm gube oko 50 odsto raspoloživog prijanjanja u uslovima mokrog kolovoza, čak i ako ne dođe do akvaplaninga [4, 5]. Zaključak je da se sadašnje (Zakonom propisane) minimalne dubine dezena protektora ne zasnivaju na realnim pokazateljima i da bi ih, iz razloga bezbednosti, trebalo povećati (udvostručiti).

4.2 Uticaj pneumatika na troškove eksploatacije

Vek pneumatika je ograničen vekom noseće strukture - karkase spoljne gume. Do konačnog otkaza karkase dolazi usled cikličnih naprezanja, odnosno zamora materijala od kojih je karkasa napravljena. Određeni broj pneumatika strada i ranije, usled oštećenja od čvrstih predmeta, rupa na kolovozu, nailaska na ivičnjak ili slično. Vek noseće strukture komercijalnih vozila je, u poslednjih nekoliko decenija, produžen na više stotina hiljada kilometara, a otpornost na proboje povećana upotrebom čeličnih

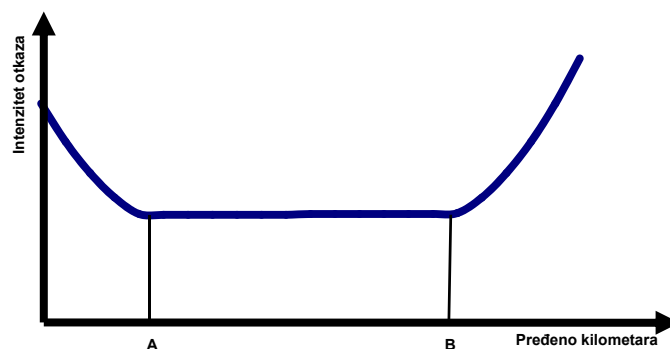
vlakana i novih mešavina gume i višestruko je duži od veka protektora. U velikim voznim parkovima je uobičajeno da se pohabani protektor zamenjuje novim (spoljna guma se protektira) i vraća u eksploataciju. Postupak se ponavlja sve dok stanje karkase ispunjava odgovarajuće UNECE propise [58, 59].

Isti pneumatik može imati različiti vek i performanse u različitim uslovima eksploatacije. To zavisi od velikog broja spoljnih i unutrašnjih faktora. Spoljni faktori, a to su oni na koje korisnik ne može značajnije uticati su put, atmosferski uslovi i do neke mere karakteristike vozila. Naime, korisnik prilikom kupovine bira vozilo koje će zadovoljiti njegove potrebe, odnosno bira vozilo za neku pretpostavljenu namenu. Kasnije tokom eksploatacije može ali veoma malo uticati na promenu performansi ili karakteristika jednom nabavljenog vozila. Unutrašnji faktori u potpunosti zavise od znanja, obučenosti i tehničke discipline vlasnika, odnosno vozača i kvaliteta službe održavanja.

Pneumatik se koristi sve do pojave otkaza. Otkazi se najčešće javljaju na spoljnoj gumi, mogu biti postepeni usled habanja gume protektora, zamora noseće strukture i/ili slučajni usled nasilnih oštećenja. Otkazi mogu se grupisati na po dužini korišćenja, odnosno pređenoj kilometraži. U skladu sa teorijom pouzdanosti definisane su tri grupe otkaza proizvoda (gde se podrazumevaju i pneumatici) [55]:

- U prvu grupu spadaju rani otkazi kao posledica „dečije bolesti“ proizvoda. Njihovi mogući uzroci mogu biti greške u materijalu, proizvodnji, montaži ili upotrebi proizvoda. Intenzitet ovih otkaza ima opadajući trend i uobičajeno ne zahvata više od 1% do 2% pneumatika. To uglavnom važi i za pneumatike gde se verovatnoća pojave ovih otkaza može smanjiti odgovarajućom završnom kontrolom.
- Druga vrsta otkaza ima zajednički pridev „slučajni“. Intenzitet otkaza je približno konstantan. Radi se otkazima koje nije moguće uvek predvideti, a posledica su spoljnih uticaja ili propusta u procedurama rukovanja i održavanja.
- Treća grupu čine otkazi istrošenja sa stalnim porastom intenziteta otkaza. To mogu biti otkazi zbog pohabanosti protektora ili otkazi usled zamora noseće strukture pneumatika.

Zavisnost promene intenziteta otkaza nekog proizvoda i protoka vremena, broja ciklusa ili pređenog broja kilometara ima oblik „kade“ na kojoj razlikujemo dve važne tačke. Prva tačka (A) , predstavlja granicu ranih otkaza i početka slučajanih otkaza. Druga tačka (B) predstavlja početak otkaza usled istrošenja ili zamora materijala (Slika 41).



Slika 41. Intenzitet otkaza u funkciji dužine rada pneumatika [55, 52]

Analiza otkaza pneumatika je složen problem. Tu se radi o mešavini različitih vidova otkaza, odnosno funkcija raspodele otkaza se sastoji od dve ili više različitih raspodela, za svaki od ranije spomenutih delova životnog ciklusa pneumatika. [52]

4.2.1 Mehanizmi habanja gume protektora

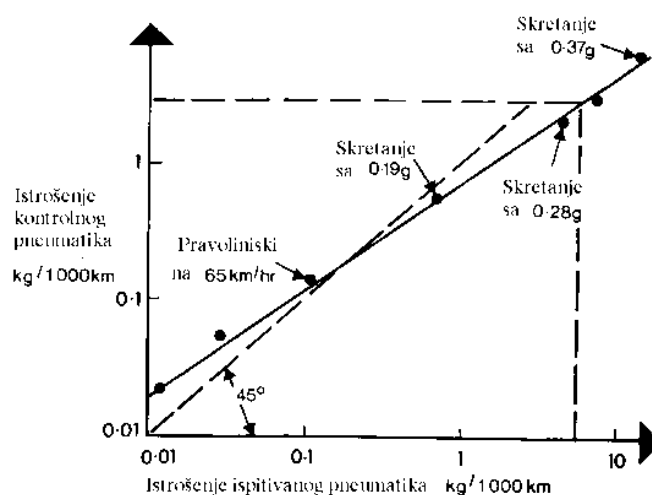
Zahvat između pneumatika i kolovoza omogućava prenošenje sila između vozila i kolovoza. Sile koje kontrolišu brzinu kretanja vozila generišu se u vozilu (pogonske ili kočne) i preko točkova prenose na kolovoz. Nasuprot tome sile kojima se kontroliše pravac kretanja generišu se u pneumatiku, pri zakretanju upravljačkih točkova, i prenose se sa pneumatika na vozilo. Pri prenošenju energije sa ili na vozilo dolazi do habanja protektora pneumatika.

Mehanizam i intenzitet habanja zavisi od više faktora. Bočne i podužne sile u kontaktu točkova koji se slobodno kotrljaju su relativno male. Pošto su sile male, klizanje u kontaktu je zanemarljivo i habanje točka koji se slobodno kotrlja je takođe malo. Ovde preovlađuje habanje usled zamora.

Habanje protektora se definiše kao akumulacija gubitaka gume protektora, kao posledice interakcije pneumatika i kolovoza u različitim eksploatacionim i atmosferskim uslovima. Habanje predstavlja jedan kompleksan fenomen koji ima važnost i sa ekonomskog i sa ekološkog stanovišta.

Osnovni uzrok habanja protektora pneumatika pri kočenju ili pogonu je klizanje u kontaktu. Put klizanja i veličina sile trenja u kontaktu zavise od elastičnih karakteristika karkase i vrednosti obrtnog momenta. Intenzitet habanja zavisi direktno od dužine puta klizanja, odnosno "puta habanja" kako ga još često zovu. Kod pogonskog točka mehanizam habanja je sličan, ali je intenzitet manji.

Na narednoj slici (Slika 42) prikazani su uporedno rezultati merenja habanja dva pneumatika za različite režime kotrljanja. Ovde nećemo komentarisati ponašanje ispitivanog pneumatika već nivoe habanja u zavisnosti od uslova ispitivanja.



Slika 42. Habanje protektora u funkciji vrste kretanja i veličine usporenja [13]

Sa slike se vidi da je intenzitet habanja protektora pneumatika najmanji pri slobodnom kotrljanju, a najveći kod oštih skretanja. Negde između ova dva ekstrema nalazi se habanje kod kočenja ili pogona. Na veličinu istrošenja gume protektora utiče veličina sile, odnosno nivo ostvarenog ubrzanja/usporenja.

Na ukupno ostvareni nivo habanja utiču učestane promene brzine kretanja i temperatura spoljne gume. Višim temperaturama odgovara i viši nivo habanja, a za isto spoljno opterećenje. Pravilno održavanje pneumatika, sistema za oslanjanje i sistema za upravljanje uslovi su za duži vek pneumatika i za njegovo ravnomerno istrošenje.

4.2.1.1 Uticaj hrapavosti kolovoza

Sve ovo što je do sada rečeno navodi na zaključak da je neravnost podloge osnovni uzrok habanja pneumatika. Abrazivno habanje je karakteristično za neravne hrapave podloge, habanje usled zamora javlja se na neravnim glatkim podlogama, dok se samo kohezivno habanje javlja na ravnim glatkim podlogama.

4.2.1.2 Uticaj uslova eksploatacije

Faktori koji utiču na vek pneumatika mogu se razvrstati u dve grupe. U prvu grupu spadaju oni na koje korisnik vozila ne može neposredno uticati kao što su: karakteristike vozila, karakteristike i stanje kolovoza. U drugu grupu faktora ulaze oni na koje korisnik može i treba da utiče, a to su: brzina, opterećenje vozila, tehnika vožnje, održavanje vozila i pneumatika.

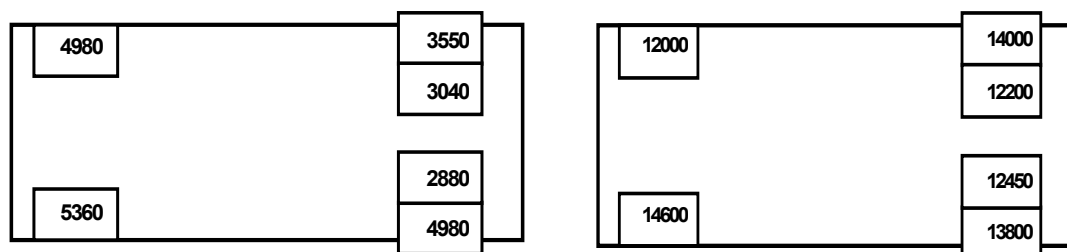
Povećanje brzine kretanja na suvim kolovozima direktno utiče na povećanje intenziteta habanja. Do toga dolazi usled povećanja krutosti gume protektora i smanjenja aktivne površine u kontaktu. Na vlažnim kolovozima na nižim brzinama pritisak koji guma protektora vrši na podlogu je dovoljan da istisne vodu iz kontakta. Na višim brzinama to nije uvek moguće i tada dolazi do pojave tzv „aquaplaninga“. Granična brzina zavisi od niza parametara, ali na prvom mestu od dubine dezena protektora.

Statičko vertikalno opterećenje točka zavisi od veličine i raspodele opterećenja vozila po osovina. Vertikalno opterećenje se u toku vožnje menja usled delovanja

inercijalnih sila (ubrzanje, kočenje, skretanje), nagiba puta i makro-neravnina na putu. Promena opterećenja utiče na promenu dimenzija kontakta i na ravnomernost raspodele sila u kontaktu. Kada je opterećenje manje od nominalnog više se troši srednji deo protektora. Ukoliko je opterećenje veće od nominalnog, usled nedovoljnog pritiska u pneumatiku, prenošenje sila preuzimaju obodni krući delovi protektora koji se i intenzivnije habaju. Središnji deo protektora u ekstremnim situacijama se može potpuno odvojiti od kontakta. Veća deformacija u kontaktu dovodi do većeg zagrevanja pneumatika. Ukoliko temperatura pređe kritičnu granicu dolazi do trajnih promena u karakteristikama gume protektora i njenog brzog propadanja. Slični problemi se javljaju ukoliko pritisak u pneumatiku ne odgovara stvarnom opterećenju. Posledice nižeg pritiska pumpanja su slične kao i kod preopterećenja točka, a prepumpnan točak se ponaša slično kao i manje opterećen točak. Na habanje pneumatika u velikoj meri se može uticati odgovarajućom tehnikom vožnje. Oštra kočenja ili usporavanja kao i nagle promene pravca značajno skraćuju vek pneumatika i povećavaju potrošnju goriva.

4.2.1.3 Uticaj položaja pneumatika na habanje

Na vek pneumatika velikog uticaja ima i položaj pneumatika na vozilu. Dezen i konstrukcija pneumatika mora biti prilagodjena nameni. Dezen protektora pneumatika za prednje osovine se obavezno sastoji od uzdužnih kanala što obezbeđuje dobro vođenje upravljačkih točkova. Pneumatici za pogonske osovine su obično sa rebrastim dezenom koji ima i uzdužne i poprečne kanale. Razlike u habanju se mogu pojaviti i zavisno od strane vozila na kojoj je pneumatik montiran i da li se radi o unutrašnjim ili spoljnim pneumaticima kod osovina sa udvojenim točkovima. Na donjoj slici (Slika 43a) dati su intenziteti habanja za teretno vozilo. Rezultati su uzeti iz projekta [41]. Prikazani intenziteti habanja spadaju u srednje (Tabela 5). Opitna staza se sastojala od autoputeva, magistralnih i lokalnih puteva sa većim usponima i padovima.



a) Pneumatici na kamionu [45];

b) Pneumatici na turističkom autobusu [61]

Slika 43. Intenziteti habanja pneumatika [km/mm]

Na gornjoj slici (Slika 43b) prikazani su rezultati praćenja intenziteta habanja pneumatika turističkih autobusa domaće firme koja održava linije do glavnih gradova zapadne Evrope [61]. Intenziteti habanja su znatno niži nego u prethodnom slučaju i više odgovaraju referentnim. U toku istih istraživanja praćeno je i habanje pneumatika autobusa u lokalnom saobraćaju, gde je utvrđeno mnogo intenzivnije prosečno habanje koje je iznosilo 3600 km/mm.

4.2.2 Vrste habanja

Razlikujemo nekoliko međusobno različitih mehanizma trošenja - habanja, koja zavise od karakteristika površine kolovoza [17, 9, 40, 42, 3]: abrazivno habanje, habanje usled zamora, koheziono habanje, korozivno habanje, devulkanizacija gume protektora.

Na veoma hrapavim podlogama, koje obezbeđuju visok koeficijent trenja, preovlađuje abrazivno habanje. Abrazivno habanje je intenzivnije pri naglim kočenjima, ubrzanjima, skretanjima ili ostrim manevrima. Oštre neravnine izazivaju visoke koncentracije pritiska u kontaktu i mehaničko vezivanje između vrhova neravnina i gume protektora. Posledice abrazivnog trenja na protektoru su brazde, slične tragovima klizanja točka po površini prekrivenoj sitnim lomljenim kamenom ili šljunkom. Intenzitet abrazije je veći na hrapavijim podlogama i kod "mekših" protektora.

Tokom kotrljanja ili klizanja guma protektora u kontaktu sa neravninama kolovoza doživljava ciklično opterećivanje i rasterećivanje. Ciklične promene opterećenja dovode do promene u svojstvima, odnosno zamora gume protektora, koji se manifestuje odvajanjem sitnih delića gume sa protektora. Habanje je jače kada je klizanje duže i kada je mikrotkтура izraženija. Na njegov intenzitet utiču i temperatura i sastav gume od koje je protektor izrađen (pre svega sadržaj čađi). Efekti zamora postaju vidljivi tek tokom duže eksploatacije. Oba prethodna mehanizma habanja podrazumevaju da je kontakt pneumatika i kolovoza manje ili više hrapav.

Na putevima postoji dosta deonica koje su ravne i glatke, ali i na njima dolazi do habanja protektora. Ova vrsta habanja se naziva koheziono habanje (neki autori ga nazivaju i adheziono) i posledica je raskidanja kohezionih veza u gumi protektora. Manifestuje se otpadanjem komadića gume i pojavom udubljenja na protektoru i to u slučajevima kada je realizovana adheziona sila veća od kohezione. Na veličinu ove vrste habanja utiče tvrdoća gume protektora. Manja tvrdoća podrazumeva veću deformaciju protektora bez pojave klizanja i veće koheziono habanje. Sa povećanjem tvrdoće povećavaju se efekti abrazivnog trošenja. Ukoliko guma protektora ima više od 75 SH (Šora) dominira habanje usled zamora. Kada protektor pneumatika dođe u kontakt sa agresivnim hemikalijama, koje su česte na našim putevima, parkinzima, ali i u servisima i garažama dolazi do pojave koja se naziva koroziono habanje. Do devulkanizacije gume protektora dolazi usled lokalnog pregrevanja i stvaranja plikova na površini protektora. Ovo se najčešće događa kod blokiranih točkova na površinama sa niskim prijanjanjem. U ekstremnim slučajevima guma se odvaja od protektora i ostavlja uočljive tragove na kolovozu. Mešavine gume izrađene od sintetičkog kaučuka otpornije su na ovu vrstu habanja nego gume izrađene od prirodnog kaučuka.

4.2.2.1 Merenje habanja pneumatika

Gubitak gume ili habanje može se meriti kao gubitak mase, ili kao promena zapremine, odnosno dimenzija materijala u kontaktu. Osnovni problem klasičnih načina merenja habanja je dugačko vreme između dva merenja, jer smanjenje debljine gume protektora iznosi od 0,10 mm do 0,25 mm na hiljadu kilometara. Promena debljine gume protektora se meri dubinomerom (odgovarajuće preciznosti) na više unapred definisanih mesta po obimu pneumatika. Radi poređenja intenzitet habanja se može podeliti na nekoliko grupa od onog najmanjeg – sporog do najintenzivnijeg – katastrofalnog (Tabela 5).

Tabela 5. Klasifikacija intenziteta istrošenja-habanja pneumatika

Intenzitet habanja	Mera habanja l [km/mm dubine]
1. Sporo	$l > 5000$
2. Srednje	$5000 > l > 2500$
3. Intenzivno	$2500 > l > 1250$
4. Katastrofalno	$1250 > l$

Ukoliko se koristi metoda promene mase potrebno je pre svakog merenja skinuti točak sa vozila, oprati ga i tek onda mu izmeriti težinu. Postoje i radioaktivni postupci merenja intenziteta habanja pneumatika. Priprema se sastoji u impregniranju gume protektora radioaktivnim rastvorom ili ubacivanjem radioaktivnih izotopa u mešavinu za pravljenje gume protektora. Prvi metod daje dobre rezultate, jer omogućava merenje gubitka mase gume sa tačnošću od 10^{-9} grama. Merenjem radioaktivnosti tragova kočenja na kolovozu neposredno nakon kočenja moguće je proceniti habanje protektora pri jednom kočenju. Drugi način je manje precizan, ali daje dobre informacije o zonama povećanog habanja.

4.2.3 Habanje karkase

Proces zamora materijala karkase je spor i progresivan i intenzitet zavisi od svojstava gume, radnih temperatura i vrste opterećivanja. Eventualna mehanička oštećenja pneumatika (zasekotine ili proboji) mogu ubrzati ovaj proces ili dovesti do trenutnog otkaza pneumatika. Za prevoznike je posebno važno da iznenadnih otkaza u toku vožnje bude što manje. Uobičajeni razlozi za ovu vrstu otkaza su: preterani ugibi (zbog preopterećenja ili nedovoljnog pritisak vazduha u pneumaticima), prodor vazduha pod pritiskom u strukturu pneumatika i njegovo raslojavanje, proboji i zasekotine, loša popravka i loš kolovoz [6]. Otkazi u nosećoj strukturi spoljne gume pneumatika mogu se, prema uzrocima nastanka, podeliti na otkaze usled mehaničkih oštećenja i one usled termomehaničkih oštećenja [12]. U narednoj tabeli (Tabela 6) data je lista otkaza usled mehaničkih oštećenja. Kod gradskih autobusa i prigradskih autobusa najčešća su oštećenja bočnice ili mehanička oštećenja drugih delova pneumatika. Ostala oštećenja koja se javljaju su oštećenja stope i dotrajalost.

Tabela 6. Lista otkaza noseće strukture spoljne gume pneumatika usled mehaničkih oštećenja [12]

Mehanička oštećenja	
1	Odvojen falc
2	Isečena naplatkom
3	Dotrajala
4	Bok oštećen
5	Mehanički oštećena
6	Nedostaje parče protektora
7	Probušena

Nije uvek jednostavno razdvojiti mehaničke otkaze od onih koji su posledica kombinovanog delovanja mehaničkih uzroka i toplote, odnosno temperature. Sa porastom temperature noseće strukture opadaju mehanička svojstva noseće strukture, raste pritisak vazduha u pneumatiku (koji se takođe greje) što dodatno povećava naprezanja u strukturi pneumatika. Kada temperatura, na duže vreme pređe određenu granicu, promene svojstava gume ostaju trajne.

Tabela 7. Lista otkaza noseće strukture spoljne gume pneumatika usled termomehaničkih oštećenja [12]

Termomehanička oštećenja	
1	Izgoreo falc – stopa spoljne gume
2	Eksplodirao pneumatik
3	Odlepljen protektor spoljne gume
4	Pregrevanje zbog kočnica
5	Eksplozija zbog pregrevanja
6	Nagorela guma stope

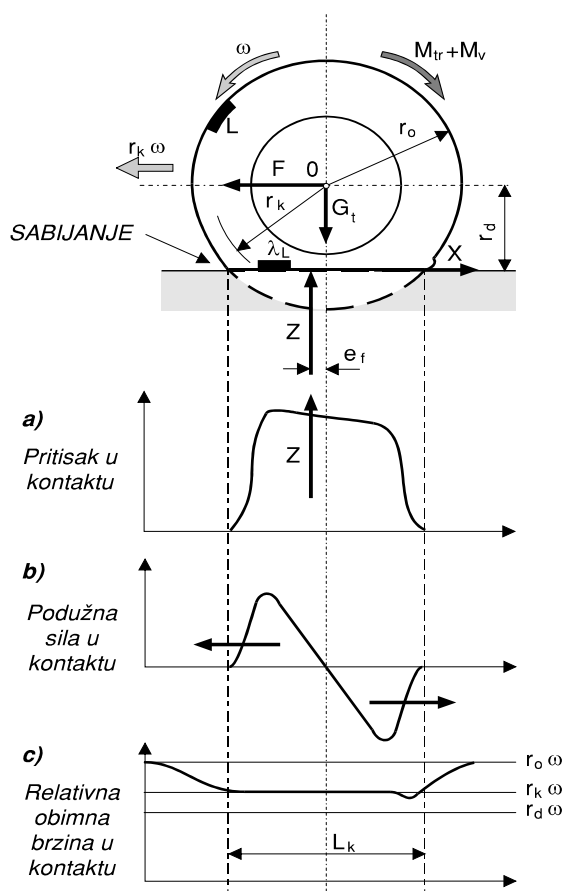
Kombinovano delovanje mehaničkih i toplotnih naprezanja može dovesti do eksplozije pneumatika što se najčešće i događa kada se posmatraju izdvojeno termomehanički otkazi. Drugi po učestanosti su slučajevi kada zbog previsoke temperature „izgori“ guma stope pneumatika, a „glavni krivac“ je sistem za kočenje [6]. Ostali otkazi su relativno retki.

Značajan broj svih otkaza pneumatika (12%) događa na putu [12]. Istraživanja su pokazala su primarni uzroci otkaza uslovi saobraćaja, preopterećenje vozila i nepoštovanje pravila održavanja pneumatika [12], a ne, kao što se obično misli čvrsti oštri predmeta na kolovozu (staklo, metalna ambalaža, zavrtnji...) koji oštećuju pneumatik.

4.2.4 Uticaj pritiska vazduha u pneumatiku na potrošnju goriva

4.2.4.1 Otpor kotrljanja

Osnovni uzrok trošenja energije pri slobodnom kotrljanju točka je histerezis, odnosno unutrašnje trenje u karkasi (gumi i kordu). Histerezis je glavni uzrok koji sa oko 90% - 95% učestvuje u ukupnom trošenju energije. Klizanje u kontaktu i aerodinamički otpori su od manjeg uticaja. Klizanje u kontaktu učestvuje sa 5 do 10% ukupnih gubitaka pri kotrljanju, dok učešće otpora vazduha ne prelazi 4%. Na donjoj slici (Slika 44) prikazana je raspodela normalnog pritiska u kontaktu, podužne sile, obimne brzine i brzine u kontaktu vođenog točka. Pri ulasku u kontakt dužina elementa protektora (na slici označena sa L) se sabija na dužinu λL (gde je $\lambda < 1$).



Slika 44. Raspodela pritiska, tangencijalnih napona i obimne brzine u kontaktu vođenog točka [43]

Raspodela pritiska po dužini kontakta nije simetrična i vertikalna reakcija u kontaktu Z je pomerena u pravcu kretanja u odnosu na vertikalnu osu točka za određenu vrednost e_f . Otpor kotrljanja i koeficijent otpora kotrljanja zavise od vrednosti e_f i intenziteta vertikalne reakcije i to na sledeći način:

$$R_f = G_t \frac{e_f}{r_d}, \quad \text{odnosno} \quad f = \frac{e_f}{r_d}$$

gde je: R_f - otpor kotrljanja; f - koeficijent otpora kotrljanja; e_f – normalno rastojanje vertikalne reakcije točka Z od ose točka (

Slika 44); G_f - vertikalno opterećenje točka; r_d - dinamički poluprečnik točka, definisan kao vertikalno rastojanje ose točka (koji se slobodno kotrlja) od površine kolovoza.

Otpor kotrljanju točka određuje se eksperimentalno i njegova vrednost zavisi od čitavog niza činilaca, kao što su: tip i konstrukcije pneumatika, brzina vozila, tip i sastav kolovoza, vertikalno opterećenje i pritisak vazduha u pneumatiku, veličina obrtnog momenta na točku.

Postoje empirijske formule preko kojih se može izraziti zavisnost koeficijenta otpora kotrljanja, na nekoj vrsti kolovoza, od brzine kotrljanja točka:

$$f = f_0 \cdot [1 + k \cdot (v - 50)] \quad \text{ili} \quad f = f_0 + k_v \cdot v^2$$

gde je: f_0 - tabelarna vrednost koeficijenta otpora kotrljanja (Tabela 8); v - brzina kretanja vozila (km/h); k - koeficijent (0,0065 h/km); k_v - koeficijent ($0,5 \times 10^{-6} \text{ h}^2/\text{km}^2$).

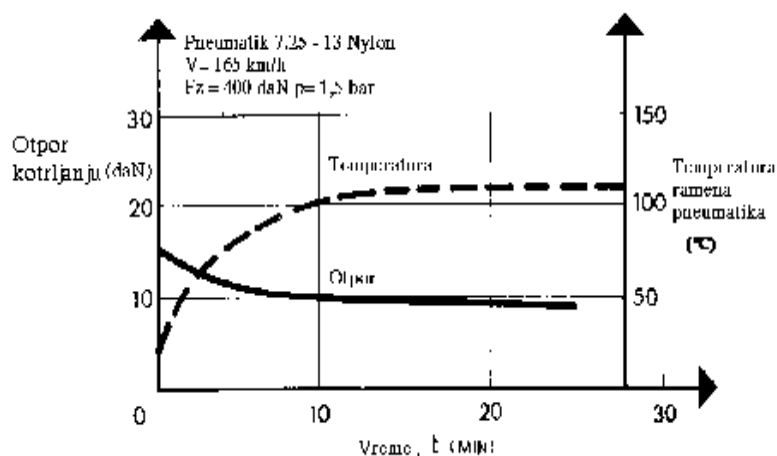
Porast koeficijenta otpora kotrljanja sa povećanjem brzine kretanja objašnjava se povećavanjem broja ciklusa deformisanja pneumatika u jedinici vremena i nedostatkom vremena da se materijal pneumatika u potpunosti regeneriše – rastereti između dva prolaska kroz kontakt. Otpor kotrljanja pneumatika bez desena na suvim kolovozima je niži nego kod pneumatika sa desenom.

Koeficijent otpora kotrljanja se razlikuje od podloge do podloge. Otpor kotrljanja je veći na hrapavim i neravnim kolovozima. U narednoj tabeli su date vrednosti ovog koeficijenta za različite vrste i različita stanja kolovoza.

Tabela 8. Koeficijenti otpora kotrljanja na različitim kolovozima [13]

Vrsta i stanje površine kolovoza	f_0 - koeficijent otpora kotrljanja
Dobar beton	0,010 – 0,018
Loš beton	0,015 - 0,020
Dobar asfalt	0,010 - 0,012
Loš asfalt	0,016 - 0,023
Dobar makadam	0,010 - 0,023
Loš makadam	0,018 - 0,035

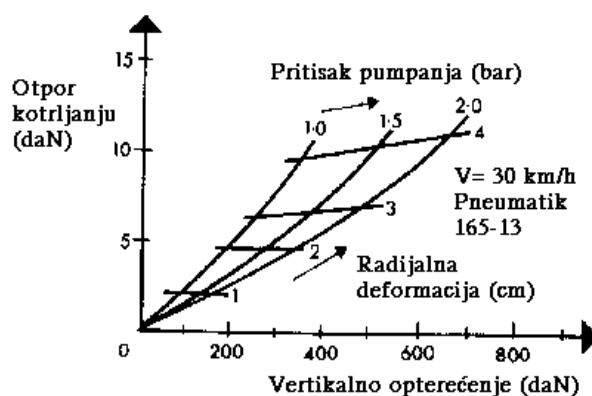
Brzina kretanja utiče i na zagrevanje pneumatika. Otpor kotrljanja opada sa povećanjem temperature u materijalu pneumatika. Na donjoj slici (Slika 45) prikazana je zavisnost otpora kotrljanja od temperature pneumatika. Kao mera zagrevanja pneumatika uzima se temperatura ramena spoljne gume.



Slika 45. Uticaj vremena rada na otpor kotrljanja i temperaturu pneumatika [13]

Posle nekog vremena rada temperatura i otpor kotrljanja se stabilizuju. Preterano visoke temperature izazivaju privremene ili trajne promene u gumi, od koje je pneumatik prevashodno izrađen. Na temperaturama iznad 200°C dolazi do devulkanizacije gume i raslojavanja strukture pneumatika.

Veća deformacija pneumatika u kontaktu znači i veći otpor kotrljanja i obrnuto. Na donjoj slici (Slika 46) data je zavisnost otpora kotrljanja od radijalne deformacije u kontaktu za različita vertikalna opterećenja i različite pritiske vazduha u pneumatiku.



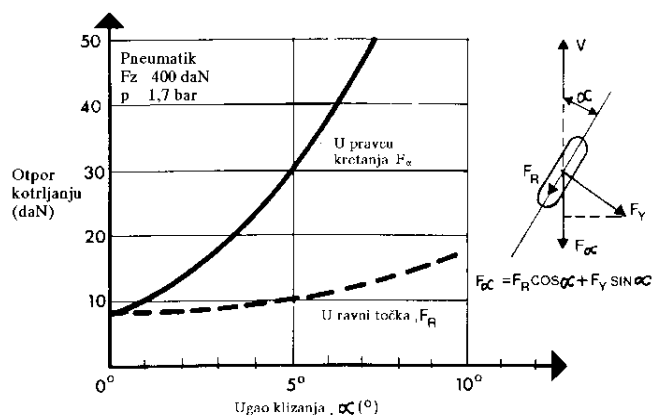
Slika 46. Promena otpora kotrljanja u funkciji pritiska pumpanja i opterećenja [13]

Sa slike se vidi da su linije konstantne radijalne deformacije približno horizontalne. Ovo znači da se otpor kotrljanja ne menja značajno za propisane parove normalnih opterećenja i pritisaka pumpanja.

Prilikom skretanja sila otpora kotrljanja F_{α} je pod uglom α u odnosu na osu točka. Veličina otpora kotrljanja zavisi od veličine otpora kotrljanja u ravni točka (F_R), ugla klizanja (α) i bočne sile (F_y):

$$F_{\alpha} = F_R \cdot \cos\alpha + F_y \cdot \sin\alpha.$$

Sa povećanjem ugla klizanja raste bočna sila i otpor kotrljanja (Slika 47).

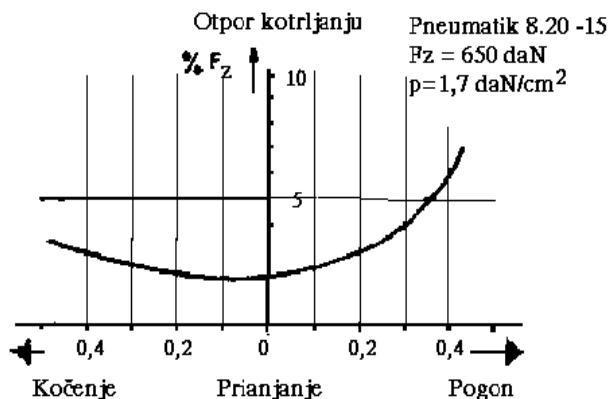


Slika 47. Uticaj ugla klizanja na otpor kotrljanja [13]

U nekim situacijama otpor kotrljanja može biti predstavljen kao snaga koju pneumatik troši pri kotrljanju (P). U tom slučaju se koeficijent otpora kotrljanja može izračunati na sledeći način:

$$f = \frac{P}{G_t \cdot v} = \frac{R_f \cdot v}{G_t \cdot v} = \frac{R_f}{G_t}$$

Uticaj kočenja/pogona prikazan je na donjoj slici (Slika 48) gde su promene koeficijenta otpora kotrljanja predstavljene u funkciji iskorišćenog prijanjanja pri kočenju i pogonu [9].

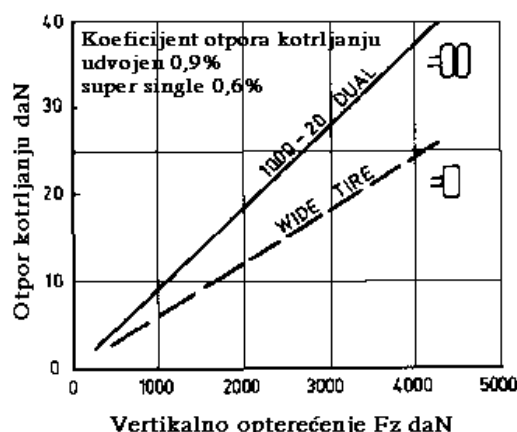


Slika 48. Uticaj iskorišćenog prijanjanja na koeficijent otpora kotrljanja [9]

Ostali faktori koji utiču na otpor kotrljanja su profil pneumatika (odnos H/B) i neke druge konstruktivne karakteristike pneumatika. Sa smanjenjem profila povećava se radijalna krutost karkase, smanjuje radijalna deformacija i histerezisni gubici u materijalu, što utiče na smanjenje otpora kotrljanja. Smanjenje broja slojeva-platana u karkasi, korišćenjem savremenih materijala, takođe smanjuje otpor kotrljanja. Na isti način utiče i smanjenje ugla vlakana korda, odnosno povećanje radijalne krutosti. Montaža pneumatika na širi naplatak smanjuje radijalnu deformaciju pneumatika i utiče na smanjenje otpora kotrljanja.

Zagrevanje pneumatika, koje je posledica histerezisa u materijalu, može se smanjiti korišćenjem prirodne gume i čeličnih vlakana. Danas se koriste celočelične radijalne spoljne gume koje imaju manji broj platana i koje se koriste bez unutrašnje gume.

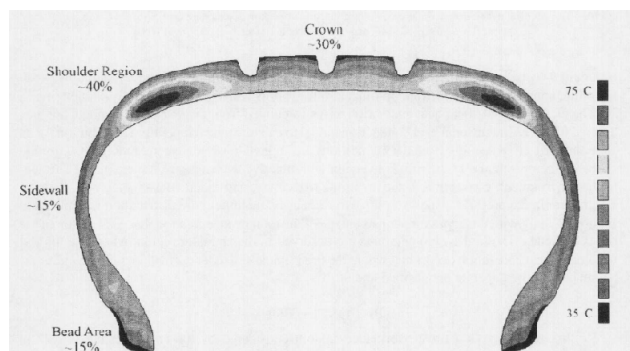
Nosivost pneumatika za teretna vozila je do deset puta veća nego kod putničkih vozila. Količina ugrađenog materijala je veća, odnosno pritisci pumpanja su viši. Koeficijenti otpora kotrljanja pneumatika za komercijalna vozila se kreću između 0,5% i 1,2% od normalnog opterećenja točka i niži su nego kod putničkih vozila. Niže vrednosti se odnose na "široke" pneumatike (wide ili super single tires), koji se koriste umesto udvojenih, na prikolicama i poluprikolicama. Na slici (Slika 49) date su uporedo promene otpora kotrljanja za dva navedena slučaja.



Slika 49. Otpor kotrljanja udvojenih i wide tire ili "širokih" pneumatika [9]

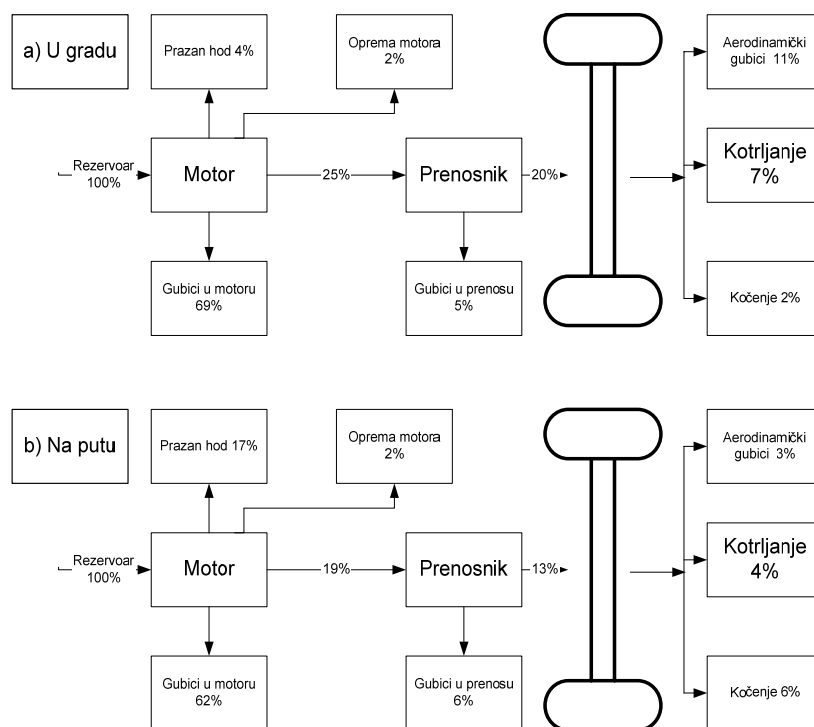
Radijalni pneumatiki koji se montiraju kao udvojeni na istu osovinu su veoma osetljivi na razlike u obimu. Mala razlika u obimu uzrokuje pojavu velike sile i poduznog klizanja u kontaktu vođenog točka. Ovo je uzrok pojačanog habanja pneumatika.

Visoke cene goriva i problemi globalnog zagrevanja atmosfere uticali su da se u poslednjih nekoliko godina pojačaju aktivnosti na povećanju energetske efikasnosti saobraćaja i smanjenju emisije CO_2 u atmosferu (efekat staklene bašte). U svim ovim aktivnostima pneumatiki su bili u centru pažnje i to iz više razloga. Savremeni automobili troše mali ali veoma značajni deo raspoložive energije oslobođene sagorevanjem goriva na savlađivanje otpora kotrljanja.



Slika 50. Absorpcija energije koja se utroši za savlađivanje otpora kotrljanja [56]

Sa slike (Slika 50) se vidi da najviše energije absorbiraju protektor, pojasevi, karkasa u kruni i ramenima pneumatika (70%), a ostatak se absorbira u bokovima i stopi u podjednakom procentu (15%). Energija utrošena za savlađivanje otpora kotrljanja iznosi samo oko 4% utrošene energije pri kretanju u gradskim uslovima, odnosno oko 7% na drumu [56].



Slika 51. Raspodela energije dobijene sagorevanjem goriva kod automobila srednje klase: (a) u gradskim uslovi; (b) na otvorenom putu [56]

Sa gornje slike (Slika 51) se vidi i da, pored svih unapređenja na motorima i transmisiji savremenih automobila, samo 13%, odnosno 20% od ukupne energije se iskoristi za kretanje vozila, odnosno za savlađivanje aerodinamičkih otpora, otpora kotrljanju i kočenje. Ostatak ide na termodinamičke gubitke u motoru, napajanje agregata, rad na praznom hodu i gubitke u prenosu. Iz ovih odnosa sledi da je efikasnost, bolje reći nefikasnost automobila u najboljem slučaju svega 0,2. To znači da se 20% raspoložive energije troši na savlađivanje otpora kotrljanju, odnosno da bi smanjenjem otpora kotrljanja pneumatika za 10% smanjili potrošnju goriva za 2%. To je ona tvrdnja koju možemo naći u tekstovima većine proizvođača pneumatika. Slično važi i za komercijalna vozila što se mora uzeti u obzir da su kod njih otpor kotrljanju (veća masa i čak do 18 točkova) i otpor vazduhu (velika čelona površina) veći nego kod putničkih vozila.

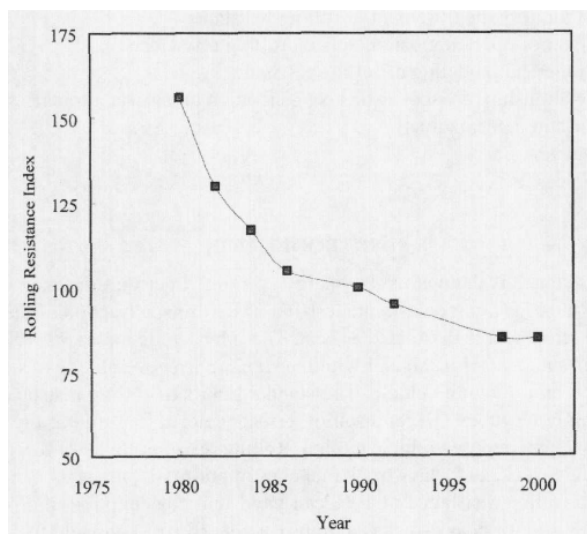
Tačnije relacije, odnosno moguće uštede, mogu se videti iz donje tabele (Tabela 9), gde su prikazani rezultati simulacije (po različitim metodama) promene potrošnje goriva za slučajevne promene otpora kotrljanju za $\pm 10\%$.

Tabela 9. Promena potrošnje goriva pri promene otpora kotrljanju za $\pm 10\%$ [56]

Model simulacije	10% smanjenja koeficijenta otpora kotrljanju		10% povećanja koeficijenta otpora kotrljanju	
	Grad	Autoput	Grad	Autoput
GM (General Motors) [35]	1,08	1,6	-1,44	-1,87
National Energy Technology Laboratory (NETL) [35]	0,7	1,95	-0,67	-1,72
Ross [36]]	0,95	1,86	-0,95	-1,86
Environmental Energy Analysis, Inc. (EEA) [35]	1,28	1,96	-1,27	-1,91

Kod desetoprocenatnog smanjenja otpora kotrljanju smanjenje potrošnje goriva je između 0,7% i 1,28% u gradskim uslovima i približno dva puta više na putu (od 1,6% do 1,96%). Kod povećanja za 10% povećanje potrošnje goriva je između 0,67% i 1,44% u gradskim, odnosno od 1,72% do 1,91% u putnim uslovima.

Nominalna vrednost otpora kotrljanja u navedenim simulacijama je bila 0,008, a odstupanja $\pm 0,0008$. Davnih sedamdesetih godina su studenti u svojim elaboratima koristili vrednosti koeficijenta otpora kotrljanju od 0,02. Proizvođači pneumatika su od tog vremena puno uradili da se otpor kotrljanja smanji. To se može videti i sa donje slike (Slika 52) preuzete iz [27]. Vrednosti otpora kotrljanju su se u periodu od nešto više od 20 godina prepolovile.



Slika 52. Smanjenje otpora kotrljanju Mišlenovih pneumatika od 1978. god do 2000. god. [27]

Ovo predstavlja opšti trend i ne važi samo za jednog proizvođača pneumatika. Značaj ovih rezultata je još veći ukoliko se uzme u obzir da su i ostale performanse pneumatika unapređene, odnosno da smanjenje otpora kotrljanju nije degradiralo druga svojstva pneumatika.

Otpor kotrljanja se meri u skladu sa ISO 18164 [37]. Očekivana preciznost dobijenih rezultata, na osnovu procedura definisanih ovim standardom iznosi $\pm 5\%$. Ono što se

mora reći je da na nivo rezultata, osim tehnike merenja, utiče i vrsta i stanje podloge na kojoj se ispitivanje vrši [27].

Objektivno gledano proizvođači pneumatika su učinili veoma mnogo da se energetska efikasnost automobila poveća jer tu postoje i nekakva ograničenja. Kada bi pronašli pneumatike kod kojih bi otpor kotrljanju bio jednak nuli potrošnja goriva bi se smanjila za maksimalno 20%. Očigledno da nije sve do pneumatika i da dalja poboljšanja treba tražiti u saradnji sa putnim i automobilskim inženjerima.

4.2.4.2 Uticaj otpora kotrljanja na potrošnju goriva

Veliki broj autora se zadnjih tridesetak godina bavio uticajem pritiska vazduha i opterećenja na otpor kotrljanja. U radu [39] dati su rezultati istraživanja efekata opterećenja točka, brzine kretanja i pritiska vazduha u pneumatiku na gubitke pri kotrljanju. Istraživanja su obuhvatila laboratorijska merenja i termalne tehnike modeliranja. U radu [39] data je jednačina za otpor kotrljanja celog pneumatika. Jednačina je jednostavna za korišćenje i u obzir uzima opterećenje točka i dimenzije kontakta pneumatika. Primenljivost jednačine potvrđena je nizom primera. Isti autor je u radu [46] postavio i relacije između otpora kotrljanju pneumatika i potrošnje goriva vozila na koji su montirani.

Na osnovu gornjih radova, ali i mnogih drugih može se tvrditi da su opterećenje i pritisak vazduha u pneumaticima važni operativni parametri. Potvrđeno je da se otpor kotrljanja menja kada se ovi parametri menjaju kao i da manji otpor kotrljanja znači nižu potrošnju goriva. Veza između opterećenja i otpora kotrljanja, odnosno potrošnje goriva je upravo proporcionalna. Što je opterećenje (pri istom pritisku vazduha) veće to su otpor i potrošnja goriva veći. U slučaju uticaja pritiska vazduha na otpor kotrljanja veza je obrnuto proporcionalana. Viši pritisak vazduha u pneumatiku (uz konstantno opterećenje) znači niži otpor kotrljanja i nižu potrošnju goriva.

U radu [49] analizirana su laboratorijska merenja otpora kotrljanja za različite uslove opterećenja točka i različite pritiske vazduha. Rezultati analize dati su u donjoj tabeli (Tabela 10).

Tabela 10. Relativna promena otpora kotrljanja za različite parove vrednosti opterećenje pritisak [49]

Opterećenje	Pritisak vazduha	Izmeren otpor kotrljanja	Napomena
Z_1	p_1	f_1	Propisane vrednosti
Z_1	$0,25 p_1$	$2 f_1$	Neodgovarajući pritisak
$1,1 Z_1$	$1,21 p_1$	f_1	Propisane vrednosti
$1,2 Z_1$	$1,44 p_1$	f_1	Propisane vrednosti
$1,3 Z_1$	$1,69 p_1$	f_1	Propisane vrednosti
$1,5 Z_1$	$2,25 p_1$	f_1	Propisane vrednosti
$2 Z_1$	p_1	$2 f_1$	Neodgovarajući pritisak
$2 Z_1$	$1,5 p_1$	$1,63 f_1$	Neodgovarajući pritisak

Iz tabele se vidi da između otpora kotrljanja i opterećenja točka (ukoliko se pritisak ne menja) postoji linearna veza. Veza između vrednosti pritiska vazduha u pneumatiku i otpora kotrljanju je malo složenija i može da se izrazi na sledeći način [49]:

$$f = C_1 \cdot Z$$

$$f = C_2 \cdot \frac{1}{p^{0,5}}$$

gde je: C_1 – konstanta koja zavisi od dimenzije i konstrukcije pneumatika ($C_1 = 0,010$ za pneumatik za komercijalna vozila 11R22.5 i $C_1 = 0,0078$ za putnički pneumatik 195/75R14; Z vertikalno opterećenje u N; C_2 – konstanta koja zavisi od dimenzije i konstrukcije pneumatika (za pneumatik 295/75R22.5 $C_2 = 3814,5$, a za pneumatik 195/75R14 $C_2 = 3814,5$); p – manometarski pritisak vazduha u pneumatiku u kPa.

Na osnovu u to vreme raspoložive literature (1991. godina) Wicks and Sheets su zaključili da se otpor kotrljanja pneumatika menja obrnuto proporcionalno odnosu izmerenog i propisanog pritiska. Ukoliko se ovaj obrazac primeni dobija se da će se potrošnja goriva povećati za 0,55% ukoliko se pritisak u pneumatiku smanji sa propisanih 2,4 bar na 1,4 bar.

Tabela 11. Promena potrošnje goriva za 1 bar promene pritiska vazduha

Izvor	Predviđeno povećanje potrošnje goriva u % za 1 bar
Wicks and Sheets [42]	0,55
US Department of Energy [43]	0,43
Clark et al. [44]	0,15-0,86
Hall and Moreland [45]	0,15-0,58
Continental Tire[46]	0,23-0,46
U.S. EPA [47]	0,48

Shvatajući značaj otpora kotrljanja za ekonomiju transporta i životnu sredinu EU je donela nekoliko propisa sa ciljem da se smanji potrošnja goriva kod novih vozila i njihovih komponenti uključujući tu i pneumatike. U aprilu 2009, Evropski Parlament je izglasao standard za smanjenje emisije CO₂ (EC Regulation 443/2009) koji predviđa smanjenje sa 162 g/km (važilo u 2008. godini) na 130 g/km za sva vozila registrovana do 2015 god. Propisi su stupili na snagu 2012 god. Zahtevano snižavanje emisije biće ostvareno pre svega unapređenjem tehnologije motora. Dodatno sniženje od 10 g/km (na 120 g/km) bi trebalo ostvariti unapređenjem performansi pneumatika i uvođenjem sistema za praćenje pritiska u pneumaticima (TPMS). Do 2020 zahtevano je smanjenje emisije ekvivalentnog CO₂ na 95g/km.

U 2009 su takođe usvojene još dve bitne Evropske regulative:

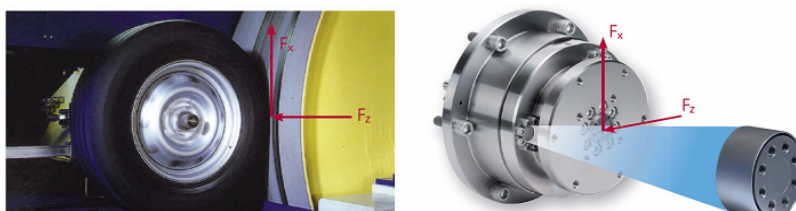
- EC 661/2009 - Ova regulativa definiše minimalne zahteve za sniženje otpora kotrljanja od 2012, nivo usporenja pri kočenju na mokrim kolovozima, nivo buke od pneumatika i ugradnju uređaja za praćenje pritiska vazduha u pneumaticima (TPMS) na sva putniška vozila proizvedena posle 2012. godine.
- EC 1222/2009 - definiše način označavanja pneumatika.

EC 1222/2009 regulativa je bazirana na želji da se kupcu predoče najvažnija svojstva pneumatika kroz jasnu diferencijaciju njihovih merljivih kvaliteta. Svi novi putnički, pneumatici za dostavna vozila, pneumatici za kamione i pneumatici za autobuse posle jula 2012 (u prodaji od novembra 2012.) moraju imati jasno naznačeno oznake. Pneumatici će biti rangirani po grupama (označenim slovima od A do G) u zavisnosti od veličine otpora kotrljanja, puta kočenja na mokrim kolovozima i nivoa buke koju prave pneumatici. Za sada su protektirani pneumatici, pneumatici za eksploataciju na i van uređenih puteva (on/off) i pneumatici za trke isključeni iz obaveza označavanja.

Tabela 2. Označavanje pneumatika u zavisnosti od veličine otpora kotrljanja [49]

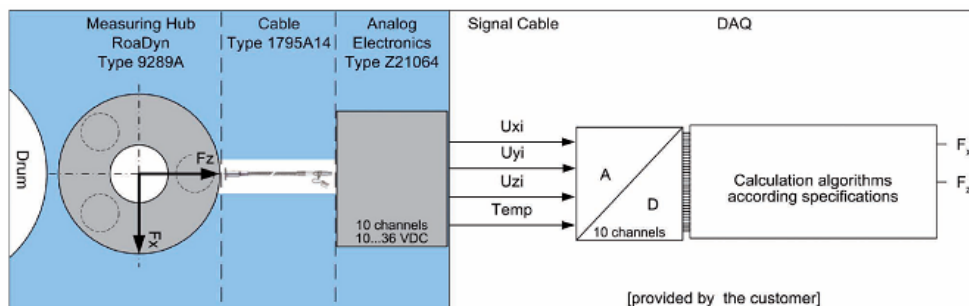
Pneumatici za putnička vozila C1		Pneumatici za laka teretna vozila C2		Pneumatici za teška vozila C3	
Otpor kotrljanja u N/t	Energetsk a klasa	Otpor kotrljanja u N/t	Energetska klasa	Otpor kotrljanja u N/t	Energetska klasa
$f \leq 6,5$	A	$f \leq 5,5$	A	$f \leq 4,0$	A
$6,6 \leq f \leq 7,7$	B	$5,6 \leq f \leq 6,7$	B	$4,1 \leq f \leq 5,0$	B
$7,8 \leq f \leq 9,0$	C	$6,8 \leq f \leq 8,0$	C	$5,1 \leq f \leq 6,0$	C
Prazno	D	Prazno	D	$6,1 \leq f \leq 7,0$	D
$9,1 \leq f \leq 10,5$	E	$8,1 \leq f \leq 9,2$	E	$7,1 \leq f \leq 8,0$	E
$10,6 \leq f \leq 12$	F	$9,3 \leq f \leq 10,5$	F	$8,1 \leq f$	F
$12,0 \leq f$	G	$10,6 \leq f$	G	Prazno	G

Za određivanje otpora kotrljanja pneumatika koristi se laboratorijski instrument za merenje sila koje nastaju u procesu kotrljanja pneumatika pod opterećenjem (Slika 53 i Slika 54).



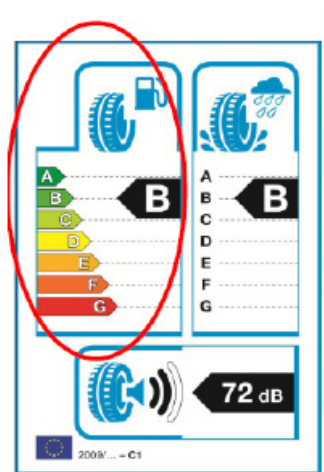
Slika 53. Izgled laboratorijske opreme za merenje sila koje nastaju prilikom kotrljanja točka pod opterećenjem [49]

Na osnovu izmerenih vrednosti u laboratorijskim uslovima korišćenjem formule zavisnosti otpora kotrljanja od izmerenih sila dobijamo precizno podatke o otporu kotrljanja za posmatrani pneumatik.



Slika 54. Šema opreme za laboratorijska ispitivanja otpora kotrljanja [49]

Označavanje novo-proizvedenih pneumatika u skladu sa EC uredbom No 1222/2009 daje mogućnost kupcima da lakše prepoznaju i odaberu kvalitetnije pneumatike. Predlog izgleda oznake koju bi pneumatici trebalo da nose od 2012. godine. Izborom energetski efikasnijih i tiših pneumatika ostvarilo bi se značajno smanjenje emisije CO₂ i ograničen uticaj na snižavanje buke u saobraćaju. Na donjoj slici (Slika 55) prikazane su klase pneumatika u zavisnosti od izmerenog otpora kotrljanja za različite vrste vozila.



Slika 55. Označavanje pneumatika – otpor kotrljanja [49]

Za ocenu B pneumatik za teretna vozila mora da ima otpor kotrljanja veći ili jednak 4,1 i manji ili jednak 5,0 N/t. Za pneumatike za laka teretna vozila granice za istu ocenu su više (5,6 N/t i 6,7 N/t), a za putnička vozila najviše (6,6 N/t i 7,7 N/t).

5. Metodologija istraživanja

5.1 Uvod

Troškovi pneumatika čine veliki deo eksploatacionih troškova voznih parkova koji se bave prevozom putnika. Oni predstavljaju drugu pojedinačnu stavku u ukupnim materijalnim troškovima vozila i to odmah iza troškova pogonskog goriva. Osim na troškove pneumatice u značajnoj meri utiču na bezbednost putnika, osoblja i tereta u saobraćaju. Stoga je važno da dimenzije i karakteristike pneumatika budu dobro usklađene sa karakteristikama i očekivanom namenom vozila, odnosno sa uslovima eksploatacije. Dobar izbor pneumatika sam po sebi ne garantuje njihov dug vek i bezbednu vožnju. Za to je potrebno da se oni koriste i održavaju pravilno.

Briga o pneumaticima počinje njihovim prijemom i skladištenjem, a završava se slanjem pohabanih pneumatika u neki od centara za reciklažu. Pravilno korišćenje i održavanje pneumatika podrazumeva pravilno skladištenje, montažu i demontažu pneumatika, kao i preventivno i korektivno održavanje pneumatika. Sve ove aktivnosti trebalo bi da vrši i koordinira odgovarajuća tehnička služba, uz puno angažovanje ostalih zaposlenih u preduzeću, a posebno vozača.

U svakoj radnoj organizaciji, koja u eksploataciji ima veći broj vozila, uobičajeno je da se vodi evidencija o pređenoj kilometraži pneumatika, remontu i protektiranju pneumatika. Novi pneumatici se odmah po nabavci evidentiraju. Evidencija bi trebalo da bude kompjuterizovana. Postojanje elektronskih baza podataka, umesto klasičnih kartoteka, ima prednosti u pogledu broja informacija, tačnosti, ažurnosti i broja podataka, koji su na raspolaganju za pravljenje različitih izveštaja i analiza.

U prvom koraku bilo je potrebno izabrati saobraćajno ili transportno preduzeće u kome bi se istraživanje sprovedo. Drugi korak predstavlja utvrđivanje stanja u oblasti pneumatika u odabranom transportnom preduzeću. Za to je potrebno sprovesti sopstvena istraživanja i/ili koristiti postojeće baze podataka. U konkretnom slučaju bila je sprovedena kombinacija navedenih pristupa. Istorijski podaci o pneumaticima bili bi preuzeti iz baza podataka radne organizacije, a za dobijanje podataka o trenutnom stanju predviđena su posebna istraživanja. S obzirom da je jedan od predviđenih ciljeva i predlog unapređenja sistema održavanja bilo je potrebno prikupiti, proučiti i analizirati i dokumentaciju vezanu za održavanje pneumatika i u mestu u ukupnom sistemu održavanja i u transportnom preduzeću. Takođe, prikupljene su informacije i iskustva o inovativnim uređajima i tehnikama koje bi mogle da se iskoriste u predlogu unapređenog sistema održavanja pneumatika.

Namena prikupljenih i sređenih podataka je kvantifikacija uticaja pravilnog održavanja pritiska vazduha u pneumaticima komercijalnih vozila i autobusa na bezbednost i troškove eksploatacije. Postavljeni model je trebalo da posluži za izračunavanje mogućih ušteda ukoliko bi se procenat pneumatika sa neodgovarajćim pritiskom sveo na najmanju moguću meru. Poređenjem mogućih ušteda (pneumatika, goriva, rada na održavanju...) sa troškovima uvođenja i korišćenja novih tehničkih sistema (individualnih i stacionarnih uređaja za kontrolu i praćenje pritisaka u pneumaticima) bila bi proverena samodrživost predloženog sistema održavanja.

5.2 Mesto istraživanja

Za sprovođenje istraživanja predviđenih metodologijom odabrana je SP „Lasta“ A.D. iz Beograda. Preduzeće je osnovano 1947. godine i osnovna delatnost preduzeća od osnivanja je drumski putnički saobraćaj. SP „Lasta“ A.D. je najveće preduzeće u oblasti autobusnog saobraćaja u Srbiji i prva domaća članica evropske autoprevoznice organizacije „EUROLINES“. Od osnivanja do danas autobusi SP „Lasta“ su prešli više od milijardu i po kilometara i prevezli preko dve milijarde putnika.

Drumski putnički saobraćaj u SP „Lasta“ organizovan je kroz linijski, vanlinijski i ugovoreni prevoz sa oko 2.400 polazaka u gradskom i prigradskom i preko 500 polazaka u međumesnom i međunarodnom saobraćaju. U zavisnosti od vrste prevoza autobusi Laste dnevno, odnosno godišnje prelaze značajne kilometraže:

- Međunarodni prevoz - U međunarodnom saobraćaju sa 35 linija SP „Lasta“ pokriva teritorije Italije, Švajcarske, Belgije, Francuske, Holandije, Češke, Danske, Švedske, Slovenije, Hrvatske i BiH. Autobusi „Laste“ u međunarodnom saobraćaju prelaze godišnje više od 11 miliona kilometara [30].
- Međumesni prevoz – Međumesni prevoz je organizovan na teritoriji cele Srbije i povezuje sve veće gradske centre. U međumesnom prevozu autobusi „Laste“ prelaze oko 50.000 km dnevno [30].
- Prigradski prevoz – Prigradski prevoz je linijski prevoz putnika koji se obavlja oko naseljenih mesta na teritoriji opštine, odnosno gradova gde SP „Lasta“ A.D. ima svoje poslovne organizacije. U prigradskom prevozu autobusi „Laste“ prelaze približno dnevno 70.000 km [30].
- Lokalni prevoz – Lokalni (gradski prevoz) se obavlja na teritoriji grada Beograda i u gradovima u kojima se nalaze „Lastine“ poslovne organizacije i radne jedinice. U lokalnom i gradskom prevozu autobusi „Laste“ prelaze više od 30.000 km dnevno [30].
- SP „Lasta“ A.D. takođe obavlja ugovoreni i vanlinijski prevoz u zemlji i inostranstvu i iznajmljuje svoje autobuse drugim preduzećima. Broj prosečno dnevno angažovanih autobusa u vanlinijskom saobraćaju je veći od 60 vozila, a prosečna dnevna pređena kilometraža je oko 16.000 km [30].

Ukupno Lastini autobusi godišnje pređu 80 miliona kilometara i prevezu 100 miliona putnika. Vozni park SP „Lasta“ se sastoji od 900 autobusa [30] i čine ga uglavnom noviji autobusi različitih tipova i marki (Tabela 12).

Tabela 12. Struktura voznog parka SP „Lasta“ A.D.*

Vrsta saobraćaja	Tip vozila	Proizvođač
Međunarodni saobraćaj	Double decker	Ayats, Berkhof
	Solo	Berkhof, Bova, Man, Mercedes
Turistički autobusi	Solo	Temsa, Mercedes
	Mini bus	Otokar, Isuzu
Prigradski	Solo	Ikarbus, Sor, Sanos
Gradski	Solo	Ikarbus, Volvo
	Zglobni	Ikarbus, FAP
	Kombi vozila	Iveko

*Izvor: zvanični sajt SP „Lasta“ A.D.

U zavisnosti od vrste prevoza u kome rade (međunarodni, međumesni, prigradski i gradski) autobusi godišnje prelaze različite kilometraže. Najviše godišnje prelaze autobusi u međunarodnom, a najmanje u gradskom saobraćaju.

Radi lakše indentifikacije svakom od autobusu je dodeljena odgovarajuća interna oznaka – garažni broj. Garažni broj se sastoji od četiri brojne oznake. Broj na prvom mestu označava grupu. Broj na drugom mestu označava marku vozila. Brojevi na trećem i četvrtom mestu predstavljaju redni broj uključivanja vozila u vozni park

Tabela 13

Tabela 13. Označavanje marke autobusa u SP „Lasta“ A.D.

Oznaka	Marka autobusa	Namena
1	Sanos	prigradski
3	Sanos	prigradski
4	Neobus, Volvo	gradski, prigradski
5	Ikarbus	gradski, prigradski
6	Sanos, Mercedes, Fap	prigradski, međumesni
7	Isuzu, Otokar, Temsa (minibusi) LIAZ, SOLARIS (gradski, prigradski)	minibusi, gradski, prigradski
8	Sor, Bova	prigradski, međumesni
9	Berkhof, Ayats	međumesni i međunarodni

Iz gornje tabele se vidi da je vozni park u SP „Lasta“ A.D. dosta raznorodan po markama i tipovima. Radi se uglavnom o novim vozilima nabavljenim posle 2000. godine, osim autobusa SANOS koji su stariji i koji su u prethodnim godinama generalno remontovani.

5.3 Sistem tehničkog održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.

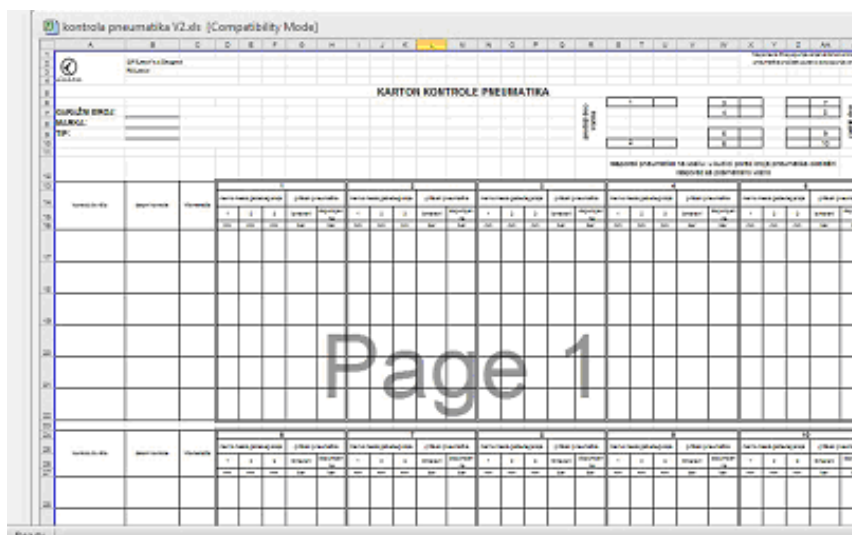
Postupak tehničkog održavanja vozila i opreme u SP „Lasta“ A.D., gde su uključeni i pneumatici, propisan je procedurom „Tehničko-tehnološki proces tehničkog održavanja“. U ovoj proceduri su definisani postupci prijema, pregleda, defektaže, preventivnog i korektivnog održavanja i servisiranja vozila u preduzeću SP „Lasta“ A.D. Beograd. U okviru navedene procedure postoje delovi koji se odnose i na pneumatike. Briga o pneumaticima u SP „Lasta“ A.D. počinje prijemom i skladištenjem, a završava se slanjem pohabanog pneumatika na reciklažu. U međuvremenu vrše se pregledi i tehničko održavanje pneumatika u okviru dnevnih pregleda vozila, kontrole stanja pneumatika, zamene pneumatika na vozilima i kroz rad interventne službe.

5.3.1 Dnevni pregled vozila

Autobusi se, nakon povratka ili isključenja (zbog kvara) sa linije, voze na kanal za dnevni pregled vozila. Dnevni pregled se obavlja na osnovu uputstva UP 01 TO koje obuhvata i pregled točkova i pneumatika. U okviru ovog pregleda vrši se vizuelna kontrola pneumatika, odnosno utvrđuju eventualna oštećenja, proverava dubina šare i pritisci u pneumaticima, a kod udvojenih pneumatika obavezno se proverava da se nešto nije zaglavilo između njih i da li se udvojeni pneumatici eventualno dodiruju.

5.3.2 Kontrola stanja pneumatika

Kontrola pneumatika na autobusima u SP „Lasta“ A.D: vrši se najmanje jednom mesečno⁴. Kontrola obuhvata: vizuelni pregled stanja pneumatika, kontrolu pritiska u pneumaticima i merenje dubine šare protektora. Vizuelnim pregledom je potrebno ustanoviti da li postoje oštećenja na bočnim zidovima pneumatika i/ili na protektoru. Uočena oštećenja se upisuju u „Karton kontrole pneumatika“ ZA 01TO 01/17 (Slika 56), a prema uputstvo za popunjavanje (slika 57)



Slika 56. Karton kontrole pneumatika autobusa
ZA 01 TO 01/17

⁴ U skladu sa članom 6.61 Pravilnika o kvalitetu procesa protektovanja guma za vozila




Slika 57. Uputstvo za popunjavanje kartona

U okviru kontrole vizuelno se utvrđuje i prisustvo zaštitnih kapa ventila i produžetaka ventila za udvojene pneumatike. Merenje pritiska vazduha u pneumaticima vrši se baždarenim manometrom, a izmerene vrednosti se upisuju u karton (ZA 01TO 01/17). Ukoliko je pritisak u pneumatiku različit od propisanog, pneumatik se dopumpava (ukoliko je pritisak niži) ili se iz pneumatika ispušta vazduh ukoliko pritisak viši od preporučenog. Preporučene vrednosti pritiska treba da se nalaze na bočnoj strani autobusa na karoseriji iznad svakog točka. Merenje dubine dezena – šare protektora pneumatika vrši se uređajem za merenje dubine šare i izmerene vrednosti se upisuju u karton (ZA 01 TO 01/17). Pneumatici kod kojih se utvrdi da je dubina šare na protektoru (na bilo kom mestu) manja od propisane označavaju se za zamenu.

5.3.3 Zamena pneumatika na vozilima

Na osnovu vizuelnog pregleda oštećenja na pneumaticima i kontrole dubine šare protektora kontrolor, u skladu sa usvojenom procedurom, može da odredi da se pneumatik zameni. Posao oko zamene vrši gumarsko odeljenje. Stare spoljne gume se vraćaju u magacin, a iz magacina uzimaju nove ili ispravne (polovne) spoljne gume i montiraju na vozilo. To sve se evidentira popunjavanjem Povratnica/Izdatnica na osnovu koje se uzimaju/predaju spoljne gume u magacin. Podaci o skinutim pneumaticima se evidentiraju u obrascu „Evidencija o izgrađenim pneumaticima – ZA 01 TO 01/15 (Slika 57)

		UPRAVLJANJE DOKUMENTIMA I ZAPISIMA				PR 00 MS 01	
Datum: 02.09.2010.		Izdanje: 02	Od (datum): 10.03.2011.	Kopija: 01	Strana: 27/30		

Prilog 15

PO _____
Datum _____

EVIDENCIJA EKSPLOATISANJA AUTO-GUMA – PNEUMATIKA IZGRADJENIH U _____ 20__ GODINE

Redni broj	Garažni broj	Marka i tip auto-gume	Dimenzija auto-gume	Broj auto-gume		Auto-guma N-nova, P-1, P-2	Datum		Predjeno km	Položaj auto-gume na vozilu	Stanje auto-gume kod demontaže, 1-rashod, 2-protekt, 3-upotreba	Primedba
				Interni	Fabrički		Montaže	Demontaže				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												

Legenda za kolonu 11 gledano u pravu vožnje
 PL – prednja leva, PD – prednja desna
 ZD – zadnja desna, sp – spoljna, un – unutrašnja
 ZL – zadnja leva, sp – spoljna, un – unutrašnja
 ZDpp – zadnja desna poluprilike

Legenda za kolonu 7
 N – nova guma
 P-1 – protektrirana prvi put
 P-2 – protektrirana drugi put
 P-3 – protektrirana treći put


ZA 01 TO 01/15

Materijal obradio _____

Kontrolisana kopija: NE UMNOŽAVATI! Važeća je elektronska verzija dokumenta bez potpisa!

Slika 57. Karton evidencije o pneumaticima skinutih sa autobusa – ZA 01 TO 01/15

Podaci o montiranim pneumaticima evidentiraju se u obrascu „Evidencija ugrađenih pneumatika“ –ZA 01 TO 01/16 (Slika 58.).

		UPRAVLJANJE DOKUMENTIMA I ZAPISIMA				PR 00 MS 01	
Datum: 02.09.2010.		Izdanje: 02	Od (datum): 10.03.2011.	Kopija: 01	Strana: 28/30		

Prilog 16

PO _____
Datum _____

EVIDENCIJA UGRAĐENIH AUTO-GUMA – PNEUMATIKA U _____ 20__ GODINE

Redni broj	Garažni broj	Marka i tip auto-gume	Dimenzija auto-gume	Broj auto-gume		Auto-guma N-nova, P-1, P-2	Datum		Predjeno km	Položaj auto-gume na vozilu	Stanje auto-gume kod demontaže, 1-rashod, 2-protekt, 3-upotreba	Primedba
				Interni	Fabrički		Montaže	Demontaže				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												

Legenda za kolonu 11 gledano u pravu vožnje
 PL – prednja leva, PD – prednja desna
 ZD – zadnja desna, sp – spoljna, un – unutrašnja
 ZL – zadnja leva, sp – spoljna, un – unutrašnja
 ZDpp – zadnja desna poluprilike

Legenda za kolonu 7
 N – nova guma
 P-1 – protektrirana prvi put
 P-2 – protektrirana drugi put
 P-3 – protektrirana treći put

ZA 01 TO 01/16

Materijal obradio _____

Kontrolisana kopija: NE UMNOŽAVATI! Važeća je elektronska verzija dokumenta bez potpisa!

Slika 58. Karton evidencije o pneumaticima montiranim na autobuse – ZA 01 TO 01/16

Popunjeni kartoni se dostavljaju u PO Lasta – Protakt Smederevska Palanka gde se vodi centralna evidencija o pneumaticima za celu SP „Lasta“ A.D..

5.3.4 Rad interventne službe (intervencija)

Intervenentna služba vrši opravke ili konstatuje stanje vozila kada se ono nalazi van autobaze, odnosno u slučaju kada do kvara autobusa dođe na liniji. Vozilo interventne službe ide na mesto kvara vozila, konstatuje stanje vozila (pneumatika) i pokušava da otkloni kvar. Ukoliko je kvar na vozilu takve vrste da ne postoje mogućnosti za njegovo otklanjanje na licu mesta, vozilo se odvlači do autobaze.

5.3.5 Rukovanje protektiranim pneumaticima

SP „Lasta“ A.D. već 35 godina koristi usluge protektiranja svoje PO, odnosno „Lasta-Protekt“-a iz Smederevske Palanke. U ovoj protektirnici se od osnivanja (1978) primenjuje tzv „hladan“ postupak protektiranja spoljnih guma po licenci firme „Bandag“ iz SAD. Osim protektiranja PO „Lasta-Protekt“ pruža i logističku podršku ostalim PO u vidu redovnih i vanrednih kontrola i provera stanja pneumatika. Usluga uključuje i proveru pritiska u pneumaticima, proveru istrošenosti protektora, indirektnu kontrolu geometrije vozila i dr.

5.4 Analiza rada PO „Lasta-Protekt“

Spoljne gume se, nakon demontaže sa autobusa, upućuju u PO „Lasta-Protekt“ u Smederevskoj Palanci u protektirnici gde prolaze kroz ponovnu kontrolu. U skladu sa zahtevima ECE – 109 propisa i Pravilnika nije dozvoljeno protektirati ni jednu spoljnu gumu: bez originalne oznake „E” ili „e”, bez originalne oznake indeksa nosivosti i bez originalnog simbola brzine. Spoljne gume koje ispunjavaju navedene uslove spoljne gume prolaze kroz manuelni pregled unutrašnjih površina, stopa, bočnica i protektora. Sva uočena oštećenja se obeležavaju. Na osnovu prikupljenih podataka i uočenih oštećenja spoljne gume se klasifikuju u skladu sa Pravilnikom. Cilj inicijalne inspekcije je eliminacija spoljnih guma koje nisu za protektiranje i kategorizacija ostalih spoljnih guma prema proizvođačima, starosti i uočenim oštećenjima. Pravilnikom su definisane tri klase prikupljenih karkasa. Različite klase opredeljuju kasniju upotrebu, odnosno za koju vrstu prevoza mogu biti korišćene nakon protektiranja:

- A. podrazumeva korišćenje protektirane spoljne gume u međunarodnom i regionalnom prevozu robe i putnika;
- B. podrazumeva korišćenje protektirane spoljne gume u mešovitom i gradskom prevozu (kamioni i autobusi);
- C. podrazumeva korišćenje protektirane spoljne gume u građevinarstvu i teškim uslovima eksploatacije (Off/On).

U koju će grupu će karkasa biti klasifikovana zavisi od proizvođača, odnosno kvaliteta spoljne gume, njene starosti, kao i od vrste i obima utvrđenih oštećenja

Tabela 14

Tabela 14. Opšte uputstvo za klasifikaciju spoljnih guma za autobuse namenjenih protektiranju

Klasa	Brendovi	Popravke	Ostalo
A	Premium	– nema popravki – sanirano oštećenje isključivo u	– original karkasa – nema popravku pete,

Klasa	Brendovi	Popravke	Ostalo
		predelu krune, maksimalno do 6 mm	– nije narezivana – maksimalne starosti do 5 god.
B	Premium	– maksimalno 2 popravke	– maksimalno jedno protektiranje – nema popravku pete, – nije narezivana – maksimalne starosti do 6 god.
C	Drugi	– nema popravki – sanirano oštećenje isključivo u predelu krune, maksimalno do 6 mm	– original karkasa – nema popravku pete, – nije narezivana – maksimalne starosti do 7god.

Spoljne gume koje ne ispunjavaju navedene uslove, odnosno, u slučaju „Laste“ uslove za klasu A i klasu B se prodaju. Ostale idu u još jednu proveru i to na postupak širografije koja se u „Lasti“ radi uz pomoć uređaja „Bandag 7450“. Ovim postupkom se otkrivaju eventualna unutrašnja oštećenja u karkasi. Spoljne gume sa unutrašnjim oštećenjima, odnosno one sa vazдушnim džepovima između slojeva karkase se odbacuju, ispravne idu na brušenje. Prilikom mašinskog i ručnog brušenja „otvaraju“ se sva uočena oštećenja i utvrđuje da li se mogu, odnosno smeju popraviti. Nakon ove selekcije preostale spoljne gume idu u dalji postupak protektiranja sa velikom verovatnoćom da protektirani pneumatik neće imati „skrivenih“ mana koje bi ugrozile bezbednost putnika u autobusu.

5.5 Plan i program istraživanja

Istraživanje je podeljeno u nekoliko odvojenih faza. U prvoj fazi zadatak je bio da se utvrdi stanje voznog parka i pneumatika u odabranoj radnoj organizaciji, odnosno SP „Lasta“ A.D. iz Beograda. Druga faza je podrazumevala kontrolu pritisaka pneumatika autobusa u voznom parku SP „Lasta“ A.D. iz Beograda. Treća faza istraživanja bila su putna ispitivanja pneumatika autobusa u različitim uslovima eksploatacije. Deo potrebnih podataka preuzet je iz baza podataka radne organizacije, deo podataka je dobijen direktnom kontrolom pneumatika na terenu, a za podatke o ponašanju pneumatika u putnim uslovima bilo je potrebno organizovati posebno istraživanje.

5.5.1 Podaci o voznom parku SP „Lasta“ A.D.

Izvor podataka o voznom parku u SP „Lasta“ A.D. bile su odgovarajuće stručne službe radne organizacije. Podaci koje je trebalo prikupiti su: marka i tip autobusa, prosečne godišnje kilometraže i prosečne godišnje potrošnje goriva.

5.5.2 Podaci o pneumaticima na autobusima

Kao izvor podataka za utvrđivanje stanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D. korišćeni su podaci iz baze podataka SP „Lasta“ A.D. i to:

- Podatke iz obrazca ZA 01 TO 01/15 propisanog procedurom PR 01 TO 01 „Tehničko-tehnološki proces tehničkog održavanja“ (Slika 57).
- Podatke iz obrasca ZA 01 TO 01/16 propisanog procedurom PR 01 TO 01 „Tehničko-tehnološki proces tehničkog održavanja“ (Slika 58).

Na osnovu dobijenih podataka iz pogona i protektirnice u Smederevskoj Palanci potrebno je uraditi sledeće analize:

- Pregledi demontiranih spoljnih guma po markama, tipovima, dimenzijama, pređenoj kilometraži do skidanja, uslovima eksploatacije i stanju u trenutku demontaže;
- Pregledi montiranih spoljnih guma po markama, tipovima, dimenzijama, uslovima eksploatacije i stanju u trenutku montaže.

5.5.3 Analiza procesa protektiranja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.

Spoljne gume koje su nakon demontaže sa autobusa upućene u PO „Lasta-Protpekt“ u Smederevskoj Palanci u protektirnici prolaze kroz detaljnu kontrolu. Ciljevi inicijalne inspekcije su eliminacija spoljnih guma koje nisu za protektiranje i kategorizacija ostalih spoljnih guma prema proizvođačima, starosti i uočenim oštećenjima. Sve spoljne gume koje, iz bilo kojih razloga, ne ispunjavaju uslove da budu protektirane se odbacuju. Za potrebe istraživanja potrebno je analizirati uzroke otkaza, a u cilju preduzimanja mera radi otklanjanja uzroka. Rezultate istraživanja je bilo potrebno dati kroz različite preglede:

- Pregled stanja skinutih spoljnih guma pre protektiranja;
- Pregled spoljnih guma koje nisu za protektiranje;
- Pregled broja protektiranja.

5.5.4 Kontrola stanja pneumatika – stanje pritisaka vazduha u pneumaticima

Izvor podataka o stanju pritisaka vazduha u pneumaticima autobusa bile su redovne i vanredne kontrole. Redovne kontrole pneumatika na autobusima se vrše, u skladu sa Pravilnikom⁵, jednom mesečno. Osim redovnih vrše se vanredne kontrole stanja pritiska u pneumaticima. Ove kontrole su nenajavljene i vrše ih stručnjaci iz protektirnice u Smederevskoj Palanci. Izmerni pritisci se, uz ostale podatke o pneumaticima i vozilu, upisuju u formular ZA 01TO 01/17 (Slika 56). Na osnovu prikupljeni podataka trebalo je napraviti preglede:

- Odstupanja pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za sve pneumatike;
- Odstupanja pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za pneumatike na upravljačkoj osovini;
- Odstupanja pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za pneumatike na pogonskoj osovini;
- Odstupanja pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za pneumatike na pratećoj osovini;
- Odstupanja pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za pneumatike na istoj osovini;
- Odstupanja pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za udvojene pneumatike.

Zbog velike količine, raznovrsnosti i složenosti prikupljenih podataka, bilo je neophodno da se iskoriste različite analitičke tehnike za njihovu analizu, a u cilju boljeg sagledavanja uslova u kojima pneumatici rade i efektivnost postupaka njihovog održavanja. Korišćene su odgovarajuće statističke tehnike za analizu podataka:

⁵ U skladu sa članom 6.61 Pravilnika o kvalitetu procesa protektovanja guma za vozila

- Relacione baze podataka koja bi omogućile laku kategorizaciju podataka i jednostavno postavljanje različitih upita;
- Relacione baze podataka propisanih pritisaka vazduha u pneumaticima radi lakšeg poređenja sa izmerenim i to za različite tipove i marke autobusa i za različite uslove eksploatacije;
- Potrebne statističke alate i parametre potrebne za profilisanje stanja pritisaka vazduha u pneumaticima i ocenu rada službe održavanja;
- Korišćenje intervala i nivoa poverenja za karakterizaciju statističkog značaja uzoraka.

Prvi korak bio je formiranje odgovarajućih relacionih baza podataka rezultata kontrole pritisaka vazduha u autobusnim pneumaticima. Za svaki kontrolisani pneumatik u bazu su uneseni sledeći podaci: interni broj pneumatika (konto), marka i tip vozila, datum kontrole, izmereni pritisci i korigovani pritisci koji su istovremeno i propisani za to vozilo, osovinu i uslove eksploatacije.

IZVEŠTAJ O KONTROLI PRITISKA U PNEUMATICIMA U NOVEMBRU 2011 GODINE

Rbr.	Konto	Tip vozila	Datum kontrole	IZMERENE VREDNOSTI (bar)										KORIGOVANE VREDNOSTI (bar)						
				PD	PL	ZDsp	ZDun	ZLsp	ZLun	ZDpu	ZDps	ZLpu	ZLps	PD	PL	ZDsp	ZDun	ZLsp	ZLun	ZDpu
1			kontrole	PD	PL	ZDsp	ZDun	ZLsp	ZLun	ZDpu	ZDps	ZLpu	ZLps	PD	PL	ZDsp	ZDun	ZLsp	ZLun	ZDpu

Slika 59. Zaglavlje formulara „Izveštaj o kontroli pritiska u pneumaticima“

Na osnovu ovih podataka moguće je brzo i jednostavno dobiti informacije o stanju pritisaka u pneumaticima:

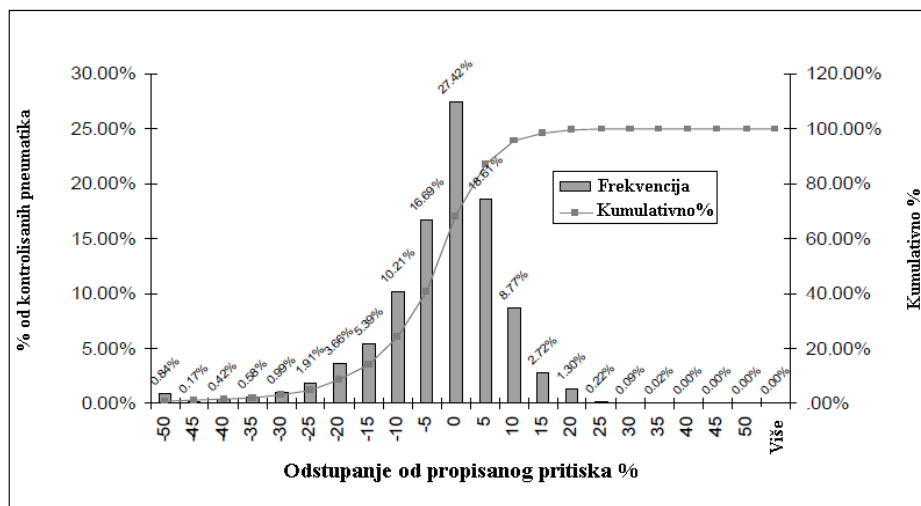
- Koliki je procenat pneumatika čiji se pritisak vazduha prilikom kontrole razlikovao za više od $\pm 10\%$ od propisanog;
- Koliki je procenat pneumatika čiji se pritisak vazduha prilikom kontrole razlikovao za više od $\pm 20\%$ od propisanog;
- Koliki je procenat pneumatika čiji se pritisak vazduha prilikom kontrole razlikovao za manje od $\pm 5\%$ od propisanog. Visok procenat pneumatika sa odstupanjem manjim od $\pm 5\%$ znači da je sistem održavanja dobro postavljen i da se uspešno sprovodi;
- Koliko je procenat pneumatika čiji je pritisak za 10% viši od propisanog. Ovaj podatak nam govori o kvalitetu sistema održavanja. Može se pretpostaviti da se pneumatici svesno prepumpavaju kao kompenzacija za nedovoljno dobar program kontrole. Takođe, prepumpani pneumatici dovode do intenzivnog i neravnomernog habanja protektora.

Iz ovako koncipirane relacione baze podataka, koji su neophodni za različite vrste analiza, moguće je dobiti i podatke: o procentualnom učešću vozila Vehicle-based statistics.

- Procenat autobusa koji imaju pritiske u svim pneumaticima u granicama $\pm 5\%$ od propisanog;
- Procenat autobusa na kojima bar jedan pneumatik ima pritisak za 20% niži od propisanog;

- Procenat autobusa sa dva ili više pneumatika sa pritiskom nižim za više od 20% od propisanog.

Na osnovu dobijenih podataka prave se odgovarajući histogrami. Na narednoj slici (Slika 59) dat je tipičan primer histograma raspodele odstupanja pritiska vazduha u pneumaticima od propisane vrednosti [1].



Slika 59. Primer histograma raspodele odstupanja pritiska vazduha u pneumaticima za kamione tegljače [1]

Sa histograma se jasno vidi učešće pneumatika kod kojih je odstupanje manje od $\pm 5\%$ od propisanih (63%), kao i da je raspodela asimetrična. Skoro dvostruko je veći procenat pneumatika sa nižim pritiskom od propisanog nego onih s višim pritiskom.

Korišćenje raspodela uzoraka je dobar metod za analizu podataka dobijenih iz određenog uzorka, ali ima i odgovarajuća ograničenja. Istraživanje obično obuhvata samo deo populacije, odnosno pneumatika u našem slučaju. Zaključci i postavljene zakonitosti koje bi se mogle doneti na osnovu analize uzorka ne moraju u potpunosti odgovarati ponašanju cele populacije. Stoga, da bi mogli da uopštimo dobijene rezultate, zaključke ili zakonitosti potrebno je da odredimo nivo poverenja (u njih), odnosno da odredimo interval poverenja za istraživanu veličinu (u našem slučaju odstupanje pritiska od propisane vrednosti) u odnosu na dobijenu vrednost. Ukoliko nije drugačije definisano bira se 95% nivo poverenja⁶ i na osnovu njega izračunava se interval poverenja. Za nivo poverenja od 95% iz tablica se bira odgovarajuća vrednost (1,96) kojom se množi izračunata standardna devijacija uzorka.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} - \text{standardna devijacija uzorka}$$

Gde je: n - broj pregledanih pneumatika; x_i – odstupanje pritiska za i pneumatik; \bar{x} - srednja vrednost odstupanja pritiska za ispitivani uzorak.

⁶ Statistički nivo poverenja definiše se kao verovatnoća, zasnovana na skupu rezultata merenja, da je stvarna verovatnoća greške bolja od neke zahtevane vrednosti.

$$I = \bar{x} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Gde je: \bar{x} - srednja vrednost odstupanja pritiska za ispitivani uzorak; z – tablična vrednost za odgovarajući nivo poverenja (za 95% iznosi 1,96); σ – standardna devijacija uzorka; n – broj pregledanih pneumatika.

Kada je interval poverenja poznat može se tvrditi da se, na osnovu ispitivanog uzorka, doneseni zaključci mogu uopštiti na celu populaciju pneumatika u posmatranoj radnoj organizaciji.

5.5.5 Putna ispitivanja pneumatika autobusa







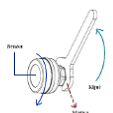
U okviru punih ispitivanja bilo je predviđeno da se na određenom broju autobusa montiraju TPMS sistemi i da se prate promene pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima u određenom vremenskom periodu. Cilj ovih istraživanja je da se dobiju podaci o režimima opterećenja pneumatika, kao i podaci o pouzdanosti funkcionisanja TPMS u uslovima eksploatacije. Programom su predviđena ispitivanja za tri uslova eksploatacije u kojima rade autobusi SO „Lasta“ A.D.: gradski, prigradski i međumesni saobraćaj.

Za potrebe ispitivanja nabavljena je i potrebna oprema, nabavljen je komplet uređaja za kontrolu i praćenje firme ATBS Technology Co., Ltd sa Tajvana sa šest senzora, monitorom, pojačavačem i potrebnom opremom. Odabrane su tri linije u gradskom, prigradskom i međumesnom prevozu, a SP „Lasta“ A.D. je za potrebe ispitivanja stavila na raspolaganje tri novija autobusa sa vozačima.

Komplet uređaja za praćenje i kontrolu pritiska vazduha u pneumaticima tipa Colorful TPMS LM6180/6100/6060 se sastoji od sledećih delova

Tabela 15

Tabela 15. Delovi TPMS sistema

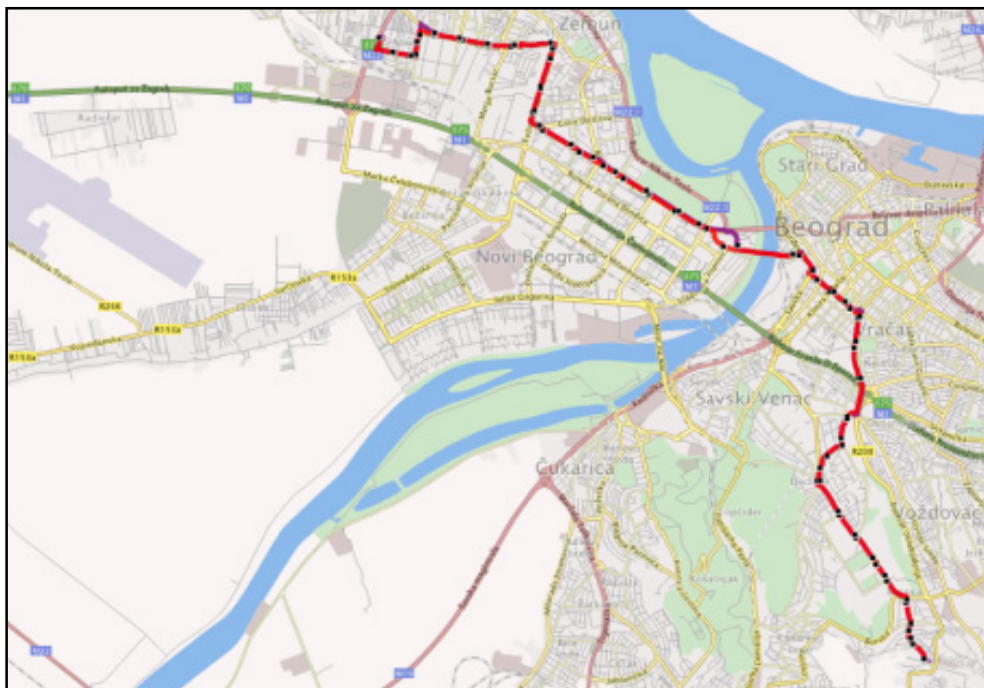
Komponenta	Izgled	Količina
LCM displej i prijemnik signala sa senzora		1
Adapter i kabl (12 to 5V)		1+1
Nosač displeja		1
Pojačavač signala		1
AT68 senzor na točku		6
Matica za osiguranje		6
Ključ za montažu		1
Priručnik		1

Nabavljeni sistem je lak za montažu i demontažu i zahvaljujući posebnim maticama senzori su mogli biti osigurani od lakog skidanja, odnosno krađe. Mana ovih sistema je ta što je za kontrolu i dopunu vazduha pneumaticima potrebno odvrnuti senzore. Tehnički problem predstavljalo je to što je za rad sistema bilo potrebno obezbediti odgovarajuće napajanje za monitor i pojačavač signala, odnosno ugradnju utičnice za upaljač, koji većina savremenih autobusa više nema.

Za potrebe ispitivanja ponašanja pneumatika autobusa u eksploataciji odobrane su tri linije koje drže autobusi „Lasta“ i to jedna gradska, jedna prigradska i jedna međumesna.

5.5.5.1 Gradska autobuska linija

Za ispitivanje u gradskom prevozu odabrana je linija 78 koja vodi od Banjice 2 do Zemuna/Novi grad (Slika 60).



Slika 60. Prikaz gradske autobuske linije 78

Pravac A (Banjica 2 – Zemun (Novi grad) i pravac B (Zemun (Novi grad) - Banjica 2) se uglavnom poklapaju osim, zbog jednosmernih ulica, u malom delu u Zemunu i kod Starog sajmišta.

Tabela 16. Stanice na liniji 78

Smer A (Banjica 2 – Zemun/Novi grad)				Smer B (Zemun/Novi grad – Banjica 2)			
1	Banjica 2,	21	Šest kaplara,	1	Zemun /Novi grad/,	21	Glavna železnička stanica,
2	Kragujevačkih đaka,	22	Palata Srbija,	2	OŠ Gavriilo Princip	22	Kneza Miloša,
3	Baštovanska,	23	Španskih boraca,	3	Branko Plećaš,	23	Trg Slavija /Nemanjina/,
4	Paunova,	24	Blok 30,	4	Vojni put,	24	Trg Slavija
5	Plivalište banjica,	25	Ulaz u Pariske komune,	5	Prvomajska,	25	Karadordev park,
6	VMA,	26	Fontana,	6	Rada končara,	26	Franše d eperea,
7	Banjica,	27	Goce Delčeva,	7	Bosanska,	27	Trg oslobođenja,
8	Paje Adamova,	28	Pariske komune,	8	Zlatiborska,	28	Stadion crvena zvezda,
9	Bolnica Dragiša Mišović,	29	Paviljoni,	9	Prilaz,	29	Narodnog heroja Milana Tepića,
10	Šekspirova,	30	Birotehnička škola,	10	Paviljoni,	30	Bolnica Dragiše Mišović,
11	Stadion „Crvena zvezda“,	31	Prilaz,	11	Pariske komune,	31	Paje Adamova,

Smer A (Banjica 2 – Zemun/Novi grad)				Smer B (Zemun/Novi grad – Banjica 2)			
12	Trg oslobođenja,	32	Zlatiborska,	12	Goce Delčeva,	32	Banjica,
13	Franše D'Eperea,	33	Bosanska,	13	Fontana,	33	Vojnomedicinska akademija,
14	Karadorđev park,	34	Rada Končara,	14	Go novi beograd,	34	Plivalište Banjica,
15	Trg Slavija /,	35	Prvomajska,	15	Blok 30,	35	Paunova,
16	Trg Slavija /Nemanjina/,	36	Vojni put,	16	Španskih boraca,	36	Baštovanska,
17	Kneza Miloša,	37	Branko Plečaš,	17	Palata Srbija,	37	Kragujevačkih daka,
18	Glavna železnička stanica,	38	OŠ Gavriilo Princip,	18	Šest kaplara,	38	Banjica 2
19	Ekonomski fakultet,	39	Zemun /Novi grad	19	Staro sajmište,		
20	Staro sajmište,			20	Ekonomski fak.		

Radi se o prilično dugoj liniji, sa 38 odnosno 39 stanica, koja spaja dva predgrađa i koja prolazi kroz gusti saobraćaj užih centara Novog Beograda i Beograda. Za pun krug autobusu je potrebno nešto više od dva sata (van saobraćajnog špica), a skoro tri sata u vreme špica.

5.5.5.2 Prigradska autobuska linija

Za ispitivanje ponašanja pneumatika autobusa u prigradskom saobraćaju odabrana je linija Beograd – Donji Tovarnik (Slika 61).



Slika 61. Prikaz autobuske linije Beograd – Donji Tovarnik

Ispitivanje je obavljeno 22.05.2012. godine. Linija Beograd-Donji Tovarnik-Beograd je redovna prigradska linija.

5.5.5.3 Linija međumesnog saobraćaja

Za ispitivanje ponašanja pneumatika autobusa u međumesnom saobraćaju odabrana je linija Beograd – Subotica.



Slika 62. Prikaz autobuske linije Beograd – Subotica

Ispitivanje je obavljeno 06.06.2012.godine i obuhvatilo je jedan kompletan obrt autobusa na liniji Beograd – Subotica – Beograd.

5.5.5.4 Korišćeni autobusi

U gradskom saobraćaju ispitivanje je sprovedeno na solo autobusu Citta SLR proizvedenom u fabrici „Neobus“ u Novom Sadu. Propisani nominalni pritisak u pneumaticima prednje osovine ovih autobusa je 8 bar , a u pneumaticima na pogonskoj osovini 7,5 bar.



Slika 63. Izgled autobusa Neobus CITTA SLR B7R [48]

U prigradskom saobraćaju ispitivanje je sprovedeno na solo autobusu Interubino proizvedenom u fabrici Solaris u Poljskoj (Slika 64). Propisani nominalni pritisak u pneumaticima prednje osovine je 8 bar ,a u pneumaticima na pogonskoj osovini 7,5 bar.



Slika 64. Izgled autobusa Solaris Interurbino [48]

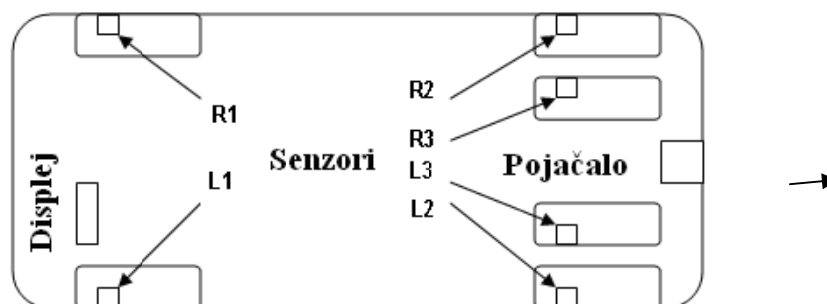


Slika 65. Izgled autobusa Berkhof Axial 70-12 [48]

Na gornjoj slici (Slika 65) prikazan je autobus Berkhof Axial 70-12 koji se koristi u međumesnom saobraćaju. Propisani nominalni pritisak u pneumaticima prednje osovine autobusa Berkhof trebalo bi da bude $8,5 \pm 0,5$ bar, u pneumaticima na pogonskoj osovini $8 \pm 0,5$ bar.

5.5.5.5 Postupak merenja pritiska i temperatura

Na donjoj slici (Slika 66) prikazan je položaj pojedinih elemenata sistema za praćenje i kontrolu pritiska vazduha u pneumaticima.



Slika 66. Šema rasporeda senzora

Senzori se montiraju na sve točkove autobusa. Mesto postavljanja displeja (i prijemnika signala sa senzora) je obično na prednjem staklu ili na tabli sa instrumentima. Proizvođač je predvideo da se prijemnik napaja iz električne mreže autobusa preko utičnice za upaljač. To je izbegnuto nabavkom baterijskog izvora napajanja. Autonomno napajanje je omogućilo da ispitivač kontroliše pritisak vazduha u pneumaticima i kada nije u autobusu, kao i da menja mesto u autobusu. Postojanje autonomnog izvora je isključilo i potrebu za postavljanjem pojačavača signala od senzora na pogonskim točkovima. Dovoljno je da se vrednosti pritiska i temperature vazduha u pneumaticima očitavaju su svakih 15 do 20 minuta. Očitane podatke treba upisati u odgovarajući formular (slika 69). Uz to treba beležiti vreme očitavanja, poziciju autobusa, kao i temperatura okoline.

Slika 69. Formular za upisivanje rezultata putnih merenja pneumatika autobusa

RB	Stanice	Temp. okoline °C	Pritisaci [bar]						Temperature [°C]					
			p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆
1.														
2.														
3.														

Temperature okoline su zapisivane na osnovu pokazivanja termometra postavljenog u karoseriju autobusa.

Na osnovu rezultata ispitivanja potrebno je napraviti određene preglede za sva predviđena ispitivanja:

- Promena pritisaka vazduha u pneumaticima tokom ispitivanja;
- Promena temperatura u pneumaticima tokom ispitivanja;
- Promena temperature okoline tokom ispitivanja.

6. Rezultati i analiza rezultata istraživanja [47]

6.1 Vozni park SP „Lasta“ A.D:

Vozni park SP „Lasta“ se sastoji od 900 autobusa [30] i čine ga uglavnom noviji autobusi različitih tipova i marki (Tabela 17.).

Tabela 17. Struktura voznog parka SP „Lasta“ A.D.*

Vrsta saobraćaja	Tip vozila	Proizvođač
Međunarodni saobraćaj	Double decker	Ayats, Berkhof
	Solo	Berkhof, Bova, Man, Mercedes
Turistički autobusi	Solo	Temsa, Mercedes
	Mini bus	Otokar, Isuzu
Prigradski	Solo	Ikarbus, Sor, Sanos
Gradski	Solo	Ikarbus, Volvo
	Zglobni	Ikarbus, FAP
	Kombi vozila	Iveko

*Izvor: zvanični sajt SP „Lasta“ A.D.

U zavisnosti od vrste prevoza u kome rade (međunarodni, međumesni, prigradski i gradski) Lastini autobusi godišnje prelaze različite kilometraže. Najviše godišnje prelaze autobusi u međunarodnom saobraćaju, a najmanje u gradskom.

Radi lakše indentifikacije svakom od autobusu je dodeljena odgovarajuća interna oznaka – garažni broj. Garažni broj se sastoji od četiri brojne oznake. Broj na prvom mestu označava grupu. Broj na drugom mestu označava marku vozila. Brojevi na trećem i četvrtom mestu predstavljaju redni broj uključivanja vozila u vozni park(Tabela 18).

Tabela 18. Označavanje marke autobusa u SP „Lasta“ A.D.

Oznaka	Marka autobusa	Namena
1	Sanos	prigradski
3	Sanos	prigradski
4	Neobus, Volvo	gradski, prigradski
5	Ikarbus	gradski, prigradski
6	Sanos, Mercedes, Fap	prigradski, međumesni
7	Isuzu, Otokar, Temsa (minibusi) LIAZ, SOLARIS (gradski, prigradski)	minibusi, gradski, prigradski
8	Sor, Bova	prigradski, međumesni
9	Berkhof, Ayats	međumesni i međunarodni

Iz gornje tabele se vidi da je vozni park u SP „Lasta“ A.D. dosta raznorodan po markama i tipovima. Radi se uglavnom o novim vozilima nabavljenim posle 2000. godine, osim autobusa SANOS koji su stariji i koji su u prethodnim godinama generalno remontovani.

U Tabela 19 date su prosečne potrošnje različitih marki i tipova autobusa. Podaci se odnose na period januar – avgust 2011. godine i obuhvataju tri godišnja doba. Osim godišnjeg doba, na potrošnju goriva utiču marka i tipa autobusa, kapacitet autobusa i uslovi eksploatacije. Podaci o prosečnim potrošnjama su dati po vrsti saobraćaja.

Tabela 19. Prosečne potrošnje goriva autobusa u voznom parku SP „Lasta“ AD.

Namena autobusa	Prosečna potrošnja l/100 km
Gradski solo	36,92
Gradski zglobni	60,53
Gradski i prigradski	37,78
Međumesni	32,39
Međunarodni saobraćaj	35,27
Minibus	19,53
Prigradski	32,24

Prikupljeni podaci su korišćeni u kasnijim analizama.

6.2 Pneumatici u voznom parku SP „Lasta“ A.D.

Na autobusima u voznom parku SP „Lasta“ A.D. je, u svakom trenutku, montirano više od 5.000 spoljnih guma različitog porekla i dimenzija, čija je procenjena nabavna vrednost oko 2,5 miliona EUR. Za potrebe istraživanja napravljena je analiza karakteristika montiranih spoljnih guma. Analiza je urađena na osnovu „Pregleda demontiranih spoljnih guma u SP „Lasta“ A.D.“ u 2009., 2010. i 2011. godini⁷ dobijenih od strane tehničke službe SP „Lasta“ A.D.. Analizirani su poreklo spoljnih guma (proizvođač od koga su nabavljene), njihove dimenzije i dimenzije naplataka na koji su bile montirane.

U pogledu porekla spoljnih guma analiza je pokazala da je, u posmatranom periodu, najveći broj skinutih spoljnih guma pripadao tzv „premijum“ brendovima, odnosno premijum proizvođačima⁸. Tu se misli na proizvođače kao što su Yokohama, Goodyear, Pirelli i Michelin. Spoljne gume ovih proizvođača činile su između 67% i 77% „populacije“ u zavisnosti od godine posmatranja (Tabela 20).

Tabela 20. Pregled demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D. po proizvođačima

Marka spoljnih guma	2009. godina		2010. godina		2011. godina*	
	Broj komada	Učešće u populaciji	Broj komada	Učešće u populaciji	Broj komada	Učešće u populaciji
Yokohama**	1.500	45,33%	1.607	49,80%	1.109	46,54%
Sava***	610	18,43%	361	11,19%	367	15,40%

⁷ Podaci su uzeti iz kartona evidencije o pneumaticima skinutih sa autobusa – ZA 01 TO 01/15.

⁸ U skladu sa procedurom „Pravilnik o kvalitetu procesa protektovanja guma za vozila“.

Marka spoljnih guma	2009. godina		2010. godina		2011. godina*	
	Broj komada	Učešće u populaciji	Broj komada	Učešće u populaciji	Broj komada	Učešće u populaciji
Goodyear**	348	10,52%	544	16,86%	419	17,58%
Pirelli**	241	7,28%	123	3,81%	51	2,14%
Michelin**	129	3,90%	212	6,57%	127	5,33%
Falken***	116	3,51%	99	3,07%	64	2,69%
Ostali i bez podataka	365	11,03%	281	8,71%	246	10,32%
Ukupno analizirano	3.309	100,00%	3.227	100,00%	2.383	100,00%
Od toga „premijum” spoljnih guma	2.218	67,03%	2.486	77,03%	1.706	71,59%

* Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine; ** Premium brendovi; *** Ostali brendovi.

U grupi „premijum“ brendova dominantno je učešće spoljnih guma Yokohama (Slika 67 a i b). Ono se kreće, zavisno od godine za koju se posmatra, između 45,33% i 49,80% ukupne populacije.



Slika 67. Modeli spoljnih guma koji su se najviše koristili na autobusima u SP „Lasta“ A.D.

Na drugom mestu po brojnosti su spoljne gume grupacija Goodyear (Goodyear i Sava). Njihovo učešće je između 29% i 33% (Slika 67 c, d i e). Ostali proizvođači su zastupljeni u mnogo manjem procentu.

Na autobusima u SP „Lasta“ A.D. uglavnom su u upotrebi tri dimenzije spoljnih guma (Tabela 21).

⁹ Yokohama RY637 - radijalna spoljna guma za upravljačke osovine namenjena za vozila u dugolinijskom transportu.

¹⁰ Yokohama RY023 - radijalna spoljna guma za regionalnu i gradsku upotrebu, namenjena za sve pozicije na autobusima.

¹¹ Sava City U4 - radijalna spoljna guma za upravljačke ili sve pozicije na gradskim autobusima

¹² Goodyear Marathon LHS II - radijalna spoljna guma za upravljačke osovine vozila u dugolinijskom transportu.

¹³ SAVA Avant 3* - radijalna spoljna guma za upravljačke osovine, namenjena za dugolinijski i regionalni transport.

Tabela 21. Pregled demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D. – načešće korišćene dimenzije

Dimenzije spoljnih guma	2009. godina		2010. godina		2011. godina*	
	Broj komada	Učešće u populaciji	Broj komada	Učešće u populaciji	Broj komada	Učešće u populaciji
295/80R22.5	2.723	82,29%	2.389	74,03%	1.748	73,35%
285/70R19.5	222	6,71%	223	6,91%	219	9,19%
315/80R22.5	127	3,84%	104	3,22%	140	5,87%
Ostali ili bez podataka	237	7,16%	511	15,84%	276	11,58%
Ukupno	3.309	100,00	3.227	100,00%	2.383	100,00%

*Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine

Na prvom mestu su spoljne gume danas već „klasičnih“ dimenzija 295/80R22.5. Njihovo učešće je od 73,35% do 82,29% (zavisno od godine posmatranja). Na drugom mestu su spoljne gume za manje autobuse. Radi se o dimenziji 285/70R19.5 čije se učešće kreće 6,71% do 9,19%. Na trećem mestu su spoljne gume dimenzije 315/80R22.5 (od 3,22% do 5,87%). Ove tri dimenzije obuhvataju više od 84% analiziranih spoljnih guma. Iz pregleda se može uočiti da učešće dimenzije 295/80R22.5 iz godine u godinu polako opada, a da raste učešće druge dve dimenzije. To je verovatno posledica promene u strukturi autobusa u voznom parku SP „Lasta“ A.D.. Svetski trend je da se novi modeli autobusa (ali i sva druga vozila) opremaju spoljnim gumama nižeg profila i/ili veće širine kako bi bolje pratile poboljšane performanse i veće nosivosti novih modela autobusa.

Uz navedene dimenzije spoljnih guma idu i odgovarajuće dimenzije naplataka (Tabela 22).

Tabela 22. Pregled naplataka za najčešće dimenzija spoljnih guma u SP „Lasta“ A.D.

Dimenzije spoljnih guma	Širina naplatka*	
	Preporučena	Optimalna*
295/80R22.5	8,25	9,00
285/70R19.5	8,25	9,00
315/80R22.5	9,00	9,75

*Tehnički katalog firme Goodyear

Novi autobusi dolaze sa već montiranim točkovima, odnosno opremljeni su pneumaticima i naplaticima koje je preporučio proizvođač (autobusa). U okviru istraživanja nije pravljena dalja analiza naplataka koji se koriste na autobusima SP „Lasta“ A.D..

Više detalja iz analize prikupljenih podataka o spoljnim gumama na autobusima SP „Lasta“ A.D. prikazano je u narednim poglavljima.

Stanje spoljnih guma prilikom montaže na autobuse

U ovom odeljku je prikazana samo analize stanja spoljnih guma prilikom montaže na autobuse. Podela je napravljena na osnovu uputstva datog uz karton „Evidencija eksploatacija auto-guma/pneumatika izgrađenih tokom godine“ koji pravi razliku između¹⁴:

- nove spoljne gume,
- jednom protektirane spoljne gume,
- dva puta protektirane spoljne gume,
- tri puta protektirane spoljne gume i
- polovne spoljne gume.

Pojam „polovna“ spoljna guma traži detaljnije razjašnjenje. Pod ovim pojmom podrazumevaju se spoljne gume koje su ranije bile montirane na nekom autobusu pa su nakon nekog vremena skinute, pregledane i popravljene (ako je to bilo potrebno) i stavljene u magacin. Polovne spoljne gume mogu biti ponovo montirane (u skladu sa već spomenutom procedurom) na prednju, ali i na sve druge osovine autobusa. U SP Lasta A.D. koriste se i protektirane spoljne gume. One se, prema važećim propisima¹⁵, montiraju na sve osovine autobusa osim upravljačke. Podaci o montiranim pneumaticima u trenutku montaže, odnosno podaci o proizvođačima, markama, tipovima, dimenzijama, uslovima eksploatacije i stanju, dati su u prilogu rada. Napravljen je i pregled podataka o demontiranim spoljnim gumama napravljen prema stanju prilikom montaže i to za tri prethodne godine (2009., 2010. i 2011. godinu (Tabela 23).

Tabela 23. Pregled demontiranih spoljnih guma u SP „Lasta“ A.D. prema stanju prilikom montaže

Stanje prilikom montaže	2009. godina		2010. godina		2011. godina*	
	Komada	Učešće	Komada	Učešće	Komada	Učešće
Nove	1.332	40,25%	1.311	40,63%	731	30,68%
Jednom protektirane	1.381	41,73%	1.418	43,94%	909	38,15%
Dva puta protektirane	160	4,84%	124	3,84%	71	2,98%
Tri puta protektirane	13	0,39%	1	0,03%	29	1,22%
Polovne	408	12,33%	367	11,37%	314	13,18%
Bez podataka	15	0,45%	6	0,19%	329	13,81%
Ukupno	3.309	100,00%	3.227	40,63%	2.383	100,00%

* Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine

Iz tabele se vidi da je više od polovine svih demontiranih spoljnih guma bilo novo ili polovno prilikom montaže. Drugu polovinu čine protektirane spoljne gume i to najviše one jednom protektirane. Učešće dva ili više puta protektiranih spoljnih guma bilo je znatno manje. Ujednačenost raspodele po godinama remeti 2011. godina u kojoj je veliki broj demontiranih spoljnih guma (13,81%) bio bez potrebnih podataka.

¹⁴ Montirane spoljne gume mogu biti N- novi, Pol- polovni, P1- protektirani jednom, P2- protektirani dva puta i P3- protektirano treći put.

¹⁵ Pravilnik ...

Da bi se dobila jasnija slika napravljena je dopunska analiza u koju su uključene samo demontirane spoljne gume o kojima postoje podaci o stanju pre montaže (Tabela 24).

Tabela 24. Pregled demontiranih spoljnih guma – bez onih za koje ne postoje podaci

Stanje prilikom montaže – korigovan pregled	2009. godina		2010. godina		2011. godina *	
	Komada	Učešće	Komada	Učešće	Komada	Učešće
Nove	1.332	40,44%	1.311	40,70%	731	35,59%
Jednom protektirane	1.381	41,92%	1.418	44,02%	909	44,26%
Dva puta protektirane	160	4,86%	124	3,85%	71	3,46%
Tri puta protektirane	13	0,39%	1	0,03%	29	1,41%
Polovne	408	12,39%	367	11,39%	314	15,29%
Ukupno	3.294	100,00 %	3.221	100,00 %	2.054	100,00%
Ukupno protektiranih pneumatika	1.554	47,18%	1.543	47,90%	1.009	49,12%

*Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine

Iz gornje tabele (Tabela 24) može da se zaključi da je učešće novih spoljnih guma u 2009. i 2010. godini bilo približno isto, a da je u 2011. godini nešto opalo. Učešće polovnih i (jednom) protektiranih spoljnih guma je u 2011. godini poraslo u odnosu na ranije godine.

6.2.1 Stanje spoljnih guma nakon demontaže sa autobusa.

Nakon skidanja sa autobusa vrši se obavezan pregled spoljnih guma. U zavisnosti od procene stručnjaka, spoljne gume se upućuju na protektiranje, u magacin (radi ponovne upotrebe) ili se predlažu za rashod. Popunjeni formulari su dati u prilogu, a analiza spoljnih guma nakon demontaže data je u tabeli za prethodne tri godine (Tabela 25).

Tabela 25. Pregled stanja demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D.

Stanje prilikom demontaže	2009. godina		2010. godina		2011. godina *	
	Komada	Učešće	Komada	Učešće	Komada	Učešće
Rashod	60	1,81%	232	7,20%	141	5,92%
Protektiranje	2.267	68,55%	1.860	57,75%	1.179	49,48%
Ponovna upotreba	591	17,87%	467	14,50%	321	13,47%
Opravka	74	2,24%	56	1,74%	49	2,06%
Nepoznato	315	9,53%	604	18,75%	693	29,08%
Ukupno	3.309	100,00%	3.221	100,00%	2.383	100,00%

*Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine

Iz tabele se vidi, da je već prilikom skidanja utvrđeno da deo spoljnih guma nije bio za dalju upotrebu ili protektiranje. Procenat takvih spoljnih guma je u 2009.godini bio

ispod 2%, a u 2010. godini je porastao na 7,2%. U 2011. godini je procenat spoljnih guma, odmah predloženih za rashod, bio nešto manji i iznosio je 5,92%. Od preostalih skinutih spoljnih guma najveći broj je (na osnovu vizuelnog pregleda) ispunjavao tehničke uslove da bude poslat u protektirnicu u Smederevsku Palanku na dalji postupak. Procenat poslatih spoljnih guma kreće se (zavisno od godine) između 49,48% i 68,55%. To ne znači da su sve poslate spoljne gume i bile protektirane. Podaci iz protektirnice (o kojima će kasnije biti više reči) ukazuju da je samo oko 50% (od poslatih spoljnih guma) uspeo da prođe tehničku kontrolu pre ili u toku pripreme za protektiranje. Nakon protektiranja spoljne gume se po pravilu vraćaju poslovnim organizacijama odakle su i upućene.

Sledeću grupu čine spoljne gume koje su skinute sa vozila i vraćene u magacin da bi kasnije (kao polovne) bile montirane na neko drugo vozilo (od 13,47% do 17,87%). Kod manjeg dela spoljnih guma utvrđena su mala oštećenja, koja su pre odlaganja u magacin popravljena (oko 2%).

Prilikom analize baze podataka uočeno je veliko učešće pregledanih spoljnih guma bez upisane dijagnoze posle pregleda. Njihov procenat iz godine u godinu raste od 9,53% u 2009. godini do 29,08% u 2011. godini. Kao i u prethodnoj analizi slika o skinutim spoljnim gumama je nešto drugačija ukoliko se u obzir uzmu samo one za koje postoje potrebni podaci, odnosno dijagnoze nakon pregleda (Tabela 26).

Tabela 26. Pregled stanja demontiranih spoljnih guma u SP Lasta A.D.

Stanje prilikom demontaže	2009. godina		2010. godina		2011. godina*	
	Komada	Učešće	Komada	Učešće	Komada	Učešće
Rashod	60	2,01%	232	8,87%	141	8,34%
Protektiranje	2.267	75,77%	1.860	71,13%	1.179	69,76%
Ponovna upotreba	591	19,75%	467	17,86%	321	18,99%
Opravka	74	2,47%	56	2,14%	49	2,90%
Ukupno	2.992	100,00%	2.615	100,00%	1.690	100,00%

* Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine

Iz gornje tabele se vidi da je procenat spoljnih guma određenih za rashod u 2010. godini i 2011. godini bio približno isti, ali da je za oko 6% veći nego što je bio u 2009. godini. Procenat spoljnih guma koje se upućuju na protektiranje konstantno opada (sa 75,77% u 2009. godini na 69,76% u 2011.godini) dok je učešće spoljnih guma koje se vraćaju u magacin za ponovnu upotrebu ostalo približno isto.

6.2.2 Pređena kilometraža do skidanja pneumatika sa autobusa

Pneumatici su između montaže na autobus i demontaže sa autobusa prelazili različitu kilometražu. To je zavisilo od marke spoljne gume, marke autobusa na koji su montirani, osovine na koju su montirani, uslova eksploatacije, vozača i drugih faktora. U narednim tabelama prikazani su sređeni podaci o pređenoj kilometraži posebno za svaku od posmatranih godina.

Tabela 27. Prosečna kilometraža skinutih spoljnih guma – različito stanje pri montaži 2009. god

Stanje spoljnih guma pri montaži	Broj skinutih spoljnih guma 2009.	Predlog za dalje rukovanje				
		Rashod	Protektiranje	Ponovna upotreba	Opravka	Bez podataka
		Prosečno kilometara do skidanja				
Nove	1.327	96.089	88.277	65.517	42.987	44.789
Jednom protektirane	1.381	86.169	62.564	41.500	52.831	27.927
Dva puta protektirane	160					
Tri puta protektirane	13					
Ukupno	2.881					

Tabela 28. Pređena kilometraža spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži 2010. god

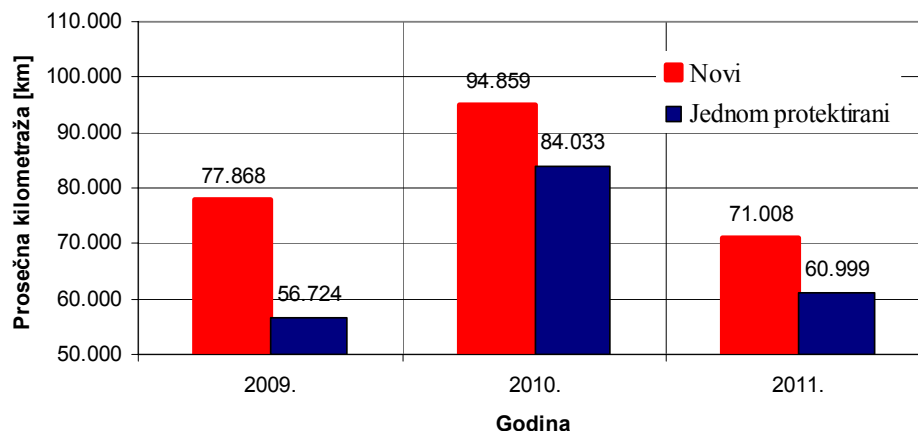
Stanje spoljnih guma pri montaži	Broj skinutih spoljnih guma 2010.	Predlog za dalje rukovanje				
		Rashod	Protektiranje	Ponovna upotreba	Opravka	Bez podataka
		Prosečno kilometara do skidanja				
Nove	1.311	106.704	110.692	68.378	57.740	56.838
Jednom protektirane	1418	83.091	73.946	56.586	43.064	120.907
Dva puta protektirane	124					
Tri puta protektirane	1					
Ukupno	2.854					

Tabela 29. Pređena kilometraža spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži 2011. god*

Stanje spoljnih guma pri montaži	Broj skinutih spoljnih guma 2011.	Predlog za dalje rukovanje				
		Rashod	Protektiranje	Ponovna upotreba	Opravka	Bez podataka
		Prosečno kilometara do skidanja				
Nove	731	65.176	75.189	56.313	63.892	83.794
Jednom protektirane	909	44.136	69.980	33.327	51.637	62.971
Dva puta protektirane	71					
Tri puta protektirane	29					
Ukupno	1740					

* Podaci za prvih 10 meseci 2011. godine

Što se tiče protektiranih spoljnih guma u bazi je bilo dovoljno podataka za analizu samo za nove i jednom protektirane spoljne gume. To se vidi i sa slike Slika 68.



Slika 68. Poređenje prosečnih kilometraža novih i jednom protektiranih spoljnih guma u „Lasti“

Prosečne pređene kilometraže se razlikuju od godine do godine posmatranja. Najviše kilometara su prelazili nove spoljne gume. Nešto manja prosečna kilometraža je kod jedanput protektirane spoljne gume. Za više puta protektirane spoljne gume nije bilo dovoljno podataka o pređenoj kilometraži.

6.2.3 Uticaj uslova eksploatacije na vek pneumatika

Na pređenu kilometražu do skidanja pneumatika sa vozila utiče veliki broj različitih faktora (njihovo poreklo-proizvođač, uslovi eksploatacije, način vožnje vozača, ...). Da bi se o ovim uticajima dobila jasnija slika iz baze podataka izdvojeni su raspoloživi podaci o spoljnim gumama za tri različita uslova eksploatacije (međumesni, prigradski i gradski saobraćaj) i to samo za spoljne gume jednog proizvođača (Yokohama) koji preovlađuje u voznom parku SP „Lasta“ A.D.. Analizirani podaci se odnose na vozne parkove u PO iz Beograda koji je najveći i ima najviše podataka. Ova analiza je bila moguća s obzirom da baze podataka sadrže i informacije o položaju pneumatika na vozilu. Obradeni podaci za točkove prednje – upravljačke i pogonske osovine autobusa dati su u narednim tabelama.

Tabela 30. Pređena kilometraža Yokohama spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži i različiti uslovi eksploatacije 2009. god

Stanje spoljnih guma pri montaži	Međumesni		Prigradski		Gradski	
	Prednja	Pogonska	Prednja	Pogonska	Prednja	Pogonska
Nove	103.184	106.303	80.742		90.397	115.755
Jednom protektirane		73.711		63.620	46.392	45.630
Polovne	78.990	63.955	42.379	44.111	50.269	43.984

Tabela 31. Pređena kilometraža Yokohama spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži i različiti uslovi eksploatacije 2010. god

Stanje spoljnih guma pri montaži	Međumesni		Prigradski		Gradski	
	Prednja	Pogonska	Prednja	Pogonska	Prednja	Pogonska
Nove	97.367	192.496	90.489	92.284	118.737	220.106
Jednom protektirane		108.953		76.783		38.241
Polovne	106.539	70.403	16.064	49.084		

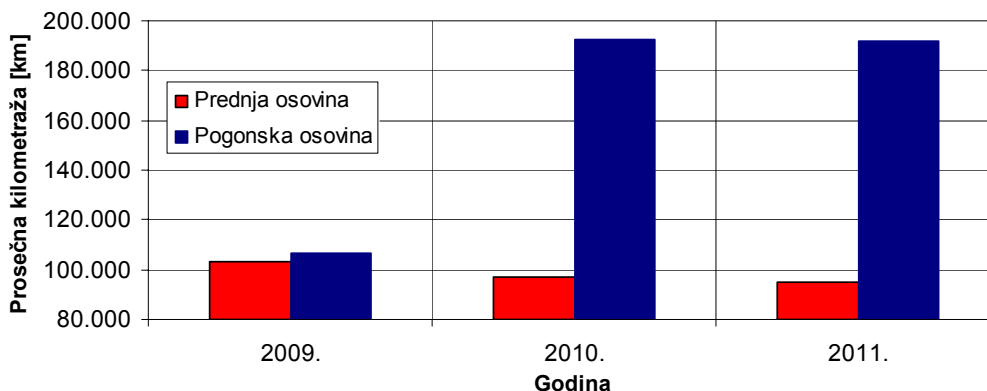
Tabela 32. Pređena kilometraža Yokohama spoljnih guma skinutih sa vozila – različito stanje pri montaži i različiti uslovi eksploatacije 2011. god

Stanje spoljnih guma pri montaži	Međumesni		Prigradski		Gradski	
	Prednja	Pogonska	Prednja	Pogonska	Prednja	Pogonska
Nove	95.117	191.769	65.955	24.183	35.821	
Jednom protektirane		93.309				31.425
Polovne	14.274	50.472			32.416	40.464

Iz gornjih tabela se mogu doneti sledeći zaključci:

- Prvi je da uslovi eksploatacije autobusa imaju uticaja na vek spoljnih guma. Analiza ukazuje da zavisi od njihovog položaja na vozilu. To se vidi i sa slike Slika 69.

Međugradski saobraćaj, nove spoljne gume - Yokohama



Slika 69. Prosečan vek novih spoljnih guma u međumesnom saobraćaju

Rezultati za međumesni saobraćaj ukazuju da je prosečan vek spoljnih guma montiranih na točkove pogonske osovine duži od prosečnog veka spoljnih guma montiranih na prednje osovine autobusa. Razlike su značajne ukoliko se posmatraju podaci za 2010. i 2011. godinu, a relativno male u 2009. godini.

Tačniju sliku o trajnosti spoljnih guma kvare dve stvari: prva, da se deo spoljnih guma skida sa vozila pre vremena i šalje u magacin i druga što se na autobuse (pre svega u gradskom i prigradskom saobraćaju) montiraju „polovne“ spoljne gume skinute sa autobusa koji rade u međumesnom prevozu. U narednoj tabeli data su učešća

„polovnih“ pneumatika montiranih na autobuse SP „Lasta“ A.D za različite uslove saobraćaja (Tabela 33).

Tabela 33. Učešće „polovnih“ Yokohama spoljnih guma montiranih na autobuse u PO „Beograd“

Učešće „polovnih“-već korišćenih spoljnih guma pri montaži	Međumesni	Prigradski	Gradski
2009. godina	12,0%	17,4%	31,3%
2010. godina	12,0%	20,0%	29,0%
2011. godina	15,6%	27,3%	34,3%

Iz tabele se vidi da je učešće „polovnih“ Yokohama spoljnih guma na gradskim autobusima bilo najveće i da se kretalo na nivou od 30% (od 29,0% do 34,3% u zavisnosti od godine posmatranja). Kod prigradskih autobusa taj procenat je manji i iznosi od 17,4% do 27,3%. Na autobusima koji voze u međumesnom saobraćaju procenat „polovnih“ spoljnih guma je najmanji (od 12% do 15,6%).

Skinute spoljne gume, kako je to već ranije rečeno, mogu biti predložene za rashod, poslate na protektiranje, popravku i/ili ponovnu montažu na neko drugo vozilo uz napomenu da se za ponovno korišćenje koriste skoro isključivo neprotektirane spoljne gume. U narednoj tabeli data su relativna učešća ispravnih, već korišćenih, Yokohama spoljnih guma vraćenih u magacin radi ponovne upotrebe (Tabela 34).

Tabela 34. Učešće novih Yokohama spoljnih guma skinutih sa autobusa i vraćenih u magacin radi ponovne upotrebe

Učešće demontiranih spoljnih guma vraćenih u magacin radi ponovne upotrebe	Međumesni	Prigradski	Gradski
2009. godina	31,0%	21,2%	6,5%
2010. godina	22,3%	9,76%	5,0%
2011. godina	15,4%	12,4%	0,0%

Iz gornje tabele (Tabela 34) se vidi da je u ranijim godinama (2009. i 2010.) bila redovna praksa da se polu-pohabane spoljne gume, koje nemaju vidna oštećenja, skidaju sa međumesnih i turističkih autobusa i premeštaju na prigradske i gradske autobuse sa manje zahtevnim uslovima eksploatacije.

U narednoj tabeli dati su podaci o prosečnoj kilometraži Yokohama spoljnih guma do skidanja sa autobusa i vraćanja u magacin radi ponovne upotrebe

Tabela 35. Prosečna kilometraža koju su nove Yokohama spoljne gume prešle do skidanja sa autobusa i vraćanja u magacin radi ponovne upotrebe

Prosečna pređena kilometraža demontiranih novih spoljnih guma vraćenih u magacin radi ponovne upotrebe	Međumesni	Prigradski	Gradski
2009. godina	86.000	78.000	34.000
2010. godina	93.000	63.000	-
2011. godina	87.000	66.000	-

Ispravne (delimično pohabane) Yokohama spoljne gume koje su skidane posle određene kilometraže ponovo su montirane na druge autobuse. Ova kilometraža je iznosila, prema okvirnoj proceni, oko 70% očekivanog veka protektora spoljne gume. Tako su u međumesnom saobraćaju spoljne gume skidane na oko 90.000 km, dok je u prigradskom ta kilometraža iznosila oko 65.000 km (osim u 2009. godini kada je bila viša). Za gradski saobraćaj nema dovoljno podataka za ovu vrstu analize.

Podaci dati u donjoj tabeli (Tabela 36) su sračunati uz pretpostavku da spoljne gume nisu prelazile iz jednog PO u drugi, odnosno da su ponovo montirane na neki od autobusa koji radi u istoj vrsti saobraćaja. Analiza je napravljena samo za 2010. godinu.

Tabela 36. Prosečna kilometraža koju su polovne Yokohama spoljne gume prešle do skidanja sa autobusa

Prosečna predena kilometraža polovnih Yokohama spoljnih guma vraćenih u upotrebu u istu PO – do otkaza	Medumesni	Prigradski	Gradski
2010. godina	48.500	50.500	47.000

Iz tabele se vidi da su analizirane spoljne gume do otkaza prešle relativno veliku kilometražu. Za analizu šta se sa spoljnim gumama događalo nakon skidanja nije bilo dovoljno podataka.

6.3 Rukovanje protektiranim spoljnim gumama u PO „Lasta-Protekt“ iz Smederevske Palanke

SP „Lasta“ A.D. već 35 godina koristi usluge protektiranja svoje PO, odnosno „Lasta-Protekt“-a iz Smederevske Palanke. U ovoj protektirnici se od osnivanja (1978) primenjuje tzv „hladan“ postupak protektiranja spoljnih guma po licenci firme „Bandag“ iz SAD. Osim protektiranja PO „Lasta-Protekt“ pruža i logističku podršku ostalim PO u vidu redovnih i vanrednih kontrola i provera stanja spoljnih guma. Usluga uključuje i proveru pritiska u pneumaticima, proveru istrošenosti protektora, indirektnu kontrolu geometrije vozila i dr.

Struktura protektiranih, odbačenih i popravljenih spoljnih guma je sledeća (Tabela 37).

Tabela 37. Rezultat pregleda spoljnih guma u PO „Lasta-Protekt“ u 2010. i 2011. godini

Godina	Pregledano	Protektirano	Popravljeno	Odbačeno
2010	100,00%	51,79%	2,03%	46,18%
2011	100,00%	53,50%	1,96%	44,54%

Iz gornje tabele se vidi da je odnos između protektiranih i odbačenih spoljnih guma 1,2:1 za protektirane spoljne gume.

Procenat protektiranih spoljnih guma se menja i u zavisnosti da li na protektiranje dolaze nove, jednom protektirane ili više puta protektirane spoljne gume.

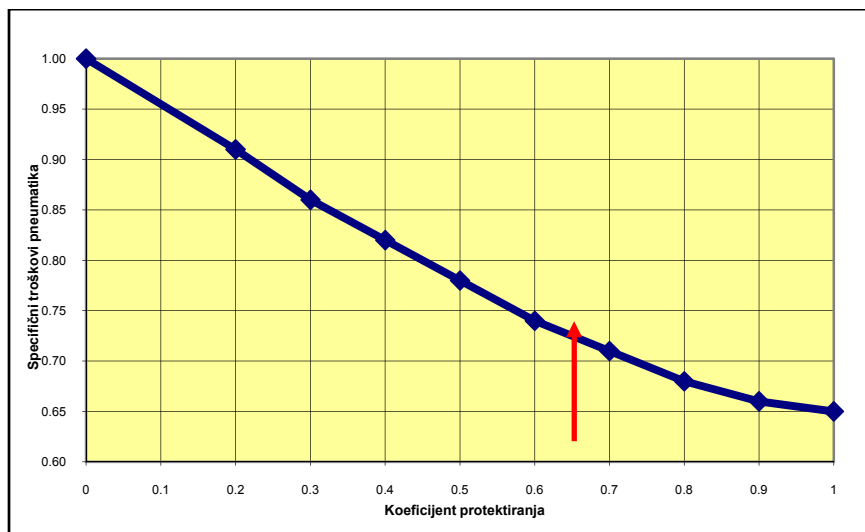
Razlozi za odbacivanje spoljnih guma iz procesa protektiranja su različiti. U tabeli (Tabela 38) data je struktura odbačenih spoljnih guma prema razlozima za neprotektiranje.

Tabela 38. Razlozi za neprotektiranje spoljnih guma u 2010. i 2011. godini

Utvrđeni nedostaci	Godina	
	2010.	2011.
Širografija – separacija unutrašnjih slojeva karkase	14,70%	10,14%
Pukla oko stope spoljne gume	14,60%	14,46%
Oštećena stopa spoljne gume	13,56%	12,11%
Separacija unutrašnjeg i spoljnog dela spoljne gume	10,50%	9,85%
Oštećen bok spoljne gume	6,78%	9,97%
Pukla na boku	6,70%	4,05%
Potrošena do „žice“ pojasa	6,22%	8,05%
Odbačena na grubom brušenju	6,10%	8,67%
Nije za protektiranja (trula guma)	5,37%	6,36%
Polomljena – polomljen bok spoljne gume	5,29%	4,28%
Eksplodirala tokom vožnje	5,21%	7,83%
Oštećenje protektora	2,79%	1,30%
Pukla oko ramena spoljne gume	2,18%	2,93%
Ukupno	201100,00%	201200,00%

Analizom podataka iz gornje tabele može se doneti više zaključaka.

- Prvi, da su troškovi pneumatika (zahvaljujući korišćenju protektiranih spoljnih guma) bar za 23% niži nego kada bi se koristili isključivo nove spoljne gume. Navedeni procenat bi mogao da bude i viši s obzirom da od 100 spoljnih guma koje se iz PO pošalju u Smederevsku Palanku samo 52. ispunjavaju potrebne uslove za protektiranje.



Slika 70. Uticaj koeficijenta protektiranja na specifične troškove pneumatika¹⁶

- Drugi, da bi se određen broj otkaza mogao sprečiti uz bolje održavanje spoljnih guma. Razmotrimo nekoliko primera kao što su: otkazi nazvani „potrošena do „žice“ pojasa“, „oštećena stopa spoljne gume“ i „polomljena – polomljen bok spoljne gume“ predstavljaju više od 25% svih otkaza. Navedeni otkazi su mogli redovnom kontrolom pritiska biti izbegnuti ili odloženi. U tom slučaju bi se broj protektiranih spoljnih guma popeo sa 52 na 57, a možda i 60. To bi značilo uštedu za dodatnih 4%.
- Treći, da se korišćenjem postupka širografije, koji se sprovodi pre početka pripreme spoljnih guma za protektiranje, isključuje između 10,14% i 14,70% od odbačenih spoljnih guma. Uređaj otkriva unutrašnja oštećenja koja radnici u protektirnici, bez obzira na njihovo iskustvo, ne bi mogli otkriti. Da ovaj uređaj ne postoji broj reklamacija na protektiranje bi bio značajno veći. Broj otkrivenih „unutrašnjih“ oštećenja koja su posledica raslojavanja u pojasevima ili karkasi je relativno veliki. Oni mogu biti posledica greške u procesu proizvodnje spoljne gume. To se obično manifestuje u prvih nekoliko hiljada kilometara korišćenja. Drugi razlog su povišene radne temperature usled prepterećenja pri radu (brzine, tereta ili nedovoljno napumpanih pneumatika). Tu bi se boljim rukovanjem i održavanjem mogli takođe napraviti određeni pomaci.

Baze podataka koji se vode u PO „Lasta-protekt“ i mesečni i godišnji izveštaji predstavljaju dragoceni izvor informacija potrebnih za praćenje i unapređivanje stanja u oblasti pneumatika u SP „Lasta“ A.D. Beograd.

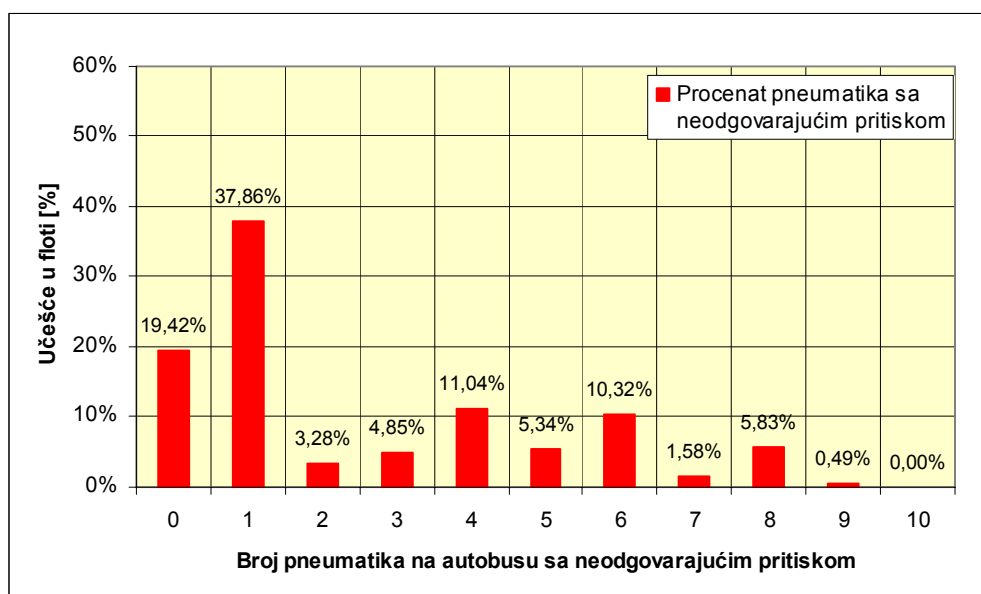
¹⁶ Proračun je napravljen uz pretpostavke da samo 50% od prikupljenih karkasi ispunjava uslov za protektiranje (bez obzira da li se radi o novim ili već protektiranim spoljnim gumama i da je prosek protektiranja dva puta.

6.4 Rezultati i analiza rezultata kontrole pritiska vazduha u pneumaticima autobusa

Redovna kontrola pneumatika na autobusima se vrši jednom mesečno što je u skladu sa Pravilnikom¹⁷. Osim redovnih vrše se vanredne kontrole stanja pritiska u pneumaticima. Ove kontrole su nenajavljene i vrše ih stručnjaci iz protektirnice u Smederevskoj Palanci.

Pritisak vazduha u pneumaticima utiče na ponašanje i performanse autobusa. Niži pritisak izaziva veće zagrevanje pneumatika i povećava opasnost od eksplozije, separacije protektora, pojasa ili karkase i povećava intenzitet habanja. Kako u literaturi i propisima ne postoji univerzalna definicija „nedovoljno napumpanog pneumatika“ za potrebe ovog istraživanja usvojeno je da se pneumatik kod koga je pritisak za 0,5 bar i više niži od propisanog smatra „nedovoljno napumpanim“, a onaj kod koga je pritisak za 0,2 bar do 0,5 bar niži od propisanog treba smatrati „umereno ne napumpanim pneumatikom“.

U okviru ovih istraživanja analizirani su redovni i vanredni izveštaji kontrole pritisak za 2010. i 2011. godinu u SP „Lasta“ A.D.. Ukupno je kontrolisano 823 autobusa i ukupno 3.260 pneumatika. Ispitivanja su pokazala da je 19,4% autobusa imalo sve pneumatike propisno napumpane. Ostalih 80,6% imalo je jedan ili više pneumatika sa neodgovarajućim pritiskom (Slika 71).

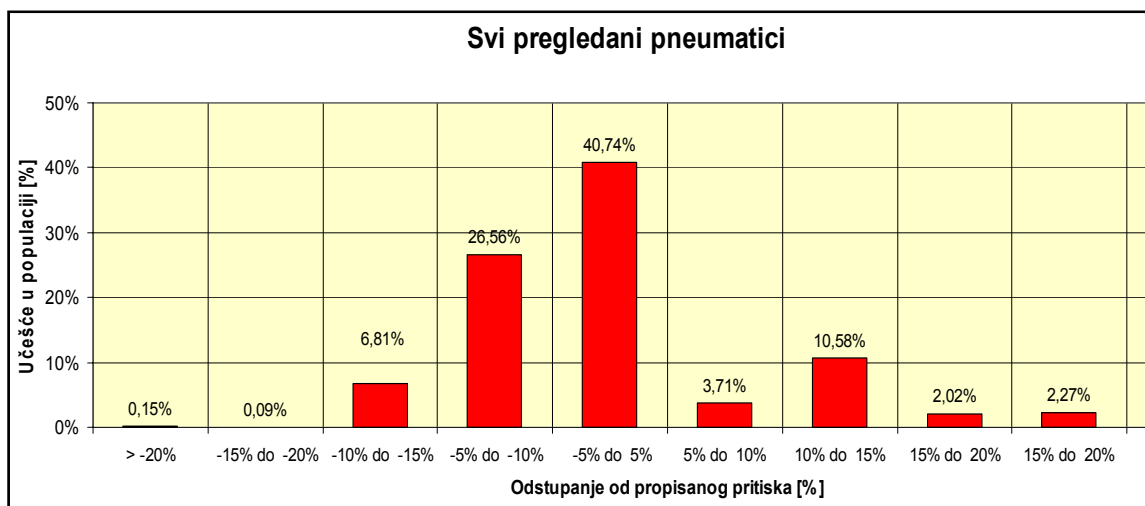


Slika 71. Učešće autobusa sa neodgovarajućim pritiskom vazduha u pneumaticima u voznom parku SP „Lasta“ A.D.

Najviše autobusa je imalo samo jedan pneumatik sa neodgovarajućim pritiskom (37,86%), a na ostalim autobusima je utvrđeno da je taj veći.

Na donjoj slici (Slika 72) dati su zbirni rezultati kontrole pritisaka vazduha u pneumaticima autobusa u SP „Lasta“ A.D..

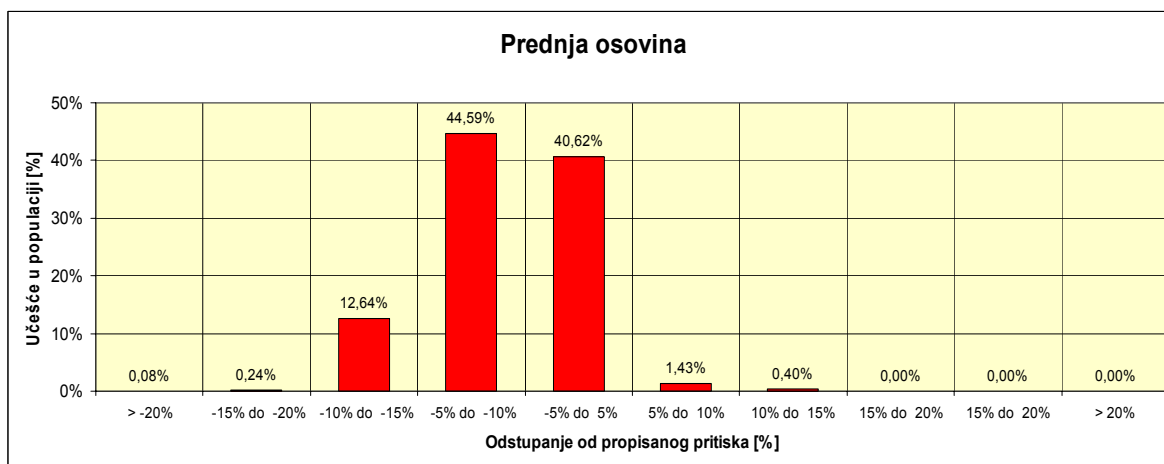
¹⁷ U skladu sa članom 6.61 Pravilnika o kvalitetu procesa protektovanja guma za vozila



Slika 72. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za sve kontrolisane pneumatike

Sa slike se vidi da oko 41% kontrolisanih pneumatika ima pritisak koji je u granicama od $\pm 5\%$ od propisanog. Oko 30% je u granicama od 5% do 10%, a ostalih 29% su izvan granica od 10%. Interesantno je zapaziti da je 22% pneumatika prilikom kontrole imalo viši pritisak (preko 5%) od propisanog. Mogući razlog za ovu, inače neobičajenu, pojavu je vreme obavljanja kontrole, odnosno momenat kada je vršena kontrola pritiska u pneumaticima. Ukoliko je ona vršena posle povratka vozila sa linije kada su pneumatiki zagrejani toliki procenat „prepumpanih“ pneumatika je moguć.

Slična analiza napravljena je sa rezultatima kontrole pritiska prednjih – upravljačkih točkova autobusa (Slika 73). U analizu su uključena merenja pritisaka vazduha na 1.258 pneumatika montiranih na prednje osovine autobusa.

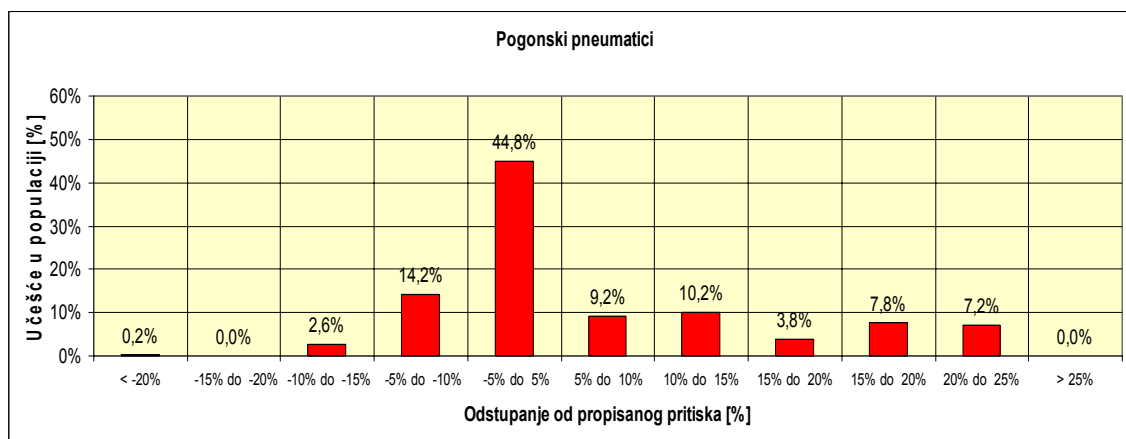


Slika 73. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatiki na prednjim upravljačkim osovinama autobusa

Sa gornje slike (Slika 73) se vidi da je pritisak kod 41% kontrolisanih pneumatika u granicama od $\pm 5\%$ od propisanog pritiska. U 46% slučajeva odstupanje je veće od 5% i manje 10%, kod ostalih 13% su izvan granica od $\pm 10\%$. U ovom slučaju je procenat

pneumatika sa višim pritiskom (preko 5%) od propisanog je značajno niži (svega oko 2%).

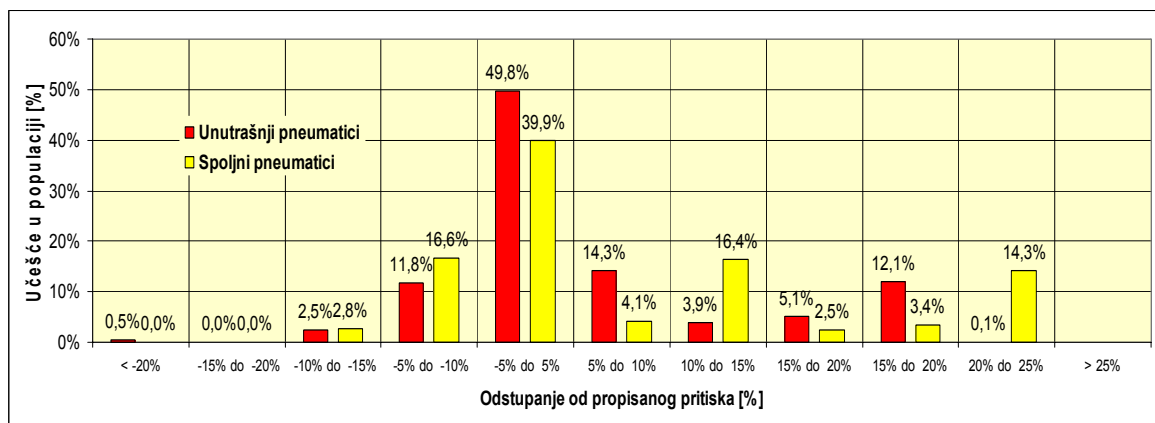
Analiza kontrolisanih pritisaka u pneumaticima na pogonskim osovina autobusa prikazana je na donjoj slici (Slika 74). U analizu su uključena merenja pritisaka vazduha na 1.740 pneumatika montiranih na pogonske osovine autobusa.



Slika 74. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatiki na pogonskim osovina autobusa

Propisani pritisak, odnosno pritisak u granicama $\pm 5\%$ imalo je skoro 47% pneumatika. Između 5% i 10% odstupanja od propisanog pritiska ima oko 30% pneumatika. Odstupanje veće od 10% imalo je skoro 23% pneumatika. Više od 38% pneumatika imalo je viši pritisak od propisanog. Veliki procenat prepumpanih pneumatika traži posebnu analizu. Razlog je verovatno vreme kontrole, odnosno kontrola pritiska vazduha u „toplim“ pneumaticima.

Takođe, posebno su analizirani izmereni pritisci u udvojenim pneumaticima (u unutrašnjim i spoljnim). Utvrđene raspodele prikazane su na donjoj slici (Slika 75).

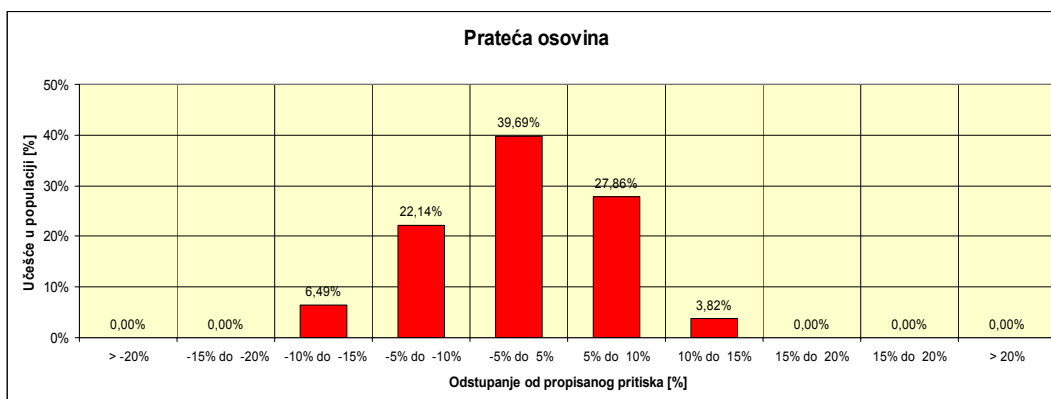


Slika 75. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatiki na pogonskim osovina autobusa

Sa gornje slike (Slika 75) se vidi da postoje razlike u pritisku pumpanja između unutrašnjih i spoljnih pneumatika. Koliko bi one mogle uticati na ponašanje autobusa

biće razmatrano u daljem tekstu. Interesantno je da su kod unutrašnjih pneumatika (50,2%) utvrđena manja odstupanja od propisanog pritiska nego kod spoljašnjih (60,1%). Obe grupe pneumatika su u velikom procentu prepumpani. Taj procenat kod unutrašnjih iznosi 35%, a kod spoljašnjih čak 41%.

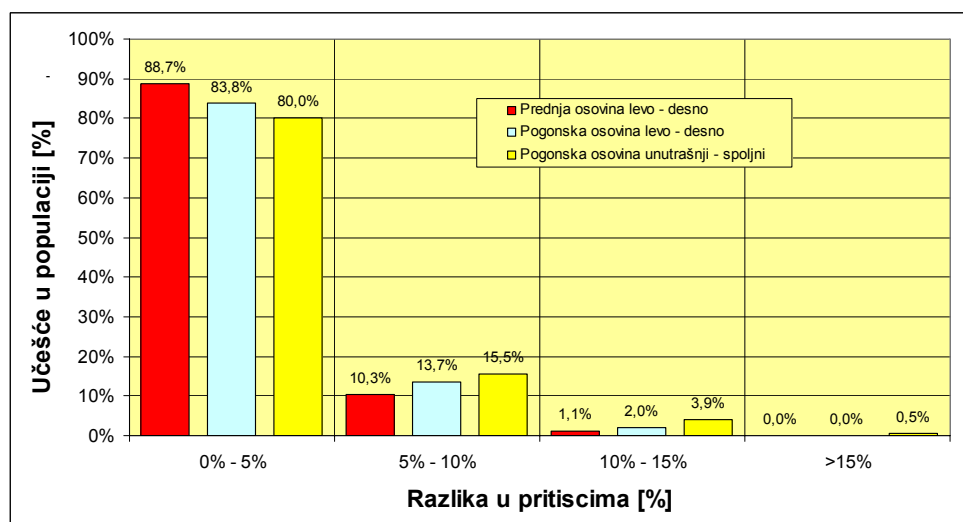
Analizirani su i kontrolisani pritisci u pneumaticimima na pratećim osovinaama zglobnih autobusa (262 komada). Na donjoj slici (Slika 76) dati su rezultati analize kontrolisanih pritisaka vazduha u pneumaticima zglobnih autobusa.



Slika 76. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti – pneumatici na pratećim osovinaama zglobnih autobusa

U ovom slučaju oko 40% kontrolisanih pneumatika ima ispravan pritisak. Drugih 50% ima pritisak koji se za 5% do 10% razlikuje od propisanog, a oko 10% kontrolisanih pneumatika ima odstupanje veće od 10%. Kod ove grupe je utvrđen i značajan broj pneumatika (32%) koji su prepumpani.

Za bezbednu i pouzdanu eksploataciju pneumatika veoma je važno da se obezbede približno isti pritisci vazduha na levoj i desnoj strani iste osovine. Rezultati ove provere kontrolisanih pritisaka prikazani su na slici Slika 77.



Slika 77. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti levi i desni pneumatici

Sa dijagrama se vidi da najveći deo levih i desnih točkova ima isti ili sličan pritisak vazduha u pneumaticima. Kod pneumatika na prednjoj osovini taj procenat je skoro 90%, kod pneumatika na pogonskoj osovini je nešto niži i iznosi 84%. S obzirom da su pogonski pneumatici kod autobusa udvojeni napravljeno je i poređenje između „spoljnih“ i „unutrašnjih“ točkova i tu je rezultat 80%. U ostalim slučajevima razlike su veće i iznose 5%, 10% pa i više procenata.

6.4.1 Komentari rezultata kontrole pritiska vazduha u pneumaticima autobusa

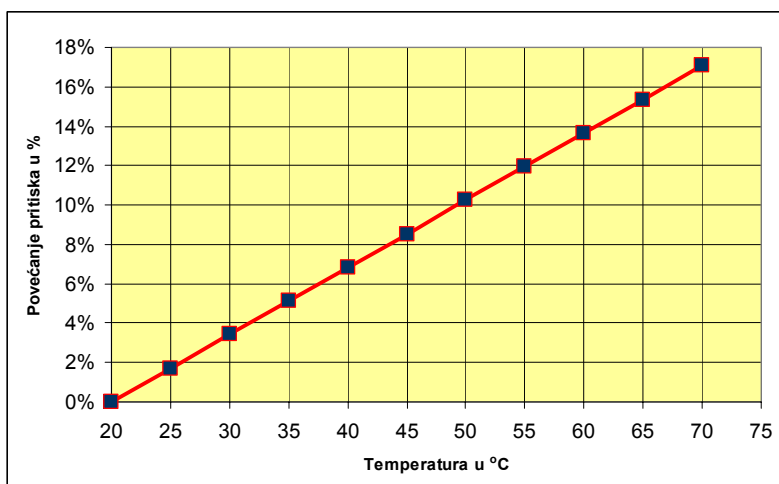
Pneumatike, prema pravilima koje propisuju proizvođači spoljnih guma treba kontrolisati i dopumpavati isključivo kada su „hladni“, odnosno kada je temperatura vazduha u pneumaticima izjednačena (ili približna) sa temperaturom okoline. Pretpostavlja se da je temperatura „hladnog“ pneumatika tada oko 20°C ili 293K.

U eksploataciji se pneumatici, pa i vazduh u njima, zagrevaju. S obzirom da se vazduh može smatrati idealnim gasom zavisnost temperature i pritiska se može predstaviti poznatom formulom:

$$p_1 = p_0 \cdot \frac{T_1}{T_0} = p_0 \cdot \frac{(273 + t_1)}{(273 + t_0)}$$

gde je: p_1 – apsolutni pritisak vazduha u zagrejanom pneumaticu, p_0 – apsolutni pritisak vazduha prilikom pumpanja; T_1 temperatura vazduha u zagrejanom pneumaticu u K; T_0 – temperatura vazduha u „hladnom“ pneumaticu u K; t_1 – temperatura vazduha u zagrejanom pneumaticu u °C; t_0 temperatura vazduha u „hladnom“ pneumaticu u °C.

Koliko promena temperature vazduha u pneumaticu može uticati na promenu pritiska vidi se sa sledećeg dijagrama (Slika 78).



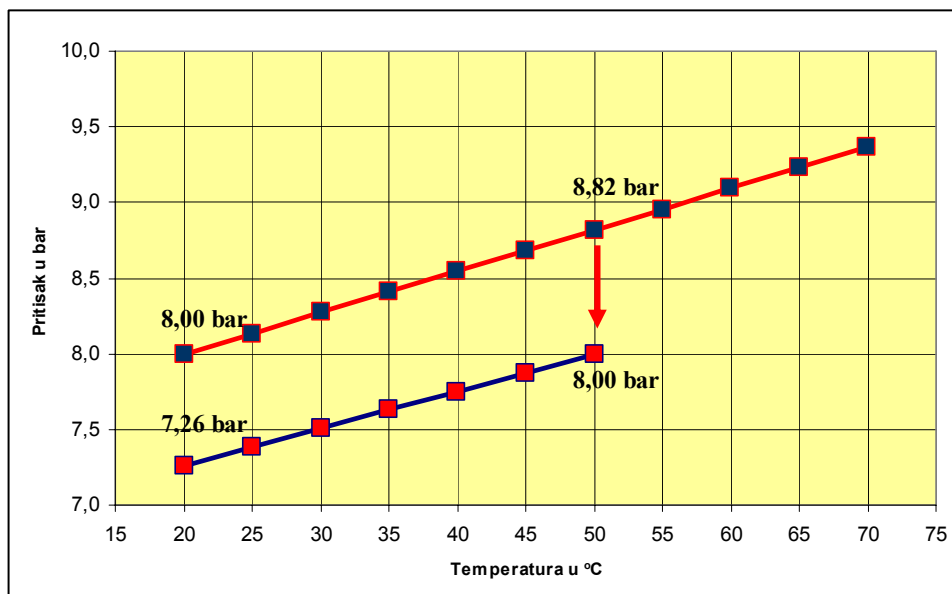
Slika 78. Porast pritiska vazduha usled porasta temperature vazduha u pneumaticu

Sa slike se vidi da će se pritisak vazduha u pneumaticu, ukoliko se temperatura vazduha u pneumaticu promeni za 10 °C, u odnosu na prvobitnu, promeniti za približno 4%. To bi značilo da ukoliko jedan pneumatic na automobilu napumpamo na propisani pritisak u garaži na 20°C, a drugi napumpamo na pumpi na isti pritisak ali pri temperaturi okoline od 30°C, da će kada se budemo vratili u garažu i kada se vazduh bude ohladio na 20°C pritisci u ta dva pneumatika biti različiti. Iz prethodno rečenog proističe da

poređenje pritiska vazduha u pneumaticima bez podataka o temperaturi vazduha nije validno.

Drugi problem koji se, osim nepouzdanosti informacija, može javiti, pri ovakvim kontrolama pritiska je to što procedura kaže da se, ukoliko pritisak vazduha u pneumaticu odstupa od propisanog, treba dovesti na propisani. Tu bi mogla da se napravi greška jer ukoliko bi se vazduh iz zagrejanog pneumatika ispustio i pritisak doveo na propisani umesto „prepumpnog“ dobili bi nedovoljno napumpan pneumatik.

To se vidi i sa slike Slika 79.



Slika 79. Šta se događa kada se pneumatik ispušava dok je vazduh u njemu na višoj temperaturi od temperature okoline

Sa Slika 79 se vidi da u propisno napumpanom pneumaticu pritisak vazduha (8 bar) poraste za više od 10% na 8,82 bar ukoliko se temperatura vazduha u pneumaticu poveća za 30°C. Ukoliko se prilikom kontrole pritiska vazduh ispusti i pritisak dovede na propisanih 8 bar stvarni pritisak u pneumaticu biće, kada se temperatura vazduha u pneumaticu vrati na propisanih 20°C, samo 7,26 bar ili za više od 9% niži od propisanog.

6.5 Rezultati i analiza putnih ispitivanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D. [15]

6.5.1 Ispitivanje režima opterećenja pneumatika autobusa u gradskom saobraćaju

Ispitivanja promena pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa trajalo je dva radna dana i obuhvatilo je dva kompletna obrta autobusa na liniji 78. Rezultati merenja su dati u prilogu izveštaja.

Senzori su montirani na solo autobus Citta SLR proizvodnje kompanije Neobus prema dogovorenom rasporedu:

- | | |
|--|---|
| 1. Prednji levi točak – L ₁ | 2. Prednji desni točak – R ₁ |
| 3. Zadnji spoljni levi – L ₂ | 4. Zadnji unutrašnji desni – R ₂ ; |
| 5. Zadnji unutrašnji levi – L ₃ ; | 6. Zadnji spoljni desni – R ₃ . |

Propisani pritisci za ovaj tip autobusa, kao što je već ranije rečeno, su 8 bar za pneumatike na prednjoj osovini i 7,5 bar na zadnjoj osovini.

Pre početka ispitivanja sa gradskim autobusom izvršeno je i poređenje pokazivanja na monitoru TPMS-a i na baždarenom manometru koji se koristi u vulkanizerskom odeljenju u PO „Lasta“ Beograd. Dobijene vrednosti za prednji desni točak su prikazane u tabeli Tabela 39. Poređenje rezultata merenja uređaja Colorful TPMS LM6180 i baždarenog manometra u SP „Lasta“ A.D.

Tabela 39. Poređenje rezultata merenja uređaja Colorful TPMS LM6180 i baždarenog manometra u SP „Lasta“ A.D.

Položaj točka	Manometar [bar]	TPMS istovremeno sa merenjem manometrom [bar]	TPMS poslednje merenje u vožnji [bar]
Prednji desni točak	7,5	7,7	8,2

Na prednjem desnom točku je uočena razlika između izmerene i očitane vrednosti pritiska koja je iznosila 0,2 bar i to u korist očitane vrednosti na monitoru. Razlika od 3% se može smatrati zadovoljavajućom za ovu vrstu ispitivanja. Tačnost merenja temperatura nije kontrolisana.

Razlika između očitanih i izmerenih pritiska je značajna i za to postoji više mogućih objašnjenja:

- Da senzori sistematski pokazuju viši pritisak vazduha u pneumaticima od stvarnog. Prilikom provere rada senzora ustanovljena je da postoji razlika između očitane i izmerene vrednosti pritiska (vidi tabelu) koja je iznosila 0,2 bar što iznosi oko 3% od vrednosti izmerene manometrom. Greška merenja od 3% je mnogo manja od razlika koje su očitane na početku ispitivanja i koje se kreću između 0,8 bar i 1,1 bar (za 10% do 13%) u odnosu na propisane vrednosti;
- Da su radnici u vulkanizerskom odeljenju prepumpali pneumatike pripremajući autobus za ispitivanje. Ova mogućnost uvek postoji ali je malo verovatna. Radi

se o iskusnim radnicima koji održavaju pneumatike autobusa već dugi niz godina i njima se takva greška teško može desiti;

- Treća pretpostavka ima i najveću šansu da je ispravna, a to je da je temperatura okoline i vazduha u pneumaticima u vreme provere pritiska i eventualnog dopumpavanja bila značajno niža od 20°C. Pretpostavka je da se održavanje autobusa i pneumatika obavlja uglavnom noću. Spoljna temperatura u Beogradu 10.05.2012. godine bila je između 10°C i 12°C (između ponoći i tri sata ujutru), a u 10 sati istog dana 23°C. Razlike u spoljnoj temperaturi uticale su na promenu pritiska vazduha u „hladnom“¹⁸ pneumatiku. Pretpostavimo da je temperatura u trenutku pumpanja bila 10°C i da je pneumatik dopumpan na 8 bar. Pošto je tokom tog dana temperatura porasla na 23°C i pritisak vazduha u pneumatiku je sa prvobitnih 8 bar porastao na 8,4 bar. Na radnoj temperaturi od 31°C, kolika je bila u trenutku merenja na prednjem levom točku, izračunati pritisak bi iznosio 8,7 bar. Ta vrednost je bliska izmerenim, odnosno nalazi se u granicama od 3% za koliko smo rekli da se očitavanja sa senzora razlikuje od onoga što pokazuje manometar (Tabela 39).

Ispitivanje je počelo 10.05.2012. godine i to od stanice Zemun/Novi grad. Pre polaska autobusa (u 9⁴⁵) očitani su pritisci i temperature u svim pneumaticima osim u zadnjem levom od koga nije bilo odziva ni kasnije tokom većeg dela ispitivanja. Temperatura u Beogradu u vreme ispitivanja bila je između 23°C i 29°C.

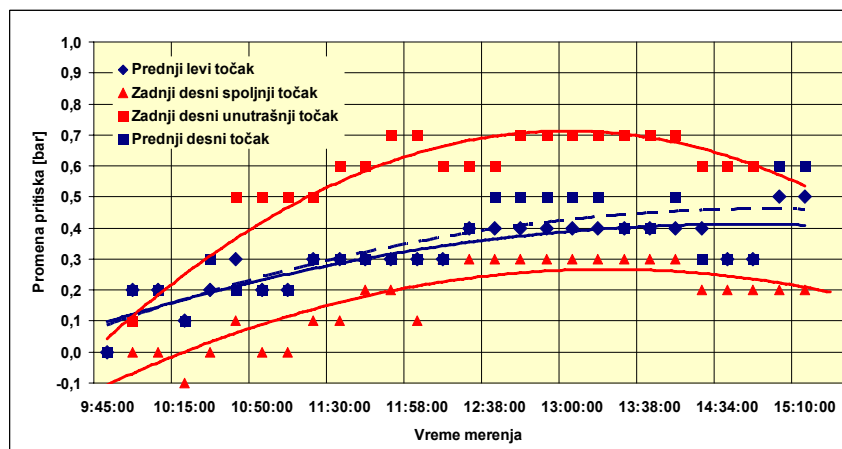
Tabela 40. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa na početku ispitivanja (polazna stanica Zemun/Novi grad)

Točak	Prednji levi	Prednji desni	Zadnji levi spoljni	Zadnji levi unutrašnji	Zadnji desni unutrašnji	Zadnji desni spoljni
Pritisak u pneumaticima [bar]	8,8	9,0	9,1	-	8,7	8,9
Temperatura u pneumaticima [°C]	31	30	30	-	28	26

Ispitivanje je prekinuto u 12²⁸ i nastavljeno, od istog mesta (trg Slavija) narednog dana, od 12³⁸ do 15¹⁰. Izmereni pritisci vazduha u pneumaticima kretali su se između 9 bar i 10 bara, a temperature između 30°C i 43°C. Na narednom dijagramu prikazane su promene pritiska i temperatura u prednjim pneumaticima autobusa (Slika 80).

¹⁸ Pod pojmom „hladan“ pneumatik se podrazumeva pneumatik u kome je temperatura vazduha pod pritiskom približno jednaka temperaturi spoljnog vazduha.

delimično utiču da se ovaj porast uspori. Na slici (Slika 82) prikazana je promena pritiska (u odnosu na početni) za pneumatike na prednjoj i zadnjoj osovini gradskog autobusa.

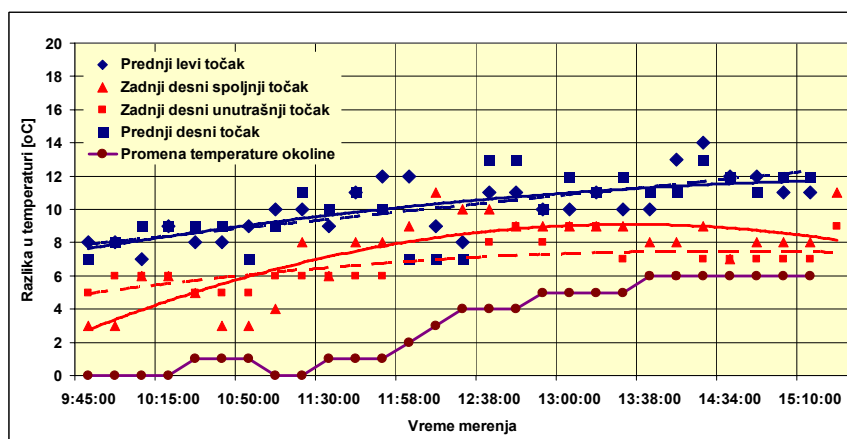


Slika 82. Promene pritiska vazduha (u odnosu na početne) u pneumaticima gradskog autobusa

Razlike pritiska vazduha u prednjim pneumaticima su tokom vožnje sinhrono rastle (u funkciji promene temperatura) do maksimalnih 0,5 bar u prednjem levom i 0,6 bar u prednjem desnom pneumaticu.

Na zadnjim desnim pneumaticima takođe imamo porast razlika između početnog i izmerenog pritiska koji traje do 13⁰⁰. Nakon toga počinje stagnacija, kasnije i opadanje. Sa dijagrama je uočljivo da postoji razlika u ponašanju između unutrašnjeg i spoljnog pneumatika. Porast pritiska u odnosu na početni je brži i dostignuta vrednost viša (0,7 bar) nego kod unutrašnjeg pneumatika (0,3 bar).

Kod promene temperatura važan pokazatelj je razlika temperature vazduha u pneumaticu i temperature spoljne sredine. Što je ta razlika veća to bi trebalo da znači i da je pneumatik opterećeniji. Na donjoj slici (slika 84) na dijagramu prikazane su razlike spoljne temperature i temperature vazduha u pneumaticima gradskog autobusa.



Slika 84. Razlike između spoljne temperature i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa

Temperatura okoline od početka do kraja ispitivanja porasla je za 6°C. Vazduh u pneumaticima na prednjoj osovini je bio topliji od spoljne sredine na početku ispitivanja prosečno za 8°C. Na kraju ispitivanja ta razlika je porasla na prosečnih 12°C. Razlike između spoljne temperature i temperature u pneumaticima zadnje osovine u početku (takođe) rastu, a kasnije počinju da stagniraju. Kod spoljnog točka pri kraju ispitivanja ta razlika počinje čak i da se smanjuje.

6.5.2 Ispitivanje režima opterećenja pneumatika autobusa u prigradskom saobraćaju

Za ispitivanje ponašanja pneumatika autobusa u prigradskom saobraćaju odabrana je linija Beograd – Donji Tovarnik. Ispitivanje je obavljeno 22.05.2012. godine. Linija Beograd-Donji Tovarnik-Beograd je redovna prigradska linija sa polaskom u jutarnjim časovima, tačnije u 6.50. Uređaj za praćenje temperature i pritiska u pneumaticima je postavljen pre nego što je vozilo bilo na spavanju odnosno prethodnog dana, tako da se odmah istog trenutka i krenulo sa merenjem. U pitanju je bilo vozilo-autobus marke Solaris, tipa Interurbino. Prvo merenje je obavljeno na Lastinoj stanici u Beogradu u vreme polaska 6⁵⁰. Svako sledeće merenje odvijalo se na 15 min. Linija Beograd-Donji Tovarnik-Beograd, je raznovrsna linija koja jednim delom prolazi autoputem, a drugim delom kroz naselja. Putovanje na pomenutoj liniji, u jednom smeru, vremenski gledano traje oko 2 h, tako da se u toku vožnje obavilo u jednom smeru 8 merenja, dakle ukupno 16 u odlasku i povratku. Vozilo je, nakon pristizanja u Donji Tovarnik mirovalo 15 min. Povratak za Beograd započet je u 8.50 h. Vreme pristizanja vozila na Lastinu beogradsku stanicu bilo je 11.00 h kada je obavljeno i poslednje merenje. Takođe, istog dana obavljeno je još jedno merenje u kasnim popodnevним časovima, tačnije u 19.00 h nakon završetka dnevne smene. Kompletno ispitivanje je ponovljeno i narednog dana 23.05.2012. godine.

Pre polaska na ispitivanje inicijalizovan je merni uređaj i izmerene su temperature i pritisci u svim pneumaticima

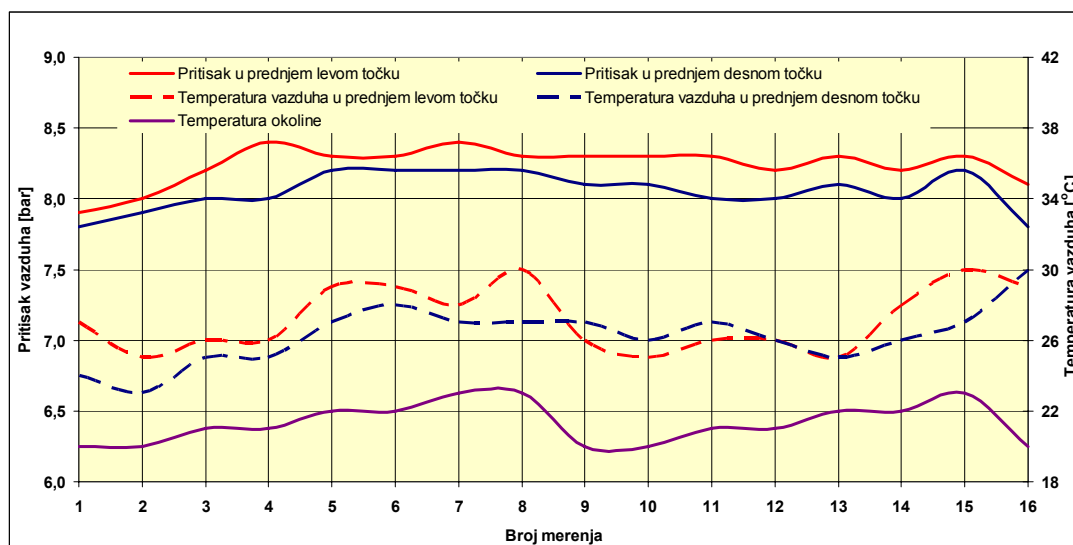
Tabela 41

Tabela 41. Rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa (stanica „Lasta“) – merenje broj 1 pre polaska autobusa

Točak	Prednji levi	Prednji desni	Zadnji levi spoljni	Zadnji levi unutrašnji	Zadnji desni unutrašnji	Zadnji desni spoljni
Pritisak u pneumaticima [bar]	7,9	7,8	7,1	6,8	6,8	6,6
Temperatura u pneumaticima [°C]	27	24	26	24	24	24

Ispitivanje je završeno kada se autobus vratio u polaznu stanicu u 10⁰⁵ (merenje 14). Merenje 15 je obavljeno u Lastinoj garaži u 11³⁰. Tada je izvršeno i upoređenje pokazivanja TPMS uređaja i manometra. Poslednje merenje obavljeno je na Lastinoj stanici u 19⁰⁰ kada se autobus vratio sa ture do Donjeg Tovarnika. Rezultati merenja su dati u prilogu izveštaja.

Na donjoj slici (Slika 83) prikazani su rezultati merenja pritisaka i temperatura vazduha pneumatika na prednjoj osovini autobusa Interurbino Solaris.

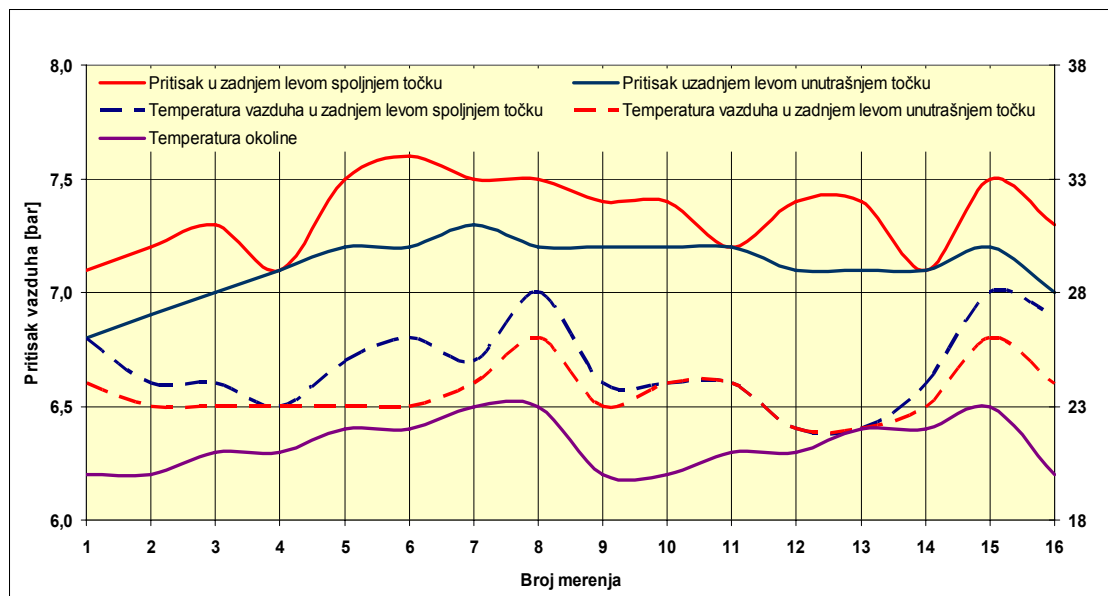


Slika 83. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima prednje osovine prigradskog autobusa

Tokom ispitivanja nije dolazilo do značajnih promena pritiska i temperatura u pneumaticima prednje osovine. Na to je delimično uticala i temperatura okoline koja je sredinom prepodneva počela čak i da opada. Uočena je i konstantna, ali ne mnogo velika, razlika u pritiscima vazduha u prednjim točkovima autobusa (max 0,3 bar). Pritisci su se kretali na nivou od oko 8 bar, a temperature oko vrednosti od 35°C. To navodi na zaključak da su pneumatici bili inicijalno nedovoljno napumpani što pokazuju i merenja obavljena u „Lastinjoj“ garaži. Tada izmereni pritisak vazduha u prednjem desnom točku bio je 7,5 bar što je niže od propisanog pritiska vazduha koji za prednju osovinu i ovaj tip autobusa (Solaris Interturbino) iznosi 8 bar.

Temperature vazduha su tokom celog ispitivanja bile iste ili slične u oba točka na prednjoj osovinu. Maksimalna razlika je bila 4 stepena.

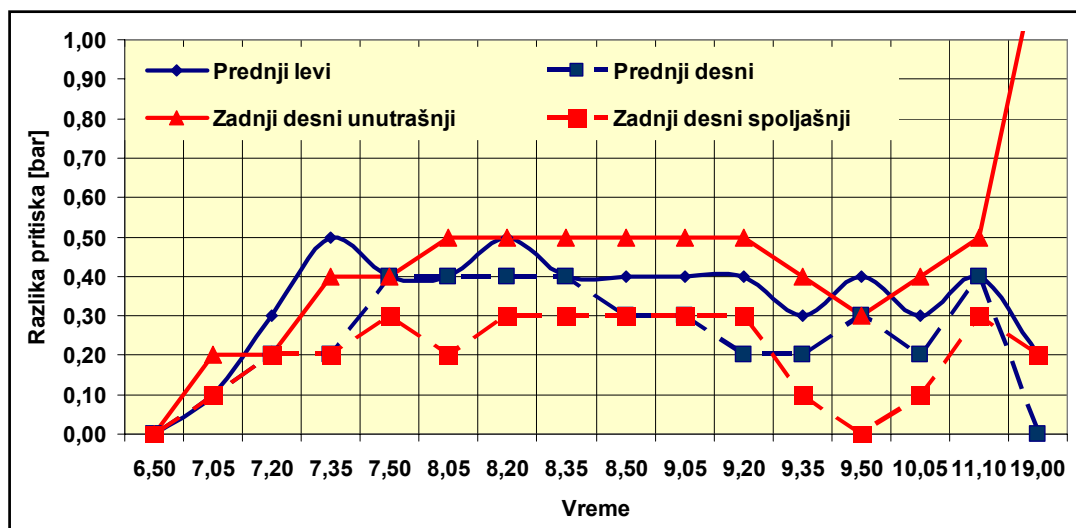
Na slici prikazani su rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima na zadnjoj osovinu autobusa Interurbino Solaris.



Slika 84. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima zadnje osovine prigradskog autobusa

Tokom ispitivanja nije dolazilo do značajnih promena pritiska i temperatura ni u pneumaticima zadnje osovine. Izmereni pritisak u zadnjem desnom pneumaticu bio je nešto iznad 7 bar. To navodi na zaključak da su i pneumatici na zadnoj osovine bili nedovoljno napumpani što je niže od propisanog za taj tip autobusa (za Solaris Interturbino iznosi 7,5 bar).

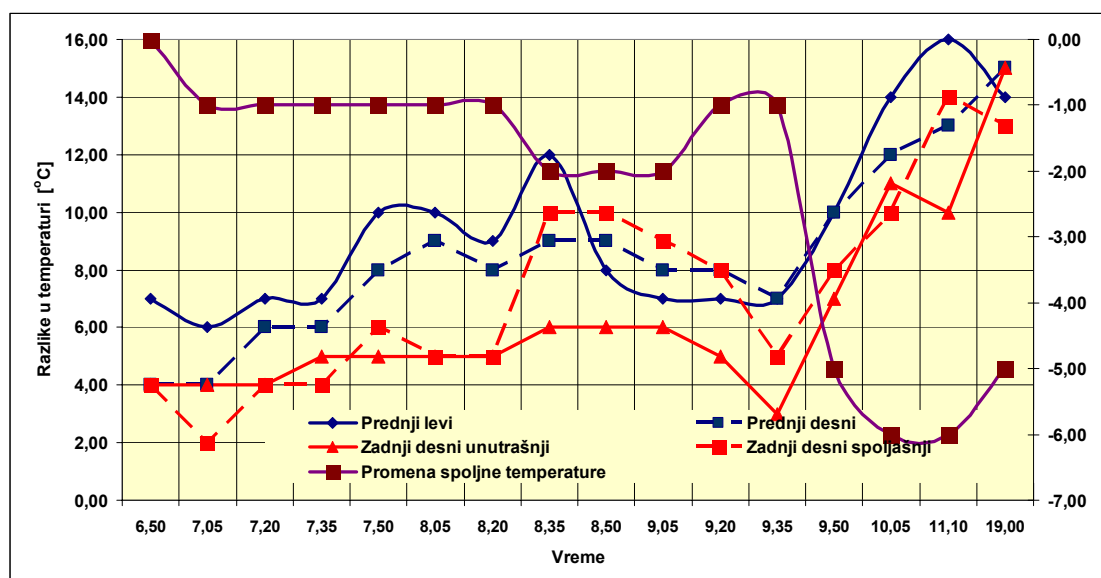
Na donjoj slici (Slika 85) prikazana je promena pritiska (u odnosu na početni) za pneumatike na prednjoj i zadnjoj osovine prigradskog autobusa.



Slika 85. Promene pritiska vazduha (u odnosu na početne) u pneumaticima prigradskog autobusa

Pritisaci vazduha u pneumaticima rastu u prvih sat vremena vožnje i nakon toga stagniraju. Razlike pritiska su se kod prednjih, ali i kod zadnjih točkova uglavnom kretale u granicama između 0,2 bar i 0,6 bar. Na povratku u Beograd (oko 10.00) došlo

je do oscilacija u pritisku. U pneumaticima na prednjoj osovini pritisci su porasli, a u pneumaticima na zadnjoj osovini opali. Pad pritiska je izrazitiji u zadnjem desnom spoljašnjem točku. Prilikom poslednjeg merenja u 19.00 utvrđeno je da je razlika pritisaka u zadnjem desnom unutrašnjem točku između početka i kraja ispitivanja bio čak 1,2 bar. Na donjoj slici (Slika 86) prikazane su razlike spoljne temperature i temperatura u pneumaticima prigradskog autobusa.



Slika 86. Razlike između spoljne temperature i temperatura vazduha u pneumaticima prigradskog autobusa

Temperatura okoline na početku ispitivanja bila je 20°C da bi u 11 sati pala na svega 14°C. Na kraju dana spoljna temperatura u Beogradu je malo porasla i u 19 sati bila 15°C. Pad spoljne temperature za 6°C nije značajnije umanjio rast temperatura (ali i pritisaka) vazduha u pneumaticima. Temperature vazduha u prednjim točkovima su rasle do 8.30. Nakon toga su opale (za vreme pauze u Donjem Tovarniku) i opet počele da rastu na povratku autobusa u Beograd. Razlika između temperatura vazduha u prednjim pneumaticima i spoljne temperature na početku je bila 4°C, odnosno 7°C, a na kraju ispitivanja razlika je bila skoro 15°C. Razlika između spoljne temperature i temperatura u pneumaticima zadnje osovine u početku je bila nešto manja nego kod prednjih da bi na kraju porasla na 14°C.

6.5.3 Ispitivanje režima opterećenja pneumatika autobusa u međumesnom saobraćaju

Za ispitivanje ponašanja pneumatika autobusa u međumesnom saobraćaju odabrana je linija Beograd – Subotica. Merenja su obavljena na autobusu Berkhof Axial 70-12. Propisani pritisci za ovaj tip autobusa su, kao što je ranije već rečeno, $8,5 \pm 0,5$ bar i na u pneumaticima na pogonskoj osovini $8 \pm 0,5$ bar. Ispitivanje je obavljeno 06.06.2012.godine i obuhvatilo je jedan kompletan obrt autobusa na liniji Beograd – Subotica – Beograd. Rezultati merenja su dati u prilogu izveštaja. Ispitivanje je počelo u 13⁰⁰ kada je autobus krenuo sa autobuske stanice „Beograd“. Pre polaska inicijalizovan je merni uređaj i izmerene su temperature i pritisci u svim pneumaticima (Tabela 42).

Tabela 42. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa (stanica „Lasta“ Beograd)

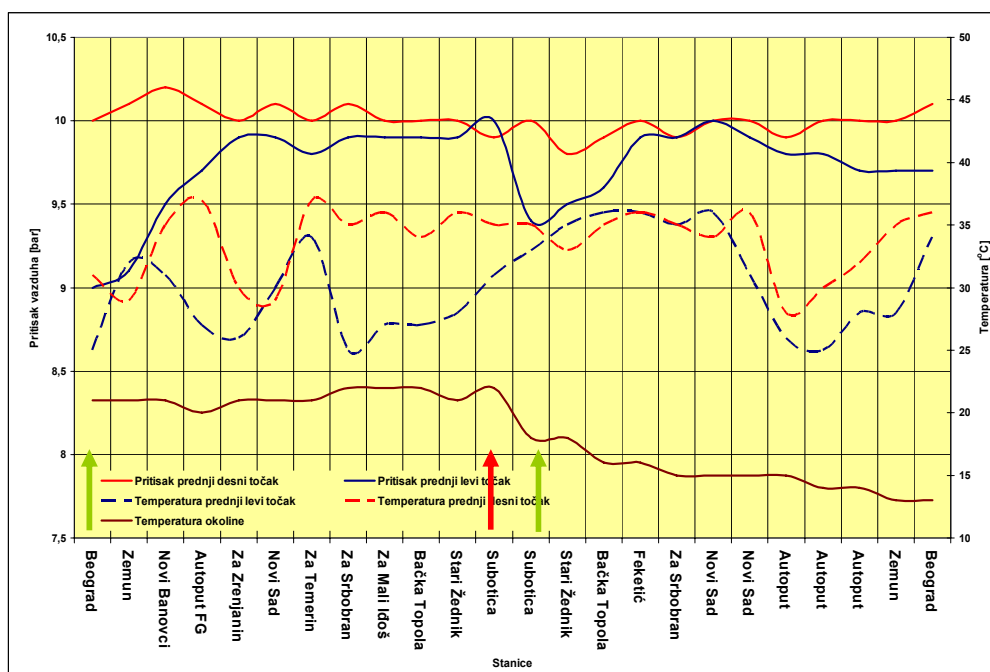
Točak	Prednji levi	Prednji desni	Zadnji levi spoljni	Zadnji levi unutrašnji	Zadnji desni unutrašnji	Zadnji desni spoljni
Pritisak u pneumaticima [bar]	9,0	10,0	8,4	8,6	10,0	8,6
Temperatura u pneumaticima [°C]	25	31	26	29	29	26

Nema informacija na kojoj je relaciji ovaj autobus pre toga radio, ali je na stanicu došao sa već zagrejanim pneumaticima. Na nekim točkovima temperatura je bila viša i za 4°C do 10°C od temperature okoline u 15⁰⁰ časova (21°C). Takođe, došao je sa nejednakim pritiscima u pneumaticima na istoj osovini. Poslednje merenje obavljeno je na autobuskoj stanici „Beograd“ u 21³⁵, kada je ispitivanje i završeno. Temperatura u Beogradu je tada bila 15°C (Tabela 43).

Tabela 43. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima gradskog autobusa – merenje u Beogradu na dolasku na stanicu „Lasta“ Beograd

Točak	Prednji levi	Prednji desni	Zadnji levi spoljni	Zadnji levi unutrašnji	Zadnji desni unutrašnji	Zadnji desni spoljni
Pritisak u pneumaticima [bar]	9,7	10,1	8,6	8,3	9,6	9,3
Temperatura u pneumaticima [°C]	34	36	27	29	32	30

Na slici Slika 87 prikazani su rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha pneumatika na prednjoj osovini autobusa Berkhof Axial 70-12.

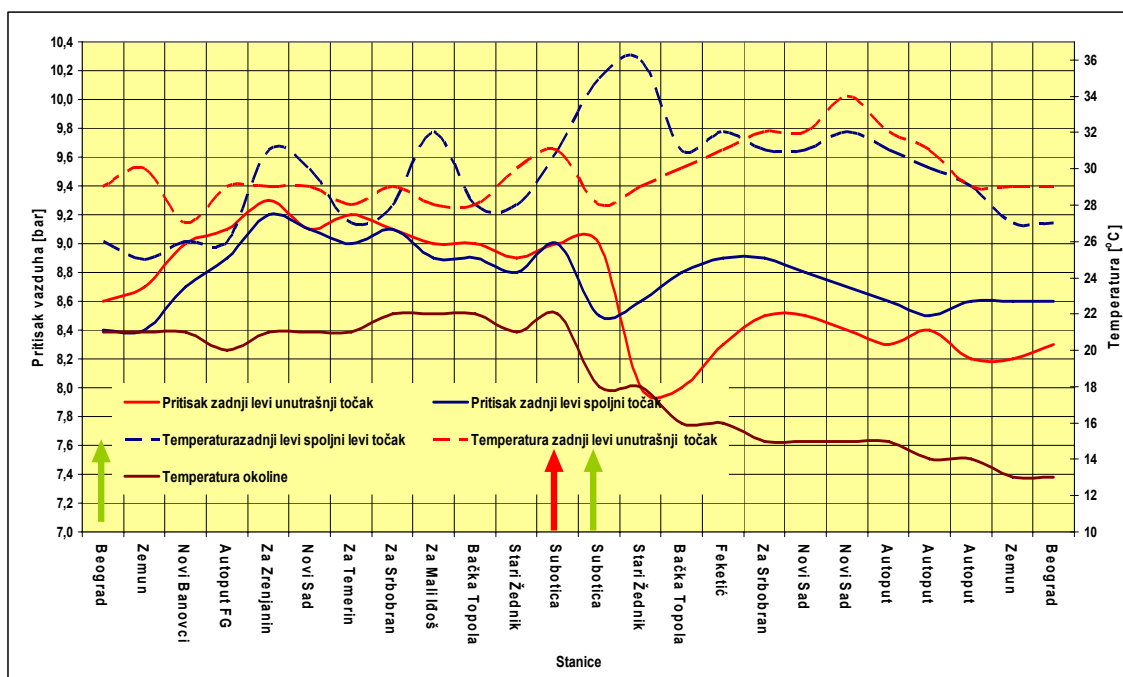


Slika 87. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima prednje osovine međumjesnog autobusa Berkhof Axial 70-12

Sa slike se vidi da kod levog prednjeg pneumatika postoje dva jasno razdvojena ali slična ciklusa promena pritiska vazduha, jedan od Beograda do Subotice i drugi od Subotice do Beograda. Od starta iz Beograda pritisak je rastao do dostizanja ravnotežne vrednosti koja se zadržala do dolaska u Suboticu. Pritisak za vreme pauze u Subotici je opao. Na putu za Beograd pritisak je ponovo rastao do dostizanja ravnotežne vrednosti koju zadržava do kraja putovanja. Kod desnog točka tokom celog puta pritisak je, uz male oscilacije na zastancima, bio približno konstantan.

Kod temperatura situacija je nešto drugačija. Temperatura vazduha u levom točku je neprekidno rasla sve do zastanka u Novom Sadu. Za vreme pauze temperatura je nešto opala da bi nakon polaska počela ponovo da raste. Nakon dostizanja ravnotežne vrednosti ostaje do Subotice približno konstantna. Pri povratku do većeg pada temperature dolazi tek na autoputu posle Novog Sada. Ovaj pad se poklapa i sa padom spoljne temperature. Temperatura vazduha u levom točku ponovo počinje da raste, kada autobus uđe u Beograd, odnosno Zemun. Temperatura u prednjem desnom točku se do Novog Sada ponaša slično. Od Novog Sada dolazi do velike oscilacije u temperaturi (prvo pad i pa onda rast). Prilikom povratka iz Subotice točkovi prednje osovine su se, kada je u pitanju promena temperature, slično ponašali.

Na donjoj slici (Slika 88) prikazani su rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha pneumatika na zadnjoj osovini autobusa Berkhof Axial 70-12.



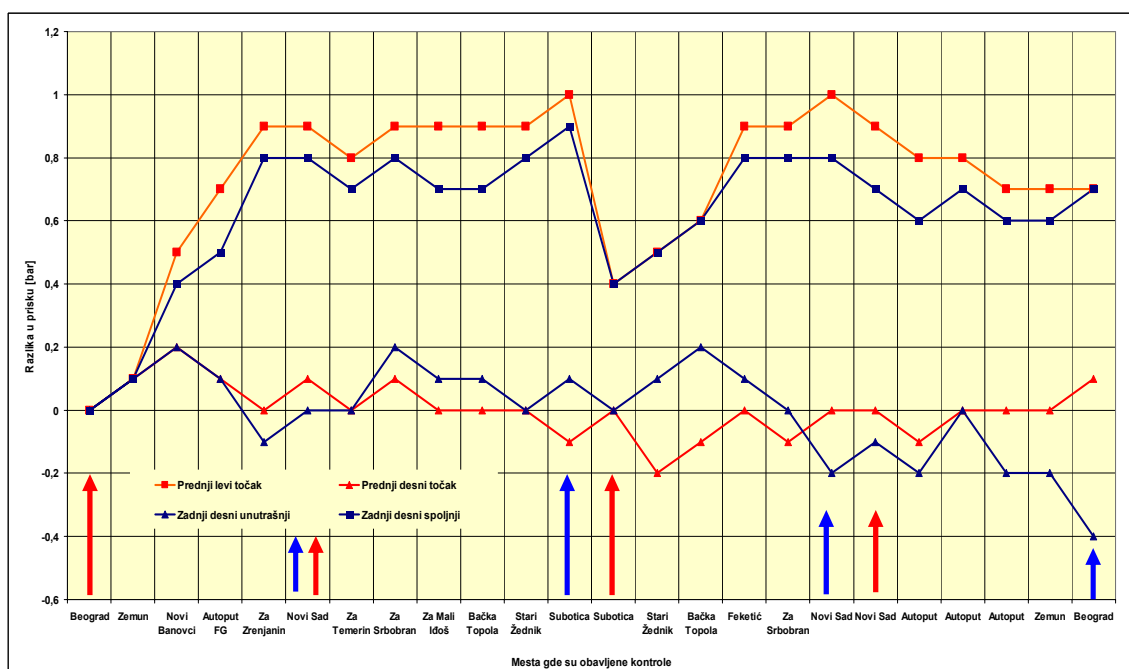
Slika 88. Rezultati merenja pritiska i temperatura vazduha u pneumaticima zadnje osovine autobusa Berkhof Axial 70-12 – leva strana

Sa slike se jasno vide dva razdvojena ciklusa promena pritiska vazduha u oba posmatrana pneumatika. Od starta iz Beograda pritisak u oba pneumatika raste do dostizanja neke ravnotežne vrednosti. Tokom pauze u Novom Sadu temperature i pritisci opadaju, a nakon nastavka putovanja pritisci stagniraju. Pauza u Subotici ima

pozitivnog uticaja na pritiske u pneumaticima. Pri povratku ponovo pritisak u zadnjem levom spoljnom točku raste ali do niže vrednosti nego u odlasku. Pritisak u unutrašnjem točku nakon polaska iz Subotice naglo pada i kasnije se vraća ali na nižu vrednost.

Temperatura u zadnjem levom spoljnom točku imala je oscilatorni tok. Minimumi su bili na zastancima i pauzama (Novi Sad i Subotica). Maksimumi su dostizani na autoputu za Novi Sad, kod Temerina i na prilazu Subotici. U povratku je temperatura prvo rasla (do Novog Sada), a posle je opadala i dostigla minimum na ulazu u autobusku stanicu „Beograd“. Slično se menjala, ali uz manje oscilacije, temperatura unutrašnjeg točka. Razlika u temperaturama na početku i na kraju ispitivanja je ostala ista.

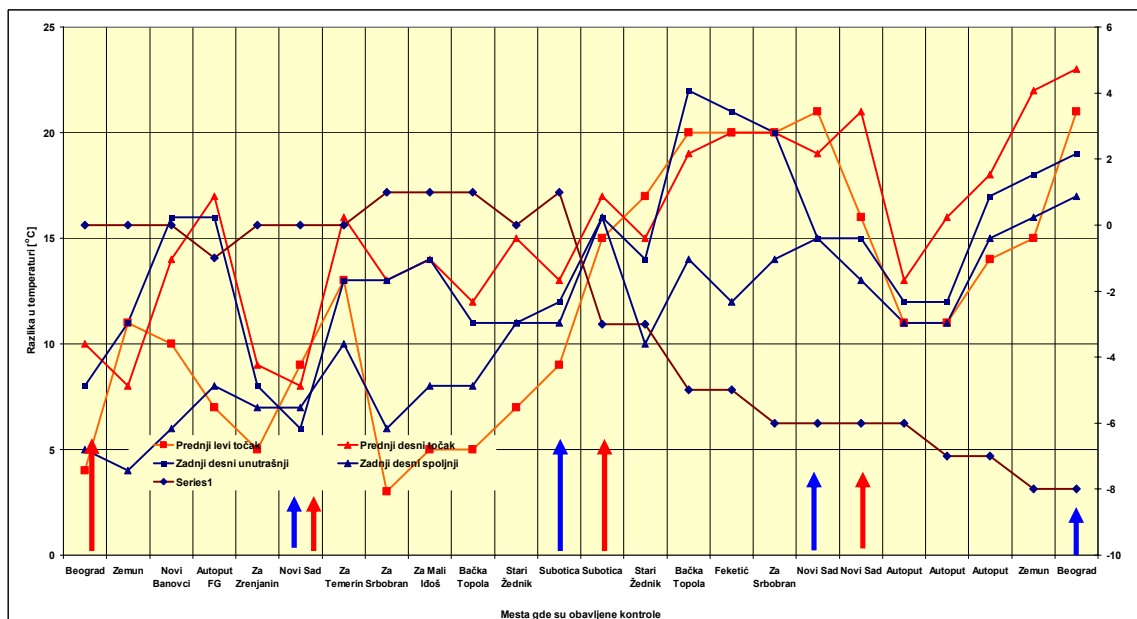
Na donjoj slici (Slika 89) prikazana je promena pritisaka (u odnosu na početni) za pneumatike na prednjoj i zadnjoj osovini međumesnog autobusa.



Slika 89. Promene pritisaka vazduha (u odnosu na početne) u pneumaticima prigradskog autobusa

Na početku ispitivanja postojala je razlika u pritiscima između pneumatika na prednjoj osovini. U levom pneumaticu pritisak je 9 bar, a u desnom 10 bar. Kada je autobus krenuo za Suboticu manje napumpani pneumatic je počeo da se greje što je za posledicu imalo i porast pritiska vazduha u njemu. Kada su se pritisci u levom i desnom pneumaticu približno izjednačili pritisak je prestao da raste. U Subotici je pritisak u levom prednjem točku značajno opao, ali je veoma brzo nakon kretanja za Beograd dostigao raniju vrednost. U desnom više napumpanom pneumaticu oscilacije pritisaka su bile značajno manje. Slične razlike su utvrđene i kod udvojenih pogonskih pneumatika na desnoj strani vozila. Međutim, posledice su drugačije. Kod udvojenih pneumatika opterećeniji je onaj sa višim pritiskom vazduha i kod njega je i zagrevanje veće.

Na donjoj slici (Slika 90) prikazan je dijagram razlika spoljne temperature i temperature u pneumaticima međumesnog autobusa.



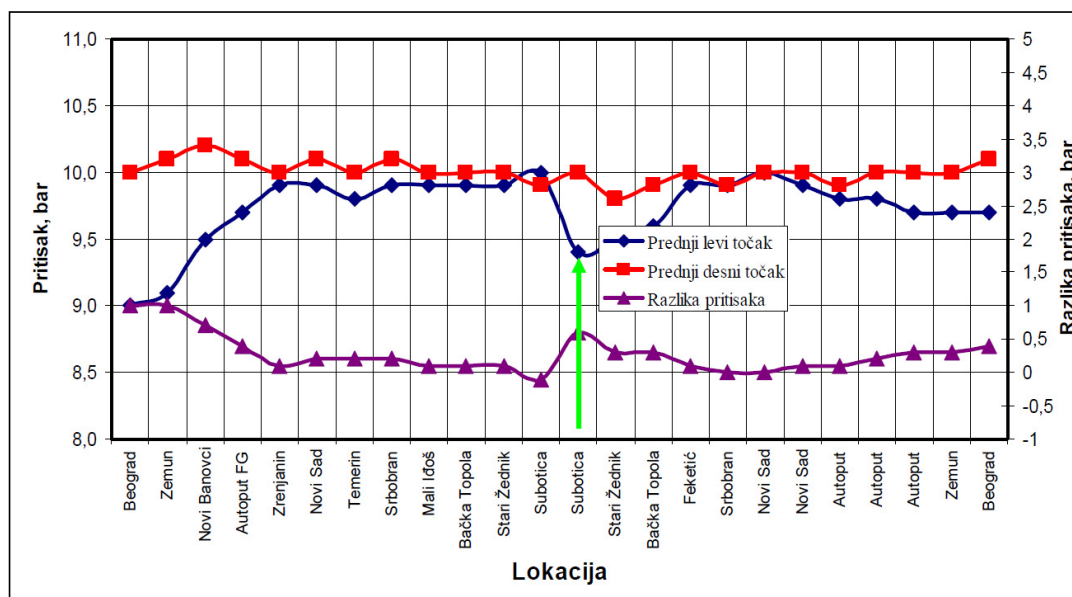
Slika 90. Razlike između spoljne temperature i temperatura vazduha u pneumaticima međumesnih autobusa

Razlika između temperature okoline i temperatura vazduha u svim pneumaticima ima trend porasta uz određene oscilacije koje se javljaju na dužim pauzama i pri kretanju autoputem.

6.5.4 Analiza rezultata putnih ispitivanja

Analizom rezultata merenja za sva tri uslova saobraćaja moguće je doneti nekoliko zajedničkih zaključaka:

- Pokazivanje uređajaja za kontrolu i praćenje pritiska vazduha u pneumaticima se (sa dovoljnom tačnošću) poklapa sa merenjima manometrom;
- Pokazivanja temperature nisu dovoljno precizna. Na izmerenu temperaturu, s obzirom na položaj davača, od velikog uticaja ima i spoljašnja temperatura;
- Temperature okoline kod kontrole i eventualnog dopumpavanja su od velikog značaja za održavanje propisanih pritiska u pneumaticima;
- Pritisci, na koje su pneumatici napumpani pre polaska na liniju, kod svih ispitivanih autobusa su odstupali (za manji ili veći procenat) od propisanih;
- Utvrđeno je postojanje razlika između pritiska vazduha u pneumaticima na istoj osovini. To je bilo izrazito kod autobusa za međumesni saobraćaj;
- Na prednjoj osovini opterećeniji pneumatik (onaj koji je manje napumpan) se greje sve dok mu se pritisci na oba pneumatika približno ne izjednače. U jednom slučaju, i to kod ispitivanja međugradskih autobusa, razlika je bila dovoljna da ova pojava bude očigledna. To se vidi i sa donje slike (Slika 91).

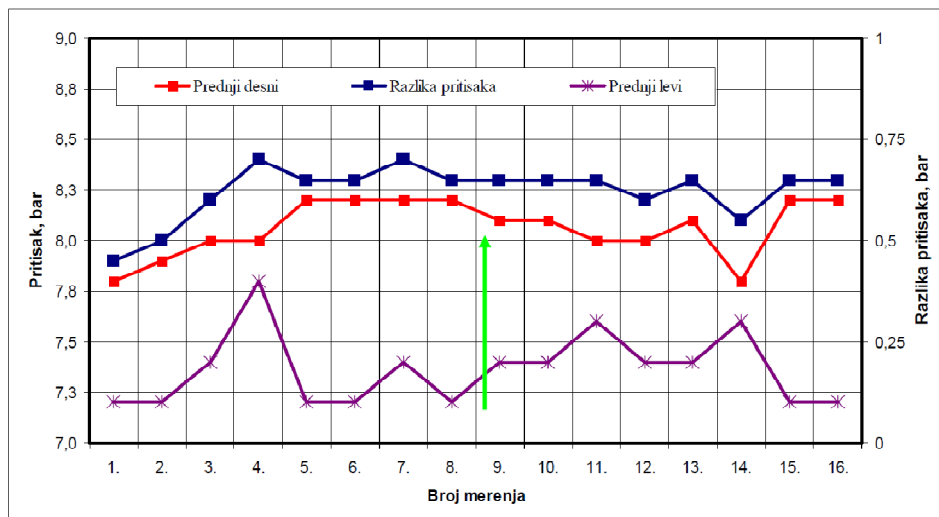


Slika 91. Promena pritisaka u pneumaticima prednje osovine međunesnog autobusa

Na slici su predstavljene promene pritiska u pneumaticima prednjih točkova međunesnog autobusa. Pneumatici su praćeni na relaciji Beograd – Subotica – Beograd. Na početku putovanja razlika pritisaka vazduha između levog (9 bar) i desnog točka (10 bar) bila je čak 1 bar. Razlika se tokom vožnje smanjivala da bi se kod raskrsnice za Zrenjanin (na putu Beograd – Novi Sad), posle nešto više od sat vožnje, pritisci praktično izjednačili. Od tog momenta do dolaska u Suboticu razlika između pritisaka bila je minimalna (0,2 bar do 0,3 bar).

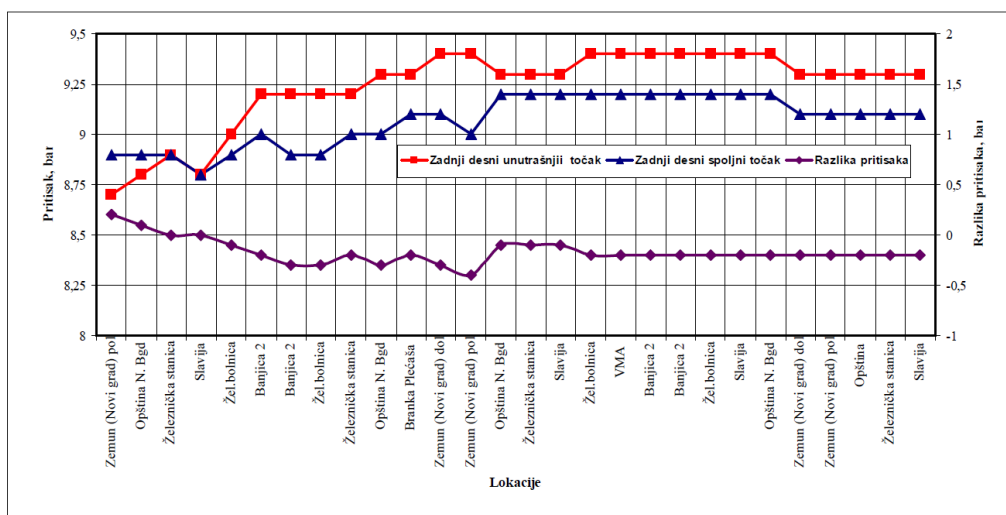
Za vreme pauze u Subotici, koja je trajala nešto više od 1 sata, pritisak u desnom točku, koji je na dolasku bio 10 bar, pao je na 9,8 bar do polaska iz Subotice. Kasnije do Beograda kretao se u granicama od 9,9 bar do 10 bar. Pritisak u levom točku, koji je na početku, pri dolasku u Suboticu bio 10 bar, pao je na 9,4 bar. Nakon polaska za Beograd pritisak je ponovo porastao i skoro se izjednačio sa pritiskom u desnom točku. Za to je i ovog puta bilo potrebno nešto više od sat vremena. Posle zastanka u Novom Sadu razlika u pritiscima je ponovo počela da se povećava. U Beogradu je pritisak u desnom točku bio 10,1 bar, a u levom 9,7 bar tako da je razlika bila 0,4 bar. Sve prikazano potvrđuje postavljenu pretpostavku da pneumatici na istoj osovinu, ukoliko razlika pritisaka nije prevelika, posle nekog vremena dostignu isti radni pritisak.

U ostala dva slučaja razlike pritisaka na startu su bile mnogo manje, tako da su pritisci sinhronizovano rasli i opadali. Kod prigradskog autobusa do stabilizacije pritisaka je došlo posle jednog sata vožnje. Razlike tokom celog putovanja nisu prešle 0,3 bar, odnosno 4% nominalnog pritiska. Pad pritisaka u oba točka, izmeren prilikom 14. merenja, je posledica pauze u depou za vreme redovnog servisnog pregleda (Slika 92).



Slika 92. Promena pritiska u pneumaticima prednje osovine prigradskog autobusa

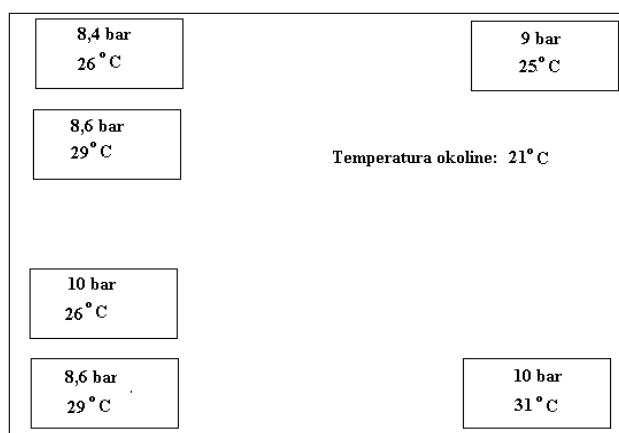
Kod gradskog autobusa situacija je slična. Razlike u pritiscima u pneumaticima na prednoj osovine postoje, ali ne prelaze 0,4 bar.



Slika 93. Promena pritiska vazduha u pneumaticima prednje osovine gradskog autobusa

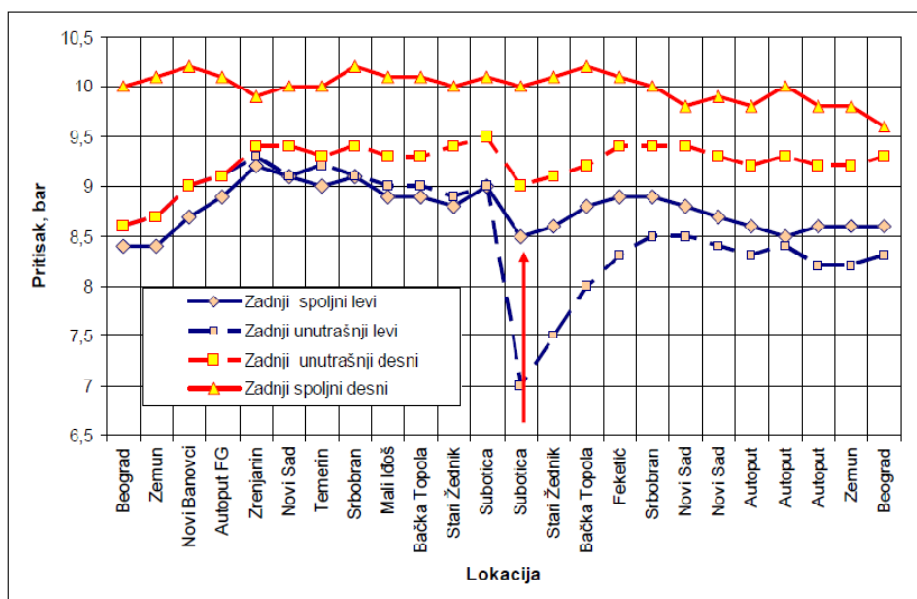
Sa dijagrama su uočljive promene pritiska na terminusima (Zemun Novi grada i Banjica 2), ali nisu jednake s obzirom da je pauza zavisila od poštovanja reda vožnje. Što je saobraćaj bio gušći to je putovanje duže trajalo, pa su zbog reda vožnje pauze bile kraće.

Ponašanje udvojenih pneumatika, odnosno promene pritiska u njima analizirane su samo za slučaj autobusa u međumjesnom saobraćaju. U druga dva slučaja (autobus u gradskom i prigradskom saobraćaju) inicijalne razlike u pritiscima su bile male tako da ni promene tokom vožnje nisu bile takvog karaktera da zaslužuju posebnu pažnju, odnosno zahtevaju posebnu analizu.



Slika 94. Izmereni pritisci vazduha u pneumaticima međumesnog autobusa

Sa dijagrama na slici Slika 94 moguće je uočiti nekoliko stvari. Na početnoj stanici je već postojala značajna razlika između pritisaka na desnim pogonskim točkovima. Unutrašnji točak je imao pritisak vazduha od 10 bar, a spoljni točak svega 8,6 bar. Na levoj strani pritisci su bili ujednačeniji (8,4 bar i 8,6 bar). Izmereni pritisci su na pet pneumatika u propisanim granicama¹⁹, pogotovo ukoliko se uzme u obzir da je autobus do stanice već prešao desetak kilometara.



Slika 95. Promena pritiska vazduha u pneumaticima prednje osovine gradskog autobusa

Nakon polaska u prvih sat vremena vožnje pritisci u svim pneumaticima su rasli dok se nakon nekog vremena nisu ustalili. Razlika između udvojenih točkova na desnoj strani autobusa se smanjila sa 1,4 bar na početku putovanja na 0,6 u Novom Sadu. Nakon toga je opet porasla na 0,8 bar i nije se puno menjala do Subotice. U Subotici, tokom pauze, pritisci u desnim udvojenim točkovima opadaju tako da se razlika opet povećava na 1

¹⁹ Propisani pritisci za autobus Berkhof Axial 70-1 su $8,5 \pm 0,5$ bar na prednjoj osovini i $8 \pm 0,5$ bar na pogonskoj osovini.

bar. Pri povratku za Beograd pritisak razlika se smanjuje i sve vreme puta ostaje u granicama između 0,6 i 0,7 bar.

Pritisaci u zadnjim točkovima na levoj strani vozila se ponašaju drugačije. Na početku razlika pritisaka bila je 0,2 bar i na putu do Subotice nije prešla granicu od 0,3 bar. Na kraju putovanja pritisci su bili praktično izjednačeni, ali za 0,4 do 0,6 bar viši nego na početku. Za vreme pauze u Subotici dolazi do čudnog fenomena, koji se nije mogao objasniti, pritisak u zadnjem levom unutrašnjem točku opada sa 9 bar na 7 bar, dok pritisak u spoljnom točku sa 9 bar na 8.5 bar. Pri povratku se ova razlika brzo smanjuje i posle sat vožnje iznosi 0,4 bar i približno tolika ostaje do Beograda. Na kraju putovanja pritisak vazduha u levom spoljnjem pneumaticu bio je samo za 0,1 bar viši nego na polasku iz Subotice, a u unutrašnjem za 1,3 bar. Razlike između početka i kraja putovanja bile su 0,2 bar i 0,3 bar.

Tokom ispitivanja je utvrđeno da temperature vazduha u pneumaticima imaju, uz određene oscilacije, trend rasta. Brže se greju opterećeniji pneumatici. Pauze i zastanci samo mogu da ublaže trend rasta temperatura. Do potpunog toplotnog rasterećenja pneumatika dolazi tek nakon duže pauze.

7. Modelovanje uticaja pneumatika na troškove eksploatacije vozila

Neodgovarajući pritisak vazduha u pneumaticima utiče na troškove eksploatacije vozila na sledeće načine:

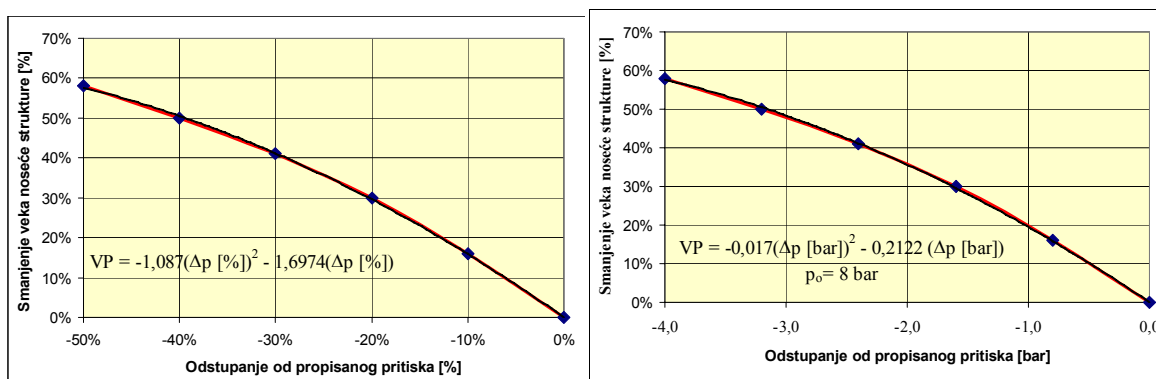
- Povećava intenzitet habanja i smanjuje pređenu kilometražu između dva protektiranja;
- Skraćuje vek pneumatika (smanjuje se ukupan broj kilometara koji pneumatik pređe uključujući i protektiranja);
- Povećava potrošnju goriva (zbog povećanja otpora kotrljanja nedovoljno napumpanih pneumatika);
- Povećana učestanost iznenadnih otkaza usled separacija protektora ili eksplozija (usled preteranog zagrevanja pneumatika). Potrebna pomoć interventne službe, kašnjenje putnika, isporuke robe ...

Da bi se posledice neodgovarajućeg pritiska kvantifikovale potrebno je postaviti odgovarajuće „krive zavisnosti“, odnosno krive korelacije između odstupanja pritiska vazduha u pneumaticima od propisanog i promena u veku pneumatika, veku protektora i potrošnji goriva.

Kao polazna osnova za formiranje modela iskorišćena su istraživanja američkog udruženja kamionskih prevoznika (ATA), odnosno njihovog Odbora za tehnologije i održavanje (Technology & Maintenance Council) [57].

7.1 Model ocene veka noseće strukture pneumatika

Niži pritisak vazduha od propisanog, s obzirom da je pneumatik tada praktično preopterećen, utiče značajno na skraćivanje veka noseće strukture spoljne gume. Preopterećenje izaziva veće deformacije bočnica i usled toga i veće zagrevanje strukture spoljne gume. Visoke temperature ubrzavaju „starenje“²⁰ materijala od kojih je spoljna guma izrađena (guma i kord), povećava mogućnost odvajanja (separacije) u slojevima karkase ili odvajanja protektora i smanjuje otpornost na proboje. To sve skraćuje vek karkase i umanjuje šanse da će spoljna guma ispuniti tehničke uslove za (ponovno) protektiranje. Uticaj pritiska vazduha u pneumaticu na smanjenje veka spoljne gume prikazan je na donjoj slici (Slika 96) [49, 52].



Slika 96. Korelacija između odstupanja pritiska vazduha i veka strukture pneumatika

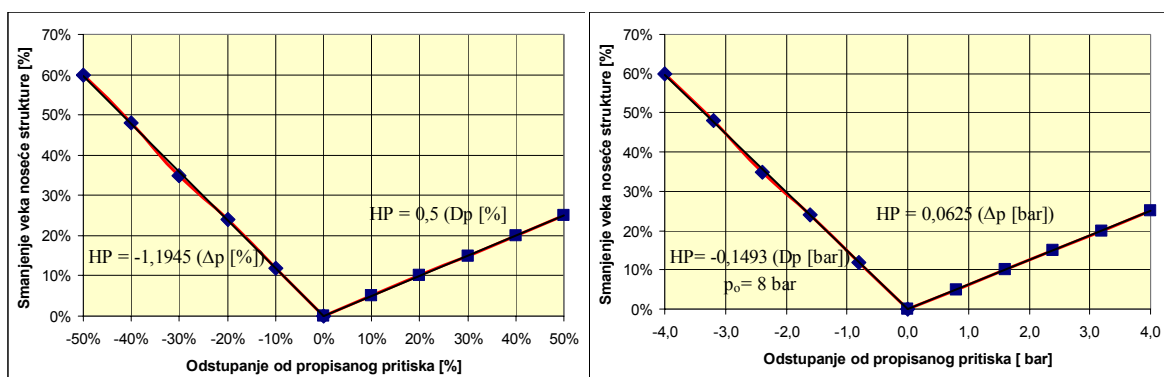
²⁰ Starenje ili degradacija gume je posledica hemijskih reakcija u gumi. Proces starenja može biti ubrzan usled toplote i sunčeve svetlosti.

Istraživanja su pokazala da se vek pneumatika koji se stalno vozi sa pritiskom vazduha koji je za 20% niži od propisanog skraćuje za 35%, a u slučaju da je pritisak 40% niži od propisanog vek pneumatika može biti kraći i za više od 55% od raspoloživog.

Preopterećeni pneumatik ponaša se vrlo slično nedovoljno napumpanom pneumatiku. O ovome bi trebalo voditi računa prilikom izbora pritiska u pneumaticima za određeni tip autobusa i vrstu saobraćaja. Važno je, takođe, da pritisci vazduha u pneumaticima montiranim na istu osovinu budu isti ili približno isti. Ukoliko nisu, usled razlika u dinamičkom poluprečniku pneumatika, dolazi do preraspodele opterećenja i dodatnog opterećivanja (i pregrevanja) manje napumpanog pneumatika.

7.2 Model ocene intenziteta habanja pneumatika

Osim što utiče na vek noseće strukture nepropisni pritisak vazduha utiče i na intenzitet habanja protektora pneumatika. Neodgovarajući pritisak, bez obzira da li je viši ili niži od propisanog, menja oblik i dimenzije kontakta što za posledicu ima neravnomerno trošenje pneumatika. Kod nižeg pritiska od propisanog izraženije je habanje po ivicama, a kod višeg po sredini protektora. Na donjoj slici (Slika 97) prikazani su uticaji nepropisnog pritiska vazduha na intenzitet habanja protektora.

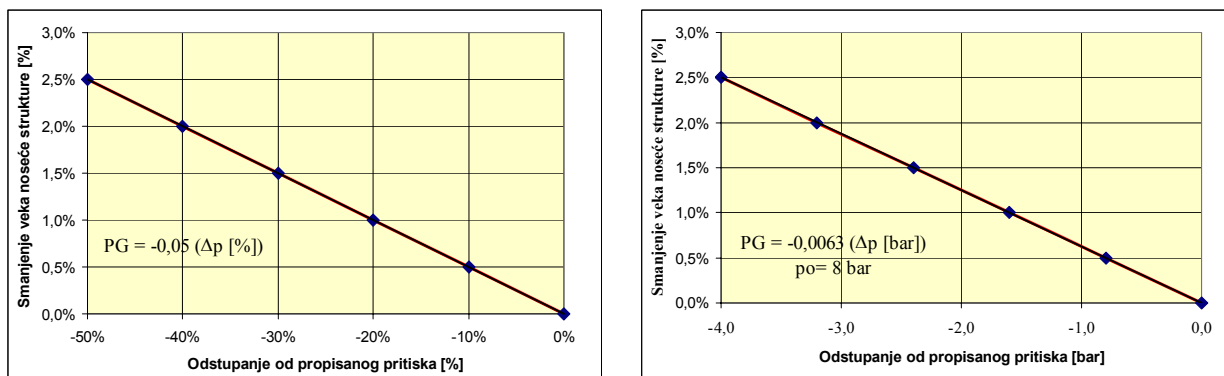


Slika 97. Korelacija između odstupanja pritiska vazduha i intenziteta habanja protektora

Pravilo kaže da 20% niži pritisak u pneumatiku povećava intenzitet habanja protektora za 27%.

7.3 Model potrošnje goriva

Neodgovarajući pritisak vazduha u pneumaticima utiče i na potrošnju goriva. Povećane deformacije u strukturi spoljne gume i povećan kontakt sa kolovozom povećavaju otpor kotrljanja i snagu potrebnu za kretanje vozila. Na donjoj slici (Slika 98) prikazan je uticaj nedovoljno napumpanog pneumatika na potrošnju goriva.



Slika 98. Korelacija između odstupanja pritiska vazduha u pneumaticima i potrošnje goriva

Istraživanja su pokazala da ukoliko je pritisak vazduha u pneumaticima za autobuse niži za 20% potrošnja goriva poraste za otprilike 1,2%.

7.4 Otkazi pneumatika na putu i intervencije

Za razliku od prethodnih slučajeva (habanje protektora, vek spoljne gume i potrošnja goriva), ne postoji dokumentovana veza između procenta nedovoljno napumpanih i prepumpanih pneumatika i otkaza pneumatika na putu. Za određivanje troškova vezanih za ovu vrstu otkaza potrebne su sledeće informacije:

- Prosečan broj poziva u toku godine po vozilu;
- Procenat poziva koji se odnosi na pneumatike;
- Procenat otkaza pneumatika koji su posledica prekomernog zagrevanja, lomljenja bokova i/ili zamora, a čiji je verovatni uzrok neodgovarajući pritisak u odnosu na otkaze nastale zbog puteva proboja i naglog gubitka vazduha.

Na osnovu razgovora sa predstavnicima transportnih kompanija i preduzeća koje pružaju usluge pomoći na putevima u SAD došlo se do sledećih podataka [1]:

- Utvrđeno je da transportne kompanije imaju između 2,0 i 2,3 otkaza godišnje (odnosi se na kombinaciju kamion poluprikolica)
- Tokom hladnijih meseci 45% do 55% od ukupnog broja otkaza odnosi se na pneumatike, a od 55% do 65% od ukupnog broja otkaza u toplijem delu godine. Godišnji prosek otkaza pneumatika je oko 50% svih otkaza.
- Proboji čine 15% otkaza pneumatika (7,5% svih otkaza), a 85% (42,5% svih otkaza) su otkazi pneumatika koji su posledica pregrevanja pneumatika usled lošeg održavanja;
- Od ukupnog broja otkaza pneumatika $\frac{3}{4}$ čine otkazi pneumatika na prikolicama i poluprikolicama, ostatak je na pneumaticima na kamionima.

Prosečno izgubljeno vreme za jednu prosečnu intervenciju vezanu za otkaz pneumatika iznosilo je oko 2,5 sata i koštalo 265 \$. Ovo su samo direktni troškovi na koje se mogu dodati i troškovi prekovremenog rada vozača, izgubljenog prihoda, gubitka poverenja klijenta, troškovi kašnjenja isporuke i troškovi nabavke nove spoljne gume.

S obzirom da za Srbiju nema pouzdanih podataka o broju otkaza pneumatika na vozilima na putu iskorišćeni su podaci iz literature. Već ranije je rečeno da se, prema podacima AAA (The American Automobile Association, Inc.), procenjuje da na američkim putevima ima približno 0,5 otkaza pneumatika na milion vozilo kilometara. Ukoliko se uzme da to važi i u našem slučaju to bi značilo da 1. 000 autobusa godišnje imaju između 30 i 40 otkaza pneumatika kod kojih je bilo potrebno da reaguje interventna služba.

Potrebno je reći da analiza nije obuhvatila troškove koji su posledica nepropisno napumpanih pneumatika i koji sigurno postoje, a koje nije lako procenti. To su troškovi koji bi mogli nastati zbog smanjenja upravljačkih i manevarskih sposobnosti autobusa, povećanja dužine puta kočenja (pogotovu na vlažnim kolovozima), vibracija u sistemu za upravljanje (koje utiču na zamor vozača),...

7.5 Model uticaja pneumatika na troškove eksploatacije pneumatika

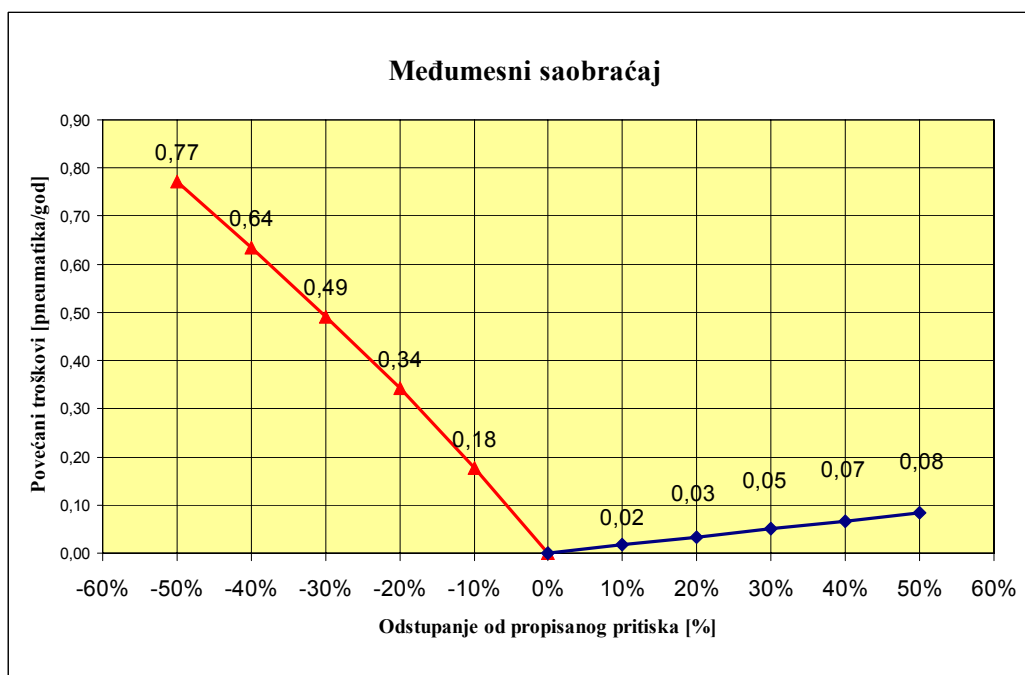
Navedeni uticaji su integrisani u zajednički model. Namena modela je da se, uz unos odgovarajućih ulaznih podataka, vrše procene gubitaka nastalih usled lošeg održavanja pritiska u pneumaticima autobusa.

Za funkcionisanje modela potrebno je raspolagati podacima prikazanim na donjoj slici (Slika 99).

Karakteristike flote	Scenario			
	Gradski prevoz	Prigradski prevoz	Medumesni prevoz	Prosečno za SP „Lasta“ A.D.
Prosečna godišnja kilometraža	70.000	90.000	150.000	90.000
Očekivani vek spoljnih guma	150.000	150.000	300.000	150.000
Prosečan broj protektiranja	0,5	0,5	0,5	0,5
Očekivani vek protektora [km]	80.000	90.000	100.000	95.000
Prosečna potrošnja goriva l/100 km	40	35	30	35
Prosečna cena spoljnih guma EUR	500	500	670	550
Prosečna cena protektiranja EUR	150	150	150	150
Prosečna cena dizel goriva EUR/l	1,3	1,3	1,3	1,3

Slika 99. Ulazni podaci u model

Deo podataka važi za celu Srbiju i može se dobiti korišćenjem interneta ili na osnovu direktnog upita. Ostatak zahteva obiman rad na prikupljanju i njihovu pažljivu analizu.



Slika 100. Primer dobijenih rezultata

Sa gornje slike (Slika 100) vidi se da se troškovi značajno menjaju sa promenom pritiska vazduha u pneumatiku. Na primer, ukoliko bi samo jedan pneumatik na autobusu u međumesnom saobraćaju cele godine imao pritisak za 20% niži od propisanog to bi povećalo troškove prevoznika za više 203 € što odgovara 18% vrednosti nove spoljne gume za autobus u međumesnom saobraćaju. Za veća odstupanja taj gubitak je i značajno veći. Kao što je već rečeno rešenje nije u prepumpavanju pneumatika s obzirom da i tom slučaju troškovi rastu, ali ne tako drastično kao kod nedovoljno napumpanog pneumatika.

8. Predlog unapređenog sistema održavanja pneumatika u saobraćajnom preduzeću koje je objekt istraživanja

U ovom poglavlju su dati predlozi za unapređenje sistema održavanja pneumatika u saobraćajnom preduzeću koje je objekt istraživanja. Osnovu za unapređenje predstavlja postojeći sistem održavanja, zasnovan proceduri „Tehničko-tehnološki proces tehničkog održavanja“ [48, 16]. Važeća procedura se primenjuje na svim nivoima u postupcima prijema, pregleda, defektaže, preventivnog i korektivnog održavanja i servisiranja vozila i pneumatika) u saobraćajnom preduzeću koje je objekt istraživanja. Zasnovana je na:

- ISO 9000:2005., Sistemi menadžmenta kvalitetom - osnove i rečnik, 2005. godina;
- ISO 9001:2008., Sistemi menadžmenta kvalitetom - zahtevi, 2008. godina;
- ISO 9004:2009., Sistemi menadžmenta kvalitetom - uputstva za poboljšanje performansi;
- Softveru za upravljanje dokumentima sistema kvaliteta.

Više detalja dato je u poglavlju 5.3 „Sistem tehničkog održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.. Sistem održavanja pneumatika u S.P. „Lasta“ se može oceniti kao veoma dobar. Rezultat je stanje pneumatika je, prema rezultatima istraživanja, dobro i čak značajno bolje nego u drugim saobraćajnim preduzećima u Srbiji i drugim zemljama [1, 14, 63, 31, 34]. Uočene slabosti sistema su u tome što su redovne i vanredne kontrole pritiska vazduha i dubine dezena nedovoljno česte, a vreme koje protekne do korekcije pritiska ili zamene pneumatika relativno dugo. Potvrda je visok procenat spoljnih guma odbijenih u procesu protektiranja. Razlozi su različiti i mogu se svrstati u objektivne i tzv „subjektivne“. Subjektivni uzroci otkaza obuhvataju: oštećenja stope gume, polomljena bočnica, toliko pohaban protektor da se vidi pojas, isečen bok i slično. Sve su to otkazi koji su se mogli u potpunosti ili delimično izbeći.

U cilju unapređenja sistema održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D urađeno je nekoliko alternativnih predloga. Prvi predlog je da se ceo ili deo voznog parka opremi individualnim TPMS uređajima [54]. Ova solucija bi se mogla primeniti za sve PO organizacije SP „Lasta“ A.D.. U autobusima sa ugrađenim individualnim TPMS uređajima vozač preko monitora ima stalnu kontrolu pritiska i temperature vazduha u svakom od pneumatika ponaosob. Osim toga uređaj ima i zvučnu i svetlosnu signalizaciju koja opominje vozača ukoliko pritisak vazduha u nekom od pneumatika padne ispod, unapred postavljene granice. Na vozaču ostaje da događaj prijavi tehničkoj službi, odnosno ukoliko je na dužem putu, sam dopumpa pneumatike na prvoj benzinskoj pumpi. Drugi predlog je da se u svakoj od „tehničkih baza“ (kojih SP „Lasta“ A.D. ima veći broj), montira po jedan stabilan uređaj za kontrolu koji isključuje potrebu za ugradnjom individualnih TPMS na autobuse. Stabilni sistem za kontrolu pritisaka ima i mogućnost kontrole pohabanosti protektora svih točkova na autobusu. Prednost sistema je što sve utvrđene nepravilnosti vezane za pritisak ili dubinu dezena protektora registruje i stavlja na raspolaganje tehničkoj službi koja može odmah da reaguje. Treći predlog je da se u „bazama“ montira uređaj za kontrolu, a da se na sve ili samo na deo autobusa montiraju individualni TPMS uređaji. Druga i treća solucija bile bi interesantne samo za PO Beograd gde je u istoj autobazi koncentrisano više od 300 autobusa, odnosno 1/3 ukupnog voznog parka.

9. Provera održivosti unapređenog sistema održavanja pneumatika

U ovom poglavlju su kvantifikovani gubici koje SP „Lasta“ A.D. ima zbog neodgovarajućih pritisaka vazduha u pneumaticima. Ovi gubici bi se mogli umanjiti ukoliko bi se situacija u oblasti stanja pritiska poboljšala. Veće poboljšanje značile bi i veće moguće uštede. Da bi se one mogle ostvariti potrebno je uložiti sredstva za nabavku potrebne opreme, a kasnije za radnu snagu i održavanje. Izračunate uštede potrebno je uporediti sa investicionim i operativnim troškovima koje bi SP „Lasta“ A.D. imala oko uvođenja i korišćenja navedene opreme, sa ciljem da se utvrdi kolike bi bile eventualne ekonomske koristi od korišćenja individualnih i stabilnih TPMS sistema.

9.1 Metodologija rada

Utvrđivanje eventualne koristi koja bi se mogla ostvariti korišćenjem uređaja za praćenje i kontrolu pritisaka vazduha u pneumaticima sprovedeno je za celu flotu autobusa u SP „Lasta“ A.D., i posebno za autobuse koji rade u gradskom, prigradskom i međumesnom saobraćaju. Za svaki od ova četiri slučaja pretpostavljeni su odgovarajući ulazni podaci koji obuhvataju: prosečnu kilometražu, prosečan vek pneumatika za date uslove eksploatacije, prosečan broj protektiranja, prosečnu potrošnju goriva, prosečne cene goriva, prosečne cene novih spoljnih guma i protektiranja. Potrebni podaci su dobijeni iz različitih izvora:

Podaci o prosečnoj godišnjoj kilometraži dobijeni su od Tehničke službe SP „Lasta“ A.D. Podaci su grupisani prema vrsti prevoza (Tabela 44).

Tabela 44. Prosečne godišnje kilometraže autobusa u SP „Lasta“ A.D. u različitim uslovima saobraćaja

Uslovi saobraćaja			Prosečno za SP „Lasta“ A.D.
Gradski saobraćaj	Prigradski saobraćaj	Međumesni saobraćaj	
70.000	90.000	150.000	100.000

U gornjoj tabeli su pretpostavljene prosečne kilometraže za pojedine uslove saobraćaja. Godišnje najmanje prelaze gradski autobusi, a najviše autobusi u međumesnom saobraćaju.

Cene spoljnih guma autobusa se značajno razlikuju u zavisnosti od proizvođača, dimenzija, vrste dezena (dubine dezena) i karakteristika noseće strukture. U donjoj tabeli (Tabela 45) date su prosečne vrednosti za spoljne gume za gradski, prigradski i međumesni saobraćaj. Podaci su dati za najviše korišćenu spoljnu gumu dimenzija 295/80R22.5 i nekoliko brendova koji se najčešće nalaze na autobusima u voznom parku SP „Lasta“ A.D.

Tabela 45. Cene nekih spoljnih guma za pogonske osovine na tržištu Srbije

Pneumatici 295/80R22.5	Cena sa PDV-om [RSD]		Cena sa PDV-om [€]	
	2008. godina*	2012. godina**	2008. godina***	2012. godina****
SAVA Orjak O3	38.775	56.746	456	516
Good Year Regional RHD II	52.911	79.154	622	720
FULDA Regioforce	34.267	58.314	403	530
PIRELLI TR26	40.868	47.600	481	511

Pneumatici 295/80R22.5	Cena sa PDV-om [RSD]		Cena sa PDV-om [€]	
	2008. godina*	2012.godina**	2008. godina***	2012.godina****
Continental HDR 1	44.914	58.314	528	530
Yokohama TY 517	33.929	-	399	-
Michelin XDA	-	76.092	-	692

* Diplomski rad, Predrag Gavrić [25]; **Katalog firme Kemoimpex, Beograd; ***1 € = 85 RSD; ****1 € = 110 RSD

Analizom podataka iz tabele se može zaključiti da postoje velike razlike u ceni spoljnih guma pojedinih proizvođača. Referentna spoljna guma Yokohama prema ceni spada u jeftinije, a prema troškovima po kilometru u srednje rangirane [25]. Drugo, spoljne gume su značajno poskupele u zadnjih nekoliko godina i trend realnog porasta cena se nastavlja.

Prosečan vek protektora spoljne gume. Vek protektora spoljne gume zavisi od vrste dezena, dubine dezena, materijala od koga je protektor izrađen i uslova eksploatacije. Vek je ograničen obaveznom minimalnom dubinom dezena, koja za pneumatike autobusa iznosi 2 mm. Prosečne pređene kilometraže se razlikuju u zavisnosti da li se radi o pneumaticima gradskih, prigradskih i međumjesnih autobusa. Za potrebe analize opravdanosti ugradnje TPMS uređaja na autobuse usvojene su vrednosti za vek protektora u različitim uslovima eksploatacije (Tabela 46).

Tabela 46. Usvojene prosečne kilometraže veka protektora spoljnih guma u različitim uslovima saobraćaja u SP „Lasta“ A.D.

Uslovi saobraćaja			Prosečno za SP „Lasta“ A.D.
Gradski	Prigradski	Medumjesni	
80.000 km	90.000 km	100.000 km	95.000 km

Prosečni troškovi za protektiranje. U Srbiji troškovi za protektiranje iznose između 1/3 i 1/2 cene novih spoljnih guma. Cene zavise od dimenzija spoljne gume koja se protektira, dubine dezena i postupka protektiranja.

Prosečna cena dizel goriva. Cene goriva u zadnjih nekoliko godina u Evropi i Srbiji dosta su promenljive. U trenutku sprovođenja analize cena za jedan litar dizel goriva, sa svim porezima i akcizama na pumpama, iznosila je 140 RSD za D2 i 148,5 RSD za Euro Diesel. Ukoliko se ove cene pretvore u € dobija se 1,27 €/l, odnosno 1,35 €/l²¹.

Prosečan vek spoljne gume. Vek spoljne gume značajno zavisi od modela, konstrukcije, materijala od koga je izrađena, postupka proizvodnje, vrste protektora i uslova eksploatacije. Nije neuobičajeno da spoljne gume prelaze i do 1.000.000 kilometara u dugolinijskom prevozu uz dva ili tri protektiranja i dobro održavanje. U SP „Lasta“ A.D. su svojevremeno sprovedena istraživanja u pogledu veka spoljnih guma na autobusima u međunarodnom saobraćaju. Tada je ustanovljeno da su spoljne gume do prvog protektiranja prelazile i do 250.000 km [60]. Nakon protektiranja spoljne gume su bile, u skladu sa politikom SP „Lasta“ A.D. montirane na pogonske osovine međumjesnih ili gradskih autobusa.

²¹ Cena u € je sračunata na osnovu kursa 1 € = 110 RSD.

U donjoj tabeli (Tabela 47) date su prosečne kilometraže spoljnih guma do otpisivanja u različitim uslovima saobraćaja. Vek spoljne gume je određen vekom noseće strukture i uključuje jedno ili više protektiranja.

Tabela 47. Usvojene prosečne kilometraže spoljnih guma do konačnog otkaza u različitim uslovima saobraćaja u SP „Lasta“ A.D.

Uslovi saobraćaja			Prosečno za SP „Lasta“ A.D.
Gradski	Prigradski	Medumesni	
150.000 km	150.000 km	300.000 km	150.000 km

Iz gornje tabele se vidi da postoje razlike u veku pneumatika koji rade u različitim uslovima eksploatacije. U gradskom saobraćaju uobičajeno radno vreme autobusa je duže od 16 sati i to uz česta kočenja, ubrzanja i skretanja. Opterećenje autobusa (pa i pneumatika) je tokom dana promenljivo i dosta često (naročito u saobraćajnim špicovima) iznad propisanog. Ulice gradova su pune oštećenja, oštih ivica i odbačenih predmeta. To utiče na to da je vek spoljnih guma relativno kratak.

Kod prigradskih autobusa brzine su više, međustanična rastojanja duža, opterećenje ujednačenije. Vek spoljnih guma je i kod autobusa u prigradskom prevozu relativno kratak, ali je uglavnom duži nego kod autobusa koji rade isključivo u gradskim uslovima.

U međumesnom saobraćaju veliku ulogu imaju karakteristike linije na kojoj autobus saobraća. Međutim, bez obzira na to vek spoljnih guma je tu značajno duži nego u ostalim uslovima saobraćaja.

Potrošnja goriva autobusa. Kao i u slučaju veka spoljne gume i potrošnja goriva može da se kreće u širokim granicama, čak i kod istog tipa autobusa. Razlike se javljaju zbog razlike u „težini“ linije na kojoj autobus radi, rastojanja između stanica (to je posebno važno u gradskom saobraćaju), prosečne brzine vozila, opterećenja (broja putnika) itd.

Za potrebe analize uzete su prosečne potrošnje goriva za tri tipa autobusa koji rade u različitim uslovima eksploatacije. Izvor podataka bile su prosečne potrošnje goriva dobijene od Tehničke službe SP „Lasta“ A.D. za period januar – juni 2011. godine (Tabela).

Tabela 48. Usvojene prosečne potrošnja autobusa u različitim uslovima saobraćaja u SP „Lasta“ A.D.

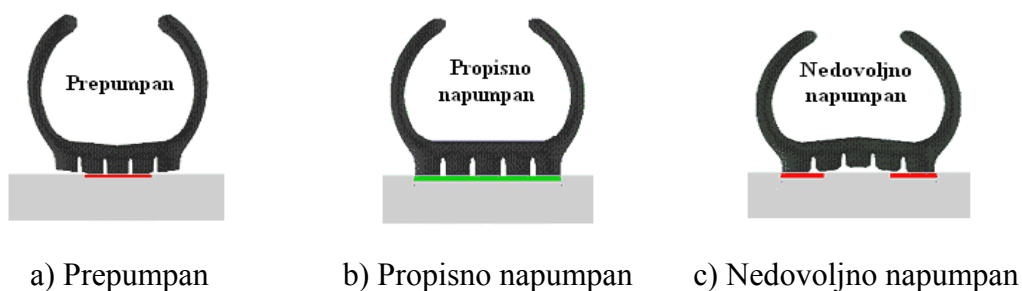
Uslovi saobraćaja			Prosečno za SP „Lasta“ A.D.
Gradski	Prigradski	Medumesni	
40 lit/100 km	35 lit/100 km	30 lit/100 km	35 lit/100 km

Najviša potrošnja je kod gradskih autobusa, a najmanja kod autobusa u međumesnom saobraćaju.

9.2 Izračunavanje mogućih koristi od uvođenja TPMS-a

Neodgovarajući pritisak vazduha u pneumaticima (pre svega onaj niži od propisanog) utiče na ukupne troškove eksploatacije autobusa. To se ogleda kroz kraći vek protektora, kraći vek spoljne gume, veću potrošnju goriva i veću učestanost otkaza pneumatika:

- Kraći vek protektora – kod nepropisno napumpanog pneumatika protektor spoljne gume se troši intenzivnije i neravnomerno. Kod prepumpanog više se troši srednji deo protektora (Slika 105a). Kod propisno napumpanog pneumatika protektor se troši približno isto po celoj širini (Slika 105b). Kontakt se kod nedovoljno napumpanog pneumatika ostvaruje najviše po ivicama protektora koji se više i brže habaju (Slika 105c).



Slika 101. Kontakt pneumatik – kolovoz različito napumpanih pneumatika

Vek protektora V_{pr} zavisi od razlike između propisanog (p_0) i stvarnog pritiska vazduha (p_{st}) u pneumaticu. Skraćenje veka se računa kao razlika očekivanog veka protektora propisno napumpanog pneumatika (V_{pro}) i stvarnog veka protektora pneumatika (V_{pr}):

$$(\Delta V_{pr} = V_{pro} - V_{pr})$$

Prema usvojenom modelu razlika zavisi od razlike između propisanog (p_0) i stvarnog pritiska (p_{st}):

$$\Delta V_{pr} = -1,2 \cdot (\Delta p) \% \quad \text{ako je } \Delta p \leq 0,$$

$$\Delta V_{pr} = -0,5 \cdot (\Delta p) \% \quad \text{ako je } \Delta p \geq 0,$$

gde se Δp računa u % od propisanog pritiska za datu osovinu autobusa.

- Kraći vek spoljne gume – karkasa spoljne gume može u laboratorijskim ili kontrolisanim putnim uslovima da izdrži veoma mnogo kilometara. U stvarnoj eksploataciji iz subjektivnih i objektivnih razloga ta kilometraža je, bez obzira na održavanje i protektiranje, značajno kraća. Veoma važan faktor, koji utiče na vek strukture pneumatika, je održavanje propisanog pritiska vazduha u njemu, odnosno da li se i koliko se stvarni pritisak vazduha u pneumaticu (p) razlikuje od propisanog (p_0).

Označimo vek spoljne gume, koja se eksploatiše sa propisanim pritiskom vazduha (p_0), sa V_{sgo} , a vek spoljne gume sa pritiskom vazduha u pneumaticu (p) koji je niži od propisanog sa V_{sg} i njihovu razliku sa (ΔV_{sg}). Vrednost razlike, u skladu sa

usvojenim modelom, zavisi od razlike (Δp) između propisanog (p_0) i stvarnog pritiska (p):

$$\Delta V_{sg} = -1,09 \cdot (\Delta p)^2 - 1,7(\Delta p) \% \quad \text{ako je } \Delta p \leq 0,$$

$$\Delta V_{sg} = 0 \quad \text{ako je } \Delta p \geq 0,$$

gde se Δp računa u % od propisanog pritiska za datu osovinu autobusa.

Rezultati istraživanja nisu pokazala da viši pritisak (ukoliko je odstupanje u razumnim granicama) ima negativan uticaj na vek strukture spoljne gume.

- Povećana potrošnja goriva – nedovoljno napumpani pneumatici imaju veći otpor kotrljanja i to za posledicu ima veću potrošnju goriva. Povećanje potrošnje goriva zavisi od razlike između propisanog i stvarnog pritiska (Δp):

$$\Delta PG = -0,055 \cdot (\Delta p) \% \quad \text{ako je } \Delta p \leq 0,$$

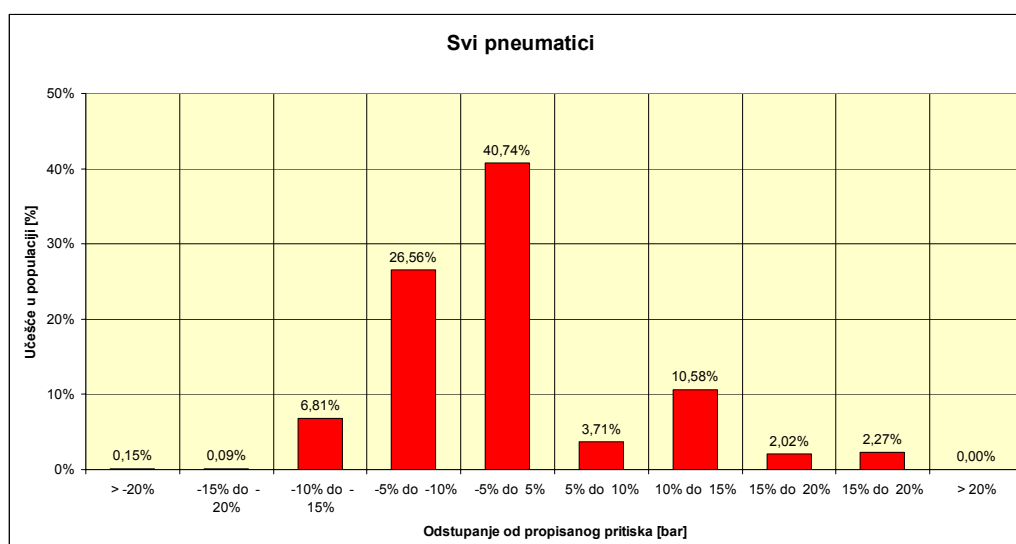
$$\Delta PG = 0 \quad \text{ako je } \Delta p \geq 0,$$

gde se Δp računa u % od propisanog pritiska za datu osovinu autobusa.

Rezultati istraživanja nisu pokazala da viši pritisak (u razumnim granicama) od propisanog ima negativan uticaj na potrošnju goriva.

- Ostali faktori, koje je bilo teško preciznije kvantifikovati, nisu uzeti u obzir.

Rezultati kontrole pritiska vazduha u pneumaticima u SP „Lasta“ A.D. pokazali su da na određenom broju autobusa postoje odstupanja od propisanog pritiska. Analiza obuhvata ukupno 824 autobusa koji su kontrolisani na redovnim i vanrednim pregledima tokom protekle tri godine. Na osnovu navedenih pregleda napravljeno je ukupno 2.885 zapisa o izmerenim pritiscima vazduha i utvrđeno da je nešto više od 1.710 pneumatika imalo veće odstupanje od $\pm 5\%$ od propisanog. To se vidi i sa dijagrama na donjoj slici (Slika 106).



Slika 102. Odstupanje izmerenih pritisaka vazduha od propisanih vrednosti za sve kontrolisane pneumatike

U narednoj tabeli dati su zbirno usvojeni ulazni podaci za izračunavanje povećanih troškova zbog neodržavanja pritiska vazduha u pneumaticima u SP „Lasta“ A.D..

Tabela 49. Usvojeni polazni podaci za izračunavanje povećanih troškova autobusa zbog neodržavanja propisanih pritisaka vazduha

Karakteristike flote	Scenario			
	Gradski prevoz	Prigradski prevoz	Međumesni prevoz	Prosečno za SP „Lasta“ A.D.
Prosečna godišnja kilometraža [km]	70.000	90.000	150.000	90.000
Očekivani vek spoljnih guma [km]	150.000	150.000	300.000	150.000
Očekivani vek protektora [km]	80.000	90.000	100.000	95.000
Prosečan broj protektiranja	0,5	0,5	0,5	0,5
Prosečna potrošnja goriva l/100 km	40	35	30	35
Prosečna cena spoljnih guma EUR	500	500	670	550
Prosečna cena protektiranja EUR	150	150	150	150
Prosečna cena dizel goriva EUR/l	1,3	1,3	1,3	1,3

Koristeći prethodno usvojene zavisnosti i podatke o izmerenim odstupanjima od propisanog pritiska izračunati su povećani troškovi koje SP „Lasta“ A.D. ima zbog „nedovoljne“ brige o pneumaticima autobusa (Tabela 50).

Tabela 50. Povećani troškovi pneumatika i goriva – po pneumatiku

Veličina	Vrednost
Broj kontrolisanih pneumatika	2.855
Broj izgubljenih pneumatika	162
Skraćenje veka pneumatika	5,7%
Broj izgubljenih protektora	161
Skraćenje veka protektora	5,6%
Povećana potrošnja	0,17%

Iz tabele se vidi, prema navedenoj računici, da SP „Lasta“ da bi zadovoljila svoje potrebe kupuje 106 novih spoljnih guma za posao koji bi mogao da se ostvari i sa 100 novih spoljnih guma. Takođe, zbog intenzivnijeg i neravnomernog habanja protektora vek protektora je za 5,6% kraći od očekivanog. To znači da je i broj protektiranja (za istu kilometražu) veći od potrebnog. Ovome treba dodati da je analizom utvrđeno da skoro 50% spoljnih guma ne zadovoljava uslove za prvo/ponovno protektiranje tako da se polovina od izračunatog procenta (zbog nemogućnosti protektiranja) treba pridodati nabavci novih spoljnih guma. U pogledu potrošnje goriva utvrđeno je da je prosečna potrošnja veća za 0,17% po pneumatiku zbog neodgovarajućeg održavanja pritiska vazduha u autobuskim pneumaticima.

Gornje analize su napravljene na osnovu sagledavanja stanja prosečnog pneumatika u pogledu pritiska. Ukoliko analizu „podignemo“ na nivo autobusa izračunate prosečne vrednosti treba pomnožiti sa brojem točkova na autobusu (Tabela 51).

Tabela 51. Povećani troškovi pneumatika i goriva – po autobusu

Veličina	Vrednost
Više novih spoljnih guma po autobusu [kom]	0,342
Veći broj protektiranja po autobusu [broj]	0,336
Veća potrošnja goriva [%]	1,02%

To znači da se u S.P. „Lasta“ A.D. po jednom autobusu godišnje prosečno „potroši“ 0,342 pneumatika više nego što je potrebno, da se izvrši prosečno 0,336 protektiranja više nego što je potrebno i da se potroši 2% više goriva nego što je potrebno, a to je, za prosečan autobus u floti SP „Lasta“ A.D., 315 litara goriva godišnje više nego što je potrebno.

9.3 Cost – benefit analiza

Analiza prikazana u prošlom odeljku jasno pokazuje da bi se boljim održavanjem pneumatika (pre svega pritisaka vazduha u pneumaticima) mogli značajno sniziti troškovi nabavke i održavanja pneumatika, ali i eksploatacije autobusa.

9.3.1 Ukupne moguće uštede

U ukupne moguće uštede, koje bi se mogle ostvariti ukoliko bi na svim točkovima pritisak u pneumaticima bio održavan u granicama propisanog, ulaze sledeći elementi:

- Direktni troškovi koji su posledica neodgovarajućih pritisaka u pneumaticima autobusa koji obuhvataju troškove nabavke novih spoljnih guma, protektiranja, goriva i intervencija na putu;
- Procenat smanjenja troškova, odnosno uštede koje bi se mogle ostvariti, ukoliko bi održavanje bilo poboljšano implementacijom sistema za praćenje i kontrolu pritiska vazduha u pneumaticima. Postoje procene, s obzirom da posebna istraživanja nisu sprovedena, da se efekti uvođenja, odnosno ostvarene uštede kreću u granicama između 80% i 95% od izračunatih troškova.
- Ostale moguće uštede, kao što su uštede u troškovima kontrole i održavanja, nisu uzete u razmatranje. Propisima u SP „Lasta“ A.D. predviđeno je da se ove vrste kontrola vrše bar jednom mesečno. Za kontrolu pritiska vazduha u pneumaticima autobusa potrebno je desetak minuta uz pretpostavku da se radi o autobusu sa dve osovine (6 točkova) i da postoje produžeci za ventile kod udvojenih točkova. U to je uključeno i vreme potrebno za eventualno dopumpavanje jednog ili dva pneumatika. Uvođenjem TPMS na autobuse smanjilo bi se vreme potrebno za kontrolu pritisaka vazduha u pneumaticima, ali ne i vreme potrebno za dopumpavanje.

9.3.2 Troškovi implementacije TPMS

U razmatranim alternativama pojavljuju se sledeći troškovi:

- Troškovi nabavke i korišćenje individualnih TPMS -a

Troškovi nabavke zavise od dobavljača, tehničkog nivoa i potrebne konfiguracije sistema. Za potrebe projekta usvojene su sledeće jedinične cene: prijemnik 200 €, senzor 40 € i pojačalo 50 €. Ukupna cena individualnog TPMS

uređaja za autobus sa šest točkova iznosila bi 490 €, a za autobus sa 10 točkova 650 €. Usvojeni troškovi nabavke se odnose na prosečan sistem. Postoje sistemi koji su skuplji, ali i oni koji su jeftiniji. Takođe, nabavne cene bi trebalo da budu značajno niže ukoliko se navedena oprema ugrađuje (na osnovu zahteva kupca) još u fabrici. Godišnji troškovi održavanja TPMS sistema su procenjeni na približno 10% od nabavne cene i iznose: 50 € za sistem sa šest davača i 65 € za autobuse sa deset davača. Troškovi obuhvataju povremene kontrole, podešavanja, kao i zamenu baterija i neispravnih delova;

- Troškovi nabavke i korišćenje stabilnog sistema za kontrolu pritiska i dubine šare pneumatika autobusa

Na tržištu se trenutno može nabaviti samo jedna vrsta stabilnog sistema za kontrolu prisaka. To je uređaj PNEUSCAN koji se sastoji od podistema PNEUSCAN ATM (za kontrolu pritiska), podistema PNEUSCAN PRO (za automatsku kontrolu dubine šare) i jedinice PNEUSCAN ID (za indentifikaciju vozila koja prolaze kontrolno mesto). Ukupna cena ovog uređaja koja obuhvata i odgovarajući softver iznosi 80.000 €²². Na ovu cenu treba dodati pripreme radove i montažu što sve zajedno ne bi trebalo da pređe 100.000 €. Troškovi održavanja sistema su procenjeni (s obzirom da tačnijih podataka nema, na 5% investicione vrednosti, odnosno na 5.000 € godišnje. Investicione troškove za ovaj uređaj treba razdeliti na broj autobusa čiji se pneumatici na njemu proveravaju.

9.3.3 Rezultati analize

Izračunate uštede i troškovi dobijeni na osnovu pretpostavki prikazanih u prethodnim tačkama su upoređivani za svaki pojedinačni uslov saobraćaja. Proračun je napravljen za PO „Beograd“ uz pretpostavku da pogon ima približno 300 autobusa i da se za svaki od uslova saobraćaja koristi po 100 autobusa.

Ugradnja individualnih TPMS uređaja

Rezultati su prikazani u narednoj tabeli (Tabela 52). U istoj tabeli date su i vremena povraćaja ulaganja izračunata uz uslov da je stepen realizacije mogućih koristi 80%.

Tabela 52. Analiza opravdanosti ulaganja u individualne TPMS za različite uslove saobraćaja

Analiza opravdanosti ulaganja u individualne TPMS	Uslovi saobraćaja			
	Gradski	Prigradski	Medumesni	Prosek
Broj autobusa	1	1	1	1
Broj točkova	6	6	6	6
Troškovi reprezentativnog sistema za kontrolu i praćenje pritiska u €				
Prijemnik u kabini	200	200	200	200
Senzor za jedan točak	40	40	40	40

²² Ponuda dobijena od strane proizvođača

Pojačalo	50	50	50	50
Investicioni troškovi za opreme €/autobusu	490	490	490	490
Moguće uštede koje bi se ostvarile ugradnjom individualnog TPMS-a u €				
Uštede u pneumaticima (nabavka i protektiranje)	103	133	140	125
Uštede u gorivu	371	418	597	462
Troškovi održavanja TPMS	-50	-50	-50	-50
Ukupne godišnje uštede (80% od izračunatih) €/autobusu	330	390	539	420
Vreme povraćaja investicije	1,49	1,26	0,91	1,17

Vremena povraćaja investicija u individualne TPMS zavise od vrste saobraćaja i kreću se od 1,49 godina (18 meseci) kod autobusa u gradskom saobraćaju do 0,91 godina (11 meseci) u međumesečnom saobraćaju. Prosek za celu SP „Lasta“ A.D. je 14 meseci. To su veoma kratki rokovi s obzirom da je procenjeni minimalni vek uređaja pet godina.

Ugradnja stabilnog TPMS uređaja

Isplativost ugradnje stabilnog uređaja u velikoj meri zavisi od broja autobusa koji bi ga koristili. Za potrebe ove analize pretpostavljeno je da se uređaj ugrađuje u glavnu autobazu Laste (na autoputu Beograd – Niš), odnosno da bi ga koristilo 300 autobusa (Tabela 53). Pretpostavljeno je takođe da bi za opsluživanje navedenog uređaja bilo potrebno zaposliti dvoje novih ljudi i da bi procenat ostvarenih ušteda umesto 80% bio 90%. Bruto plate novozaposlenih bile bi na nivou od 800 € mesečno, odnosno 19.200 € godišnje ($800 \cdot 2 \cdot 12 = 19.200 \text{ €}$).

Investicioni troškovi, odnosno troškovi nabavke i ugradnje uređaja, procenjeni su na 100.000 €. Od toga 80.000 € se odnosi na sredstva potrebna za nabavku uređaja i transport, a 20.000 € za građevinske radove, pripremu i montažu.

Tabela 53. Analiza opravdanosti ulaganja u stabilni uređaj za kontrolu pritiska i dubine šare

Analiza opravdanosti ulaganja u stabilni uređaj za kontrolu pritiska	Uslovi saobraćaja			Prosek
	Gradski	Prigradski	Međumesečni	
Broj autobusa	100	100	100	300
Broj točkova	600	600	600	1.800
Troškovi stabilnog sistema za kontrolu i praćenje pritiska (svedeno na 300 autobusa)				
Investicioni troškovi za opreme €/autobusu	333	333	333	333
Moguće uštede koje bi se ostvarile ugradnjom stabilnog uređaja u €				
Uštede u pneumaticima (nabavka i protektiranje)	103	133	140	125
Uštede u gorivu	371	418	597	462
Troškovi dopunske radne snage (2x800 € bruto mesečno)	-66	-66	-66	-66
Troškovi održavanja TPMS (10% od investicije)	-33	-33	-33	-33
Ukupne godišnje uštede (90% od izračunatih) €/autobusu	328	397	564	429
Vreme povraćaja investicije [godina]	1,02	0,84	0,59	0,78

Vreme povraćaja investicije, kao i u prethodnom slučaju, zavisi od vrste saobraćaja i kraće je nego kada se autobusi opremaju individualnim uređajima. Ovakvo rešenje bi moglo da odgovara samo delu flote i to onim autobusima koji se koriste u gradskom saobraćaju i delimično prigradskom saobraćaju. Ovi autobusi se svakog dana, neki put i više puta, vraćaju u matičnu autobazu. Njima je moguće pre izlaska i nakon povratka kontrolisati pritiske vazduha u pneumaticima (i dubine dezena). Svakodnevnom kontrolom bi se verovatnoća da će do otkaza pneumatika doći u saobraćaju smanjila i svela na verovatnoću da će u vožnji doći do proboja ili zasecanja spoljne gume. Sličan zaključak bi do neke mere mogao da važi za autobuse u prigradskom i međumesnom saobraćaju. Ugradnja TPMS uređaja dala bi najbolje rezultate kod autobusa koja rade u međunarodnom i ugovorenom prevozu.

Ugradnja stabilnog i individualnih TPMS uređaja

Ukoliko bi želeli da iskoristimo prednosti oba navedena sistema i opremili sve autobuse TPMS uređajima, a u autobazi postavili stabilni uređaj za kontrolu pritiska troškovi nabavke bi se skoro udvostručili, a moguće uštede bi se u nekikim slučajevima čak i smanjile. Uštede bi mogle da budu i značajno veće ukoliko se u obzir uzme da stabilni sistem istovremeno kontroliše i pohabanost protektora pneumatika²³.

U donjoj tabeli (Tabela 54) prikazana je analiza opravdanosti istovremenog ulaganja u oba navedena sistema uz pretpostavku da bi svi autobusi bili opremljeni i sa individualnim TPMS uređajima.

Tabela 54. Analiza opravdanosti ulaganja u kombinovani sistem za kontrolu pritiska i dubine šare

Analiza opravdanosti ulaganja u kombinovani sistem za kontrolu pritiska	Uslovi saobraćaja			Prosek
	Gradski	Prigradski	Medumesni	
Troškovi				
Troškovi reprezentativnog sistema za kontrolu i praćenje pritiska za jedan autobus	490	490	490	490
Troškovi stabilnog sistema za kontrolu i praćenje pritiska za jedan autobus	333	333	333	333
Ukupni troškovi za jedan autobus	823	823	823	823
Moguće uštede koje bi se ostvarile ugradnjom kombinacije individualnog i stabilnog uređaja u €				
Uštede u pneumaticima i protektiranju	103	133	140	125
Uštede goriva	371	418	597	462
Troškovi dopunske radne snage (2x800 € bruto mesečno)	-66	-66	-66	-66
Troškovi održavanja TPMS (10% od investicije)	-83	-83	-83	-83
Ukupne godišnje uštede za jedan autobus (90% od izračunatih)	278	347	514	415
Vreme povraćaja investicije	2,96	2,37	1,60	2,17

²³ Za to bilo potrebno sprovesti dopunska istraživanja.

U slučaju da bi RO Beograd želela da opremi sve autobuse sa individualnim TPMS uređajima i pogon sa stabilnim sistemom za kontrolu pritiska i dubine šare pneumatika autobusa troškovi investicija i održavanja za PO Beograd bi porasli. To bi uticalo na vreme povraćaja investicije koje bi se produžilo na skoro 26 meseca za ceo pogon.

U slučaju da se kompanija odluči da nabavi stabilni uređaj, ali da samo autobuse za međumesni saobraćaj opremi individualnim TPMS uređajima situacija bi bila kao što je prikazano u narednoj tabeli (Tabela 55).

Tabela 55. Analiza opravdanosti ulaganja u redukovani kombinovani sistem za kontrolu pritiska i dubine šare

Analiza opravdanosti ulaganja u redukovani kombinovani sistem za kontrolu pritiska i dubine šare	Uslovi saobraćaja			Prosek
	Gradski	Prigradski	Međumesni	
Troškovi				
Troškovi reprezentativnog sistema za kontrolu i praćenje pritiska za jedan autobus	0	0	490	163
Troškovi stabilnog sistema za kontrolu i praćenje pritiska za jedan autobus	333	333	333	333
Ukupni troškovi za jedan autobus	333	333	823	496
Moguće uštede koje bi se ostvarile ugradnjom kombinacije individualnog i stabilnog uređaja u €				
Uštede u pneumaticima i protektiranju	103	133	140	125
Uštede goriva	371	418	597	462
Troškovi dopunske radne snage (2x800 € bruto mesečno)	-66	-66	-66	-66
Troškovi održavanja TPMS (10% od investicije)	-33	-33	-83	-50
Ukupne godišnje uštede za jedan autobus (90% od izračunatih)	328	397	514	449
Vreme povraćaja investicije	1,02	0,84	1,60	1,20

U slučaju kada bi RO Beograd želela da opremi samo međumesne autobuse sa individualnim TPMS uređajima i pogon sa stabilnim sistemom za kontrolu pritiska i dubine šare pneumatika autobusa vreme povraćaja investicije bi se skoro prepolovilo i iznosilo bi nešto više od 14 meseci za ceo pogon.

9.4 Interna stopa rentabilnosti i neto sadašnja vrednost projekta unapređenja sistema održavanja pneumatika

Kratko vreme za povraćaj investicije podrazumeva i visoke vrednosti interne stope rentabiliteta (IRR), neto sadašnje vrednosti (NPV) i indeks profitabilnosti (BCR).

- Interna stopa rentabilnosti je ona diskontna stopa koja sadašnju vrednost neto novčanog toka projekta svodi na nulu. Po svojoj sadržini interna stopa povrata pored rentabilnosti projekta pokazuje i najveću kamatnu stopu koju projekat može prihvatiti, a da ne ostvaruje gubitak. Što je veća vrednost IRR to je verovatnoća da projekat bude profitabilan veća.
- Neto sadašnja vrednost projekta mogla bi se definisati kao vrednost neto novčanog toka u celom periodu projekta svedena putem diskontovanja na sadašnju vrednost.

Dobijena vrednost neto novčanog priliva po sadašnjoj vrednosti govori koliko bi projekat doneo zarade posle podmirenja investicionih ulaganja.

- Indeks profitabilnosti, odnosno odnos koristi i troškova investicionog projekta je sadašnja vrednost budućeg novčanog priliva prema sadašnjoj vrednosti budućeg novčanog odliva investicionog projekta. Drugim rečima, očekivane diskontovane koristi sa projekta se stavljaju u odnos sa očekivanim diskontovanim troškovima.

Proračun je napravljen za petogodišnji period i sa diskontnom stopom od 12%. Izračunate vrednosti su prikazane u narednoj tabeli (Tabela 56).

Tabela 56. Analiza opravdanosti ulaganja u individualne TPMS za različite scenarije

Pokazatelji opravdanosti za različite scenarije	Uslovi saobraćaja			Svi zajedno
	Gradski	Prigradski	Međumesni	
Interna stopa rentabiliteta IRR [%]	56	93	125	95
Neto sadašnja vrednost NPV [€]	512	998	1.451	1.025
Indeks profitabilnosti	2,04	3,04	3,96	3,09

Iz tabele se vidi da se radi o veoma visokim vrednostima interne stope rentabiliteta. Interna stopa rentabiliteta u slučaju ugradnje individualnih TPMS na gradske autobuse iznosi 56%. Za prigradski saobraćaj stopa raste na 93%, a za međumesni i međunarodni saobraćaj na 125%. To bi trebalo da znači da bi kamate kod najnepovoljnijeg slučaja (gradski saobraćaj) mogle da budu i 56% na godišnjem nivou, a da projekat ostane na granici isplativosti.

Izračunati indeks profitabilnosti nam govori da bi se uložena sredstva za pet godina vratila u trostrukom iznosu. Kada se oduzmu početna ulaganja ostaje zarada (na nivou cele Laste) u iznosu od 1.025 € za svaki autobus sa ugrađenim individualnim TPMS uređajem (neto sadašnja vrednost). Proračun je napravljen uz uslov da u voznom parku „Laste“ ima podjednak broj autobusa koji rade u tri vrste saobraćaja. Zarada bi bila manja ukoliko bi vozni park bio sastavljen samo kod gradskih autobusa (512 €), a značajno veća ako bi se radilo samo o autobusima koji rade samo u međumesnom saobraćaju (1.451 €)

Ukoliko bi se SP „Lasta“ opredelila da deo flote autobusa opremi sa individualnim TPMS, a da uz to objekat pored autoputa opremi i stabilnim sistemom za kontrolu pritiska vazduha i dubine šare pneumatika investicije bi bile nešto veće (Tabela 54) ali bi efekti mogli biti značajno veći. Stabilni sistem bi alarmirao izlazak autobusa sa nepropisno napumpanim i/ili pohabanim pneumaticima iz kruga preduzeća. Takođe, smanjilo bi se i učešće spoljnih guma kod kojih je usled preteranog habanja skinut sloj gume do samog pojasa.

Tabela 57. Analiza opravdanosti kombinovanog ulaganja u individualne TPMS i stabilni sistem za kontrolu pritiska i dubine dezena za različite scenarije

Pokazatelji opravdanosti za različite scenarije	Scenario			Svi zajedno
	Gradski	Prigradski	Medumesni	
Interna stopa rentabiliteta IRR [%]	23	33	54	41
Neto sadašnja vrednost NPV [€]	244	464	1.000	673
Indeks profitabilnosti	1,30	1,56	2,22	1,82

Za pretpostavljenih trista autobusa interna stopa rentabilnosti bila bi 41%, neto sadašnja vrednost 673 €, odnosno zarada za pet godina po autobusu bi bila 673 € svedeno na današnji dan. Rezultati analize nisu tako „dobri“ kao u prethodnom slučaju, ali su dovoljno dobri da se i o ovoj mogućnosti razmisli.

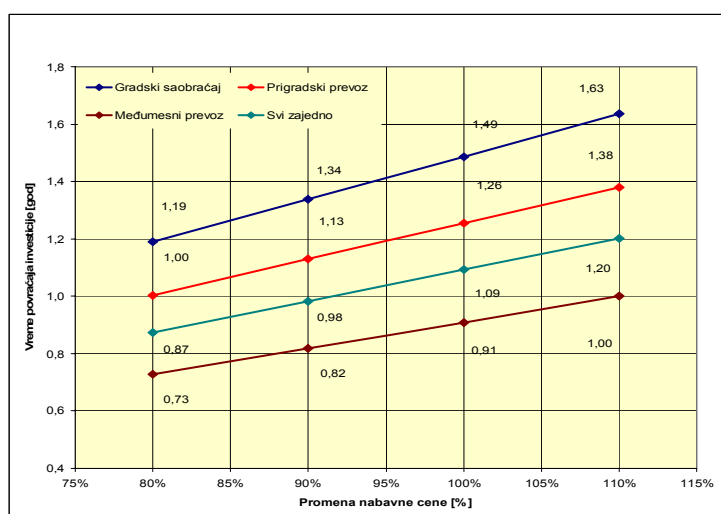
9.5 Analiza osetljivosti projekta unapređenja sistema održavanja pneumatika

Postoje tri ključna faktora koji bi mogli da utiču da se izračunato vreme povraćaja uložених sredstava (vidi gornju tabelu) u nabavku uređaja za kontrolu i praćenje pritiska i temperatura u pneumaticima autobusa promeni:

1. Troškovi nabavke i montaže ovih sistema, odnosno investicioni troškovi,
2. Ostvarene uštede ukoliko bi se primenili navedeni sistemi,
3. Trenutna situacija u floti autobusa u SP „Lasta“ A.D. u pogledu održavanja pneumatika.

9.5.1 Investicioni troškovi

Pretpostavljeni investicioni troškovi predstavljaju trenutni prosek cena navedenih uređaja. U narednom periodu, pogotovu kada budu počeli da važe zakoni o primeni individualnih TPMS na komercijalnim vozilima u SAD i EU, cene će sigurno biti niže, a pouzdanost i performanse uređaja bolji. Za analizu osetljivosti usvojeno je da bi troškovi nabavke mogli biti i za 50% više ukoliko se uzme neki od skupljih sistema (što je malo verovatno), ali da bi cene, ukoliko se sistemi budu ugrađivali još u fabrici, mogle biti niže za 10% odnosno 20% u odnosu na proračunske i to za uređaje boljih performansi.

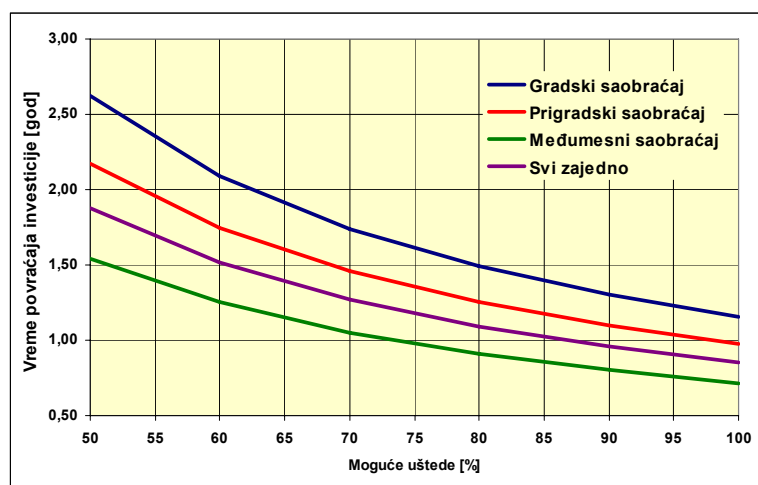


Slika 103. Uticaj nabavne cene na vreme povraćaja investicije

Sa slike se vidi da promena nabavne cene naviše može da produži vreme povraćaja investicije, ali da ne može da ugrozi njenu profitabilnost.

9.5.2 Moguće uštede

Moguće uštede koje bi se mogle ostvariti ugradnjom individualnih TPMS sistema zavise od stanja voznog parka, organizacije i kvaliteta održavanja autobusa (pa i pneumatika), troškova radne snage (plata zaposlenih), troškova materijala (cene spoljnih guma, protektiranja, pomoćnih materijala, goriva) i zainteresovanosti vozača i drugog osoblja za brigu o troškovima u preduzeću. Računica je napravljena uz pretpostavku da bi realizacija računom utvrđenih ušteda bila na nivou od 80%. To je procenat koji je uobičajen kod studija ove vrste. Za analizu osetljivosti usvojeno je da bi minimalni stepen iskorišćenja potencijalnih ušteda bio 50%, a maksimalni 90%.

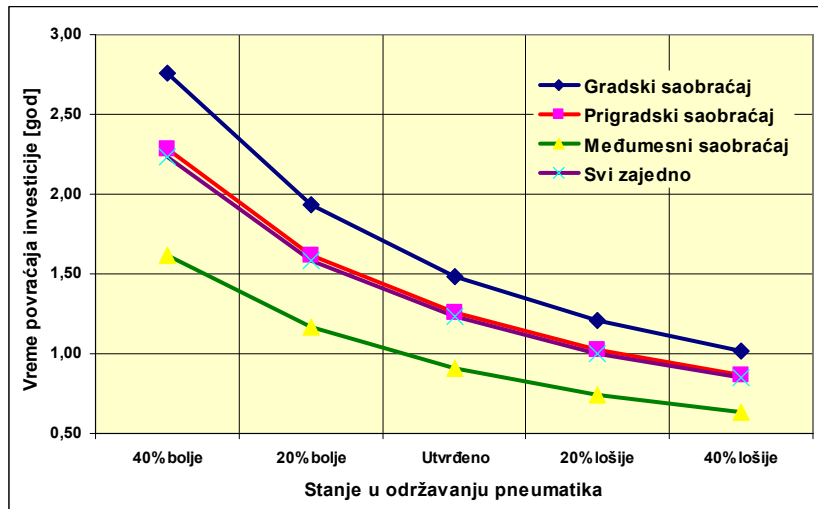


Slika 104. Uticaj efikasnosti realizacije ušteda na vreme povraćaja investicije

Vreme povraćaja se menja sa procentom mogućih ušteda ali je ono i dalje prihvatljivo čak i kada moguće uštede padnu na 50% od mogućih.

9.6 Ocena održivosti unapređenog sistema održavanja pneumatika

Troškovi nabavke TPMS uređaja se kreću u relativno uskim granicama od $\pm 10\%$ do $\pm 15\%$, kao i troškovi njihovog održavanja (± 10 € po autobusu godišnje). Takođe, realizacija mogućih ušteda, u dobro uređenim voznim parkovima, ne bi trebala da ide ispod 70% od potencijalnih. Ono što može značajno da utiče na ekonomsku opravdanost unapređenja održavanja je stanje u sistemu od koga se polazi. Presek stanja održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D. napravljen je na osnovu zapisnika o kontroli i na osnovu istraživanja koja su sprovedena u okviru istraživanja. Dobijeni rezultati su nešto povoljniji (sa gledišta stanja pneumatika) nego u nekim drugim kompanijama ali ostavljaju dovoljno „mesta“ za predložena unapređenja, odnosno promene u sistemu kontrole i praćenje pritiska vazduha u pneumaticima. Analiza, na kojoj su zasnovani ovi zaključci, napravljena na osnovu podataka iz 2011. godine tako da je moguće da je sadašnje stanje bolje (ili lošije) nego što je bilo u to doba. Kako činjenično stanje menja ceo tok proračuna proračuni osnovnog pokazatelja vreme povraćaja investicije ponovljeni su za 20% i 40% bolje, ali i 20% i 40% lošije stanje u održavanju pneumatika (Slika 105).



Slika 105. Uticaj stanja flote na vreme povraćaja investicije

Sa dijagrama na gornjoj slici (Slika 105) se vidi da promena stanja na bolje bi značajno produžila vreme povraćaja investicije ali ne bi ugrozila njenu profitabilnost. Najduže izračunato vreme za koje bi se investicija vratila je u slučaju gradskog saobraćaja i ono iznosi 2,76 godina ili 33 meseca., a interna stopa rentabiliteta bila bi tada 24%.

10. Završna razmatranja i zaključak

U ovoj disertaciji razmatrane su mogućnosti unapređenja održavanja pneumatika na motornim vozilima. Opšti naučni cilj disertacije bio je razvoj metode modeliranja uticaja pritiska i šire opšteg stanja pneumatika na bezbednost saobraćaja, potrošnju samih pneumatika, potrošnju goriva i druge troškove eksploatacije vozila. Značajan cilj i doprinos rada je promocija proaktivnog pristupa održavanju pneumatika za komercijalna vozila a, s tim u vezi, i primena sistema za nadzor pritiska vazduha u pneumaticima (TPMS) kao konceptualnog rešenja koje je blisko konceptualnim rešenjima za ostale sisteme na vozilu, a koji su već poznati i već u upotrebi.

U uvodnom delu su jasno istaknuti i pregledno predstavljeni motivi istraživanja sa analizom značaja teme. Definisani su predmet i cilj istraživanja. Objasnjeno je značaj istraživanja uticaja pritiska vazduha u pneumaticima na bezbednost saobraćaja, ekonomiku transporta i udobnost putnika.

Osnovne činjenice vezane za konstrukciju pneumatike i stanje tehnologija u oblasti pneumatika predstavljeni su drugom i trećem poglavlju. Posebna pažnja posvećena je konstrukciji radijalnih pneumatika i sistemima za praćenje pritiska i temperature pneumatika, kao i održavanje pritiska vazduha u pneumaticima na vozilu. Razmotrene su prednosti i mane ovih uređaja i analizirane mogućnosti njihove primene na komercijalnim vozilima.

U trećem poglavlju razmatran je uticaj pneumatika na bezbednost saobraćaja, performanse vozila i troškove eksploatacije. Pneumatici igraju ključnu ulogu u bezbednost vozila i obično predstavljaju najveću stavku u troškovima održavanja voznih parkova. Vazduh pod pritiskom je osnovna noseća komponenta pneumatika i kod savremenih pneumatika prima i do 95% ukupnog spoljnog opterećenja, a ostalih 5% preuzimaju karkasa i protektor. Prema podacima National Highway Traffic Safety Administration's (NHTSA) otkazi pneumatika bili su jedan od čestih razloga za ugrožavanje bezbednosti saobraćaja. Prema Forbesu [24] oko 53% svih poziva službi za pomoć na putevima AAA (The American Automobile Association, Inc.) u 2001. godini odnosilo se na otkaze pneumatika. Slični podaci su i iz 2002. godine kada je bilo 2,4 miliona poziva vozača koji su ostali na putu iz istog razloga. Kontrolom vozila u saobraćaju utvrđeno je da više od 28% kontrolisanih putničkih vozila ima pritisak za 0,5 bar niži ili viši od propisanog tako da je neodgovarajući pritisak označen kao osnovni uzrok navedenih otkaza. Pneumatici imaju veliki uticaj na ponašanje vozila pri upravljanju, pogonu i kočenju. kao i da pritisak vazduha i pohabanost pneumatika utiču na performanse vozila. Nedovoljno napumpani (ali i prepumpani) pneumatici gube svoje performanse i pouzdanost i preterano se zagrevaju. Kao posledica toga dolazi do intenzivnog i neravnomernog habanje protektora, zamor karkase i povećanu osetljivost na otkaze. Nedovoljna dubina dezena protektora takođe utiče na ponašanje pneumatika pri kočenju i skretanju pre svega na mokrim kolovozima.

Iz prethodnog sledi zaključak da je sa gledišta bezbednosti saobraćaja, pogotovu kada se radi o prevozu putnika, održavanje propisanog pritiska vazduha od primarnog značaja. Ovaj zaključak je istovremeno potvrda polazne hipoteze da sadašnje održavanje

²⁴ Forbes, G. (2004), The Safety Impact of Vehicle Related Road Debris, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, DC, USA

pneumatika putničkih i komercijalnih vozila nije na odgovarajućem nivou. Posledice su smanjena bezbednost saobraćaja, niži komfor putnika, kraći vek pneumatika i povećana potrošnja goriva, kao i povećani pritisak na životnu sredinu. S obzirom da vozači tradicionalno izbegavaju svoje obaveze prema održavanju pneumatika izlaz iz ove situaciji trebalo je potražiti u promenama u sistemu održavanja uz primenu novih tehničkih rešenja. Zadatak disertacije bio je da, na osnovu odgovarajućih istraživanja, predloži metodologiju proaktivnog održavanja pneumatika kako bi se olakšao „život“ vozačima i istovremeno eliminsao (proredio) osnovni uzrok otkaza pneumatika i mogućih opasnih posledica, a to je (momentalni ili postepen) gubitak pritiska vazduha u pneumaticima. Primenjeno tehničko rešenje su uređaji za praćenje i kontrolu pritiska vazduha u pneumaticima (TPMS). Uvođenje ovih sistema ne traži nikakve ozbiljnije prepravke na vozilima, ali zahteva određena finansijska sredstva za njihovu nabavku, ugradnju i održavanje.

U okviru disertacije obavljena su istraživanja u SP „Lasta“ A.D. našem najvećem saobraćajnom preduzeću sa ciljem da se utvrdi da li bi primena TPMS uređaja na komercijalnim vozilima, osim povećane bezbednosti, imala uticaja na povećanje ekonomičnosti eksploatacije. Rezultati istraživanja i njihova analiza prikazani su u poglavlju 6:

Stanje pneumatika u SP „Lasta“ A.D.

- SP „Lasta“ A.D. nabavlja i koristi uglavnom pneumatike tzv premijum kvaliteta koji su pouzdani u radu i dugovečni. Korišćenje ovih pneumatika omogućava njihovo protektiranje i ponovno korišćenje na autobusima. Protektirani pneumatici se u skladu sa propisima koriste na pogonskim i pratećim osovinama autobusa;
- U upotrebi su najčešće pneumatici dimenzija 295/80R22.5 koji se inače najviše koriste na autobusima. Učešće dimenzija 285/70R19.5 i 315/80R22.5 raste iz godine u godinu u meri u kojoj se nabavljaju novi moderni autobusi opremljeni ovim pneumaticima;
- Analizom porekla pneumatika, koji su tokom zadnje tri godine montirani na autobuse, utvrđeno je da je odnos novih (uključene su i polovne spoljne gume) i protektiranih spoljnih guma približno 50:50;
- Analiza spoljnih guma skinutih sa autobusa, na osnovu stručne ekspertize, pokazuje da se najveći deo šalje u protektirnicu na dalji postupak (70% do 75%), a ostatak ide u magacin radi montaže na drugo vozilo ili u rashod;
- Prosečni vek spoljne gume do otpisa, urađen je zbog homogenosti uzorka samo za jednu dimenziju i jednu marku pneumatika, kreće se između 150.000 km za gradske i prigradske uslove saobraćaja i 300.000 za pneumatike koji su radili na međumjesnim i međunarodnim autobusima;
- Prosečni vek protektora do dostizanja zakonske granice, urađen je zbog homogenosti uzorka samo za jednu dimenziju i jednu marku pneumatika, procenjen je na 80.000 km za gradske i 90.000 km za prigradske uslove saobraćaja. Za pneumatike koji su radili na međumjesnim i međunarodnim autobusima prosek je oko 100.000 km;

- Samo nešto više od 50% spoljnih guma koje se upute na protektiranje bude i protektirano. Ostale spoljne gume zbog spoljnih ili unutrašnjih oštećenja ne ispunjavaju zakonske i interne propise. Analizom razloga odbijanja došlo se do zaključka je da bi se deo oštećenja mogao izbeći da je kontrola pneumatika bila bolja;

Kontrola pritisaka vazduha u pneumaticima u SP „Lasta“ A.D.

- Kontrola pritisaka vazduha u pneumaticima pokazala je da je stanje zadovoljavajuće. Najveći broj kontrolisanih pneumatika bio je u granicama od $\pm 10\%$ (71%) od propisanog pritiska, a iznad $\pm 20\%$ samo 7,2%. Interesantno je da svega 0,15% je nedovoljno napumpanih pneumatika čiji je pritisak bio za više od 20% niži od propisanog. Ostatak od 7,05% su prepumpani pneumatici;
- Kontrolom se utvrđeno da su odstupanja pritiska najmanja na prednjoj osovini, a najveća kod udvojenih pneumatika;

Putna ispitivanja pneumatika u gradskom, prigradskom i međumesnom saobraćaju

- Analizom rezultata praćenja pritisaka i temperatura u pneumaticima autobusa utvrđeno je da su pritisci, za sve vreme rada autobusa, imali trend rasta. Pauze samo delimično utiču na njihovu relaksaciju. Do potpunog toplotnog rasterećenja pneumatika dolazi tek nakon duže pauze, odnosno nakon povratka u bazu;
- Izmerene temperature vazduha nisu potpuno pouzdane. Na njih, osim temperature vazduha u pneumatiku, a zbog položaja davača, utiče i spoljna temperatura. Ukoliko se ona značajno menja, menja se i izmerena temperatura, ali ne i izmereni pritisak;
- Uočeno je da ukoliko postoji razlika u pritiscima pritisaka vazduha u pneumaticima na istoj osovini ona se tokom vožnje smanjuje, ali se pneumatik sa nižim početnim pritiskom više greje, odnosno dostiže višu temperaturu. Na zastancima, kada se pneumatici hlade, razlika se opet povećava;
- Ukoliko postoji razlika pritisaka u udvojenim pneumaticima tada se razlika ne smanjuje s tim što se pneumatik koji je na početku bio na višem pritisku više greje;

U poglavlju 7 predstavljen je napravljeni model uticaja pneumatika na troškove eksploatacije vozila. Pošlo se od pretpostavke da odstupanje pritiska vazduha u pneumatiku (od propisanog) utiče troškove eksploatacije vozila na sledeća četiri načina:

- Povećava intenzitet habanja i smanjuje pređenu kilometražu između dva protektiranja;
- Skraćuje vek pneumatika (smanjuje se ukupan broj kilometara koji pneumatik pređe uključujući i protektiranja);
- Povećava potrošnju goriva (zbog povećanja otpora kotrljanja);
- Iznenadni otkazi usled seperacije protektora ili eksplozije (usled preteranog zagrevanja pneumatika). Potrebna pomoć interventne službe, kašnjenje putnika, isporuke robe ...

Za kvantifikaciju posledica neodgovarajućeg pritiska postavljene su odgovarajuće „krive zavisnosti“, odnosno krive korelacije između odstupanja pritiska od propisanog i promena u veku pneumatika, veku protektora i potrošnje goriva. Kao polazna osnova za formiranje modela iskorišćena su istraživanja američkog udruženja kamionskih prevoznika (ATA), odnosno njihovog Odbora za tehnologije i održavanje (Technology & Maintenance Council).

„Krive zavisnosti“ su integrisane u zajednički model koji je iskorišćen za ocenu predloženih sistema za unapređenje održavanja pneumatika U SP „Lasta“ A.D..

U poglavlju 8 su dati predlozi za unapređenje sistema održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.. Osnovu za unapređenje predstavljao je postojeći sistem održavanja, zasnovan proceduri „Tehničko-tehnološki proces tehničkog održavanja“ koji se može oceniti kao veoma dobar s obzirom da je, prema rezultatima istraživanja, stanje pneumatika u SP „Lasta“ A.D: dobro i čak značajno bolje nego u drugim saobraćajnim preduzećima u Srbiji pa i drugim zemljama. Da bi se otklonile uočene slabosti sistema unapređenja sistema održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D predloženo je nekoliko alternativnih predloga:

1. Da se ceo ili deo voznog parka opremi individualnim TPMS uređajima. U autobusima sa ugrađenim individualnim TPMS uređajima vozač preko monitora ima stalnu kontrolu pritiska i temperature vazduha u svakom od pneumatika ponaosob. Predloženi uređaji imaju zvučnu i svetlosnu signalizaciju koja opominje vozača ukoliko pritisak vazduha u nekom od pneumatika padne ispod, unapred postavljene granice. Na vozaču ostaje da događaj prijavi tehničkoj službi, odnosno ukoliko je na dužem putu, sam dopumpa pneumatike na prvoj benzinskoj pumpi.
2. Da se u svakoj od „tehničkih baza“ (kojih SP „Lasta“ A.D. ima veći broj), montira po jedan stabilan uređaj za kontrolu koji isključuje potrebu za ugradnjom individualnih TPMS na autobuse. Stabilni sistem za kontrolu pritisaka ima i mogućnost kontrole pohabanosti protektora svih točkova na autobusu. Prednost sistema je što sve utvrđene nepravilnosti vezane za pritisak i/ili dubinu dezena protektora registruje i stavlja na raspolaganje tehničkoj službi koja može odmah da reaguje.
3. Da se u „bazama“ montira uređaj za kontrolu, a da se na sve ili samo na deo autobusa montiraju individualni TPMS uređaji.

Druga i treća solucija bile bi interesantne samo za PO Beograd gde je u istoj autobazi koncentrisano više od 300 autobusa, odnosno 1/3 ukupnog voznog parka.

U poglavlju 9 su kvantifikovani gubici koje SP „Lasta“ A.D. ima zbog neodgovarajućih pritisaka vazduha u pneumaticima. Ovi gubici bi se mogli umanjiti ukoliko bi se situacija u oblasti stanja pritiska poboljšala. Veće poboljšanje značile bi i veće moguće uštede. Izračunate moguće uštede (za svako od ponuđenih rešenja) upoređene su sa investicionim i operativnim troškovima koje bi SP „Lasta“ A.D. imala oko uvođenja i korišćenja navedene opreme. Rezultati analize su pokazali da bi u svim razmatranim slučajevima ugradnja uređaja isplatila u relativno kratkom roku.

11.Literatura

1. Anon (2003), Commercial Vehicle Tire Condition Sensors, BOOZ ALLEN HAMILTON INC., November 2003, p 97.
2. Anon: Michelin Embeds RFID Tags in Tires, www.rfidjournal.com
3. Bergman, W., Crum, W.(1973), How Tire Wear, Automotive Engineering, pp 27- 36
4. Blythe, W. and Day, T., "Single Vehicle Wet Road Loss of Control; Effects of Tire Tread Depth and Placement", SAE Technical Paper 2002-01-0553, 2002, doi: 10.4271/2002-01-0553.
5. Blythe, W.: Commentary on Legal Minimum Tread Depths for Passenger Car Tires, Technology Expo 2006, 7, 8, 9 March 2006, Stuttgart, Germany.
6. Brasier II, K., (2004): Radial Tire Conditions Analysis Guide. Technology & Maintenance Council of American Trucking Associations, Inc.Third Edition.
7. Budinski-Simedić, J: Reologija i struktuiranje elastomernih materijala, Naučno-stručni skup Pneumatici 2000, Niro OMO, pp 44-59.
8. Choi, E-H. (2012, April). Tire-Related Factors in the Pre-Crash Phase. (Report No. DOT HS 811 617). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration
9. Clark, K. S. (1982): Mechanics of the Pneumatic Tires, US DOT, National Highway Traffic Safety Administration, D.C. 20590, 1982, p. 931.
10. Clark, S. K., & Dodge, R. N. (1979). A Handbook for the Rolling Resistance of Pneumatic Tires. Prepared for the U.S. Department of Transportation. Ann Arbor: Regents of the University of Michigan.
11. Continental Tire. (2008). Government Regulation in Transition – Continental Tire Point of View. Presentation before the California Energy Commission.
12. Danon, et al (2007), Service Reliability of City Bus Tires, EAEC Conference, 30 May – 1 June 2007, Budapest, p 14.
13. Danon, G., Gavrić, M., Vasić, B.(1999), Pneumatici - karakteristike, izbor eksploatacija, NIRO „OMO“ Beograd, p 211.
14. Danon, G., Mitrović, Č. (2008). Possible beneficial of application of TMPS on city buses. Journal of Applied Engineering Science, 6(21), pp. 35-44.
15. Danon, G., Petrović, M. (2011): Proactive tire maintenance, Journal of Applied Engineering Science, Vol. 9, No. 4, pp. 465-472
16. Danon, G., Petrović, M.(2012), Proactive Maintenance of Tires, Proceedings of The 21st International Congress on Maintenance and Asset Management, 2012, pp. 521-531
17. Danon, G., Vasić, B. (2004), Habanje pneumatika, Treći naučno-stručni skup Pneumatici 2004.

18. Danon, G., Vasić, B., Jokić, B., Simović, Ž., & Marjanović, M. (2011). Comparative analysis of characteristics of passenger car tires in Serbia. *Journal of Applied Engineering Science*, 9(1), 259-266.
19. DEKRA Fachschrift Nr. 55/01
20. Department of Energy. (2009). *Advanced Technologies and Energy Efficiency; Where Does the Energy Go?* Washington, DC: Department of Energy.
21. EPA. (2009). *Fuel Economy Guide*. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
22. Evans, L. et al (2008), *The Effects of Varying the Levels of Nitrogen in the Inflation Gas of Tires on Laboratory Test Performance*, NHTSA/NVS-312, p 50.
23. Filippi, M.: *Valve Based Tpms Solution*, Technology Expo 2006, 7, 8, 9 March 2006, Stuttgart, Germany.
24. Forbes, G. (2004), *The Safety Impact of Vehicle Related Road Debris*, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, DC, USA
25. Gavrić, p. (2009), *Eksploatacija i održavanje pneumatika komercijalnih vozila*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, diplomski rad, 2009. godina.
26. Hall, D. E., & Moreland, J. C. (2000). *Fundamentals of Rolling Resistance*. Spring 2000 Education Symposium No. 47, *Basic Tire Technology: Passenger and Light Truck*. Akron, OH: American Chemical Society.
27. Hall, D., Moreland, J.: *Fundamentals of rolling resistance*, *Rubber Chemistry and Technology*; Jul/Aug 2001; 74, 3; pp. 525 -539.
28. Holtschulze, J. et al: *Advantages of RunFlat-Technology on Vehicle Handling. - A View Using Basic Relations*, *Tire Technology Expo 2006*, 7, 8, 9 March 2006, Stuttgart, Germany.
29. <http://www.abs.gov.rs/doc/Statisticki%20izvestaj%20o%20stanju%20BS%20u%20RS%20za%202012.pdf>
30. <http://www.lasta.rs/>
31. <http://www.maic.qld.gov.au/forms-publications-stats/pdfs/tyre-pressure-report-final.pdf>
32. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?9309>
33. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?9697>
34. http://www.rma.org/tire_safety/tire_maintenance_and_safety/national_tire_safety_week/fact_sheets_2009/tire_pressure_2010/2010%20Tire%20Pressure%20Survey_NATIONAL_FINAL_5_20_2010.pdf
35. <http://www.safetytrack.net/2012/03/goodyears-amt-technology-preserves-tire-air-maintenance/>
36. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grrf/GRRF-71-10e.pdf>
37. http://www.us-tra.org/documents/ISO_18164_2005_DAmD_1.pdf

38. IPL (Inflation Pressure Loss) – Test gubitka pritiska vazduha ASTM F 1112 „Standard Test Method for Static Testing of Tubeless Pneumatic Tires for Rate of Loss of Inflation Pressure“.
39. J. D. Clark and D. J. Schuring (1988) Load, Speed and Inflation Pressure Effects on Rolling Loss Distribution in Automobile Tires. *Tire Science and Technology*: April 1988, Vol. 16, No. 2, pp. 78-95.
40. Kummer, H., Meyer, W. (1960): *Rubber and Tire Friction*, Engineering Research Bulletin B-80, The Pennsylvania State University, 1960, p. 96.
41. Lupker, H., et al (2002), *Truck Tyre Wear Assessment and Prediction*, 2th International Symposium on Heavy Vehicle Weights&Dimensions, Delft, June 16-20 2002.
42. Moore, D. (1975), *The Friction of the Pneumatic Tyres*, Elsevier, 1975, p 220.
43. Moore, F., D.(1975): *The Friction of the Pneumatic Tyres*, Elsevier, 1975, p. 220.
44. Morinaga, H.: *Development of Sensing Algorithm for Intelligent Tire*, Technology Expo 2006, 7, 8, 9 March 2006, Stuttgart, Germany.
45. NHTSA (2001). *Tire Pressure Special Study - Vehicle Observation Data*, August, 2001. DOT HS 809 317. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
46. P. S. Pillai and G. S. Fielding-Russell (1992) *Tire Rolling Resistance from Whole-Tire Hysteresis Ratio*. *Rubber Chemistry and Technology*: May 1992, Vol. 65, No. 2, pp. 444-452.
47. Petrović, M., Vasić, B., Danon, G., Stanojević, D., Dangubić, M., Kolundžija D., Sovrović, V., Belić, D. (2012): *Unapređenje sistema održavanja pneumatika u SP „Lasta“ A.D.*, : Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, p. 93.
48. Petrović, M., Danon, G. (2012), *Promene pritiska vazduha u pneumaticima autobusa u eksploataciji*, Naučno – stručni skup „Pneumatici 2012“, 20. decembar 2012, Beograd, pp. 29 -42.
49. Pillai, P., S. (2004), *Effect of tyre overload and inflation pressure on rolling loss (resistance) and fuel consumption of automobile and truck/bus tyres*, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol. 11, October 2004, pp. 406-412
50. Plavšić, M et al: *trendovi u razvoju materijala za pneumatike i značaj punila*, Naučnostručni skup *Pneumatici 2000*, Niro OMO, pp 20-29.
51. Popović, V., Vasić, B., Petrović, M., Mitić, S.: *System approach to vehicle suspension system control in CAE environment*, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 57(2011)2, 2011, crp: 100-109
52. Popović, V., Vasić, B., Petrović, M.: *The possibility for FMEA method improvement and its implementation into bus life cycle*, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 56(2010)3, 2010, crp: 179-185
53. Ross, M. 1997. *Fuel Efficiency and the Physics of Automobiles*. *Contemporary Physics*, Vol. 38, No. 6, pp. 381–394.

54. Stanojević, D., Vasić, B., Petrović, M., Dangubić, M. (2012), Primena TPMS sistema kao rešenje za proaktivno održavanje pneumatika, Naučno – stručni skup „Pneumatici 2012“, 20. decembar 2012, Beograd, pp. 1 -16
55. Tarum, C. (1999), Classification and Analysis of Weibull Mixtures, SAE paper 1999 - 01 - 0055, p 7.
56. Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy: informing consumers, improving performance, Committee for the National Tire Efficiency Study, Special report 286, Transportation Research Board of the National Academies, 2006, p 178
57. TMC RP235A, Guidelines for Tire Inflation Pressure Maintenance
58. UNECE Regulation No. 108 - Retreaded tyres for passenger cars and their trailers,
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r108e.pdf>
59. UNECE Regulation No. 109 - Retreaded tyres for commercial vehicles and their trailers,
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r109r1e.pdf>
60. Vasić Branko, Danon Gradimir, Zonjić Branislav (2002), Praćenje pneumatika autobusa u međugradskom saobraćaju; Motorna vozila i motori 2002; 7.-9. oktobra 2002.; Kragujevac; Srbija i Crna Gora; Zbornik radova; Vol. 1; (2002); 253 - 256
61. Vasić, B., Danon, G. (2002), Praćenje pneumatika autobusa u međugradskom saobraćaju, Naučno-stručni skup MMV, Kragujevac, 2002.
62. Wicks, F. & Sheets, W. (1991). “Effect of Tire Pressure and Performance Upon Oil Use and Energy Policy Options.” Proceedings of the 26th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference IECEC-91, August 4-9, 1991, Boston, Massachusetts. Volume 4, pp. 307. La Grange, IL: American Nuclear Society.
63. www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Public%20Meetings/Presentations/2001%20Meetings/0701TirePressure.pdf

Prilog

Rezultati merenja pritiska i temperatura pneumatika – gradski prevoz

Datumi: 10.05.2012 i 11.05.2012, Autobus Neobus Citta SLR

RB	Stanice	Temp. okoline	Pritisaci [bar]						Temperature [°C]					
		°C	P1	P2	P3	P4	P5	P6	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	Zemun (Novi grad) pol	23	8,8	9,0	9,1		8,7	8,9	31	30	30		28	26
2	Opština N. Bgd	23	9,0	9,2			8,8	8,9	31	31			29	26
3	Železnička stanica	23	9,0	9,2			8,9	8,9	30	32			29	29
4	Slavija	23	8,9	9,1			8,8	8,8	32	32			29	29
5	Žel.bolnica	24	9,0	9,3			9,0	8,9	32	33			29	29
6	Banjica 2	24	9,1	9,2	9,4	9,0	9,2	9,0	32	33	32	29	29	27
7	Banjica 2	24	9,0	9,2	9,4	9,0	9,2	8,9	33	31	32	29	29	27
8	Žel.bolnica	23	9,0	9,2	9,4	9,0	9,2	8,9	33	32	31	28	29	27
9	Železnička stanica	23	9,1	9,3	9,4		9,2	9,0	33	34	32		29	31
10	Opština N. Bgd	24	9,1	9,3	9,4		9,3	9,0	33	34	31		30	30
11	Branka Plećaša	24	9,1	9,3	9,4		9,3	9,1	35	35	33		30	32
12	Zemun (Novi grad) dol	24	9,1	9,3	9,4	9,1	9,4	9,1	36	34	34	30	30	32
13	Zemun (Novi grad) pol	25	9,1	9,3	9,4	9,1	9,4	9,0	37	32	33	30	32	34
14	Opština N. Bgd	26	9,1	9,3	9,4		9,3	9,2	35	33	34		33	37
15	Železnička stanica	27	9,2	9,4	9,4		9,3	9,2	35	34	34		34	37
16	Slavija	27	9,2	9,5			9,3	9,2	38	40			35	37
17	Žel.bolnica	27	9,2	9,5			9,4	9,2	38	40			36	36
18	VMA	28	9,2	9,5			9,4	9,2	38	38			36	37
19	Banjica 2	28	9,2	9,5	9,5	9,4	9,4	9,2	38	40	37	36	37	37
20	Banjica 2	28	9,2	9,5	9,5	9,4	9,4	9,2	39	39	37	36	37	37
21	Žel.bolnica	28	9,2	9,4	9,5		9,4	9,2	38	40	37		35	37
22	Slavija	29	9,2	9,4			9,4	9,2	39	40			35	37
23	Opština N. Bgd	29	9,2	9,5			9,4	9,2	42	40			35	37
24	Zemun (Novi grad) dol	29	9,2	9,3	9,5		9,3	9,1	43	42	41		36	38
25	Zemun (Novi grad) pol	29	9,1	9,3	9,5		9,3	9,1	41	41	41		36	36
26	Opština	29	9,1	9,3	9,5		9,3	9,1	41	40	41		36	37
27	Železnička stanica	29	9,3	9,6	9,5		9,3	9,1	40	41			36	37
28	Slavija	29	9,3	9,6	9,5		9,3	9,1	40	41			36	37

Rezultati merenja pritiska i temperatura pneumatika – prigradski prevoz

Datum 22.05.2012, Autobus : Solaris Interurbino BG 359 LO Pneumatici: prednji-Michelin X2A2, zadnji: Michelin coach XDA

Relacija: Beograd-Donji Tovarnik-Beograd

Redni broj merenja		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	
Vreme sati i minuti		6,50	7,05	7,20	7,35	7,50	8,05	8,20	8,35	
Mesto										
km										
Temperatura napolju		$t_s^{\circ}\text{C}$	20	19	19	19	19	19	18	
Točak 1	Prednji levi	p_1 bar	7,9	8,0	8,2	8,4	8,3	8,3	8,4	8,3
		$t_1^{\circ}\text{C}$	27	25	26	26	29	29	28	30
Točak 2	Prednji desni	p_2 bar	7,8	7,9	8,0	8,0	8,2	8,2	8,2	8,2
		$t_2^{\circ}\text{C}$	24	23	25	25	27	28	27	27
Točak 3	Zadnji spoljni levi	p_3 bar	7,1	7,2	7,3	7,1	7,5	7,6	7,5	7,5
		$t_3^{\circ}\text{C}$	26	24	24	23	25	26	25	28
Točak 4	Zadnji unutrašnji levi	p_4 bar	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,2	7,3	7,2
		$t_4^{\circ}\text{C}$	24	23	23	23	23	23	24	26
Točak 5	Zadnji spoljni desni	p_5 bar	6,6	6,8	6,8	7,0	7,0	7,1	7,1	7,1
		$t_5^{\circ}\text{C}$	24	23	23	24	24	24	24	24
Točak 6	Zadnji unutrašnji desni	p_6 bar	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	7,3	7,4	7,4
		$t_6^{\circ}\text{C}$	24	21	23	23	25	24	24	28

Datum 22.05.2012, Vozilo: Solaris Interurbino

Pneumatici: prednji-Michelin X2A2, zadnji: Michelin coach XDA

Relacija: Beograd-Donji Tovarnik- Beograd

Redni broj merenja			9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Vreme sati i minuti			8,50	9,05	9,20	9,35	9,50	10,05	11,00	19,00
Mesto										
km										
Temperatura napolju		t_s °C	18	18	19	19	15	14	14	15
Točak 1	Prednji levi	p_1 bar	8,3	8,3	8,3	8,2	8,3	8,1	8,3	8,3
		t_1 °C	26	25	26	26	25	29	30	30
Točak 2	Prednji desni	p_2 bar	8,1	8,1	8,0	8,0	8,1	7,8	8,2	8,2
		t_2 °C	27	26	27	26	25	30	27	27
Točak 3	Zadnji spoljni levi	p_3 bar	7,4	7,4	7,2	7,4	7,4	7,3	7,5	7,5
		t_3 °C	24	24	24	22	22	27	28	28
Točak 4	Zadnji unutrašnji levi	p_4 bar	7,2	7,2	7,2	7,1	7,1	7,0	7,2	7,2
		t_4 °C	23	24	24	22	22	24	26	26
Točak 5	Zadnji unutrašnji desni	p_5 bar	7,1	7,1	7,1	7,0	6,9	7,8	7,1	7,1
		t_5 °C	24	24	24	22	22	30	24	24
Točak 6	Zadnji spoljni desni	p_6 bar	7,4	7,4	7,4	7,2	7,1	7,3	7,4	7,4
		t_6 °C	28	27	27	24	23	28	28	28

Rezultati merenja pritisaka i temperatura pneumatika – međumesni prevoz

Datum 06.06. 2012

Relacija: Beograd-Subotica Autobus: Berkhof Axial 70-12

Redni broj merenja		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Vreme sati i minuti		13.00	13.20	13.40	14.00	14.20	14.40	15.00	15.20	15.40	16.00	16.20	16.40	
Mesto		Beograd	Zemun	Novi Banovci	Autoput FG	Raskrsnica Zrenjanin	Novi Sad	Temerin	Srbobran	Mali Idoš	Bačka Topola	Stari Žednik	Subotica	
km														
Temperatura napolju		$t_s^{\circ}\text{C}$	21	20	21	21	22	22	22	21	22	21	20	
Točak 1	Prednji levi	p_1 bar	9.0	9.1	9.5	9.7	9.9	9.9	9.8	9.9	9.9	9.9	10	
		$t_1^{\circ}\text{C}$	25	32	31	27	26	30	34	25	27	27	28	31
Točak 2	Prednji desni	p_2 bar	10	10.1	10.2	10.1	10	10.1	10	10.1	10	10	9.9	
		$t_2^{\circ}\text{C}$	31	29	35	37	30	29	37	35	36	34	36	35
Točak 3	Zadnji spoljni levi	p_3 bar	8.4	8.4	8.7	8.9	9.2	9.1	9.0	9.1	8.9	8.9	8.8	9.0
		$t_3^{\circ}\text{C}$	26	25	26	26	31	30	27	28	32	28	28	31
Točak 4	Zadnji unutrašnji levi	p_4 bar	8.6	8.7	9.0	9.1	9.3	9.1	9.2	9.1	9.0	9.0	8.9	9.0
		$t_4^{\circ}\text{C}$	29	30	27	29	29	29	28	29	28	28	30	31
Točak 5	Zadnji spoljni desni	p_5 bar	8.6	8.7	9.0	9.1	9.4	9.4	9.3	9.4	9.3	9.3	9.4	9.5
		$t_5^{\circ}\text{C}$	26	25	27	28	28	28	31	28	30	30	32	33
Točak 6	Zadnji unutrašnji desni	p_6 bar	10	10.1	10.2	10.1	9.9	10	10	10.2	10.1	10.1	10	10.1
		$t_6^{\circ}\text{C}$	29	32	37	36	29	27	34	35	36	33	32	34

Datum 06.06.2012

Relacija: Subotica-Beograd Autobus: Berkhof Axial 70-12

Redni broj merenja		13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.
Vreme sati i minuti		17.50	18.20	18.40	19.00	19.20	19.40	20.00	20.20	20.40	21.00	21.20	21.35
Mesto		Subotica	Stari Žednik	Bačka Topola	Feketić	Srbobran	Novi Sad	Novi Sad	Autoput	Autoput	Autoput	Zemun	Beograd
km													
Temperatura napolju		$t_s^{\circ}\text{C}$	18	18	16	16	15	15	15	15	14	14	13
Točak 1	Prednji levi	p_1 bar	9.4	9.5	9.6	9.9	9.9	10	9.9	9.8	9.8	9.7	9.7
		$t_1^{\circ}\text{C}$	33	35	36	36	35	36	31	26	25	28	28
Točak 2	Prednji desni	p_2 bar	10	9.8	9.9	10	9.9	10	10	9.9	10	10	10
		$t_2^{\circ}\text{C}$	35	33	35	36	35	34	36	28	30	32	35
Točak 3	Zadnji spoljni levi	p_3 bar	8.5	8.6	8.8	8.9	8.9	8.8	8.7	8.6	8.5	8.6	8.6
		$t_3^{\circ}\text{C}$	35	36	31	32	31	31	32	31	30	29	27
Točak 4	Zadnji unutrašnji levi	p_4 bar	7.0	7.5	8.0	8.3	8.5	8.5	8.4	8.3	8.4	8.2	8.2
		$t_4^{\circ}\text{C}$	28	29	30	31	32	32	34	32	31	29	29
Točak 5	Zadnji spoljni desni	p_5 bar	9.0	9.1	9.2	9.4	9.4	9.4	9.3	9.2	9.3	9.2	9.2
		$t_5^{\circ}\text{C}$	34	28	30	28	29	30	28	26	25	29	29
Točak 6	Zadnji unutrašnji desni	p_6 bar	10	10.1	10.2	10.1	10	9.8	9.9	9.8	10	9.8	9.8
		$t_6^{\circ}\text{C}$	34	32	38	37	35	30	30	27	26	31	31

Izjava o autorstvu

Potpisani Miloš M. Petrović

broj upisa _____

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

Razvoj metodologije za proaktivno održavanje pneumatika na motornim vozilima

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis doktoranta

U Beogradu, 29.08.2013. godine

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Miloš Petrović

Broj upisa: _____

Studijski program: doktorske akademske studije

Naslov rada: Razvoj metodologije za proaktivno održavanje pneumatika na motornim vozilima

Mentor: Prof. dr Branko Vasić

Potpisani Miloš Petrović,

izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranta

U Beogradu, 29.08.2013. godine

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

**RAZVOJ METODOLOGIJE ZA PROAKTIVNO ODRŽAVANJE PNEUMATIKA
NA MOTORNIM VOZILIMA**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

Potpis doktoranta

U Beogradu, 29.08.2013. godine
